The Journal of PLANNING & BUDGETING
Indexed In ISC
Vol. 24 | No. 3 | Autumn 2019
PP 87-110
ISSN: 2251-9092

# Natural Gas Pricing Based On Social Costs of Carbon: A Case Study of Kerman Province

**Zeinolabedin Sadeghi**[1] | z_sadeghi@uk.ac.ir
**Seyyed Abdolmajid Jalaei**[2] | jalaee@uk.ac.ir
**Mahla Movahedi**[3]

**Abstract** Due to the increasing demand for natural gas and its benefit of producing less carbon compared to other fossil fuels, pricing the natural gas based on the social expenses is becoming necessary more than ever. Accordingly, presenting models that enable us to find coordination between natural gas pricing and the final cost of carbon reduction is of high importance. This study aims to find the relationship between natural gas pricing, carbon rent, and the degree of pollution caused by natural gas. To this end, the final cost of CO2 reduction for two carriers of natural gas and gas oil in Kerman province has been calculated; Then the measures of social costs based on carbon expenses for natural gas and gas oil in 3 sections of the power plant, industry and houses is conducted. This study presents the evaluation of the final cost of carbon caused by natural gas and gas oil for the three mentioned sectors. The results indicate that the final costs of carbon caused by natural gas are always lower than the final costs of carbon caused by gas oil. This is the major reason as to why the social costs of natural gas are lower than of gas oil in the three sectors. Moreover, the results show that there is not a significant difference between the rates of the final cost of natural gas and the price of natural gas delivery to the end-users in 2013-2016. This is due to the little amount of pollution natural gas produces and the relatively low cost of its pollution. However, the rate of delivery cost to the power plant is 8 percent of social costs and 9 percent of the final costs of natural gas.

**Keywords:** Abatement Cost of Carbon Dioxide, Natural Gas Pricing, Shadow Price, Distance Function, Data Envelopment Analysis.

**JEL Classification:** Q52, Q41, Q46.

1. Associate Professor, Department of Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran (Corresponding Author).
2. Professor, Department of Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
3. M.A in Energy Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | نمایه در ISC
سال بیست و چهارم | شماره ۳ | پاییز ۱۳۹۸ | ص ص ۱۱۰-۸۷

# قیمتگذاری گاز طبیعی بر مبنای هزینه‌های اجتماعی ناشی از کربن: مطالعه موردی استان کرمان[1]

**زین‌العابدین صادقی** | z_sadeghi@uk.ac.ir
دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران (نویسنده‌مسئول).

**سیدعبدالمجید جلایی** | jalaee@uk.ac.ir
استاد گروه اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

**مهلا موحدی**
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

مقاله پژوهشی
دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۷ | پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۳

**چکیده:** با افزایش تقاضای گاز طبیعی و اهمیت این سوخت پاک، که نسبت به سایر سوخت‌های فسیلی مانند گازوییل که مقدار کربن کم‌تری تولید می‌کند، تعیین قیمت گاز طبیعی بر مبنای هزینه‌های اجتماعی آن اهمیت دوچندانی دارد، و ارائه روش‌هایی برای ارتباط قیمتگذاری گاز طبیعی با هزینه نهایی کاهش کربن امری ضروری است. هدف این پژوهش، تعیین رابطه بین قیمتگذاری گاز طبیعی با رانت کربن، و تعیین میزان آلودگی گاز طبیعی است. برای دستیابی به این هدف، هزینه نهایی کاهش $Co_2$ برای دو حامل انرژی گاز طبیعی و گازوییل استان کرمان محاسبه می‌شود و پس از آن به اندازه‌گیری قیمت اجتماعی گاز طبیعی و گازوییل بر اساس قیمت کربن برای سه بخش نیروگاه، صنعت، و بخش خانگی-تجاری در استان کرمان پرداخته می‌شود. در این پژوهش، محاسبه هزینه نهایی کربن ناشی از مصرف گاز طبیعی و گازوییل برای سه بخش اشاره‌شده مورد سنجش قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که هزینه نهایی کربن ناشی از مصرف گاز طبیعی همواره از هزینه نهایی کاهش کربن ناشی از گازوییل پایین‌تر است و همین عامل باعث پایین‌تر بودن قیمت اجتماعی گاز طبیعی نسبت به گازوییل در هر سه بخش می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت زیادی بین قیمت تمام‌شده گاز تحویلی به مشتری و قیمت اجتماعی گاز طبیعی در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ که ناشی از آلودگی پایین گاز طبیعی و قیمت پایین آلودگی آن است، وجود ندارد. ولی قیمت تحویلی به نیروگاه به‌طور متوسط ۸ درصد قیمت اجتماعی و ۹ درصد قیمت تمام‌شده گاز طبیعی است.

**کلیدواژه‌ها:** هزینه کاهش دی‌اکسید کربن، قیمتگذاری گاز طبیعی، قیمت سایه‌ای، تابع فاصله‌ای، تحلیل پوششی داده‌ها.

**طبقه‌بندی JEL:** Q52, Q41, Q46.

۱. این مقاله از محل اعتبارات پژوهشی پایان‌نامه‌های دانشجویی شرکت گاز استان کرمان صورت گرفته است.

## مقدمه

ایران اولین دارنده ذخایر گازی، سومین مصرف‌کننده بزرگ گاز، و چهارمین تولیدکننده گاز جهان است. گاز طبیعی یکی از منابع تامین انرژی است که تقاضای آن در حال افزایش است. با توجه به اهمیت و جایگاه گاز طبیعی در ایران، تعیین قیمت گاز طبیعی دارای اهمیت دوچندانی است. همچنین، قیمتگذاری یکی از ابزارهای مهم در برنامه‌ریزی‌های بلندمدت به‌شمار می‌آید که موجبات تخصیص کارای منابع را فراهم می‌کند و کنترل تقاضا و اتلاف نشدن منابع را به دنبال دارد (خالقی، ۱۳۸۳). برآورد هزینه‌های اجتماعی انتشار گازهای NOX ،$SO_2$، و $CO_2$ از نیروگاه‌های کشور به روش انتقال منافع و با استفاده از تعدیل ضرایب جهانی موجود و مرتبط توسط رحیمی و همکاران (۱۳۹۳) انجام شده است. لطفعلی‌پور و غمخوار (۱۳۸۸)، نیز به محاسبه قیمت‌های بهینه گاز طبیعی برای بخش‌های مختلف اقتصاد شامل بخش‌های خانگی، تجاری-عمومی، و صنعتی از طریق روش قیمتگذاری رمزی می‌پردازند. با توجه به این‌که قیمتگذاری رمزی بر اساس شرط بازده صعودی نسبت به مقیاس است، و یکی از فرض‌های آن انحصار طبیعی است، پس از برآورد تابع تولید گاز طبیعی، مسئله وجود بازده صعودی نسبت به مقیاس در این صنعت بررسی می‌شود. با توجه به اهمیت قیمتگذاری مناسب گاز طبیعی در کرمان و ارتباط آن با هزینه‌های نهایی کاهش کربن، ارائه روش‌هایی در این مورد لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا، سهم گاز طبیعی به عنوان سوخت در حال افزایش است. گاز طبیعی منبع انرژی تقریباً پاکیزه، فراوان، و ارزان‌قیمتی است که هم‌اکنون به مقیاس وسیع برای مصارف صنعتی و خانگی بکار می‌رود و در دهه‌های آینده بهره‌برداری از آن گسترش می‌یابد. در توسعه اقتصادی جهان، مناطق و کشورهای مختلف، به دلیل منابع و ذخایر عظیم در دسترس و توسعه فناوری‌های خلاق، باعث کاهش هزینه‌ها و زمان اجرای پروژه‌ها و در نتیجه، بهبود اقتصاد پروژه‌های توسعه و انتقال گاز می‌شود. در سبد سوخت نیروگاه‌های دنیا سهم گاز طبیعی در سال‌های اخیر رو به افزایش است (BP, 2018). میزان آلودگی هر میلیون BTU[1] گاز طبیعی ۵۳/۰۷، میزان آلودگی هر میلیون BTU گازوییل ۷۱/۳۰، و هر میلیون مازوت ۷۸/۷۹ کیلوگرم دی‌اکسید کربن است (EIA, 2017). همچنین، تلاش جهانی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و گاز $CO_2$ مزیت استفاده از گاز طبیعی را در مقایسه با سایر سوخت‌ها نشان می‌دهد. امروزه دولت‌ها و صاحبان صنایع به دنبال آن دسته از حامل‌های انرژی هستند که آلاینده‌های کم‌تری تولید می‌کنند. به همین دلیل، جهان به گاز طبیعی روی می‌آورد. بر اساس اطلاعات جهانی منتشرشده در دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۶ مصرف جهانی گاز جهانی ۲/۲ درصد رشد دارد، در حالی مصرف گاز طبیعی ایران در این بازه حدود ۵/۹ درصد رشد

1. British Thermal Unit

دارد (BP, 2018)[1]. در سال ۲۰۱۸ مصرف گاز طبیعی ایران ۲۲۵/۶ میلیارد متر مکعب است، در حالی قطر ۴۱/۹ میلیارد مکعب مصرف دارد. کشور ایران با دارا بودن ۳۱/۹ تریلیون متر مکعب حجم ذخایر گاز اثبات‌شده تا پایان سال ۲۰۱۸ به عنوان دومین دارنده گاز طبیعی در جهان، صاحب جایگاهی ممتاز در این حوزه است (BP, 2018)، اما با گذشت بیش از چهار دهه از عمر این صنعت در ایران، از وجود راهبردی مناسب در بخش گاز محروم است. رقیبان همسایه ایران از جمله روسیه در سال ۲۰۱۸ با صادرات ۲۴۷/۹ میلیارد متر مکعب و قطر با صادرات ۱۲۴/۳ میلیارد متر مکعب سهم خود را در بازارهای جهان افزایش می‌دهند، ولی صادرات گاز ایران ۱۲/۱ متر مکعب است. آنچه از آمارهای بالا استنتاج می‌شود این است که کشور ایران با وجود رتبه دوم ذخایر اثبات‌شده گاز طبیعی، سهم ۰/۹ درصدی از تجارت جهانی گاز دارد[2]، در حالی که سهم ایران در مصرف جهانی گاز طبیعی حدود ۵/۹ درصد است. بالاتر بودن سهم مصرف از تجارت این واقعیت را نشان می‌دهد که ایران به دلیل نبود زیرساختارهای تجارت گاز طبیعی سعی می‌کند این گاز را داخل کشور با پایین‌ترین قیمت در اختیار مصرف‌کننده قرار دهد (BP, 2018)[3]، و مصرف‌کننده اطلاع چندانی از قیمت صادرات و رانت کربن این حامل سبز ندارد.

در روش‌شناسی، روش تابع فاصله‌ای ممکن است به عنوان یک چارچوب تحلیلی متشکل از یک خانواده از مدل‌ها در نظرگرفته شود. قیمت سایه‌ای خروجی نامطلوب از رابطه دوگانگی (همزادی)، بین تابع فاصله‌ای و درآمد، هزینه یا تابع سود به‌دست می‌آید، و تابع فاصله‌ای توصیفی از رابطه فناوری را بین ورودی و خروجی فراهم می‌کند (Färe & Grosskopf, 2000). یکی از چالش‌های نظری و تجربی در ادبیات اقتصادی ایران توجه نکردن به قیمتگذاری حامل‌های انرژی بر اساس عوارض خارجی این حامل‌هاست. در این پژوهش، هزینه نهایی کاهش $Co_2$ برای دو حامل انرژی گاز طبیعی و گازوییل استان کرمان با استفاده از تابع فاصله‌ای محاسبه می‌شود و پس از آن، قیمت اجتماعی گاز طبیعی و گازوییل بر اساس رانت کربن به‌دست می‌آید.

این پژوهش در پنج بخش تدوین می‌شود. در بخش دوم، مبانی نظری پژوهش ارائه می‌گردد. در بخش سوم، روش‌شناسی و در بخش چهارم نتایج تخمین مدل‌ها آورده می‌شود. در نهایت، در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها بیان می‌شوند.

---

۱. شاخص‌های تحلیل رشد بر اساس گزارش BP ۲۰۱۸ توسط پژوهشگران محاسبه شده است.

۲. در سال ۲۰۱۸ کل تجارت جهانی گاز طبیعی دنیا از طریق لوله و LNG ۱۲۳۶ میلیارد متر مکعب است، و ایران ۱۲/۱ میلیارد متر مکعب صادرات داشته است.

۳. شاخص‌های تحلیل رشد بر اساس گزارش BP ۲۰۱۸ توسط پژوهشگران محاسبه شده است.

## مبانی نظری پژوهش

در دنیای آرمانی، رقابت کامل عمل متقابل هزاران تولیدکنندهٔ بیشینه‌کننده سود و هزاران مصرف‌کنندهٔ بیشینه‌کننده مطلوبیت، به وضعیتی منجر می‌شود که آن را «بهینه پرتو» می‌نامند. در این حالت، قیمت‌ها منعکس‌کننده هزینه‌های نهایی اجتماعی واقعی هستند، منابع کمیاب به صورتی کارامد تخصیص می‌یابند، و برای توزیع درآمد مشخص، هیچ‌کس را نمی‌توان به وضع بهتری برد، مگر این‌که وضع دیگری بدتر شود. با وجود این، شرایط موجود اقتصاد از حالت آرمانی بهینهٔ پرتو بسیار دور است. تحریف‌هایی به دلایلی چون «عملیات انحصاری»، «صرفه‌جویی‌های خارجی» مثبت و منفی (که در بازارهای خصوصی وارد نمی‌شوند)، «مداخلات» در فرایند بازار از طریق مالیات‌ها، تعرفه‌ها، یارانه‌های (سوبسید) وارداتی، و سهمیه‌های تجاری همگی خود را در قیمت‌های بازاری برای کالاها و خدمات به صورت انحراف اساسی از قیمت‌های سایه‌ای یا ارزش‌های واقعی اقتصادی نشان می‌دهند (سیف، ۱۳۷۹).

روش‌های متعددی برای تخمین انتشار $CO_2$ استفاده می‌شود که یکی از این روش‌ها قیمت سایه‌ای است. قیمت سایه‌ای (که هزینه انتشار یک واحد خروجی نامطلوب است)، انتشار گاز $CO_2$ می‌تواند به عنوان هزینه فرصت کاهش $CO_2$ در حال رشد، برحسب خروجی خوب در فرایند تولید تفسیر شود.

در ادامه، به نتایج برخی از پژوهش‌های داخلی و خارجی در خصوص اندازه‌گیری قیمت سایه‌ای با استفاده از روش‌های مختلف، قیمتگذاری گاز طبیعی، و دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی‌ها اشاره می‌شود.

همیلتون و تورتن[1] (۲۰۰۲)، نشان می‌دهند که دلیل اصلی افزایش انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در کشورهای عضو سازمان توسعه و همکاری اقتصادی در دوره ۱۹۹۷-۱۹۸۲، به رشد اقتصادی و شدت کربن سوخت‌های فسیلی در این کشورها برمی‌گردد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که کاهش شدت انرژی در اقتصاد و کاهش سهم سوخت‌های فسیلی در انرژی مصرفی نقشی تعیین‌کننده در کاهش انتشار دی‌اکسید کربن دارند. گالاهرو همکاران[2] (۲۰۰۵)، به چارچوبی برای تنظیم هزینه نهایی کاهش (MAC)[3]، تغییرهای فنی در طی زمان می‌پردازد. برآورد تغییرهای فنی، شامل ترکیب افزایش بهره‌وری در فناوری‌های فعلی و کاهش هزینه‌های فناوری در طول زمان و ورود فناوری‌های جدید به بازار می‌شود. نتایج تجزیه‌وتحلیل‌ها به صورت هزینه‌های نهایی کاهش آلودگی

1. Hamilton & Turton
2. Gallaher *et al*.
3. Marginal Abatement Cost

برای سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۲۰، و ۲۰۳۰ برای بخش زغال سنگ، گاز طبیعی، و زباله‌های جامد ارائه می‌شود. لیز[1] (۲۰۰۶)، انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی را برای اقتصاد ترکیه در دوره ۲۰۰۳-۱۹۸۰ مورد بررسی قرار می‌دهد. نتایج وی نشان می‌دهد که رشد اقتصادی نقشی حیاتی در انتشار دی‌اکسید کربن دارد، و شدت کربن و تغییر در ترکیب اقتصاد همسو با تغییرهای انتشار دی‌اکسید کربن اندک است. همچنین، بیان می‌کند که شدت انرژی در اقتصاد دلیل اصلی جبران آثار افزایش سایر عوامل اثرگذار بر تغییرهای انتشار دی‌اکسید کربن است. بیکن و باتاچاریا[2] (۲۰۰۷)، با استفاده از روش تجزیه، تغییرهای دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی را در ۷۰ کشور جهان دارای مشخصه انتشار بالای دی‌اکسید کربن بررسی می‌کنند و در دوره ۲۰۰۴-۱۹۹۴ بیان می‌کنند که تولید ناخالص داخلی سرانه عنصر مهمی در تغییرهای انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی است. همچنین، نشان می‌دهند که ترکیب سوخت فسیلی اثر منفی اندکی بر تغییرهای انتشار دی‌اکسید کربن دارد، در حالی که سهم سوخت‌های فسیلی در کل انرژی مصرفی در تغییرهای انتشار دی‌اکسید کربن مثبت است. ژانگ و همکاران[3] (۲۰۰۹)، به بررسی انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی چین در دوره ۲۰۰۶-۱۹۹۱ در قالب سه دوره مساوی می‌پردازند و نتیجه می‌گیرند که فعالیت اقتصادی چین عامل اصلی در تغییرهای انتشار دی‌اکسید کربن در کل اقتصاد و در همه بخش‌های اقتصاد است و دلیل اصلی کاهش تغییرها در انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی به بهبود شدت انرژی در اقتصاد این کشور است. همچنین، نشان می‌دهند که تغییرهای ساختاری در بخش‌های مختلف اقتصادی اثر اندکی بر تغییرهای انتشار دی‌اکسید کربن دارد. از نظر وانگ و همکاران[4] (۲۰۱۱)، برآورد هزینه‌های نهایی کاهش $CO_2$ می‌تواند اطلاعات مفیدی برای سیاستگذاران ارائه کند. آن‌ها با چارچوبی از نظریه تولید، مدل هزینه‌های نهایی کاهش را از روش غیرپارامتریک و تجربی به‌دست می‌آورند، و معتقد هستند که دو راهبرد برای کاهش $CO_2$، حفظ سطح $CO_2$ یا کاهش $CO_2$ و افزایش تولید ناخالص داخلی به‌طور همزمان، تاثیر تولید ناخالص داخلی را تا حد زیادی افزایش می‌دهد. ۱۴۳/۵ میلیون کاهش $CO_2$ به معنای ۳۵/۱ میلیارد زیان ناشی از تولید ناخالص داخلی، و هزینه نهایی کاهش $CO_2$ به‌طور متوسط ۴۷۵/۳ یوان/تن است. چوی و همکاران[5] (۲۰۱۲)، روش تحلیل غیرپارامتریک کارایی را برای تخمین کارایی انرژی، کاهش انتشار، هزینه نهایی انرژی، و

1. Lise
2. Bacon & Bhattachrya
3. Zhang *et al*.
4. Wang *et al*.
5. Choi *et al*.

نسبت انتشار $CO_2$ در چین بررسی می‌کنند، و از مدل غیرمحوری اسلاکس[1] بر اساس تحلیل پوششی داده‌ها برای تخمین کاهش بالقوه و کارایی انتشار $CO_2$ در چین بکار می‌برند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که میانگین کاهش انتشار $CO_2$ در بالاترین حد ۵۶/۱ میلیون تن برای هر استان و ۱۶۸۳ میلیون تن برای کل کشور است. لی و ژو[2] (۲۰۱۵)، تخمین جهت‌دار قیمت سایه‌ای $CO_2$، $SO_2$، و NOx را در صنعت زغال سنگ ایالات متحده آمریکا بررسی می‌کنند. و روش بهره‌وری نهایی جهت‌دار (DMP)[3] را برای برآورد قیمت سایه‌ای جهت‌دار (DSP)[4] توصیف می‌کنند که برآورد میزان انتشار برای گازهای $SO_2$، $CO_2$، و NOx به دو صورت مشترک و جداگانه انجام می‌شود. برآورد میزان انتشار آلاینده‌های تولیدشده توسط نیروگاه‌های زغال سنگ بین سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۰ است. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که برآورد قیمت سایه‌ای هر محصول به صورت جداگانه ممکن است به برآورد بیش از اندازه بهره‌وری نهایی و ناچیز قیمت سایه‌ای منجر شود. ژو و همکاران[5] (۲۰۱۵)، اقدام به برآورد قیمت سایه‌ای انتشار $CO_2$ برای بخش‌های صنعتی شانگهای چین با استفاده از روش تابع فاصله‌ای چندبُعدی می‌کنند و نتیجه می‌گیرند میانگین وزنی کلی برآورد قیمت سایه‌ای روش‌های مختلف بین ۳۹۴/۵ و ۱۹۰۶/۱ یوان است که نشان می‌دهد انتخاب مدل، اثر قابل‌توجهی در برآورد قیمت سایه‌ای دارد. همچنین، آن‌ها یک رابطه منفی بین قیمت سایه‌ای انتشار $CO_2$ و شدت کربن شناسایی می‌کنند که نشان می‌دهد صنایع سنگین با شدت کربن بالاتر تمایل به قیمت سایه پایین‌تری دارند. آگوی‌لرا[6] (۲۰۱۴)، در بررسی نقش گاز طبیعی در کاهش کربن در مناطق آسیای میانه، مدل بازار جهانی انرژی (GEM)[7] را مورد استفاده قرار می‌دهند تا سهم بازار گازها، مایعات، و جامدات در منطقه آسیا مورد بررسی قرار گیرد. او نتیجه‌گیری می‌کند که منطقهٔ آسیا دارای منابع گاز طبیعی وسیع است که برای توسعه آن نیازمند سیاست‌های مناسب است. برای مثال، انگیزه برای سرمایه‌گذاری در فناوری LNG و گاز ضروری است و اگر سرمایه‌گذاری به‌موقع انجام نشود، سهم بازار افزایش نمی‌یابد. علاوه بر این، مهم است که دخالت دولت مانعی برای توسعه گاز منطقه و صنایع LNG نباشد. دو و همکاران[8] (۲۰۱۵)،

1. Slacks
2. Lee & Zhou
3. Directional Marginal Productivity
4. Directional Shadow Prices
5. Zhou *et al*.
6. Aguilera
7. Global Energy Market Model
8. Du *et al*.

به برآورد منحنی هزینه نهایی کاهش (MACC)[1] انتشار $CO_2$ در چین بر اساس پنل استانی در دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۱۰ می‌پردازند. آن‌ها چهار نوع مدل خاص را برای ارتباط برقرار کردن بین هزینه نهایی کاهش و شدت کربن بکار می‌برند. یک سناریو شبیه‌سازی‌شده از چین، کاهش شدت کربن بین ۴۵-۴۰ درصد را با منحنی هزینه نهای کاهش نشان می‌دهد. نتایج دیگر سناریوها نشان می‌دهد که چین به مقدار ۶۲۳-۵۵۹ یوان/تن (تقریباً ۵۷-۵۱ درصد)، افزایش در هزینه نهایی کاهش را متحمل می‌شود که برابر با ۴۵-۴۰ درصد کاهش در شدت کربن سال ۲۰۰۵ است. لی و ژو (۲۰۱۵)، نشان می‌دهند که قیمت سایه‌ای و هزینه نهایی کاهش، رهنمودهای باارزشی را برای حمایت از سیاست‌های قانونی زیست‌محیطی $So_2$، $CO_2$، و $No_x$ و همکاری‌های مهم برای تغییر شرایط آب‌وهوایی فراهم می‌کنند. این پژوهش در کنار مدل‌های موجود با توضیح رویکرد کارایی نهایی جهت‌دار (DMP)[2] برای تخمین قیمت سایه‌ای جهت‌دار (DSPs)، جایگزینی بین سه انتشار را ارائه می‌دهد و به‌طور مشترک برای همه تخمین‌ها استفاده می‌شود. آن‌ها نتیجه می‌گیرند که تخمین قیمت سایه‌ای به‌طور جداگانه برای هر تولیدکننده ممکن است به برآورد بیش از حد کارایی انرژی تحت قیمت سایهای منجر شود. یانگ و همکاران[3] (۲۰۱۷)، به بررسی روش جدیدی برای هزینه‌های خارجی که راه‌حل بهینه را برای توزیع گاز طبیعی نشان می‌دهد، می‌پردازند. در واقع، توزیع منطقه‌ای گاز طبیعی و سایر منابع انرژی با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های خارجی و اقتصادی، بهینه‌سازی می‌شود. آن‌ها نشان می‌دهند که عرضه گاز طبیعی باید برای پکن و شانگهای اولویت‌بندی شود و با توجه به هزینه‌های بالاتر خارجی و بهینه‌سازی توزیع می‌تواند هزینه کلی چین را ۴ درصد کاهش دهد. همچنین، نتیجه می‌گیرند که کم‌ترین تقاضای انرژی، بیش‌ترین عرضه گاز طبیعی، و کم‌ترین تقاضای گاز طبیعی از پارامترهای کلیدی برای بهینه‌سازی توزیع گاز طبیعی در هر منطقه هستند. دوان و همکاران[4] (۲۰۱۷)، نشان می‌دهند که ۱. تفاوت بزرگی از نظر هزینه کاهش آلودگی انتشار $CO_2$ در هر ناحیه چین وجود دارد. قیمت‌سایه‌ای در ناحیه شرقی ساحلی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از دیگر استان‌های شرقی است و قیمت سایه‌ای استان‌های شرقی بالاتر از استان‌های مرکزی و غربی چین است؛ ۲. قیمت سایه‌ای $CO_2$ صنعت فولاد و آهن در بیش‌تر نواحی، سال به سال به سمت پایین متمایل است؛ و ۳. قیمت سایه‌ای برآوردشده بالاتر از قیمت تجاری هفت ناحیه چین در بازار کربن است.

1. Marginal Abatement Cost Curve
2. Directional Marginal Productivity
3. Yang *et al*.
4. Duan *et al*.

سپهری (۱۳۷۶)، به بررسی تاثیر اقتصادی مصرف گاز در ایران می‌پردازد. سهم مصرف گاز طبیعی به کل مصارف هیدروکربوری کشور که در سال ۱۳۷۳ به ۳۴ درصد می‌رسد، و پیش‌بینی می‌شود تا پایان سال ۱۳۷۸ (سال پایانی برنامه پنجساله دوم)، به بیش از ۴۳ درصد افزایش یابد. بدین ترتیب، حدود ۸۰ درصد جمعیت شهری کشور ایران زیر پوشش شبکه گاز طبیعی قرار می‌گیرند. شاخص مصرف سرانه انرژی به‌طور معمول در جوامع درحال‌توسعه کم‌تر از جوامع توسعه‌یافته است. در سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۶۷، مصرف سرانه انرژی نهایی در ایران با نرخ رشد ۵/۸ درصد، از ۶/۳۸ بشکه معادل نفت خام، به ۹/۵ بشکه معادل نفت خام می‌رسد که حاکی از مصرف بالای سرانه انرژی است. اسماعیلی و محسن‌پور (۱۳۸۷)، اقدام به برآورد قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی در نیروگاه‌های ایران با استفاده از روش تابع مسافت نهاده می‌کنند. متوسط قیمت سایه‌ای آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد به‌ترتیب برابر با ۱۴۹۹۰/۹ و ۱۷۶۸۷/۳ ریال به‌ازای هر کیلوگرم آلاینده‌های اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد منتشرشده به محیط‌زیست است. شاکری و همکاران (۱۳۸۹)، نشان می‌دهند که بخش‌های اقتصادی شامل حمل‌ونقل با ایجاد هزینه اجتماعی خدمات، کشاورزی، و صنایع به‌ترتیب رتبه‌های یکم تا چهارم را در ایجاد هزینه‌های اجتماعی استان تهران به خود اختصاص می‌دهند. به نظر ناجی میدانی و رحیمی (۱۳۹۵)، نتایج مدل‌های مختلف درباره تعیین قیمت، مقدار، و تعرفه بهینه برای دو بازی همکارانه و غیرهمکارانه این است که نفع کشورهای عضو در بازی همکارانه به‌مراتب بیش‌تر از بازی غیرهمکارانه است. اوحدی و همکاران (۱۳۹۷)، نشان می‌دهند که کشور ایران با دارا بودن میانگین زیست‌کارایی انرژی برابر با ۵۰ و ۵۴ به‌ترتیب در حالت بازدهی ثابت و متغیر به مقیاس، از کم‌ترین میزان زیست‌کارایی انرژی نسبت به سایر کشورهای نفتی برخوردار است. همچنین، بین استفاده از سوخت‌های فسیلی و میزان جمعیت با زیست‌کارایی انرژی رابطه منفی و معناداری وجود دارد، در حالی که بین درجه باز بودن تجاری با زیست‌کارایی انرژی رابطه مثبت و معناداری دیده می‌شود.

## روش‌شناسی پژوهش

برای برآورد قیمت سایه‌ای از توابع فاصله‌ای با تحلیل پوششی داده‌ها از نسخه ۲۳ نرم‌افزار گمز[1] استفاده می‌شود. از مزیت تابع فاصله‌ای این است که در آن امکان بررسی تغییرهای نامتناسب در خروجی‌ها وجود دارد، زیرا افزایش خروجی‌های خوب را امکان‌پذیر می‌سازد، و همزمان خروجی‌های

1. Gams

بد را کاهش می‌دهد. مدل‌های پارامتریک و غیرپارامتریک به صورت فرمول ارائه می‌شوند. 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؛ و ج. فرموله کردن یک مدل پارامتریک/ ناپارامتریک برای محاسبه قیمت سایه‌ای.

## روش‌های برآورد قیمت سایه‌ای

### فناوری تولید زیست‌محیطی

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

$$(y, b) \in R_{+}^{2} \qquad (۱)$$

فرایند تولید مشترک می‌تواند توسط یک فناوری تولید زیست‌محیطی مدلسازی شود، که به دو شکل مجموعه امکانات تولید و مجموعه نهاده‌های مورد نیاز است و به‌ترتیب به صورت زیر نشان داده می‌شوند:

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

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

در نظریه تولید با چند خروجی، ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب اغلب با قابلیت دسترسی قوی[1] تصور می‌شوند، در حالی که خروجی‌های (مطلوب و نامطلوب)، با قابلیت دسترسی ضعیف[2] تصور می‌شوند (Färe *et al*., 2005). قابلیت دسترسی قوی نشان می‌دهد که ورودی (یا خروجی مطلوب)، را می‌توان بدون تحمل هرگونه هزینه، کاهش یا افزایش داد. قابلیت دسترسی ضعیف بر تولید مشترک گازهای گلخانه‌ای $CO_2$ به عنوان خروجی نامطلوب و محصولات بخش‌ها به عنوان خروجی مطلوب تحمیل می‌شود. برای مثال:

$$(y, b) \in p(x), \text{و } 0 \leq \theta \leq 1 \rightarrow (\theta y, \theta b) \in p(x), \qquad (۴)$$

1. Strongly Disposable
2. Weakly Disposable

که نشان می‌دهد کاهش خروجی‌های نامطلوب (گازهای گلخانه‌ای)، مستلزم کاهش متناسب خروجی مطلوب (محصولات بخش‌های مختلف) است. این شرایط نشان می‌دهد که تولید خروجی‌های نامطلوب متوقف نمی‌شود، مگر کل فرایند تولید متوقف شود. این ویژگی به نام غیرـجداپذیری[1]، به صورت زیر بیان می‌شود:

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

فناوری تولید زیست‌محیطی می‌تواند به‌طور کامل توسط تابع فاصله‌ای جهت‌دار یا تابع فاصله‌ای شفارد[2] مشخص شود. تابع فاصله‌ای شفارد در دو نسخه متداول، یعنی تابع فاصله‌ای خروجی و ورودی شفارد استفاده می‌شود. در توصیف فناوری تولید زیست‌محیطی، قانون نگاشت مندرج در تابع فاصله‌ای نقش مهمی 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. در مقابل، تابع فاصله جهت‌دار با انعطاف بیش‌تر یک کاهش همزمان از خروجی بد و گسترش خروجی مطلوب را امکان‌پذیر می‌کند (Färe *et al*., 2005; Chung *et al*., 1997). روابط ریاضی، توابع فاصله‌ای خروجی شفارد، ورودی شفارد، و توابع فاصله‌ای جهت‌دار خروجی به‌ترتیب نشان داده می‌شوند:

$$D_0(\mathrm{x}, \mathrm{u}) = \inf\left\{\theta: \left(\frac{\mathrm{u}}{\theta}\right) \in \mathrm{p}(\mathrm{x})\right\} \qquad (۶)$$

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

$$\vec{D}_0(x, y, b; g_y, g_b) = SUP\{\beta: (y + \beta g_y, b - \beta g_b) \in p(x)\} \qquad (۸)$$

در معادله بالا، $(g_y, g_b)$ بردار جهت‌دار تعیین‌شده برای تابع فاصله‌ای جهت‌دار است و بردارهای جهت‌دار مختلف، کاربردهای متفاوتی دارند. زمانی که گسترش خروجی مطلوب و کاهش خروجی نامطلوب را انتظار داریم، بردارهای جهت‌دار $(y, -b)$ با هم استفاده می‌شوند.

## استخراج فرمول قیمت سایه‌ای

پس از استخراج فناوری تولید با استفاده از توابع فاصله‌ای، مرحله دوم استخراج فرمول قیمت

1. Null-Jointness
2. Shephard

سایه‌ای از فناوری تولید زیست‌محیطی است. رابطه دوگانگی بین تابع فاصله‌ای و درآمد، هزینه یا تابع سود نقش اساسی در استخراج قیمت سایه‌ای خروجی نامطلوب دارد (Färe & Grosskopf, 2000). برای سه تابع فاصله داده‌شده (۸و۷و۶)، می‌توانیم فرمول‌های محاسبه‌ای مربوطه به قیمت سایه‌ای خروجی بد را با استفاده از روش‌های لاگرانژ و لم دوگانه شفارد استخراج کنیم (Hailu & Veeman, 2000).

$$r_b = r_y \cdot \frac{\partial D_0(x,u)/\partial b}{\partial D_0(x,u)/\partial y} \quad (۹)$$

$$r_b = r_y \cdot \frac{\partial D_i(u,x)/\partial b}{\partial D_i(u,x)/\partial y} \quad (۱۰)$$

$$r = r_y \cdot \frac{\partial \vec{D}_0(x,y,b;g_y,-g_b)/\partial b}{\partial \vec{D}_0(x,y,b;\ g_y,-g_b)/\partial y} \quad (۱۱)$$

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 بازاری‌اش است. بیانِ کسری در سمت راست معادله‌های بالا، نرخ نهایی تبدیل بین دو خروجی را نشان می‌دهد. قیمت سایه‌ای خروجی نامطلوب، برای نمونه هزینه نهایی ناشی از تحمیل قابلیت دسترسی ضعیف یا هزینه فرصت کاهش این خروجی برحسب کاهش خروجی مطلوب تفسیر می‌شود (Färe *et al*., 2005; Zhou *et al*., 2015). ما برای محاسبه توابع فاصله‌ای در معادله‌های بالا از مدل کارایی پارامتریک و غیرپارامتریک برای تخمین قیمت سایه‌ای انتشار $CO_2$ استفاده می‌کنیم. مدل پارامتریک به عنوان یک تابع از پیش تعیین‌شده همانند تابع دوگانه یا تابع ترانسلوگ است. یک مدل پارامتریک قوی که تابع فاصله‌ای متفاوتی است، تخمین قیمت سایه‌ای و تفسیر نتایج را امکان‌پذیر می‌کند. در نرم‌افزار، تابع فاصله‌ای خروجی یا ورودی شفارد اغلب با یک تابع ترانسلوگ همراه است، در حالی که تابع فاصله‌ای جهت‌دار اغلب به شکل تابع درجه دوم با همان خصوصیات است.

## روش‌های تخمین قیمت سایه‌ای آلودگی

دو روش تخمین پارامتریک و غیرپارامتریک در بررسی تابع فاصله‌ای استفاده می‌شوند. در این پژوهش از روش غیرپارامتریک استفاده می‌شود. برای محاسبه یا تخمین پارامترهای تابع فاصله‌ای از برنامه‌ریزی خطی یا تجزیه‌وتحلیل مرزی تصادفی (SFA)[1] استفاده می‌شود و برای محاسبه پارامترهای تابع فاصله‌ای، یک مدل

1. Stochastic Frontier Analysis

برنامه‌ریزی خطی مشخص می‌شود. هدف، پیدا کردن مجموعه‌ای از پارامترها برای کمینه‌سازی مجموع انحراف مقادیر تابع فاصله‌ای از مرز فناوری تولید زیست‌محیطی است. شرایط محدودیت امکان‌سنجی، یکنواختی، و همگن خطی را دربرمی‌گیرد. معادله‌های زیر به‌ترتیب مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، برای محاسبه پارامترهای خروجی شفارد، ورودی شفارد، و تابع فاصله‌ای جهت‌دار را نشان می‌دهد:

$$
\begin{aligned}
&Max \sum_{n}[lnD_0(x^n,u^n)-ln1]\\
&\text{s.t.}\quad lnD_0(x^n,u^n)\le 0\,;\\
&\quad lnD_0(x^n,u^n)/\partial lny^n \ge 0\,;\\
&\quad nD_0(x^n,u^n)/\partial lnb^n \le 0\,;\\
&\quad \partial lnD_0(x^n,u^n)/\partial lnx^n \le 0\,;\\
&\textstyle\sum_j \alpha_j = 1, \sum_j \sum_{j'} \gamma_{jj'} = \sum_i \sum_j \beta_{ij} = 0
\end{aligned}
\qquad (۱۲)
$$

$$
\begin{aligned}
&\gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, i \ne i';\ \gamma_{jj'} = \gamma_{j'j}, j \ne j';\\
&Min \sum_{n}[lnD_i(x^n,u^n)-ln1]\\
&s.t.\ lnD_i(x^n,u^n)\ge 0;\\
&\quad lnD_i(x^n,u^n)/\partial lny^n \le 0\,;\\
&\quad \partial lnD_i(x^n,u^n)/\partial lnb^n \ge 0\,;\\
&\quad \partial lnD_i(x^n,u^n)/\partial lnx^n \ge 0\,;\\
&\textstyle\sum_i \alpha_i = 1;\ \sum_i \sum_{i'} \gamma_{ii'} = 0;\ \sum_i \sum_j \beta_{ij} = 0\\
&\quad \gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, i \ne i';\ \gamma_{jj'} = \gamma_{j'j}, j \ne j';
\end{aligned}
\qquad (۱۳)
$$

$$
\begin{aligned}
&Min \sum_{n}\left[\vec{D}_0(x^n,y^n,b^n 1,-1)-0\right]\\
&\text{s.t}\ \vec{D}_0(x^n,y^n,b^n 1,-1)\ge 0;\\
&\quad \partial\vec{D}_0(x^n,y^n,b^n 1,-1)/\partial y^n \le 0;\\
&\quad \partial\vec{D}_0(x^n,y^n,b^n 1,-1)/\partial b^n \ge\\
&\partial\vec{D}_0(x^n,y^n,b^n 1,-1)/\partial x^n \ge 0;\\
&\alpha_m - \alpha_k = -1;\ \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3\\
&\textstyle\sum_i \mu_{i1} = \sum_i \mu_{i2}\\
&\gamma_{ii'} = \gamma_{i'i}, i \ne i'
\end{aligned}
\qquad (۱۴)
$$

روش غیرپارامتریک شفارد یا تابع فاصله‌ای جهت‌دار می‌تواند با تجزیه‌وتحلیل پوشش داده‌ها (DEA)[1] بررسی شود. DEA یک روش غیرپارامتریک متداول برای ارزیابی عملکرد است. در پژوهش‌های انرژی و زیست‌محیطی به صورت وسیعی در ارزیابی‌های عملکرد پایه‌ای انرژی و انتشار $CO_2$ بکار می‌رود. ابتدا DEA، تابع فاصله‌ای جهت‌دار را برای قیمت سایه‌ایی محاسبه می‌کند. از DEA و تابع فاصله‌ای جهت‌دار برای تخمین قیمت سایه‌ای استفاده می‌شود و به این وسیله مسئله برنامه‌ریزی خطی حل می‌شود. روش غیرپارامتریک DEA نیز می‌تواند برای محاسبه قیمت سایه‌ای خروجی‌های نامطلوب مورد استفاده قرار گیرد. روش DEA به عنوان یک روش مرزی غیرپارامتریک معتبر برای ارزیابی کارایی، و به‌طور گسترده، برای ارزیابی عملکرد میزان انتشار کربن و بررسی راهبردها برای تخصیص کارای هزینه انتشار $CO_2$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برآورد قیمت سایه‌ای خروجی‌های نامطلوب، DEA اغلب همراه با DDF[2] است (Zhou *et al*., 2014). مدل DEA غیرپارامتریک به صورت مدل (۱۵) است:

$$\vec{D}(x,y,b;1,-1)=max\beta$$
$$s.t\ \sum_{i=1}^{k}\lambda_i y_i \geq (1+\beta)y^n$$
$$\sum_{i=1}^{k}\lambda_i b_i=(1-\beta)b^n \qquad (۱۵)$$
$$\sum_{i=1}^{k}\lambda_i x_i \leq x^n$$
$$\beta \geq 0;\ \lambda_i \geq 0, i=1,2,\dots k$$

در این‌جا $y^n$، $b^n$ و $x^n$ خروجی خوب، انتشار $CO_2$ و بردار ورودی‌ها برای n واحد تولیدی، و $\lambda_i$ متغیرهای شدت هستند. در این معادله، اثر برابری علامت بر محدودیت انتشار $CO_2$ بازتابی از فرض جداپذیری ضعیف را نشان می‌دهد. در برنامه‌ریزی خطی، محدودیت یکسان نشان می‌دهد که علامت متغیر دوگان نامحدود است که اثر القایی، آزاد بودن علامت را بر قیمت سایه‌ای تحمیل می‌کند. چندین پژوهشگر از جمله هیالو و ویمن[3] (۲۰۰۱)، از محدودیت نابرابری (≤) در خروجی نامطلوب استفاده می‌کنند که می‌تواند برآوردی از قیمت سایه‌ای را با یک علامت مثبت ایجاد کند. از لحاظ نظری،

1. Data Envelopment Analysis
2. Directional Distance Function
3. Hailu &Veemen

محدودیت نابرابری به‌طور ضمنی خروجی‌های نامطلوب را به عنوان ورودی‌هایی که ممکن است روند تولید واقعی را منعکس نکند، مورد بررسی قرار می‌دهد. فرمول معادله DEA به عنوان رابطه متغیرهای دوگانه برای محدودیت‌های خروجی‌های بد و خوب در معادله (۱۶) محاسبه می‌شود. با این حال لی و ژو (۲۰۱۵)، استدلال می‌کنند که مشاهده‌هایی که از همان نقطه مشابه مرزی برخوردارند (معادله ۱۶)، همان قیمت سایه‌ای است که بوید و همکاران[1] (۱۹۹۶) در نظر می‌گیرند. بنابراین لی و ژو (۲۰۱۵)، عامل همبستگی ناکارایی و فرمول قیمت سایه‌ای را به صورت زیر تصحیح می‌کنند:

$$r_b = -r_y \cdot \frac{\partial \vec{D}_0(x,\sigma_y y,\sigma_b b;1,-1)/\partial(\sigma_b b)}{\partial \vec{D}_0(x,\sigma_y y,\sigma_b b;1,-1)/\partial(\sigma_y y)} \cdot \frac{\sigma_b}{\sigma_y} \qquad (۱۶)$$

در حالی که $\sigma_y, \sigma_b$ عامل ناکارایی است، $\sigma_y/\sigma_b = (\beta-1)(1+\beta)$ است. نیاز به اشاره است که با استفاده از برنامه‌ریزی غیرپارامتریک و با توجه به قیود بالا، نتایج تخمین متغیر دوگان در نرم‌افزار گمز در جداول (۱)، (۲)، و (۳) در پیوست آورده می‌شود.

### محاسبه انتشار دی‌اکسیدکربن ($Co_2$)

برای محاسبه انتشار دی‌اکسید کربن در هر بخش از فرمول (۱۷) استفاده می‌شود.

$$CE_{\mathrm{ff}} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{nfc}} (\mathrm{FC_i} \times \mathrm{EF_i}) \qquad (۱۷)$$

$\mathrm{FC_i}$ بیانگر کل ارزش حرارتی از نوع سوخت iام با واحد BTU است. $\mathrm{EF_i}$ بیانگر ضریب انتشار از نوع سوخت iام با واحد $TCO_2$/BTU است. $CE_{\mathrm{ff}}$ بیانگر تعداد کل انواع سوخت‌های مصرفی است. $CE_{ff}$ بیانگر میزان کل انتشار آلاینده $CO_2$ ناشی از مصرف سوخت‌هاست. ضریب انتشار هر نوع از سوخت معادل نسبت میزان انتشار آلاینده به‌ازای هر واحد مصرف سوخت است. تمامی آمار مورد نیاز برای محاسبه ضریب انتشار از ترازنامه انرژی کشور به‌دست می‌آید. پس از آن‌که هزینه نهایی کاهش کربن برای هر بخش به‌دست آمد، بر اساس قیمت تمام‌شده هر بخش برحسب مصرف گاز و گازوییل (به میلیون BTU)، می‌توان با استفاده از رانت کربن به قیمت گاز و گازوییل بر اساس رانت کربن دست یافت.

1. Boyd *et al*.

رانت کربن برای هر بخش از فرمول زیر محاسبه می‌شود:
قیمت اجتماعی مصرف گاز = قیمت تمام‌شده گاز + هزینه خارجی (آلودگی)
قیمت اجتماعی مصرف گازوییل = قیمت تمام‌شده گازوییل + هزینه خارجی (آلودگی)
رانت = تفاوت بین قیمت اجتماعی دو حامل انرژی

## داده‌ها و متغیرها

هدف این پژوهش، قیمتگذاری گاز طبیعی بر مبنای هزینه‌های اجتماعی ناشی از کربن برای شرکت گاز استان کرمان است. استان کرمان دارای دو اقلیم کاملاً متفاوت آب‌وهوایی است. مساحت استان کرمان ۱۸۲۷۲۶ کیلومتر مربع است که ۱۱/۲ درصد از سطح کشور را دربرمی‌گیرد. و به دلیل وجود معادن غنی و کارخانه‌های بزرگ یکی از استان‌های صنعتی کشور است که مصرف انرژی بالایی دارد، که در کنار آن، قیمت سایه‌ای کربن برای مصرف گاز طبیعی و گازوییل به عنوان سوخت جایگزین در بخش صنعت و تجاری–خانگی نیز محاسبه می‌شود. داده‌های مورد نیاز برای سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ و با در نظرگرفتن سه بخش مصرف‌کننده گاز طبیعی و گازوییل استان کرمان شامل نیروگاه، صنعت، و خانگی-تجاری از شرکت گاز کرمان و مرکز آمار ایران، اتاق اصناف کرمان، نیروگاه سیکل ترکیبی کرمان، و سالنامه‌های آماری استان کرمان استخراج می‌شوند. متغیرهای مورد نیاز شامل سه نهاده سرمایه (K)، نیروی کار (L)، انرژی (E)، دو ستانده محصول مطلوب (y)، محصول نامطلوب ($Co_2$)، و قیمت محصول مطلوب (ry) است که برای متغیر محصول مطلوب، ارزش تولید برای هر یک از بخش‌های نیروگاه، صنعت، و خانگی ـ تجاری از مرکز آمار کرمان و شرکت توزیع برق کرمان استخراج می‌شود و به دلیل در دسترس نبودن قیمت محصول مطلوب برای هر یک از بخش‌های اقتصادی از ضرب شاخص قیمت تولیدکننده در سهم ارزش‌افزوده هر یک از بخش‌ها از کل ارزش‌افزوده کشور به عنوان قیمت محصول مطلوب استفاده می‌شود.

## نتایج تخمین

مدل برنامه‌ریزی غیرخطی با استفاده از نسخه ۲۳ نرم‌افزار گمز حل می‌شود. مقدار تابع هدف و مقادیر متغیرهای دوگان برای فرمول قیمت سایه‌ای و میزان کارایی تخمین زده می‌شود و با استفاده از نرم‌افزار اکسل[1] ۲۰۱۵، قیمت‌های سایه‌ای محاسبه می‌شوند و هزینه نهایی کاهش $Co_2$ برای گاز و گازوییل برای سه بخش به‌دست می‌آید. برای اجتناب از مشکلات واگرایی، داده‌ها با روش نرمالیزه کردن همگن می‌شوند و لگاریتم هر یک از متغیرهای نهاده و ستانده در نظرگرفته می‌شوند. با استفاده از برنامه‌ریزی غیرپارامتریک

1. Excel

و با توجه به قیود بالا، نتایج اجرای مدل در نرم‌افزار گمز در ادامه ارائه می‌شود:

## مقادیر کارایی هر بخش

میزان کارایی هر بخش برای سال‌های (۱۳۹۵-۱۳۹۲) محاسبه و در جداول زیر ارائه می‌شود.

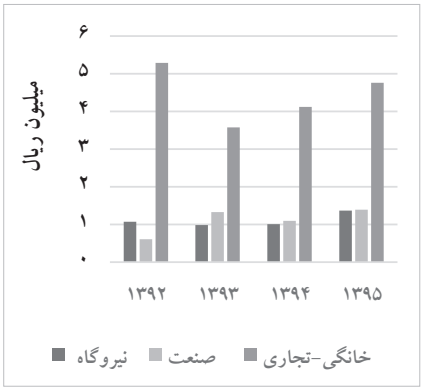
**جدول ۱: نتایج تخمین کارایی با مصرف گاز طبیعی برای بخش‌ها در دوره زمانی (۱۳۹۵-۱۳۹۲)**

| مقدار | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۵ |
|---|---|---|---|---|
| بخش نیروگاه | ۰/۴۱۰ | ۰/۴۱۰ | ۰/۳۵۰ | ۰/۷۳۲ |
| بخش صنعت | ۰/۳۲۲ | ۰/۱۲۲ | ۰/۶۴۷ | ۰/۰۸۴ |
| بخش خانگی ـ تجاری | ۰/۲۵۶ | ۰/۲۹۴ | ۰/۴۵۸ | ۰/۹۸۵ |

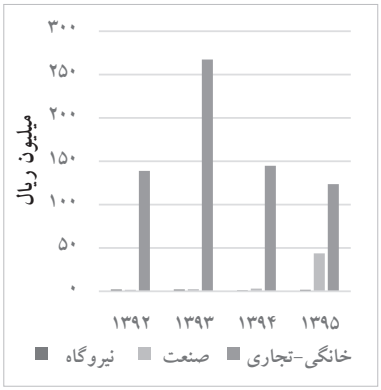
**جدول ۲: نتایج تخمین کارایی با مصرف گازوییل برای بخش‌ها در دوره زمانی (۱۳۹۵-۱۳۹۲)**

| مقدار | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۵ |
|---|---|---|---|---|
| بخش نیروگاه | ۰/۹۹ | ۰/۱۳۲ | ۰/۱۴۰ | ۰/۶۷۵ |
| بخش صنعت | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۶۰ | ۰/۰۰۲ | ۰/۲۲۵ |
| بخش خانگی ـ تجاری | ۰/۴۸۲ | ۰/۴۷۱ | ۰/۶۱۶ | ۰/۹۸ |

**هزینه نهایی کاهش $Co_2$ (محاسبه قیمت سایه‌ای کربن)**




**نمودار ۱: قیمت سایه‌ای کربن گاز طبیعی (تن)**




**نمودار ۲: قیمت سایه‌ای کربن گازوییل (تن)**

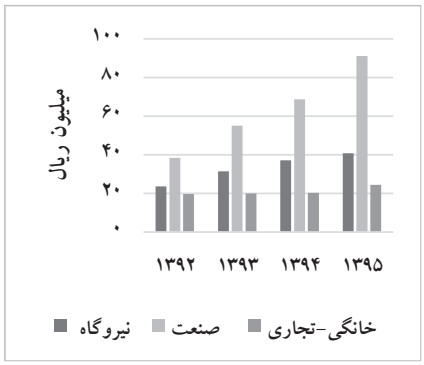
نمودار (۱) و (۲)، قیمت سایه‌ای کربن سه بخش ناشی از مصرف گاز طبیعی را در دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۲ نشان می‌دهد. همان‌طور که روشن است، برای بخش نیروگاهی قیمت سایه‌ای به‌دست‌آمده با مصرف گاز طبیعی با قیمت سایه‌ای به‌دست‌آمده از مصرف گازوییل بسیار متفاوت است. کم‌ترین قیمت سایه‌ای کربن برای نیروگاه با مصرف گاز در سال ۱۳۹۳ و بیش‌ترین قیمت سایه‌ای مربوط به سال ۱۳۹۴ با مصرف گازوییل است.

**قیمت تمام‌شده گاز تحویلی و گازوییل برای سه بخش**

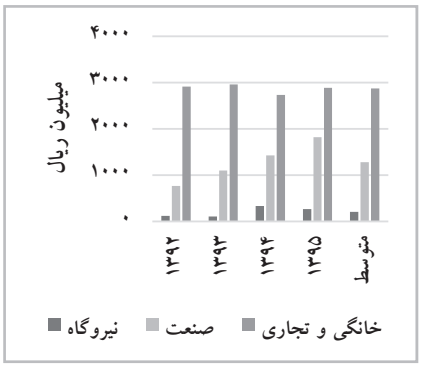
پس از به‌دست‌آوردن قیمت سایه‌ای هر بخش با مصرف گاز و گازوییل با واحد میلیون BTU، قیمت تمام‌شده گاز و گازوییل، و قیمت اجتماعی گاز و گازوییل که در واقع با محاسبه هزینه خارجی آلودگی است، محاسبه می‌شود. چون در قیمت تحویلی گاز در ایران یارانه وجود دارد، برای محاسبه قیمت واقعی گاز از قیمت گاز طبیعی صادراتی ترکیه استفاده می‌شود. قیمت تمام‌شده گاز برای هر هزار متر مکعب ۴۰۰ دلار است. اگر به قیمت تمام‌شده گاز، قیمت آلودگی را اضافه کنیم، قیمت اجتماعی گاز طبیعی به‌دست می‌آید. قیمت تمام‌شده گازوییل برای هر لیتر ۰/۰۷۶ دلار است. اگر به قیمت تمام‌شده گازوییل قیمت آلودگی کربن را اضافه کنیم، قیمت اجتماعی گازوییل با محاسبه هزینه اجتماعی ناشی از کربن محاسبه می‌شود. نیاز به اشاره است که هر دلار ۴۲۰۰۰ ریال در نظرگرفته می‌شود و قیمت هر تن آلودگی ۱۳ دلار است. در نمودارهای زیر، قیمت آلودگی هر میلیون BTU مصرف گاز و گازوییل و قیمت تمام‌شده ناشی از مصرف یک میلیون BTU به ریال ارائه می‌شود. قیمت تمام‌شده گاز به‌ازای هر میلیون BTU این‌گونه محاسبه می‌شود:

نیاز به اشاره است که هر متر مکعب گاز طبیعی با قیمت ۰/۴ دلار بر اساس قیمت صادراتی ترکیه است و نرخ دلار ۴۲۰۰۰ ریال در نظر گرفته می‌شود. و هر میلیون BTU برابر با ۲۹ مترمکعب گاز طبیعی است. قیمت تمام‌شده گازوییل به‌ازای هر میلیون BTU برابر است با:

نیاز به یادآوری است که هر میلیون BTU برابر با ۲۴/۷ لیتر گازوییل است و نرخ ارز ۴۲۰۰۰ ریال در نظرگرفته می‌شود و قیمت هر ۳/۸ لیتر (گالن آمریکا) گازوییل ۲/۹۰ دلار است.




**نمودار ۳: قیمت تمام‌شده گاز طبیعی (میلیون BTU)**

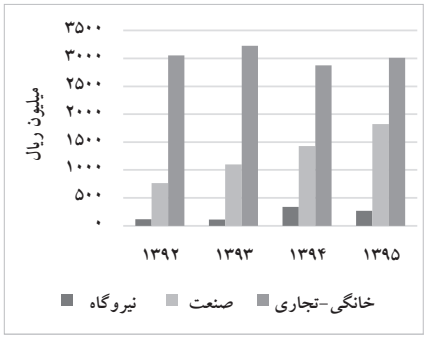



**نمودار ۴: قیمت تمام‌شده گازوییل (میلیون BTU)**

روند تغییرها برای قیمت تمام‌شده گاز برحسب میلیون BTU برای سه بخش صعودی است که با محاسبه هزینه نهایی $Co_2$، ادامه این روند را نشان می‌دهد. روند تغییرهای قیمت تمام‌شده گازوییل برحسب میلیون BTU برای سه بخش، غیرمشابه و متفاوت است. روند تغییرهای قیمت اجتماعی گاز برای دو بخش نیروگاه و صنعت همواره صعودی است و روند تغییرها برای بخش خانگی-تجاری تا سال ۱۳۹۳ نزولی است و از سال ۱۳۹۳ به بعد روند صعودی دارد. روند تغییرهای قیمت اجتماعی گازوییل برای بخش صنعت همواره صعودی است و برای دو بخش نیروگاه و خانگی-تجاری از روند باثباتی برخوردار نیست.

## قیمت اجتماعی گاز طبیعی و گازوییل برای سه بخش

**نمودار ۵: قیمت اجتماعی گاز طبیعی (میلیون BTU)**




**نمودار ۶: قیمت اجتماعی گازوییل (میلیون BTU)**

متوسط قیمت اجتماعی گاز طبیعی بخش خانگی-تجاری برابر با ۲۴/۷ میلیون ریال و برای گازوییل بخش خانگی-تجاری برابر با ۳۰۴۳/۷ میلیون ریال است. در دو بخش صنعت و خانگی-تجاری نیز مقایسه قیمت‌ها نشان می‌دهد که متوسط قیمت اجتماعی گازوییل بسیار بیش‌تر از متوسط قیمت اجتماعی گاز است که ناشی از قیمت بالای آلودگی گازوییل است.

**نمودار ۷: مقایسه قیمت تحویلی، قیمت تمام‌شده، و قیمت اجتماعی گاز نیروگاه میلیون BTU برحسب میلیون ریال در دوره ۱۳۹۵-۱۳۹۲**

نمودار (۷)، نشان می‌دهد که تفاوت زیادی بین قیمت تمام‌شده گاز تحویلی به مشتری و قیمت اجتماعی گاز طبیعی در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ وجود ندارد، که این امر ناشی از آلودگی پایین گاز طبیعی و قیمت پایین آلودگی آن است. ولی قیمت تحویلی به نیروگاه به‌طور متوسط ۸ درصد قیمت اجتماعی و ۹ درصد قیمت تمام‌شده گاز طبیعی است.

## بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، تخمین هزینه نهایی کاهش کربن بر اساس قیمتگذاری گاز طبیعی در استان کرمان است. متغیرهای مورد نیاز شامل موجودی سرمایه، نیروی کار، میزان مصرف انرژی، ارزش‌افزوده و میزان انتشار آلاینده $CO_2$ برای بخش‌های نیروگاه، صنعت، و خانگی-تجاری است. در این پژوهش، تابع فاصله‌ای جهت‌دار با قیودش معرفی می‌شود. پس از برآورد مدل برنامه‌ریزی غیرخطی، با توجه به تخمین تابع هدف و مقادیر متغیرهای دوگان تابع فاصله‌ای جهت‌دار برآورد قیمت سایه‌ای کربن در دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۲ برای سه بخش صورت می‌گیرد که نتایج نشان می‌دهد هزینه نهایی کاهش کربن در سه بخش تفاوت چشمگیری با یکدیگر دارند و روند تغییرهای قیمت سایه‌ای کربن در سه بخش بسیار متفاوت است. قیمت سایه‌ای به‌دست‌آمده برای بخش نیروگاه با مصرف سوخت گاز و گازوییل در دوره زمانی ۱۳۹۵-۱۳۹۲ نشان می‌دهد که قیمت سایه‌ای به‌دست‌آمده با مصرف گاز طبیعی کم‌تر از قیمت سایه‌ای به‌دست‌آمده از مصرف گازوییل است. پس از آن، نتایج قیمت اجتماعی گاز و گازوییل که با محاسبه قیمت آلودگی به‌دست می‌آید، نشان می‌دهد که قیمت اجتماعی نیروگاه‌ها در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ روند صعودی دارد. با توجه به این‌که مصرف گازوییل نیروگاه در این سال‌ها افزایش دارد، قیمت تمام‌شده سوخت نیروگاه و قیمت اجتماعی آن نیز روند صعودی دارد. برای نیروگاه‌ها بین قیمت تمام‌شده گاز و قیمت اجتماعی گاز که همراه با قیمت آلودگی است، تفاوت زیادی وجود ندارد که ناشی از آلودگی پایین گاز طبیعی است. قیمت اجتماعی سوخت صنعت در سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۵ روند صعودی دارد. قیمت تمام‌شده سوخت صنعت نیز در این سال‌ها صعودی است. علاوه بر این، برای بخش صنعت بین قیمت تمام‌شده گاز و قیمت اجتماعی گاز که همراه با قیمت آلودگی است، تفاوت زیادی وجود ندارد که ناشی از آلودگی پایین گاز طبیعی است. مقدار آلودگی ناشی از گازوییل بسیار بالاتر از مقدار آلودگی ناشی از مصرف گاز است و همین عامل به افزایش قیمت آلودگی گازوییل و در نهایت افزایش قیمت اجتماعی گازوییل منجر می‌شود. قیمت گاز طبیعی تحویلی به نیروگاه به‌طور متوسط ۸ درصد قیمت اجتماعی و ۹ درصد قیمت تمام‌شده گاز طبیعی است. روند هزینه نهایی کربن در طول سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۲ برای هر سه بخش با مصرف گازوییل افزایشی است و این روند برای مصرف گاز طبیعی هر سه بخش بخش خانگی-تجاری همواره کم‌تر از مصرف گازوییل است. در واقع، میزان آلودگی ناشی از مصرف گازوییل برای هر سه بخش همواره بیش‌تر از مصرف گاز است و همین عامل باعث افزایش قیمت آلودگی ناشی از کربن گازوییل در هر سه بخش می‌شود، و قیمت اجتماعی گازوییل سه بخش بسیار بالاتر از قیمت اجتماعی گاز طبیعی در این سال‌هاست.

همان‌طور که در بخش نتایج مشخص می‌شود، مقدار این هزینه و قیمتگذاری با استفاده از رانت کربن در بین این بخش‌ها تفاوت زیادی با یکدیگر دارد. پس پیشنهاد می‌شود که سهم گاز طبیعی در نیروگاه‌های حرارتی نسبت به سایر سوخت‌های پرکربن افزایش یابد. سازوکاری برای درونی کردن هزینه‌های خارجی از راه طراحی مالیات بر آلودگی اعمال گردد و جامعه از رانت کربن گاز برای مدیریت مصرف انرژی در فصول سرد سال برای جلوگیری از مصرف گازوییل در بخش صنعت و نیروگاهی کشور آگاه گردد. از طرفی، یک روش متداول دیگر برای صادرات گاز طبیعی تبدیل آن به برق و صادرات برق است. چون مقدار آلودگی گاز طبیعی پایین است، صادرات گاز طبیعی با تبدیل به برق و صادرات برق می‌تواند راهبرد مناسبی برای کشور باشد.

محدودیت اصلی این پژوهش، در دسترس نبودن قیمت بازاری محصول مطلوب برای هر یک از سه بخش است. برای این منظور، از ضرب شاخص قیمت تولیدکننده در سهم ارزش‌افزوده هر یک از بخش‌ها به عنوان قیمت محصول مطلوب استفاده شده است.

## منابع

### الف) فارسی


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

اوحدی، نسرین؛ شهرکی، جواد؛ پهلوانی، مصیب، و مردانی نجف‌آبادی، مصطفی (۱۳۹۷). محاسبه زیست‌کارایی انرژی و بررسی عوامل موثر بر آن در کشورهای نفت‌خیز. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲۳(۱)، ۹۶-۷۹.

خالقی، شهلا (۱۳۸۴). الگوی قیمتگذاری استانی گاز در بخش خانگی. *مجموعه بررسی‌های اقتصاد انرژی*، ۱(۱)، ۳۷-۲۴.

رحیمی، نسترن؛ کارگری، نرگس؛ صمدیار، حسن، و نیکخواه منفرد، محمد (۱۳۹۳). تعیین هزینه‌های اجتماعی (خارجی) انتشار $NO_X$، $SO_2$ و $CO_2$ در بخش انرژی کشور (نیروگاه‌ها). *نشریه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۶(۳)، ۱۱۷-۱۰۷.

سپهری، داریوش (۱۳۷۶). تاثیر اقتصادی مصرف گاز در ایران. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲(۱۰)، ۷۶-۶۷.

سیف، الله‌مراد (۱۳۷۹). *روش‌شناسی و کاربردهای تحلیل هزینه منابع داخلی (DRC): ارزیابی یک رهیافت جدید*. پایان‌نامه دکتری اقتصاد، دانشکده اقتصاد و علوم اداری دانشگاه اصفهان.

شاکری، عباس؛ موسوی، میرحسین، و صفرزاده، قادر (۱۳۸۹). برآورد قیمت سایه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی $SO_2$، $CO_2$، $NO_X$ در بخش حمل‌ونقل، *پژوهشنامه حمل‌ونقل*، ۱۱(۲)، ۱۴۴-۱۳۵.

لطفعلی‌پور، محمدرضا، و غمخوار، قاسم (۱۳۸۸). قیمتگذاری بهینه گاز طبیعی در شرکت گاز خراسان بزرگ با

استفاده از روش رمزی. *نشریه دانش و توسعه*، ۱۶(۲۷)، ۵۰-۲۳.

ناجی میدانی، علی‌اکبر، و رحیمی، غلامعلی (۱۳۹۵). مدل قیمتگذاری صادرات گاز طبیعی از طریق خط لوله بر اساس نظریه بازی‌ها. *نشریه مدلسازی اقتصادی*، ۱۰(۲)، ۴۹-۲۹.

## ب) انگلیسی

Aguilera, R. F. (2014). The Role of Natural Gas in a Low Carbon Asia Pacific. *Applied Energy*, 113(1), 1795-1800.

Bacon, R. W., & Bhattacharya, S. (2007). *Growth and CO2 Emissions: How Do Different Countries Fare?* The World Bank Environmental Department, Environmental Department Papers, 113-120.

Boyd, G., Molburg, J., & Prince, R. (1996). *Alternative Methods of Marginal Abatement Cost Estimation: Non-Parametric Distance Functions*. (No. ANL/DIS/CP-90838; CONF-9610179-3). Argonne National Lab., IL (United States). Decision and Information Sciences Div.

BP (2018). *BP Statistical Review of World Energy*. BP Statistical Review, London, UK, Accessed Aug, 6, 2018

Choi, Y., Zhang, N., & Zhou, P. (2012). Efficiency and Abatement Costs of Energy-Related CO2 Emissions in China: A Slacks-Based Efficiency Measure. *Applied Energy*, 98(1), 198-208.

Chung, Y. H., Färe, R., & Grosskopf, S. (1997). Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach. *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229-240.

Du, L., Hanley, A., & Wei, C. (2015). Estimating the Marginal Abatement Cost Curve of CO2 Emissions in China: Provincial Panel Data Analysis. *Energy Economics*, 48(1), 217-229.

Duan, Y., Li, N., Mu, H., & Li, L. (2017). Research on Provincial Shadow Price of Carbon Dioxide in China's Iron and Steel Industry. *Energy Procedia*, 142(1), 2335-2340.

Energy Information Administration (EIA), U. S. (2017). Annual Energy Outlook 2015: With Projections to 2040.

Färe, R., & Grosskopf, S. (2000). Theory and Application of Directional Distance Functions. *Journal of Productivity Analysis*, 13(2), 93-103.

Färe, R., Grosskopf, S., Noh, D.-W., & Weber, W. (2005). Characteristics of a Polluting Technology: Theory and Practice. *Journal of Econometrics*, 126(2), 469-492.

Gallaher, M., Delhotal, C., & Petrusa, J. (2005). *Region-Specific Marginal Abatement Costs for Methane from Coal, Natural Gas, and Landfills through.* 2030 Greenhouse Gas Control Technologies 7 (pp. 851-859): Elsevier.

Hailu, A., & Veeman, T. S. (2000). Environmentally Sensitive Productivity Analysis of the Canadian Pulp and Paper Industry, 1959-1994: An Input Distance Function Approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 40(3), 251-274.

Hailu, A., & Veeman, T. S. (2001). Non-Parametric Productivity Analysis with Undesirable Outputs: An Application to the Canadian Pulp and Paper Industry. *American Journal of*

*Agricultural Economics*, 83(3), 605-616.
Hamilton, C., & Turton, H. (2002). Determinants of Emissions Growth in OECD Countries. *Energy Policy*, 30(1), 63-71.
Lee, C.-Y., & Zhou, P. (2015). Directional Shadow Price Estimation of CO2, SO2 and NOx in the United States Coal Power Industry 1990–2010. *Energy Economics*, 51(1), 493-502.
Lise, W. (2006). Decomposition of CO2 Emissions Over 1980–2003 in Turkey. *Energy Policy*, 34(14), 1841-1852.
Wang, Q., Cui, Q., Zhou, D., & Wang, S. (2011). Marginal Abatement Costs of Carbon Dioxide in China: A Nonparametric Analysis. *Energy Procedia*, 5(1), 2316-2320.
Yang, X., Li, H., Wallin, F., Yu, Z., & Wang, Z. (2017). Impacts of Emission Reduction and External Cost on Natural Gas Distribution. *Applied Energy*, 207(1), 553-561.
Zhang, M., Mu, H., Ning, Y., & Song, Y. (2009). Decomposition of Energy-Related CO2 Emission Over 1991–2006 in China. *Ecological Economics*, 68(7), 2122-2128.
Zhou, P., Zhou, X., & Fan, L. (2014). On Estimating Shadow Prices of Undesirable Outputs With Efficiency Models: A Literature Review. *Applied Energy*, 130(1), 799-806.
Zhou, X., Fan, L., & Zhou, P. (2015). Marginal CO2 Abatement Costs: Findings from Alternative Shadow Price Estimates for Shanghai Industrial Sectors. *Energy Policy*, 77(1), 109-117.

## پیوست

### نتایج متغیر دوگان

**جدول ۱: نتایج تخمین متغیر دوگان برای بخش نیروگاه در دوره زمانی (۱۳۹۵-۱۳۹۲)**

| متغیر دوگان | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۵ |
|---|---|---|---|---|
| L | ۰/۱۶۸ | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۸۰ | ۰/۱۴۸ |
| E | ۳/۱۴۰ | ۱/۶۸۵ | ۲/۰۴۵ | ۰/۰۱۰ |
| K | ۶/۱۷۹ | ۵/۳۱۴ | ۶/۵۵۶ | ۱/۸۹۱ |
| Y | ۸/۶۶۲ | ۸/۷۵۵ | ۹/۳۵۰ | ۸/۹۱۷ |
| b | ۸/۰۹۷ | ۸/۰۹۷ | ۸/۲۲۳ | ۱۰/۶۴۳ |

**جدول ۲: نتایج تخمین متغیر دوگان برای بخش صنعت در دوره زمانی (۱۳۹۵-۱۳۹۲)**

| متغیردوگان | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۵ |
|---|---|---|---|---|
| L | ۰/۱۱۷ | ۰/۱۳۸ | ۰/۱۴۴ | ۰/۱۳۱ |
| E | ۱۷/۵۱۴۹ | ۱۸/۵۴۳۱ | ۱۸/۷۶۴۳ | ۱۹/۰۴۶۹ |
| K | ۱۱/۶۴۴۹ | ۷/۶۴۱۷ | ۷/۲۶۰۳ | ۹/۲۸۶۸ |
| Y | ۱۷/۵۶۴ | ۱۸/۲۰۹ | ۱۷/۹۹۷ | ۱۸/۱۷۰ |
| B | ۱۵/۲۴۵ | ۱۵/۶۰۷ | ۱۵/۸۲۸ | ۱۶/۱۱۱ |

**جدول ۳: نتایج تخمین متغیر دوگان برای بخش تجاری-خانگی در دوره زمانی (۱۳۹۵-۱۳۹۲)**

| متغیر دوگان | ۱۳۹۲ | ۱۳۹۳ | ۱۳۹۴ | ۱۳۹۵ |
|---|---|---|---|---|
| L | ۰/۰۵۴ | ۰/۹۵۲ | ۰/۱۸۰ | ۰/۷۹۴ |
| E | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۵۷ | ۰۲/۰۴۵ | ۰/۰۵۷ |
| K | ۱۱/۶۴۴۹ | ۴/۳۷۳ | ۶/۵۵۶ | ۳/۰۱۷ |
| Y | ۷/۵۷۷ | ۱۷/۰۲۷ | ۹/۳۵۰ | ۱۶/۵۳۹ |
| B | ۱۴/۵۷۹ | ۱۴/۵۹۴ | ۸/۲۲۳ | ۱۴/۶۶۴ |

نتایج بالا که با استفاده از نرم‌افزار گمز ارائه می‌شوند، برآورد متغیر دوگان متناظر با قیود مربوط به هر یک از متغیرها در قیمت سایه‌ای هستند که حاصل مشتق دوم تابع نسبت به هر یک از متغیرهاست. برای محاسبه، صورت و مخرج قیمت سایه‌ای فقط از دو متغیر دوگان مربوط به خروجی مطلوب و خروجی نامطلوب استفاده می‌شود.