فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال سوم، شماره‌ی ۹، بهار ۱۳۹۳
صفحات: ۱۱۵-۱۳۱

تجزیه عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن در زیربخش‌های صنعتی ایران

محسن پورعبادالهان‌کویچ[1*]
محمدمهدی برقی‌اسگویی[2]
سیدکمال صادقی[3]
ایرج قاسمی[4]

تاریخ دریافت:۱۳۹۲/۰۴/۱۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۲/۱۱/۱۳

چکیده

به‌منظور کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، شناخت عوامل مؤثر بر تغییرات انتشار آن‌ها امری ضروری است. یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای گاز دی‌اکسیدکربن است که بخش صنعت با دارا بودن سهمی در حدود بیست درصد، نقش عمده‌ای در تولید آن دارد. از همین‌رو، مطالعه‌ی حاضر با استفاده از تکنیک تجزیه شاخص به بررسی عوامل اصلی انتشار دی‌اکسیدکربن 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 دی‌اکسیدکربن 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 دی‌اکسیدکربن در زیربخش‌های صنعتی ایران، اثر فعالیت بوده است و در نقطه مقابل اثر شدت انرژی تأثیر قابل‌توجهی در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن داشته است. این در حالی است که اثر ساختاری نتوانسته تأثیر قابل‌توجهی در کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن داشته باشد. بنابراین به‌منظور جلوگیری از افزایش انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن، 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 دی‌اکسیدکربن، زیربخش‌های صنعتی، ایران

طبقه‌بندی JEL: Q40,Q41,Q43

۱. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه تبریز (*نویسنده مسئول) **Email:** Mohsen_p51@hotmail.com
۲. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه تبریز **Email:** Mahdi_oskooee@yahoo.com
۳. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه تبریز **Email:** Sadeghiseyedkamal@gmail.com
۴. کارشناسی‌ارشد اقتصاد دانشگاه تبریز **Email:** Iraj.ghasemy.@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

روند رو به افزایش مصرف انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی، گرچه رشد سریع اقتصادی جوامع مدرن صنعتی را میسر کرده، اما به‌واسطه نشر آلاینده‌های حاصل از احتراق و افزایش غلظت دی اکسیدکربن در اتمسفر، جهان را با تغییرات برگشت‌ناپذیر مواجه ساخته است. این روند نه تنها منابع تجدیدناپذیر و پایان‌یافتنی انرژی را به‌سرعت 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 به‌صورت مشکلی فرامرزی و جهانی پدیدار می‌گردد.

گرم شدن زمین، تخریب لایه اُزن، 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 عدم‌بهره‌وری 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

Archive of SID

www.SID.ir

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، به‌نحوی‌که 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 بالارفتن شدت انتشار در این بخش شده است، به‌طوری‌که 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، اثرشدت 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 ۱۳۷۹به قبل و از سال ۱۳۸۶ به بعد، دوره‌ی زمانی مورد مطالعه، ۱۳۷۹-۱۳۸۶ در نظر گرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

اکسیدکربن داشته است؟ به‌عبارت 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 دی‌اکسید کربن 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. مبنای 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 رویکردها بیشتر دستخوش تغییرات در حوزه کاربرد شده‌اند به‌طوری‌که 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 دیویژیای میانگین حسابی (AMDI)[۶] و شاخص دیویژیای 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

Archive of SID

www.SID.ir

در سال ۲۰۰۴، انگ[1] 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 شپلی- 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 برطرف‌شدن 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 به‌شکل مطلق بررسی می‌شوند و متغیر وابسته به‌صورت 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 به‌صورت حاصل‌ضربی از نسبت موئلفه‌ها 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 به‌کار 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)[2] 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. Akbostanc1 *et al.*

Archive of SID

www.SID.ir

هاموند و نرمن (۲۰۱۱)[1] 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)[2] 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)[3] 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 به‌منظور 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.*

Archive of SID

www.SID.ir

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 به‌ترتیب 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.

٤. روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه از تکنیک تجزیه LMDI در قالب تکامل‌یافته‌تر 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.

کلیه مطالعات تحلیل تجزیه شاخص (IDA) و 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 به‌طوری‌که هر یک از V_iها تابعی از n متغیر باشد[1]. به عبارت دیگر

$$V = \sum_i V_i = \sum_i x_{1,i}x_{2,i} \dots x_{n,i} \qquad V_i = x_{1,i}x_{2,i} \dots x_{n,i} \qquad (۱)$$

که زیر نویس i می‌تواند علامت یک ویژگی کلی مانند شماره زیربخش‌های مصرف‌کننده انرژی و یا نوع سوخت و غیره باشد. به علاوه فرض کنید در طی دوره‌ی صفر تا دوره T مجموع تغییرات از $V^0 = \sum_i x^0_{1,i}x^0_{2,i} \dots x^0_{n,i}$ به $V^T = \sum_i x^T_{1,i}x^T_{2,i} \dots x^T_{n,i}$ تغییر کند. بر این اساس، فرم کلی تجزیه جمعی به‌شکل زیر فرمول‌بندی می‌شود:

$$\Delta V_{tot} = V^T - V^0 = \Delta V_{x_1} + \Delta V_{x_2} + \cdots + \Delta V_{x_n} + \Delta V_{rsd} \qquad (۲)$$

به‌طوری که ΔV_{tot} بیانگر کل تغییرات و ΔV_{rsd} بیان‌گر قسمت پسماند است که برای روش-هایی همچون روش LMDI که تجزیه به‌صورت کامل انجام می‌گیرد، این بخش حذف می‌شود[2].

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.

Archive of SID

www.SID.ir

k امین عامل در تغییرات کل به‌صورت زیر تعریف می‌کند[۱]:

$$\Delta V_{x_k} = \sum_i L(V_i^T, V_i^0)\, ln\left(\frac{x_{k,i}^T}{x_{k,i}^0}\right) \quad (۳)$$

که در آن تابع $L(V_i^T, V_i^0)$ متوسط لگاریتمی دو عدد مثبت a و b می‌باشد که انگ [۲] (۲۰۰۴) آن را به صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$L(a,b) = \begin{cases} \dfrac{a-b}{lna - lnb} & for \quad a \neq b \\ a & for \quad a = b \end{cases} \quad (۴)$$

در پژوهش حاضر تابع تعیین‌کننده V، میزان انتشار آلودگی دی‌اکسیدکربن (C) در کل زیربخش‌های صنعتی می‌باشد که می‌توان آن را به پنج عامل ارزش کل تولیدات صنعتی (Q)، سهم زیربخش‌های مختلف در تولیدات کل $(\frac{Q_i}{Q})$، شدت انرژی مصرفی در زیربخش‌های صنعتی $(\frac{E_i}{Q_i})$، سهم سوخت‌های مختلف در تأمین انرژی زیربخش‌های مختلف $(\frac{E_{if}}{E_i})$ و میزان آلودگی به‌ازای هر واحد مصرف سوخت‌های مختلف در زیربخش‌های صنعتی $(\frac{C_{if}}{E_{if}})$ تقسیم‌بندی کرد[۳]. بدین‌ترتیب میزان کل انتشار دی‌اکسیدکربن 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) می‌توان به صورت زیر به پنج عامل فوق الذکر تجزیه کرد (همان ص۲):

$$C = \sum_{if} C_{if} = \sum_{i}^{23}\sum_{f}^{7} C_{if} = \sum_{i=1}^{23}\sum_{f=1}^{7} Q \times \frac{Q_i}{Q} \times \frac{E_i}{Q_i} \times \frac{E_{if}}{E_i} \times \frac{C_{if}}{E_{if}} = \sum_{i=1}^{23}\sum_{f=1}^{7} QS_i I_i M_{if} U_{if} \quad (۵)$$

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

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

2. Ang, B.W.

3. Ang, B.W.

Archive of SID

www.SID.ir

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 انتشارآلودگی 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 (اثرشدت 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 به‌صورت زیر بیان کرد:

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

و با توجه به فرمول (۳) می‌توان نوشت:

(۷-۱) اثر فعالیت

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

(۷-۲) اثر ساختار

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

Archive of SID

www.SID.ir

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

(۳-۷) اثرشدت انرژی

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

(۴-۷) اثر ترکیب سوخت

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

(۵-۷) اثر ضریب انتشار

از این‌رو اثر کل ΔC_{tot} را می‌توان را به‌صورت زیر بیان کرد:

$$\Delta C_{tot} = \sum_{i}^{23}\sum_{f}^{7} w_{if} \ln\left(\frac{Q^T}{Q^0}\right) + \sum_{i}^{23}\sum_{f}^{7} w_{if} \ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^0}\right) + \sum_{i}^{23}\sum_{f}^{7} w_{if} ln\left(\frac{I_i^T}{I_i^0}\right) + \sum_{i}^{23}\sum_{f}^{7} w_{if} ln\left(\frac{M_{if}^T}{M_{if}^0}\right) + \sum_{i}^{23}\sum_{f}^{7} w_{if}\, ln\left(\frac{U_{if}^T}{U_{if}^0}\right)$$

(۸) اثر کل

که در آن w_{if} برابراست با:

$$w_{if} = \frac{C_{if}^{T} - C_{if}^{0}}{\ln C_{if}^{T} - \ln C_{if}^{0}}$$

(۹)

یکی از مشکلاتی که در اکثر مطالعات مربوط به تجزیه عوامل با استفاده از روش LMDI بـا آن برخورد می‌شود مشکل وجود مقدار صفر در داده‌ها می‌باشـد. از آنجاکـه مقـدار صـفر در دامنـه توابـع لگاریتمی تعریف نشده است از این‌رو، وجود عدد صفر در داده‌ها به مبهم شدن نتایج منجر مـی‌گـردد. برای بر طرف کردن چنین مشکلی در روش LMDI دو راهکار پیشنهاد شده است: در راهکار اول که توسط انگ و چوی (۱۹۹۷)[1] ارائه گردید، پیشنهاد می‌شود که با جایگزینی عددی بسیار کوچک با نـام δ (که مقدار آن نزدیک به صفر است) به جای عدد صفر می‌توان به نتایج همگرایی دست یافت. آنهـا از این روش در مطالعات مشابه دیگری نیز استفاده کردند[2] و به تجربه پی بردنـد کـه وقتـی ارزش δ بین 10^{-10} تا 10^{-20} انتخاب شود، نتایج قابل‌قبولی حاصـل مـی‌گـردد. بـه ایـن روش کـه یـک نـوع استراتژی برای برخورد با ارزش صفر از طریق جایگذاری با مقادیر بسـیار کوچـک مـی‌باشـد، "مقـدار

1. Ang and Choi, (1997)

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

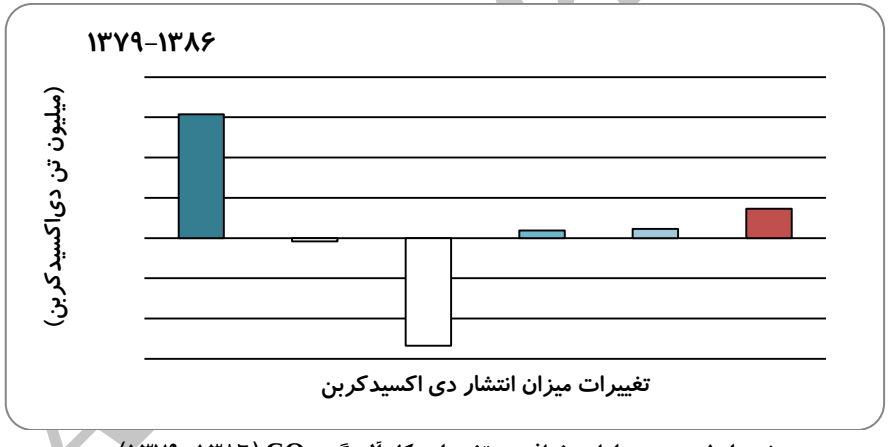
Archive of SID

www.SID.ir

کوچک" (SV)[1] گفته می‌شود. راهکار دوم که توسط انگ و همکاران (۱۹۹۸) ارائه گردید، به "محدودیت تحلیلی" (AL)[2] 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[3]. 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 CO_2 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[4] در قالب فرم جمعی آورده شده است.



نمودار ۱: سهم عوامل مختلف در تغییرات کل آلودگی CO_2 (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.

www.SID.ir

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

جدول ۲: نتایج سال به سال سهم عوامل پنج‌گانه در زیربخش‌های صنعتی ایران (میلیون تن CO_2)

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

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 نحوی‌که 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

Archive of SID

www.SID.ir

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 CO_2)

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 CO_2 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، به‌طوری‌که بر خلاف روند سال‌های گذشته، سهم گاز طبیعی و نفت سفید که از سوخت‌های کم آلاینده 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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

عامل دیگر که بر میزان انتشار آلاینده‌های صنعتی تأثیر می‌گذارد، ضـریب انتشـار مـی‌باشـد ایـن ضریب با کیفیت سوخت‌ها رابطه کاملا معکوسی دارد. نتایج برآمده از جدول (۲) نشـان مـی‌دهـد کـه سهم این عامل در تغییرات انتشار آلودگی نسبت به دیگر عوامل بسیار کوچک می‌باشد[۱]، زیرا از میـان منابع انرژی مختلف تنها برق طی سال‌های مختلف دارای ضریب انتشار متغیـر بـوده و سـوخت‌هـای دیگر تنها در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۶ که ضرایب انتشار مورد بازبینی قرار گرفته‌اند، ضرایب‌شان دچار تغییراتی شـده است. ایـن اثـرات را می‌توان به سادگی در جدول (۲) دنبـال کـرد، بـه طـوری‌کـه در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۶ تغییرات عمده‌ای در سهم این عامل مشاهده می‌شود. به‌طور مثـال در سـال ۱۳۸۶ تغییرات ضریب انتشار موجب افزایش ۴/۴ میلیون تن دی‌اکسیدکربن شده است، ایـن در حـالی 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 راسـتا عوامـل مـؤثر بـه پـنج دسـته اثـر فعالیـت، اثـر ساختاری، اثر شدت انرژی، اثر ترکیب سوخت و اثر ضریب انتشار تقسیم‌بنـدی شـده و محاسـبات بـر اساس فرم جمعی LMDI صورت پذیرفتند. نتایج اولیه نشان می‌داد که طی سال‌های (۱۳۸۶-۱۳۷۹) انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در این زیربخش‌ها از ۷۱/۸ میلیون تن به ۸۶/۴ میلیون تـن افـزایش یافتـه است. با تجزیه انتشار دی‌اکسیدکربن به عوامل مؤثر نیز مشخص شد که اثر فعالیـت بـه‌میـزان ۶۱/۵ میلیون تن پتانسیل انتشار دی‌اکسیدکربن را افزایش داده و از ایـن رو بیشـترین نقـش را در افـزایش انتشارآلودگی داشته است. در نقطه مقابل، عمده‌ترین عاملی که بیشـترین نقـش را در کـاهش انتشـار آلودگی دی‌اکسیدکربن در طول دوره‌ی مورد بررسی داشته است اثر شدت انرژی می‌باشد. این عامـل در مجموع از انتشار ۵۳/۵ میلیون تن دی‌اکسیدکربن از طریق بهبود بهره‌وری انرژی جلوگیری کـرده است. از این رو می‌بایست ضمن تأکید بیشتر بر افـزایش بـهره‌وری، سـرمایه‌گـذاری در صـنایعی در اولویت قرار گیرد که از میزان انرژی کمتری برای تولید استفاده می‌کننـد و یـا بـه‌طـورکلی از شـدت 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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 این‌که سوخت گاز طبیعی میزان انتشار کمتری نسبت به بقیه سوخت‌ها دارد و با عنایت به این‌که 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، به‌نحوی‌که 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 به‌شدت 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 این‌گونه 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 فرایند 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 به‌راحتی استخراج می‌گردد. در ضمن آزمایشات صورت‌گرفته نشان داده است که وجود دی‌اکسیدکربن، در احیای چاه‌های قدیمی نیز تأثیر مثبت داشته است. بدین‌ترتیب می‌توان از استراتژی ذخیره دی‌اکسیدکربن در صنایع و تزریق آن به چاه‌های نفتی نیز در جهت کنترل گاز دی‌اکسید کربن منتشره استفاده نمود.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

دفتر برنامه‌ریزی انرژی وزارت نیرو، (ترازنامه انرژی) سال‌های (۱۳۸۸-۱۳۷۹).

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 SO_2 در صنایع تولیدی ایران، فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی، سال دهم، شماره ۳: ۷۵-۹۵.

Akbostancı, E., G. Îpek T and S. Türüt-Asık (2011); CO_2 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) CO_2 Emissions from Fossil Fuel Combustion –2011 Highlights. Retrieved on 13 January 2011. Available from: http://www.iea.org/co$_2$highlights/CO_2highlights.xls.

Liu, L., Y. Fan, G. Wu and Y. Wei (2007); Using LMDI Method to Analyze the Change of China's Industrial CO_2 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.

Archive of SID

www.SID.ir

پیوست

اثبات داشتن تجزیه کامل (در رابطه جمعی **LMDI**)

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

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

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

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

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

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

Archive of SID

www.SID.ir