ارزیابی الگوی توزیع و پراکنش محرک‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) در میان کشورهای جهان

آزاده توکلی [۱*]، یونس خسروی [۱]، محمدمهدی دعایی [۱]

[۱*] - نویسنده مسئول، گروه علوم محیطزیست، دانشگاه زنجان

[*] ایمیل نویسنده مسئول: atavakoli@znu.ac.ir

تاریخ دریافت : ۱۴۰۰/۰۲/۱۴ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۰/۰۳/۳۱

چکیده

تغییر اقلیم به‌عنوان بزرگترین تهدید بشری، نیازمند اقدامات کنترلی سریع و شناسایی محرک‌های کاهش انتشار با کمترین پیامد اقتصادی است. پژوهش حاضر به ارزیابی مهم‌ترین عوامل موثر در انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای جهان (۲۰۱۲-۱۹۷۱) پرداخته است. جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی و شدت کربن انتخاب و برای بررسی روابط فضایی انتشار از تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی موران جهانی و محلی استفاده شد. نتایج نشان داد همبستگی مثبت و رو به رشدی در انتشار کربن‌دی‌اکسید وجود دارد و اوج این همبستگی به زمان شکل‌گیری IPCC باز می‌گردد و رشد اقتصادی نزدیک‌ترین ارتباط را با انتشار دارد. براساس ارزیابی موران جهانی تمامی پارامترها دارای خودهمبستگی مثبت و پیرو توزیع خوشه‌ای هستند. تحلیل موران محلی نشان می‌دهد در دهه‌های ابتدایی خوشه‌های بالا-بالا در کشورهای صنعتی و با گذشت زمان کشورهای در حال توسعه را شامل شد. جمعیت آسیا، سرانه تولید ناخالص داخلی اروپا و آمریکا، شدت انرژی در آسیا و معدود کشورهای آفریقایی و شدت کربنی در آسیا و آمریکا مهم‌ترین عوامل تشدید انتشارها در جهان به‌شمار می‌روند. شناسایی محرک‌های انتشار موضعی و منطقه‌ای در تعیین سهمیه‌های انتشار و مسئولیت‌های کاهش انتشار نقش موثری دارد و می‌تواند معاهدات منطقه‌ای و مورد پذیرش کشورها را در پی داشته باشد.

کلمات کلیدی

تغییر اقلیم، عوامل محرک، کایا، آمار فضایی، جهان

۱- مقدمه

تغییر اقلیم و پیامدهای آن به‌عنوان یک وضعیت برگشت‌ناپذیر، طی دو دهه اخیر در کانون توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. این تغییرات خارج از روند طبیعی و در پی انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای (GHGs) شکل گرفته است. هیأت بین‌الدولی تغییر اقلیمی (IPCC) در پنجمین گزارش خود (AR5) به این نکته اشاره دارد که "بالغ بر نیمی از افزایش دمای سطحی در بازه زمانی سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۰ ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و فشار ناشی از فعالیت‌های انسان‌ساخت است" (IPCC, 2013). گازهای گلخانه‌ای از منابع مختلفی انتشار می‌یابند. نزدیک به ۸۰ درصد انتشارها به واسطه تامین انرژی به شکل برق، گرما یا دیگر موارد حاصل می‌شود. فرآیندهای صنعتی، انتشار ناشی از بخش‌های کشاورزی و دامپروری و نیز پسماند و پساب از دیگر بخش‌های موثر در انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌روند (IPCC, 2006). الگوی درآمدزایی و توسعه اقتصادی در میان کشورها به مقادیر متفاوتی از انتشار گازهای تشدیدکننده تغییر اقلیم منجر خواهد شد. به‌عنوان مثال بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته در تلاش هستند با اتکاء بر سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر و حرکت به سمت توسعه بر پایه فعالیت‌های خدماتی، در راستای کاهش انتشار این گازها قدم بردارند. این در حالی است که کشورهایی از قبیل چین در گام‌های نخست توسعه با اتکاء بر سوخت‌های آلوده و فسیلی قرار گرفته‌اند. طبق رده‌بندی جهانی سال ۲۰۱۸، چین (۲۸ درصد)، آمریکا (۱۵ درصد)، هند (۷ درصد)، روسیه (۵ درصد)، ژاپن (۳ درصد)، آلمان (۲ درصد)، ایران (۲ درصد)، کره (۲ درصد)، عربستان سعودی (۲ درصد) و اندونزی (۲ درصد) به‌عنوان ده کشور اول انتشاردهنده گازهای گلخانه‌ای شناخته شده‌اند. خسارتهای اقتصادی و آینده مبهم کره زمین در مواجه با این پدیده باعث شده است تلاش‌های بین‌المللی فراوانی در راستای همگرایی کشورها، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و رد پای کربنی شکل گیرد. هرچند به نظر برخی محققان، بالا بردن سطح آگاهی عوام در این زمینه در اولویت قرار دارد (Freije et al., 2017). از میان اجلاس‌ها و نشست‌های متعددی که با هدف دستیابی به یک توافق بین‌المللی جامع شکل گرفته است، شاید بتوان اجلاس COP21 را به عنوان اولین توافق‌نامه جهانی و الزام‌آور حقوقی در زمینه تغییرات اقلیمی دانست. این توافق‌نامه در ۱۲ دسامبر سال ۲۰۱۵ مابین ۱۹۵ کشور مورد پذیرش و توافق قرار گرفت. نقطه عطف این توافق‌نامه در مقایسه با تلاش‌های قبلی این است که در این سند نه‌تنها ۴۰ کشور توسعه‌یافته و صنعتی جهان، بلکه همه کشورها، اعم از توسعه‌یافته و در حال توسعه، از سال ۲۰۲۰ به بعد متعهد به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تلاش در جهت بهبود این معضل جهانی منطبق بر اصل "مسئولیت مشترک، لیکن متفاوت" خواهند بود. شاید بتوان برنامه مدنظر مشارکت‌های ملّی (INDC) را به‌عنوان مهم‌ترین دستاورد توافق‌نامه پاریس دانست. براساس این برنامه هر کشور موظف است انتشارهای خود را در بازه زمانی پیشنهادی خود کاهش دهد (Jiang et al., 2017). روش‌های مختلفی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پیشنهاد می‌شود که از نظر اقتصادی و پذیرش عموم در سطوح مختلفی قرار می‌گیرند. هر کشور در تلاش است تا حد امکان از پذیرش مسئولیت‌های کاهش انتشار سر باز زند و چنانچه مجبور به پذیرش این مسئولیت شد، تا حد امکان از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه عمل کند. کشورهای همسایه معمولاً از الگوهای همسان پیروی می‌کنند. به‌عنوان نمونه کشورهای صادرکننده نفت، کشورهایی با رشد جمعیت بالا، اقلیم‌های مشابه و ... اغلب در مجاورت یکدیگر قرار دارند و این مسئله بر انتخاب روش‌های کاهش انتشار توسط

کشورها سایه می‌افکند. شناسایی الگوها و روندهای حاکم بر انتشار در هر منطقه از دو جنبه مورد توجه است. در جنبه نخست عوامل موثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای که می‌تواند از اقلیم منطقه، سطح رفاه یا دیگر موارد نشأت گرفته باشد و شناسایی الگوهای حاکم می‌تواند در شناسایی محرک‌ها و عوامل دخیل در انتشار کارساز باشد. جنبه دوم به تعیین مسئولیت‌های کاهش انتشار براساس پتانسیل‌ها و منافع هر منطقه اشاره دارد و مسیرهای متفاوتی از کاهش را براساس مناطق مختلف جهان پیشنهاد می‌دهد. پژوهش‌های متعددی در این راستا صورت گرفته است. به‌عنوان مثال وانگ و همکاران با استفاده از داده‌های سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۷ کشور چین به ارزیابی محرک‌های تغییر اقلیم پرداخته و مشاهده کردند این کشور طی ۴۳ سال کاهش قابل‌توجهی در انتشار کربن دی‌اکسید داشته است و مهم‌ترین عامل اثرگذار در این کاهش بهبود میزان شدت انرژی بوده است. علاوه بر این، جایگزینی سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی اثر مثبتی بر کاهش انتشار کربن دی‌اکسید در پی داشته است (Wang et al., 2005). پژوهش دیگری که در ارتباط با انتشار کربن دی‌اکسید توسط رامانتهان (2006) در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۱ صورت گرفت نشان داد جهان در سال ۱۹۸۰ برای رسیدن به رشد اقتصادی بیشترین اثر را بر انتشار کربن دی‌اکسید داشته است. نتایج پژوهش زانگ و همکارانش در کشور چین نشان می دهد این کشور به‌عنوان بزرگترین کشور تولیدکننده کربن دی‌اکسید، بین سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۹۱ کاهش قابل توجهی در میزان انتشار این گاز گلخانه‌ای داشته اما پس از آن میزان انتشار رو به افزایش گذاشته و فعالیت‌های اقتصادی مهم‌ترین عوامل انتشار کربن دی‌اکسید شناخته شده است (Zhang et al., 2009). با توجه به این که در دهه‌های اخیر کشور ایرلند با رشد سریع اقتصادی و در نتیجه افزایش تقاضای انرژی روبه‌رو بوده است، انتشار کربن این کشور افزایش پیدا کرده و مطالعات گسترده‌ای در زمینه انتشار کربن در این کشور صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه اُماهونی (2013) در پژوهش خود در این زمینه از رابطه کایا (۲۰۱۰- ۱۹۹۰) استفاده کرد. نتایج نشان داد افزایش جمعیت و رشد اقتصادی بیشترین تأثیر را بر افزایش انتشارهای این کشور داشته و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان راهکاری برای کاهش انتشارها پیشنهاد شد. در پژوهش یائو و همکاران عوامل مؤثر بر انتشار کربن دی‌اکسید در کشورهای G20 بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ تحلیل و مشخص گردید هرچند ۷۵ درصد انتشارهای ناشی از انرژی توسط کشورهای توسعه‌یافته صورت پذیرفته اما اخیراً کشورهای در حال توسعه در میزان انتشار از سایر کشورها پیشی گرفته‌اند و در نهایت جمع‌بندی‌ها نشان داد رشد اقتصادی و جمعیت، عوامل مهم و مؤثر در افزایش انتشار کربن دی‌اکسید هستند. در کشورهای در حال توسعه رشد سریع اقتصادی نیازمند مصرف مقادیر بالای انرژی و منجر به انتشار کربن دی‌اکسید در حجم زیاد می‌شود (Yao et al., 2015). ارزیابی عوامل موثر بر انتشار در میان ده کشور اول انتشاردهنده گازهای گلخانه‌ای در بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۲ نشان داد که شدت کربنی در چین، GDP در آمریکا، کانادا و هند، شدت انرژی در کره و برزیل و جمعیت در روسیه، ژاپن و ایران مهم‌ترین فاکتورهای موثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌روند (Tavakoli, 2018). در ایران نیز مطالعات محدودی در زمینه‌ی تغییرات اقلیمی و انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام شده که چند مورد از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. لطفعلی‌پور و آشنا در زمینه عوامل مؤثر بر تغییر انتشار کربن دی‌اکسید در اقتصاد کشور ایران پژوهشی انجام داده‌اند. بدین منظور تغییرات انتشار کربن دی‌اکسید از چهار عامل اصلی شدت انرژی، ضریب آلودگی، تغییرات ساختاری و فعالیت‌های اقتصادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج در تحلیل کلی نشان داد مهم‌ترین عامل افزایش انتشار کربن دی‌اکسید، رشد اقتصادی و ساختار اقتصادی به میزان کمتری در افزایش انتشارها مؤثر است. همچنین ضریب آلودگی و شدت انرژی در انتشار کربن دی‌اکسید بی‌تأثیر نیستند (لطفعلی‌پور و آشنا، ۱۳۹۰). پاکروان و کاوسی‌کلاشمی در پژوهش خود به بررسی رابطه انتشار گازهای گلخانه‌ای با مصرف انرژی، رشد اقتصادی و تجارت خارجی طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۵۰ در ایران پرداختند. این بررسی براساس منحنی محیطزیستی کوزنتس (EKC) انجام شد که بدین منظور از روش خود توزیع با وقفه‌های گسترده استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داد مصرف سرانه انرژی، تولید ناخالص داخلی و درجه باز بودن اقتصاد تأثیری مثبت و معنادار بر میزان انتشار سرانه کربن دی‌اکسید دارند (پاکروان و کاوسی‌کلاشمی، ۱۳۹۱). براساس تحقیقات گسترده‌ای که در گوشه و کنار جهان با هدف پیش‌بینی یا شناسایی محرک‌ها و پیشران‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای صورت گرفته است، عواملی از قبیل جمعیت، رشد اقتصادی، وضعیت اقلیمی منطقه، شدت انرژی و شدت کربن از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار به شمار می‌روند. هر یک از این عوامل به نحوی باعث افزایش مصرف انرژی (عمدتاً به شکل سوخت‌های فسیلی) و در نتیجه افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. در ادامه به معرفی مختصر هر یک از عوامل پرداخته شده است.

جمعیت : در سال ۱۵۰۰ میلادی، جمعیت جهان حدود ۴۲۵ میلیون نفر و عمده این جمعیت در نیم‌کره شمالی ساکن بودند. از سال ۱۸۰۰ به بعد با پیشرفت کشاورزی و مراقبت‌های بهداشتی، رشد جمعیت سرعت گرفت و در فاصله سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ جمعیت کره زمین دو برابر شد. رشد جمعیت با افزایش تقاضا برای مسکن، خودرو، مشاغل جدید و کالاهای مصرفی همراه خواهد بود که همه این نیازها با افزایش نیاز به سوخت‌های فسیلی و مصرف انرژی برطرف خواهد شد. این در حالی است که تعیین بخشی از انرژی مورد نیاز جامعه با استفاده از سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر، توسعه فرهنگ شهرنشینی و حمل‌ونقل عمومی، بهبود ساختارهای شهری و امکان استفاده از روش‌های جایگزین در طی مسیرهای شهری، توسعه روش‌های جذب و ذخیره سازی کربن (CCS) و دیگر موارد می‌تواند این مسیر را هموارتر و از تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای تا حدی بکاهد.

تولید ناخالص داخلی (GDP) : تولید ناخالص داخلی، ارزش پولی کالاها و خدمات نهایی را محاسبه و شامل کالاها و خدماتی است که برای فروش در بازار تولید می‌شوند. این عبارت تولیدات غیرمستقیم مانند فعالیت‌های خدماتی و یا آموزشی را نیز شامل می‌شود هرچند تمام فعالیت‌های تولیدی در تولید ناخالص داخلی اثرگذار نیستند. تولید ناخالص داخلی اطلاعات مربوط به اقتصاد یک کشور را نشان می‌دهد و بالا بودن آن نشان از وضعیت رفاهی مطلوب کشور دارد (Callen, 2008). به دلیل مداخله دولت‌ها در بازار ارز جهت تضعیف و یا تقویت پول ملی، نرخ‌های متفاوت تورم و همچنین وجود مالیات و یارانه‌های آشکار و پنهان در کشورها، مقایسه تولید ناخالص داخلی کشورها با یکدیگر معیار مناسبی نیست. به همین دلیل صندوق بین‌المللی پول،

تولید ناخالص داخلی بر مبنای برابری قدرت خرید را منتشر می‌نماید. به بیان دیگر PPP یا همان برابری قدرت خرید مفهومی تئوری است که جهت تعیین نرخ واقعی ارز یا نرخ تعادلی بلندمدت ارز متوجه سطوح قیمت‌های داخلی و خارجی می‌گردد. نظریه برابری قدرت خرید بیان‌کننده رابطه بلندمدت بین نسبت قیمت‌ها و نرخ ارز در یک اقتصاد باز است (نصراللهی و شجری، ۱۳۸۱؛ مهرآرا و عباس‌زاده، ۱۳۸۶). مسایلی از قبیل بهبود سطح زندگی افراد، رفاه و انتظار یک فرد از جامعه می‌تواند بر مصرف انرژی تاثیرگذار باشد. به عنوان مثال داشتن خودروی شخصی، تنظیم دمای محیط زندگی در فصول مختلف سال به جای تحمل شرایط دمایی یا تغییر در الگوی پوشش و لباس فرد مثال‌های ساده‌ای از تاثیر رفاه بر مصرف انرژی به شمار می‌آید.

شدت انرژی : در یک تعریف کلی شدت انرژی به نسبت مصرف انرژی به مقدار معینی از خروجی، معمولاً به مقدار انرژی اولیه یا نهایی مصرف‌شده در واحد تولید ناخالص داخلی اشاره دارد (UNFCCC, 2016). بهبود شدت انرژی به توانایی در تامین انرژی موردنیاز با کمترین تاثیر بر محیط‌زیست، کمترین هزینه و حداکثر امنیت انرژی باز می‌گردد. شرایط اقلیمی منطقه محل سکونت می‌تواند بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در میان مناطق جهان تاثیرگذار باشد. به‌عنوان مثال در مناطق سردسیر افراد جهت رفع نیازهای حرارتی خود وابسته به استفاده از وسایل گرمایشی و در نتیجه نرخ مصرف سوخت و انتشار بالاتری را تجربه می‌کنند (Santamouris et al., 2001؛ Yang et al., 2014). در مناطق گرمسیر و دارای رطوبت بالا نیز به همین منوال می‌توان مقادیر بالای مصرف سوخت و انتشار را انتظار داشت (Aldossary et al., 2014). این در حالی است که آب و هوای معتدل و رطوبت در سطح معمول تا حد زیادی نیاز به وسایل گرمایش- سرمایش و در نتیجه مصرف سوخت و انرژی را کاهش می‌دهد. در اغلب مطالعات تاثیر این عامل در قالب مفهوم شدت انرژی تفسیر می‌شود. تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف انرژی، عایق‌بندی ساختمان‌ها و دیگر موارد از اقدامات عملی برای بهبود شرایط محیطزیستی این اقلیم‌ها به‌شمار می‌رود. در بسیاری کشورهای جهان، از جمله چین، بهبود در شدت انرژی به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه در تخفیف در انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌آید.

شدت کربن : مقدار کربن منتشر به ازای واحد انرژی مصرف‌شده را شدت کربن می‌نامند. هنگامی‌که تنها یک سوخت فسیلی مدنظر باشد شدت کربن و ضریب انتشار یکسان، اما هنگامی‌که چند سوخت مورد استفاده قرار گیرد، شدت کربن براساس محتوا، میزان مصرف و سطح انرژی محاسبه می‌شود. در سال‌های اخیر شدت کربنی ناشی از تولید برق در جهان کاهش یافته که علت کاهش را می‌توان در جایگزینی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک مانند باد و خورشید به‌جای زغال‌سنگ دانست. مقدار انتشار کربن از نیروگاه‌های تولید برق طی دهه‌های گذشته به‌طور میانگین ۶۰ کیلوگرم و این مقدار در سال ۲۰۱۶ به ۴۸ کیلوگرم رسیده است. چهار بخش صنعتی، مسکونی، تجاری و حمل‌ونقل مصرف‌کننده نهایی برق می‌باشند. بخش حمل‌ونقل انرژی بسیار کمی مصرف می‌کند و اثر زیادی در شدت کربن ندارد اما سه بخش دیگر با تولید گازهای گلخانه‌ای به‌طور غیرمستقیم در تغییر شدت کربن نقش دارند. ارزیابی محرک‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای در یک کشور یا منطقه می‌تواند نیازهای اساسی و پتانسیل‌های کاهش انتشار را در یک منطقه تعیین کند و این مسئله در شکل‌دهی هرچه بهتر قراردادها و کنواسیون‌های کاهش در مقیاس بین‌المللی باید در نظر گرفته شود. با این رویکرد در پژوهش حاضر تلاش شده است براساس اصلی‌ترین عوامل و محرک‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای در بازه زمانی چهار دهه و در میان کشورهای جهان، برای نخستین بار به شناسایی الگوها و روندهای حاکم در مناطق و کشورهای مجاور پرداخته شود. در این مسیر از آمار فضایی در راستای تعیین همبستگی و الگوهای توزیع استفاده شده است.

۲- روش انجام تحقیق

برای ارزیابی و تعیین نوع و چگونگی توزیع عوامل موثر و پیشران‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای در گام نخست لازم است داده‌های مربوط به هر محرک گردآوری شود. این داده‌ها برای کل کشورهای جهان (براساس موجودیت اطلاعات) و در بازه زمانی چهار دهه (۲۰۱۲-۱۹۷۱) مورد بررسی قرار گرفته است. عوامل مورد بررسی در این پژوهش شامل جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی، شدت کربن و میزان انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی برای هر کشور می‌باشد. داده‌های جمعیت براساس نتایج سرشماری جمعیت کشورهای جهان در سال ۲۰۱۵ توسط سازمان ملل متحد بدست آمده است (UN, 2016). اطلاعات مربوط به وضعیت اقتصادی کشورها، از جمله تولید ناخالص داخلی (US$, 2005)، و شدت کربن از پایگاه آماری بانک جهانی استخراج شده است (World Bank, 2016). داده‌های مربوط به شدت انرژی براساس اطلاعات ارائه شده توسط سازمان اطلاعات انرژی ایالات متحده (EIA) محاسبه شده است (EIA, 2017). برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، با استفاده از داده‌های مصرف انواع سوخت در یک کشور و ضرایب انتشار مرتبط با هر سوخت، میزان انتشارها برآورد شده است. در گام بعدی با استفاده از ضرایب پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)، انتشار گازهای گلخانه‌ای براساس کربن دی‌اکسید معادل (CO_{2eq}) تنظیم شده است. در این پژوهش، داده های مرتبط با انتشار کربن دی‌اکسید ناشی از سوخت‌های فسیلی از مرکز تجزیه و تحلیل اطلاعات کربن دی‌اکسید (CDIAC) تهیه شده است (2017). برای برخی مناطق نیز براساس داده‌های مصرف سوخت آن کشور و طبق دستورالعمل پیشنهادی هیات بین‌الدّولی تغییر اقلیم (2006) برای محاسبه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای عمل شده است. جهت پی بردن به الگوی توزیع مکانی انتشار گازهای گلخانه‌ای در بازه زمانی طولانی‌مدت، از نرم‌افزار ArcGIS 10.3، بخش آمار فضایی استفاده شد. در این قسمت بازه زمانی به چهار دهه (۲۰۱۰-۲۰۰۱، ۲۰۰۰-۱۹۹۱، ۱۹۹۰-۱۹۸۱، ۱۹۸۰-۱۹۷۱) دسته‌بندی و الگوی توزیع مکانی و نقشه‌های خوشه‌بندی برای کشورهای جهان مورد بررسی قرار گرفت. در گام نخست جهت درک بهتر چگونگی توزیع داده‌ها در فضا از تحلیل خودهمبستگی فضایی سراسری (موران جهانی) و سپس مقادیر شاخص موران به دست آمد. در گام بعدی با استفاده از خودهمبستگی فضایی محلی (موران محلی) نحوه توزیع خوشه‌ها در فضای مورد مطالعه بررسی شده است. به دلیل تعداد زیاد نقشه‌ها، تنها نقشه‌های دهه آخر (۲۰۱۲-۲۰۰۱) نمایش داده شده است و دیگر دهه‌ها به صورت تئوری مورد بررسی قرار گرفته است.

شاخص موران برای بررسی خودهمبستگی فضایی به‌صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{n}{S_0} \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{i.j} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^{n} Z_i^2}$$

Z_i: تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه i با میانگین آن

W_{ij}: وزن فضایی بین عارضه i و j

n: تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده

S_0: جمع کل وزن‌های فضایی

$$S_0 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{i.j}$$

تحلیل خوشه[1] و ناخوشه[2] که به شاخص انسلین محلی موران[3] شناخته می‌شود برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا است. این ابزار همچنین محل مقادیر زیاد و کم خوشه‌ها و ناخوشه‌ها را در فضای مورد مطالعه نشان می‌دهد. خروجی ایجاد شده توسط این ابزار به چهار حالت خواهد بود که عبارت‌اند از: خوشه‌های مقادیر بالا-بالا (H-H)، خوشه‌های مقادیر پایین-پایین (L-L)، ناخوشه‌های بالا-پایین (L-H) و ناخوشه‌های پایین-بالا (L-H) (عسگری، ۱۳۹۰). آماره محلی موران I به‌صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$I_i = \frac{X_i - \overline{X}}{S_i^2} \sum_{j=1.j\neq 1}^{n} W_{i.j}(x_i - \overline{X})$$

که در آن X_i خصیصه عارضه i و $\overline{X}$ میانگین خصیصه مربوط به W_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1.j\neq 1}^{n} W_{i.j}}{n-1} - \overline{X}^2$$

که در آن n برابر با تعداد کل عارضه‌ها است. امتیاز استاندارد ZI_i به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ZI_i = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}}$$

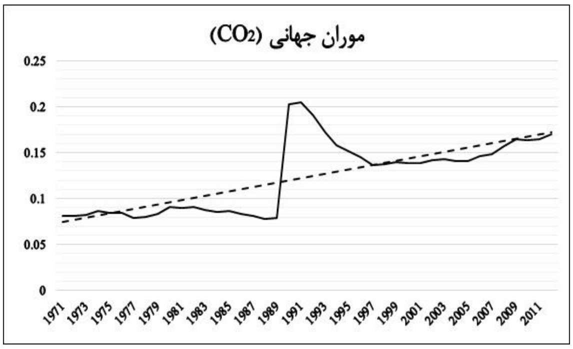
$$E[I_i] = -\frac{\sum_{j=1.j\neq 1}^{n} W_{i.j}}{n-1}$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2$$

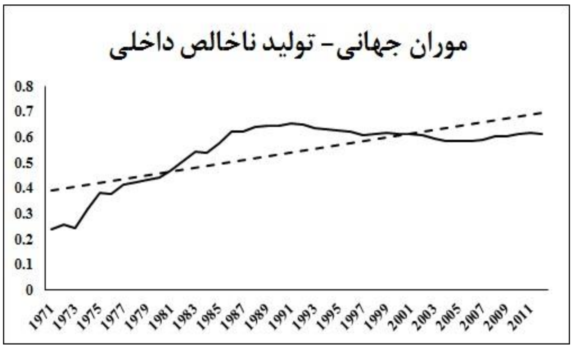
۳- نتایج

- **آمار مکانی- موران جهانی**

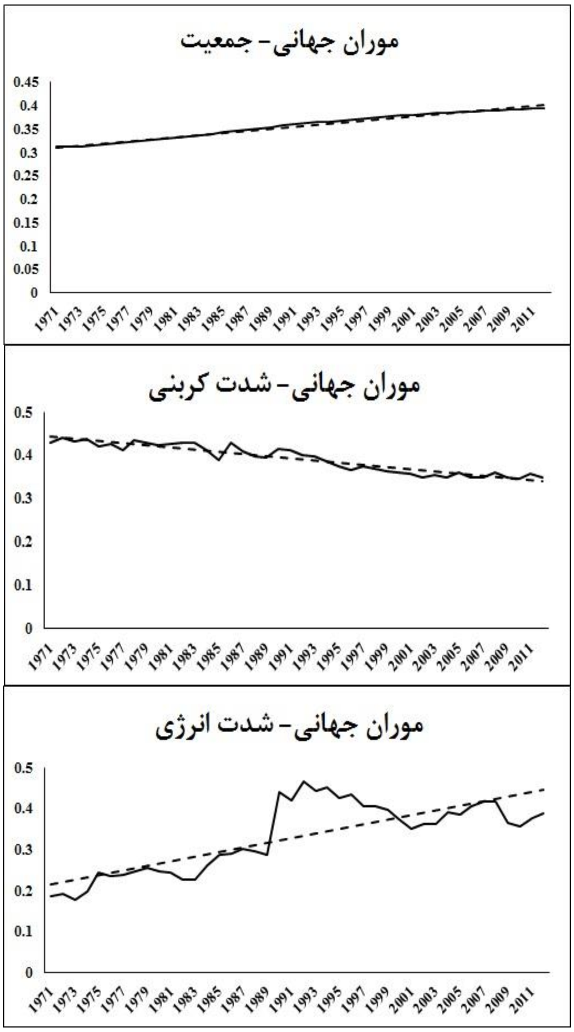
نخستین بخش پژوهش به ارزیابی روند خودهمبستگی فضایی انتشار کربن دی‌اکسید در جهان پرداخته و نتایج آن در شکل ۱ نشان داده شده است. براساس روند صعودی خودهمبستگی می‌توان اظهار کرد ارتباط کشورهای جهان در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در گذر زمان در حال قوی‌تر شدن و به بیانی دیگر افزایش همگرایی کشورها در زمینه انتشار در حال وقوع است. نقطه اوج همگرایی‌ها در حدود سال ۱۹۹۰، همزمان با شکل‌گیری هیات بین‌الدّولی تغییر اقلیم (IPCC) توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) و برنامه محیطزیست سازمان ملل متحد (UNEP) است. این همگرایی الزاماً به معنای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نبوده و در واقع بر رفتارهای یکسان جامعه بین‌الملل تاکید دارد. در صورت مطرح شدن توافقی جامع و بین‌المللی، شانس بالایی برای پذیرش و هم‌سو شدن کشورها در راستای تحقق اهداف کاهش وجود دارد. علاوه بر انتشار کربن دی‌اکسید، روند خودهمبستگی موران جهانی برای دیگر پارامترها مورد بررسی و اغلب مثبت و الگوی خوشه‌ای بر آن‌ها حاکم می‌باشد. جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی (GDP_{capita}) و شدت انرژی در همه کشورها در بازه زمانی ۴۱ ساله با روند افزایشی و همگرایی همراه بوده است. در این دوره، شدت کربنی با کاهش خودهمبستگی مواجه بوده است که از دلایل آن می‌توان به سیاست‌های مختلف کشورهای جهان در این راستا اشاره کرد. برخی کشورهای توسعه‌یافته مانند آلمان به سمت استفاده از انرژی‌های پاک مانند باد روی آورده‌اند اما برخی کشورهای در حال توسعه سیاست خاصی در جهت کاهش شدت کربنی خود اتخاذ نکرده و یا با هدف رشد اقتصادی بیشتر از سوخت‌های آلوده و ارزان قیمت، از قبیل زغال‌سنگ استفاده می‌کنند که این امر باعث کاهش خودهمبستگی پارامتر شدت کربن بین کشورهای جهان شده است.



شکل ۱- الگوی خودهمبستگی فضایی- موران جهانی انتشار بین کشورهای جهان (۲۰۱۲-۱۹۷۱)



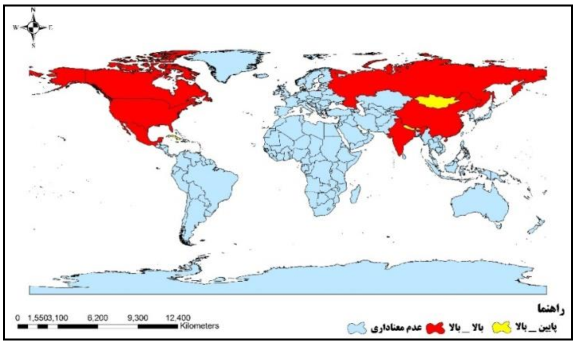
1. Cluster
2. Outlier
3. Anselin Local Moran I



شکل ۲- الگوی خود همبستگی فضایی- موران جهانی پارامترهای تاثیرگذار بر انتشار (۲۰۱۲-۱۹۷۱)

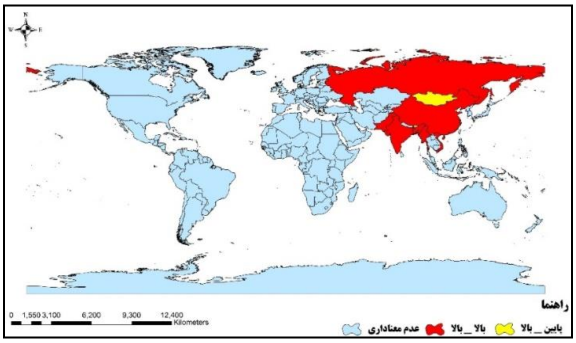
- **آمار مکانی- انسلین موران محلی (تحلیل خوشه و ناخوشه)**

ارزیابی شاخص موران جهانی نشان داد مقادیر انتشار کربن دی‌اکسید و عوامل موثر بر آن (جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی و شدت کربن) از الگوی خوشه‌ای پیروی می‌کنند. شاخص انسلین موران محلی نیز نحوه توزیع خوشه‌ها که در واقع همان مقادیر زیاد و کم خوشه‌ها می‌باشد در فضای مورد مطالعه نشان می‌دهد. انتشار کربن دی‌اکسید: الگوی خوشه‌بندی انتشار کربن دی‌اکسید در طی چهاردهه مورد بررسی نشان می‌دهد در اولین دهه کشورهای آمریکا، کانادا، مکزیک، فرانسه و آلمان دارای الگوی خوشه‌بندی بالا-بالا و کشور چین در این دهه به‌عنوان تکدانه‌ای با ارزش بالا در بین مقادیر کم مشخص و دارای الگوی خوشه‌بندی بالا-پایین می‌باشد. کشورهای توسعه‌یافته و کشورهایی که جزء ۱۰ کشور اول انتشاردهنده گازهای گلخانه‌ای هستند در خوشه‌بندی بالا-بالا جای گرفته‌اند. در دهه دوم (۱۹۹۰-۱۹۸۱) کشورهای روسیه، هند، اوکراین، لهستان و آلمان با افزایش انتشار کربن دی‌اکسید نسبت به دهه گذشته روبه‌رو شده‌اند که باعث شده در الگوی خوشه‌بندی بالا-بالا قرار گیرند. افزایش جمعیت و توسعه فعالیت‌های صنعتی می‌تواند از دلایل محتمل برای افزایش انتشار کشورهای نامبرده باشند. با توجه به اضافه شدن کشورهای نامبرده می‌توان استدلال کرد تا سال ۱۹۹۰ کشورها اقدامی در جهت کاهش انتشارهای خود اتخاذ نکرده‌اند. از الگوی خوشه‌بندی انتشار در دهه سوم می‌توان دریافت که در این دهه علاوه بر کشورهای ذکر شده در دو دهه گذشته، قزاقستان به لیست کشورهای با الگوی خوشه‌بندی بالا-بالا اضافه شده است. در آخرین دهه کشورهای آمریکا، کانادا، چین، روسیه و هند همچنان دارای الگوی خوشه‌بندی بالا-بالا می‌باشند. کشورهای مغولستان، نپال و بوتان در این دهه با افزایش انتشار روبه‌رو شده‌اند اما احتمالاً به دلیل رشد ناچیز در مقدار انتشار کربن دی‌اکسید به‌عنوان مقادیر کم در بین مقادیر بالای انتشار شناخته شده‌اند که باعث شده است در الگوی خوشه‌بندی پایین-بالا قرار بگیرند. به‌عنوان نمونه، نقشه وضعیت توزیع خوشه‌های انتشار کربن دی‌اکسید در دهه آخر در شکل ۳ نشان داده شده است.



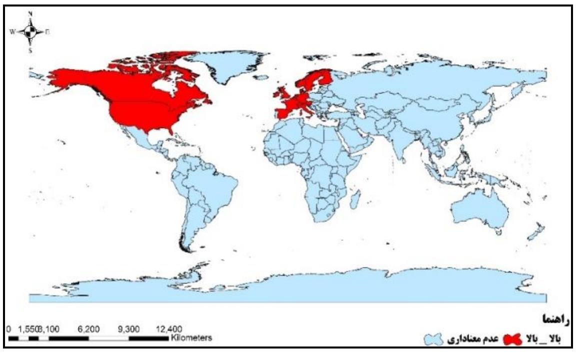
شکل ۳- وضعیت تشکیل خوشه‌های فضایی انتشار کربن دی‌اکسید (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

جمعیت : توزیع فضایی جمعیت در چهار دهه نشان می‌دهد که در دهه نخست، کشورهای چین، هند و بنگلادش دارای خوشه‌های با ارزش بالا بوده‌اند، در دهه دوم روسیه نیز به این گروه اضافه شده است. در دهه‌های بعدی همچنان این الگو تکرار شده است.



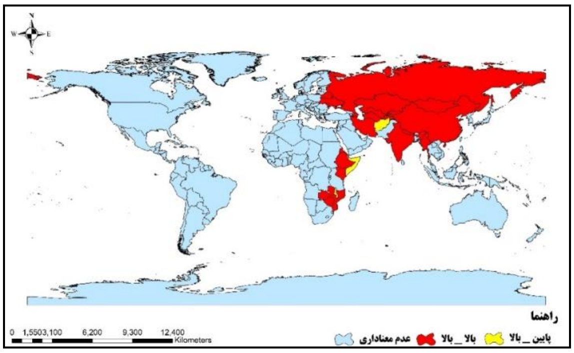
شکل ٤- وضعیت تشکیل خوشه‌های فضایی پارامتر جمعیت (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

سرانه تولید ناخالص داخلی: برای این پارامتر در دهه نخست، کشورهای فرانسه، ایتالیا، سوئیس، بلژیک، فنلاند، سوئد و نروژ از اروپا، کانادا از قاره آمریکا و عربستان از آسیا، کشورهایی هستند که تشکیل خوشه‌های بالا-بالا داده‌اند. این کشورها اغلب از سطح رفاهی بالایی برخوردار هستند. در دهه بعدی آمریکا، اسپانیا و انگلیس نیز به این الگوی خوشه‌بندی ملحق شده‌اند. توسعه صنعتی و گسترش صادرات از مهم‌ترین علل این رشد به‌شمار می‌رود. این الگو در دهه بعدی با افزوده شدن دو کشور قطر و امارات حفظ شده است. در آخرین دهه با وجود ماندگاری کشورهای اروپایی و آمریکایی در الگوی بالا-بالا، کشورهای قطر، عربستان و امارات از الگوی خوشه‌بندی بالا-بالا خارج که از علل احتمالی آن می‌توان به سیاست داخلی این کشورها، جنگ و ناامنی‌ها در منطقه خاورمیانه و تغییرات صورت گرفته در بازار نفت و اوپک اشاره کرد (شکل ۵).



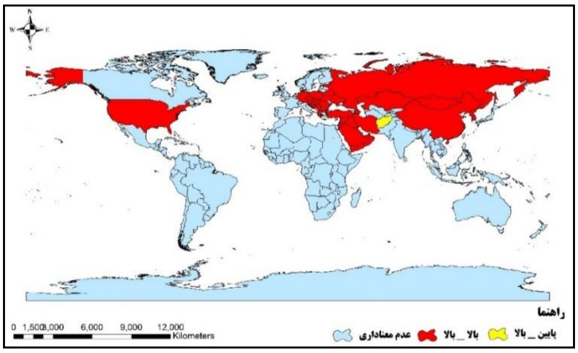
شکل ۵- وضعیت خوشه‌های فضایی سرانه تولید ناخالص داخلی (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

شدت انرژی : کشورهای در حال‌توسعه و کمتر توسعه‌یافته از قبیل سودان، اتیوپی، کنیا، تانزانیا، زیمباوه، چین، هند، پاکستان و چند کشور مجاور آن‌ها در دهه اول الگوی خوشه‌ای بالا–بالا داشته‌اند. معمولاً در این گروه کشورها نسبت انرژی مصرفی بیش از ارزش محصول تولیدی است که باعث بالا بودن شدت انرژی در این کشورها می‌شود. هرچند از الگوی نادرست ساختمان‌سازی، مدیریت و سبک زندگی مردم در کشورهای ضعیف نباید غافل شد. در این دوران مالاوی، لائوس و بوتان کشورهایی هستند که با مقادیر کم شدت انرژی در کنار خوشه‌های با ارزش بالا قرار گرفته‌اند و به‌صورت خوشه‌های پایین–بالا مشاهده می‌شوند. در دهه بعدی، شدت انرژی آفریقا به الگوی بالا–بالا تبدیل شده است، به این معنا که شدت انرژی این کشور در مقایسه با دهه گذشته افزایش یافته است. در دهه سوم چین، نپال، هند و بنگلادش همانند گذشته الگوی بالا–بالا را حفظ کرده‌اند. ایران، ترکمنستان، ازبکستان، آذربایجان، روسیه، اوکراین و بلاروس در این دهه به الگوی خوشه‌بندی بالا–بالا اضافه شده‌اند که حاکی از افزایش شدت انرژی در این مناطق می‌باشد. افزایش شدت انرژی در بین کشورهای در حال توسعه می‌تواند حاکی از افزایش مصرف حامل‌های انرژی باشد. الگوی خوشه‌بندی شدت انرژی در دهه چهارم تفاوت چشم‌گیری نسبت به دهه گذشته نداشته است. چین، نپال، هند، بنگلادش، ایران، ترکمنستان، ازبکستان، روسیه، اوکراین و بلاروس در این دهه همچنان دارای الگوی خوشه‌بندی بالا–بالا هستند. تنها تغییرات شدت انرژی در این دهه اضافه شدن کشورهای اتیوپی و جیبوتی به الگوی خوشه‌بندی بالا–بالا و خروج آذربایجان از این لیست می‌باشد.



شکل ۶- وضعیت تشکیل خوشه‌های فضایی شدت انرژی (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

شدت کربن: در بازه سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۸۰، کشورهای شیلی، آرژانتین، کلمبیا، آمریکا، عمان، عربستان، عراق، یمن، امارات، ترکیه، پرتغال، اسپانیا، فرانسه، انگلیس، بلژیک، هلند و آلمان از الگوی خوشه‌بندی بالا–بالا پیروی می‌کردند. آفریقای جنوبی به‌عنوان تکدانه‌ای با ارزش بالا شناخته شده است که توسط مقادیر کم احاطه شده و الگوی خوشه‌بندی بالا–پایین دارد. کشورهایی مانند عربستان و عراق به دلیل وابستگی به نفت شدت کربنی بالایی را تجربه می‌کنند، ضمن اینکه این کشورها تلاش مطلوبی برای سرمایه‌گذاری و جایگزینی منابع تجدیدپذیر انجام نمی‌دهند. در دهه بعدی آرژانتین و شیلی از الگوی خوشه‌بندی بالا- بالا خارج و مراکش و آفریقا به این خوشه‌بندی وارد شده‌اند. از دلایل قرار گرفتن کشور آفریقا در این گروه می‌توان به تولید برق فراوان و فعالیت‌های معدن‌کاوی اشاره کرد. دهه سوم با تغییرات فراوانی نسبت به ادوار قبلی همراه شده است. آمریکا، کانادا، کلمبیا، مراکش، اسپانیا، پرتغال و فرانسه که در دهه گذشته دارای الگوی خوشه‌بندی بالا–بالا بوده‌اند، در این دهه از این الگو خارج شده‌اند. از دلایل آن می‌توان به کاهش میزان شدت کربن در این کشورها یا افزایش شدت کربن در کشوهای هم‌جوار اشاره کرد که باعث شده این کشورها به‌عنوان مقادیر بالا شناخته نشوند. در این دهه کشورهای روسیه، مغولستان، قزاقستان، ترکمنستان، چین، ایران، بلاروس و لیتوانی در این دهه در خوشه بالا–بالا قرار گرفته‌اند اما افغانستان به‌عنوان تکدانه‌ای با ارزش کمتر در بین کشورهای با مقادیر بالا قرار گرفته است و الگوی پایین–بالا دارد. الگوی خوشه‌بندی دهه آخر (۲۰۱۰-۲۰۰۱) در شکل ۷ نشان داده شده است. تغییرات الگوی شدت کربن در این دهه تغییرات زیادی نسبت به دهه گذشته نداشته است. کشورهایی مانند ایران، چین و روسیه که جزء ۱۰ کشور اول انتشار دهنده گازهای گلخانه‌ای در جهان می‌باشند همچنان دارای الگوی خوشه‌بندی بالا–بالا هستند. علاوه‌بر کشورهای نامبرده، آمریکا در این دهه به خوشه‌بندی بالا–بالا اضافه شده است. تونس، انگلستان، ایرلند و ترکمنستان که در دهه گذشته دارای الگوی خوشه‌بندی بالا–بالا بودند، در این دهه هیچ نوع الگوی خوشه‌ای ندارند.



شکل ۷- وضعیت تشکیل خوشه‌های فضایی شدت کربن (۲۰۱۰-۲۰۰۱)

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر تلاش شد مهم‌ترین عوامل و محرک‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای (شامل جمعیت، تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی و شدت کربنی) در بازه زمانی چهار دهه (۲۰۱۲-۱۹۷۱) در میان کشورهای جهان مورد بررسی و مشابهت‌ها و الگوهای توزیع در میان آن‌ها مورد تحلیل قرار گیرد. از حدود سال‌های ۱۹۹۰ و شکل‌گیری هیات بین‌الدّولی تغییر اقلیم (IPCC) مسیر کشورها در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای تغییر و الگویی همگرا و رو به رشد در حال شکل‌گیری است. با افزایش جمعیت و تلاش کشورهای در حال توسعه در جهت صنعتی شدن، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و نیز خوشه‌های بالا–بالا، به‌ویژه در میان در حال توسعه‌ها در حال افزایش است و پژوهش‌های قبلی با روش‌ها

و تکنیک‌های دیگر این مسئله را تایید می‌کنند (Malik et al., 2016؛ Andreoni & Galmarini, 2016؛ Tavakoli, 2017). همچنین یائو و همکاران (2015) در پژوهش خود دریافتند در گذشته ۷۵ درصد انتشارهای ناشی از انرژی در کشورهای توسعه یافته اتفاق افتاده است اما اخیراً کشورهای در حال توسعه در میزان انتشار از سایر کشورها پیشی گرفته‌اند. همانطور که در نتایج حاصل از پژوهش حاضر ملاحظه می‌شود، در دهه‌های اول کشورهای در حال توسعه غالباً دارای الگوی خوشه‌بندی نبوده و تأثیر کمی از پارامترهای تأثیرگذار بر انتشارها می‌پذیرند اما رفته‌رفته این کشورها با رشد اقتصادی و صنعت تأثیر بیشتری از پارامترهای اثرگذار بر انتشار کربن دی‌اکسید پذیرفته و دچار میزان بالای انتشار و الگوی خوشه‌ای بالا-بالا شده‌اند. رشد جمعیت یکی دیگر از محرک‌های تغییر اقلیم و اغلب در کشورهای در حال توسعه شرق آسیا و آفریقا مورد بررسی قرار گرفته است. نقش جمعیت در افزایش انتشارها مسجل و در سناریوهای انتشار نیز همواره مطرح بوده است. این پژوهش نشان داد بیشترین تاثیر جمعیت در منطقه آسیا دیده می‌شود و در واقع مهم‌ترین محرک انتشار در این قاره است. پژوهش‌های دیگر از جمله (Hardee, 2011؛ Satterthwaite, 2009؛ Jiang & Mc Cain et al., 2016) نیز این مسئله را تایید می‌کنند. شرایط اقلیمی و نوع الگوی توسعه یک کشور در میزان شدت انرژی نقش بسزایی دارد و با لحاظ نمودن مواردی از قبیل قیمت انرژی و بکارگیری مفاهیمی از قبیل بهینه‌سازی مصرف می‌توان تاثیر این شاخص را در بخش‌های مختلف جهان مورد مطالعه قرار داد. اکثر کشورهای آسیایی و معدودی آفریقایی به‌واسطه دسترسی به منابع نفت و گاز مصارف بالایی از انرژی در کنار درآمد و بهره‌وری پایین را تجربه می‌کنند. ضمن اینکه الگوی توسعه در اغلب این کشورها مبتنی بر توسعه صنعتی همراه با مصرف بالای سوخت و مواد معدنی است (Wu et al., 2016؛ Shahbaz et al., 2015). این در حالی است که اغلب کشورهای توسعه‌یافته (عمدتاً در اروپا و آمریکا) در راستای ارایه خدمات و صنایع پاک و کم‌کربن حرکت می‌کنند (Ivanova et al., 2017). همچنین توسعه و سرمایه‌گذاری بر انرژی‌های نو و تجدیدپذیر یا سوخت‌های پاک می‌تواند همگرایی کشورهای توسعه‌یافته را در پی داشته باشد (Howard et al., 2018؛ Kopidou et al., 2016؛ Shafiei & Salim, 2014). تجزیه و تحلیل انتشار کربن دی‌اکسید و ارتباط آن با تولید ناخالص داخلی و شدت انرژی جهان در فاصله سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۱، نتایج مشابهی با دستاوردهای این پژوهش نشان می‌دهد. رامانتهان (2006) در پژوهش خود به این نتیجه رسید که جهان در سال ۱۹۸۰ برای رسیدن به رشد اقتصادی بیشترین اثر را بر انتشار گاز کربن دی‌اکسید داشته است. در پژوهش حاضر نیز نتایج حاکی از آن است که عوامل اقتصادی در فاصله سال‌های ۱۹۸۰-۱۹۹۱ بیشترین تأثیرگذاری را بر انتشار کربن دی‌اکسید داشته است. عوامل مختلفی در افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مداخله می‌کنند و این مطالعه به ارزیابی رفتار کشورهای مختلف جهان در این زمینه پرداخته است. آنچه به عنوان جمع‌بندی می‌توان اشاره داشت نقش پررنگ کشورهای آسیایی در افزایش جمعیت، کشورهای غرب اروپا و آمریکای شمالی در سرانه تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی بالا در کشورهای آسیایی و معدودی از کشورهای آفریقا و در نهایت شدت بالای کربنی در کشورهای آسیایی و آمریکا می‌باشد که منجر به افزایش انتشارها شده‌اند. وجود فعالیت‌ها و نیازهای مشابه، شرایط اقلیمی همسان و وجود منابع سوخت فسیلی (از قبیل نفت و زغال‌سنگ) در مناطق مشخص جهان به این همگرایی‌ها دامن زده است. با این رویکرد شناسایی عوامل موثر و موضعی می‌تواند در تدوین برنامه‌ها و مسئولیت‌های کاهش انتشار به صورت منطقه‌ای موثر واقع شود و هر منطقه از جهان متناسب با پتانسیل‌های موجود در مسیر کاهش انتشارها گام بردارد. این در حالی است که معاهدات فعلی اغلب کشورها را صرفاً از منظر توسعه‌یافته یا در حال توسعه بودن طبقه‌بندی می‌کنند و هیچ تمرکزی بر عوامل و محرک‌های انتشار کشورها وجود ندارد و در نتیجه بسیاری کشورها شرکت در این معاهدات و اهداف کاهش را ناعادلانه می‌پندارند و از پذیرش آن‌ها سر باز می‌زنند.

منابع

- پاکروان، م.ر.، کاوسی کلاشمی، م.، ۱۳۹۱. بررسی رابطه انتشار گازهای گلخانه‌ای با مصرف انرژی، رشد اقتصادی و تجارت خارجی در ایران، مجموعه مقالات اولین همایش بین‌المللی اقتصادسنجی، روش‌ها و کاربردها، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج.
- لطفعلی‌پور، م.ر.، آشنا، م.، ۱۳۹۰. بررسی عوامل مؤثر بر تغییر انتشار دی‌اکسیدکربن در اقتصاد ایران، مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۶، شماره ۲۴، ص ۱۲۱-۱۴۵.
- نصراللهی، خ.، شجری، ه.، ۱۳۸۱. نظریه برابری قدرت خرید و ساختار بازار ارز در ایران، پژوهش‌های اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)، سال ۲، شماره ۶-۵، ص ۱۶۹-۲۰۸.
- عسگری، ع.، ۱۳۹۰. تحلیل‌های آماری با ArcGIS، انتشارات سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران.
- مهرآرا، م.، عباس‌زاده، ن.، ۱۳۸۶. آزمون تجربی نظریه برابری قدرت خرید (PPP) در کشورهای صادرکننده نفت با رویکرد داده‌های پانل، نامه مفید، سال ۱۳، شماره ۶۰، ص ۴۳-۶۰.
- Aldossary, N. A., Rezgui, Y., Kwan, A. 2014. Domestic energy consumption patterns in a hot and humid climate: A multiple-case study analysis, Applied Energy, No. 114, P. 353-365.

- Andreoni, V., Galmarini, S. 2016. Drivers in CO_2 emissions variation: A decomposition analysis for 33 world countries, Energy, No. 103, P. 27-37.
- Callen, T. 2008. What Is Gross Domestic Product?, Finance & Development.
- CDIAC. 2017. CO_2 emissions (metric tons per capita), Carbon Dioxide Information Analysis Center. United States, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.
- EIA. 2017. Monthly Energy Review, Energy Information Administration, Office of Energy Administration U.S. Department Energy Washington, DC.
- Freije, A. M., Hussain, T., Salman, E. A. 2017. Global warming awareness among the University of Bahrain science students, J. Assoc. Arab Univ. Basic Appl. Sci., No. 22, P. 9-16.
- Howard, B. S., Hamilton, N., Diesendorf, M., Wiedmann, T. 2018. Modeling the carbon budget of the Australian electricity sector's transition to renewable energy, Renewable Energy, No. 125, P. 712-728.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC.
- IPCC. 2013. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, The physical science basis, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Ivanova, D., Vita, G., Steen-Olsen, K., Stadler, K., Melo Patricia, C., Wood, R., Hertwich Edgar, G. 2017. Mapping the carbon footprint of EU regions, Environ. Res. Lett., Vol. 12, No. 5, P. 054013.
- Jiang, K. J., Tamura, K., Hanaoka, T. 2017. Can we go beyond INDCs: Analysis of a future mitigation possibility in China, Japan, EU and the US, Advances in Climate Change Research, Vol. 8, No. 2, P. 117-122.
- Jiang, L., Hardee, K. 2011. How do recent population trends matter to climate change?, Population Research and Policy Review, Vol. 30, No. 2, P. 287-312.
- Kopidou, D., Tsakanikas, A., Diakoulaki, D. 2016. Common trends and drivers of CO_2 emissions and employment: a decomposition analysis in the industrial sector of selected European Union countries, J. Cleaner Prod., No. 112, P. 4159-4172.
- Malik, A., Lan, J., Lenzen, M. 2016. Trends in global greenhouse gas emissions from 1990 to 2010, Environ. Sci. Technol., Vol. 50, No. 9, P. 4722-4730.
- McCain, C., Szewczyk, T., Bracy-Knight, K. 2016. Population variability complicates the accurate detection of climate change responses, Global change biology, Vol. 22, No. 6, P. 2081-2093.
- O'Mahony, T. 2013. Decomposition of Ireland's carbon emissions from 1990 to 2010: An extended Kaya identity, Energy Policy, No. 59, P. 573-581.
- Ramanathan, R. 2006. A multi-factor efficiency perspective to the relationships among world GDP, energy consumption and carbon dioxide emissions, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 73, No. 5, P. 483-494.
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., Assimakopoulos, D. N. 2001. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings, Solar Energy, Vol. 70, No. 3, P. 201-216.
- Satterthwaite, D. 2009. The implications of population growth and urbanization for climate change, Environment and Urbanization, Vol. 21, No. 2, P. 545-567.
- Shafiei, S., Salim, R. A. 2014. Non-renewable and renewable energy consumption and CO_2 emissions in OECD countries: A comparative analysis, Energy Policy, No. 66, P. 547-556.
- Shahbaz, M., Solarin, S. A., Sbia, R., Bibi, S. 2015. Does energy intensity contribute to CO_2 emissions? A trivariate analysis in selected African countries, Ecol. Indic., No. 50, P. 215-224.
- Tavakoli, A. 2017. How Precisely «Kaya Identity» Can Estimate GHG Emissions: A Global Review, Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 8, No. 2, P. 91-96.
- Tavakoli, A. 2018. A Journey among Top Ten Emitter Country, Decomposition of ‘Kaya Identity’, Sustainable Cities and Society, No. 38, P. 254-264.
- UN, Department of Economic and Social Affairs. 2016. Population Division, World Population Prospects, the 2015 Revision. UN.
- UNFCCC. 2016. Glossary, UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Wang, C., Chen, J., Zou, J. 2005. Decomposition of energy-related CO_2 emission in China: 1957–2000, Energy, Vol. 30, No. 1, P. 73-83.
- World Bank. 2016. World Development Indicators, Annual Report, The World Bank.

- Wu, J., Zhu, Q., Liang, L. 2016. CO_2 emissions and energy intensity reduction allocation over provincial industrial sectors in China, Applied Energy, No. 166, P. 282-291.
- Yang, L., Yan, H., Lam, J. C. 2014. Thermal comfort and building energy consumption implications: a review, Applied Energy, No. 115, P. 164-173.
- Yao, C., Feng, K., Hubacek, K. 2015. Driving forces of CO_2 emissions in the G20 countries: An index decomposition analysis from 1971 to 2010, Ecological informatics, No. 26, P. 93-100.
- Zhang, M., Mu, H., Ning, Y., Song, Y. 2009. Decomposition of energy-related CO_2 emission over 1991–2006 in China, Ecological Economics, Vol. 68, No. 7, P. 2122-2128.

Evaluation of the Distribution Pattern of Driving Forces of GHG Emissions among World Countries

Azadeh Tavakoli[1*]، Younes Khosravi[2]، Mohammad Mehdi Doaiee[3]

[*]1. Assistant Professor, Department of Environmental Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2. Associate Professor, Department of Environmental Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3. MSc., Department of Environmental Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran

[*]Email Address: atavakoli@znu.ac.ir

Abstract

Climate change, greatest challenge of humanity, needs quick actions for control and identification of emission reduction drivers with least economic aspects. This research paid to evaluation of most important drivers of emissions among world's countries (1971-2012). Population, GDP_{capita}, energy and carbon intensity are considered for this purpose and spatial autocorrelation techniques such as global and local Moran used to investigate the correlation of emissions with effective parameters. The results of study show positive, growing correlation about emissions, peak time of convergence observed during formation of IPCC and economic growth has highest correlation with emissions. Global Moran proved that all data had a positive affinity and followed the cluster distribution. Local moron showed in the early decades, High-High clusters formed only among industrialized countries, but over time, developing countries have been joined. Population growth among Asian countries, GDP_{capita} for Western European and North American countries, high energy intensity among Asian and a few African countries, and finally high levels of carbon intensity by Asian and American countries, has led to an increase of GHG emissions. Identification of emission driving forces has an effective role in determination of emission shares and reduction responsibilities and could lead to acceptance of treaties by all.

Introduction

Climate change and its consequences as an irreversible situation changed to the focal point for many researchers over the last two decades. These challenges are a result of the over-emission of greenhouse gases (GHGs). According to the 2018 World Rankings, China (28%), USA (15%), India (7%), Russia (5%), Japan (3%), Germany (2%), Iran (2%), Korea (2%), Saudi Arabia (2%) and Indonesia (2%) are the top ten emitters. The economic damages on one side and the uncertain future of the planet because of this phenomenon on the other side has led to many international efforts to converge the countries, put emission reduction strategies and limitations on carbon footprints. Among the many meetings that have been held to reach a comprehensive international agreement, the COP21 Summit could be considered as the first global and legally binding agreement on climate change. The agreement was accepted and agreed on December 12, 2015, among 195 countries. The turning point of this agreement compared to previous efforts is that in this document not only 40 developed and industrialized countries, but also all countries, developed and developing, from 2020 are committed to reduce greenhouse gas emissions. Various approaches are proposed to reduce emissions, which are placed at different levels in terms of economics and public acceptance. Each country seeks to avoid emission reduction responsibilities and to act as cost-effective as possible if forced to do that. Neighboring countries usually follow similar patterns. For example, oil-exporting countries, high population countries, similar climate regions, etc. are often adjacent to each other, and this issue affects the choice of methods to reduce emissions. Identifying patterns and trends which affect emissions in each region is important from two aspects. First, the factors affecting the emission of greenhouse gases, which can be derived from the climate of the region, the level of welfare or other issues, and the identification of prevailing patterns could be effective in identifying the drivers and factors involved in emissions. The second refers to the determination of emission reduction responsibilities based on the potentials and interests of each region and suggests different paths of reduction based on different regions of the world.According to extensive researches conducted around the world to predict or identify the drivers of greenhouse gas emissions, population, economic growth, climatic conditions, energy and carbon intensity are among the most important and influential parameters. These factors could increase energy consumption (mainly in the form of fossil fuels) and thus increases greenhouse gas emissions. Assessing emission drivers in a country or region could determine the basic needs and potentials for emission reduction, and this should be taken into account in shaping international reduction instructions and contracts. In the present study, the main factors and

drivers of greenhouse gas emissions over four decades and among countries around the world are investigated for the first time and tried to identify patterns and trends in neighboring regions and countries. In this attempt, spatial statistics have been used to determine correlations and distribution patterns.

Methodology

To evaluate and determine the distribution pattern of effective factors and emissions drivers in the first step, it is necessary to collect data related to each one. These data have been collected for all countries of the world (based on the availability of information) over four decades (2012-1971). Studied factors in this study include population, GDP_{capita}, energy intensity, carbon intensity and carbon dioxide emissions from fossil fuel combustion of each country. Population data are based on the results of the 2015 World Census by the United Nations (UN, 2016). Information on the economic situation of countries, including GDP (US $, 2005), and carbon intensity is extracted from the World Bank Statistics Database (World Bank, 2016). Energy intensity data are calculated based on information provided by the Energy Information Administration of the United States (EIA) (EIA, 2017). To determine the amount of greenhouse gas emissions, fossil fuel consumption data of each country and the emission coefficients for fuel types are used.In the next step, global warming potentials (GWP) are considered to determine the equivalent carbon dioxide emissions (CO_{2eq}). In the present study, data related to carbon dioxide emissions of fossil fuels were obtained from the Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC- 2017). For some areas, based on the country's fuel consumption data and the guidelines proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), emissions have been calculated.The spatial distribution of greenhouse gas emissions over a long period is evaluated using ArcGIS 10.3, spatial statistics tools. The studied period is classified into four decades (2001-2010, 1991-2000, 1981-1990 and 1971-1980) and the pattern of spatial distribution and clustering maps for the countries of the world were examined. In the first step, the global spatial autocorrelation analysis (global Moran) and then Moran index values were obtained. In the next step, local spatial autocorrelation (local Moran’s I) is applied to investigate the distribution of clusters. Due to a large number of maps, only the maps of the last decade (2001-2012) are shown and other decades are theoretically examined.

Conclusion

In the present study, the most important factors and drivers of greenhouse gas emissions (including population, GDP, energy intensity and carbon intensity) and distribution patterns were analyzed over four decades (1971-2012) and among all the countries. According to the results of Global Moran’s I index and based on the upward trend of autocorrelation, the countries in the case of GHG emissions follow an increasing trend, the relationships are becoming stronger over time and the convergence of countries in the field of emissions is improving. The peak of convergence back to around 1990, when the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was formed by the World Meteorological Organization (WMO) and the United Nations Environment Program (UNEP). The trend of global Moran’s I autocorrelation for other parameters are examined and the results indicated a positive and clustering pattern. Population, GDP_{capita} and energy intensity in all countries over 41 years have been accompanied by an increasing trend and convergence. The results also show the High-High clusters of spatial autocorrelation for carbon dioxide emissions in studied decades. Population growth as an important driver of climate change often has been studied in developing countries in East Asia and Africa. The role of the population in increasing emissions has been documented and has always been discussed in emission scenarios. The present study showed that the greatest impact of the population could be seen in the Asian region and it is the most important driver of this continent. Climatic conditions and the development pattern of a country play an important role in energy intensity. Considering issues such as energy prices and the concepts such as consumption optimization, the impact of this index can be studied in different parts of the world. Most Asian and a few African countries experience high energy consumption along with low incomes and productivity due to access to oil and gas resources. While, the development pattern in most of these countries is based on industrial development with high consumption of fuel and minerals. However, most of developed countries (mainly in Europe and the United States) are moving towards clean and low carbon services and industries. Also, development and investment in new and renewable energy or clean fuels can lead to the convergence of developed countries. Various factors influence the emission of greenhouse gases, and this study has evaluated the behavior of different countries in this field. In conclusion, the prominent role of Asian countries in population growth, Western Europe and North America in

GDP_{capita}, high energy intensity in Asian countries and a few African countries, and finally high carbon intensity in Asian countries and the United States, have led to an increase in emissions. The existence of similar activities and needs, the same climatic conditions, and the existence of fossil fuel resources (such as oil and coal) in certain parts of the world have been fueled these convergences. With this approach, identifying effective and local factors could be effective in formulating emission reduction scenarios and responsibilities, and each region of the world will take steps to reduce emissions in accordance with the existing potentials. However, the current treaties classify most countries in terms of developed or developing, and there is no focus on the factors and incentives for countries to be evaluated, and as a result, many countries consider it unfair to participate in these treaties and reduction goals and don’t ratify them.

Keywords
Climate Change, Driving Forces, Kaya, Spatial Statistics, World