

تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) و پتانسیل‌های کاهش انتشار در ایران

آزاده توکلی

دکترای مهندسی محیط‌زیست، عضو هیئت علمی گروه علوم محیط‌زیست دانشگاه زنجان،

atavakoli@znu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۰۶

چکیده

تغییرات اقلیمی جز در سایه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سطح امن، قابل کنترل نمی‌باشد. در این راستا شناسایی عوامل مؤثر بر انتشار و تحلیل سناریوهای ممکن برای تحقق این هدف اهمیت فراوانی دارد.

در پژوهش حاضر با استفاده از روش میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا (LMDI) در تلفیق با مدل توسعه‌یافته کایا (EKI) پنج عامل مؤثر شامل جمعیت، سرانه GDP، شدت انرژی، شدت کربن و سهم سوخت‌های فسیلی در بازه زمانی ۲۰۱۲-۱۹۷۱ برای کشور ایران مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی و مقایسه دو روش تحلیل زنجیره‌ای و غیرزنجیره‌ای و سناریوهای مختلف کاهش انتشار براساس INDC پیشنهادی از دیگر بخش‌های پژوهش است.

براساس نتایج، شدت کربن، اثر فعالیت و جمعیت دارای اثر افزایشی و سهم سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین عامل کاهش انتشارها است. اقدامات آتی دولت باید براساس تغییر سوخت مصرفی و الگوی رشد اقتصادی کم‌کربن متمرکز شود. تحلیل زنجیره‌ای به‌عنوان یک واقع‌نگار، تأثیر رویدادها را بر عوامل مؤثر و انتشارها نشان می‌دهد. درحالی‌که تحلیل غیرزنجیره‌ای با حذف نوسانات، تصویری شفاف از الگوهای کلی ارائه می‌دهد، از میان سناریوهای پیشنهادی تک‌بعدی کاهش، بهترین و منطقی‌ترین گزینه کاهش سهم سوخت‌های فسیلی (تا ۴۰ درصد نسبت به ۲۰۲۰) و اتکاء بر منابع تجدیدپذیر است. کاهش شدت کربن و شدت انرژی (هر یک به‌میزان ۵۰ درصد نسبت به سال ۲۰۲۰) گزینه‌های بعدی به‌شمار می‌رود.

طبقه‌بندی JEL: Q01، Q54

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، LMDI، جمعیت، اثر فعالیت، شدت کربن، شدت انرژی

۱- مقدمه

طی دو دهه اخیر تغییرات آب و هوا به‌عنوان بزرگ‌ترین معضل زیست محیطی پیش روی بشر، بسیاری از کشورها و مناطق جهان را درگیر پیامدهای منفی نموده است. ماهیت ناعادلانه این پدیده با توجه به بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و صنعتی که مسیر توسعه خود را بر مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs)^۱ بنیان نهاده‌اند و باعث تشدید این پدیده شده‌اند، کمتر از کشورهای در حال توسعه یا کمتر توسعه‌یافته درگیر چالش‌ها و اثرات مخرب آن می‌باشند. چه‌بسا کشورهایی که توان اقتصادی مقابله با اثرات منفی این پدیده یا احداث زیرساخت‌های لازم در زمینه تغییر اقلیم را ندارند. در سال‌های اخیر برخی کشورهای در حال توسعه مسیر پیشرفت خود را مطابق کشورهای توسعه‌یافته با استفاده گسترده از سوخت‌های فسیلی (نفت، گاز و زغال‌سنگ) پیش برده‌اند. طبق آخرین طبقه‌بندی رسمی سال ۲۰۱۶، بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گازهای گلخانه‌ای (CO_{2eq})^۲ در جهان (درصد) شامل چین (۲۸/۲۱)، ایالات متحده (۱۵/۹۹)، هند (۶/۲۴)، فدراسیون روسیه (۴/۵۳)، ژاپن (۳/۶۷)، آلمان (۲/۲۳)، کره (۱/۷۵)، ایران (۱/۷۲)، کانادا (۱/۷۱)، و عربستان سعودی (۱/۵۶) می‌باشد (استاتیستا^۳، ۲۰۱۷؛ جرمن واچ^۴، ۲۰۱۶). تغییرات ناهمسان دمای، تغییر در الگوی بارش‌ها، طوفان و سونامی، ذوب یخ‌های قطبی و افزایش سطح آب‌ها برخی از شایع‌ترین پیامدهای تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود. براساس گزارش مرکز ملی NOAA در مطالعات محیط‌زیست (NCEI)، در سال ۲۰۱۶ در ایالات متحده آمریکا ۱۵ رویداد اقلیمی (شامل خشکسالی، آتش‌سوزی، ۴ سیلاب، ۸ طوفان شدید و تعدادی سیکلون گرمسیری) به‌وقوع پیوست که منجر به ۱۳۸ مورد مرگ و میر و ۴۶ میلیارد دلار خسارت مستقیم شد (اسمیت^۵، ۲۰۱۷). این تنها نمونه‌ای از پیامدهای سالانه تغییر اقلیم در یک کشور توسعه‌یافته می‌باشد. در بسیاری از کشورهای فقیر یا کمتر توسعه‌یافته حتی امکان مقابله یا برآورد خسارت‌های احتمالی تغییر اقلیم وجود ندارد. تنها راه حل علمی و عملی برای کاهش یا مقابله با این رویداد طبیعی تشدید یافته را

1. Greenhouse Gases (GHGs)
2. Carbon Dioxide Equivalent (CO_{2eq})
3. Statista
4. Germanwatch
5. Smith

می‌توان در تلاش‌های جهانی برای کاهش سریع انتشار گازهای گلخانه‌ای خلاصه کرد. به همین منظور هر ساله جلسات و نشست‌های مختلفی با هدف تشریح وضع موجود و پیش‌بینی آینده، همسان‌گرایی و تلاش برای همیاری و کمک به کشورهای کمتر توسعه‌یافته و در حال توسعه برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سازگاری با تغییرات اقلیمی صورت می‌گیرد. نشست اقلیمی پاریس (COP21)^۱ در دسامبر ۲۰۱۵ را می‌توان نخستین توافق الزام‌آور بین‌المللی برای مقابله با تغییرات آب و هوا دانست که مورد توافق ۱۹۵ کشور جهان و از سال ۲۰۲۰ لازم‌الاجرا خواهد شد (یونپ^۲، ۲۰۱۵).

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تأمین انرژی از سوخت‌های تجدیدپذیر و غیرفسیلی نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان اقتصادی و به‌کارگیری فناوری‌های نوین در حوزه‌های مختلف است. بهینه‌سازی مصرف انرژی، بهبود شدت انرژی، به‌کارگیری سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر بجای سوخت‌های فسیلی آلوده و کاهش شدت کربن از جمله راهکارهای اساسی در حوزه کاهش انتشار یک کشور به‌شمار می‌روند. این اقدامات با کاهش درآمد و نیاز به سرمایه‌گذاری همراه است و به همین دلیل دولت‌ها تلاش می‌کنند از پذیرش مسئولیت‌های کاهش انتشار سر باز زده، تا حد امکان این مسئولیت را به دیگر کشورها محول کنند^۳ و در مقابل از فرصت‌های موجود در جهت پیشرفت اقتصادی و توسعه صنعتی با استفاده از سوخت‌های فسیلی ارزان‌قیمت به نفع خود بهره‌برداری نمایند. در مقابل، کشورها و دولت‌هایی که هدف کاهش انتشار با کمترین پیامدهای اقتصادی منفی را دنبال می‌کنند نیازمند آن هستند که با مطالعه بخش‌های مختلف، سهم هر یک در انتشار گازهای گلخانه‌ای، درآمدهای اقتصادی و شناخت مکانیسم‌های حاکم بر هر بخش، در جهت بهینه‌سازی و افزایش راندمان اقتصادی گام بردارند.

۲- مبانی نظری تحقیق

ارتقاء دانش بشری در حوزه تغییر اقلیم، خسارت‌های اقتصادی ناشی از آن و فشارهای جامعه بین‌الملل در راستای تعدیل و سازگاری با این پدیده سبب شده همه

1. Conference of the Parties (COP)

2. UNEP

3. Free ride incentive

کشورها، اعم از توسعه‌یافته و در حال توسعه، تلاش کنند راه‌حل‌های منطقی و اقتصادی برای کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و یا بازیابی گازهای گلخانه‌ای را در زمره سیاست‌های ملی خود قرار دهند. بخشی از این تلاش‌ها منجر به تحقیق در زمینه ساختار انتشار گازهای گلخانه‌ای و شناسایی عوامل مؤثر بر انتشار شده است. تحلیل تجزیه‌ای (DA^۱) از طریق دو روش تحلیل تجزیه، شامل تحلیل تجزیه شاخص (IDA^۲) و تحلیل تجزیه ساختاری (SDA^۳) از کاراترین روش‌ها برای این منظور به‌شمار می‌روند. تحلیل تجزیه شاخص با بهره‌گیری از داده‌های تجمیع شده در سطح بخشی و کلان و در مقابل تحلیل تجزیه ساختاری با اتکاء بر جداول داده-ستانده و حجم بالایی از داده‌های آماری و اطلاعاتی (که در اکثر موارد موجود نیست) به تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر می‌پردازند. برای ساخت شاخص در تکنیک IDA از روش‌های شاخص لاسپیرز^۴ (شامل شاخص لاسپیرز پایه، شاخص پاشه، شاخص فیشر و شاخص مارشال-اجورث) یا شاخص دیویژیا^۵ (شامل شاخص دیویژیا میانگین حسابی، دیویژیا میانگین لگاریتمی) استفاده می‌شود. شاخص لاسپیرز در برابر تعدد عوامل مؤثر دچار پیچیدگی در فرمول‌های محاسباتی می‌شود، به همین دلیل در مطالعات مربوط به عوامل مؤثر در مصرف انرژی یا انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در مقابل شاخص‌های دیویژیا با دارا بودن ویژگی‌هایی از قبیل ساختار تنوری، انعطاف‌پذیری، سهولت در استفاده و تفسیر نتایج بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند (انگ^۶، ۲۰۰۴). در مقایسه دو روش شاخص دیویژیا (دیویژیا میانگین حسابی (AMDI^۷) و لگاریتمی (LMDI^۸))، روش لگاریتمی ترجیح داده می‌شود. علت آن را می‌توان در ضعف روش AMDI در برقراری آزمون برگشت عامل، گاهی ایجاد پسماند و نیز مشکل محاسباتی در صورت وجود مقادیر صفر در فرآیند آماری دانست. درحالی‌که روش LMDI با توزیع جمله اخلاص مطابق اصل توزیع برابر (پورعبادالهان کویچ و همکاران، ۱۳۹۴) و

1. Decomposition Analysis
2. Index Decomposition Analysis
3. Structural Decomposition Analysis
4. Laspeyres
5. Divisia
6. Ang
7. Arithmetic Mean Divisia Index
8. Logarithmic Mean Divisia Index

جایگزینی مقادیر کوچک (SV) (مثلاً به جای صفر از $10^{-100} = \delta$ استفاده می‌شود) این مشکل را برطرف کرده است (انگ و لیو^۱، ۲۰۰۷).

با این رویکرد در پژوهش حاضر به ارزیابی سهم عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ایران در یک بازه زمانی ۴۰ ساله (۲۰۱۲-۱۹۷۱) پرداخته شده است. روش تحلیل تجزیه شاخص دیویژیا میانگین لگاریتمی (LMDI) در ترکیب با مدل انتشار توسعه یافته کایا (EKI^۲) برای شناسایی و تجزیه و تحلیل مدنظر قرار گرفته است. در بخش اول این پژوهش به معرفی کشور ایران به عنوان منطقه مورد مطالعه و تبیین جایگاه این کشور در انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته شده است. بخش دوم پیشینه‌ای از مطالعات مرتبط در نقاط مختلف جهان و ایران را مورد بررسی قرار داده و بخش سوم به معرفی مدل کایا توسعه یافته، معادلات حاکم بر LMDI و آخرین بخش مقاله بر ارزیابی نتایج، تحلیل‌های حاصل و سناریوهای پیشنهادی برای ایران در راستای تحقق اهداف کاهش انتشار متمرکز شده است.

۳- معرفی منطقه مورد مطالعه

حساسیت‌های اخیر جامعه جهانی نسبت به مسئله تغییر اقلیم و پیامدهای منفی ناشی از آن در کشورهای حساس از جمله ایران باعث شده تحلیل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و شناسایی عوامل مؤثر و بهینه اقتصادی در کاهش انتشارها به متن تحقیقات این حوزه راه یابد. ایران با وجود اینکه طبق آمارهای جهانی سال ۲۰۱۶ در جایگاه هشتم در میان کشورهای انتشاردهنده گازهای گلخانه‌ای قرار دارد (سهم ۱/۷۲ درصد)، در برابر پیامدهای تغییر اقلیم بسیار حساس و آسیب‌پذیر است. این آسیب‌ها در حوزه‌های مختلف از قبیل هواشناسی، منابع آبی، انرژی، مخاطرات جوی و اقلیمی، محیط‌زیست، منابع طبیعی، اقتصادی، اجتماعی، صنعت، بهداشت، کشاورزی و امنیت غذایی، دفاعی و امنیت ملی مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است. به‌عنوان مثال، در بازه زمانی ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۵، میانگین دما با شیب ۰/۴ درجه بر دهه افزایش و مقدار بارش‌ها با شیب ۱/۱ میلی‌متر بر دهه کاهش داشته است. براساس پیش‌بینی صورت

1. Ang and Liu
2. Extended Kaya Identity (EKI)

گرفته در سال ۱۳۹۶، میانگین دمای کشور تا سال ۲۰۵۰، در صورت پایبندی یا عدم پایبندی کشورها به توافق نامه پاریس به ترتیب ۱/۳ و ۵/۲ درجه نسبت به دهه های اخیر افزایش خواهد داشت (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶). تلاش در جهت همکاری های بین المللی در زمینه کاهش و سازگاری با تغییرات اقلیمی سبب شده ایران در خلال برنامه پیشنهادی اهداف مورد نظر مشارکت ملی (INDC^۱) متعهد به کاهش ۴ درصدی انتشارها نسبت به وضع موجود تا سال ۲۰۳۰ شود و در صورت حمایت مالی از جانب جامعه بین الملل معادل ۳۵ میلیارد دلار، این رقم تا ۱۲ درصد قابل افزایش خواهد بود (سازمان محیط زیست ایران^۲، ۲۰۱۵؛ چارچوب کنوانسیون سازمان ملل درباره تغییرات اقلیمی^۳، ۲۰۱۵). سرانه انتشار گازهای گلخانه ای در ایران با روندی اکیداً صعودی از رقم ۱/۷۰۷ در سال ۱۹۶۰ به رقم ۸/۲۸۳ متریک تن در سال ۲۰۱۴ (۴/۸۵) برابر) افزایش یافته است (سدیاک^۴، ۲۰۱۷). در سال ۲۰۱۴ سهم سوخت های فسیلی در سبد تولید انرژی کشور معادل ۹۸/۹۹ درصد برآورد شد که براساس واحد میلیون بشکه معادل نفت خام، ۴۸۲/۵ میلیون بشکه فرآورده های نفتی، ۶۹۶/۷ میلیون بشکه گاز طبیعی، ۳ میلیون بشکه زغال سنگ و ۱۳۰/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام برق در بخش های مختلف کشور مصرف شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۵). بخش های نیروگاهی با ۲۵/۹، اداری، تجاری و خانگی با ۱۸/۹، حمل و نقل با ۱۶/۷ و صنعت با ۱۶ درصد بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه ای به خود اختصاص داده اند (توکلی، ۱۳۹۳).

۴- پیشینه پژوهش

پژوهش های بسیاری به ارزیابی محرک های انتشار گازهای گلخانه ای در میان بخش های مختلف پرداخته اند. دستاورد این پژوهش ها می تواند مسیر اقدامات کاهش را کوتاه و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه کند. به عنوان نمونه سانچز و استرن^۵ (۲۰۱۶) به ارزیابی ارتباط میان انتشار گازهای گلخانه ای بخش های صنعتی و غیرصنعتی با رشد اقتصادی در بازه زمانی ۴۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۷۱) میان ۱۲۹ کشور جهان پرداختند.

1. Intended Nationally Determined Contributions (INDC)
2. Department of Environment (DOE)
3. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)
4. CDIAC
5. Sanchez and Stern

نتایج پژوهش نشان داد رشد اقتصادی منجر به افزایش انتشارها می‌شود. لازم به ذکر است این مسئله در بخش صنعت تأثیرگذارتر می‌باشد. تأثیر سیاست‌های ۲۰۲۰ اتحادیه اروپا (EU 2020) بر الگوی انتشار گازهای گلخانه‌ای در منطقه بالتیک موضوع پژوهش دیگری با این رویکرد است. نتایج مؤید کاهش قابل توجه در میزان انتشارهای این منطقه به‌واسطه پیروی از سیاست‌های مزبور و اتکاء بر سوخت‌های تجدیدپذیر و پاک می‌باشد (لیوبیکیه^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). برنامه دیگر اتحادیه اروپا در راستای توسعه پایدار و برآورده‌سازی تعهدات کاهش انتشار موسوم به EU 20-20-20 و تأثیر اجرای آن بر روند انتشارها نشان داد افزایش بهره‌وری و شدت انرژی بیشترین تأثیر را در کاهش انتشارها خواهند داشت و انتظار می‌رود سیاست‌های کاهش با این رویکرد دنبال شود (استریمیکیه و بالزنتیس^۲، ۲۰۱۶). شناسایی محرک‌های انتشار در اسپانیا و تأثیر اجرای هم‌زمان پروتکل کیوتو و سیاست‌گذاری‌های اتحادیه اروپا توسط کانسینو^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، کاهش انتشارها را پیش‌بینی و اجرای سیاست کاهش مالیات برای گروه‌هایی که در جهت بهبود شدت انرژی فعالیت می‌کنند را متذکر می‌شود. بخش حمل‌ونقل کشور چین، از جمله بخش‌های مهم در زمینه انتشار گازهای گلخانه‌ای، می‌باشد که با استفاده از روش LMDI در تلفیق با پرسش‌نامه پیشنهادی IPCC مورد مطالعه قرار گرفته است. از میان شش عامل مؤثر یعنی ساختار انرژی، بهره‌وری انرژی، نوع حمل‌ونقل، توسعه بخش حمل‌ونقل، توسعه اقتصادی و جمعیت که در این حوزه مورد ارزیابی قرار گرفتند، توسعه اقتصادی مؤثرترین عامل افزایش و بهره‌وری انرژی مؤثرترین عامل در کاهش انتشارها شناخته شد. با وجود رشد بالای جمعیت، این عامل در مقایسه با توسعه حمل‌ونقل نقش کم‌رنگ‌تری ایفا می‌کند (لیانگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۷). تحلیل عوامل مؤثر بر انتشارهای کشور ایران (۲۰۱۴-۲۰۰۳) ناشی از مصرف انرژی در بخش صنعت، شدت کربن در بخش تولید برق و انتشار ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی موضوع پژوهش دیگری است که توسط موسوی^۵ و همکاران (۲۰۱۷) صورت گرفت. یافته‌های پژوهش مؤید تأثیر فعالیت اقتصادی و افزایش مصرف

1. Liobikienė
2. Štreimikienė and Balezentis
3. Cansino
4. Liang
5. Mousavi

بر رشد انتشارها است. در بخش دیگری از این پژوهش تأثیر مثبت حذف یارانه سوخت بر کاهش انتشارهای بخش حمل‌ونقل ارزیابی شده است. مطالعه بخش حمل‌ونقل و زیر بخش‌های آن در ایران (۱۳۹۰-۱۳۷۸) از منظر انتشار دی‌اکسید کربن توسط داودی و ناجی میدانی (۱۳۹۴) با استفاده از روش تحلیل تجزیه‌ای شاخص (IDA) نشان می‌دهد شدت انرژی و تغییر ساختار در این بخش تأثیر کاهشی بر انتشارها داشته است. در بخش ریلی نیز مقیاس مهم‌ترین عامل در افزایش انتشارها به‌شمار می‌رود. در کل به این مسئله اشاره شده است که قیمت پایین حامل‌های انرژی تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش انتشارهای بخش حمل‌ونقل دارد. پور عبادالهیان کویچ و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر انتشار در صنایع محصولات کانی غیرفلزی پرداختند و شش عامل اثر فعالیت، اثر ساختار بین بخشی، اثر ساختار درون بخشی، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار را مورد ارزیابی قرار دادند. سه اثر فعالیت، ساختار بین بخشی و ضریب انتشار بیشترین تأثیر افزایشی و شدت انرژی، ساختار درون بخشی و ترکیب سوخت بیشترین اثر کاهشی را بر انتشارهای دی‌اکسید کربن این صنعت به‌همراه داشتند. مطالعه شدت مصرف انرژی و انتشار کربن در بخش کشاورزی که توسط موسوی (۱۳۹۴) انجام شد نشان می‌دهد در بازه زمانی سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱، سرانه تولید ناخالص داخلی، قیمت انرژی، سرانه سرمایه نیروی کار و رشد سرمایه از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر این دو پارامتر می‌باشد، به‌طوری‌که سرانه تولید ناخالص داخلی و سرانه سرمایه نیروی کار در بحث شدت انرژی تعیین‌کننده و دارای اثر کاهنده هستند. در مقابل افزایش سرانه درآمد منجر به کاهش و افزایش انباشت سرمایه موجب افزایش انتشارها خواهد شد. مطالعه چهار اثر فعالیت اقتصادی، تغییرات ساختاری، ضریب انتشار و شدت انرژی در بخش‌های خانگی و تجاری، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۱ نشان می‌دهد در تمامی بخش‌ها، اثر ساختاری، بیشترین تأثیرگذاری را بر انتشارها داشته است. در این مطالعه که با استفاده از روش تحلیل تجزیه لاسپیرز اصلاح‌شده صورت گرفته، انتظار می‌رود انتشارها در آینده افزایش یابد و این افزایش عمدتاً از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش صنعت ناشی می‌شود (علیشیری و همکاران، ۱۳۹۶). در پژوهشی که اخیراً توسط رفیعی و همکاران (۱۳۹۶) و با هدف بررسی عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در

ایران با تأکید بر آثار بیانیه ۲۱ ریو انجام شده است، از مدل خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی (ARDL) استفاده و مشخص شد یک واحد مصرف انرژی هم در کوتاه‌مدت و هم بلندمدت، به میزان ۰/۰۰۲ واحد افزایش انتشار دی‌اکسید کربن را به همراه خواهد داشت و این مطالعه بر گسترش انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر تأکید می‌کند. همچنین در بخش دیگری از پژوهش به اثر مثبت کنفرانس ریو در عملکرد محیط‌زیستی ایران تأکید شده است. نیروگاه‌های حرارتی به‌عنوان مهم‌ترین منبع انتشار دی‌اکسید کربن، در پژوهش رشیدی و همکاران (۱۳۹۶) مورد بررسی و از مدل STIRPAT جهت تعیین عوامل مؤثر بر انتشارها استفاده شده است. نتایج نشان داد در مجموع جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی و نسبت مصرف در بخش خانگی باعث افزایش سطح انتشارها و بهره‌وری انرژی، ساختار مصرف نیروگاهی و نسبت ارزش افزوده برق به کل ارزش تولید برق منجر به کاهش انتشارها در بازه زمانی ۱۳۹۱-۱۳۵۹ شده است.

۵- روش اجرای پژوهش

نخستین گام در تجزیه و تحلیل میزان انتشارهای یک کشور شناخت عوامل مؤثر و محرک‌های انتشار می‌باشد. عوامل و شاخص‌های متعددی برای این منظور پیشنهاد شده است. در این پژوهش عوامل مؤثر پیشنهادی مدل کایا توسعه‌یافته مورد استفاده قرار گرفته است. مدل کایا چهارچوبی مفهومی است که برای توصیف محرک‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای انسان‌ساخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این مدل که نخستین بار توسط یک اقتصاددان ژاپنی برای پیش‌بینی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای پیشنهاد شد (کایا و یوکوبوری^۱، ۱۹۹۷)، از دقت بالایی در برآورد میزان انتشار برخوردار است و در گذر زمان روند پیش‌بینی‌ها در حال بهبود می‌باشد (توکلی^۲، ۲۰۱۷). در مدل اصلی کایا چهار عامل جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی و شدت کربن برای ارزیابی میزان انتشارها پیشنهاد شده است (معادله ۱). محققان بسیاری تلاش کرده‌اند از طریق بسط و توسعه این مدل به پیش‌بینی‌های دقیق‌تر انتشار برای یک کشور یا منطقه

1. Kaya and Yokobori
2. Tavakoli

خاص دست یابند (زیمله^۱ و همکاران، ۲۰۱۵؛ پیترز^۲ و همکاران، ۲۰۱۷؛ توکلی^۳، ۲۰۱۸؛ ما و کای^۴، ۲۰۱۸؛ شانگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۸).

$$E_{CO_2} = Pop \times \frac{GDP}{Pop} \times \frac{TOE}{GDP} \times \frac{CO_2}{TOE} \quad (1)$$

که در اینجا:

E_{CO_2} : میزان انتشار دی اکسید کربن

Pop : جمعیت

TOE : واحد انرژی، انرژی حاصل یا معادل یک تن نفت

$\frac{GDP}{Pop}$: سرانه تولید ناخالص داخلی

$\frac{TOE}{GDP}$: شدت انرژی، میزان انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد فعالیت اقتصادی

(مثلاً یک دلار)

$\frac{CO_2}{TOE}$: شدت کربن، میزان انتشار کربن به ازای تولید یک واحد انرژی (لی^۶، ۲۰۰۵؛

چارچوب کنوانسیون سازمان ملل درباره تغییرات اقلیمی، ۲۰۱۶؛ دپارتمان انرژی آمریکا^۷، ۲۰۱۶؛ اداره اطلاعات انرژی آمریکا^۸، ۲۰۱۸)

در راستای بهبود نتایج و تحلیل بهتر، در پژوهش حاضر مدل توسعه یافته کایا (EKI) مورد استفاده قرار گرفت (معادله ۲). مدل توسعه یافته از پنج زیربخش تشکیل شده و در بخش شدت کربن عامل جدیدی به عنوان سهم سوخت های فسیلی وارد معادله می شود تا بتوان اثر مثبت به کارگیری انرژی های نو و تجدیدپذیر در سیاست های کاهش انتشار را لحاظ نمود.

$$E_{CO_2} = Pop \times \frac{GDP}{Pop} \times \frac{TOE}{GDP} \times \left(\frac{CO_2}{SFF} \times \frac{SFF}{TOE} \right) \quad (2)$$

1. Ziemele
2. Peters
3. Tavakoli
4. Ma and Cai
5. Shang
6. Lee
7. U. S Department of Energy
8. U. S. Energy Information Administration (EIA)

براساس روش تحلیل تجزیه میانگین لگاریتمی (LMDI) در تلفیق با مدل توسعه یافته کایا (EKI) میزان انتشارهای دی‌اکسیدکربن را در هر بازه زمانی می‌توان به تأثیر ناشی از پنج پارامتر معادله ۲ مربوط دانست. معادله ۲ را می‌توان به صورت ساده‌تر ارائه و سطح تأثیر هر مؤلفه را در محاسبات مربوطه به دست آورد.

$$E_{CO_2} = Pop \times AC \times EI \times CI \times SFF \quad (۳)$$

تغییر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (ΔCO_2) در یک بازه زمانی، حاصل مابه‌التفاوت مقدار انتشارها در طول دوره می‌باشد. نرخ تغییرات با دو مدل با رویکردهای جمعی^۱ یا ضربی^۲ (معادلات ۴ و ۵) قابل ارزیابی است (انگ، ۲۰۰۵). مدل جمعی ساده‌تر و تفسیر نتایج آن قابل درک‌تر از مدل ضربی می‌باشد. هر چند در برخی موارد، به‌ویژه در سری‌های زمانی، استفاده از مدل ضربی ارجحیت دارد (انگ، ۲۰۱۵).

$$\Delta CO_{2_{tot}} = CO_2^T - CO_2^0 = \Delta CO_{2_{x1}} + \Delta CO_{2_{x2}} + \dots + \Delta CO_{2_{xn}} \quad (۴)$$

$$D_{tot} = \frac{CO_2^T}{CO_2^0} = D_{x1} \cdot D_{x2} \cdot \dots \cdot D_{xn} \quad (۵)$$

$$\Delta CO_{2_{xk}} = \sum_i L(CO_{2_i}^T - CO_{2_i}^0) \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) \quad (۶)$$

$$D_{xk} = \exp \left(\sum_i \frac{L(CO_{2_i}^T, CO_{2_i}^0)}{L(CO_{2_i}^T, CO_{2_i}^T)} \ln \left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0} \right) \right) \quad (۷)$$

$$L(a, b) = \frac{a - b}{\ln a - \ln b} \quad (۸)$$

$$L(a, a) = a \quad (۹)$$

مدل LMDI تغییر در میزان انتشارهای بازه مورد مطالعه (ΔCO_2) را بدون هیچ باقی‌مانده و پسماندی بین عوامل مؤثر و محرک‌های انتشار تقسیم می‌کند. به عبارتی سهم هر یک از پنج عامل شامل اثر جمعیت (Pop_{eff})، اثر فعالیت (AC_{eff})، اثر شدت انرژی (EI_{eff})، اثر شدت کربن (CI_{eff}) و اثر ناشی از سهم سوخت‌های فسیلی (SFF_{eff}) در میزان انتشارها تعیین می‌شود. با اطلاع از مقادیر هر عامل و مقدار انتشارها در بازه

1. Additive
2. Multiplicative

مطالعاتی، می‌توان اثر عوامل مربوطه را براساس معادلات ۱۰ تا ۱۵ محاسبه کرد. عدد صفر بیانگر سال پایه و یک سال مقصد را نشان می‌دهد.

$$\Delta CO_2 = CO_2(1) - CO_2(0) = Pop_{eff} + AC_{eff} + EI_{eff} + CI_{eff} + SFF_{eff} \quad (10)$$

$$Pop_{eff} = \frac{CO_2(1) - CO_2(0)}{\ln(CO_2(1)/CO_2(0))} \times \ln \left[\frac{Pop(1)}{Pop(0)} \right] \quad (11)$$

$$AC_{eff} = \frac{CO_2(1) - CO_2(0)}{\ln(CO_2(1)/CO_2(0))} \times \ln \left[\frac{AC(1)}{AC(0)} \right] \quad (12)$$

$$EI_{eff} = \frac{CO_2(1) - CO_2(0)}{\ln(CO_2(1)/CO_2(0))} \times \ln \left[\frac{EI(1)}{EI(0)} \right] \quad (13)$$

$$CI_{eff} = \frac{CO_2(1) - CO_2(0)}{\ln(CO_2(1)/CO_2(0))} \times \ln \left[\frac{CI(1)}{CI(0)} \right] \quad (14)$$

$$SFF_{eff} = \frac{CO_2(1) - CO_2(0)}{\ln(CO_2(1)/CO_2(0))} \times \ln \left[\frac{SFF(1)}{SFF(0)} \right] \quad (15)$$

در ادامه برای تعیین پتانسیل‌های کاهش انتشار با استفاده از LMDI از یک روش نوین و پیشنهادی استفاده شده است (لین و احمد^۱، ۲۰۱۷). دو روش تحلیل زنجیره‌ای^۲ و تحلیل غیرزنجیره‌ای^۳ و مقایسه آن‌ها در پاسخ به بازه زمانی مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود. روش زنجیره‌ای از داده‌ها و اطلاعات کلیه سال‌ها به صورت پی‌درپی استفاده می‌کند؛ درحالی‌که روش غیرزنجیره‌ای، اطلاعات مربوط به نقاط ابتدا و انتهای بازه مورد نظر می‌باشد و روند تغییرات درون بازه‌ای مدنظر قرار نمی‌گیرد. براساس مطالعات پیشین (انگ، ۱۹۹۴؛ انگ و لیو^۴، ۲۰۰۷) روش زنجیره‌ای در برابر روش غیرزنجیره‌ای از نقطه‌نظر تحلیل نتایج و پاسخ‌های حاصل ترجیح داده می‌شود.

در روش پیشنهادی اخیر پنج ضریب جدید برای تعیین نرخ تغییرات هر یک از عوامل محرک در بازه مطالعاتی محاسبه و اثر هر یک از عوامل محرک (و به تبع آن انتشارهای آتی) برآورد می‌شود. ضریب α مربوط به اثر جمعیت، β اثر فعالیت، γ بیانگر نرخ تغییرات شدت انرژی، δ برای تعیین نرخ تغییرات شدت کربن و در نهایت θ

1. Lin and Ahmad
2. Chaining analysis
3. Non-chaining analysis
4. Ang and Liu

نمایانگر روند تغییرات وابستگی یک کشور به سوخت‌های فسیلی است. می‌توان اثبات کرد که اثر هر یک از عوامل محرک با در اختیار داشتن ضریب تغییرات مربوطه قابل محاسبه است.

$$Z = \frac{CO_2(0) \cdot [(1 + \alpha) \cdot (1 + \beta) \cdot (1 + \gamma) \cdot (1 + \delta) \cdot (1 + \theta) - 1]}{\ln[(1 + \alpha) \cdot (1 + \beta) \cdot (1 + \gamma) \cdot (1 + \delta) \cdot (1 + \theta)]} \quad (16)$$

$$Pop_{eff} = Z \cdot \ln(1 + \alpha) \quad (17)$$

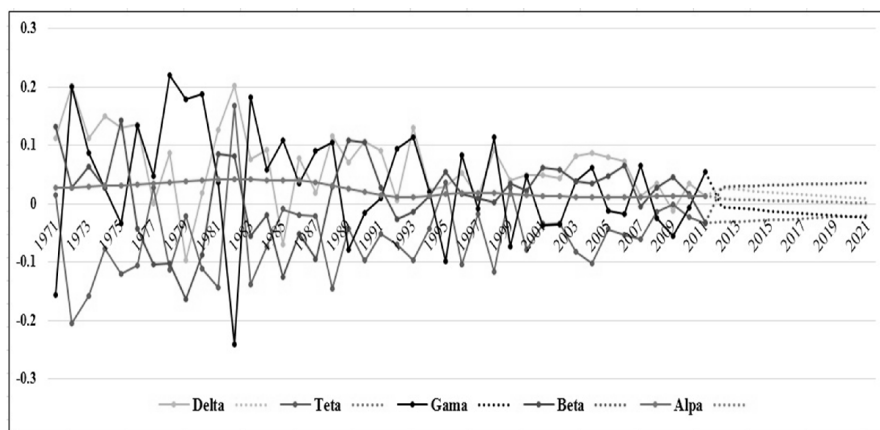
$$AC_{eff} = Z \cdot \ln(1 + \beta) \quad (18)$$

$$EI_{eff} = Z \cdot \ln(1 + \gamma) \quad (19)$$

$$CI_{eff} = Z \cdot \ln(1 + \delta) \quad (20)$$

$$SFF_{eff} = Z \cdot \ln(1 + \theta) \quad (21)$$

با به‌کارگیری این روش و معادلات ۱۶-۲۱، مطالعه روند تغییرات هر یک از عوامل محرک منجر به تخمین ضرایب تغییرات (α, β, \dots) خواهد شد که مسیر تعیین اثر هر عامل محرک و در نهایت تخمین مقدار انتشارها در سال‌های آتی و پتانسیل‌های کاهش انتشار را هموار خواهد کرد (نمودار ۱).



نمودار ۱. الگوی تغییرات ضرایب عوامل محرک و پیش‌بینی‌های آتی تا سال ۲۰۲۲

منبع: یافته‌های تحقیق

۶- نتایج پژوهش

شاخص دیویژیای میانگین لگاریتمی تعیین کننده درجه اهمیت عوامل مختلف مؤثر در افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی) است. در بازه زمانی مورد بررسی این پژوهش (۲۰۱۲-۱۹۷۱)، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور ایران از رقم ۴۱/۶۶ به رقم ۵۳۲/۱۵ میلیون تن (۱۲/۷۷ برابر) افزایش یافته است. در این مدت جمعیت کشور ۲/۶ برابر شده است. براساس رده‌بندی‌های موجود در سال‌های اخیر ایران همواره در فهرست ۱۰ کشور نخست انتشاردهنده گازهای گلخانه‌ای قرار گرفته، این در حالی است که الگوی رشد اقتصادی، روند توسعه و صنعتی شدن کشور با آمارهای انتشار و اتکاء بر سوخت‌های فسیلی همخوانی ندارد. مطالعه اقلیم کشور و سطح رفاه جامعه نیز نمی‌تواند مصرف بالای سوخت‌های فسیلی و آمارهای انتشار را توجیه کند.

تحلیل تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر انتشار - تحلیل

زنجیره‌ای

اولین گزینه مورد بررسی الگوی تغییر انتشار گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر آن شامل اثر جمعیت (Pop_{eff})، اثر فعالیت (AC_{eff})، اثر شدت انرژی (EI_{eff})، اثر شدت کربن (CI_{eff}) و اثر ناشی از سهم سوخت‌های فسیلی (SFF_{eff}) در بازه مورد مطالعه براساس تحلیل زنجیره‌ای است. برای درک بهتر تغییرات، سال ۱۹۷۱ به‌عنوان سال پایه (معادل عدد صفر) منظور شده است. نمودار ۲ براساس معادلات ۱۵-۱۰، به الگوی تغییرات موردنظر پرداخته است. براساس نمودار، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای روندی کاملاً صعودی را دنبال کرده است. در سال‌های معدودی از جمله ۱۹۸۰، ۱۹۸۶ و ۲۰۱۰ استثنائاً مقدار جزیی کاهش مشاهده می‌شود (احتمالاً به‌دلیل آغاز جنگ تحمیلی و سیاست‌های حذف یارانه سوخت) که بلافاصله در سال‌های بعدی جبران شده است. علیرغم افزایش جمعیت در همه سال‌های مورد مطالعه، اثر جمعیت با نوسان همراه بوده است. در سال‌های ابتدایی (۱۹۷۱-۱۹۸۴) اثر جمعیت رو به رشد و در بازه سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۲ تأثیر جمعیت بر نرخ انتشارها کاهش یافته است. در این دوره که بخشی از آن هم‌زمان با جنگ تحمیلی ایران و عراق می‌باشد، رشد جمعیت در ایران

شدت یافت، اما با در نظر گرفتن کاهش سطح رفاه جامعه و پدیده جنگ‌زدگی، رده سنی افراد و پایین بودن سن جمعیت، اثر افزایش جمعیت بر انتشارها چشمگیر نیست. انتظار می‌رود جمعیت در رده‌های سنی پایین تأثیر قابل توجهی بر مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای نداشته باشد. هر چند با رشد سنی افراد میزان مصرف سوخت افزایش می‌یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحلیل اثر جمعیت بر مصرف انرژی و روند انتشار، رده سنی افراد جامعه مدنظر قرار گیرد. در سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۸ اثر جمعیت روند افزایشی و در پی آن برای مدت ۵ سال نزولی و دوباره افزایش یافته است. لازم به ذکر است که تغییرات اثر جمعیت بسیار ملایم و شبه‌خطی است.

اثر فعالیت، دومین عامل مؤثر بر انتشارهای کشور، به الگوی اقتصادی و توسعه می‌پردازد و میزان سرانه تولید ناخالص داخلی (GDP_{capita}) را مدنظر قرار می‌دهد. مطالعه اثر فعالیت در این پژوهش حاکی از آن است که در سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۵، به جز برخی سال‌ها، این اثر به صورت منفی و کاهنده انتشار و از سال ۱۹۹۵ تا سال ۲۰۱۰ اثر مثبت و فزاینده‌ای بر انتشارها داشته است. سال‌های ۱۹۸۵ (۲۴/۵۵-)، ۲۰۱۱ (۲۲/۵۵-) و ۱۹۷۹ (۲۲/۴۵-) بیشترین اثر فعالیت و توسعه اقتصادی در کاهش میزان انتشارها رویت شده است. در مقابل سال‌های ۲۰۰۶ (۲۴/۵۹) و ۲۰۰۹ (۱۷/۵۰) اثر فعالیت با بیشترین تأثیر منجر به افزایش نرخ انتشارها شده است.

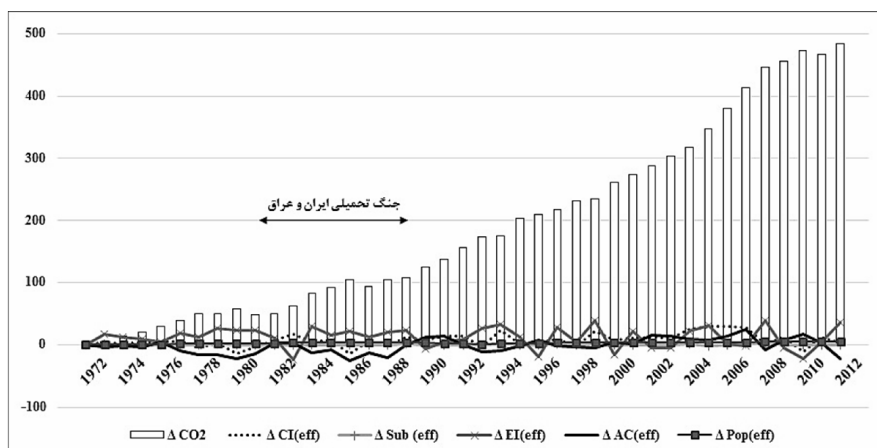
مطالعه اثر شدت انرژی و فراز و نشیب‌های آن در ایران مؤید آن است که به جز چند سال محدود (۱۹۸۲، ۱۹۹۵، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹) که شدت انرژی اثر منفی و چند سال که اثری نزدیک به صفر حاصل شده، در باقی سال‌ها شدت انرژی منجر به افزایش میزان انتشارها شده است. هر چند تأثیر این عامل در دهه اخیر نسبت به دهه‌های قبل نوسانات بیشتری را تجربه می‌کند و در برخی سال‌ها این تأثیر به شدت کاهش یافته است. اقدامات صورت گرفته در سال‌های اخیر و سیاست‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی که از چند سال پیش در کشور مدنظر قرار گرفته، در برخی موارد منجر به کاهش مصرف سوخت، بهبود راندمان سیستم‌ها، اصلاح آیین‌نامه ساختمان‌سازی شده و بسیاری بخش‌های دیگر را نیز درگیر کرده است. با این وجود ایران در رده‌بندی سال ۲۰۱۶ با شدت انرژی معادل $0/206 \text{ koe}/\$2005p$ در مقام هفتم (بعد از روسیه، اکراین،

ازبکستان، آفریقای جنوبی، تایوان و قزاقستان) قرار گرفت (انردیتا^۱، ۲۰۱۷). بخشی از این نتایج را می‌توان به توسعه صنایع انرژی‌بر و پرمصرف در کشور مربوط دانست که علیرغم مصرف بالای سوخت از نظر اقتصادی کارایی کافی ندارند. به‌عنوان نمونه صنایعی از قبیل محصولات و کانی‌های غیرفلزی (کد ۲۶)، مواد و محصولات شیمیایی (کد ۲۴)، کک و فراورده‌های نفتی (کد ۲۳) و ساخت فلزات اساسی (کد ۲۷) با مصرف تقریباً ۸۸ درصد سوخت بخش صنعت، از نظر اقتصادی در پایین‌ترین رده‌ها قرار می‌گیرند (توکلی، ۱۳۹۳).

شدت کربن به‌عنوان معیاری از انتشار در برابر انرژی مورد نیاز است. به‌بیانی ساده، استفاده از سوخت‌های فسیلی آلوده همچون زغال‌سنگ باعث بالا رفتن شدت کربن و منابع پاک و تجدیدپذیر انرژی کاهش این شاخص را در پی خواهد داشت. مطالعه اثر شدت کربن در طی چهار دهه حاکی از آن است که به استثنای سال‌های ۱۹۷۹، ۱۹۸۵ و ۲۰۰۹ در دیگر سال‌ها اثر شدت انرژی با روندی شبه‌صعودی افزایش یافته است. سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ بالاترین اثر شدت انرژی را تجربه کرده‌اند و از سال ۲۰۰۶ اثر شدت انرژی کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد. در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۱ اثر شدت انرژی بر انتشارها نزدیک به صفر برآورد شده است.

آخرین اثر مورد بررسی در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به سهم سوخت‌های فسیلی در سبد تأمین انرژی می‌پردازد. مطالعه سهم سوخت‌های فسیلی در ایران در بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ الگویی صعودی را نشان می‌دهد. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ سهم سوخت‌های فسیلی نزدیک به ۰/۸ درصد کاهش و مجدداً افزایش یافته است. طی دهه اخیر، برنامه‌های پنج‌ساله توسعه جمهوری اسلامی ایران با هدف کاهش اتکاء بر سوخت‌های فسیلی و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر اهدافی برای جایگزینی سوخت‌های پاک به‌جای سوخت‌های آلوده و فسیلی در نظر گرفته‌اند که متأسفانه هزینه‌های بالای اقتصادی در بخش سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری، در کنار رشد سریع وابستگی جامعه به سوخت در راستای تسهیل و ارتقاء سطح زندگی باعث شده دولت توان دستیابی و تحقق اهداف برنامه‌ریزی شده را نداشته باشد. علیرغم این مسئله، مطالعه اثر مربوطه در تلفیق با دیگر تأثیرات، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهد. تأثیر کاهنده سهم

سوخت‌های فسیلی در طی سال‌های اخیر بیش از دهه‌های گذشته مطرح است هرچند از سال ۲۰۰۷ به بعد این تأثیر کاهش یافته است.



نمودار ۲. ارزیابی الگوی تغییرات انتشار و محرک‌ها نسبت به سال ۱۹۷۱- تحلیل زنجیره‌ای

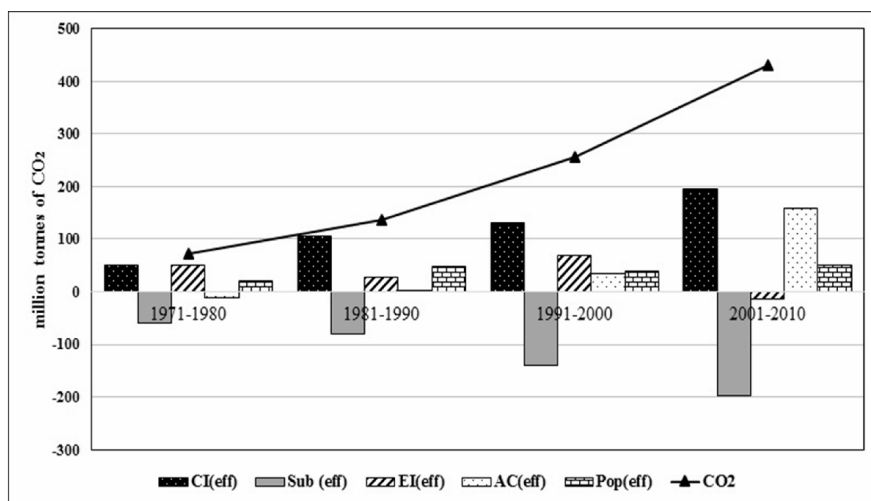
منبع: یافته‌های تحقیق

تحلیل تغییرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و عوامل مؤثر بر انتشار- تحلیل

غیرزنجیره‌ای

جهت درک بهتر الگوی ناشی از تغییر عوامل مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، نمودار ۳ به بررسی این پارامترها به واسطه تحلیل غیرزنجیره‌ای پرداخته است (معادلات ۱۵-۱۰). در این ارزیابی تنها به مقادیر سال‌های ابتدایی و انتهایی هر دهه استناد شده و سال‌های میانی مدنظر قرار نمی‌گیرد. میزان انتشار دی‌اکسید کربن به‌عنوان شاخص انتشار گازهای گلخانه‌ای در چهار دهه مورد مطالعه، کاملاً روند افزایشی را دنبال کرده است. در تمام بازه مطالعاتی، شدت کربن و جمعیت اثر فزاینده‌ای بر میزان انتشارها داشته است. این رشد برای جمعیت ملایم و در مورد شدت انرژی کاملاً صعودی است. در مقابل سهم سوخت‌های فسیلی تأثیر کاهشی و دائمی داشته که علت آن را می‌توان در رویکرد دهه‌های اخیر در اتکاء بر سوخت‌های فسیلی کم‌تر آلاینده از قبیل گاز طبیعی دانست. در سال‌های اخیر سهم گاز طبیعی در مصرف انرژی بخش‌های مختلف صنعتی و خانگی به مراتب افزایش یافته و این سوخت جایگزین نفت، مازوت و موارد

مشابه شده است. دو اثر باقی مانده یعنی اثر فعالیت که به رشد و بهره‌وری اقتصادی جامعه اشاره دارد و نیز شدت انرژی در دهه‌های مختلف، رفتارهای متفاوتی را دنبال کرده‌اند. اثر فعالیت به شکل GDP_{capita} وارد معادلات می‌شود و در دهه‌های ابتدایی اثر کاهشی بر میزان انتشارها داشت، در دهه بعدی این رقم نزدیک به صفر (۳/۴۷) و در دو دهه اخیر سیری کاملاً صعودی در قبال افزایش انتشارها داشته است. این شاخص را می‌توان به معنای بهبود در سطح زندگی افراد جامعه و سطح رفاه بالاتر (که اغلب با مصرف بیشتر انرژی همراه است) تعبیر کرد. افزایش شدت انرژی در سه دهه ابتدایی را نیز می‌توان براساس تمرکز جمهوری اسلامی ایران بر توسعه صنعتی، به‌ویژه صنایع انرژی‌بر از قبیل صنایع فولاد و سیمان، تفسیر نمود. هر چند در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت بحث مصرف انرژی و بهینه‌سازی بخشی از تأثیر این شاخص کاهش و در دهه اخیر اثری کاهشی بر میزان انتشار نشان می‌دهد.



نمودار ۳. الگوی انتشار و اثر محرک‌ها در چهار دهه اخیر - تحلیل غیرزنجیره‌ای

منبع: یافته‌های تحقیق

ارزیابی اهداف کاهش انتشار جمهوری اسلامی ایران براساس INDC

در نشست COP21 که در راستای چارچوب کنوانسیون سازمان ملل درباره تغییرات اقلیمی (UNFCCC) در دسامبر ۲۰۱۵ در پاریس برگزار شد، کشورهای جهان با هدف

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و حفظ دمای کره زمین در سطح امن به امضای توافق‌نامه پرداختند براساس این توافق‌نامه کشورهای جهان موظف شدند برنامه‌ها و اقدامات اقلیمی خود را موسوم به "برنامه مدنظر مشارکت ملی (INDC)" برای بازه زمانی پس از ۲۰۲۰ اعلام کنند. برنامه پیشنهادی کشورها به‌طور عمده تعیین‌کننده امکان دستیابی جهان به اهداف بلندمدت توافق‌نامه پاریس، تحقق اهداف کنترل دمای در محدوده کمتر از 2°C و یا محدودیت 1.5°C است. ایران به‌عنوان یکی از شرکت‌کنندگان اجلاس، برنامه مشارکت ملی خود را به شکلی غیرالزام‌آور و غیرمتعهدانه دنبال می‌کند. براساس توان ملی و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، ایران پیشنهاد داده است در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۲۱ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۳۰ انتشارهای خود را به میزان ۴ درصد نسبت به سال پایه محاسبات (۲۰۱۰) و سناریو وضع موجود (BAU)^۱ کاهش دهد. همچنین در صورت رفع موانع موجود از قبیل تحریم‌های ناعادلانه، انتقال فناوری، خرید گواهی‌های کربن و فراهم‌سازی حمایت‌های مالی، کاهش انتشارها تا ۱۲ درصد قابل افزایش است (سازمان محیط‌زیست ایران، ۲۰۱۵). با این رویکرد در بخش پایانی این پژوهش تلاش شد پتانسیل‌های کاهش انتشار و سناریوهای احتمالی که می‌تواند کشور را در مسیر کاهش انتشار موفق سازد، مورد تحلیل و ارزیابی قرار گیرد. چهار سناریو محتمل که می‌تواند به‌عنوان مسیر انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ پیشنهاد شود (نمودار ۴) بدین شرح می‌باشد:

- سناریو وضع موجود (BAU): این سناریو براساس داده‌های تاریخی انتشار در بازه‌های زمانی پیشین می‌باشد و در آن فرض می‌شود که همانند سال‌های قبل اقدام خاصی در زمینه کاهش انتشار صورت نگرفته و روال گذشته ادامه خواهد یافت. معمولاً در ارزیابی سناریوها، یک سناریو به ادامه روند موجود (BAU)، بدون اعمال تغییرات می‌پردازد تا به‌صورت واضح و شفاف تأثیر اقدامات اجرایی را در نتایج نهایی نشان دهد.

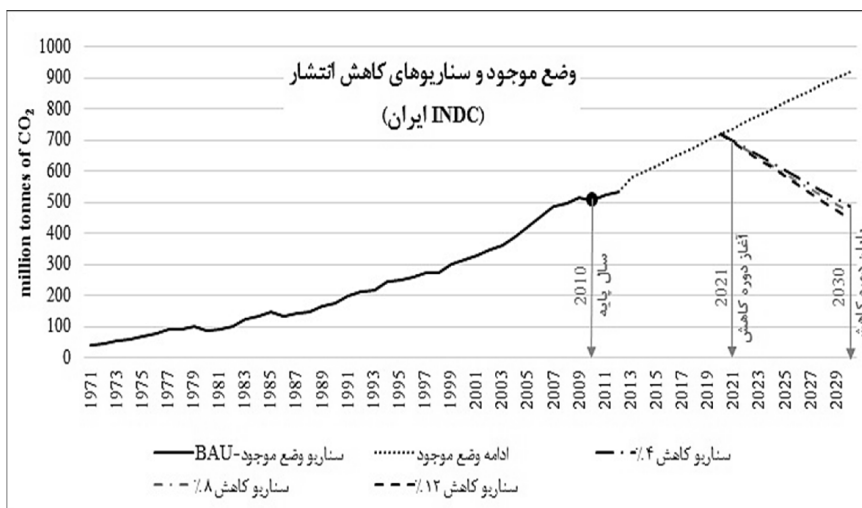
- سناریو ۴ درصد کاهش: در این سناریو فرض می‌شود مطابق INDC پیشنهادی، جمهوری اسلامی ایران در بازه زمانی ۱۰ سال (۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰) بتواند با تغییر برخی پارامترها و عوامل محرک میزان انتشارها را به مقدار ۴ درصد نسبت به سال پایه یعنی ۲۰۱۰ کاهش دهد. سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی

1. Business As Usual (BAU)

در سال ۲۰۱۰ معادل ۵۰۸/۴۷ میلیون تن CO_2 برآورد شده که براساس هدف کاهش ۴ درصدی لازم است در سال ۲۰۳۰ این رقم به ۴۸۸/۱۳۱ میلیون تن CO_2 کاهش یابد. اساس انتخاب این رقم در سناریو بر مبنای برنامه مشارکت ملی پیشنهادی ایران در راستای کاهش انتشارها (INDC) می‌باشد.

- سناریو ۸ درصد کاهش: این سناریو در واقع حد واسط و بینابینی میان دو سناریو کاهش انتشار است که پیشنهادی جمهوری اسلامی ایران (یعنی ۴ و ۱۲ درصد) در راستای تعهدات داوطلبانه کشور به دنبال نشست پاریس می‌باشد. در راستای تحقق این سناریو ایران باید میزان انتشارهای خود را در سال ۲۰۳۰ نسبت به رقم سال ۲۰۱۰ برابر ۸ درصد کاهش و به سطح انتشار ۴۶۷/۷۹۳ میلیون تن CO_2 دست یابد.

- سناریو ۱۲ درصد کاهش: سناریو بلندپروازانه جمهوری اسلامی در مسیر کاهش انتشار است که پیشنهاد می‌دهد در صورت تحقق حمایت‌های مالی، رفع تحریم‌ها و موانع موجود، میزان انتشارها در سال ۲۰۳۰ با کاهش ۱۲ درصدی نسبت به دو دهه قبل‌تر به رقم ۴۴۷/۴۵۴ میلیون تن CO_2 کاهش یابد. به همین دلیل یکی از سناریوهای پیشنهادی با رقم ۱۲ درصد در نظر گرفته شده است.



نمودار ۴. وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای، سناریو وضع موجود و سناریوهای کاهش انتشار

منبع: یافته‌های تحقیق

الگوی کاهش انتشار در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۳۰ براساس سناریوهای پیشنهادی می‌تواند به صورت حسابی یا هندسی تغییر کند. در تصاعد هندسی با روند کاهشی، هر جمله برابر است با حاصل ضرب جمله قبلی در یک عدد ثابت (مخالف صفر و کمتر از یک) و در تصاعد حسابی هر جمله از کسر مقداری ثابت از جمله قبلی حاصل می‌شود. جدول ۱ به ارائه قدر نسبت‌های کاهش میزان انتشار سالیانه براساس تصاعدهای هندسی و حسابی در جهت دستیابی به اهداف کاهش انتشار ایران در INDC در طی ۱۰ سال پرداخته است.

جدول ۱. قدر نسبت کاهش میزان انتشارهای ایران براساس تصاعد هندسی و حسابی (گام‌های یک‌ساله)

سناریو	تصاعد هندسی	تصاعد حسابی
سناریو کاهش ۴ درصد	۰/۹۶۱۸	۲۳/۱۹۶۴
سناریو کاهش ۸ درصد	۰/۹۵۷۷	۲۵/۲۳۰۲
سناریو کاهش ۱۲ درصد	۰/۹۵۳۵	۲۷/۲۶۴۱

منبع: یافته‌های تحقیق

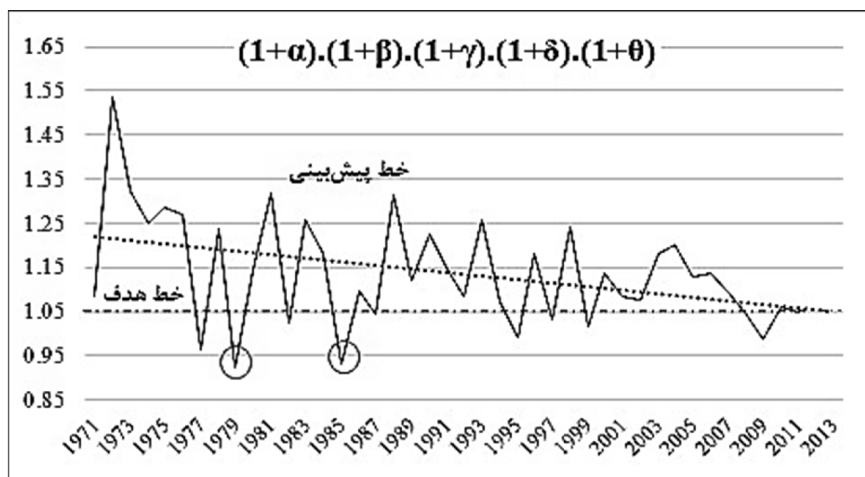
در این مطالعه با توجه به روابط مورد استفاده، تصاعد هندسی مورد بررسی قرار گرفته است. براساس معادله ۱۰ و روابط ۱۷-۲۱ می‌توان اثبات کرد که با در اختیار داشتن سطح انتشار در سال پایه و ضرایب α ، β ، γ ، δ و θ می‌توان سطح انتشار سال‌های بعدی را تخمین زد (معادله ۲۲).

$$CO_2(1) = CO_2(0) \cdot (1 + \alpha) \cdot (1 + \beta) \cdot (1 + \gamma) \cdot (1 + \delta) \cdot (1 + \theta) \quad (22)$$

$$(1 + \alpha) \cdot (1 + \beta) \cdot (1 + \gamma) \cdot (1 + \delta) \cdot (1 + \theta) \leq (\sim 0/95) \quad \text{قدر نسبت کاهش انتشار} \quad (23)$$

برای تحقق اهداف کاهش انتشار مقدار عبارت $\{ (1 + \alpha) \cdot (1 + \beta) \cdot (1 + \gamma) \cdot (1 + \delta) \cdot (1 + \theta) \}$ ، موسوم به پتانسیل کاهش، در معادلات باید کوچک‌تر یا مساوی قدر نسبت تصاعد هندسی (معادله ۲۳) باشد تا بتوان از دستیابی به اهداف کاهش اطمینان حاصل کرد. نگاهی به تاریخچه تغییرات پتانسیل کاهش در بازه زمانی مورد مطالعه (نمودار ۵) نشان می‌دهد در سال‌های ۱۹۷۹ و ۱۹۸۵ ایران در موقعیت مزبور قرار گرفته است. اما

روند تغییرات عبارت کاهش به گونه‌ای است که می‌توان انتظار داشت کشور در سال‌های آتی به موقعیت مورد نظر برای تحقق اهداف کاهش نزدیک‌تر گردد.



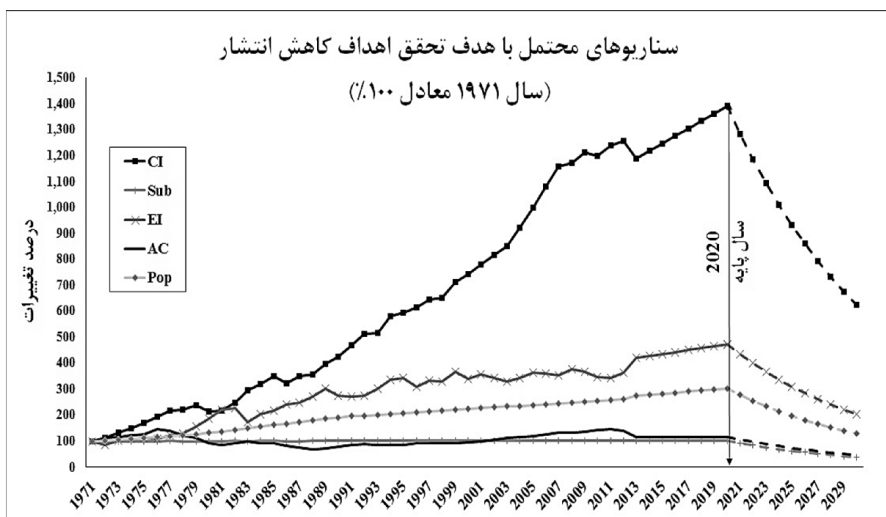
نمودار ۵. الگوی تغییرات پتانسیل کاهش، سطح هدف و پیش‌بینی آینده

منبع: یافته‌های تحقیق

براساس سناریو وضع موجود (BAU)، چنانچه ایران سیاست‌های فعلی را دنبال کند، در بلندمدت در موقعیتی قرار خواهد گرفت که پتانسیل‌های کاهش انتشار بر مبنای اهداف INDC پیشنهادی در کشور محقق شود. بدین معنا که معادله ۲۳ براساس رویکرد فعلی برقرار می‌شود.

اما در صورتی که بخواهیم براساس تغییر در الگوی موجود در سال ۲۰۳۰ ایران به اهداف کاهش دست یابد، لازم است بامنظور نمودن معادله ۲۳، مقدار متغیرها (شامل α ، β ، γ ، δ و θ) را پیش‌بینی کرد. در این راستا پنج رویکرد پیشنهاد می‌شود که براساس آن هر بار یکی از متغیرها مبنا قرار گرفته و چهار متغیر دیگر با روند فعلی ادامه می‌یابند. براساس مقادیر به‌دست‌آمده برای هر یک از متغیرها می‌توان پارامتر مربوطه (اعم از جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی، شدت کربن و سهم سوخت‌های فسیلی) را پیش‌بینی نمود. نمودار ۶ به ارائه سناریوهای پیشنهادی با هدف تحقق اهداف کاهش انتشار در سال ۲۰۳۰ پرداخته است. جهت درک بهتر تغییرات و

اقدامات محتمل، مقادیر هر پارامتر در سال ۱۹۷۱ معادل ۱۰۰ درصد و برای سال‌های بعدی نیز الگوی تغییرات براساس واحد درصد منظور شده است.



نمودار ۶. سناریوهای پیشنهادی با رویکرد تحقق اهداف کاهش انتشار در سال ۲۰۳۰

منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۶ به معرفی پنج سناریو متفاوت پرداخته است، به طوری که هر بار بر یکی از پارامترهای مؤثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای تمرکز و فرض می‌کند چهار دیگر پارامترها طبق سناریو وضع موجود ادامه یابد. هدف پیشنهادی کاهش انتشار، منطبق بر اهداف پیشنهادی ایران در INDC می‌باشد.

تقریباً می‌توان برای کلیه پارامترهای مؤثر الگویی کاهشی و نزولی برای تحقق اهداف کاهش انتشار پیشنهاد داد. شدیدترین نرخ کاهش برای شدت کربن پیشنهاد شده است. شدت کربن کشور از رقم ۰/۴۲۶ در سال ۱۹۷۱ به رقم ۵/۳۶ میلیون تن کربن به ازای سوخت مصرفی در سال ۲۰۱۲ افزایش داشته است (تقریباً ۱۴ برابر) و براساس سناریو وضع موجود پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ همچنان افزایش یابد. چنانچه بهبود در شدت کربن به تنهایی مدنظر قرار گیرد، لازم است در بازه زمانی ۱۰ سال، کاهش ۵۰ درصدی این پارامتر محقق شود. دومین گزینه پیشنهادی یعنی شدت انرژی در چهار دهه گذشته شیب ملایم‌تری نسبت به شدت کربن داشته و در این مدت، ۴/۷ برابر شده

است. چنانچه بتوان در افق زمانی ۲۰۳۰-۲۰۲۱ شدت انرژی را تا ۵۰ درصد کاهش داد، بدون نیاز به تغییر پارامترها دیگر می‌توان به اهداف کاهش دست یافت. سومین گزینه پیشنهادی کاهش جمعیت و به دنبال آن کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی است. در طی بازه زمانی ۴۰ ساله، جمعیت ایران ۲/۶ برابر شده است. در سال‌های اخیر شیب جمعیت ملایم‌تر شده، هرچند همچنان روندی صعودی را طی می‌کند. کاهش ۵۷ درصدی جمعیت نسبت به سال ۲۰۲۰ می‌تواند به‌عنوان یکی از سناریوهای غیرقابل پذیرش و کمتر محتمل کاهش انتشار مدنظر قرار گیرد. دو گزینه کاهش رشد اقتصادی در کنار کاهش سهم سوخت‌های فسیلی دیگر سناریوهای کاهش را تشکیل می‌دهند. در بسیاری برآوردهای اقتصادی، سرانه تولید ناخالص داخلی به‌عنوان تعیین‌کننده سطح رفاه در جامعه منظور می‌شود. پارامتری که مقدار آن در ایران و در بازه زمانی چهار دهه تنها ۱۸ درصد رشد داشته و کاهش آن می‌تواند تا حدودی بر کاهش انتشارها مؤثر باشد. هرچند این گزینه از رویکرد توسعه قابل قبول نمی‌باشد. سهم سوخت‌های فسیلی نیز که با شیبی بسیار ملایم در حال افزایش است می‌تواند تا حدود زیادی کاهش و به‌عنوان گزینه‌ای برای کاهش انتشار مدنظر قرار گیرد. چنانچه سهم سوخت‌های فسیلی در جامعه ایران به رقم ۴۰ درصد کاهش یابد، بدون دخالت دیگر عوامل میزان انتشارها کاهش خواهد یافت. شاید این گزینه را بتوان به‌عنوان منطقی‌ترین و بهترین گزینه در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دانست. اتکا بر این گزینه نه‌تنها از منظر کاهش گازهای گلخانه‌ای، بلکه از رویکرد کاهش آلودگی هوا و افزایش سطح صادرات نیز مزایایی به همراه دارد. ایران با دارا بودن منابع عظیم سوخت‌های فسیلی می‌تواند سرمایه‌های خود را در مسیر صادرات به دیگر کشورها صرف کند و با تغییر در الگوی اقتصادی موجود، توسعه انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر و گسترش و سرمایه‌گذاری در صنایع کم انتشار و فعالیت‌های خدماتی، ضمن تأمین اهداف اقتصادی و افق توسعه مورد انتظار، میزان انتشارهای خود را کاهش دهد.

۷- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر با تکیه بر روش تحلیل تجزیه دیویژنای میانگین لگاریتمی (LMDI) در تلفیق با مدل توسعه‌یافته کایا (EKI) به ارزیابی سهم هر یک از عوامل مؤثر (شامل

اثر جمعیت، سرانه تولید ناخالص داخلی، شدت انرژی، شدت کربن و سهم سوخت‌های فسیلی) بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران در بازه زمانی ۲۰۱۲-۱۹۷۱ پرداخته است. از دو روش تحلیل زنجیره‌ای و غیرزنجیره‌ای در تفسیر و مقایسه نتایج استفاده شده است. در این تحقیق همچنین سناریوهای مختلف در راستای تحقق اهداف کاهش انتشار متناظر با INDC پیشنهادی جمهوری اسلامی ایران مورد بررسی قرار گرفته است.

براساس نتایج به‌دست‌آمده در تفسیر زنجیره‌ای، اثر هر یک از عوامل مؤثر با نوسانات دائمی همراه می‌باشد. از این نوع تحلیل می‌توان برای ارزیابی تأثیر ناشی از وقایع بر هر یک از عوامل مؤثر بهره جست. در مقابل تحلیل غیرزنجیره‌ای با حذف نوسانات جزئی و میان دوره، تفسیر واضح و شفاف‌تری نسبت به تأثیر هر یک از عوامل مؤثر ارائه می‌کند. براساس این نوع تحلیل در پژوهش حاضر، جمعیت همواره تأثیری مثبت و افزایشی بر روند انتشارها داشته و طی دهه‌های اخیر با شیب ملایم‌تری نسبت به گذشته در حال افزایش است. دومین عامل مؤثر یعنی سرانه تولید ناخالص داخلی در دهه ابتدایی دارای تأثیر منفی و در دهه‌های اخیر تأثیر کاملاً مثبت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته است. بنابراین به‌عنوان یکی از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار می‌توان بر این عامل تکیه کرد. شدت انرژی برخلاف سرانه تولید ناخالص داخلی در دهه‌های قبل اثر فزاینده و در دهه اخیر باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده که می‌توان علت آن را اقدامات اخیر دولت در راستای بهینه‌سازی مصرف سوخت، حذف یارانه سوخت، تشویق‌های مستقیم و غیرمستقیم در راستای کاهش مصرف انرژی و موارد مشابه دانست. مطالعه اخیر علیشیری و همکاران (۱۳۹۶) نیز مؤید تأثیر قابل‌توجه و سریع عوامل اقتصادی بر روند انتشارها و اقدامات اخیر دولت در کاهش شدت انرژی و تأثیر کاهشی آن بر انتشارها است. شدت کربن در تمام دهه‌های مورد مطالعه باعث افزایش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و در دهه‌های اخیر این تأثیر با الگویی کاملاً صعودی همراه شده است. آخرین اثر مورد بررسی که به سهم سوخت‌های فسیلی در سبد انرژی کشور اشاره دارد، در همه دوره‌ها باعث کاهش انتشار شده است. در دهه‌های اخیر این تأثیر کاهشی بیش از گذشته شده است. مجموع عوامل مورد بررسی منجر به افزایش میزان انتشار در گذر زمان شده است. در جمع‌بندی می‌توان از شدت کربن به‌عنوان مهم‌ترین عامل

افزایش انتشار در همه ادوار و از سرانه تولید ناخالص داخلی به عنوان عامل اخیر افزایش یاد کرد. در مقابل سهم سوخت‌های فسیلی باعث کاهش تأثیر ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

از میان چهار سناریو پیشنهادی، سناریو ادامه وضع موجود (BAU)، افزایش انتشار دی‌اکسید کربن معادل تا بیش از ۹۰۰ میلیون تن تا سال ۲۰۳۰ را پیش‌بینی می‌کند. در راستای تحقق اهداف کاهش، بهترین و منطقی‌ترین گزینه در کاهش سهم سوخت‌های فسیلی در سبد انرژی به رقم ۴۰ درصد و اتکاء بر منابع تجدیدپذیر انرژی است. این کاهش نه تنها در بحث تغییر اقلیم، بلکه از منظر کنترل آلودگی هوا، حفظ منابع طبیعی و امکان صادرات فرآورده‌های نفتی قابل تأمل است. کاهش شدت کربن (تا ۵۰ درصد) و کاهش شدت انرژی (تا ۵۰ درصد) از دیگر گزینه‌های پیشنهادی برای تحقق اهداف بین‌المللی ایران در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌رود که با اتکاء بر سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده گسترده‌تر از گاز طبیعی قابل دستیابی است. کاهش جمعیت و کاهش سرانه تولید ناخالص داخلی از دیگر سناریوهای پیشنهادی می‌باشد که از نظر امکان‌پذیری و مقبولیت چندان مورد توجه نمی‌باشد. اتخاذ هر یک از سناریوهای پیشنهادی به تنهایی یا تلفیقی از چند سناریو هم‌زمان می‌تواند در ادامه اقدامات کاهش مورد توجه قرار گیرد. لازم به ذکر است که پیامدهای اقتصادی و اجتماعی هر یک از سناریوها باید به صورت مجزا مدنظر قرار گیرد و در نهایت بهترین و بهینه‌ترین گزینه ممکن انتخاب شود.

منابع

پورعبادالهیان کویج، محسن، برقی اسکویی، محمد مهدی، پناهی، حسین، صالحی ابر، خدیجه و قاسمی، ایرج (۱۳۹۴)، تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی دی‌اکسید کربن در صنایع محصولات کانی غیرفلزی، فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۴(۱۶): ۴۳-۵۷.

توکلی، آزاده (۱۳۹۳)، ارائه مدل توزیع بهینه انتشار گازهای گلخانه‌ای بین مناطق مختلف ایران با استفاده از نظریه بازی‌ها و از منظر توسعه پایدار، رساله دکتری تخصصی، دانشگاه تهران.

داودی، آزاده. و ناجی میدانی، علی اکبر (۱۳۹۴)، تحلیل تجزیه‌ای شاخص انتشار ترکیبات کربن (دی‌اکسید کربن و منوکسید کربن) در بخش‌های حمل و نقل و زیر بخش‌های آن در ایران طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۷۸، فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۲۳(۷۴): ۱۱۷-۱۵۰.

رشیدی، علی، نظری کودهی، سعید، پایدار راوندی، رامین، شاه‌حسینی، امید و کوب‌پیک، آرش (۱۳۹۶)، تعیین سهم عوامل مؤثر بر انتشار CO₂ از نیروگاه‌های حرارتی کشور با استفاده از مدل STIRPAT، مطالعات علوم محیط‌زیست، ۲(۱): ۳۸-۲۵.

رفیعی، حامد، غزنوی، شیوا و صالح، ایرج (۱۳۹۶)، بررسی عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ایران؛ با تأکید بر آثار بیانیه ۲۱ ریو، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۸(۱۵): ۱۵۳-۱۶۴.

سازمان هواشناسی کشور (۱۳۹۶)، آشکارسازی و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و چشم‌انداز آن در قرن بیست و یکم در ایران، دفتر ملی هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم. تهران.

علیشیری، هدیه، محمدخانلی، شهرزاد و محمدباقری، اعظم (۱۳۹۶)، مطالعه عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن در کشور (با رویکرد تحلیل تجزیه لاسپیرز اصلاح شده)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۹(۲): ۵۱-۶۲.

موسوی، سید نعمت ا.. (۱۳۹۴)، عوامل تعیین‌کننده شدت مصرف انرژی و انتشار کربن در بخش کشاورزی، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۷(۲۶): ۱۹۷-۲۱۴.

وزارت نیرو (۱۳۹۵)، ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳، دفتر برنامه‌ریزی‌های کلان برق و انرژی. تهران- وزارت نیرو.

Ang, B. W (1994), Decomposition of industrial energy consumption: the energy intensity approach, *Energy Economics*, 16(3): 163-174.

Ang, B. W (2004), Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?, *Energy policy*, 32(9): 1131-1139.

Ang, B. W (2005), The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide, *Energy policy*, 33(7): 867-871.

Ang, B. W (2015), LMDI decomposition approach: a guide for implementation, *Energy Policy*, 86: 233-238.

Ang, B. W. and Liu, N (2007), Energy decomposition analysis: IEA model versus other methods, *Energy policy*, 35(3): 1426-1432.

Ang, B. W. and Liu, N (2007), Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach, *Energy Policy*, 35(1): 238-246.

Cansino, J. M., Román, R. and Ordóñez, M (2016), Main drivers of changes in CO₂ emissions in the Spanish economy: a structural decomposition analysis, *Energy Policy*, 89: 150-159.

CDIAC (2017), CO₂ emissions (metric tons per capita), Carbon Dioxide Information Analysis Center, Environmental Sciences Division. United States, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.

Department of Environment (2015), Intended Nationally Determined Contribution, Department of Environment. IRAN:1-10.

Enerdata (2017), Global Energy Statistical Yearbook 2017, Total Energy.

Germanwatch (2016), The largest producers of CO₂ emissions worldwide in 2016, based on their share of global CO₂ emissions, Germanwatch.

Kaya, Y. and Yokobori, K (1997), *Environment, Energy, and Economy: Strategies for Sustainability*, United Nations University Press Tokyo, Japan.

Lee, C. C (2005), *Environmental Engineering Dictionary*, Government Institutes, ISBN: 086587848X, 9780865878488, 112.

Liang, Y., Niu, D., Wang, H. and Li, Y (2017), Factors Affecting Transportation Sector CO₂ Emissions Growth in China: An LMDI Decomposition Analysis, *Sustainability*, 9(10): 1730.

Lin, B. and Ahmad, I (2017), Analysis of energy related carbon dioxide emission and reduction potential in Pakistan, *Journal of Cleaner Production*, 143: 278-287.

Liobikienė, G., Butkus, M. and Bernatoniene, J (2016), Drivers of greenhouse gas emissions in the Baltic states: decomposition analysis related to the implementation of Europe 2020 strategy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54: 309-317.

Ma, M. and Cai, W (2018), What drives the carbon mitigation in Chinese commercial building sector? Evidence from decomposing an extended Kaya identity, *Science of The Total Environment*, 634: 884-899.

Mousavi, B., Lopez, N. S. A., Biona, J. B. M., Chiu, A. S. and Blesl, M (2017), Driving forces of Iran's CO₂ emissions from energy consumption: An LMDI decomposition approach, *Applied Energy*, 206: 804-814.

- Peters, G. P., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Fuss, S., Jackson, R. B., Korbakken, J. I., Le Quéré C. and Nakicenovic, N (2017), Key indicators to track current progress and future ambition of the Paris Agreement, *Nature Climate Change*, 7(2): 118.
- Sanchez, L. F. and Stern, D. I (2016), Drivers of industrial and non-industrial greenhouse gas emissions, *Ecological Economics*, 124: 17-24.
- Shang, M., Dong, R., Fu, Y. and Hao, W (2018), Research on carbon emission driving factors of China's provincial construction industry, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing.
- Smith, A. B (2017), 2016: A historic year for billion-dollar weather and climate disasters in U.S., *Beyond the Data*. U.S., NOAA.
- Statista (2017), Statista Hamburg Germany.
- Štreimikienė, D. and Balezentis, T (2016), Kaya identity for analysis of the main drivers of GHG emissions and feasibility to implement EU “20–20–20” targets in the Baltic States, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58: 1108-1113.
- Tavakoli, A (2017), How Precisely «Kaya Identity» Can Estimate GHG Emissions: A Global Review, *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences (JJEES)*, 8(2): 91-96.
- Tavakoli, A (2018), A Journey among Top Ten Emitter Country, Decomposition of “Kaya Identity”, *Sustainable Cities and Society*, 38: 254-264.
- UNEP (2015), UN Climate Change Newsroom, <http://newsroom.unfccc.int/> United Nations Environment Program.
- UNFCCC (2016), GLOSSARY of United Nations Framework Convention on Climate Change, http://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/ghg_inventories/english/8_glossary/Glossary.htm.
- U. S. DOE (2016), Environment Baseline, Volume 1: Greenhouse Gas Emissions from the U.S. Power Sector, Office of Energy Policy and Systems Analysis U.S. Department of Energy.
- U. S. EIA (2018), GLOSSARY of U. S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov/tools/glossary/index.php>.
- Ziemele, J., Gravelins, A. and Blumberga, D (2015), Decomposition analysis of district heating system based on complemented Kaya identity, *Energy Procedia*, 75: 1229-1234.

Decomposition and Analysis of Driving Forces of GHG Emissions and Emission Reduction Potentials in Iran

Azadeh Tavakoli

PhD in Environmental Engineering, Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, University of Zanjan, atavakoli@znu.ac.ir

Received: 2018/03/30 Accepted: 2018/12/27

Abstract

Climate change cannot control unless by reduction of GHG emissions to secure level, therefore it is important to identify driving forces and possible scenarios based on targets.

In this research, the Logarithmic Mean Divisia Index decomposition approach in combination with Extended Kaya Identity (EKI) are applied to investigate five factors could affect emissions during 1971-2012 in Iran. These factors include population, GDP_{capita} , energy and carbon intensity and share of fossil fuels. Chaining, non-chaining methods and three emission reduction scenarios (4, 8 and 12%) based on Iran INDC forms the other parts of research.

Based on results, carbon intensity, activity effect, and population contribute to increase and share of fossil fuels has a decreasing effect on emissions. The future targets of government should emphasis on change of fuel type and economic development toward low carbon. Chaining analysis could be used as a calendar, show the effect of events on parameters while non-chaining present a clear image by deleting noises. Among proposed reduction scenarios, the best and logical option emphasize on reduction of fossil fuel share (up to 40% compared to 2020) and development of renewable energies. Improvement of carbon and energy intensity (each as 50% compared to 2020) are the next options.

JEL Classification: Q54, Q01

Keywords: Climate Change, LMDI, Population, Activity Effect, Carbon Intensity, Energy Intensity.