

تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار آلودگی دی اکسید کربن در زیربخش های صنعتی ایران

محسن پورعبداللهان کوچ^{۱*}
محمد مهدی برقی اسگوی^۲
سید کمال صادقی^۳
ایرج قاسمی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۱۱

چکیده

به منظور کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، شناخت عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار آن‌ها امری ضروری است. یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای گاز دی‌اکسید کربن است که بخش صنعت با دارا بودن سهمی در حدود بیست درصد، نقش عمده‌ای در تولید آن دارد. از همین رو، مطالعه‌ی حاضر با استفاده از تکنیک تجزیه شاخص به بررسی عوامل اصلی انتشار دی‌اکسید کربن در زیربخش‌های صنعتی ایران (در سطح کدهای دو رقمی ISIC) طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۶ می‌پردازد. برای این منظور با به‌کارگیری روش جمعی LMDI، عوامل مؤثر در تغییرات انتشار دی‌اکسید کربن در زیربخش‌های صنعتی ایران، به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه می‌شوند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که عامل اصلی افزایش انتشار دی‌اکسید کربن در زیربخش‌های صنعتی ایران، اثر فعالیت بوده است و در نقطه مقابل اثر شدت انرژی تأثیر قابل توجهی در کاهش انتشار دی‌اکسید کربن داشته است. این در حالی است که اثر ساختاری نتوانسته تأثیر قابل توجهی در کاهش انتشار دی‌اکسید کربن داشته باشد. بنابراین به‌منظور جلوگیری از افزایش انتشار آلودگی دی‌اکسید کربن، ضمن اعمال سیاست‌های تشویقی جهت افزایش بهره‌وری انرژی و تغییرات ساختاری به سوی صنایع پاک، می‌بایست افزایش سهم گاز طبیعی و ارتقاء کیفیت سوخت‌ها در اولویت برنامه‌های توسعه اقتصادی قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: تکنیک تجزیه شاخص، روش جمعی LMDI، انتشار دی‌اکسید کربن، زیربخش‌های صنعتی،

ایران

طبقه‌بندی JEL: Q40, Q41, Q43

Email: Mohsen_p51@hotmail.com

Email: Mahdi_oskooee@yahoo.com

Email: Sadeghiseyedkamel@gmail.com

Email: Iraj.ghasemy.@gmail.com

۱. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه تبریز (نویسنده مسئول)

۲. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه تبریز

۳. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه تبریز

۴. کارشناسی‌ارشد اقتصاد دانشگاه تبریز

۱. مقدمه

روند رو به افزایش مصرف انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی، گرچه رشد سریع اقتصادی جوامع مدرن صنعتی را میسر کرده، اما به واسطه نشر آلاینده‌های حاصل از احتراق و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر، جهان را با تغییرات برگشت‌ناپذیر مواجه ساخته است. این روند نه تنها منابع تجدیدنناپذیر و پایان‌یافتنی انرژی را به سرعت تخریب می‌کند بلکه آلاینده‌های گوناگونی را در محیط‌های پذیرنده (هوا، آب و خاک) رها می‌سازد. این آثار زیست‌محیطی حاصل از مصرف انرژی به یک منطقه خاص محدود نمی‌شود و در بسیاری از موارد به صورت مشکلی فرامرزی و جهانی پدیدار می‌گردد.

گرم شدن زمین، تخریب لایه ازن، تغییرات اقلیمی، از بین رفتن گونه‌های گیاهی و جانوری، بیابان‌زائی و تخریب جنگل‌ها و همچنین به مخاطره انداختن سلامت و بهداشت جامعه از جمله این مشکلات می‌باشند. بنابراین ورای مسأله تأمین منابع انرژی، سوخت‌های فسیلی از نقطه‌نظر مشکلات آلودگی محیطی نیز دارای حساسیت ویژه‌ای بوده و تمام جوامع ملزم به کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی در فعالیت‌های صنعتی، حمل‌ونقل، خانگی، تجاری و سایر زمینه‌های مصرف انرژی می‌باشند (نصراللهی و غفاری‌گولک، ۱۳۸۹).

کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نبوده و می‌بایست با تدوین الگوهای مناسب مصرف انرژی و کاربردی کردن آن، تلاش جدی در جهت کاهش و کنترل آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی انجام دهد؛ چرا که کشور ما طی سال‌های اخیر با مصرف بالای سوخت‌های فسیلی و عدم بهره‌وری مناسب در بخش انرژی، جزء هفت کشور اول تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای در دنیا قرار گرفته است (IEA, 2011, p:11). به‌منظور مقابله با این مشکل می‌بایست در اولین قدم به شناخت صحیح از عوامل مؤثر بر تغییرات ایجاد شده دست یافت.

بخش صنعت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصاد، به‌شدت وابسته انرژی می‌باشد. عامل انرژی از مهم‌ترین عوامل تولید و نیرو محرکه اصلی در تولیدات صنایع مختلف می‌باشد و به همین دلیل این بخش سهم بالایی در انتشار گازهای آلاینده دارد.

با اینکه افزایش تولیدات صنایع یکی از مهم‌ترین علل افزایش مصرف انرژی و به‌دنبال آن افزایش انتشار آلاینده‌ها می‌باشد، اما از این مسأله نمی‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که به‌منظور کنترل آلودگی باید تولیدات صنایع کاهش یابد، چراکه این کار منافی هدف رشد اقتصادی است که به‌وسیله افزایش تولیدات صورت می‌گیرد. از این‌رو، به منظور یافتن راهکار مناسب می‌بایست بر تغییرات ساختاری در زیربخش‌های صنعتی تمرکز نمود، بدین‌معنی که تغییر در سهم تولیدات بخش‌های مختلف صنعتی که می‌تواند نقش بسزایی در تغییرات انتشار آلاینده‌ها داشته باشد، مورد توجه قرار

گیرد. دلیل این مسأله در آن است که سهم انرژی برای هر واحد تولید (ارزش ریالی) در بخش‌های مختلف صنعت متفاوت از یکدیگر می‌باشد.

از طرف دیگر قیمت پایین انرژی و استفاده ناصحیح از آن باعث شده است تا شدت انرژی در بخش‌های مختلف اقتصاد ایران از جمله صنعت همواره بالاتر از میانگین جهانی آن باشد.^۱ هم‌چنین بهره‌مندی کشور از منابع غنی نفتی باعث شده تا استفاده از سوخت‌های فسیلی با ضریب انتشار بالا، سهم بیشتری در تأمین انرژی بخش‌های مختلف داشته باشد، به نحوی که براساس آمار منتشر شده در سال ۱۳۸۶، حدود ۶۷/۱ درصد از کل مصرف انرژی توسط فرآورده‌های نفتی (به‌غیر از گاز) و ۳۱/۹ درصد از طریق گاز (که ضریب انتشار کمتری دارد) تأمین شده است. این در حالی است که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و آبی تنها ۰/۵ درصد بوده است.

این روند در بخش صنعت نیز حاکم بوده که در نتیجه منجر به بالا رفتن شدت انتشار در این بخش شده است، به طوری که براساس آمار آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)^۲ تولید گاز دی‌اکسیدکربن در سال ۱۳۸۶ در بخش صنعت ایران به میزان ۱۲۴۴ کیلوگرم به ازای هر نفر بوده که تقریباً یک و نیم برابر متوسط جهانی آن می‌باشد. با عنایت به سهم بالای بخش صنعت در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، لازم است که راهکارهایی به‌منظور کنترل این آلودگی پیشنهاد شود.

در پیگیری همین هدف، مطالعه حاضر با تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در زیربخش‌های صنعتی ایران، سهم هر یک از عوامل مزبور را در تغییرات انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مشخص نموده و به ارائه راهکارهای مناسب به‌منظور کنترل انتشار دی‌اکسیدکربن می‌پردازد. برای این منظور از داده‌های ترازنامه‌های انرژی و آمار صنایع ده نفر کارکن و بیشتر، طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۶ استفاده شده است^۳ و با به کارگیری روش جمعی LMDI، عوامل مؤثر در تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن در زیربخش‌های صنعتی ایران (در سطح کدهای دو رقمی ISIC) طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۶، به پنج عامل اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تجزیه می‌شوند تا ضمن تحلیل روند آنها طی دوره‌ی مورد بررسی، به سؤالات زیر پاسخ داده شود.

- (۱) تأثیر افزایش تولیدات زیربخش‌های صنعتی در تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن چقدر بوده است؟
- (۲) تغییرات ساختاری صورت گرفته طی دوره‌ی مورد بررسی چه اثری در روند تغییرات انتشار دی-

۱. شدت انرژی در سال ۱۳۸۶ بر اساس شاخص برابری قدرت خرید، دو برابر میانگین جهانی آن بوده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۸۷).

2. International Energy Agency

۳. به‌علت نقصان و عدم انتشار داده‌های مربوطه از سال ۱۳۷۹ به قبل و از سال ۱۳۸۶ به بعد، دوره‌ی زمانی مورد مطالعه، ۱۳۷۹-۱۳۸۶ در نظر گرفته شده است.

اکسیدکربن داشته است؟ به عبارت دیگر آیا تغییرات در ترکیب سهم فعالیت‌های زیربخش‌های صنعتی منجر به کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن گردیده است؟

۳) تأثیر شدت انرژی در تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن زیر بخش‌های صنعتی چقدر بوده است؟
 ۴) ترکیب انرژی مصرفی در زیر بخش‌های صنعتی، چه سهمی در تغییرات روند انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است؟

ساختار مقاله نیز به این ترتیب است که بعد از مقدمه حاضر، در بخش بعدی به ارائه مبانی نظری روش‌های تجزیه به عوامل پرداخته می‌شود. سپس در پیشینه‌ی تجربی به برخی از مطالعات خارجی و داخلی موجود در زمینه تجزیه به عوامل انتشار آلودگی‌ها پرداخته می‌شود. آن‌گاه در بخش روش‌شناسی تحقیق به توضیح روش مورد استفاده در این مطالعه (روش LMDI) جهت تجزیه به عوامل انتشار دی‌اکسیدکربن در زیربخش‌های صنعتی ایران پرداخته می‌شود. بخش پنجم به تجزیه و تحلیل یافته‌ها اختصاص دارد. در نهایت، بخش پایانی به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات سیاستی می‌پردازد.

۲. مبانی نظری تحقیق

توسعه کاربردهای روش تجزیه در مباحث مختلف موجب شده، تکنیک‌های متفاوتی برای این منظور ارائه شود. این تکنیک‌ها در دو دسته اصلی با نام‌های "تحلیل تجزیه شاخص" (IDA)^۱ و «تحلیل تجزیه ساختاری» (SDA)^۲ توسعه یافته‌اند. در سال‌های اخیر تکنیک‌های تحلیل تجزیه شاخص IDA بیشتر مورد استفاده قرار گرفته و از این رو این رویکردها بیشتر دستخوش تغییرات در حوزه کاربرد شده‌اند به طوری که از آن‌ها برای تجزیه تقاضای انرژی و انتشار گازها در بخش‌های مختلف استفاده می‌گردد. رویکرد IDA را می‌توان در حالت کلی در قالب دو دسته متفاوت طبقه‌بندی کرد:^۳ روش‌های بر پایه شاخص لاسپیرز^۴ و روش‌های بر پایه شاخص دیویژیا^۵. روش‌های بر پایه شاخص لاسپیرز در برگیرنده شاخص لاسپیرز ساده، شاخص شپلی-سان، شاخص پاشه، شاخص ایده‌آل فیشر و شاخص مارشال-اجورث می‌باشد. روش‌های بر پایه تکنیک‌های دیویژیا نیز شامل تکنیک شاخص دیویژیا میانگین حسابی (AMDI)^۶ و شاخص دیویژیا میانگین لگاریتمی (LMDI) می‌باشد.^۷

1. Index Decomposition Analysis

2. Structural Decomposition Analysis

۳. البته تعدادی از شاخص‌های IDA همچون (MRCL) و (PDA) هستند که در طبقه‌بندی فوق قرار نمی‌گیرند.

4. Laspeyres IDA

5. Divisia IDA

6. Arithmetic Mean Divisia Index

7. Logarithmic Mean Divisia Index

در سال ۲۰۰۴، انگ^۱ به مطالعه پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تجزیه تقاضای انرژی و انتشار گازها پرداخت و تعدادی از تکنیک‌های IDA که از آن‌ها بیشتر برای تجزیه تقاضای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌شدند را با هم مقایسه نمود. نتایج مطالعات وی حاکی از آن بود که در بین شاخص‌های لاسپیرز تنها دو شاخص اصلاح شده فیشر و شیلی- سان خاصیت تجزیه کامل را دارند اما این دو روش در هنگام افزایش تعداد فاکتورهای مسأله، با مشکل روبه‌رو می‌شدند. بررسی روش‌های شاخص دیویژیا نیز نشان می‌داد تمامی این روش‌ها تجزیه را بدون عامل پسماند محاسبه می‌کنند. در این بین، تکنیک AMDI علی‌رغم سادگی محاسبات، به علت ضعف در برخورد با مشکل داده‌های صفر تکنیک مناسبی برای محاسبات انتشار گازها محسوب نمی‌شود، اما در تکنیک LMDI این مشکل با روش‌های خاصی قابل برطرف شدن است. از این رو، وی روش LMDI را به‌عنوان روش ارجح معرفی می‌کند. همچنین، روش LMDI می‌تواند تجزیه را در قالب دو فرم جمعی و ضربی انجام دهد. در فرم جمعی تغییرات به شکل مطلق بررسی می‌شوند و متغیر وابسته به صورت حاصل جمعی از تفاضل مؤلفه‌ها در طی زمان بیان می‌گردند، این در حالی است که در فرم ضربی تغییرات موجود به‌طور نسبی بررسی می‌گردند و متغیر وابسته به صورت حاصل ضربی از نسبت مؤلفه‌ها در طی زمان بیان می‌شوند. در این میان، فرم ضربی LMDI بیشتر برای مقایسه روند تغییرات انتشار گازهای مختلف و یا روند انتشار آلودگی در کشورهای مختلف که هم تراز نمی‌باشند کاربرد دارد و در مقابل، فرم جمعی LMDI می‌تواند درک بهتری از موضوع را حاصل کند و از این رو بیشتر در مطالعات به کار می‌رود.

در بین شیوه‌های زمانی تجزیه نیز که به دو شکل سری زمانی (سال به سال) و دوره‌ای انجام می‌شود، (در صورت وجود داده‌های کافی) تجزیه سری زمانی ترجیح داده می‌شود، زیرا نتایج براساس سال به سال، دگرگونی ناشی از انتخاب تکنیک را کاهش می‌دهد. لذا مطالعه حاضر ضمن استفاده از روش جمعی LMDI، برای رسیدن به نتایج قوی‌تر، با تاکید بر روش سری زمانی (سال به سال) انجام می‌گیرد.

۳. پیشینه تجربی

آق‌بستانچی و همکاران (۲۰۱۱)^۲ با استفاده از روش جمعی LMDI، به بررسی عوامل انتشار دی‌اکسیدکربن در ۵۷ زیربخش صنعتی ترکیه پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌داد که تغییر در سطح فعالیت تولید و شدت انرژی مهم‌ترین عوامل در تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن می‌باشند.

1. Ang, B.W.

2. Akbostanci et al.

هاموند و نورمن (۲۰۱۱)^۱ نیز در مطالعه‌ای عوامل کاهش دو درصدی در انتشار کربن صنایع کارخانه‌ای انگلستان را طی سال‌های (۱۹۹۰-۲۰۰۷) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از فرم جمعی روش LMDI عوامل مؤثر را به پنج دسته تغییرات تولیدی، اثر ساختاری، شدت انرژی، ترکیب سوخت و ضریب انتشار تقسیم کردند. نتایج مطالعه نشان می‌داد که دلیل اصلی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش شدت انرژی در کل صنایع بوده است.

ژائو و همکاران (۲۰۱۰)^۲ با استفاده از تکنیک جمعی LMDI به تجزیه عوامل مؤثر بر انتشار کربن در زیربخش‌های صنعتی شانگهای چین پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌داد که ۹۰٪ از کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن مربوط به تغییرات ساختاری، تغییرات ترکیب سوخت و کاهش در شدت انرژی بوده است. آن‌ها با مقایسه شدت انرژی زیربخش‌های صنعتی شانگهای با متوسط جهانی آن بر لزوم کاهش شدت انرژی تأکید می‌کنند و تغییرات ساختاری به سمت صنایع تولیدکننده کربن کمتر را مهم‌تر از اثر تغییرات ترکیب سوخت معرفی می‌کنند.

لیو و همکاران (۲۰۰۷)^۳ به بررسی تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن در ۳۶ صنعت چین طی دوره‌ی زمانی (۱۹۹۸-۲۰۰۵) پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که شدت انرژی و سطح فعالیت عامل اصلی در افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در طی دوره‌ی مذکور بوده است. تأثیر ضریب انتشار، تغییرات سوخت و تغییرات ساختاری نسبتاً کم بودند. به نظر آنها، صنایع آلاینده‌تر مانند صنایع شیمیایی می‌بایست در اولویت برنامه‌ها به منظور افزایش بهره‌وری انرژی باشند و از سرمایه‌گذاری زیاد در این بخش‌ها باید پرهیز شود.

فطرس و براتی (۱۳۹۰) با به‌کارگیری روش جمعی LMDI به مطالعه عوامل انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در بخش‌های اصلی اقتصاد ایران طی دوره‌ی زمانی (۱۳۷۶-۱۳۸۶) پرداختند. آن‌ها با در نظر گرفتن پنج بخش صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل، خانگی-تجاری-عمومی و سایر بخش‌ها، عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را به چهار دسته شامل سطح فعالیت، تغییرات ساختاری، شدت انرژی و ضریب انتشار تفکیک می‌کنند. نتایج حاکی از آن است که رشد اقتصادی (که از تغییرات سطح فعالیت ناشی می‌شود) بزرگ‌ترین اثر را بر تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن در تمام بخش‌های مورد بررسی (بجز بخش صنعت و حمل و نقل) داشته است و تغییرات ساختاری در دو بخش صنعت و حمل و نقل، اثر غالب را بر افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است.

فطرس و براتی (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان «تحلیل عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن

1. Hammond & Norman

2. Zhao et al.

3. Liu et al.

بخش نیروگاهی ایران» به بررسی تأثیر پنج عامل رشد اقتصادی، اثر ساختاری، شدت انرژی، شدت انرژی برق و ضریب انتشار بر تغییر انتشار دی‌اکسیدکربن بخش نیروگاهی طی دوره‌ی (۱۳۷۸-۱۳۸۶) پرداختند. یافته‌های این مطالعه که با استفاده از روش جمعی LMDI صورت گرفته است نشان می‌دهد که رشد اقتصادی بیشترین اثر را بر افزایش انتشار بخش نیروگاهی داشته است و پس از آن به ترتیب اثر ضریب انتشار، شدت انرژی و اثر ساختاری عوامل مؤثر بر رشد انتشار دی‌اکسیدکربن بوده‌اند. آنها همچنان نتیجه گرفتند که در میان انواع نیروگاه‌های حرارتی، نیروگاه‌های سیکل ترکیبی مناسب‌ترین نوع نیروگاه جهت تولید برق می‌باشند.

۴. روش شناسی پژوهش

در این مطالعه از تکنیک تجزیه LMDI در قالب تکامل یافته‌تر نسبت به مطالعات قبلی استفاده شده است و سعی دارد برای اولین بار به بررسی نقش پنج عامل اصلی در تغییرات آلودگی دی‌اکسیدکربن منتشره از بیست و سه زیربخش صنعتی ایران بپردازد.

کلید مطالعات تحلیل تجزیه شاخص (IDA) و از جمله روش LMDI، با تعریف یک تابع تعیین کننده شروع می‌شوند. برای درک بهتر موضوع فرض کنید که در حالت کلی تابع تعیین کننده V ، مجموع V_i عامل مختلف باشد به طوری که هر یک از V_i ها تابعی از n متغیر باشد^۱. به عبارت دیگر

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

که زیر نویس i می‌تواند علامت یک ویژگی کلی مانند شماره زیربخش‌های مصرف کننده انرژی و یا نوع سوخت و غیره باشد. به علاوه فرض کنید در طی دوره‌ی صفر تا دوره T مجموع تغییرات از $V^0 = \sum_i x_{1,i}^0 x_{2,i}^0 \dots x_{n,i}^0$ 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 به شکل زیر فرمول بندی می‌شود:

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

به طوری که ΔV_{tot} بیانگر کل تغییرات و ΔV_{rsd} بیانگر قسمت پسماند است که برای روش‌هایی همچون روش LMDI که تجزیه به صورت کامل انجام می‌گیرد، این بخش حذف می‌شود^۲. سپس انگ (۲۰۰۵) براساس تعریف شاخص میانگین لگاریتمی دیویژیا در قالب فرم جمعی، تأثیر

1. Ang, B.W.

۲. برای اثبات تجزیه کامل در روش جمعی و ضربی LMDI به قسمت پیوست رجوع کنید.

k امین عامل در تغییرات کل به صورت زیر تعریف می کند^۱:

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

که در آن تابع $L(V_i^T, V_i^0)$ متوسط لگاریتمی دو عدد مثبت a و b می باشد که انگ 2 (۲۰۰۴) آن را به صورت زیر محاسبه می کند:

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

در پژوهش حاضر تابع تعیین کننده V، میزان انتشار آلودگی دی اکسید کربن (C) در کل زیربخش های صنعتی می باشد که می توان آن را به پنج عامل ارزش کل تولیدات صنعتی (Q)، سهم زیربخش های مختلف در تولیدات کل ($\frac{Q_i}{Q}$)، شدت انرژی مصرفی در زیربخش های صنعتی ($\frac{E_i}{Q_i}$)، سهم سوخت های مختلف در تأمین انرژی زیربخش های مختلف ($\frac{E_{if}}{E_i}$) و میزان آلودگی به ازای هر واحد مصرف سوخت های مختلف در زیربخش های صنعتی ($\frac{C_{if}}{E_{if}}$) تقسیم بندی کرد^۳. بدین ترتیب میزان کل انتشار دی اکسید کربن در ۲۳ زیر بخش صنعتی ایران را با لحاظ کردن هفت سوخت مختلف (بنزین، نفت سفید، گازوئیل، گاز مایع، گاز طبیعی، نفت کوره و برق) می توان به صورت زیر به پنج عامل فوق الذکر تجزیه کرد (همان ص ۲):

$$\begin{aligned} C &= \sum_{if} C_{if} = \sum_i \sum_f C_{if} = \sum_{i=1}^{23} \sum_{f=1}^7 Q \times \frac{Q_i}{Q} \times \frac{E_i}{Q_i} \times \frac{E_{if}}{E_i} \times \frac{C_{if}}{E_{if}} \quad (5) \\ &= \sum_{i=1}^{23} \sum_{f=1}^7 Q S_i I_i M_{if} U_{if} \end{aligned}$$

در جدول (۱) مفهوم این متغیرها آورده شده است.

۱. به منظور مشاهده اثبات رابطه فوق به (Wood and Lenzen, (2006): pp, 1326-1327) مراجعه کنید.

2. Ang, B.W.

3. Ang, B.W.

جدول ۱: تعریف متغیرها

متغیر	توصیف متغیر	متغیر	توصیف متغیر
C	میزان کل انتشار آلودگی CO_2	C_{if}	میزان انتشار آلودگی حاصل از مصرف سوخت f ام در زیربخش صنعتی i ام
Q	ارزش تولیدات کل زیربخش‌های صنعتی	$S_i = \frac{Q_i}{Q}$	سهم زیربخش صنعتی i ام از ارزش تولیدات کل زیربخش‌های صنعتی
Q_i	ارزش تولیدات زیربخش صنعتی i ام	$I_i = \frac{E_i}{Q_i}$	نسبت انرژی مصرفی به ارزش تولیدات کل زیربخش‌های صنعتی
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
E_{if}	انرژی مصرفی حاصل از سوخت f ام در زیربخش صنعتی i ام	$U_{if} = \frac{C_{if}}{E_{if}}$	میزان انتشار آلودگی ناشی از مصرف هر واحد انرژی مصرفی سوخت f ام در زیربخش صنعتی i ام

با تغییر هر یک از عوامل بالا در طی یک دوره‌ی مورد بررسی، میزان انتشار آلودگی نیز تغییر می‌کند. لذا تغییرات انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن صنایع نیز به پنج عامل بستگی خواهد داشت: (۱) تغییرات انتشار بر اثر تغییر در مجموع ارزش کل تولیدات (اثر فعالیت ΔC_{act})، (۲) تغییرات انتشار بر اثر تغییر در ترکیب فعالیت‌های زیربخش‌های صنعتی (اثر ساختاری ΔC_{str})، (۳) تغییرات انتشار بر اثر تغییر در شدت انرژی زیربخش‌های صنعتی (اثر شدت انرژی ΔC_{int})، (۴) تغییرات انتشار بر اثر تغییر در ترکیب سوخت مورد استفاده در زیربخش‌های صنعتی (اثر ترکیب سوخت ΔC_{mix}) و (۵) تغییرات انتشار بر اثر تغییر در کیفیت سوخت‌های مصرفی (اثر ضریب انتشار ΔC_{emf}). حال براساس عوامل ذکر شده در فرمول (۵) و روابط (۳) می‌توان فرم تجزیه جمعی LMDI را برای عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار گاز دی‌اکسیدکربن به صورت زیر بیان کرد:

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

و با توجه به فرمول (۳) می‌توان نوشت:

$$\Delta C_{act} = \sum_{i=1}^{23} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) \quad (۱-۷) \text{ اثر فعالیت}$$

$$\Delta C_{str} = \sum_{i=1}^{23} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) \quad (۲-۷) \text{ اثر ساختار}$$

$$\Delta C_{int} = \sum_{i=1}^{23} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad (3-7) \text{ اثر شدت انرژی}$$

$$\Delta C_{mix} = \sum_{i=1}^{23} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{M_{if}^T}{M_{if}^0} \right) \quad (4-7) \text{ اثر ترکیب سوخت}$$

$$\Delta C_{emf} = \sum_{i=1}^{23} \sum_{f=1}^7 \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{U_{if}^T}{U_{if}^0} \right) \quad (5-7) \text{ اثر ضریب انتشار}$$

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

$$\Delta C_{tot} = \sum_i^{23} \sum_f^7 w_{if} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) + \sum_i^{23} \sum_f^7 w_{if} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) + \sum_i^{23} \sum_f^7 w_{if} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad (8) \text{ اثر کل}$$

$$+ \sum_i^{23} \sum_f^7 w_{if} \ln \left(\frac{M_{if}^T}{M_{if}^0} \right) + \sum_i^{23} \sum_f^7 w_{if} \ln \left(\frac{U_{if}^T}{U_{if}^0} \right)$$

که در آن w_{if} برابر است با:

$$w_{if} = \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \quad (9)$$

یکی از مشکلاتی که در اکثر مطالعات مربوط به تجزیه عوامل با استفاده از روش LMDI با آن برخورد می‌شود مشکل وجود مقدار صفر در داده‌ها می‌باشد. از آنجاکه مقدار صفر در دامنه توابع لگاریتمی تعریف نشده است از این رو، وجود عدد صفر در داده‌ها به مبهم شدن نتایج منجر می‌گردد. برای برطرف کردن چنین مشکلی در روش LMDI دو راهکار پیشنهاد شده است: در راهکار اول که توسط انگ و چوی (۱۹۹۷)^۱ ارائه گردید، پیشنهاد می‌شود که با جایگزینی عددی بسیار کوچک با نام δ (که مقدار آن نزدیک به صفر است) به جای عدد صفر می‌توان به نتایج همگرایی دست یافت. آنها از این روش در مطالعات مشابه دیگری نیز استفاده کردند^۲ و به تجربه پی بردند که وقتی ارزش δ بین 10^{-10} تا 10^{-20} انتخاب شود، نتایج قابل قبولی حاصل می‌گردد. به این روش که یک نوع استراتژی برای برخورد با ارزش صفر از طریق جایگذاری با مقادیر بسیار کوچک می‌باشد، "مقدار

1. Ang and Choi, (1997)

۲. برای مثال به مطالعات Choi and Ang, (2001) و Choi and Ang, (2002) مراجعه شود.

کوچک " (SV)^۱ گفته می‌شود. راهکار دوم که توسط انگ و همکاران (۱۹۹۸) ارائه گردید، به "محدودیت تحلیلی" (AL)^۲ معروف می‌باشد. در این رویکرد با ریشه‌یابی علت اصلی تغییر به وجود آمده، به هر یک از عوامل، ضرایب معینی براساس سهم‌شان در تغییرات اختصاص داده می‌شود و بدین‌وسیله مشکل صفر بر طرف می‌شود. این روش با وجود طولانی‌بودن و صرف حوصله بیشتر، نتایج دقیق‌تری را نسبت به روش (SV) نتیجه می‌دهد.^۳ از همین‌روی در این مطالعه نیز از تکنیک AL برای حل مشکل صفر استفاده می‌شود.

۵. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

نتایج محاسبات تجزیه عوامل مؤثر در انتشار CO₂ در کل زیربخش‌های صنعتی در قالب فرم جمعی در نمودار (۱) آمده است. در نمودار (۱) سهم عوامل پنج‌گانه اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار در تغییرات کل آلودگی دی‌اکسیدکربن کل زیربخش‌های صنعتی برای کل دوره^۴ در قالب فرم جمعی آورده شده است.



نمودار ۱: سهم عوامل مختلف در تغییرات کل آلودگی CO₂ (۱۳۷۹-۱۳۸۶)

همان‌گونه که از نمودار مشاهده می‌شود، اثر فعالیت اصلی‌ترین عامل در افزایش انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن طی دوره‌ی مورد بررسی بوده که عمدتاً نیز توسط اثر شدت انرژی خنثی گردیده است. اثرات دیگر عوامل (ساختاری، ترکیب سوخت و ضریب انتشار) نیز بسیار محدود بوده است. به‌منظور

1. Small Value
2. Analytical Limit
3. Wood and Lenzen, (2006)

۴. تغییرات انتشار کل دوره از جمع تغییرات انتشار سالانه به‌دست آمده است.

مشاهده بهتر علت تغییرات به وجود آمده می‌توان اثرات تغییرات این پنج عامل را به صورت سال به سال در جدول (۲) پیگیری نمود.

جدول ۲: نتایج سال به سال سهم عوامل پنج‌گانه در زیربخش‌های صنعتی ایران (میلیون تن CO₂)

تغییرات کل (Δ _{tot})	اثر ضریب انتشار (Δ _{emf})	اثر ترکیب سوخت (Δ _{mix})	اثر شدت انرژی (Δ _{int})	اثر ساختاری (Δ _{str})	اثر فعالیت (Δ _{act})	کل صنایع
۱۳/۰۴۹	۲/۲۹۰	۳/۰۵۴	-۲۲/۳۶۷	-۳/۰۶۸	۷/۰۴۲	۸۰-۷۹
-۵/۱۵۴	-۱/۶۶۶	-۰/۶۹۱	-۱۳/۳۱۵	-۱/۴۳۷	۱۰/۵۷۳	۸۱-۸۰
۵/۳۱۵	-۰/۹۵۰	-۰/۸۰۰	-۲/۳۷۲	-۲/۱۷۹	۱۱/۶۱۶	۸۲-۸۱
۷/۴۶۶	-۰/۳۵۳	-۰/۰۲۱	-۲/۶۸۱	۱/۳۰۸	۸/۴۶۵	۸۳-۸۲
-۰/۸۳۸	-۰/۱۷۶	-۰/۲۳۸	-۱/۸۲۰	-۰/۸۶۰	۳/۹۳۳	۸۴-۸۳
۱۱/۰۸۶	-۰/۲۹۰	-۰/۰۸۸	-۰/۶۴۸	۱/۶۷۵	۹/۸۵۶	۸۵-۸۴
۸/۰۹۷	۴/۴۷۹	۱/۰۸۸	-۱۰/۳۷۵	۲/۸۸۴	۱۰/۰۲۳	۸۶-۸۵
۱۴/۵۹۹	۴/۶۲۰	۳/۷۲۹	-۵۳/۵۷۸	-۱/۶۷۷	۶۱/۵۰۶	۸۶-۷۹

منبع: محاسبات تحقیق

همان‌گونه که از این جدول مشخص است اثرات تغییرات دو عامل اثر فعالیت و اثر ساختاری در همه سال‌ها در یک جهت بوده است. در این میان اثر فعالیت در همه سال‌ها نقشی افزایشی در انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است و در مجموع پتانسیل انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را در حدود ۶۱/۵ میلیون تن افزایش داده است. این درحالی است که اثر ساختاری (که اغلب به‌عنوان ابزار سیاستی برای کنترل آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرد) همانند عامل قبلی اثر ثابتی بر انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن نداشته است، به نحوی که در سال‌های ابتدایی موجب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن شده اما در طی سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ تغییرات ساختاری صورت گرفته به گونه‌ای بوده است که موجب افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن شده است.

عامل دیگری که در تغییرات انتشار دی‌اکسیدکربن صنایع نقش بسیار مهمی داشته، اثر شدت انرژی می‌باشد. نتایج این متغیر نشان می‌دهد در همه سال‌های مورد بررسی، شدت انرژی در حال کاهش بوده است، اما در سال‌های نخست (۱۳۷۹ و ۱۳۸۰) این عامل، انتشار دی‌اکسیدکربن را بیشتر تحت تأثیر قرار داده است (البته در سال ۱۳۸۶ نیز شدت انرژی کاهش قابل توجهی داشته است). در کل، شدت انرژی در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۷۹ میزان انتشار دی‌اکسیدکربن را در حدود ۵۳/۵

میلیون تن کاهش داده است. این مهم نشان‌دهنده روند مطلوب صنایع از لحاظ بهره‌وری انرژی می‌باشد.

متغیر دیگری که در جدول (۲) آمده است اثر ترکیب سوخت‌ها می‌باشد. این متغیر از یک سو به ضریب انتشار و از سوی دیگر به ضریب تولید انرژی حرارتی سوخت‌ها بستگی دارد. در جدول (۳) سوخت‌های مختلف از لحاظ آلودگی با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۳: میزان انتشار دی‌اکسیدکربن از تولید یک میلیون بی‌تی‌یو انرژی در سوخت‌های مختلف (کیلوگرم CO₂)

سوخت	بنزین	گاز مایع	گاز طبیعی	گازوئیل	نفت سفید	برق	نفت کوره
میزان انتشار دی‌اکسیدکربن ^۱	۷/۴۶۲	۸/۸۱۰	۶/۰۵۶	۷/۸۶۶	۷/۶۳۴	۱۸/۹۲۴	۷/۸۸۹

منبع: محاسبات تحقیق

همان‌گونه که مشاهده می‌شود پتانسیل انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن در منبع انرژی برق (که مربوط به فرایند تولید برق می‌باشد) بیشتر از سوخت‌های دیگر است و سوخت گاز طبیعی در تولید انرژی یکسان، میزان انتشار کمتری نسبت به بقیه سوخت‌ها دارد. بنابراین وقتی در صنعتی ترکیب سهم سوخت مصرفی تغییر می‌کند، باید انتظار داشت که میزان انتشار آلودگی برای آن صنعت تغییر کند، حتی اگر ضریب انتشار تغییری پیدا نکند.

آن‌گونه که از جدول (۲) مشخص می‌شود اثر ترکیب سوخت برای زیربخش‌های صنعتی در ابتدا (۱۳۷۹-۱۳۸۲) به افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن منجر شده و سپس موجب کاهش انتشار آن شده است. بررسی بیشتر ترکیب سوخت‌های مصرفی نشان می‌دهد که علت افزایش انتشار دی‌اکسیدکربن در سال ۱۳۸۰ (معادل سه میلیون تن CO₂ که در جدول (۲) اشاره گردیده است) کاهش شدید سهم گاز طبیعی و افزایش سهم برق، نفت سیاه و گاز مایع بوده است. اما در ادامه با افزایش سهم گاز طبیعی و کاهش سهم سوخت‌های دیگر مانند نفت سیاه، برق و گازوئیل میزان آلودگی کاهش یافته است. در سال ۱۳۸۶ تغییرات زیادی در ترکیب سوخت‌ها روی داده است، به طوری که برخلاف روند سال‌های گذشته، سهم گاز طبیعی و نفت سفید که از سوخت‌های کم‌آلاینده محسوب می‌شوند، کاسته شده و در عوض سهم سوخت‌های گاز مایع و برق افزوده شده است که در نتیجه اثر ترکیب سوخت در مجموع منجر به افزایش یک میلیون و هشتاد هزار تن دی‌اکسیدکربن شده است. تغییرات

۱. در محاسبه این شاخص از حاصل تقسیم ضرایب انتشار سال ۱۳۸۶ بر ضرایب انرژی حرارتی در سوخت‌های مختلف استفاده شده است.

کل دوره نیز نشان می‌دهد که ترکیب سوخت‌های مختلف در مجموع منجر به افزایش بیش از ۳/۷ میلیون تن دی‌اکسیدکربن شده است.

عامل دیگر که بر میزان انتشار آلاینده‌های صنعتی تأثیر می‌گذارد، ضریب انتشار می‌باشد این ضریب با کیفیت سوخت‌ها رابطه کاملاً معکوسی دارد. نتایج برآمده از جدول (۲) نشان می‌دهد که سهم این عامل در تغییرات انتشار آلودگی نسبت به دیگر عوامل بسیار کوچک می‌باشد، زیرا از میان منابع انرژی مختلف تنها برق طی سال‌های مختلف دارای ضریب انتشار متغیر بوده و سوخت‌های دیگر تنها در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۶ که ضرایب انتشار مورد بازبینی قرار گرفته‌اند، ضرایب‌شان دچار تغییراتی شده است. این اثرات را می‌توان به سادگی در جدول (۲) دنبال کرد، به طوری که در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۶ تغییرات عمده‌ای در سهم این عامل مشاهده می‌شود. به‌طور مثال در سال ۱۳۸۶ تغییرات ضریب انتشار موجب افزایش ۴/۴ میلیون تن دی‌اکسیدکربن شده است، این در حالی است که کل اثرات ضریب انتشار طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۶ بیش از ۴/۶۲ میلیون تن نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این مطالعه شناخت بیشتر عوامل تأثیرگذار در تغییرات انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن زیربخش‌های صنعتی ایران بوده است. در این راستا عوامل مؤثر به پنج دسته اثر فعالیت، اثر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تقسیم‌بندی شده و محاسبات بر اساس فرم جمعی LMDI صورت پذیرفتند. نتایج اولیه نشان می‌داد که طی سال‌های (۱۳۷۹-۱۳۸۶) انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در این زیربخش‌ها از ۷۱/۸ میلیون تن به ۸۶/۴ میلیون تن افزایش یافته است. با تجزیه انتشار دی‌اکسیدکربن به عوامل مؤثر نیز مشخص شد که اثر فعالیت به‌میزان ۶۱/۵ میلیون تن پتانسیل انتشار دی‌اکسیدکربن را افزایش داده و از این رو بیشترین نقش را در افزایش انتشار آلودگی داشته است. در نقطه مقابل، عمده‌ترین عاملی که بیشترین نقش را در کاهش انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن در طول دوره‌ی مورد بررسی داشته است اثر شدت انرژی می‌باشد. این عامل در مجموع از انتشار ۵۳/۵ میلیون تن دی‌اکسیدکربن از طریق بهبود بهره‌وری انرژی جلوگیری کرده است. از این رو می‌بایست ضمن تأکید بیشتر بر افزایش بهره‌وری، سرمایه‌گذاری در صنایعی در اولویت قرار گیرد که از میزان انرژی کمتری برای تولید استفاده می‌کنند و یا به‌طور کلی از شدت آلودگی کمتری برخوردار می‌باشند. همچنین سعی شود که از صادرات کالاهای انرژی‌بر کاسته شده و

۱. نتایج محاسبات نشان می‌دهد سهم ضریب انتشار ۱۳۸۶ در تغییرات آلودگی نسبت به سهم ضریب انتشار ۱۳۷۹ تنها ۱/۳ درصد افزایش داشته است.

حتی در صورت امکان، این گونه کالاها از دیگر کشورها وارد شوند.

از سوی دیگر، با توجه به نقش اثر ترکیب سوخت در تغییرات انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن و این که سوخت گاز طبیعی میزان انتشار کمتری نسبت به بقیه سوخت‌ها دارد و با عنایت به این که ایران یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گاز طبیعی در دنیا می‌باشد بنابراین می‌توان با برنامه‌ریزی حساب شده، زمینه را برای تغییرات لازم در تکنولوژی تولیدی صنایع فراهم آورد، به نحوی که در سال‌های آینده همه صنایع بتوانند با بهره‌گیری از گاز طبیعی، از میزان انتشار آلودگی خود بکاهند.

بررسی راه‌کارهای تولید برق از منابع تجدیدپذیر و کاهش سهم تولید برق از نیروگاه‌های حرارتی (دیزلی) از دیگر اقداماتی می‌باشد که می‌بایست در اولویت برنامه‌های سیاستی قرار گیرد. کاهش نرخ تعرفه‌ها جهت ورود ماشین‌آلات و تجهیزات جدید از اقدامات مهمی است که می‌تواند در کاهش انتشار آلودگی مؤثر واقع شود، چرا که یکی از علل افزایش مصرف سوخت و افزایش آلودگی در بخش صنعت، وجود ماشین‌آلات قدیمی و مستهلک می‌باشد که بهره‌وری آن‌ها به شدت پایین می‌باشد. با کاهش تعرفه‌های کالاهای سرمایه‌ای و جایگزینی ماشین‌آلات، صنایع می‌توانند ضمن کاهش هزینه‌های تولیدی، از شدت انتشار آلودگی تولیدات خود نیز بکاهند.

یکی از اقدامات مؤثر در کشورهای توسعه‌یافته جهت کاهش انتشار آلودگی صنایع، مالیات بر کربن و مصرف انرژی می‌باشد. هر چند در ایران تاکنون از این گونه اقدامات صورت نگرفته است، اما به تازگی در ماده ۳۸ قانون مالیات بر ارزش افزوده، برای واحدهای آلاینده محیط‌زیست یک در صد مالیات اضافی در نظر گرفته شده که می‌تواند بر میزان انتشار آلودگی تأثیر بگذارد. این نیز سیاستی است که بیشتر باید مورد توجه قرار گیرد.

یکی دیگر از راهکارهای جلوگیری از انتشار دی‌اکسیدکربن در صنایع بزرگ، مهار و ذخیره دی‌اکسیدکربن می‌باشد. در این رویکرد، دی‌اکسیدکربن تولید شده به وسیله تجهیزات و فرایندهای خاصی جداسازی می‌شود و در انبارهای زیرزمینی ذخیره‌سازی می‌شود. سپس دی‌اکسیدکربن جمع‌آوری شده به چاه‌های نفت قدیمی منتقل می‌شود تا به اعماق چاه‌های نفتی تزریق گردد. با تزریق دی‌اکسیدکربن به چاه‌های قدیمی، منافذ خالی شده از نفت، از دی‌اکسیدکربن پر شده و در اثر واکنش‌های شیمیایی و فشار فیزیکی صورت گرفته، نفت باقی‌مانده در منافذ سنگ‌ها به راحتی استخراج می‌گردد. در ضمن آزمایشات صورت گرفته نشان داده است که وجود دی‌اکسیدکربن، در احیای چاه‌های قدیمی نیز تأثیر مثبت داشته است. بدین ترتیب می‌توان از استراتژی ذخیره دی‌اکسیدکربن در صنایع و تزریق آن به چاه‌های نفتی نیز در جهت کنترل گاز دی‌اکسید کربن منتشره استفاده نمود.

منابع

- دفتر برنامه‌ریزی انرژی وزارت نیرو، (ترازنامه انرژی) سال‌های (۱۳۷۹-۱۳۸۸).
- فطرس، محمدحسن و براتی، جواد (۱۳۸۹)؛ تحلیل عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسیدکربن بخش نیروگاهی ایران، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۱: ۱۳۵-۱۵۳.
- فطرس، محمدحسن و براتی، جواد (۱۳۹۰)؛ تجزیه انتشار دی‌اکسید کربن از مصرف انرژی به بخش‌های اقتصادی ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره ۲۸: ۴۹-۷۳.
- مرکز آمار ایران، نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ده نفر کارکن و بیشتر، سال‌های (۱۳۷۹-۱۳۸۶).
- نصراللهی، زهرا و غفاری گولک، مرضیه (۱۳۸۹)؛ آلودگی هوا و عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی انتشار SMP و SO₂ در صنایع تولیدی ایران، فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی، سال دهم، شماره ۳: ۷۵-۹۵.
- Akbostancı, E., G. İpek T and S. Türüt-Asık (2011); CO₂ Emissions of Turkish Manufacturing Industry: A Decomposition Analysis. *Applied Energy* 88, pp. 2273–2278.
- Ang, B.W., (2004); Decomposition Analysis for Policymaking in Energy: Which is the Preferred Method? *Energy Policy* 32, pp. 1131–1139.
- Ang, B.W., (2005); The LMDI Approach to Decomposition Analysis: A Practical Guide. *Energy Policy* 33, pp. 867–871.
- Ang, B.W., F.Q. Zhang and K. Choi (1988); Factorising Changes in Energy and Environmental Indicators Through Decomposition. *Energy* 23, pp. 489-495.
- Ang, B. W. and K.H. Choi (1997); Decomposition of Aggregate Energy and Gas Emission Intensities for Industry: A Refined Divisia Index Method. *The Energy Journal* 18, pp. 59–73.
- Choi, K.H. and B.W. Ang (2001); A Time-Series Analysis of Energy-Related Carbon Emissions in Korea. *Energy Policy* 29, pp. 1155–1161.
- Choi, K.H., B.W. Ang (2002); Measuring Thermal Efficiency Improvement in Power Generation: the Divisia Decomposition Approach. *Energy* 27, pp. 447–455.
- Hammonda, G.P. and J.B. Norman (2011); Decomposition Analysis of Energy-Related Carbon Emissions from UK Manufacturing. *Energy* (In Press).
- International Energy Agency (2011) CO₂ Emissions from Fossil Fuel Combustion –2011 Highlights. Retrieved on 13 January 2011. Available from: <http://www.iea.org/co2highlights/CO2highlights.xls>.
- Liu, L., Y. Fan, G. Wu and Y. Wei (2007); Using LMDI Method to Analyze the Change of China's Industrial CO₂ Emissions from Final Fuel Use: An Empirical Analysis. *Energy Policy* 35, pp. 892–900.
- Wood, R. and M. Lenzen (2006); Zero-Value Problems of the Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Method. *Energy Policy* 34, pp. 1326-1331.
- Zhao, H., L. Tan, W. Zhang, M. Ji, Y. Liu and L. Yu (2010); Decomposing the Influencing Factors of Industrial Carbon Emissions in Shanghai Using the LMDI Method. *Energy* 35, pp. 2505–2510.

پیوست

اثبات داشتن تجزیه کامل (در رابطه جمعی LMDI)

$$\Delta C_{tot} = C^T - C^0 = \Delta C_{act} + \Delta C_{str} + \Delta C_{int} + \Delta C_{mix} + \Delta C_{emf} \quad (۱-پ)$$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) \quad (۲-پ)$$

$$+ \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{M_{if}^T}{M_{if}^0} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{U_{if}^T}{U_{if}^0} \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \left[\ln \left(\frac{Q^T}{Q^0} \right) + \ln \left(\frac{S_i^T}{S_i^0} \right) + \ln \left(\frac{I_i^T}{I_i^0} \right) + \ln \left(\frac{M_{if}^T}{M_{if}^0} \right) + \ln \left(\frac{U_{if}^T}{U_{if}^0} \right) \right] \quad (۳-پ)$$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{Q^T S_i^T I_i^T M_{if}^T U_{if}^T}{Q^0 S_i^0 I_i^0 M_{if}^0 U_{if}^0} \right) \quad (۴-پ)$$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m \frac{C_{if}^T - C_{if}^0}{\ln C_{if}^T - \ln C_{if}^0} \ln \left(\frac{C_{if}^T}{C_{if}^0} \right) \quad (۵-پ)$$

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{f=1}^m C_{if}^T - C_{if}^0 = \Delta C_{tot} \quad (۶-پ)$$