فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال ششم، شماره‌ی ۲۳، پاییز ۱۳۹۶
صفحات: ۱۳۷-۱۵۹
DOI: 10.22084/aes.2017.11398.2240

برآورد هزینه نهایی کاهش CO_2 کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر در ایران: رویکرد قیمت سایه‌ای

ایمان سالاری[۱]
زین‌العابدین صادقی[۲*]
علیرضا شکیبایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۶

چکیده

از مهم‌ترین منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و البته کربن دی‌اکسید، فعالیت‌های گوناگون بخش‌های مهم اقتصادی است، که یکی از این بخش‌های پیشرو در انتشار کربن، صنعت است. در این تحقیق با به‌کارگیری توابع فاصله‌ای خروجی و ورودی محور، هزینه نهایی کاهش انتشار دی‌اکسید کربن، برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ کارکن و بیشتر برای سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد در مدل خروجی به‌طور متوسط مقدار ۵،۱۶ میلیون ریال برای هر تن کربن در بخش صنعت و در مدل ورودی محور به‌طور متوسط مقدار ۴،۱۷ میلیون ریال برای هر تن کربن در بخش صنعت برآورد شده‌است. نتایج حاکی از آن است که زیر بخش‌های صنعتی دارای هزینه نهایی متفاوتی برای کاهش کربن هستند و روند هزینه نهایی کاهش کربن برای بخش صنعت در طول دوره مطالعه افزایش زیادی داشته است به‌طوری‌که قیمت سایه‌ای به‌دست آمده در سال ۹۲ نسبت به سال ۸۷ رشد ۲۲۱ درصدی را تجربه کرده است. همچنین منتج شدن مقادیر متفاوت از دو نوع تابع فاصله به‌کار رفته در این تحقیق نشان می‌دهد انتخاب روش و یا حتی مدل به‌کار رفته در برآورد قیمت سایه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است.

کلید واژه‌ها: هزینه نهایی کاهش انتشار CO_2، قیمت سایه‌ای، تابع فاصله‌ای، صنعت.

طبقه‌بندی JEL: D24, Q43, Q51, Q52.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه شهید باهنر کرمان **Email:** imansalari5571@gmail.com
۲. استادیار گروه اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان(*نویسنده مسؤول) **Email:** Abed_sadeghi@yahoo.com
۳. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان **Email:** ashakibaee@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

۱. مقدمه

صنعتی شدن، زیربنای تحریکات توسعه‌ای در هر کشور و از مهم‌ترین عوامل تحول ساختاری اقتصاد و نیل به اقتصاد بدون اتکا به درآمدهای نفتی و همچنین از شروط لازم برای پیشرفت اقتصادی و زمینه‌ساز تحولات ساختاری گسترده در حوزه‌های اقتصادی و فن‌آوری است. رشد اقتصادی ناشی از صنعتی شدن با اثرات تک اثری و هم‌افزایی که بر اقتصاد کشورها و ساختار تولیدی آنها می‌گذارد، به ارتقای سطح زندگی و توسعه فعالیت‌های اقتصادی منجر می‌شود. هرچند صنایع نقش قابل‌توجهی در فرآیند رشد و توسعه اقتصادی هر کشوری دارند؛ اما درعین‌حال می‌توانند در ایجاد آلودگی و تخریب محیط‌زیست، عامل تأثیرگذاری باشند. پرداختن به این مسأله تا آنجا اهمیت داشته است که صنعت سبز در حوزه اقتصاد سبز مطرح شده است تا چشم‌انداز امیدوارکننده‌تری نسبت به توسعه اقتصادی پدید آید (ناجی میدانی، ۱۳۹۴: ۲۹).

ایران به عنوان یک کشور رو به رشد و برخوردار از منابع انرژی غنی و گسترده و وجود مخازن بزرگ نفتی، معادن بزرگ زیرزمینی و پتانسیل بالقوه انرژی، یکی از مصادیق الگوی رشد با فشار بر منابع طبیعی محسوب می‌شود و بنابراین، برنامه ریزی برای تولید و مصرف انرژی در این کشور از اهمیت زیادی برخوردار است و باید با دقت بسیار انجام شود (آهنگری، ۱۳۹۵: ۲۷۰). در سال ۲۰۱۵ اجلاس پاریس با حضور نمایندگان ۱۹۵ کشور و بحث درباره‌ی پیمان جایگزین پیمان کیوتو[1]در راستای کاهش پخش و نشر گازهای گلخانه‌ای برگزار شد. با توجه به این پیمان باید مصرف انرژی‌های فسیلی در جهان را به میزانی کاهش یابد که گرمای کره زمین تا آخر قرن حاضر نسبت به آغاز صنعتی‌شدن جهان بیش از ۲ درجه افزایش پیدا نکند. ایران نیز ازجمله حاضران در این اجلاس بوده است و باید درباره تغییرات و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی خود در این‌باره توضیح دهد، چراکه ایران یکی از ۱۵ کشور بزرگ تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای در جهان است. ایران در این توافق متعهد به کاهش ۱۲ درصدی انتشار CO_2 تا سال ۲۰۳۰ شد که ۴ درصد را به‌صورت داوطلبانه پذیرفته است و ۸ درصد را مشروط به تحقق همکاری‌های بین‌المللی، انتقال دانش و سرمایه‌گذاری خارجی می‌داند.

تخمین هزینه نهایی کاهش CO_2(MAC)[2] برای بخش‌های صنعتی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را برای دولت به‌منظور ابداع استراتژی‌های کاهش کربن فراهم کند. در اقتصاد محیط‌زیست، MAC به‌عنوان هزینه لازم برای کاهش هر واحد اضافی از تولید گازهای گلخانه‌ای تعریف شده است. تحقیقات قبلی در مورد منحنی‌های هزینه نهایی کاهش به سه دسته گسترده از نظر روش مدل‌سازی

---

۱. پیمان کیوتو قراردادی است که در سال ۱۹۹۷ در کنفرانس سازمان ملل در شهر کیوتوی ژاپن مورد توافق دولت‌ها قرار گرفت. هدف این پیمان آنست که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط کشورهای توسعه یافته، از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به دست کم پنج درصد کمتر از سطح این گازها در سال ۱۹۹۰ برسد. در مجموع ۱۷۴کشور جهان این پیمان را تصویب کرده‌اند.

2. marginal abatement costs

Archive of SID

www.SID.ir

تقسیم می‌شوند. دسته اول مبتنی بر نظر متخصصان[1] است. این دسته یک رویکرد پایین به بالا مهندسی است که ظرفیت کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های مربوطه به هر یک از گزینه‌های فنی واحد را براساس مفروضات توسعه‌یافته توسط کارشناسان، ارزیابی می‌کند. دسته دوم؛ MACC مشتق شده از مدل[2] است. این روش به‌صورت کامل کردن یکی از مدل‌های تعادل جزئی یا عمومی است. برای این شاخه از مدل‌ها، رایج‌ترین روش برای تولید یک منحنی MAC اجرای مدل با محدودیت‌های سختگیرانِ مختلف و استنتاج قیمت‌های مربوط به CO_2 و یا اجرای مدل باقیمت‌های مختلف CO_2 و محاسبه سطح انتشار CO_2 است. رویکرد سوم برای استخراج MAC بر اساس نظریه تولید[3] است. مجموعه امکانات تولید توسط مجموعه‌ای از محدودیت‌های فنی و اقتصادی دقیق تعیین می‌شود. با توجه به اینکه در فرایند تولید هر دو خروجی مطلوب و نامطلوب تولید خواهد شد، واحد تولیدی بخشی از سودش را با کاهش سطح تولید به‌منظور کاهش مقدار انتشار خروجی نامطلوب قربانی خواهد کرد. این هزینه نهایی ناشی از محدودیت می‌تواند به‌عنوان یک هزینه فرصت تفسیر شود. دو استراتژی برای اجرای این تجزیه‌وتحلیل تجربی وجود دارد. اولین استراتژی، تعریف یک تابع هزینه کل و سپس به‌دست آوردن مدل هزینه نهایی توسط مشتقات مرتبه اول،دومین استراتژی در این رشته استفاده از چارچوب توابع فاصله‌ای برای فنّاوری‌های تولید زیست‌محیطی است (Du and et al., 2015: 218)[4].

در این تحقیق با به‌کارگیری توابع فاصله‌ای خروجی و ورودی محور، هزینه نهایی کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در جریان توسعه بخش صنعت ایران، برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ کارکن و بیشتر برای سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ اندازه‌گیری شده است. بدین منظور، پس از گردآوری داده‌های موردنیاز، از مفهوم قیمت سایه‌ای انتشار این آلاینده استفاده‌شده است. در ادامه، مطالب به‌صورت زیر ساماندهی شده است: در قسمت دوم، مطالعات تجربی موردبررسی قرار می‌گیرد. در قسمت سوم، مبانی نظری و ساختار الگو بیان می‌گردد. سپس برآورد اقتصادسنجی الگو و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در قسمت چهارم ارائه خواهد شد. درنهایت در بخش پایانی، جمع‌بندی و پیشنهادهای سیاستی بیان خواهد شد.

۲. مروری بر مطالعات انجام‌شده

در این قسمت به نتایج برخی از مطالعات داخلی و خارجی صورت گرفته در خصوص اندازه‌گیری قیمت سایه‌ای با استفاده از روش‌های مختلف اشاره‌شده است.

1. Expert-based MACC
2. Model-derived MACC
3. Supply-side/production-based MACC
4. Du., Hanley. & Wei

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۱. مطالعات داخلی

اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۷) اقدام به برآورد قیمت‌های سایه‌ای آلاینده‌های هوا در نیروگاه‌های کشور کرده‌اند و محاسبه قیمت سایه‌ای با استفاده از روش تابع مسافت نهاده انجام‌گرفته است. متوسط قیمت سایه‌ای آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد به‌ترتیب برابر با ۹/۱۴۹۹۰ و ۳/۱۷۶۸۷ ریال به اجزاء هر یک کیلوگرم آلاینده‌های اکسید نیتروژن و اکسیدهای گوگرد منتشرشده است. قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها در این مطالعه بیش ازآنچه توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست و بانک جهانی ارائه‌شده، به‌دست آمده است. در این مطالعه پیشنهادشده است میزان خسارت اخذشده برابر باقیمت سایه‌ای آلاینده‌ها باشد تا خسارت با میزان زیان وارده شده تطابق داشته باشد.

شاکری و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهش خود با بهره‌گیری از اطلاعات مربوط به سنجش پارامترهای آلایندگی در بخش حمل‌ونقل و همچنین جمع‌آوری اطلاعات مربوط به نهاده‌ها و ستانده‌های تولیدی، اقدام به برازش الگوی مرزی تصادفی مسافت کرده‌اند. با توجه به نظریه پیگو که هر آلوده‌گر باید هزینه‌های آلایندگی خود را پرداخت کند، در این مقاله با توجه به وجود کمبودها درزمینه‌ی روش‌های مناسب تحلیلی برای سیاست‌گذاری درزمینه‌ی محیط‌زیست، اقدام به برآورد قیمت‌های سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی که در اثر سوخت‌های فسیلی مصرف‌شده در بخش حمل‌ونقل منتشر می‌شوند، شده است. بر این اساس میانگین قیمت‌های سایه‌ای (هزینه‌های کاهش آلودگی) در بخش حمل‌ونقل در طول سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۹ برای آلاینده اکسید نیتروژن برابر با ۱۲۱۴۶۹۰ ریال برای هر تن کیلومتر، آلاینده دی‌اکسید گوگرد برابر با ۱۳۱۹۳۶ ریال برای هر تن کیلومتر و آلاینده دی‌اکسید کربن برابر با ۴۳۸۱/۴۴۸ ریال برای هر تن هست. یافته‌های این مطالعه به‌عنوان مبنای اولیه برنامه‌ریزی به سیاست‌گذاران این عرصه پیشنهادشده است تا شناخت صحیح‌تری از آثار اقتصادی- زیست‌محیطی بخش حمل‌ونقل و هزینه‌های زیست‌محیطی تحمیل‌شده داشته باشند.

موسوی و همکاران (۱۳۹۰)، اقدام به برآورد قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش حمل‌ونقل، کرده‌اند. نتایج حاصله حاکی از آن است که قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی که از مصرف ۱ لیتر بنزین و نفت گاز ایجاد می‌شود، به‌ترتیب ۱۰۳۹ ریال و ۱۰۷۵ ریال است. همچنین به این نتیجه رسیدند که روند برآورد قیمت سایه‌ای آلاینده‌ها در بخش حمل‌ونقل طی دوره مورد مطالعه (۱۳۵۵ تا ۱۳۸۶) افزایشی بوده و هر چه به دوره‌های اخیر نزدیک می‌شویم شدت افزایش قیمت سایه‌ای بیشتر می‌شود که این خود شاهدی برافزایش هزینه‌های کنترل آلودگی طی زمان است.

Archive of SID

www.SID.ir

برزگر و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از روش جدول داده–ستانده و به‌کارگیری ضرایب EPA اقدام به قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌های اقتصادی تهران کرده‌اند. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که بخش‌های اقتصادی شامل بخش‌های حمل‌ونقل با ایجاد هزینه اجتماعی به میزان ۲۳۵۴۸۸۸۵۰۶۲۹۱ ریال، خدمات۸۸۵۳۳۴۴۳۲۸۰ ریال، کشاورزی ۷۴۷۱۶۸۲۱۸۴۰ ریال و صنایع ۷۲۶۹۵۶۷۲۴۰ ریال به ترتیب رتبه‌های اول تا چهارم را در ایجاد هزینه‌های اجتماعی استان تهران به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به حرکت جهانی به سمت توسعه پایدار، توجه به تخریب‌های زیست‌محیطی ناشی از بخش‌های مختلف اقتصادی امری ضروری است. در این مقاله به‌منظور نشان دادن ضرورت برنامه‌ریزی و تدوین راهبردها اقدام به برآورد هزینه اجتماعی آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌های اقتصادی استان تهران شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین هزینه‌های اجتماعی کل آلاینده‌های موردبررسی در این مطالعه ناشی از مصرف نفت گاز به قیمت ۷۹۶ ریال به ازای هر لیتر مصرف در بخش حمل‌ونقل و کم‌ترین آن ناشی از مصرف نفت سفید به قیمت ۱۹۶ ریال به ازای هر لیتر مصرف هست.

علی‌پور و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش تابع مسافت نهاده زیان‌های حاصل از انتشار کربن دی‌اکسید به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای تولیدشده در بخش کشاورزی ایران را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. بدین منظور، از مفهوم قیمت سایه‌ای انتشار این آلاینده استفاده‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که در بازه زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۹ میانگین سالانه زیان انتشار هر کیلوگرم کربن دی‌اکسید ناشی از مصرف سوخت در بخش کشاورزی، ۱۰۱ ریال بوده است. به‌عبارت‌دیگر، با انتشار کربن دی‌اکسید از بخش کشاورزی ایران، سالانه به‌طور میانگین به میزان ۱۱۰۰ میلیارد ریال هزینه ایجاد می‌شود. همچنین، نتایج این ارزیابی نشان داده است که میانگین هزینه انتشار هر کیلوگرم از این آلاینده در فاصله این دو دهه افزایش چشمگیری داشته است و لذا به نظر می‌رسد که تأمین نهاده‌های موردنیاز به‌منظور کنترل انتشار کربن دی‌اکسید در بخش کشاورزی ایران از راه اعطای یارانه‌های زیست‌محیطی امری پرهیز ناپذیر است.

۲-۲. مطالعات خارجی

ژو و همکاران[1] (۲۰۱۴) اقدام به برآورد قیمت سایه‌ای انتشار CO_2 برای بخش‌های صنعتی شانگهای با استفاده از روش تابع فاصله‌ای . نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که میانگین وزنی کلی برآورد قیمت سایه‌ای روش‌های مختلف بین ۵/۳۹۴ و ۱/۱۹۰۶ یوان است که نشان می‌دهد که انتخاب مدل دارای اثر قابل‌توجهی در برآورد قیمت سایه‌ای است. همچنین یک رابطه منفی بین قیمت سایه‌ای انتشار CO_2و شدت کربن شناسایی کرده‌اند، و همچنین صنایع سنگین با شدت کربن بالاتر تمایل به قیمت

1. Zhou., Zhou., Fan.

Archive of SID

www.SID.ir

سایه پایین‌تری دارند. این مقاله پیشنهاد داده است شهرداری شانگهای برای بهبود بازار کربن به‌منظور تخصیص کمک‌هزینه‌های انتشار از هزینه نهایی کاهش کربن شرکت‌ها، استفاده کند.

ژانگ[1] و همکاران (۲۰۱۴) قیمت سایه‌ای انتشار کربن کلی چین را در سطح ایالت‌ها با استفاده از تابع فاصله خروجی جهت‌دار و تابع فاصله خروجی شفارد استخراج کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که قیمت سایه‌ای برآورد شده توسط تابع فاصله جهت‌دار با بردار جهت (−۱,۱) به میزان قابل‌توجهی بالاتر از قیمت تخمین زده‌شده توسط تابع فاصله خروجی شفارد است، که نشان می‌دهد فنّاوری تولید سبز برای کشور درحال‌توسعه چین بسیار گران هست .علاوه‌بر این، قیمت سایه‌ای انتشار کربن در طول دوره نمونه رو به افزایش بوده است، که به معنی آن است، به‌طور فزاینده‌ای تنظیم انتشار CO_2 برای چین پرهزینه است. علاوه بر این، قیمت سایه‌ای ارتباط مثبتی با سطح توسعه اقتصادی منطقه دارد. به‌طورکلی، قیمت سایه‌ای مناطق با درآمد بالا به‌طور قابل‌توجهی بزرگ‌تر از مناطق کم‌درآمد به‌دست آمده است. بنابراین این مقاله پیشنهاد می‌کند، چین برای دستیابی به طرح بلند پروازانه خود برای کاهش میزان انتشار کربن باید طرح منطقه‌ای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، مانند طرح تجارت کاهش انتشار کربن منطقه‌ای را ترویج دهد.

وندربرگ و دلاریو[2] (۲۰۱۵)، در تحقیق خود بر رابطه بین هزینه انتشار CO_2 و کاهش انتشار CO_2 در بخش برق، تمرکز کرده‌اند. نویسندگان یک روش جدید که درک درستی از رابطه بین هزینه CO_2 و کاهش CO_2 را بهبود می‌بخشد، ارائه کرده‌اند. این روش بر این بینش است که انتشار CO_2 در بخش برق توسط ترکیب سبد قدرت متعارف، بار باقی‌مانده و هزینه تولید واحد معمولی تعیین می‌شود. برای ارزیابی تأثیر قیمت CO_2، منحنی هزینه نهایی کاهش (MACCs)[3] یک ابزار معمول مورداستفاده توسط سیاست‌گذاران است، بااین‌حال، MACCs از مسائل مربوط به استحکام و سستی رنج می‌برد. بینش جدید این موضوع را حل کرده است.این روش بر پایه‌یک رویکرد پایین به بالا، با شروع از دانش مهندسی از بخش برق است. این مطالعه به سیاست‌گذاران یک ابزار جدید برای ارزیابی گزینه مای کاهش CO_2 پیشنهاد می‌دهد. این روش در سیستم برق اروپای غربی و مرکزی اعمال‌شده است و به‌عنوان مثال اثرات متقابل بین، تعویض سوخت و استقرار انرژی مای تجدید پذیر را نشان می‌دهد.

دو و مائو[4](۲۰۱۵)، بهره‌وری محیط‌زیست، پتانسیل کاهش و هزینه نهایی کاهش انتشار دی‌اکسید کربن نیروگاه با سوخت زغال‌سنگ در چین با استفاده از یک مجموعه داده سطح طرح به‌دست‌آمده از موج اول و دوم از سازمان ملی اقتصادی، که به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ به اجرا درآمد بود،

1. Zhang, Xu, Zhang, Guo, Rao
2. Van den Bergh., and Delarue
3. marginal abatement costs curve
4. Du, and Mao

Archive of SID

www.SID.ir

تخمین زده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که فرصت مای بزرگی برای کاهش انتشار گاز کربن در نیروگاه با سوخت زغال‌سنگ در چین وجود دارد. با توجه به اینکه تمام نیروگاه‌ها به‌طور کامل مؤثر عمل کنند، انتشار گاز کربن همراه با گسترش در تولید برق .چین در سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ می‌توانسته به‌ترتیب تا مقدار ۵۲٪ و ۷۰٪ کاهش یابد. در سال ۲۰۰۴، به‌طور متوسط هزینه نهایی کاهش گاز گلخانه‌ای CO_2برای نیروگاه‌های انرژی چین حدود ۹۵۵ یوآن / تن بوده، که این هزینه در سال ۲۰۰۸ به ۱۱۴۲ یوآن / تن افزایش یافته بود. این مطالعه نشان می‌دهد که یارانه‌های دولت می‌تواند ناکارآمدی زیست‌محیطی را کاهش دهد، اما قیمت سایه‌ای نیروگاه را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. نیروگاه قدیمی‌تر و بزرگ‌تر از راندمان زیست‌محیطی و هزینه نهایی کاهش کربن کمتری برخوردارند.

۳. مبانی نظری و روش‌شناسی تحقیق

چارچوب تحلیلی برای تخمین قیمت سایه‌ای شامل سه مرحله اصلی است، الف) ساخت یک فناوری تولید زیست‌محیطی توسط تابع فاصله‌ای، ب) استخراج فرمول قیمت سایه‌ای،ج) فرموله کردن یک مدل پارامتریک / ناپارامتریک برای محاسبه قیمت سایه‌ای.

فرض کنید یک واحد تولیدی که با استخدام سرمایه (k)، نیروی کار (L)، انرژی (e) هر دو محصول مطلوب (y) و محصول نامطلوب (b) را تولید می‌کند:

$$x = (k, l, e) \in R_+^3 \text{ و } u = (y, b) \in R_+^2 \qquad (۱)$$

فرایند تولید مشترک می‌تواند توسط یک فناوری تولید زیست‌محیطی مدل‌سازی شود، که به دو شکل مجموعه امکانات تولید و مجموعه نهاده‌های موردنیاز و به ترتیب به‌صورت زیر نشان داده می‌شوند:

$$p(x) = \{u: \text{تولید کننده } x \text{ است}\} \qquad (۲)$$

$$I(u) = \{x: \text{برای تولید } u \text{ به } x \text{ نیاز است}\} \qquad (۳)$$

در تئوری تولید با چند خروجی، ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب اغلب با قابلیت دسترسی قوی[1] تصور می‌شوند، درحالی‌که خروجی‌های (مطلوب و نامطلوب) باقابلیت دسترسی ضعیف[2] تصور می‌شوند (Färe and Primont., 1995: 45)[3]. قابلیت دسترسی قوی نشان می‌دهد که ورودی (یا خروجی مطلوب) را می‌توان بدون تحمل هرگونه هزینه، کاهش یا افزایش داد. قابلیت دسترسی ضعیف بر

1. Strongly disposable
2. weakly disposable
3. Färe., Primont.

Archive of SID

www.SID.ir

روی تولید مشترک گازهای گلخانه‌ای CO_2 به‌عنوان خروجی نامطلوب و محصولات صنعتی به‌عنوان خروجی مطلوب تحمیل‌شده است، به‌عنوان مثال:

$$(y,b) \in p(x), \text{ و } 0 \le \theta \le 1 \text{ نشان دهنده } (\theta y, \theta b) \in p(x), \quad (۴)$$

که نشان می‌دهد کاهش خروجی‌های نامطلوب (گازهای گلخانه‌ای) مستلزم هزینه کاهش متناسب خروجی مطلوب (محصولات صنعتی) است. این شرایط نشان می‌دهد که تولید خروجی‌های نامطلوب متوقف نخواهد شد مگر آن کل فرآیند تولید متوقف شود، این ویژگی به نام غیر جداپذیری[1]، به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$(y,b) \in p(x) \text{ و } b = 0 \text{ نتیجه } y = 0 \quad (۵)$$

فناوری تولید زیست‌محیطی می‌تواند به‌طور کامل توسط تابع فاصله‌ای جهت‌دار یا تابع فاصله‌ای شفارد مشخص شود. تابع فاصله شفارد در دو نسخه متداول، یعنی تابع فاصله‌ای خروجی و ورودی شفارد استفاده می‌شود. در توصیف فن‌آوری تولید زیست‌محیطی، قانون نگاشت مندرج در تابع فاصله‌ای نقش مهمی را ایفا می‌کند. قانون نگاشت برای تابع فاصله‌ای خروجی شفارد، گسترش هر دو خروجی مطلوب و بد با توجه به ورودی‌های معین است. قانون نگاشت تابع فاصله‌ای ورودی شفارد، کاهش ورودی‌های ممکن با توجه به خروجی‌های معین است. (Zhou. and at al, 2014: 111)[2].
روابط ریاضی، توابع فاصله‌ای خروجی شفارد و ورودی شفارد به‌ترتیب نشان داده‌شده‌اند:

$$D_i(\mathrm{x},\mathrm{u}) = \inf\left\{\theta: \left(\frac{\mathrm{u}}{\theta}\right) \in \mathrm{p}(\mathrm{x})\right\} \quad (۶)$$

$$D_i(u,x) = \sup\left\{\delta: \left(\frac{\mathrm{x}}{\delta}\right) \in \mathrm{I}(\mathrm{u})\right\} \quad (۷)$$

پس از استخراج فناوری تولید با استفاده از توابع فاصله‌ای، مرحله دوم استخراج فرمول قیمت سایه‌ای از فناوری تولید زیست‌محیطی است. رابطه دوگانگی بین تابع فاصله‌ای و درآمد، هزینه و یا تابع سود نقش اساسی در استخراج قیمت سایه‌ای خروجی نامطلوب دارد(Färe and at al., 1993: 375)[3]. برای دو تابع فاصله داده‌شده در بالا، می‌توانیم فرمول‌های محاسباتی مربوطه به قیمت سایه‌ای خروجی بد را با استفاده از روش‌های لاگرانژ و لم دوگانه شفارد، استخراج می‌کنیم.

$$\mathrm{r_b} = \mathrm{r_y} \cdot \frac{\partial \mathrm{D_0(x,u)} / \partial \mathrm{b}}{\partial \mathrm{D_0(x,u)} / \partial \mathrm{y}} \quad (۸)$$

1. null-jointness

این ویژگی که محصول مطلوب و غیر مطلوب باهم تولید می‌شوند در سال ۱۹۷۴ توسط فار و شفارد مطرح شد.

2. Zhou., Zhou., Fan
3. Färe., Grosskop., Lovell., Yaisawarng

Archive of SID

www.SID.ir

$$r_b = r_y \cdot \frac{\partial D_i(u,x)/\partial b}{\partial D_i(u,x)/\partial y} \quad (۹)$$

که در آن‌ها r_b و r_y به‌ترتیب قیمت سایه‌ای خروجی نامطلوب و مطلوب هستند. معمولاً، فرض می‌شود که r_y برابر با قیمت بازاریش است. قیمت سایه‌ای خروجی نامطلوب، به‌عنوان نمونه هزینه نهایی ناشی از تحمیل قابلیت دسترسی ضعیف و یا هزینه فرصت کاهش این خروجی برحسب کاهش خروجی مطلوب، تفسیر می‌شود (Färe. And et al., 1993: 376).

به‌منظور برآورد قیمت سایه‌ای خروجی‌های نامطلوب، نیازمند ارزیابی توابع فاصله داده‌شده در معادلات ۸ و ۹ به‌وسیله یک مدل کارایی پارامتریک و یا نا پارامتریک هستیم. در مدل پارامتریک از یک فرم تابعی از پیش تعیین‌شده مانند تابع ترانسلوگ و یا تابع درجه دوم استفاده می‌شود. مدل پارامتریکی مستحکم درنتیجه تابع فاصله‌ای مشتق‌پذیر است، این ویژگی، برآورد قیمت سایه‌ای و تفسیر نتایج را تسهیل می‌کند. در کاربرد، توابع فاصله خروجی و ورودی شفارد اغلب بافرم تابعی ترانسلوگ همراه هستند (Zhou and et al., 2014: 112). فرم تابع ترانسلوگ برای توابع فاصله خروجی و ورودی شفارد به‌ترتیب در زیر بیان شده است:

$$\begin{aligned} lnD_{it}(x,u) = {} & a_0 + \sum_{m=1}^{M} a_m lnu_{mit} + \sum_{g=1}^{G} \beta_g lnx_{git} \\ & + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} a_{mn} lnu_{mit} lnu_{nit} \\ & + \frac{1}{2}\sum_{g=1}^{G}\sum_{l=1}^{G} \beta_{gl} lnx_{git} lnx_{lit} \\ & + \sum_{g=1}^{G}\sum_{m=1}^{M} \delta_{gm} lnx_{git} lnu_{mit} \end{aligned} \quad (۱۰)$$

$$\begin{aligned} lnD_{it}(u,x) = {} & a_0 + \sum_{m=1}^{M} a_m lnu_{mit} + \sum_{g=1}^{G} \beta_g lnx_{git} \\ & + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} a_{mn} lnu_{mit} lnu_{nit} \\ & + \frac{1}{2}\sum_{g=1}^{G}\sum_{l=1}^{G} \beta_{gl} lnx_{git} lnx_{lit} \\ & + \sum_{g=1}^{G}\sum_{m=1}^{M} \delta_{gm} lnx_{git} lnu_{mit} \end{aligned} \quad (۱۱)$$

Archive of SID

www.SID.ir

تخمین اقتصادسنجی توابع فاصله‌ای به‌خاطر این واقعیت که این توابع هیچ متغیر وابسته قابل‌مشاهده‌ای ندارد با مانع روبه‌رو می‌شود، این مشکل به خاطر مسائل مربوط به درون‌زا بودن متغیرهای مستقل پیچیده‌تر می‌شود. به پیروی از کولی و پرلما [1](۱۹۹۶) با سنجش همگنی رویکرد ترانسلوگ توابع فاصله نهاده و ستانده به‌وسیله یک وزن، نظیرρ، که معادل معکوس وزنی یکی از ستانده‌ها در تابع فاصله ستانده و یکی از نهاده‌ها در تابع فاصله نهاده هست، این مشکل برطرف می‌شود. لذا با اعمال شرط همگنی در معادلات (۱۰ و ۱۱) و بازنویسی آنها روابط زیر برقرار است:

$$ln(\frac{1}{u_{mit}}) = a_0 + \sum_{m=1}^{M-1} a_m lnu^*_{mit} + \sum_{g=1}^{G} \beta_g lnx_{git} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M-1}\sum_{n=1}^{M-1} a_{mn} lnu^*_{mit} lnu^*_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{G}\sum_{l=1}^{G} \beta_{gl} lnx_{git} lnx_{lit} + \sum_{k=1}^{G}\sum_{m=1}^{M-1} \delta_{gm} lnx_{git} lnu^*_{mit} - lnD_{it}(x,u) \quad (۱۲)$$

$$ln(\frac{1}{x_{kit}}) = a_0 + \sum_{m=1}^{M} a_m \ln u_{mit} + \sum_{k=1}^{G} \beta_k lnx^*_{kit} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{M} a_{mn} lnu_{mit} lnu_{nit} + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{G}\sum_{l=1}^{G} \beta_{gl} lnx^*_{git} lnx^*_{lit} + \sum_{g=1}^{G}\sum_{m=1}^{M} \delta_{gm} lnx^*_{git} lnu_{mit} - lnD_{it}(u,x) \quad (۱۳)$$

در روابط (۱۲و۱۳) $u^*_{it} = \frac{u_{it}}{u_{it}}$ و$x^*_{it} = \frac{x_{it}}{x_{it}}$. محدودیت‌های موردنیاز برای این توابع عبارت‌اند از:

ورودی $\sum_{g=1}^{G} \beta_g = 1$ خروجی $\sum_{m=1}^{M} a_m = 1$

1. Coelli., & Perelman

Archive of SID

www.SID.ir

ورودی $\sum_{l=1}^{G}\beta_{gl}=1\ ,\ g=1,2,\dots,G$ خروجی $\sum_{n=1}^{M}a_{mn}=1\ ,\ m=1,2,\dots,M$

ورودی $\sum_{g=1}^{G}\beta_{mg}=1\ ,\ m=1,2,\dots,M$ خروجی $\sum_{m=1}^{M}a_{gm}=1\ ,\ g=1,2,\dots,G$

همچنین به قرینه‌سازی‌های زیر نیاز داریم:

$$\beta_{gl}=\beta_{lg}\ ,\quad g,l=1,2,\dots,G \qquad \text{و} \qquad a_{\mathrm{mn}}=\alpha_{\mathrm{nm}}\ ,\quad \mathrm{m,n}=1,2,\dots,\mathrm{M}$$

برای توابع خروجی و ورودی به‌ترتیب متغیرهای y و k به‌عنوان متغیرهای نرمال‌سازی انتخاب‌شده‌اند. برای تخمین مدل‌های (۱۲ و ۱۳) از روش تحلیل مرزی تصادفی (SFA[1]) استفاده کرده‌ایم که در آنها فاصله از مرز کارایی با یک عبارت خطای دوجزئی جایگزین شده است. عبارت خطای $-lnD_{it}=\varepsilon_{it}-u_{it}$ که در آن $\varepsilon_{it}\sim|N(0,\sigma_{\varepsilon}^{2}|$ دارای توزیع نرمال با خطای متقارن جهت در نظر گرفتن نویز در داده‌ها می‌باشد. $u_{it}\sim|N^{+}(0,\sigma_{u}^{2}|$ یک خطای یک‌طرفه برای محاسبه ناکارایی تکنیکی که فرض می‌شود دارای یک توزیع نیمه‌نرمال است (Coelli. and et al., 2013: 291)[2]. مدل‌ها به‌وسیله روش (ML[3]) تخمین زده می‌شوند.

به‌طور خلاصه، ما دو مدل قیمت‌گذاری سایه‌ای رایج را در چارچوب تحلیلی تابع فاصله‌ای توصیف کرده‌ایم. که به‌ترتیب عبارت‌اند از:

- رویکرد ترانسلوگ تابع فاصله خروجی شفارد (T-ODF)[4]
- رویکرد ترانسلوگ تابع فاصله ورودی شفارد (T-IDF)[5]

داده‌های مورد نیاز تحقیق به‌صورت داده‌های پانل برای سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۲ و با ۲۳ مقطع برای زیر بخش‌های صنعتی بر اساس کدهای (ISIC) بوده است که از سایت مرکز آمار ایران برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر و ترازنامه انرژی ایران استخراج‌شده‌اند. برای برخی از متغییرها ملاحظات زیر در نظر گرفته‌شده است.

- برای برآورد موجودی سرمایه از روش روند نمایی سرمایه‌گذاری استفاده کرده‌ایم. براساس این روش، موجودی سرمایه به‌وسیله رابطه زیر برآورد می‌شود (شکیبایی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۴۴).

$$I_t=Ie^{\lambda t} \qquad (۱۴)$$

1. Stochastic Frontier Analysis (SFA)
2. Coelli., Gautier., Perelman., & Saplacan
3. Maximum Likelihood (ML)
4. translog Shephard output distance function
5. translog Shephard input distance function

Archive of SID

www.SID.ir

به‌گونه‌ای‌که I_t نشانگر سرمایه‌گذاری خالص در سال، t ، نماد، I سرمایه‌گذاری در سال پایه و λ نرخ رشد سرمایه‌گذاری است. به‌این‌ترتیب موجودی سرمایه در سال پایه عبارت است از:

$$k_0 = \int_{-\infty}^{\cdot} \mathrm{I_t dt} = \int_{-\infty}^{\cdot} \mathrm{I e^{\lambda t} dt} = \frac{\mathrm{I}}{\lambda} \rightarrow \mathrm{k_0} = \frac{\mathrm{I}}{\lambda} \qquad (۱۵)$$

برای محاسبه موجودی سرمایه در سال پایه، λ از تخمین معادله زیر به‌دست می‌آید.

$$I_t = Ie^{\lambda t} \rightarrow lnI_t = lnI + \lambda t \qquad (۱۶)$$

در تخمین رابطه (۱۶) از داده سازی تابلویی استفاده می‌شود.

اکنون با استفاده از تعریف k به‌صورت زیر و محاسبه موجودی سرمایه در سال پایه از طریق رابطه ۳ـ۲۹ می‌توان موجودی سرمایه را برای سال‌های مختلف به‌دست آورد.

$$k_t = k_{t-1} + I_t - \delta(k_t) \rightarrow (1+\delta)k_t = k_{t-1} + I_t \rightarrow k_t = \frac{k_{t-1} + I_t}{1+\delta} \qquad (۱۷)$$

δ نرخ استهلاک سرمایه است، که برابر ۰.۰5 در نظر گرفته‌شده است.

- برای محاسبه میزان انتشار دی‌اکسید کربن در هر بخش از فرمول زیر استفاده می‌شود (Ke and et al[1]. 2013:175).

$$CE_{\mathrm{ff}} = \sum_{\mathrm{i=1}}^{\mathrm{nfc}} (\mathrm{FC_i} \times \mathrm{EF_i}) \qquad (۱۸)$$

$\mathrm{FC_i}$ بیانگر کل ارزش حرارتی از نوع سوختiام با واحد BTU است.

$\mathrm{EF_i}$ بیانگر ضریب انتشار از نوع سوختiام با واحد TCO_2/BTU است.

Nfc بیانگر تعداد کل انواع سوخت‌های مصرفی است.

CE_{ff} بیانگر میزان کل انتشار آلاینده CO_2 ناشی از مصرف سوخت‌ها است.

ضریب انتشار هر نوع از سوخت معادل نسبت میزان انتشار آلاینده به ازای هر واحد مصرف سوخت است. تمامی آمار موردنیاز برای محاسبه‌ی ضریب انتشار از ترازنامه انرژی کشور به‌دست آمده است.

- به‌دلیل در دسترس نبودن قیمت محصول مطلوب (r_y) برای هر یک از زیر بخش‌های صنعتی از ضرب شاخص قیمت تولیدکننده در سهم ارزش‌افزوده هر یک از زیر بخش‌ها از ارزش‌افزوده کل صنعت به‌عنوان قیمت محصول مطلوب استفاده کرده‌ایم.

1. Ke., McNei., Price., Khanna., & Zhou

Archive of SID

www.SID.ir

- میزان مصرف انرژی، ۹ نوع سوخت (نفت سفید، نفت گاز، گاز طبیعی گاز مایع، بنزین، نفت کوره،زغال‌سنگ، زغال چوب و برق) با واحدهای اندازه‌گیری مختلف، برای هر یک از زیر بخش جمع‌آوری‌شده و سپس به واحد یکسانی (واحد گرمایی بریتانیا، BTU[1]) تبدیل‌شده‌اند.

۳. تخمین مدل

در این قسمت با استفاده از نرم‌افزار استاتا ۱۳، با انجام آزمون‌های چاو، هاسمن و بروش پاگان مشخص می‌شود که مدل‌های مطرح شده در این تحقیق، از کدام نوع تلفیقی، تابلویی با اثر ثابت یا تابلویی با اثر تصادفی هستند تا براساس نوع مدل، روش تخمین تصمیم‌گیری شود. در ادامه با استفاده از فرمان sfpanel تخمین پارامترهای هر دو مدل با توجه به وجود جزء ناکارایی در آنان، براساس روش حداکثر درست‌نمائی صورت گرفته است. در پایان با استفاده از نتایج تخمین پارامترها، هزینه نهایی کاهش CO_2 برای هر یک از زیر بخش‌های صنعت محاسبه گردیده است.

۳-۱. آزمون f لیمر

در مدل‌های تابلویی، ابتدا بایستی با انجام دادن آزمون f لیمر که در برخی از مراجع از آن به‌عنوان آزمون چو نام برده شده است، تعیین شود که مدل از نوع پول (تلفیقی) است یا تابلویی، در این آزمون فرضیه H_0 و H_1 صورت زیر بیان گردند:

بیانگر یکسان بودن عرض از مبدأها(روش داده‌های تلفیقی) $H_0: a_1 = a_2 = \cdots = a_n$

بیانگر ناهمسانی عرض از مبدأها(روش داده‌های تابلویی با اثر ثابت) $H_1 : a_i \neq a_j$

نتایج این آزمون برای هر دو تابع فاصله در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱: نتایج آزمون f لیمر

تابع فاصله‌ای	مقدار آماره f	مقدار احتمال	نتیجه
تابع فاصله خروجی	۱۱/۱۰۹	۰۰۰/۰	روش داده‌های تابلویی با اثر ثابت
تابع فاصله ورودی	۳۵/۲۹۰	۰۰۰/۰	روش داده‌های تابلویی با اثر ثابت

منبع: یافته‌های تحقیق

همانطورکه از نتایج جدول بالا مشخص است؛ مقادیر احتمال برای تمامی توابع فاصله هذلولی برابر با صفر و به این معناست که در تمامی سطوح معنی‌داری، فرضیه صفر رد می‌شود.

1. British Thermal Unit (BTU)

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۲. آزمون هاسمن

به‌طورکلی، روش داده‌های تابلویی شامل روش اثرات ثابت و روش اثرات تصادفی می‌شود .در این حالت، پارامترها برای تمام مقاطع یکسان بوده و اختلاف در عرض از مبدأ و یا در اجزای پسماند است که اولی توسط روش اثرات ثابت و دومی توسط روش اثرات تصادفی بیان می‌شود .برای تصمیم‌گیری بین اثرات ثابت و تصادفی مدل از آزمون‌هایی همچون، آزمون هاسمن استفاده می‌گردد. آماره این آزمون دارای توزیع χ^2 با درجه آزادی K (تعدادمتغییرهای توضیحی)است. در آزمون هاسمن فرضیه‌های H_0 و H_1 به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

روش اثرات تصادفی $H_0: a = a_s$

روش اثرات ثابت $H_1: a \neq a_s$

که در آن a_s به عرض از مبدأ مربوط به آماره هاسمن (H) است. نتایج این آزمون برای هر دو تابع فاصله‌ای در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲: نتایج آزمون هاسمن

تابع فاصله‌ای	مقدار آماره χ^2	مقدار احتمال	نتیجه
تابع فاصله خروجی	۳۶/۶۲	۰۰۰/۰	روش داده‌های تابلویی با اثر ثابت
تابع فاصله ورودی	۸۴/۸۰۳	۰۰۰/۰	روش داده‌های تابلویی با اثر ثابت

منبع: یافته‌های تحقیق

۳-۳. آزمون بروش پاگان[1]

زمانی‌که نتیجه آزمون هاسمن، روش اثرات تصادفی گردد؛ آزمون بروش و پاگان همچون یک داور بایستی برای انتخاب میان روش پول (تلفیقی) و اثرات تصادفی اجرا گردد. آماره این آزمون دارای توزیع χ^2 با درجه آزادی K (تعداد متغییرهای توضیحی) است. فرضیه‌های این آزمون به‌صورت زیر می‌باشند:

روش داده‌های تلفیقی H_0:

روش اثرات تصادفی H_1:

اگر مقدار احتمال محاسبه‌شده کوچک‌تر از سطح خطای ۵ درصد باشد، فرضیه H_0 رد می‌شود. در این حالت توصیه می‌شود از روش اثرات تصادفی برای داده‌های تابلویی استفاده گردد (Tores-Reyna, 2007: 25[2]). نتایج این آزمون در جدول(۳) ارائه شده است.

1. Breusch and Pagan
2. Tores-Reyna

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳: نتایج آزمون بروش پاگان

تابع فاصله‌ای	مقدار آماره χ^2	مقدار احتمال	نتیجه
تابع فاصله خروجی	۴۰/۴۳	۰۰۰/۰	روش داده‌های تابلویی با اثر تصادفی
تابع فاصله ورودی	۰۹/۶	۰۰۶۸/۰	روش داده‌های تابلویی با اثر تصادفی
منبع: یافته‌های تحقیق			

با توجه به نتایج به‌دست آمده برای هر دو تابع فاصله از روش داده‌های تابلویی با اثر ثابت استفاده می‌شود. برای این منظور تخمین پارامترهای هر دو مدل با استفاده از فرمان sfpanel و model(tfe) و براساس روش حداکثر درست‌نمائی صورت گرفته است. نتایج حاصل از تخمین مدل در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: تخمین پارامترهای توابع فاصله

T-ODF				پارامترها	T-IDF			
پارامترها	مقدار	آماره Z	$P>\|Z\|$	آزمون معنی‌داری	پارامترها	مقدار	آماره Z	$P>\|Z\|$	آزمون معنی‌داری
α_k	−۸۷۷۱/۱	−۷۴/۲۵۶	۰۰۰/۰	معنادار	α_L	۵۸۶۲۶/۰	۹۲۰۰۰	۰۰۰/۰	معنادار
α_L	−۰۸۲۳۱/۰	−۶/۱۰	۰۰۰/۰	معنادار	α_E	۰۳۴۳/۰	۰۴/۴۰۹۴	۰۰۰/۰	معنادار
α_E	۲۳۳۰۶۴/۰	۴۸/۴۲	۰۰۰/۰	معنادار	α_{LL}	−۱۲۸۴۷/۰	−۷۳/۷۴۱۹	۰۰۰/۰	معنادار
α_{kk}	۶۸۱۴۲۲/۰	۳۴/۵۳	۰۰۰/۰	معنادار	α_{EE}	−۰۴۸۷۶/۰	−۱۵/۸۸۹۶	۰۰۰/۰	معنادار
α_{LL}	۱۲۱۵۹۶/۰	۴۹/۳	۰۰۰/۰	معنادار	α_{LE}	۱۷۷۵۵/۰	۱۷۰۰۰	۰۰۰/۰	معنادار
α_{EE}	۴۵۱۸۸۴/۰	۳۶/۷۸	۰۰۰/۰	معنادار	β_y	−۰۹۸/۰	−۳۲۰۰۰	۰۰۰/۰	معنادار
α_{kL}	−۳۳۲۴۶/۱	−۸۹/۳۲	۰۰۰/۰	معنادار	β_{co2}	−۰۱۸۷/۰	−۵۸/۱۷۹۳	۰۰۰/۰	معنادار
α_{kE}	−۵۱۳۵/۱	−۰۷/۸۹	۰۰۰/۰	معنادار	β_{yy}	−۰۴۰۲/۰	−۴۱/۴۳۰۰	۰۰۰/۰	معنادار
α_{LE}	۹۷۴۰۰۳/۰	۲۲/۶۲	۰۰۰/۰	معنادار	β_{co2co2}	۰۳۶۴۷/۰	۷۶/۳۷۹۹	۰۰۰/۰	معنادار
β_{co2}	−۰۳۲۱۲/۰	−۲۵/۴	۰۰۰/۰	معنادار	β_{yco2}	−۰۳۹۶/۰	−۳۵/۴۸۶۱	۰۰۰/۰	معنادار
β_{co2co2}	۰۴۱۳۵۱/۰	۲۳/۱۹	۰۰۰/۰	معنادار	δ_{yL}	−۱۵۰۵/۰	−۰۱/۷۹۲۸	۰۰۰/۰	معنادار
δ_{co2k}	−۰۰۹۸۱/۰	−۶۴/۱	۰۰۰/۰	بی‌معنی	δ_{yE}	۰۵۴۱/۰	۳۵/۵۱۵۸	۰۰۰/۰	معنادار
δ_{co2L}	۱۳۴۰۹/۰	۸/۶	۰۰۰/۰	معنادار	δ_{co2L}	−۲۱۹۲/۰	−۲۵۰۰۰	۰۰۰/۰	معنادار
δ_{co2E}	−۲۲۷۴۴/۰	−۹۱/۴۸	۰۰۰/۰	معنادار	δ_{co2E}	−۴۰۲۷/۰	−۲۳/۳۰۵۷	۰۰۰/۰	معنادار
Log likelihood	۶۰۰۲/۲۹۲				Log likelihood	۳۳۶۵/۳۶۹			

منبع: یافته‌های تحقیق

ازآنجاکه توابع فاصله‌ای به‌صورت یک تابع لگاریتمی بیان‌شده‌اند، لذا ضرایب مرتبه اول می‌توانند به‌عنوان کشش فاصله‌ای هریک از متغیرها بیان گردند.

در تابع خروجی محور و بر اساس تئوری انتظار می‌رود ضرایب نهاده‌های تولیدی منفی و معنادار گردند، تا این‌گونه تفسیر شود که هر افزایشی در ارزش نهاده‌ها، فاصله تا مرز کارایی را افزایش دهد. براساس نتایج به‌دست آمده از مدل خروجی این رابطه منفی و معنادار برای نهاده‌های سرمایه و نیروی کار برقرار است درحالی‌که انرژی دارای ضریب مثبت و معنادار شده است. می‌توان ضریب مثبت این

Archive of SID

www.SID.ir

نهاده را این‌گونه توجیه نمود که قیمت و سطح فنّاوری پایین در مصرف انرژی باعث به‌وجود آمدن استفاده بیش از اندازه در این بخش شده است. ضریب انتشار CO_2 در این تابع، منفی و معنادار است و بدین معناست هر افزایش در انتشار این آلاینده، فاصله تا مرز کارایی را افزایش می‌دهد.

در تابع ورودی محور بر اساس تئوری انتظار می‌رود که ستانده‌ها داری ضریب منفی معنادار و نهاده‌ها دارای ضریب مثبت و معنادار باشند که برای تمامی ستانده‌ها و نهاده‌ها این اتفاق افتاده است.

۳-۳. هزینه نهایی کاهش CO_2

پس از برآورد پارامترهای مدل‌های خروجی و ورودی، در ادامه با استفاده از روابط (۸ و ۹) اقدام به برآورد قیمت سایه‌ای CO_2 کرده‌ایم. با توجه به در دسترس نبودن قیمت محصول مطلوب برای زیر بخش‌های صنعتی از ضرب شاخص قیمت تولیدکننده در سهم ارزش‌افزوده هر یک از زیر بخش‌های صنعت از کل ارزش‌افزوده صنعت به‌عنوان قیمت محصول مطلوب استفاده کرده‌ایم.

جدول (۴) میانگین قیمت سایه‌ای به‌دست‌آمده برای بخش صنعت در سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۲ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است قیمت سایه‌ای به‌دست آمده از دو تابع متفاوت از یکدیگر است، برای تابع فاصله خروجی محور قیمت سایه‌ای۵,۱۶ میلیون ریال برای هر تن کربن و برای تابع فاصله ورودی محور قیمت سایه‌ای۴,۱۷ میلیون ریال برای هر تن کربن بوده است.

جدول ۴: میانگین قیمت سایه‌ای CO_2 برای بخش صنعت در سال‌های۱۳۸۷-۱۳۹۲(تن/میلیون ریال)

مدل	$T-ODF$	$T-IDF$
صنعت	۱۶/۵	۱۷/۴

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۵) میانگین قیمت سایه‌ای برای هرسال را نشان می‌دهد که در برآورد مدل خروجی قیمت سایه‌ای در سال ۱۳۸۷ مقدار ۲,۸۲ میلیون ریال برای هر تن کربن و سال ۱۳۹۲ مقدار ۹,۰۸۵ میلیون ریال برای هر تن کربن بوده است. برای مدل ورودی محور همین سیر صعودی اما با مقدار کمتر بوده است، به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۷ مقدار ۲,۲۹ و سال ۱۳۹۲ مقدار ۷,۲۸ بوده است.

جدول ۵: میانگین قیمت سایه‌ای CO_2 در بخش صنعت برای سال‌های۱۳۸۷ الی۱۳۹۲(تن/میلیون ریال)

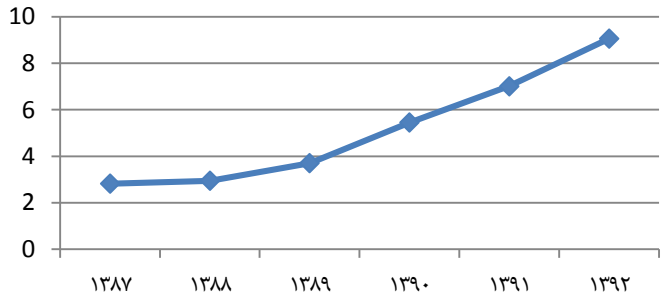
سال/مدل	$T-ODF$	$T-IDF$
۱۳۸۷	۸/۲	۲۹/۲
۱۳۸۸	۹/۲	۳۸/۲
۱۳۸۹	۷/۳	۳
۱۳۹۰	۴۵/۵	۴/۴
۱۳۹۱	۰۲/۷	۶۹/۵
۱۳۹۲	۰۵/۹	۲۸/۷

منبع: یافته‌های تحقیق

Archive of SID

www.SID.ir

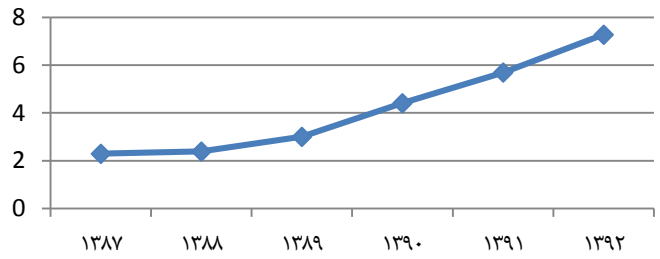
نمودارهای (۱ و ۲) روند تغییرات قیمت سایه‌ای در طول دوره مطالعه را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشخص است روند افزایشی قیمت سایه‌ای تا سال ۸۹ نسبتاً کم بود و از سال ۸۹ به بعد شدت بیشتری به خود گرفته است و تا سال ۹۲ ادامه داشته است. این روند تقریباً در هر دو مدل شبیه و یکسان است. بالاترین میزان افزایش قیمت سایه‌ای، افزایش قیمت سایه‌ای بین سال‌های ۸۹ تا ۹۰ بوده است که ۴۷ درصد افزایش داشته است، این درصد برای هر دو مدل تقریباً یکسان بوده است. دلیل روند افزایشی قیمت سایه‌ای را می‌توان صعودی بودن ارزش‌افزوده بخش صنعت و روند تقریباً ثابت میزان انتشار کربن در بین سال‌های موردمطالعه بیان کرد(نمودارهای ۳و ۴). به دلیل آن‌که قیمت محصول مطلوب این مطالعه برگرفته از ارزش‌افزوده است؛ برای کاهش میزان انتشار کربن نیاز به چشم‌پوشی از بخشی از ارزش‌افزوده هستیم و با توجه به روند تقریباً ثابت انتشار کربن و روند افزایشی ارزش‌افزوده برای کاهش هر واحد کربن هرسال نیاز به چشم‌پوشی از ارزش‌افزوده بیشتری هستیم.



منبع: یافته‌های تحقیق

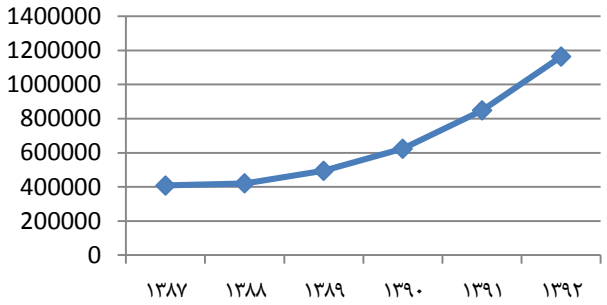
نمودار ۱: روند تغیرات قیمت سایه ای کربن (تن/میلیون ریال) مدل خروجی

www.SID.ir



منبع: یافته‌های تحقیق

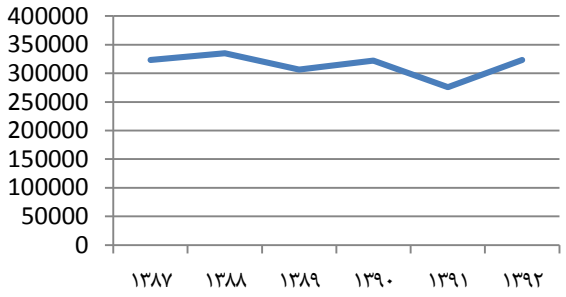
نمودار ۲: روند تغییرات قیمت سایه‌ای کربن (تن/میلیون ریال) مدل ورودی



منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۳: روند تغییرات ارزش افزوده بخش صنعت (میلیون ریال)

Archive of SID
www.SID.ir



منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۴: روند تغییرات انتشار کربن بخش صنعت (میلیون تن)

در جدول (۶) میانگین قیمت سایه‌ای در شش سال (۱۳۹۲- ۱۳۸۷) برای زیر بخش‌های صنعتی ارائه‌شده است. بالاترین قیمت سایه‌ای در هر دو مدل به ترتیب برای زیر بخش‌های، صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی، تولید فلزات اساسی، صنایع تولید زغال کک پالایشگاه‌ها و...، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی بوده است. این زیر بخش‌ها همچنین دارای بالاترین میزان ارزش‌افزوده و میزان انتشار کربن بوده‌اند. زیر بخش‌های بازیافت ضایعات فلزی و غیرفلزی، تولید پوشاک عمل آوردن و رنگ کردن و...، تولید ماشین‌آلات اداری و حسابگر و...، انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌ها نیز به‌ترتیب دارای کمترین قیمت سایه‌ای در میان زیر بخش‌ها بوده‌اند، این زیربخش‌ها نیز به‌ترتیب دارای کمترین میزان ارزش‌افزوده و میزان انتشار کربن بوده‌اند.

جدول ۶: میانگین قیمت سایه‌ای CO_2 در زیر بخش‌های صنعت برای سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۹۲ (تن/میلیون ریال)

زیر بخش صنعتی/مدل	T − ODF	T − IDF
صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی	۲۹/۲۷	۷۱/۲۲
تولید فلزات اساسی	۸۷/۱۹	۳/۱۶
صنایع تولید زغال کک پالایشگاه‌ها و ...	۲۳/۱۳	۲۶/۱۰
تولید وسایل نقلیه موتوری و تریلر و ...	۳۳/۱۲	۷۴/۹
تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی	۳۸/۱۱	۴۵/۹
صنایع مواد غذایی و آشامیدنی	۵/۱۱	۲۳/۹
تولید ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی	۱۱/۴	۳/۳
تولید محصولات فلزی فابریکی به‌جز آهن	۷۱/۳	۹۹/۲
تولید ماشین‌آلات مولد و انتقال برق و ...	۳/۳	۶۱/۲
تولید محصولات لاستیکی و پلاستیکی	۱/۳	۴/۲

Archive of SID

www.SID.ir

تولید منسوجات	۹/۲	۳۵/۲
تولید کاغذ و محصولات کاغذی	۹۷/۰	۷۴/۰
تولید سایر وسایل حمل‌ونقل	۸۷/۰	۶۸/۰
تولید ابزار پزشکی و ابزار اپتیکی و ...	۷۳/۰	۵۴/۰
تولید مبلمان و مصنوعات طبقه‌بندی	۶۴/۰	۵۰/۰
تولید محصولات از توتون و تنباکو	۵۵/۰	۴۳/۰
تولید رادیو و تلویزیون و ...	۵۳/۰	۳۹۹/۰
تولید چوب و محصولات چوبی و ...	۴۶/۰	۳۴/۰
انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌ها	۳۹/۰	۳۱/۰
تولید ماشین‌آلات اداری و حسابگر و ...	۳۴/۰	۲۸/۰
دباغی و عمل آوردن چرم و ساخت کیف و ...	۲۷/۰	۲۰/۰
تولید پوشاک عمل آوردن و رنگ کردن و ...	۲۵/۰	۱۸/۰
بازیافت ضایعات فلزی و غیرفلزی	۰۱/۰	۰۰۶/۰

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، هزینه نهایی کاهش انتشار دی‌اکسید کربن به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در جریان توسعه بخش صنعت ایران با استفاده از دو نوع تابع فاصله‌ای خروجی و ورودی موردبحث و ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست‌آمده قیمت سایه‌ای برای بخش صنعت ایران در دوره مورد مطالعه دارای روند صعودی بوده است. این روند افزایشی به نحوی بوده است که مدل خروجی به‌طور متوسط مقدار ۵,۱۶ میلیون ریال برای هر تن کربن در بخش صنعت و در مدل ورودی محور به‌طور متوسط مقدار ۴,۱۷ میلیون ریال برای هر تن کربن در بخش صنعت برآورد شده است. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت انتخاب مدل در برآورد قیمت سایه است.

میانگین قیمت سایه‌ای برای هرسال نیز نشان‌دهنده روند صعودی در هزینه‌های کاهش کربن در طی سال‌های موردمطالعه است، به‌طوری‌که افزایش ۲۲۱ درصدی در قیمت سایه‌ای در طول سال‌های موردمطالعه وجود دارد. در برآورد مدل خروجی قیمت سایه‌ای در سال ۱۳۸۷ مقدار ۲/۸۲ میلیون ریال برای هر تن کربن و سال ۱۳۹۲ مقدار ۹/۰۸۵ میلیون ریال برای هر تن کربن بوده است. برای مدل ورودی محور همین سیر صعودی اما با مقدار کمتر بوده است به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۷ مقدار ۲/۲۹ و سال ۱۳۹۲ مقدار ۷/۲۸ بوده است. این سیر صعودی در هر دو مدل و همواره برای تمام سال‌ها بوده است. همان‌طور که مشخص است قیمت سایه‌ای به‌دست آمده از هر دو مدل روند مثبت و رو به رشدی داشته است که این موضوع نشان می‌دهد هرسال بر هزینه‌های کاهش CO_2 افزوده می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

همچنین نتایج نشان می‌دهد قیمت سایه‌ای در بین زیربخش‌های صنعت متفاوت از یکدیگر است. بالاترین قیمت سایه‌ای در هر دو مدل به‌ترتیب برای زیربخش‌های، صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی ،تولید فلزات اساسی، صنایع تولید زغال کک پالایشگاه‌ها و ...، صنایع مواد غذایی و آشامیدنی بوده است. همچنین زیر بخش‌های بازیافت ضایعات فلزی و غیرفلزی،تولید پوشاک عمل آوردن و رنگ کردن و...، تولید ماشین‌آلات اداری و حسابگر و...، انتشار و چاپ و تکثیر رسانه‌ها نیز به ترتیب دارای کمترین قیمت سایه‌ای در میان زیر بخش‌ها بوده‌اند. اختلاف‌ها در بین این زیربخش‌ها زیاد است که نشان می‌دهد برای کاهش انتشار کربن باید سیاست‌های متفاوتی برای زیر بخش‌های مختلف صنعت در نظر گرفت.

همان‌طور که مشخص شد روند هزینه نهایی کاهش کربن در طول سال‌های موردمطالعه افزایشی بوده است و همچنین مقدار این هزینه در بین زیربخش‌های اقتصادی تفاوت زیادی با یکدیگر داشته است. بر همین اساس پیشنهادهای زیر مطرح می‌گردد:

- سیاست‌های کوتاه‌مدت که بیشتر در قالب طرح‌های تشویقی و واقعی کردن قیمت انرژی به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی از طریق مصرف بهینه
- سیاست‌های بلندمدت که بیشتر شامل طرح‌های تنبیهی به‌منظور استخدام فنّاوری‌های به‌روز و سرمایه‌گذاری بیشتر در طرح‌های کاهش انتشار کربن
- اعمال سیاست‌های متفاوت برای زیر بخش‌های متفاوت
- اعمال مکانیزمی برای درونی کردن هزینه‌های خارجی از طریق طراحی مالیات بر آلودگی

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

آهنگری، عبدالمجید و کامران‌پور، سعیده (۱۳۹۵). « تأثیر توسعه مالی و ارزش‌افزوده بر مصرف انرژی در بخش‌های صنعت و کشاورزی ایران»، *فصلنامه اقتصاد کاربردی ایران*، ۱۹(۵): ۲۸۶-۲۶۹

اسماعیلی، عبدالکریم و محسن‌پور، رباب (۱۳۸۷). «تعیین قیمت سایه‌ای آلاینده‌های هوا در نیروگاه‌های کشور»، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، ۱۰(۴): ۸۶-۶۹

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (۱۳۹۲). گزارش اقتصادی و ترازنامه سال ۱۳۹۲.

برزگر، نرگس؛ موسوی، میرحسین و معمارزاده، عباس (۱۳۹۲). «برآورد قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌های اقتصادی»، *پژوهشنامه علوم و فنّاوری محیط‌زیست*، ۱۶(۴): ۲۶-۱۵.

شکیبایی، علیرضا؛ صادقی، زین‌العابدین و اعمی بنده قرائی، حسن (۱۳۸۸). «تأثیر واقعی کردن قیمت انرژی بر کشش‌پذیری تقاضای انرژی و برآورد کشش جانشینی نهاد انرژی در بخش صنعت در بلندمدت»، *دوفصلنامه علمی پژوهشی جستارهای اقتصادی*، ۶(۱۱): ۱۳۳-۱۵۵.

علی‌پور، علیرضا؛ موسوی، حبیب‌الله و خلیلیان، صادق (۱۳۹۲). «ارزیابی هزینه انتشار گاز گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید حاصل از توسعه بخش کشاورزی ایران»، *مجله اقتصاد کشاورزی*، ۸(۱): ۸۱-۶۳.

مرکز آمار ایران (۱۳۸۸). گزیده آمار و اطلاعات اقتصادی و اجتماعی چهل سال کشور.

موسوی، میرحسین؛ خاکساری، علی؛ محمودزاده، محمود و رضایی ارج رودی، عبدالرضا (۱۳۹۰). «برآورد قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش حمل‌ونقل»، *مهندسی عمران شریف*، دوره ۲۷-۲ (۳): ۸۳-۹۱

ناجی میدانی، علی‌اکبر؛ مهدوی عادلی، محمدحسین و عربشاهی دلوی، مهدیه (۱۳۹۴). «بررسی رابطه بین صنعتی شدن و کارایی انرژی‌بخش صنعت در ایران»، *مجله علمی – پژوهشی سیاست‌گذاری اقتصادی*، ۷(۱۳): ۲۸-۵۶.

http://www.cbi.ir/

http://www.mimt.gov.ir/

Coelli, T.J. and Perelman, S. (1996). "Efficiency measurement, multiple output technologies and distance functions with application to European railways", *CREPP discussion paper no. 96/05, University of Liege, Liege*.

Coelli, T. J.; Gautier, A.; Perelman, S. and Saplacan-Pop, R. (2013). "Estimating the cost of improving quality in electricity distribution: A parametric distance function approach", *Energy Policy*, 53: 287-297.

Du, L. and Mao, J. (2015). "Estimating the environmental efficiency and marginal CO 2 abatement cost of coal-fired power plants in China", *Energy Policy*, 85: 347-356.

Du, L.; Hanley, A. and Wei, C. (2015). "Estimating the marginal abatement cost curve of CO 2 emissions in China: Provincial Panel Data Analysis", *Energy Economics*, 48: 217-229.

Färe, R.; Grosskopf, S.; Lovell, C.A. and Yaisawarng, S. (1993). "Derivation of shadow prices for undesirable outputs: a distance function approach". *The review of economics and statistics*, 75: 374-380.

Archive of SID

www.SID.ir

Färe, R. and Primont, D. (1995). "Multi-Output Production and Duality: Theory and Ap-plications". *Kluwer Academic Publishers, Boston*.

Ke, J.; McNeil, M.; Price, L.; Khanna, N. Z. and Zhou, N. (2013). "Estimation of CO2 emissions from China's cement production: methodologies and uncertainties", *Energy Policy*, 57: 172-181.

Tores-Reyna, O. (2007). *Panel Data Analysis Fixed and Random Effects using Stata*. Princeton University, United States, Sixth edition.

Van den Bergh, K. and Delarue, E. (2015). "Quantifying CO2 abatement costs in the power sector". *Energy Policy*, 80: 88-97.

Zhang, X.; Xu, Q.; Zhang, F.; Guo, Z. and Rao, R. (2014). "Exploring shadow prices of carbon emissions at provincial levels in China". *Ecological Indicators*, 46: 407-414.

Zhou, P.; Zhou, X. and Fan, L.W. (2014). "Marginal CO2 abatement costs: Findings from alternative shadow price estimates for shanghai industrial sectors". *Energy Policy*, 77: 109-117.

Archive of SID

www.SID.ir