

تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن در زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش میانگین لگاریتمی شاخص دیویژیا (LMDI)

محسن پورعبادالهیان کوچی*

دانشیار اقتصاد دانشگاه تبریز، *Mohsen_p54@hotmail.com*

فیروز فلاحی

دانشیار اقتصاد دانشگاه تبریز، *Firfal@yahoo.com*

الهام علی‌زاده

کارشناس ارشد اقتصاد دانشگاه تبریز، *Alizadeheconomic3400@yahoo.com*

خدیجه صالحی ابر

دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه تبریز، *Salehi_kh90@yahoo.com*

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۰۱

چکیده

آلودگی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی جهان امروز است. در این میان گاز دی‌اکسیدکربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، بیشترین سهم را از انتشار گازهای گلخانه‌ای به خود اختصاص می‌دهد. طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳، بخش صنعت ایران با داشتن سهم متوسطی حدود ۱۶/۱ درصد، نقش بسزایی در انتشار دی‌اکسیدکربن در بین کل بخش‌های مصرف‌کننده انرژی کشور داشته است. در این میان سهم شهرهای بزرگ و کلان شهرها در آلودگی هوا که بخش اعظمی از صنایع را در خود جای داده‌اند به مراتب بیشتر است. استان آذربایجان شرقی با تمرکز صنایع تولید ماشین‌آلات و تجهیزات، یکی از قطب‌های صنعتی کشور به شمار رفته و از جمله استان‌های با سطح آلودگی بالا می‌باشد. به همین اساس در مطالعه حاضر، انتشار دی‌اکسیدکربن در زیربخش‌های صنعتی منظور کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن در استان، شناخت عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار آن ضروری می‌باشد. استان آذربایجان شرقی طی دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۰، به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه می‌شود و با استفاده از روش LMDI، اثر تغییر هر یک از آنها بر تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات در اثر فعالیت و اثر ضریب انتشار به ترتیب بیشترین اثر را بر رشد انتشار دی‌اکسیدکربن زیربخش‌های صنعتی استان داشته‌اند. در نقطه مقابل، تغییرات اثر شدت انرژی، اثر ساختاری و اثر ترکیب سوخت عوامل اصلی کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن بوده‌اند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل تجزیه شاخص، انتشار دی‌اکسیدکربن، زیربخش‌های صنعتی، روش

LMDI، استان آذربایجان شرقی، ایران

طبقه‌بندی JEL: Q53، Q51، Q50

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

آلودگی‌ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی جهان امروز است. اهمیت آلودگی هوا به‌اندازه‌ای است که در بسیاری از قوانین و مقررات ملی و بین‌المللی به آن توجه شده است. از جمله کنفرانس ملل متحد در سال ۱۹۹۲، معاهده‌ای تحت عنوان کنوانسیون تغییرات آب و هوایی تصویب کرد که هدف آن جلوگیری از تغییرات غیرعادی اقلیمی و گرم شدن فاجعه‌بار کره زمین است و پیمان کیوتو که در سال ۲۰۰۵ وضع شد، اولین توافق‌نامه‌ای است که سعی می‌کند انتشار گازهای گلخانه‌ای را محدود کند.

نزدیک به دوسوم از تولید گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۱۲ از ده کشور نشأت گرفته که چین با سهم ۲۶ درصد و ایالت متحده آمریکا با سهم ۱۶ درصد از همه کشورهای پیشی گرفته‌اند، ایران نیز در رتبه نهم این رده‌بندی قرار دارد (آژانس بین‌المللی انرژی^۱، ۲۰۱۴، ص ۹) در این میان دی‌اکسیدکربن (CO₂) ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، بیشترین سهم را از انتشار گازهای گلخانه‌ای به خود اختصاص می‌دهد. آمار موجود در ایران نشان می‌دهد که سرانه انتشار CO₂ از ۳/۱۷ تن در سال ۱۹۹۰ به ۶/۹۶ تن در سال ۲۰۱۲ افزایش یافته است (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۱۴، ص ۸۷) یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها که به‌طور گسترده در خصوص حفاظت از محیط زیست ملاک مقایسه کشورها بوده و به‌صورت سالانه منتشر می‌شود، شاخص عملکرد محیط زیست (EPI^۲) است که ایران در سال ۲۰۱۲ از نکته نظر این شاخص در رتبه ۱۱۴ جهان قرار گرفته است، در حالی که در سال ۲۰۱۰ در رتبه ۷۸، در سال ۲۰۰۸ در رتبه ۶۷ و در سال ۲۰۰۶ در رتبه ۵۳ قرار داشته است. نزول رتبه ایران در شاخص عملکرد محیط زیست، اهمیت توجه به این مقوله را بیشتر می‌سازد (فطرس و براتی^۳، ۱۳۸۹).

بخش صنعت ایران طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۰، با داشتن سهمی به‌طور متوسط حدود ۱۶/۱ درصد، نقش بسزایی در انتشار CO₂ در بین کل بخش‌های مصرف‌کننده انرژی

¹ International Energy Agency

² Environmental Performance Index

³ Fotros & Baraty (2010)

داشته است. کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر به‌عنوان صنایع متوسط و بزرگ^۱، در سال ۱۳۹۳ بیش از ۸۱ درصد از انرژی مصرفی بخش صنعت را در اختیار داشته‌اند. این کارگاه‌ها در ۲۳ زیربخش صنعتی (کدهای دو رقمی ISIC^۲) طبقه‌بندی شده‌اند. در این میان، شهرهای بزرگ و کلان شهرها که بخش اعظمی از صنایع را در خود جای داده‌اند در آلودگی هوا سهم عمده‌ای دارند. استان آذربایجان شرقی به دلیل استقرار کارخانه‌های بزرگ صنعتی، موقعیت مناسبی در اقتصاد کشور به‌ویژه در شمال غرب کشور داشته و جزء صنعتی‌ترین استان‌های کشور محسوب می‌شود. آمار موجود نشان می‌دهد که در سال ۱۳۹۳، به میزان ۵/۶ درصد از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر کشور، در استان آذربایجان شرقی قرار داشته است. به‌منظور کنترل و کاهش آلودگی‌هایی همچون CO₂ در استان‌های صنعتی همچون آذربایجان شرقی لازم است که عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی‌های مزبور مورد بررسی قرار گیرد. از همین روی مطالعه حاضر با استفاده از آمار و اطلاعات کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر استان آذربایجان شرقی طی دوره زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۳، به تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی CO₂ زیربخش‌های صنعتی (در سطح کدهای دو رقمی ISIC) به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار می‌پردازد و با به‌کارگیری فرم جمعی روش LMDI^۳، اثر تغییر در هر یک از عوامل مذکور را بر روی تغییرات انتشار CO₂ زیربخش‌های مزبور مورد بررسی قرار می‌دهد. در این مطالعه سعی می‌شود تا ضمن تحلیل روند عوامل مذکور به سؤالات زیر پاسخ داده شود:

۱. تأثیر افزایش تولیدات صنعتی در تغییرات انتشار CO₂ زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی چقدر بوده‌است؟
۲. تغییرات ساختاری صورت گرفته در طی دوره مورد بررسی چه اثری بر روند تغییرات انتشار CO₂ زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی داشته است؟
۳. تأثیر تغییرات شدت انرژی در تغییرات انتشار CO₂ زیربخش‌های صنعتی استان

^۱ کارگاه صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر کارگاهی است که متوسط تعداد کارکنانش در سال‌های مورد بررسی، ده نفر و بیشتر بوده است. علت انتخاب کارگاه‌های ده نفر کارکن و بیشتر آن است که این کارگاه‌ها بخش اعظم کارگاه‌های صنعتی در ایران را تشکیل می‌دهند و همچنین دارای آمار و اطلاعات منسجم سری‌زمانی می‌باشند.

^۲ International Standard Industrial Classification of all Economic Activities

^۳ Logarithmic Mean Divisia Index

آذربایجان شرقی به چه میزان بوده‌است؟

۴. تغییر در ترکیب سوخت‌های مصرفی مختلف چه سهمی در تغییرات روند انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی داشته است؟

۵. تغییر در ضریب انتشار سوخت‌های مختلف چه سهمی در تغییرات انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی داشته است؟

سازمان‌دهی مقاله به این ترتیب است که در ادامه و در بخش دوم، مبانی نظری و در بخش سوم پیشینه تجربی تحقیق آورده شده است. در بخش چهارم روش‌شناسی تحقیق و در بخش پنجم تجزیه و تحلیل یافته‌ها ارائه می‌گردد. در نهایت، در بخش ششم به نتیجه‌گیری ارائه پیشنهادات سیاستی پرداخته می‌شود.

۲- مبانی نظری

در پی وقوع بحران نفتی جهان در دهه ۱۹۷۰، محققان درصدد ارائه روشی برای تعیین میزان تغییرات اثر ساختاری بر تقاضای انرژی صنعتی برآمدند تا شناخت ژرف‌تری از سازوکارهای موجود تغییر در مصرف انرژی صنعتی را کسب کنند (فطرس و براتی^۱، ۱۳۹۲). از این روی، انگیزه اصلی در زمینه مطالعات تحلیل تجزیه (DA)^۲، عمدتاً به بهره‌وری انرژی و به‌طور غیرمستقیم به امنیت انرژی ارتباط دارد. تا حدود سال ۱۹۹۰ تغییرات اندکی در این زمینه به وجود آمد. پس از سال ۱۹۹۰، با تغییرات آب‌وهوا و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای که تبدیل به یک مسئله جهانی شد، تحلیل تجزیه برای مطالعات انتشار گازهای گلخانه‌ای و به‌طور خاص در مورد انتشار CO_2 ناشی از مصرف انرژی نیز مورد استفاده قرار گرفت (شو و آنگ^۳، ۲۰۱۳).

به‌طور کلی، در بررسی موضوع تجزیه و برای تحلیل عوامل مؤثر بر انتشار CO_2 طی دو دهه گذشته دو رویکرد متفاوت تحلیل تجزیه ساختاری (SDA)^۴ و تحلیل تجزیه شاخص (IDA)^۵ به کار گرفته شده است.

هر کدام از این تکنیک‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند. IDA یک روش ساده است که از داده‌های تجمیع شده در سطح بخشی و در سطح کلان استفاده می‌کند و نیاز به

¹ Fotros & Baraty (2013)

² Decomposition Analysis

³ Xu & Ang

⁴ Structural Decomposition Analysis

⁵ Index Decomposition Analysis

داده‌های کمتری دارد، در حالی که SDA از اطلاعات جداول داده-ستانده استفاده می‌کند که هر چند سال یکبار تهیه می‌شود و داده‌های سالانه آن در دسترس نیست. از همین روی تکنیک IDA بیشتر توسعه یافته است.

رویکرد IDA بر اساس «نظریه اعداد شاخص^۱» می‌باشد و به دلیل انعطاف‌پذیری محاسباتی می‌توان از روش‌های مختلفی برای شاخص‌سازی آن استفاده کرد. به‌طور کلی این رویکرد، به دو روش IDA بر پایه شاخص لاسپیرز^۲ (شامل شاخص اصلاح شده فیشر، شاخص ایده‌آل فیشر، شاخص شپلی-سان و شاخص مارشال-آجورث) و IDA بر پایه شاخص دیویژیا^۳ (شامل شاخص دیویژای میانگین حسابی (AMDI)^۴) و شاخص دیویژای میانگین لگاریتمی (LMDI) تقسیم‌بندی می‌شود (لین و دیو^۵، ۲۰۱۴).

اغلب روش‌های متداول اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ به‌طور مفهومی مرتبط با شاخص لاسپیرز می‌باشند (جونگ و کیم^۶، ۲۰۱۳). با این وجود از جمله مشکلات تکنیک‌های شاخص لاسپیرز آن است که در هنگام افزایش تعداد عوامل (به بیش از سه مورد) فرمول‌های محاسباتی آن‌ها، شکل پیچیده‌تری پیدا می‌کنند، از همین روی تکنیک‌های شاخص دیویژیا بهتر می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

برای اولین بار روش شاخص دیویژیا، به‌عنوان یک روش جایگزین برای شاخص لاسپیرز توسط بوید و همکاران^۷ (۱۹۸۷) پیشنهاد گردید.

رویکردهای LMDI و AMDI که به‌عنوان شاخص‌های دیویژیا در دو فرم جمعی و ضربی مطرح می‌گردند، دارای شباهت‌ها و تفاوت‌هایی می‌باشند. روش AMDI اکثر ویژگی‌های تکنیک LMDI را دارد، به‌طوری که در بسیاری از مسائل می‌توان از آن به‌جای LMDI استفاده کرد و نتایج نزدیکی به دست آورد. با این وجود AMDI در مقایسه با رویکرد LMDI دارای دو کاستی زیر می‌باشد: اول آن که «آزمون برگشت عامل^۸» در روش AMDI برقرار نیست، بنابراین این روش در برخی از شرایط به‌طور مثال در تجزیه بین کشوری که اختلاف بزرگی در بین داده‌ها وجود دارد می‌تواند منجر

¹ Theoretical Foundation

² Laspeyres IDA

³ Divisia IDA

⁴ Arithmetic Mean Divisia Index

⁵ Lin & Du

⁶ Jeong & Kim

⁷ Boyd et al.

⁸ Factor-Reversal Test

به ایجاد پسماند گردد. دومین کاستی روش مزبور هنگامی است که مجموعه داده‌ها حاوی مقادیر صفر است.

در هر دو موقعیت ذکر شده روش LMDI می‌تواند به‌عنوان روشی بهتر جایگزین AMDI شود. به طوری که در هر دو فرم ضربی و جمعی این شاخص، «آزمون برگشت عامل» برقرار می‌باشد، به این معنی که تجزیه تغییر در عوامل را بدون هیچ پسماندی انجام می‌دهد. ویژگی دیگر این شاخص آن است که در مسائل متفاوت به لحاظ تعداد عوامل مؤثر، از فرمول مشابهی استفاده می‌کنند. از سوی دیگر بین دو فرم ضربی و جمعی شاخص مزبور رابطه ساده‌ای وجود دارد که توضیح مفهوم آن دو را آسان‌تر می‌کند. وجود ارتباط بسیار ساده و مستقیم بین روش ضربی و جمعی، یک ویژگی خوب از نظر روش‌شناسی است. بنابراین شاخص LMDI در مقایسه با سایر تکنیک‌های شاخص‌سازی از مشخصه‌های بهتری برخوردار است. از همین روی در این مطالعه نیز از این شاخص استفاده خواهد شد.

همان‌طور که بیان شد، تجزیه بر اساس روش LMDI می‌تواند در قالب دو فرم جمعی و ضربی صورت پذیرد. انتخاب بین دو فرم مذکور علی‌رغم وجود تفاوت‌های کوچک از نظر روش محاسبه، نسبتاً دلخواه بوده و تفاوت اصلی آنها در سهولت استفاده و تفسیر نتایج می‌باشد (آنگ، ۲۰۰۴). در این میان تفسیر نتایج در روش تجزیه جمعی آسان‌تر است و به‌عنوان یک نتیجه از سهولت تشخیص تغییر جهت، این روش بیشتر در مطالعات به کار می‌رود. فرم ضربی نیز بیشتر برای مقایسه روند تغییرات انتشار گازهای آلاینده در کشورهای مختلف که هم‌تراز نمی‌باشند، کاربرد دارد^۱ (پورعبدالالهان کویچ و همکاران^۲، ۱۳۹۳). به‌علاوه، هر تحلیل تجزیه شاخص می‌تواند به دو صورت دوره‌ای و سری زمانی مورد بررسی قرار گیرد که در صورت وجود داده‌های کافی تجزیه سری زمانی (سال به سال) ترجیح داده می‌شود، چرا که نتایج حاصل از این روش دگرگونی ناشی از انتخاب تغییرات فناوری را کاهش می‌دهد. فلذا مطالعه حاضر با استفاده از روش جمعی و به صورت سری زمانی (سال به سال) انجام می‌گیرد.

۳- پیشینه تجربی تحقیق

^۱ برای اطلاعات بیشتر در مورد روش ضربی و جمعی LMDI به ترتیب می‌توان به مطالعه (Ang and Liu (2001) و (Ang et al. (1998) رجوع شود.

^۲ Poor ebadolahan kovich et al. (2014)

طی سال‌های اخیر مطالعات متعددی با استفاده از تحلیل تجزیه، به بررسی تغییرات انتشار آلودگی CO₂ مربوط به مصرف انرژی پرداخته‌اند که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با استفاده از روش LMDI، به تجزیه و تحلیل انتشار آلودگی CO₂ ناشی از تولید برق در چین طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۹۱ پرداخته‌اند. آن‌ها عوامل مؤثر بر انتشار CO₂ ناشی از تولید برق را به شش عامل اثر ضریب انتشار، اثر کارایی تولید برق، اثر قدرت حرارتی برق، اثر ساختاری در قدرت حرارتی، اثر شدت انرژی برق و اثر فعالیت اقتصادی تقسیم کرده‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که انتشار CO₂ ناشی از تولید برق سالانه با نرخ ۷۲ درصد رشد می‌کند و تولید برق حاصل از سوخت زغال سنگ دارای بیشترین سهم از انتشار CO₂ در چین می‌باشد. همچنین تغییرات اثر فعالیت اقتصادی مهم‌ترین عامل در افزایش انتشار CO₂ ناشی از تولید برق است، در حالی که تغییرات اثر کارایی تولید برق نقش غالبی در کاهش انتشار CO₂ داشته است.

وانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۳) با استفاده از روش LMDI عوامل مؤثر بر انتشار CO₂ مربوط به انرژی را در استان جیانگ‌سو طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۹۶ بررسی کرده‌اند. آن‌ها انتشار آلودگی مزبور را به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات فعالیت‌های اقتصادی مهم‌ترین عامل در رشد تولید گازهای گلخانه‌ای مربوط به مصرف انرژی استان جیانگ‌سو می‌باشد و تغییرات اثر شدت انرژی نقش مهمی در کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای دارد.

جونگ و کیم^۳ (۲۰۱۳) با استفاده از روش LMDI انتشار گازهای گلخانه‌ای را در بخش کارخانه‌های کشور کره جنوبی برای دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۹ به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که تغییرات اثر ساختاری و اثر شدت انرژی بیشترین سهم را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد بررسی دارند.

¹ Zhang et al.

² Wang et al.

³ Jeong and Kim

آق‌بستانچی و همکاران^۱ (۲۰۱۱) در مقاله‌ای با به‌کارگیری روش LMDI به بررسی عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن در ۵۷ زیربخش صنعتی ترکیه در سطح کدهای دو رقمی ISIC پرداخته‌اند. در این مقاله انتشار CO₂ به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه‌شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تغییرات اثر فعالیت و اثر شدت انرژی مهم‌ترین عوامل تغییرات انتشار CO₂ می‌باشند. همچنین زغال‌سنگ به‌عنوان آلوده‌کننده‌ترین سوخت و صنعت «آهن و صنایع بر پایه فولاد» به‌عنوان آلوده‌کننده‌ترین صنعت تشخیص داده شد.

پورعبادالهیان کویچ و همکاران (۱۳۹۳) با به‌کارگیری روش جمعی LMDI به بررسی عوامل مؤثر بر انتشار CO₂ در زیربخش‌های صنعتی ایران در سطح کدهای دو رقمی ISIC طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۶ پرداخته‌اند. آن‌ها عوامل مؤثر بر انتشار را به پنج جزء اثر ساختاری، اثر فعالیت، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه کردند. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات اثر فعالیت عامل اصلی افزایش انتشار CO₂ در زیربخش‌های صنعتی ایران بوده است. در مقابل، تغییرات اثر شدت انرژی به‌طور قابل ملاحظه‌ای موجب کاهش انتشار CO₂ شده است.

فطرس و براتی (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با استفاده از روش‌های LMDI و AMDI طی دوره ۱۳۷۶-۱۳۸۹ به تحلیل عواملی می‌پردازند که انتشار CO₂ ناشی از مصرف سوخت سنگواره‌ای در بخش حمل و نقل را تحت تأثیر قرار می‌دهند. عوامل اثرگذار مورد بررسی ضریب انتشار، شدت انرژی، ترکیب سوختی، شیوه حمل و نقل، اثر ساختاری، فعالیت‌های اقتصادی به‌صورت سرانه و رشد جمعیت می‌باشند. نتایج نشان می‌دهند که تغییرات فعالیت اقتصادی، اثر ساختاری و رشد جمعیت به ترتیب بیشترین اثر را بر رشد انتشار CO₂ در بخش حمل و نقل داشته‌اند.

خلیلی عراقی و همکاران^۲ (۱۳۹۱) با استفاده از روش تحلیل تجزیه شاخص LMDI، تغییرات انتشار آلودگی CO₂ در سطح کلان اقتصاد و در سطح بخش‌های اقتصادی به عوامل اثرگذار را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که در سطح کلان اقتصاد، تغییرات سرانه تولید ناخالص داخلی، جمعیت و شدت انرژی، اثر مثبت بر افزایش انتشار CO₂ داشته است و تغییرات ضریب انتشار سوخت‌های فسیلی نقش

¹ Akbostanci et al.

² Khalili Araghi et al. (2012)

مؤثری در کاهش انتشار CO_2 داشته است. نتایج بخش صنعت نیز نشان می‌داد که سهم سوخت‌های فسیلی در انرژی مصرفی و تولید این بخش از کل تولید ناخالص داخلی کشور نقش تعیین‌کننده در انتشار CO_2 داشته‌اند. همچنین نتایج مطالعه نشان می‌داد که ضریب انتشار سوخت‌های فسیلی و شدت انرژی مصرفی در بخش خدمات و کشاورزی نقش مثبت در انتشار CO_2 داشته‌اند و اثر سهم بخش کشاورزی از کل تولید ناخالص داخلی بر انتشار CO_2 در این بخش برخلاف سایر بخش‌های اقتصادی، منفی بوده است.

۴- روش‌شناسی تحقیق

همان‌گونه که پیشتر نیز اشاره شد، این مطالعه به تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن در زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی در سطح کدهای دو رقمی ISIC طی دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۰ می‌پردازد.

کلیه مطالعات تحلیل تجزیه شاخص از جمله روش LMDI، با تعریف یک تابع تعیین‌کننده شروع می‌شوند. برای درک بهتر موضوع فرض کنید که در حالت کلی تابع تعیین‌کننده V ، مجموع V_i عامل مختلف باشد به طوری که هر یک از V_i ها تابعی از n متغیر باشد؛ به عبارت دیگر

$$V = \sum_i V_i = \sum_i x_{1,i}, x_{2,i}, \dots, x_{n,i} \text{ و } V_i = x_{1,i}, x_{2,i}, \dots, x_{n,i} \quad (1)$$

که زیرنویس i می‌تواند نشانگر یک ویژگی کلی، مانند شماره زیربخش‌های مصرف‌کننده انرژی، نوع سوخت و غیره باشد. به‌علاوه فرض کنید که تابع تعیین‌کننده V طی دوره صفر تا دوره T ، از $X_{1,i}^0, X_{2,i}^0, \dots, X_{n,i}^0$ به $V^T = \sum_i X_{1,i}^T, X_{2,i}^T, \dots, X_{n,i}^T$ تغییر کند.

بر این اساس، فرم کلی تجزیه جمعی به‌شکل زیر فرمول‌بندی می‌شود. در فرم جمعی تغییرات به شکل مطلق بررسی می‌گردند و متغیر وابسته به‌صورت حاصل جمعی از تفاضل مؤلفه‌ها در طی زمان بیان می‌شود، به عبارت دیگر

$$\Delta V_{tot} = V^T - V^0 = \Delta V_{x_1} + \Delta V_{x_2} + \dots + \Delta V_{x_n} + \Delta V_{rsd} \quad (2)$$

به طوری که ΔV_{tot} بیانگر کل تغییرات و ΔV_{rsd} بیانگر قسمت پسماند است که برای روش‌هایی همچون روش LMDI که تجزیه به‌صورت کامل انجام می‌گیرد، این بخش

حذف می‌شود.^۱

در رویکرد LMDI، فرمول کلی برای تأثیر K امین عامل در تغییرات مزبور برای فرم جمعی به صورت زیر تعریف می‌گردد:^۲

$$\Delta V_{x_k} = \sum_i L(V_i^T, V_i^0) \ln \left(\frac{X_{k,i}^T}{X_{k,i}^0} \right) \quad (3)$$

در تابع فوق عبارت $L(V_i^T, V_i^0)$ ، بیانگر متوسط لگاریتمی دو عدد مثبت a و b می‌باشد که توسط آنگ^۳ (۲۰۰۴) به صورت زیر تعریف شده است:

$$L(a, b) = \begin{cases} \frac{a - b}{\ln a - \ln b} & \text{for } a \neq b \\ a & \text{for } a = b \end{cases} \quad (4)$$

در تحقیق حاضر تابع تعیین‌کننده V ، میزان انتشار آلودگی CO_2 در بخش صنعت استان آذربایجان شرقی می‌باشد. بخش صنعت در ۲۳ زیربخش صنعتی (کد دو رقمی ISIC) تقسیم‌بندی می‌شود که در این مطالعه با توجه به نبود اطلاعات ارزش تولیدات و میزان سوخت‌های مصرفی برای برخی از زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی، میزان CO_2 انتشار یافته از ۱۷ زیربخش صنعتی مورد بررسی قرار می‌گیرد.^۴ هر یک از زیربخش‌های صنعتی مزبور از هفت نوع حامل‌های انرژی (شش نوع سوخت فسیلی و برق) استفاده می‌کنند. بدین ترتیب بر اساس روش مورد استفاده توسط آنگ (۲۰۰۵)، مجموع انتشار آلودگی CO_2 در ۱۷ زیربخش صنعتی مذکور ناشی از مصرف حامل‌های انرژی ۷ گانه را می‌توان به صورت زیر به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه نمود:

$$C = \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 C_{if} = \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 Q \times \frac{Q_i}{Q} \times \frac{E_i}{Q_i} \times \frac{E_{if}}{E_i} \times \frac{C_{if}}{E_{if}} \quad (5)$$

$$= \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 QS_i I_i M_{if} U_{if}$$

که در آن اندیس i نشان‌دهنده زیربخش صنعتی و اندیس f بیانگر نوع حامل انرژی می‌باشد. مفهوم متغیرهای مورد استفاده در فرمول در جدول (۱) توضیح داده شده است.

^۱ برای اثبات تجزیه کامل در روش جمعی LMDI به (Ang and Liu (2001) و (Ang et al. (1998) مراجعه شود.

^۲ برای رابطه فوق به مطالعه (Wood and Lenzen, (2006) مراجعه شود.

^۳ Ang

^۴ اسامی این ۱۷ زیربخش صنعتی در جدول پیوست آمده است.

در روش تجزیه شاخص جمع‌پذیر، کل تغییرات انتشار CO_2 در فاصله زمانی صفر تا T به صورت زیر تجزیه می‌شود:

$$\Delta C_{tot} = C^T - C^0 = \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{emf} \quad (۶)$$

که در آن زیرنویس‌های act, str, int, mix, emf به ترتیب نشان‌دهنده اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار می‌باشند.

جدول (۱): تعریف متغیرها

متغیر	توصیف متغیر	متغیر	توصیف متغیر
C	میزان کل انتشار آلودگی CO_2	C_{if}	میزان انتشار آلودگی CO_2 حاصل از مصرف سوخت f ام در زیربخش صنعتی i ام
Q	ارزش تولیدات کل زیربخش‌های صنعتی (اثر فعالیت)	$S_i = \frac{Q_i}{Q}$	سهم زیربخش صنعتی i ام از ارزش تولیدات کل زیربخش‌های صنعتی (اثر ساختاری)
Q_i	ارزش تولیدات زیربخش صنعتی i ام	$I_i = \frac{E_i}{Q_i}$	شدت انرژی زیربخش صنعتی i ام (اثر شدت انرژی)
E_i	کل انرژی مصرفی زیربخش صنعتی i ام	$M_{if} = \frac{E_{if}}{E_i}$	سهم سوخت f ام از کل انرژی مصرفی زیربخش صنعتی i ام (اثر ترکیب سوخت)
E_{if}	انرژی مصرفی حاصل از سوخت f ام در زیربخش صنعتی i ام	$U_{if} = \frac{C_{if}}{E_{if}}$	میزان انتشار آلودگی CO_2 ناشی از مصرف هر واحد انرژی مصرفی سوخت f ام در زیربخش صنعتی i ام (اثر ضریب انتشار)

بر اساس روش LMDI، تغییرات آلودگی ناشی از تغییر هر یک از عوامل مؤثر پنج‌گانه مذکور در فرم جمعی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta C_{act} = \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad (۷)$$

$$\Delta C_{str} = \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad (۸)$$

$$\Delta C_{int} = \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad (۹)$$

$$\Delta C_{mix} = \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{M_{if}^T}{M_{if}^0} \right) \quad (۱۰)$$

$$\Delta C_{emf} = \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{U_{if}^T}{U_{if}^0} \right) \quad (11)$$

از این رو اثر کل ΔC_{tot} را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\begin{aligned} \Delta C_{tot} = & \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 W_{if} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) + \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 W_{if} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \\ & + \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 W_{if} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \\ & + \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 W_{if} \ln \left(\frac{M_{if}^T}{M_{if}^0} \right) + \sum_{i=1}^{17} \sum_{f=1}^7 W_{if} \ln \left(\frac{U_{if}^T}{U_{if}^0} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

که در آن W_{if} برابر است با:

$$W_{if} = \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \quad (13)$$

یکی از مشکلاتی که این روش در اکثر مطالعات مربوط به تجزیه با آن مواجه است مشکل وجود مقدار صفر در داده‌ها است. از آنجا که مقدار صفر در دامنه توابع لگاریتمی تعریف نشده است، از همین روی، وجود ارزش صفر در داده‌ها منجر به نتایج مبهم می‌گردد. برای برطرف کردن چنین مشکلی در روش LMDI دو راهکار پیشنهاد شده است: در راهکار اول که توسط آنگ و چوی^۱ (۱۹۹۷) ارائه گردید، پیشنهاد می‌شود که با جایگزینی عددی بسیار کوچک بانام δ (که مقدار آن نزدیک صفر است) به جای عدد صفر می‌توان به نتایج همگرایی دست یافت. آن‌ها در مطالعات دیگری نیز این روش را استفاده کردند و دریافتند که وقتی ارزش δ بین 10^{-10} تا 10^{-20} باشد نتایج مطلوبی به دست می‌آید. این استراتژی که برای حل مشکل داده صفر از طریق جایگذاری با مقادیر بسیار کوچک می‌باشد، تحت عنوان استراتژی «مقدار کوچک» (SV)^۲ شناخته می‌شود. راهکار دوم که توسط آنگ و همکاران^۳ (۱۹۹۸) به‌عنوان یک روش جایگزین برای حل مشکل صفر پیشنهاد شده است، به استراتژی «محدودیت تحلیلی» (AL)^۴ معروف می‌باشد. در این روش، تحلیل گر باید علت به وجود آمدن مقادیر صفر را مشخص کند و سپس بر اساس نوع صفرها، محدودیت مناسب را اعمال کند.

¹ Ang and Choi

² Small Value

³ Ang et al.

⁴ Analytical Limit

بنابراین برای استفاده از این روش، جهت برطرف کردن مشکل داده صفر در محاسبات میزان انتشار آلودگی دی‌اکسید کربن (C_{if})، ابتدا باید علت اصلی به وجود آمدن صفرهای مزبور در معادله (۵) مشخص شود، که علت مزبور می‌تواند هر یک از عوامل ($Q, S_i, I_i, M_{if}, U_{if}$) باشند. معمولاً در مطالعات مربوط به انتشار آلاینده‌ها، دلیل به وجود آمدن داده‌های صفر مربوط به دو عامل M_{if} و U_{if} است^۱؛ بنابراین در مرحله بعدی، باید نوع تغییرات صفرها مشخص شود که آیا صفرهای موجود از نوع اول ($0 \leq +$) می‌باشد، بدین مفهوم که جهت تغییر مقدار C_{if} از صفر به یک مقدار مثبت و یا از یک مقدار مثبت به صفر بوده است. در این حالت که تنها یکی از مقادیر C_{if}^0 و C_{if}^T صفر می‌باشند، اثر فعالیت، اثر ساختاری و اثر شدت انرژی صفر در نظر گرفته می‌شود ولی دو اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار، با توجه به اینکه کدام یک در انتشار نقش دارند، سهم صفر، نصف یا تمام تغییرات انتشار آلودگی برایشان در نظر گرفته می‌شود. همچنین اگر تغییرات از نوع دوم ($0 \leq 0$) باشد که در این حالت هر دو مقدار C_{if}^0 و C_{if}^T صفر می‌باشند، اثر فعالیت، اثر ساختاری و اثر شدت انرژی صفر در نظر گرفته شده و اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار، هر یک نیمی از تغییرات انتشار آلودگی را به خود اختصاص می‌دهند.

در مقایسه کلی، استراتژی SV از نظر درک و پیاده‌سازی، روش ساده‌تری است، اما همیشه نتایج آن قابل اطمینان نبوده و از لحاظ کاربرد، زمانی که نتایج آن به نتایج استراتژی AL نزدیک باشد قابل قبول است. بنابراین روش AL علی‌رغم وقت‌گیر بودن، نتایج قابل‌اعتمادتری ایجاد کرده و به‌عنوان روش بهتر توصیه می‌شود.

داده‌های مربوط به ارزش تولیدات برای سال‌های مورد مطالعه و نیز انواع سوخت‌های مصرفی و برق مصرفیاز پایگاه داده‌های مرکز آمار ایران اخذ شده‌اند. از آنجایی که امکان محاسبه آمار ضریب انتشار آلودگی CO_2 به تفکیک زیربخش‌های صنعتی وجود ندارد، از ضریب انتشار کلی صنعت استفاده شده است که برای محاسبه آن نیز از آمار میزان انتشار CO_2 در بخش صنعت به تفکیک هر سوخت و برق و نیز مقدار مصرف هر یک از سوخت‌های فسیلی و میزان برق تولیدی در کل صنعت بهره گرفته می‌شود. اطلاعات مربوط به مصرف سوخت‌ها و برق و میزان انتشار CO_2 در بخش صنعت از ترازنامه انرژی

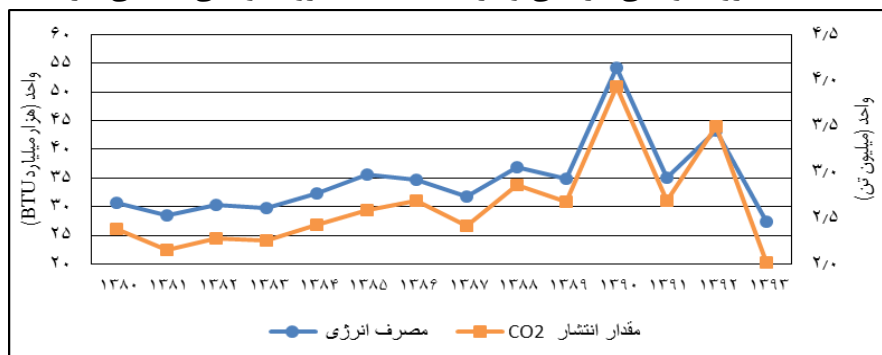
^۱ معمولاً در مطالعات انتشار گازها ارزش تولیدات و مصرف سوخت در همه‌ی زیربخش‌ها، غیر صفر می‌باشد. پس سه فاکتور اول (میزان تولیدات، سهم از کل تولید و شدت انرژی نمی‌تواند عامل به وجود آمدن صفر شود.

سال‌های مختلف استخراج شده‌اند.

۵- تجزیه و تحلیل یافته‌ها

۵-۱- روند متغیرهای تحقیق

قبل از بحث درباره نتایج تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار CO_2 ، به بررسی روند متغیرهای استفاده شده در تحقیق پرداخته می‌شود. در نمودار (۱) به روند مقدار انتشار CO_2 و انرژی مصرفی زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی استان آذربایجان شرقی طی دوره زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۳ اشاره شده است. همان طور که در این نمودار مشاهده می‌شود روند انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی طی دوره مورد مطالعه، مشابه روند انرژی مصرفی زیربخش‌های صنعتی مزبور می‌باشد. مقدار انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی استان آذربایجان شرقی طی دوره مورد مطالعه به میزان ۱/۴ درصد رشد کاهشی داشته است، اما روند رشد مزبور به صورت یکنواخت نمی‌باشد. به طوری که در دوره ۱۳۸۰-۱۳۹۰ روند نوسانی افزایشی و در ۱۳۹۳-۱۳۹۰ روند نوسانی کاهشی دارد.

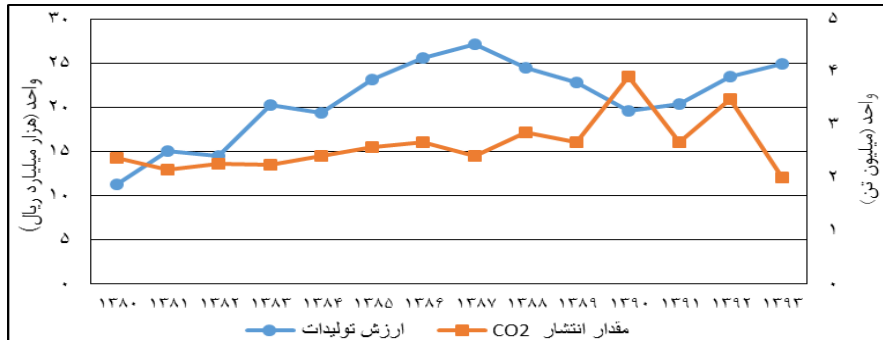


نمودار (۱): روند انتشار CO_2 و انرژی مصرفی زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی استان

آذربایجان شرقی طی دوره زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۳

منبع: محاسبات تحقیق با استفاده از داده‌های مرکز آمار ایران و ترازنامه انرژی طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۳ در نمودار (۲) به مقایسه روند مقدار انتشار CO_2 و روند ارزش تولیدات زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی استان آذربایجان شرقی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ پرداخته می‌شود. مطابق این نمودار، طی دوره‌های ۱۳۸۰-۱۳۸۷ و ۱۳۹۳-۱۳۹۰ ارزش تولیدات زیربخش‌های صنعتی با نرخ بالاتر از مقدار انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی افزایش

یافته که موجب کاهش شدت انتشار آلودگی CO_2 طی دوره‌های مزبور شده است. با این وجود طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۰ ارزش تولیدات کاهش یافته، در حالی که انتشار CO_2 به‌طور نوسانی افزایش یافته است و منجر به افزایش شدت انتشار آلودگی CO_2 زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی طی دوره مذکور شده است.



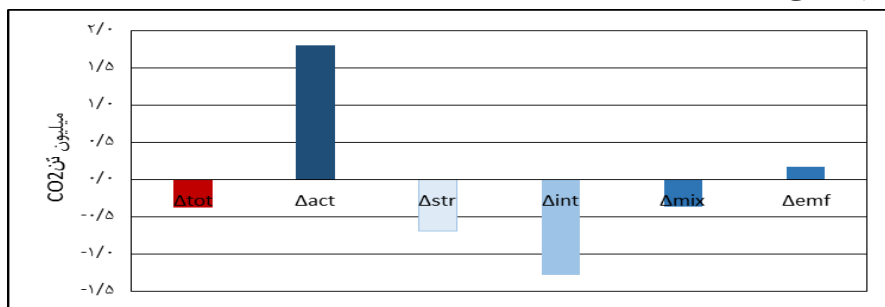
نمودار (۲): روند انتشار CO_2 و روند ارزش تولیدات زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی

استان آذربایجان شرقی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ طی دوره زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۳

منبع: محاسبات تحقیق با استفاده از داده‌های مرکز آمار ایران و ترازنامه انرژی طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۳

۵-۲- نتایج تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار CO_2

نتایج تجزیه رشد انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار در قالب فرم جمعی برای کل دوره مورد مطالعه^۲ در نمودار (۳) آمده است.



نمودار (۳): سهم عوامل مختلف در تغییرات انتشار آلودگی CO_2 طی کل دوره

منبع: محاسبات تحقیق

^۱ شدت انتشار آلودگی CO_2 نشان‌دهنده آن است که به ازای هر ریال تولید، چه مقدار CO_2 ایجاد می‌شود. برای محاسبه این شاخص، میزان انتشار CO_2 هر زیربخش بر ارزش تولیدات آن زیربخش صنعتی تقسیم می‌شود.

^۲ تغییرات انتشار کل دوره مورد مطالعه از جمع تغییرات انتشار سالانه به‌دست آمده است.

همان گونه که در نمودار (۳) مشاهده می‌شود، تغییرات اثر فعالیت بیشترین سهم را در افزایش انتشار آلودگی CO₂ طی دوره مورد بررسی داشته است. تغییرات اثر شدت انرژی و اثر ساختاری نیز موجب کاهش انتشار CO₂ شده است و تغییر اثرات ترکیب سوخت و ضریب انتشار سهم ناچیزی در تغییرات انتشار آلودگی CO₂ داشته‌اند. به‌منظور مشاهده بهتر تغییر روند عوامل مؤثر در انتشار آلودگی CO₂، می‌توان اثرات تغییرات این پنج عامل را به‌صورت سال به سال در جدول (۲) پیگیری نمود.

جدول (۲): تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار CO₂ در کل زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی استان آذربایجان شرقی در قالب فرم جمعی به تفکیک سال طی دوره ۱۳۸۰-۱۳۹۳ (واحد: میلیون تن CO₂)

سال	ΔC_{emf}	ΔC_{mix}	ΔC_{int}	ΔC_{str}	ΔC_{act}	ΔC_{tot}
۸۰-۸۱	-۰/۰۳۷	-۰/۰۰۲	-۰/۸۲۱	-۰/۰۲۳	۰/۶۵۰	-۰/۲۳۳
۸۱-۸۲	-۰/۰۳۲	۰/۰۸۷	۰/۲۷۵	-۰/۱۲۹	-۰/۰۷۴	۰/۱۲۷
۸۲-۸۳	۰/۰۱۲	-۰/۱۱۹	-۰/۴۸۲	-۰/۱۲۴	۰/۶۸۶	-۰/۰۲۷
۸۳-۸۴	-۰/۰۰۵	-۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۰/۲۸۲	-۰/۱۰۵	۰/۱۶۹
۸۴-۸۵	۰/۰۰۸	-۰/۰۹۷	۰/۰۹۳	-۰/۲۷۵	۰/۴۳۶	۰/۱۶۵
۸۵-۸۶	۰/۱۴۴	۰/۰۵۲	-۰/۳۵۷	-۰/۰۱۱	۰/۲۷۱	۰/۰۹۹
۸۶-۸۷	۰/۰۲۵	-۰/۰۸۷	-۰/۱۷۷	-۰/۱۶۸	۰/۱۴۲	-۰/۲۶۵
۸۷-۸۸	۰/۰۱۱	۰/۰۲۷	۰/۶۸۶	-۰/۰۲۲	-۰/۲۶۱	۰/۴۴۱
۸۸-۸۹	-۰/۰۷۱	۰/۰۶۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	-۰/۱۹۱	-۰/۱۸۵
۸۹-۹۰	۰/۱۲۳	-۰/۱۴۹	۱/۷۸۲	-۰/۰۲۳	-۰/۴۷۸	۱/۲۵۵
۹۰-۹۱	۰/۰۰۴	۰/۰۹۲	-۱/۵۵	۰/۰۷۵۶	۰/۱۳۷	-۱/۲۴۱
۹۱-۹۲	۰/۰۵۱	۰/۰۷۱	۰/۴۰۹	-۰/۱۴۸	۰/۴۲۱	۰/۸۰۴
۹۲-۹۳	-۰/۰۶۵	-۰/۲۷۵	-۱/۱۷	-۰/۱۳۸	۰/۱۶۱	-۱/۴۸۷
کل دوره ۸۰-۹۳	۰/۱۶۸	-۰/۳۶۲	-۱/۲۸۵	-۰/۶۹۴۴	۱/۷۹۵	-۰/۳۷۸

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق این جدول، انتشار CO₂ طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۳ به میزان ۰/۳۷۸ میلیون تن کاهش یافته است. در این میان تغییرات اثر فعالیت طی دوره ۱۳۸۰-۱۳۸۷ به صورت نوسانی منجر به رشد انتشار CO₂ شده است، در حالی که تأثیر تغییرات این عامل برای دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۰ در جهت کاهش انتشار CO₂ و برای دوره ۱۳۹۱-۱۳۹۳ در جهت افزایش انتشار CO₂ بوده است. این امر نشان‌دهنده افزایش و کاهش حجم تولیدات

زیربخش‌های صنعتی مورد مطالعه طی دوره‌های مزبور می‌باشد. در مجموع، تغییرات اثر فعالیت انتشار CO_2 را به میزان $1/795$ میلیون تن افزایش داده است. استفاده از ماشین‌آلات قدیمی و مستهلک، عدم بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید در فرآیند تولید کالا و خدمات و نیز تداوم و گسترش تولید برخی از صنایع انرژی‌بر همچون صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (با کد ۲۶) را می‌توان از دلایل عمده این اثر برشمرد. بدین ترتیب باید سعی شود از تولید و صادرات کالاهای انرژی‌بر کاسته شود و حتی‌الامکان تولید این محصولات صرفاً برای تأمین نیازهای داخلی محدود شود. همچنین بایستی اقدامات لازم جهت بهبود تکنولوژی در فرآیند تولید کالا و خدمات صورت پذیرد.

از سوی دیگر، تغییرات اثر ساختاری، انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی را طی دوره مورد بررسی، در مجموع به میزان $0/6944$ میلیون تن کاهش داده است. علت این مسئله را می‌توان در آن دانست که سهم تولیدی صنایعی که شدت انرژی^۱ کمتری دارند (همچون صنایع تولید فلزات اساسی (با کد ۲۷) و صنایع تولید وسایل نقلیه موتوری و تریلر (با کد ۳۴)) افزایش یافته است و در مقابل سهم تولیدی صنایعی که شدت انرژی بیشتری دارند (همچون صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (با کد ۲۶)) کاهش یافته است. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که یکی از راهکارهای مهم برای کاهش انتشار CO_2 تغییرات ساختاری می‌باشد. در این راستا بایستی سرمایه‌گذاری در صنایعی در اولویت قرار گیرد که از میزان شدت انرژی کمتر و در نتیجه شدت انتشار آلودگی کمتری برخوردار هستند.

در مورد تأثیر تغییرات اثر شدت انرژی می‌توان مشاهده کرد که در مجموع، موجب کاهش انتشار CO_2 به میزان $1/285$ میلیون تن بوده است. این امر حاکی از افزایش کارایی انرژی در زیربخش‌های صنعتی مورد مطالعه طی دوره مورد بررسی می‌باشد. از این روی، می‌توان با به کارگیری فرآیندهای تولیدی جدید، فناوری‌های جدید و تجهیزات جدید که موجب صرفه‌جویی در انرژی می‌شوند و نیز با بهبود سطوح مدیریتی، زمینه‌های هر چه بیشتر افزایش کارایی انرژی در زیربخش‌های صنعتی را فراهم نمود.

^۱ شدت انرژی شاخصی برای تعیین کارایی انرژی در سطح ملی هر کشور می‌باشد که از تقسیم مصرف نهایی انرژی بر تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌گردد و نشان می‌دهد که برای تولید مقدار معینی از کالاها و خدمات (برحسب واحد پول) چه مقداری انرژی برحسب BTU به کار رفته است.

عامل دیگری که تغییرات آن در انتشار آلودگی مورد بررسی قرار گرفته است، اثر ترکیب سوخت می‌باشد. همانگونه که پیش‌تر نیز مورد اشاره قرار گرفت، در این مطالعه از آمار و اطلاعات کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر استفاده می‌شود که هر یک از این کارگاه‌ها در طول دوره مورد مطالعه و طی سال‌های مختلف، ترکیب سوخت مصرفی خود را تغییر می‌دهند. با عنایت به این امر که هر یک از سوخت‌های مورد استفاده، از لحاظ انتشار آلودگی CO₂ پتانسیل‌های متفاوتی دارند، فلذا تغییر ترکیب سوخت‌های مورد استفاده، موجبات تغییر انتشار آلودگی مزبور را فراهم خواهد آورد. در جدول (۳) پتانسیل انتشار آلودگی CO₂ سوخت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول (۳): میزان انتشار CO₂ از تولید یک میلیون BTU انرژی از حامل‌های انرژی

مختلف در سال ۱۳۹۳

سوخت	بنزین	نفت سفید	نفت گاز	نفت کوره	گاز مایع	گاز طبیعی	برق
میزان انتشار CO ₂ ^۱ (تن)	۰/۰۷۴۶	۰/۰۷۶۸	۰/۰۷۸۷	۰/۰۷۸۹	۰/۰۷۱۸	۰/۰۶۰۵	۰/۲۰۳۶

منبع: محاسبات تحقیق

با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود انرژی برق (که مربوط به فرایند تولید برق می‌باشد) دارای بیشترین نقش در انتشار CO₂ می‌باشد. علت این امر را می‌توان با توجه به ضرایب ارزش حرارتی برق این گونه توضیح داد که برای تولید یک میلیون BTU^۲ انرژی، برق زیادی مصرف می‌شود و این امر خود موجب انتشار CO₂ بیشتری می‌شود. در مقابل از میان حامل‌های انرژی، گاز طبیعی دارای کمترین میزان پتانسیل انتشار CO₂ می‌باشد.

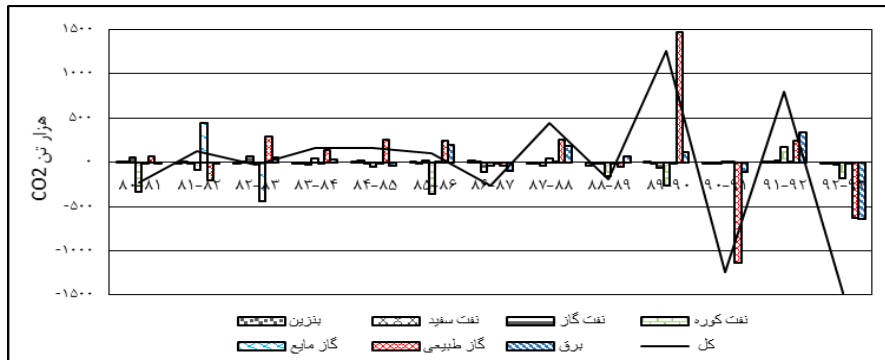
مطابق جدول (۲)، تغییرات صورت گرفته در ترکیب سوخت‌های مصرفی، در مجموع منجر به کاهش انتشار CO₂ به میزان ۰/۳۶۲ میلیون تن شده است. از جمله علل این امر را می‌توان در افزایش سهم سوخت‌های کمتر آلاینده همچون گاز طبیعی و کاهش سهم سوخت‌های پر آلاینده همچون نفت کوره طی دوره مورد بررسی جستجو کرد که در نمودار (۴) به تفصیل نشان داده خواهد شد. این نمودار سهم سوخت‌های مصرفی

^۱ مقادیر انتشار CO₂ هر یک از سوخت‌ها از تقسیم ضرایب انتشار بر ضرایب انرژی حرارتی به دست آمده است.

^۲ British Thermal Units

واحد انرژی BTU مقدار حرارتی است که لازم است تا دمای یک پوند آب را به میزان یک درجه فارنهایت بالا برد.

مختلف در تغییرات انتشار آلودگی CO₂ زیربخش‌های صنعتی طی دوره مورد بررسی را نشان می‌دهد.



نمودار (۴): سهم سوخت‌های مصرفی مختلف در تغییرات انتشار آلودگی CO₂ طی کل دوره (۱۳۸۰-۱۳۹۳)

منبع: محاسبات تحقیق

به‌طور کلی، در طول دوره مورد مطالعه سوخت گاز طبیعی در تأمین انرژی زیربخش‌های صنعتی استان، به طور متوسط سهمی به میزان ۶۰ درصد و پس از آن سوخت نفت کوره با سهمی در حدود ۲۲ درصد در جایگاه بعدی قرار دارد. همچنین سوخت‌های برق، نفت گاز، گاز مایع، بنزین و نفت سفید به ترتیب به طور متوسط سهمی به میزان ۸، ۷، ۲، ۰/۸، ۰/۲ درصد به خود اختصاص داده‌اند. فلذا، سوخت گاز طبیعی در تأمین انرژی زیربخش‌های صنعتی مختلف استان، بیشترین سهم را به خود اختصاص داده، که این امر در پی افزایش قیمت حامل‌های انرژی بعد از هدفمند کردن یارانه‌ها رخ داده است. با افزایش قیمت، میزان سوخت مصرفی کوره‌ها کاهش یافته و کارخانجات و کوره‌ها سوخت خود را از نفت کوره به گاز طبیعی تبدیل نموده‌اند (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۰). بدین ترتیب، از جمله راهکارهای پیشنهادی جهت کاهش انتشار CO₂ استفاده از انرژی‌های پاک می‌باشد. با عنایت به اینکه کشور ایران از لحاظ منابع گاز طبیعی غنی بوده و نیز با توجه به اینکه گاز طبیعی از جمله سوخت‌های با سطح آلاینده‌گی پایین می‌باشد، ضروری است که جهت جایگزینی بیشتر سوخت‌های پر آلاینده با گاز طبیعی اقدامات لازم با سرعت بیشتری انجام گیرد. همچنین با توجه به تولید برق از طریق نیروگاه‌های حرارتی که بازدهی پایین و آلاینده‌گی زیادی دارند، لازم است تا راهکارهای استفاده از منابع تجدیدپذیر در تولید برق، بیشتر مورد توجه قرار گیرد. در مورد تأثیر تغییرات اثر ضریب انتشار نیز باید گفت که با وجود منفی بودن آن در

برخی سال‌ها، برآیند کلی آن، افزایش انتشار CO_2 به میزان $0/168$ میلیون تن بوده است که نشان‌دهنده آن است که طی دوره مورد بررسی از کیفیت سوخت‌ها کاسته شده است. این مسئله، ضرورت ارتقای سوخت‌های مختلف را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

۶- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

بررسی روند انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد که میزان انتشار CO_2 طی دوره $1380-1393$ کاهش یافته است. درک عمیق‌تری از چگونگی تغییر عوامل مؤثر بر انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی مذکور، در تدوین سیاست‌های زیست محیطی آینده استان آذربایجان شرقی مهم می‌باشد. در همین راستا عوامل مؤثر بر انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه گردید و با استفاده از روش LMDI، اثر تغییر در هر یک از این عوامل بر تغییرات انتشار CO_2 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌داد که طی دوره مورد بررسی، تغییرات در اثر فعالیت و اثر ضریب انتشار به ترتیب بیشترین اثر را بر افزایش انتشار آلودگی CO_2 زیربخش‌های صنعتی استان آذربایجان شرقی داشته‌اند و در نقطه مقابل، تغییرات اثر شدت انرژی، اثر ساختاری و اثر ترکیب سوخت به ترتیب عوامل اصلی کاهش انتشار آلودگی CO_2 زیربخش‌های مزبور بوده‌اند. عدم بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید در فرآیند تولید کالا و خدمات و نیز تداوم و گسترش تولید در برخی از صنایع انرژی‌بر و کاهش کیفیت سوخت‌ها از عمده‌ترین دلایل افزایش انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی بوده است. این در حالی است که افزایش کارایی انرژی، افزایش سهم تولیدی صنایعی با آلاینده‌گی پایین‌تر و افزایش سهم سوخت‌های کمتر آلاینده همچون گاز طبیعی و نیز کاهش سهم سوخت‌های پر آلاینده همچون نفت کوره منجر به کاهش انتشار CO_2 زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی شده است. فلذا به منظور جلوگیری از افزایش انتشار آلودگی CO_2 در زیربخش‌های صنعتی مذکور، توسعه‌های سیاستی را باید در بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید در فرآیند تولید کالا و خدمات، افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق، افزایش کارایی انرژی و استفاده از انرژی‌های پاک جستجو کرد.

فهرست منابع

۱. پورعبادالهان کویچ، محسن، برقی اسگویی، محمد مهدی، صادقی، سید کمال، و قاسمی، ایرج (۱۳۹۳). تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار آلودگی دی‌اکسید کربن در زیربخش‌های صنعتی ایران. *فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۳(۹)، ۱۳۱-۱۱۵.
۲. پورعبادالهان کویچ، محسن، پناهی، حسین، شهبازی هومونلو، شهریار، و صالحی ابر، خدیجه (۱۳۹۴). تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات مصرف انرژی در زیربخش‌های صنعتی ایران: مقایسه روش‌های لاسپرز و دیویژیا. *فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۲(۴)، ۷۰-۴۹.
۳. پورعبادالهان کویچ، محسن، برقی اسگویی، محمد مهدی، پناهی، حسین، صالحی ابر، خدیجه، و قاسمی، ایرج (۱۳۹۴). تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار آلودگی دی‌اکسید کربن در صنایع محصولات کانی غیرفلزی ایران. *فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۴(۱۶)، ۵۷-۴۳.
۴. خلیلی عراقی، منصور، شرزه‌ای، غلامعلی، و برخوردار، سجاد (۱۳۹۱). تحلیل تجزیه‌بهره انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در ایران. *مطیث‌شناسی*، ۳۸(۱)، ۹۳-۱۰۴.
۵. وبسایت دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی (pep.moe.gov.ir)، «ترازنامه انرژی» سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۰.
۶. فطرس، محمدحسن، و براتی، جواد (۱۳۸۹). تحلیل عوامل مؤثر بر تغییر انتشار دی‌اکسید کربن بخش نیروگاهی ایران. *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۱۱(۱)، ۱۵۴-۱۳۵.
۷. فطرس، محمدحسن، و براتی، جواد (۱۳۹۲). تجزیه دی‌اکسید کربن منتشره بخش حمل و نقل به زیربخش‌ها و انواع سوخت‌های مصرفی. *فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۲(۶)، ۸۳-۶۴.
۸. وبسایت مرکز آمار ایران (www.amar.org.ir)، نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر، سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۰.
۹. موسسه مطالعات بین‌المللی انرژی (www.iies.org)، ترازنامه هیدروکربوری کشور، سال ۱۳۸۸.
۱۰. نظری، محسن، و بخشی‌زاده، محمد (۱۳۹۰). تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار CO₂ در صنعت ایران. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، ۱۱(۴)، ۱۷-۱.

1. Akbostanci, E., Tunç, G. İ., & Türüt-Aşık, S. (2011). CO₂ emissions of Turkish manufacturing industry: A decomposition analysis. *Applied Energy*, 88(6), 2273-2278.
2. Ang, B. W., & Choi, K. H. (1997). Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: A refined Divisia index method. *The Energy Journal*, 18(3), 59-73.

3. Ang, B.W.(2005). The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide.*Energy Policy*, 33(7), 867–871.
4. Ang, B.W. (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method?.*Energy Policy*, 32(9), 1131–1139.
5. Ang, B. W., & Liu, F. L. (2001). A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation.*Energy*, 26(6), 537-548.
6. Ang, B. W., Zhang, F. Q., & Choi, K. H. (1998). Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition.*Energy*, 23(6), 489-495.
7. Ang, B. W., & Liu, N. (2007). Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach.*Energy Policy*, 35(1), 238-246.
8. Boyd, G., McDonald, J. F., Ross, M., & Hanson, D. A. (1987). Separating the changing composition of US manufacturing production from energy efficiency improvements: A Divisia index approach.*The Energy Journal*, 8(2), 77-96.
9. Boyd, G. A., Hanson, D. A., & Sterner, T. (1988). Decomposition of changes in energy intensity: A comparison of the Divisia index and other methods.*Energy Economics*, 10(4), 309-312.
10. Fotros, M., & Baraty, J. (2013). Decomposition of CO₂emissions of Iranian transport sector in sub-sectors and component fuels an application of decomposition analysis of Divisia index. *Journal of Applied Economics Studies*, 2(6), 64-83 (In Persian).
11. Fotros, M., & Baraty, J. (2010). Analysis of effective factors affecting changes in CO₂emissions of power plants sector of Iran. *Journal of Economic Modeling Research*, 1(1), 135-154 (In Persian).
12. Institute of International Energy Studies (www.iies.org).
13. Jeong, K., & Kim, S. (2013).LMDI decomposition analysis of greenhouse gas emissions in the Korean manufacturing sector. *Energy Policy*, 62, 1245–1253.
14. Khalili Araghi, M., Sharzei, Gh., & Barkhordari, S. (2012). A decomposition analysis of CO₂emissions related energy consumption in Iran. *Journal of Environmental Studies*, 38(1), 93-104 (In Persian).
15. Nazari, M., & Bakhshizadeh, M. (2012). Decomposition of industrial CO₂emissions: the case of Iran. *Journal of the Economic Research*, 11(4), 1-17 (In Persian).
16. Lin, B., & Du, K. (2014). Decomposing energy intensity change: A combination of index decomposition analysis and production-theoretical decomposition analysis.*Applied Energy*, 129, 158-165.
17. Pourebadollahan Covich, M., Bargi oskoe, M., Kamal Sadeghi, S., & Ghasemy, I. (2014). Decomposing the influencing factors of CO₂emissions of Iranian manufacturing industries. *Journal of Applied Economics Studies*, 3(9), 115-131 (In Persian).
18. Pourebadollahan Covich, M., Panahi, H., Shahbazy Homonlo, Sh., & Salehi Abar, Kh. (2016). Decomposing influencing factors of energy consumption changes in the Iranian industrial subsectors: the comparison of Laspeyres and Divisia methods. *Applied theories of economics*, 2(4), 49-

- 70 (In Persian).
19. Pourebadollahan Covich, M., Barghi Oskooee, M., Panahi, H., Salehi Abar, Kh., & Ghasemy, I. (2016). Decomposing the influencing factors of CO₂ emissions in Iranian non-metallic mineral products industries. *Journal of Applied Economics Studies*, 4(16) (In Persian).
 20. Statistical Center of Iran (www.amar.org.ir)
 21. Wang, W., Liu, R., Zhang, M., & Li, H. (2013). Decomposing the decoupling of energy-related CO₂ emissions and economic growth in Jiangsu province. *Energy for Sustainable Development*, 17(1), 62-71.
 22. Wood, R., & Lenzen, M. (2006). Zero-value problems of the logarithmic mean divisia index decomposition method. *Energy Policy*, 34(12), 1326-1331.
 23. Xu, X.Y., & Ang, B.W. (2013). Index decomposition analysis to CO₂ emission studies. *Ecological Economics*, 93(12), 313-329.
 24. Zhang, M., Liu, X., Wang, W., & Zhou, M. (2013). Decomposition analysis of CO₂ emissions from electricity generation in China. *Energy policy*, 52, 159-165.

پیوست

کدهای دو رقمی ISIC زیربخش‌های صنعتی مورد بررسی

کد	عنوان زیربخش صنعتی
۱۵	صنایع مواد غذایی و آشامیدنی
۱۷	تولید منسوجات
۱۸	تولید پوشاک- عمل آوردن و رنگ کردن
۱۹	دباغی و عمل آوردن چرم
۲۰	تولید چوب و محصولات چوبی
۲۱	تولید کاغذ و محصولات کاغذی
۲۴	صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی
۲۵	تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی
۲۶	تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی
۲۷	تولید فلزات اساسی
۲۸	تولید محصولات فلزی فابریکی بجز
۲۹	تولید ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده
۳۱	تولید ماشین‌آلات مولد و انتقال برق
۳۳	تولید ابزار پزشکی و ابزار اپتیکی
۳۴	تولید وسایل نقلیه موتوری و تریلر
۳۵	تولید سایر وسایل حمل و نقل
۳۶	تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی نشده

منبع: مرکز آمار ایران