

رویکرد قیمت سایه در برآورد هزینه نهایی کاهش انتشار دی اکسیدکربن

در کشورهای عضو اوپک حاشیه خلیج فارس

هدیه علیشیری^{۱*}، عاطفه تکلیف^۲، حمید آماده^۳، حمیدرضا ارباب^۴،

عسگر خادم وطنی^۵، سیدحسین سجادی فر^۶

^{۱*} - دانش آموخته دکتری اقتصاد نفت و گاز، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی

۲ - استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

۳ - استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

۴ - استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

۵ - استادیار گروه اقتصاد و مدیریت انرژی، دانشگاه صنعت نفت

۶ - استادیار مرکز آموزش علمی - کاربردی قند کرج

* ایمیل نویسنده مسئول: halishiri91@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۰۵

چکیده

انتشار دی اکسیدکربن به عنوان یکی از عوامل مهم در ایجاد آلودگی های زیست محیطی و ایجاد تغییرات آب و هوایی شناخته شده است به همین محققان زیادی این موضوع را در مطالعات خود مورد بررسی قرار داده اند. در این مطالعه تجربی نیز با استفاده مباحث نظری و اطلاعات کشورهای عضو اوپک در حاشیه خلیج فارس، سعی شده تا با شناسایی عوامل موثر هزینه نهایی کاهش انتشار دی اکسیدکربن به طور دقیق تخمین زده شود و کاربری و اثر بخشی سیاست ها بهبود یابد. با شناخت صحیح تفاوت های منطقه ای از نقطه نظر عرضه و تقاضای خدمات زیست محیطی می توان اینگونه نتیجه گرفت که برای رسیدن به اهداف کاهش انتشار در سطح جهان، دستیابی به حالت برد-برد بین ملاحظات زیست محیطی و منافع اقتصادی و حضور موثرتر کشورها در بازارهای جهانی، استفاده از چنین طرح های منطقه ای کارآمد خواهد بود. نتایج بیانگر آن است که کشور ایران دارای بیشترین قیمت سایه معادل ۳/۰۲۵ میلیون دلار به ازای هر تن دی اکسیدکربن و کشور کویت کمترین قیمت سایه معادل ۰/۰۱۱ میلیون دلار به ازای هر تن دی اکسیدکربن را به خود اختصاص داده اند، کشورهای عربستان، قطر و امارات نیز قیمت سایه یکسانی معادل ۱/۱۴ میلیون دلار به ازای هر تن دی اکسیدکربن دارند.

کلمات کلیدی

"قیمت سایه"، "انتشار دی اکسیدکربن"، "تابع مسافت جهت دار"

Shadow price approach in estimating marginal abatement cost of carbon dioxide emissions in OPEC members in the Gulf States

Hadieh Alishiri^{1*}, Atefeh Taklif², Hamid Amadeh³, Hamidreza Arbab⁴,
Asgar Khademvatani⁵, Seydhossien Sajadifar⁶

¹ - Graduate of Oil and Gas Economics, Allameh Tabatabaie University

*Email Address: Halishiri91@gmail.com

Abstract

Carbon dioxide emissions are known to be one of the major contributors to environmental pollution and climate change, so many researchers have investigated this issue in their studies. In this empirical study, using theoretical discussions and information from OPEC members in the Gulf States, it is attempted to accurately estimate the marginal abatement cost of carbon dioxide emissions and improve the effectiveness of policies by identifying the effective factors. By correctly recognizing the regional differences in terms of supply and demand for environmental services, it can be concluded that to achieve the long-term goals of reducing global emissions, achieving a win-win state between environmental considerations and economic benefits and more effective presence of these countries in world markets, the more efficient the use of such regional plans will be. The results show that Iran has the highest shadow price of \$ 3.025 million per ton of carbon dioxide and Kuwait has the lowest shadow price of \$ 0.011 million per ton of carbon dioxide Also, Saudi Arabia, Qatar and the UAE have the same shadow price of \$ 1.14 million per ton of carbon dioxide.

Keywords

"Shadow price", "CO₂ Emission", "Directional Distance Function"

۱- مقدمه

این رو قیمت سایه ستانده نامطلوب به عنوان یک مرجع با ارزش برای اجرای سیاست‌گذاری‌های زیست محیطی به حساب می‌آید. به لحاظ تئوریک پیتمن^۳ بر این نکته تأکید دارد که هدف ابزارهای سیاستی زیست محیطی، کاهش ستانده نامطلوب از جمله انتشار دی‌اکسیدکربن در فرآیند تولید است، که با روش‌های مختلفی از جمله سرمایه گذاری و یا کاهش میزان تولید محقق می‌شود که نیازمند اضافه کردن نهاده یا از دست دادن ستانده مطلوب است و همه این گزینه‌ها برای بنگاه تولیدی هزینه بر خواهد بود. (پیتمن، ۱۹۸۳) در چارچوب روش های مختلف تولید فاره و همکارانش با توجه به اطلاعات مفیدی که از رویکرد های معرفی شده برای برآورد هزینه نهایی کاهش انتشار به دست آوردند، روشی را برای استخراج قیمت سایه ستانده‌های مطلوب و نامطلوب براساس عملکرد تابع مسافت معرفی کردند. (فاره و همکاران^۴، ۱۹۹۳). علاوه بر این آن ها برای اولین بار قیمت سایه آلاینده‌ها را به عنوان ستانده نامطلوب براساس تابع مسافت شفارد^۵ برآورد کردند. مطالعات گسترده‌ای در حوزه برآورد قیمت سایه آلاینده‌های زیست محیطی صورت گرفته است. چانگ و همکاران رویکرد نوین در نظر گرفتن هم زمان ستانده‌های مطلوب و نامطلوب توابع مسافت را ارائه کردند (چانگ و همکاران^۶، ۱۹۹۷). در نمودار (۱) مشخص شده است که برای برآورد قیمت سایه انتشار دی‌اکسیدکربن از طریق تابع مسافت رویکردهای مختلفی وجود دارد.



نمودار (۱) روش های برآورد قیمت سایه آلاینده (های یعقوبی ۲۰۱۶)

براساس نمودار می توان این تقسیم بندی را ارائه کرد که محاسبه قیمت سایه با روش های مختلف پارامتریک^۷ با به کارگیری فرم خاصی از توابع تولید و غیر پارامتریک^۸ با استفاده از روش های تحلیل پوششی داده ها صورت می گیرد. در روش ناپارامتریک بر اساس یک فرم احتمالی تابع تولید و با استفاده از اطلاعات آماری موجود قیمت سایه برآورد می شود. ولی در رویکرد پارامتریک از دو فرم مختلف توابع ترانسلوگ و توابع درجه دو با در نظر گرفتن محدودیت های ویژه ای که در برنامه ریزی

خسارات ناشی از الگوهای آب و هوایی تغییر یافته چالش مشترکی است که همه انسان ها و پیشرفت جوامع بشری را تهدید می کند. به همین سبب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن و کنترل موثر آن به یک موضوع جهانی الزام آور و پیش شرط مهمی برای مذاکرات جهانی در مورد وضعیت آب و هوا تبدیل شده است.^۱ سیاست گذاران با چالش به حداکثر رساندن کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن، بهبود روند توسعه اقتصادی و فعالیت های تولیدی و به حداقل رساندن هزینه های کاهش انتشار روبرو هستند. با لحاظ رویکرد اقتصادی به این موضوع می توان این نکته را بیان کرد که آلاینده های زیست محیطی در توابع تولید و مطلوبیت افراد تأثیر منفی دارد و به عنوان هزینه یا اثر خارجی لحاظ می شود. پس این هزینه ها باید در توابع تولید کنندگان و مصرف کنندگان وارد شود تا سطح تولید و مصرف بهینه شود. از طرفی این امکان وجود دارد که قیمت بیانگر هزینه ها و مزایای مبادله یک کالا در بازار نباشد و بازار شکست بخورد. پس آلودگی باید محدود شود، برای این منظور اقتصاددانان نئوکلاسیک رایش زیادی به استفاده از ابزارهای مبتنی بر بازار برای کنترل و محدود کردن این مشکلات دارند زیرا این ابزارها ساختار انگیزه های اقتصادی را برای بنگاه ها و مصرف کنندگان تغییر می دهند و فضای مناسبی را برای واکنش های انعطاف پذیر به نیازهای زیست محیطی جامعه به وجود می آورد (کریم زادگان، ۱۳۹۲). از جمله ابزارهای سیاست گذاری مبتنی بر بازار می توان به مجوزهای مبادله پذیر انتشار اشاره کرد. (کامان و استاگل^۲، ۱۹۶۸) منطق اصلی این ابزارها آن است که هرگونه افزایش در آلودگی از سوی یکی از منابع آلوده کننده باید با کاهش میزان آلودگی در منبعی دیگر جبران شود. از این رو منابع آلوده کننده می توانند مقدار مجوزهایی را که در اختیار دارند را با خرید و فروش تغییر دهند. (محمدباقری و خلیلی یادگاری، ۱۳۹۵) برای حصول نتیجه بهتر، کنترل میزان بیشتر از آلاینده ها و سیاست گذاری مناسب تر باید پتانسیل کشورها برای کاهش هزینه های انتشار مورد بررسی قرار گیرد تا برای دولت مردان این امکان را به وجود آورد که با اتخاذ سیاست های مناسب به اهداف بلند مدت و کوتاه مدت زیست محیطی دست یابند. برای ارزیابی هزینه نهایی کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن دو رویکرد مستقیم (بر پایه هزینه و آسیب های اجتماعی انتشار یک تن انتشار اضافه دی‌اکسیدکربن) و رویکرد غیر مستقیم (بر پایه محاسبه هزینه های نهایی کاهش انتشار کربن با استفاده از قیمت سایه انتشار دی‌اکسیدکربن) وجود دارد. در رویکرد مستقیم میزان آسیب های ناشی از انتشار یک تن اضافه دی‌اکسیدکربن به نسبت مسیر مشخص شده مورد محاسبه قرار می گیرد. از قیمت سایه می توان برای برآورد و یا تخمین هزینه نهایی کاهش میزان ستانده نامطلوب می توان استفاده کرد (شهابی تژاد و همکاران، ۱۳۹۴). هم چنین می توان آن را معادل هزینه فرصت کاهش یک واحد اضافی ستانده نامطلوب در ازای تولید کمتر ستانده مطلوب و یا استفاده بیشتر از نهاده های مطلوب دانست. از

³ Pitman

⁴ Fare & et al.1993

⁵ Shephard

⁶ Chung & et a. 1997

⁷ Yaqubi, M., 2016,

⁸ Parametric

⁹ Non-parametric

¹ Du, L., Hanley, A., Wei, C., 2015a. Marginal abatement costs of CO₂ China: a parametric analysis. Environ. Resour. Econ. 61 (2), 191e216.

² Kaman & Stagel, 1968

آلاینده‌های زیست محیطی پروار بندی‌های گوساله‌ها در شیراز را با استفاده از تابع مسافت ستانده محور در برآورد کردند. نتایج نشان می‌دهد میزان درآمد و کارایی تولید با کاهش آلاینده افزایش می‌یابد و اعطای یارانه‌های زیست محیطی سبب کاهش میانگین هزینه کاهش انتشار خواهد شد. بررسی مطالعات موجود نشان می‌دهد که بیشتر ادبیات موجود در خارج از کشور به بررسی هزینه نهایی کاهش انتشار براساس داده‌های موجود در سطح بخشی، ایالتی و کشوری به ویژه کشور چین پرداخته‌اند و با وجود اهمیت مبادله مجوزهای کاهش انتشار در بین کشورها و لزوم مشخص شدن هزینه نهایی کاهش انتشار کشورها، مطالعه‌ای در این حوزه به تفاوت‌های بین کشوری توجه نکرده است و در مطالعات داخل کشور نیز بیشتر تمرکز بر مطالعه بخشی بوده است. از اینرو در این مقاله برای برآورد و تجزیه و تحلیل قیمت سایه آلاینده دی‌اکسیدکربن در بین کشورهای منتخب عضو اوپک از روش تابع مسافت جهت دار استفاده شده است.

۲- روش انجام تحقیق

تابع مسافت بیان کننده فاصله نسبی ترکیبات ستانده- نهاده از مرز امکانات تولید تحت فناوری معین می‌باشد در ادبیات تحقیق، به منظور تعیین قیمت سایه ستانده‌های نامطلوب، این توابع به سه دسته کلی توابع مسافت ستانده محور، نهاده محور و تعمیم یافته (جهت‌دار) تقسیم می‌شوند (علیپور و همکاران، ۱۳۹۳). برای برآورد توابع مسافت یک رویکرد، تخمین اقتصادی سنجی است که برای تعیین بهترین تابع مسافت استفاده می‌شود. (لاول و همکاران^{۱۳}، ۱۹۹۴) مزیت این رویکرد اندازه گیری بهتر خطای تصادفی و امکان آزمایش فروض است. با این حال کوئلی و پرلمن^{۱۴} ثابت کردند که این روش برای محققان در اعمال قیود با علامت نابرابری برای تابع مسافت، محدودیت ایجاد می‌کند. به همین دلیل بیشترین کاربرد این روش زمانی است همه ستانده ها مطلوب باشند. دومین رویکرد، روش قطعی برآورد هزینه نهایی کاهش انتشار و استفاده از تابع مسافت است. در این روش محاسبات بر اساس برنامه‌ریزی ریاضی خطی آیینگر و چو^{۱۵} انجام می‌شود. نتیجه تحقیقات محققان نشان داد که این روش نسبت به سایر روش‌ها در برآورد هزینه نهایی کاهش انتشار مقبولیت بیشتری دارد. مزیت اصلی این روش آن است که به دلیل فرم و شکل کاربردی انعطاف‌پذیر توابع ترانسلوگ، امکان استفاده از آن در زمینه‌های مختلف حتی در صورت وجود ستانده نامطلوب نیز وجود دارد. (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴) از مزایای دیگر روش پارامتریک آن است که نمایش واقعی و قابل تفکیکی از تکنولوژی تولید ارائه می‌کند. به همین دلیل توابع مسافت در حوزه محاسبه تغییرات فرآیند تولید و کارایی در سطوح بنگاه، بخش و کشور کاربرد بسیار زیادی دارد (بانکر^{۱۸}، ۱۹۶۴ و چارنرز^{۱۷}، ۱۹۷۸).

خطی، مد نظر است استفاده می‌شود.^۱ (لی، اوک و لی، ۲۰۱۲) مطالعاتی که بر کشف نظری و برنامه ریزی‌های ریاضی تاکید دارند از روش‌های پارامتریک استفاده می‌کنند (یانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۷، ژائو و همکاران^۳، ۲۰۱۵) در این حوزه توابع مسافت را با توجه به نوع در نظر گرفتن دی‌اکسیدکربن در توابع تولید به سه گروه تقسیم کرد که با توجه به هدف مطالعه کاربرد یکی از آن‌ها توصیه شده است. در یک دسته بندی، هدف به دست آوردن قیمت سایه انتشار از طریق کاهش هزینه‌های انتشار دی‌اکسیدکربن است و بر اساس فروض مینیم سازی هزینه‌ها و باید دی‌اکسیدکربن در این توابع به عنوان نهاده در نظر گرفته شوند. در برخی از توابع که به دنبال حداکثر سازی درآمد هستند دی‌اکسیدکربن را به عنوان ستانده نامطلوب وارد توابع تولید می‌کنند و تنها در صد کاهش انتشارند. در مدل‌های گسترش یافته و کاربردی‌تر این توابع همزمان با کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن به عنوان ستانده نامطلوب و افزایش ستانده مطلوب نیز مد نظر است (ژائو و همکاران^۴، ۲۰۱۲، چو و همکاران^۵، ۲۰۱۲). وی سی^۶ (۲۰۱۴) براساس مدل‌های پارامتریک عوامل موثر و هزینه‌هایی کاهش انتشار کربن در ۱۰۴ شهر چین را مورد بررسی قرار داد. ینگ و همکاران^۷ (۲۰۱۷) با استفاده از روش پارامتریک و داده‌های استانی کشور چین کارایی زیست محیطی و هزینه نهایی کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن مورد بررسی قرار داده‌اند. ماتسوشیتا و یامان^۸ (۲۰۱۲) هزینه نهایی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دیگر آلاینده‌ها را در نیروگاه‌های ترموالکتریک و هسته‌ای در ژاپن و در سال ۲۰۱۵ دوو و همکاران^۹ و ژانگ و همکاران^{۱۰} در کشور چین در سطح استانی را با استفاده از توابع مسافت ستانده محور جهت دار محاسبه کردند. یانگ و همکارانش^{۱۱} (۲۰۱۷) نیز هزینه نهایی کاهش انتشار و کارایی زیست محیطی منطقه‌ای را در کشور چین محاسبه کردند. نتایج نشان می‌دهد که ایجاد محدودیت برای انتشار در طی این دوره هزینه بیشتری ایجاد کرده و به همین دلیل قیمت سایه نیز روند افزایشی داشته است. هم‌چنین برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار در سطح ملی باید در این کشور طرح‌های منطقه‌ای کربن اجرا شوند (ژائو و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۴). در سال ۱۳۹۶ سالاری با بکارگیری توابع فاصله ستانده و نهاده محور هزینه کاهش انتشار در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ کارکن و بیشتر را اندازه گیری می‌کند. علی پور (۱۳۹۳) قیمت سایه آلاینده‌های هوا در بخش کشاورزی ایران و جعفرنیا (۱۳۹۲) قیمت سایه

¹ Lee, S., Ohc, D. & Lee, J., 2014,

² Yang et al, 2017

³ Zhou et al, 2015

⁴ Zhou et a, 2012،

⁵ chio et al , 2012

⁶ Wei, C. 2014

⁷ Yang, L., Tang, K., Wang, Z., An, H., and Fang, W., 2017

⁸ Matsushita, K., Yamane, F., 2012.

⁹ Du, L., Hanley, A., Wei, C., 2015b.

¹⁰ Zhang, X., Xu, Q., Zhang, F., Guo, Z. & Rao, R., 2014,

¹¹ Yang et al, 2017,

¹² Zhou, P., Zhou, X. & Fan, L. W., 2014.

¹³ Lovell, C.A.K., Richardson, S., Travers, P., Wood, L.L., 1994.

¹⁴ Coelli, T., Perelman, S., 1999.

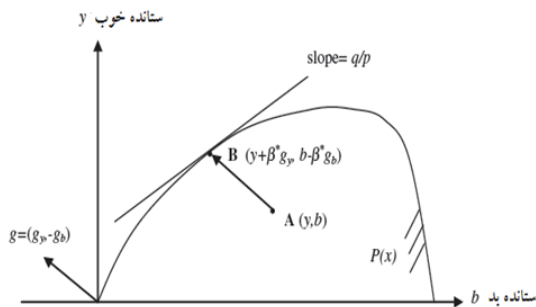
¹⁵ Aigner, D.J., Chu, S.F., 1968.

¹⁶ Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C.A.K., Yaisawang, S., 1993

¹⁷ Zhang, X., Xu, Q., Zhang, F., Guo, Z. & Rao, R., 2014,

¹⁸ Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., 1984.

مرز، تابع مقداری مثبت به خود می‌گیرد. از این تابع می‌توان برای اندازه‌گیری کارایی فنی نیز استفاده کرد. ضریب β نشان می‌دهد که واحد تولیدی چه میزان از مرز امکانات تولید دور است.



شکل ۲- تابع مسافت جهت‌دار با فرض وجود ستانده نامطلوب بردار $g = (g_y, -g_b)$ نشان دهنده بردار جهت‌دار در شکل (۲) است. نشان دهنده جهتی است که تا مرز رسیدن به کارایی در روی تابع و β^* ستانده بد کاهش و ستانده خوب افزایش می‌یابد.

$$\beta^* = \vec{D}_0(x, y, b; g), (\beta \geq 0)$$

• رویکرد پارامتریک (توابع درجه دوم) تابع مسافت جهت‌دار

از آنجایی تأثیر انتخاب روش برآورد بر نتیجه پژوهش بسیار حائز اهمیت است، در این مطالعه با توجه به گروه کشور منتخب برای دستیابی به بهترین نتیجه، روش پارامتریک انتخاب شده است. در این روش فرض می‌شود که k واحد تولیدی وجود داشته باشد که با توجه به معادلات ذکر شده استفاده از N نهاده تولیدی M ستانده مطلوب و J ستانده نامطلوب تولید می‌کند. تابع مسافت جهت‌دار درجه دوم برای واحد k بصورت ذیل است:^۵

$$\vec{D}_0 = (x_k, y_k, b_k; 1, -1)$$

$$\begin{aligned} &= \alpha + \sum_{n=1}^N \alpha_n x_{nk} + \sum_{m=1}^M \beta_m y_{mk} + \sum_{j=1}^J \gamma_j b_{jk} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \sum_{\hat{n}=1}^N \alpha_{n\hat{n}} x_{nk} x_{\hat{n}k} \\ &+ \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{\hat{m}=1}^M \beta_{m\hat{m}} y_{mk} y_{\hat{m}k} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^J \sum_{\hat{j}=1}^J \gamma_{j\hat{j}} b_{jk} b_{\hat{j}k} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \delta_{nm} x_{nk} y_{mk} \\ &+ \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J \eta_{nj} x_{nk} b_{jk} + \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \mu_{mj} y_{mk} b_{jk} \end{aligned}$$

۱- متغیر D که به عنوان سنجه فاصله در نظر گرفته می‌شود غیر قابل مشاهده است. از این رو، با اعمال قیود همگنی و نرمال سازی ستانده‌ها، معادله قابل برآورد می‌شود. مدل‌های گمز با انجام تکرارهای متعدد از معادله مقدار بهینه آن را مشخص خواهد کرد.

علاوه بر این نشان دادن اثر تغییرات تکنولوژیک در گذر زمان می‌توان روند زمان را نیز به فرم تابع افزود. (کی وون و یان، ۱۹۹۹) توابع مسافت جهت‌دار برای ایجاد تغییرات نامتقارن بردارهای نهاده‌ها و ستانده‌ها و مدل‌سازی محیط زیست توسعه می‌یابند. (چانگ، ۱۹۹۷) یکی از ویژگی‌های کلیدی این توابع گسترش شعاعی نهاده‌ها و ستانده‌ها است و با وجود این ویژگی در چارچوب فرآیند‌های سنتی تولید به خوبی عمل می‌کنند. از این رو مورد توجه ویژه سیاست‌گذاران برای مدل‌سازی توسعه فرآیند تولید و کاهش میزان آلاینده‌ها قرار گرفته است. (وی و همکاران، ۲۰۱۳) که در ادامه توضیحاتی بیشتری برای برآورد این توابع ارائه شده است.

• تابع مسافت ستانده تعمیم یافته (جهت‌دار) (DDF)

تابع مسافت ستانده تعمیم‌یافته (جهت‌دار) همان تابع مسافت ستانده شفارد است. در تابع مسافت ستانده محور ستانده‌های مطلوب و نامطلوب تا مرز تولید افزایش می‌یابند، ولی در تابع مسافت ستانده جهت‌دار بطور همزمان با افزایش ستانده مطلوب، ستانده نامطلوب کاهش می‌یابد. توابع مسافت به صورت توابع تولید تکنولوژی زیست محیطی نوشته می‌شوند. در این توابع مجموعه‌ای از نهاده‌های X را توسط تکنولوژی تولید $P(x)$ ، به ستانده‌های مطلوب y و ستانده نامطلوب b تبدیل می‌شود.

$$P(x) = \{(y, b) : x \text{ can produced } (y, b)\}$$

فاره و همکاران (۱۹۹۳) فرض کرده‌اند که تابع تکنولوژی آلاینده فروش استاندارد زیر را برآورده می‌سازد و ماکزیمم افزایش ستانده مطلوب (y) و کاهش ستانده نامطلوب (b) را نشان می‌دهد

$$\vec{D}_0(x, y, b; g_y, g_b) = \max\{\beta : (y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in P(x)\}$$

۱. تابع محدب و پیوسته است. یعنی با مجموعه مشخصی از نهاده‌ها، نمی‌توان نامحدود ستانده تولید کرد.
۲. تابع مسافت جهت‌دار در بردارهای ستانده ممکن غیر منفی است.
۳. تابع مسافت در مورد ستانده نامطلوب (b) غیر کاهشی است.
۴. امکان دسترسی آزاد ستانده‌های مطلوب (y) با خودشان برقرار است بدین معنی که این امکان وجود دارد که ستانده‌های مطلوب کاهش یابد اما ستانده‌های نامطلوب کاهش نیابد.
۵. ستانده‌های نامطلوب در کنار ستانده‌های مطلوب تولید می‌شوند. به عبارت دیگر اگر یک ترکیب (y, b) امکان‌پذیر بوده و هیچ ستانده نامطلوبی تولید نشود، هیچ ستانده مطلوبی نیز تولید نمی‌شود. ستانده مطلوب و نامطلوب در مبدأ به صورت پیوسته است
۶. قابلیت حذف ضعیف ستانده نامطلوب به معنای آن است که در صورت حذف ستانده نامطلوب هزینه‌ای معادل کاهش تولید ستانده مطلوب بر تولید کننده تحمیل می‌شود.
۷. در صورتی که واحد تولیدی در مرز امکانات تولید قرار داشته باشد تابع مسافت، ارزش صفر را خواهد داشت و در صورت پایین‌تر بودن از

1. Chames, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978..
 2. Kwon, O.S., Yun, W.C., 1999.
 3. Chung, Y.H., Färe, R., Grosskopf, S., 1997.
 4. Wei, C., Löschel, A. & Liu, B., 2013,

$$(y + \beta g_y, b + \beta g_b) = \{(y, b) + D_0(x, y, b; g)\} \in Y(x)$$

به این طریق به سادگی می‌توان به این نتیجه رسید که در صورت وجود بردار ستانده انعطاف‌پذیر (β, b) ، هرگونه ناکارایی مرتبط با بردار ستانده می‌تواند با حرکت در راستای بردارهای g از بین برود. از این رو می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} R(x, p, q) &\geq (py - qb) + p \cdot \bar{D}_0(x, y, b; g) \cdot g_y + q \cdot \bar{D}_0(x, y, b; g) \cdot g_b \\ &= (py + qb) + p \cdot \bar{D}_0(x, y, b; g) \cdot g_y + q \cdot \bar{D}_0(x, y, b; g) \cdot g_b \\ &= py + qb + (p \cdot g_y + q \cdot g_b) \bar{D}_0(x, y, b; g) \end{aligned}$$

با مرتب کردن معادله بالا می‌توان رابطه بین تابع مسافت و تابع درآمد را بدین صورت نوشت:

$$\begin{aligned} \bar{D}_0(x, y, b; g) &\leq [R(x, p, q) - (py + qb)] / [p \cdot g_y + q \cdot g_b] \\ \bar{D}_0(x, y, b; g) &= \min_{(p, q)} [R(x, p, q) - (py + qb)] / [p \cdot g_y + q \cdot g_b] \end{aligned}$$

با استفاده از لم شفارد معادله بالا، قیمت سایه نرمال شده ستانده خوب و بد به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g)}{\partial b} = \frac{-q}{(p \cdot g_y + q \cdot g_b)} \geq 0$$

$$\frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g)}{\partial y} = \frac{-p}{(p \cdot g_y + q \cdot g_b)} \leq 0$$

در معادله فوق، q یک بردار غیر مثبت برای قیمت سایه ستانده نامطلوب (b) است و p یک بردار غیر منفی برای قیمت سایه ستانده مطلوب (y) است. نسبت این قیمت‌های سایه برابر است با نسبت مشتق‌های جزئی تابع مسافت (D_0) و نرخ نهایی جانشینی ستانده‌های b (نامطلوب) و y (مطلوب) است.

$$\frac{q}{p} = \frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g) / \partial b}{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g) / \partial y} = \frac{\partial y}{\partial b} = MRTT_{y, b}$$

نرخ نهایی جانشینی فنی ($MRTT_{y, b}$) نشان می‌دهد برای کاهش مقدار اندکی از ستانده نامطلوب باید از حجم زیادی از ستانده مطلوب صرف نظر کرد و بالعکس. همچنین اگر قیمت برای ستانده مطلوب وجود داشته باشد و برای برآورد قیمت سایه ستانده نامطلوب، می‌توان از رابطه فاره و همکاران (۱۹۹۳) استفاده کرد.

$$q = p * \frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g) / \partial b}{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g) / \partial y}$$

در رابطه فوق، q قیمت سایه ستانده نامطلوب، هزینه فرصت و درآمد صرف نظر شده است. اگر عدد قیمت سایه برای کشوری صفر بود به منزله آن است که کاهش انتشار در این کشور هیچ هزینه‌ای در بر نخواهد داشت (مردان و واسیلیوا، ۲۰۰۵). از مزیت‌های استفاده از روش تابع مسافت و روابط معرفی شده توسط فاره برای برآورد قیمت سایه انتشار ستانده نامطلوب (انتشار دی‌اکسیدکربن) آن است که در فرآیند تولید ستانده مطلوب، نیازی به برآورد زیان‌های ایجاد شده ناشی از تولید

روش برنامه ریزی خطی برای برآورد تابع درجه دوم بالا مناسب است زیرا نیاز به فروض توزیعی ندارد و با وجود مشاهدات اندک و تعداد زیاد پارامترها نیز می‌توان به راحتی از این روش استفاده کرد. البته این مشکل وجود دارد که پارامترها تخمین زده نمی‌شوند بلکه برآورد می‌شوند از این رو، به دست آوردن شاخص آماری جهت ارزیابی سخت خواهد بود. حتی این امکان وجود دارد که منجر به خطا در ارزیابی کارایی شود به دلیل آن که تولید ناخالص داخلی (ستانده مطلوب) می‌تواند تحت تأثیر شوک‌های تصادفی باشد که در کنترل تولید کننده نیست. پس می‌توان برای رفع این مشکل از یک روش دو مرحله‌ای استفاده کرد (جعفری و اسماعیلی، ۱۳۹۲). در مرحله اول با استفاده از مدل برنامه ریزی خطی مقادیر تابع فاصله برآورد می‌شود و در مرحله دوم تخمین پارامترها با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی صورت می‌گیرد. البته ضرایب معادله فوق را با توجه به روش برنامه ریزی ریاضی از جمله برنامه آیکنر و چو (۱۹۶۸) که بسیار انعطاف‌پذیر است و به محقق اجازه می‌دهد که در کنار برابری معادله‌ها، محدودیت‌های غیر برابر را لحاظ کند، نیز می‌توان محاسبه نمود. برای این منظور تابع هدف در راستای کمینه سازی مجموع انحراف‌های تابع مسافت از عدد صفر و مرز امکانات تولید در نظر گرفته شده است.

$$\min [\bar{D}(x_k, y_k, b_k; 1, -1) - 0]$$

براساس مقاله چمبر^۲ تابع مسافتی که به خوبی فناوری را مشخص می‌کند، یک رابطه دوگان با تابع درآمد دارد و می‌توان تابع درآمد را از طریق تابع مسافت جهت‌دار با ماکزیمم سازی درآمد ناشی از ستانده‌ها استخراج کرد. وجود این رابطه دوگان کمک می‌کند تا قیمت سایه ستانده‌ها با استفاده از لم شفارد مشخص شود. تابع درآمد به صورت زیر مشخص می‌شود

$$R(x, p, q) = \max_{y, b} \{py - qb : (y, b) \in P(x)\}$$

در معادله فوق $p=(p_1, \dots, p_m)$ نشان دهنده قیمت ستانده‌های مطلوب و $q=(q_1, q_2, \dots, q_j)$ نشان دهنده قیمت ستانده‌های نامطلوب می‌باشد. تابع درآمد $R(x, p, q)$ بیشترین میزان درآمد قابل دستیابی از نهاده x ، زمانی که قیمت ستانده مطلوب p و قیمت ستانده نامطلوب q باشد را نشان می‌دهد. به دلیل صدمات وارده بر محیط‌زیست و قیمت ستانده نامطلوب و میزان درآمد حاصله از آن با یک عدد غیر مثبت مشخص شده است. تابع درآمد $R(x, p, q)$ به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$R(x, p, q) = \max_{y, b} \{py - qb : D_0(x, y, b; g) \geq 0\}$$

این فرض اجازه می‌دهد تابع درآمد و تابع فاصله در یک معادله بازنویسی شود. مرحله بعد آن است که بررسی شود که آیا این امکان وجود دارد که تابع مسافت $D_0(x, y, b; g)$ را بر حسب تابع درآمد $R(x, p, q)$ نوشت. باید به این نکته توجه کرد که اگر:

$$(y, b) \in Y(x) \text{ then}$$

1. Mardan, D Vassilieva, A.

1. Aigner and Chu (1968)
1. Chamber

جانشینی این دو است که آن را می توان معادل با نرخ نهایی جایگزینی کنترل انتشار دی اکسید کربن و تولید ناخالص داخلی در نظر گرفت. نکته قابل توجه که p معادل یک است (وی و همکاران، ۲۰۱۳). در این قسمت با توجه به داده های موجود از کشورهای منتخب در سال ۲۰۱۴ تابع کوآدراتیکی فوق در نرم افزار گمز برآورد شد و بعد از محاسبه پارامترهای موجود در تابع با استفاده از شرایط کان تاکر و مشتق مرتبه اول تابع مسافت نسبت به ستانده های مطلوب و ستانده های نامطلوب، قیمت سایه انتشار دی اکسید کربن محاسبه شد. نتایج محاسبات مربوط به قیمت سایه کاهش انتشار مشخص شده از روش اصل پرداخت آلوده کننده برای هریک از اعضای منتخب عضو اوپک در سال ۲۰۱۴ در جدول (۱) آمده است. کشور ایران با بیشترین میزان انتشار کربن معادل ۶۳۳۹/۸۳۶ تن در گروه مورد بررسی دارای بیشترین قیمت سایه معادل ۳/۰۲۵ میلیون دلار به ازای هر تن است. یعنی به ازای کاهش یک تن دی اکسید کربن باید از ۳/۰۲۵ میلیون دلار از تولید ناخالص داخلی صرف نظر کند. کشور کویت نیز با کمترین میزان انتشار دی اکسید کربن معادل ۹۱۵/۸۱۸ تن، دارای کمترین میزان قیمت سایه است. علت پایین بودن قیمت سایه در کشور کویت را می توان عدم تناسب بین انتشار دی اکسید کربن و تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی در این کشور دانست که نشان از کارایی پایین انرژی و تولید در این کشور است. از این رو، با اندکی تغییرات و هزینه کم می توان انتشار دی اکسید کربن را کاهش داد. البته باید به این نکته توجه کرد که محاسبه قیمت سایه، به طور نسبی و با در نظر گرفتن جمیع شاخص ها در گروه کشورهای مورد بررسی و سال مورد مطالعه محاسبه می شود. فرضیه ای که وجود دارد آن است که در صورت تشکیل بازار با توجه به تنوع میزان هزینه نهایی کاهش انتشار در گروه کشور مورد بررسی در صورت اجازه تجارت مجوزهای انتشار دی اکسید کربن و مشارکت همه اعضا، کشورهای کویت، عربستان، قطر و امارات به دلیل پایین تر بودن هزینه نهایی کاهش انتشار به عنوان فروشنده و کشورهای عراق و ایران با هزینه نهایی کاهش انتشار به ترتیب ۲/۳۳ و ۳/۰۲۵ میلیون دلاری به ازای هر تن انتشار دی اکسید کربن به عنوان خریدار در بازار فعالیت کنند.

جدول ۱- قیمت سایه انتشار دی اکسید کربن مستخرج از روش پارامتریک در کشورهای منتخب در سال ۲۰۱۴ (بر حسب دلار به ازای هر واحد انتشار دی اکسید کربن)

کشور	تولید ناخالص داخلی (دلار)	دی اکسید کربن (تن)	قیمت سایه (دلار به ازای هر تن)
عربستان	۵۲۳۳۵۱۳/۴۷۷	۴۸۳۶/۴۸۳	۱/۴۴
عراق	۸۴۸۹۲۰/۰۰۴	۲۳۰۵/۳۰۲	۲/۳۳
ایران	۲۷۶۷۴۰۱/۱۳۷	۶۳۳۹/۸۳۶	۳/۰۲۵
کویت	۹۹۵۷۹۹/۷۸۰	۹۱۵/۸۱۸	۰/۱۱۲
قطر	۱۳۵۰۳۴۶/۱۵۳	۱۱۶۰/۱۱۲	۱/۴۴
امارات	۲۴۹۵۷۷۸/۱۷	۲۱۵۵/۷۶۱	۱/۴۴

منبع: محاسبات تحقیق

نیست. در این روش بر اطلاعات قیمتی تکیه زیادی نمی شود و از این رو در صورت عدم دسترسی به قیمت ستانده نامطلوب بسیار کاربردی است. قیمت سایه مستخرج از این روش هزینه نهایی کنترل آلودگی را مشخص می کند و با در اختیار داشتن هزینه های نهایی کنترل انتشار ستانده نامطلوب می توان سیاست گذاری های مناسب زیست محیطی را اعمال کرد. (جعفری و اسماعیلی، ۱۳۹۲).

• برآورد مدل پارامتریک برای کشورهای مورد مطالعه

در این قسمت با توجه به داده های موجود از کشورهای منتخب عضو اوپک در سال ۲۰۱۴ تابع کوآدراتیکی زیر در نرم افزار گمز برآورد شد و بعد از محاسبه پارامترهای موجود در تابع با استفاده از شرایط کان تاکر و مشتق مرتبه اول تابع مسافت نسبت به ستانده های مطلوب و ستانده های نامطلوب، قیمت سایه انتشار دی اکسید کربن محاسبه شد. البته ضرایب معادله را با توجه به روش برنامه ریزی ریاضی از جمله برنامه آیکنر و چو (۱۹۶۸) که بسیار انعطاف پذیر است و به محقق اجازه می دهد که در کنار برابری معادله ها، محدودیت های غیر برابر را لحاظ کند، می توان محاسبه نمود. در این توابع مصرف انرژی، جمعیت و موجودی سرمایه به عنوان نهاده و ستانده مطلوب تولید ناخالص داخلی و ستانده نامطلوب انتشار دی اکسید کربن در نظر گرفته شده است.

$$D^k(x, y, b; g) = a_0 + a_1 energy^{kt} + a_2 pop^{kt} + a_3 capital^{kt} + \beta_1 gdp^{kt} + \gamma_1 CO_2^{kt} + 0.5(a_{12} energy^{kt} pop^{kt} + a_{13} energy^{kt} capital^{kt} + a_{23} pop^{kt} capital^{kt} + 0.5\beta_2 (gdp^{kt})^2 + 0.5\gamma_2 (CO_2^{kt})^2 + v_1 energy^{kt} CO_2^{kt} + v_2 pop^{kt} CO_2^{kt} + v_3 capital^{kt} CO_2^{kt} + \mu_1 gdp^{kt} CO_2^{kt} + \delta_1 energy^{kt} gdp^{kt} + \delta_2 pop^{kt} gdp^{kt} + \delta_3 capital^{kt} gdp^{kt}$$

برای این منظور تابع هدف در راستای کمینه سازی مجموع انحراف های تابع مسافت از عدد صفر و مرز امکانات تولید در نظر گرفته شده است. با توجه به محدودیت های فوق و شرایط مرتبه اول می توان روابط زیر را استخراج کرد.

$$q = -p * \frac{\partial D / \partial CO_2}{\partial D / \partial gdp}$$

$$q = -p * \frac{\gamma_1 + \gamma_2 (CO_2^{kt}) + v_1 energy^{kt} + v_2 pop^{kt} + v_3 capital^{kt} + \mu_1 gdp^{kt}}{\beta_1 + \beta_2 (gdp^{kt}) + \delta_1 energy^{kt} + \delta_2 pop^{kt} + \delta_3 capital^{kt} + \mu_1 CO_2^{kt}}$$

روابط فوق نشان دهنده آن است که قیمت سایه انتشار دی اکسید کربن (q) برابر با قیمت سایه ستانده مطلوب (p) قیمت بازاری ستانده مطلوب) ضرب در مشتق تابع مسافت نسبت به ستانده نامطلوب (CO_2) به روی مشتق تابع مسافت نسبت به ستانده مطلوب (GDP) است. نسبت قیمت سایه هر دو ستانده مطلوب و نامطلوب برابر با نرخ

ناشی از تولید نیست. در این روش بر اطلاعات قیمتی تکیه زیادی نمی‌شود و از این رو در صورت عدم دسترسی به قیمت ستانده نامطلوب، بسیار کاربردی است. قیمت سایه مستخرج از این روش، هزینه نهایی کنترل آلودگی را مشخص می‌کند و با در اختیار داشتن هزینه‌های نهایی کنترل انتشار ستانده نامطلوب می‌توان سیاست گذاری‌های مناسب زیست‌محیطی را اعمال کرد. همچنین از آن جایی که برآورد هزینه‌های نهایی کاهش انتشار یک گام مهم در زمینه موضوعات زیست‌محیطی است، نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک ابزار پشتیبان برای تصمیم‌گیری‌های سیاستی مورد استفاده قرارگیرد (وی و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این می‌توان گفت نتایج نشان دهنده آن است که برای دستیابی به اهداف جهانی، طراحی مکانیزم انگیزشی برای کشورهای عربستان، عراق، ایران، کویت، قطر و امارات که تا کنون هیچگونه تعهدی برای کاهش انتشار نداشته‌اند موفقیت آمیز خواهد بود. این مکانیزم تنها درصدد کاستن سطح انتشار نیست و به دلیل وجود انگیزه‌های مالی و امکان درآمدزایی با مقاومت کمتری روبرو خواهد شد. در کل می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که با توجه به اینکه کشورهای عضو اوپک از جمله گروه‌های استراتژیک در تأمین انرژی منطقه می‌باشد و خود نیز از مصرف کنندگان بزرگ انرژی به شمار می‌آیند محدود کردن مصرف و یا عرضه انرژی برای دستیابی به یک هدف جهانی شاید با مقاومت‌هایی روبرو شود. از طرفی با افزایش درآمد و سطح استاندارد زندگی در این کشورها مردم نیازمند مصرف انرژی بیشتر خواهند بود به همین دلیل باید بیشتر تلاش‌ها بر روی بهینه‌سازی مصرف انرژی در کل کشورها متمرکز شود. برای نمونه می‌توان به استفاده از سوخت‌های پاک از جمله انرژی‌های خورشیدی، گاز طبیعی و زمین‌گرایی^۲ برای تأمین انرژی اولیه مورد نیاز داخلی و یا طراحی و اجرای ویژگی‌های زیست‌محیطی در فرآیندهای تولید و سایر صنایع وابسته به انرژی به ویژه نفت و گاز اشاره کرد. امکان مبادله مجوزهای انتشار بین کشورها از دیگر ابزارهای اقتصادی است که در این حوزه کاربرد دارد. به طوری که در کشورهایی که پتانسیل بیشتری برای کاهش انتشار وجود دارد بایستی با ارائه تسهیلات، محرک‌های مناسب برای تلاش بیشتر و کمک‌های مالی برای حمایت از تحقیقات مرتبط صورت گیرد. از طریق یک مکانیسم بازاری شفاف با رعایت حقوق همه ذینفعان، این ابزار اقتصادی قابلیت حصول به نتیجه مطلوب را می‌یابد. ایجاد این بازارها امکان انتقال تکنولوژی از کشورهای توسعه یافته‌تر به کشورهای کمتر توسعه یافته را نیز فراهم می‌آورد. همچنین پیشنهاد می‌شود که برای دستیابی به اهداف کاهش انتشار در سطح این گروه از کشورها از ابزارهای مختلف اقتصادی مانند بسترسازی لازم برای تجارت مجوزهای انتشار بین کشورها و ظرفیت سازی و انتقال تکنولوژی بهره برد.

کشور ایران با بیشترین میزان انتشار کربن معادل ۶۳۳۹/۸۳۶ تن در گروه مورد بررسی دارای بیشترین قیمت سایه معادل ۳/۰۲۵ میلیون دلار به ازای هر تن است. یعنی به ازای کاهش یک تن دی‌اکسیدکربن باید از ۳/۰۲۵ میلیون دلار از تولید ناخالص داخلی صرف نظر کند. کشور کویت نیز با کمترین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن معادل ۹۱۵/۸۱۸ تن، دارای کمترین میزان قیمت سایه است. علت پایین بودن قیمت سایه در کشور کویت را می‌توان عدم تناسب بین انتشار دی‌اکسیدکربن و تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی در این کشور دانست که نشان از کارایی پایین انرژی و تولید در این کشور است. از این رو، با اندکی تغییرات و هزینه کم می‌توان انتشار دی‌اکسیدکربن را کاهش داد. البته باید به این نکته توجه کرد که محاسبه قیمت سایه، به طور نسبی و با در نظر گرفتن جمیع شاخص‌ها در گروه کشورهای مورد بررسی و سال مورد مطالعه محاسبه می‌شود. فرضیه‌ای که وجود دارد آن است که در صورت تشکیل بازار با توجه به تنوع میزان هزینه نهایی کاهش انتشار در گروه کشور مورد بررسی در صورت اجازه تجارت مجوزهای انتشار دی‌اکسیدکربن و مشارکت همه اعضا، کشورهای کویت، عربستان، قطر و امارات به دلیل پایین‌تر بودن هزینه نهایی کاهش انتشار به عنوان فروشنده و کشورهای عراق و ایران با هزینه نهایی کاهش انتشار به ترتیب ۲/۳۳ و ۳/۰۲۵ میلیون دلار به ازای هر تن انتشار دی‌اکسیدکربن به عنوان خریدار در بازار فعالیت کنند.

۳- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

در این مطالعه برای محاسبه هزینه کاهش انتشار از روش تابع مسافت استفاده شد زیرا این تابع توانایی بررسی همزمان ستانده مطلوب و نامطلوب را دارد و کاربرد گسترده این روش‌ها برای کالای غیربازاری مانند انتشار دی‌اکسیدکربن امکان محاسبه هزینه نهایی کاهش انتشار را بدون توجه به پیش فرض‌های رفتاری از جمله حداکثر سازی درآمد و حداقل سازی هزینه فراهم می‌کند. از آنجایی که توابع کوادراتیک به عنوان روش مرسوم در رویکرد پارامتریک، رابطه بین ستانده مطلوب و نامطلوب را به خوبی نمایش می‌دهد، نیازمند اطلاعات از پیش تعیین شده نیست مقبولیت بیشتری دارد، از این رو، این روش به عنوان روش منتخب در برآورد توابع مسافت در رویکرد پارامتریک انتخاب شد. سیاست گذاران و برنامه ریزان محیط‌زیستی می‌توانند با استفاده از مفهوم قیمت سایه مستخرج از توابع کوادراتیک که هیچ گونه محدودیتی را بر ساختار فناوری تولید اعمال نمی‌کنند و توابع بسیار انعطاف پذیری هستند و با توجه به تعداد کم پارامتر، سادگی تفسیر، سادگی محاسبات اجرایی و قدرت تعمیم دهی و پیش بینی دقیق و مطابقت با تئوری‌های اقتصادی، مناسب‌تر هستند تحلیل‌های کاربردی‌تر را ارائه کنند. نتایج نشان داد که کشور ایران دارای بیشترین قیمت سایه معادل ۳/۰۲۵ میلیون دلار به ازای هر تن دی‌اکسیدکربن و کشور کویت کمترین قیمت سایه معادل ۰/۰۱۱ میلیون دلار به ازای هر تن دی‌اکسیدکربن را به خود اختصاص داده‌اند، کشورهای عربستان، قطر و امارات نیز قیمت سایه یکسانی معادل ۱/۱۴ میلیون دلار به ازای هر تن دی‌اکسیدکربن دارند. از جمله مزیت‌های استفاده از روش تابع مسافت و روابط معرفی شده توسط فاره برای برآورد قیمت سایه انتشار ستانده نامطلوب (انتشار دی‌اکسیدکربن) می‌توان به این موضوع اشاره کرد که در فرآیند تولید ستانده مطلوب، نیازی به برآورد زبان‌های ایجاد شده

1. Wie & et al
2. Geothermal

منابع:

- جعفر نیا، م. اسماعیلی، ع (۱۳۹۲). "محاسبه قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی پروار بندی گوساله در شیراز" تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۴۴، شماره ۱، صفحه ۱۷ الی ۲۵
- سالاری، ا.، صادقی، ز. و شکیبایی، ع. ۱۳۹۶، "برآورد هزینه نهایی کاهش CO₂ کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کاکن و بیشتر در ایران رویکرد قیمت سایه‌ای" فصلنامه علمی-پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۶(۲۳)، ۱۳۷-۱۵۹
- شهبابی تژاد، ح.، شهبابی تژاد، و.، سیستانی، ی.، ۱۳۹۴. اندازه‌گیری کارایی و مقایسه رشد بهره‌وری شعب بانک ملی ایران در استان کرمان با استفاده از تحلیل فراگیر داده‌ها، فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی، ۳(۱۲)، ۱۰۵-۱۲۴
- علی پور، علیرضا؛ موسوی، سید حبیب الله و خلیلیان، صادق، ۱۳۹۳، ارزیابی هزینه انتشار گاز گلخانه‌ای کرین دی اکسید حاصل از توسعه بخش کشاورزی ایران، اقتصاد کشاورزی، جلد ۸، شماره ۱، صفحات ۸۱-۶۳
- کامان، مایکل و استاگل، زیگرید. (۱۹۶۸) مقدمه‌ای بر اقتصاد اکولوژیکی (بوم شناختی). ترجمه صالحی، اسماعیل، پوراصغر سنگاچین، فرزرام و حبیبی، علی (۱۳۸۹). تهران موسسه انتشارات دانشگاه تهران.
- کریم زادگان، ح. (۱۳۹۲). اقتصاد محیط‌زیست و روش‌های ارزش گذاری مواهب طبیعی، لاهیجان انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی
- محمدباقری، ا. و خلیلی یادگاری، م. (۱۳۹۵). بازار کرین و کشورهای در حال توسعه. تهران موسسه مطالعات بین المللی انرژی
- Aigner, D.J., Chu, S.F., 1968. On estimating the industry production function. *Am. Econ. Rev.* 13, 826-839.
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., 1984. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30, 1078-1092.
- Chambers, R.G., Chung, Y., Färe, R., 1998. Profit, directional distance functions, and Nerlovian efficiency. *J. Optim. Theory Appl.* 98 (2), 351-364.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.
- Chung, Y.H., Färe, R., Grosskopf, S., 1997. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach. *Journal of Environmental Management* 51, 229-240.
- Coelli, T., Perelman, S., 1999. A comparison of parametric and non-parametric distance functions: with application to European railways. *Eur. J. Oper. Res.* 117, 326-339.
- Coggins, J.S., Swinton, J.R., 1996. The price of pollution: a dual approach to valuing SO2 allowances. *J. Environ. Econ. Manag.* 30, 5872.
- Du, L., Hanley, A., Wei, C., 2015b. Estimating the marginal abatement cost curve of CO2 Emissions emissions in China: provincial panel data analysis. *Energy Econ.* 48, 217e229.
- Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C.A.K., Yaisawarng, S., 1993. Derivation of shadow prices for undesirable outputs: a distance function approach. *Rev. Econ. Stat.* 75, 374-380.
- Färe, R., Grosskopf, S., Noh, D.W., Weber, W., 2005. Characteristics of a polluting technology: theory and practice. *J. Econ.* 126 (2), 469-492.
- Hailu, A., Veeman, T.S., 2001. Non-parametric productivity analysis with undesirable out puts: an application to the Canadian pulp and paper industry. *Am. J. Agric. Econ.* 83, (3), 605-616.
- Huang, S., Kuo, L. and Chou, K. 2016. The applicability of marginal abatement cost approach: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 127, 59-71
- Kaneko, S., Fujii, H., Sawazu, N., Fujikura, R., 2010. Financial allocation strategy for the regional pollution abatement cost of reducing sulfur dioxide emissions in the thermal power sector in China. *Energy Policy* 38, 2131-2141
- Kumbhakar, S.C., Lovell, K.C.A., 2000. *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kwon, O.S., Yun, W.C., 1999. Estimation of the marginal abatement costs of airborne pollutants in Korea's power generation sector. *Energy Econ.* 21, 547-560.
- Kwon, O.S., Yun, W.-C., Hwan, A.D., 2005. Market value for thermal energy of cogeneration: using shadow price estimation applied to cogeneration systems in Korea. *Energy Policy* 33 (14), 1789-1795.
- Lovell, C.A.K., Richardson, S., Travers, P., Wood, L.L., 1994. In: Eichhorn, W. (Ed.), *Resources and Functioning: A New View of Inequality in Australia, Models and Measurement of Welfare and Inequality*. Springer, Berlin
- Mandell S. Carbon emission values in cost benefit analyses. *Transp Policy* 2011; 18(6):888-92.

- Marklund, P.-O., Samakovlis, E., 2007. What is driving the EU burden-sharing agreement: efficiency or equity? *J. Environ. Manag.* 85 (2), 317–329.
- Matsushita, K., Yamane, F., 2012. Pollution from the electric power sector in Japan and efficient pollution reduction. *Energy Econ.* 34, 1124–1130.
- Molinos-Senante, M., Hanley, N. & Garrido, S., 2015, Measuring the CO2 shadow price for wastewater treatment: A directional distance function approach, *Applied Energy*, 144, 241–249
- Musso A, Rothengatter W. Internalisation of external costs of transport-a target driven approach with a focus on climate change. *Transp Policy* 2013; 29:303–14
- Pearce D. The social cost of carbon and its policy implications. *Oxford Rev Econ Policy* 2003; 19(3):362–84.
- Peng, Y., Wenbo, L. & Cheng, S. 2012. The Margin Abatement Costs of CO2 in Chinese industrial sectors. *energy procedia* 4, 1792-1797
- Shephard, R.W., 1970. *Theory of Cost and Production Functions*. Princeton University Press, Princeton.
- Tang, K., Gong, C. & Wang, D., 2016, Reduction potential, shadow prices, and pollution costs of agricultural pollutants in China, *Science of the Total Environment* 541 (2016) 42–50
- Van Ha, N., Kant, S., Maclaren, V., 2008. Shadow prices of environmental outputs and production efficiency of household-level paper recycling units in Vietnam. *Ecol. Econ.* 65 (1), 98–110.
- Wei C, Loschel A, Liu B. An empirical analysis of the CO2 shadow price in Chinese thermal power enterprises. *Energy Econ* 2013; 40:22–31.
- Yang et al, 2017, Regional eco-efficiency and pollutants' marginal abatement costs in China: a parametric approach, *Journal of Cleaner Production* (2017).
- Zhang, X., Xu, Q., Zhang, F., Guo, Z. & Rao, R., 2014, Exploring shadow prices of carbon emissions at provincial levels in China, *Ecological Indicators*, 46, 407–414
- Zhao, J. (2017) the Carbon Emissions Efficiency and Marginal Abatement Cost in Urban of China: Non-Parametric Directional Distance Function Method. *Modern Economy*, 8, 386-