مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره هفت، مهرماه ۱۴۰۳(۷۹-۶۵)

مدل‌سازی کارایی محیط زیستی بر اساس انتشار گازهای گلخانه‌ای از صنایع پتروشیمی (مطالعه موردی: منطقه صنعتی عسلویه، مجتمع پتروشیمی زاگرس)

الناز کیوانی [۱]

مجید عباسپور [*۲]

abbpor@sharif.edu

زهرا عابدی [۳]

مجید احمدیان [۴]

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۲۷

چکیده

زمینه و هدف: سهم عمده ای از آلودگی هوای مرتبط با فعالیتهای انسانی توسط صنایع نفت، گاز و پتروشیمی متکی بر سوخت های فسیلی تولید می شود. از این رو، با انجام مطالعات دانش بنیان می توان به هدف کنترل و کاهش تراکم آلاینده های حاوی کربن و همچنین درونی نمودن هزینه های خارجی در واحدهای نفت، گاز و پتروشیمی دست یافت.

روش بررسی: در سال ۱۳۹۸، انتشار معادل دی‌اکسید کربن بر اساس دستورالعمل‌های محاسبه انتشار گازهای گلخانه ای وزارت نفت برای داده‌های فصلی مجتمع پتروشیمی زاگرس طی سال های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶محاسبه و از نرم افزار DEAP به منظور برآورد کارایی‌ها از طریق تحلیل پوششی داده‌ها در همان بازه زمانی استفاده شد. کارایی محیط زیستی برمبنای اصل تعادل مواد و با استفاده از داده‌های انتشار کربن ناشی از احتراق سوخت برآورد شد.

یافته ها: نتایج نشان می‌دهند که در سال آغاز مطالعه میانگین امتیازات فصلی کارایی‌های فنی، محیط زیستی و تخصیصی محیط زیستی به ترتیب حدود ۰/۹۸، ۰/۹۰ و ۰/۹۲ و ناکارایی‌ها به ترتیب حدود ۲، ۱۰ و ۸ درصد بوده است. این امتیازات در سال پایانی مطالعه به ترتیب حدود ۰/۹۹، ۰/۹۴ و ۰/۹۴ و ناکارایی‌ها به ترتیب حدود ۱، ۶ و ۶ درصد برآورد شده اند.

بحث و نتیجه گیری: میانگین نسبت ستانده‌ها به داده‌ها (میانگین کارایی فنی) در سال ۱۳۹۰، ۹۸٪ است و مشخص می سازد واحد پتروشیمی می توانست محصول فعلی خود را با ۲٪ نهاده اولیه کمتر تولید نماید. میانگین کارایی‌های محیط زیستی و تخصیصی محیط

۱- دانشجوی دکتری اقتصاد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۳- استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، گروه مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۴- استاد دانشکده اقتصاد،گروه اقتصاد بین رشته‌ای، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

زیستی قابلیت احتمالی واحد پتروشیمی را در کاهش آلاینده‌های خود تا حدود ۱۰٪، ضمن حفظ همان مقدار محصول و تولید پاکتر و تخصیص یافته تر به میزان ۸٪ آشکار می‌سازد. در سال ۱۳۹۶، در صورتی که واحد پتروشیمی می توانست محصول فعلی خود را با ۱٪ مواد اولیه کمتر تولید کند، کاهش انتشار کربن به میزان ۶٪ به منظور تولید پاکتر و تخصیص یافته تر به میزان ۶٪ دور از انتظار نبود.

واژه های کلیدی: کارایی محیط زیستی، کارایی تخصیصی محیط زیستی ، تحلیل پوششی داده‌ها، اصل تعادل مواد، گازهای گلخانه‌ای.

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 7, October, 2024

Modeling Environmental Efficiency Based on Greenhouse Gas Emissions from Petrochemical Industries
(Case study: Assaluyeh industrial area, Zagros Petrochemical Complex)

Elnaz Keivani[1]
Madjid Abbaspour [2*]
abbpor@sharif.edu
Zahra Abedi [3]
Majid Ahmadian [4]

Admission Date:February 15, 2021 Date Received: September 28, 2020

Abstract

Background and Objective: A large proportion of human-related air pollution is produced by fossil-fuel-based oil, gas, and petrochemical industries. Hence, conducting knowledge-based studies can provide effective solutions to complex environmental problems, such as air pollution in industrial areas.

Material and Methodology: The carbon dioxide equivalent emissions were calculated according to the petroleum ministry's guidelines for calculating greenhouse gas emissions for Zagros petrochemical complex seasonal data, from 2011 to 2017, and Data Envelopment Analysis Program (DEAP) software was used to estimate efficiencies by applying data envelopment analysis (DEA), during the same period. Environmental efficiency was estimated based on the materials balance principle (MBP), using the carbon emissions data from fuel combustion.

Findings: The results indicate, in the first year of study, the mean seasonal scores of the technical, environmental, and environmental allocative efficiencies are about 0.98, 0.90, and 0.92, respectively, while the inefficiencies are about 2%, 10%, and 8%, respectively. In the last year of study, these scores are around 0.99, 0.94, and 0.94, respectively; besides, the inefficiencies have been estimated at about 1%, 6%, and 6%, respectively.

Discussion and Conclusion: The mean ratio of outputs to inputs (mean technical efficiency) is 98% in 2011, which specifies that the petrochemical plant could produce its current output with 2% less input. The mean environmental efficiency and the mean environmental allocative efficiency manifest the petrochemical plant's possible capability in reducing its pollutants by around 10% while producing the same and also the cleaner and allocative amount of output by 8%. In 2017, the reduction of 6% in carbon emissions to produce the cleaner and allocative amount of output by 6% was expected if the petrochemical unit could produce its current output with 1% less input.

Keywords: Environmental efficiency, Environmental allocative efficiency, Data envelopment analysis, Materials balance principle, Greenhouse gases.

1- Ph.D. Student of Environmental Economics, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2- Professor, School of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran. * (*Corresponding Author*)
3 - Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Environment, Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4- Professor, Faculty of Economics, Department of Interdisciplinary Economics, Tehran University, Tehran, Iran.

مقدمه

عسلویه از مهمترین پایگاه های اقتصادی ایران و همچنین یکی از بزرگترین مناطق تولید انرژی جهان در جنوبی ترین نقطه کشور است و نظر به موقعیت استراتژیک آن، به عنوان قلب انرژی ایران به شمار می رود (۱). در راستای اجرای برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی کشور و به منظور دستیابی به بازارهای جهانی و کسب سهم مناسبی از بازار متانول، مجتمع پتروشیمی زاگرس در سال ۱۳۷۹ در منطقه ویژه انرژی پارس جنوبی تأسیس گردید (۲). احتراق سوخت به عنوان واحد جدایی ناپذیر از صنایع نفت، گاز و پتروشیمی، نقش مهمی در انتشار آلاینده ها و آلودگی محیط زیست دارد و در عملیات پالایش موجب تولید گازهای گلخانه ای شده و فرایند گرم شدن زمین را تسریع می کند. از طرف دیگر مصرف سوخت موجب هدررفت منابع عظیمی از انرژی می‌شود که از لحاظ اقتصادی بسیار با اهمیت می باشد (۳). کاهش و کنترل این تلفات می تواند علاوه بر بهبود شرایط اقتصادی و حفظ سرمایه، موجب کاهش آلاینده ها و حفظ محیط زیست شود (۴). تولید همواره مستلزم به-کارگیری عوامل تولید است و هرگز بدون برداشت از منابع و افزودن ضایعات و پسماند به محیط میسر نمی باشد (۵). تولید پاک از دو طریق، استفاده اصولی از نهاده‌های تولید از طریق اعمال مدیریت مناسب برمصرف منابع و به کارگیری روشهای جدیدتر در ترکیب آنها، قابل حصول است (۶، ۵). یکی از راه های بهینه سازی ترکیب عوامل تولید، بهبود کارایی است. کارایی یک مفهوم مشترک میان علم اقتصاد و مدیریت و تبیین کننده میزان موفقیت یک واحد اقتصادی در استفاده بهینه از نهاده، برای تولید حداکثر ستانده در طی زمان و یا در قیاس با سایر واحدهای اقتصادی می باشد (۶، ۷). سنجش کارایی هر مجموعه بدین معنی است که مجموعه مورد نظر تا چه حد خوب کار می‌کند. پیچیدگی اطلاعات، آثار عوامل بیرونی، اثر واحدهای رقیب بر عملکرد، محدودیت واحدها در اخذ تصمیم-های مناسب و تغییرات ناگهانی خط‌مشی و ... از جمله عواملی هستند که نشان می دهند واحدهای اقتصادی بدون استفاده از روش‌ها و ابزارهای علمی کارآمد نمی توانند تصمیم های مناسبی جهت بهبود کارایی اتخاذ نمایند (۷). ارتقای کارایی در صنایع به کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی‌های محیط زیستی می انجامد (۶). کارایی نسبت مقدار منابعی را که برای تولید یک واحد محصول به مصرف رسیده اند به مقدار محصول تولید شده نشان می‌دهد. مفهوم کارایی فنی انجام فعالیت های مورد نظر با استفاده از کمترین منابع ممکن یا انجام بیشترین فعالیت های ممکن با استفاده از حجم مشخص از منابع می باشد (۶، ۸، ۹). کارایی محیط زیستی شامل تولید کالاها و ارائه خدمات ضمن به کارگیری انرژی و مواد اولیه کمتر می‌باشد و بدیهی است که این شکل از تولید ضایعات، آلودگی‌ها و هزینه‌های کمتر را نیز به دنبال خواهد داشت. تعریف کارایی تخصیصی محیط زیستی نسبتی میان کارایی محیط زیستی و کارایی فنی است که نشان دهنده میزان توانایی و قابلیت واحد تولید کننده در تولید پاک‌تر و تخصیص یافته تر می باشد (۸، ۹). هدف از انجام این مطالعه ارایه راهکارهای موثر برای کنترل و کاهش تراکم آلاینده های حاوی کربن و همچنین درونی نمودن هزینه های خارجی در واحد پتروشیمی زاگرس است که می تواند الگوی سایر واحدهای نفت، گاز و پتروشیمی نیز قرار گیرد.

روش بررسی

در سال ۱۳۹۸، طی تحقیق حاضر، پس از انجام مطالعات کتابخانه ای و جستجو در سایت های معتبر، داده‌های مرتبط با تولید و عملکرد واحد پتروشیمی در دو حوزه انتشار کربن و کارایی شناسایی و در بازه زمانی سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ به صورت فصلی جمع آوری شد.

مرحله اول: برآورد انتشار از منابع احتراقی ثابت

بر اساس دستورالعمل‌های محاسبه و گزارش دهی انتشار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده توسط وزارت نفت، میزان انتشار هر یک از سه گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن، متان و اکسید نیتروس (CO_2، CH_4 و N_2O) ناشی از مصرف سوخت در کوره های پتروشیمی از حاصلضرب مقدار مصرف هر یک از سوختهای مصرفی در ارزش حرارتی خالص و ضریب انتشار آن سوخت مطابق با رابطه ۱ به دست می آید (۱۰):

$$E_{c.i.j} = Q_i \times LHV_i \times EF_{i.j} \qquad (۱)$$

در این رابطه،

$E_{c,i,j}$ = میزان انتشار سالانه گاز گلخانه ای j (CO_2، CH_4 یا N_2O) حاصل از احتراق سوخت i بر حسب تن، Q_i = مقدار کل مصرف سالانه سوخت i بر حسب استاندارد متر مکعب Sm^3[1] برای سوختهای گازی و لیتر L برای سوختهای مایع، LHV_i = ارزش حرارتی خالص سوخت i بر حسب GJ/Sm^3 (گیگاژول به ازای هر استاندارد متر مکعب) برای سوختهای گازی و GJ/L (گیگاژول به ازای هر لیتر) برای سوختهای مایع، $EF_{i,j}$ = ضریب انتشار گاز گلخانه ای j برای سوخت i بر حسب ton/GJ (تن به ازای هر گیگاژول)، i = سوخت (اعم از گاز طبیعی، نفت گاز، نفت کوره و...) و j = گاز گلخانه ای (CO_2، CH_4 یا N_2O)

کل انتشارات گازهای گلخانه‌ای احتراقی از حاصل جمع انتشارات احتراقی مربوط به همه سوختهای مصرف شده (با احتساب قابلیت گرمایش جهانی هر گاز گلخانه‌ای)، از طریق رابطه ۲ به دست می آید (۱۰):

$$E_c = \sum_J \sum_I \left(E_{\mathrm{c.i.j}} \times \mathrm{GWP}_j\right) \qquad (۲)$$

در این رابطه،

E_c = میزان کل انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای احتراقی بر حسب $tonCO_2e$ (تن معادل دی اکسید کربن) و GWP_j = قابلیت گرمایش جهانی گاز گلخانه‌ای j

محاسبه ارزش حرارتی خالص سوختهای گازی از ترکیب گاز

ارزش حرارتی خالص (بر مبنای حجمی) سوخت های گازی از طریق رابطه ۳ محاسبه می شود (۱۰):

$$LHV_i = \frac{\sum_{k=1}^{n}(x_k \times LHV_k)}{23.685} \qquad (۳)$$

در این رابطه،

LHV_i = ارزش حرارتی خالص سوخت گازی i بر حسب GJ/Sm^3 (گیگاژول به ازای هر استاندارد متر مکعب)، X_k = کسر مولی (حجمی) ترکیب k در سوخت (کسری از ۱)، LHV_k = ارزش حرارتی خالص ترکیب k بر حسب GJ/kmol (گیگاژول به ازای هر کیلو مول) و ۲۳/۶۸۵ = تبدیل حجم مولی ($23.685\ m^3/kmol$).

محاسبه ضریب انتشار CO_2 سوخت های گازی از ترکیب گاز

ضریب انتشار CO_2 (بر مبنای ارزش حرارتی خالص) سوخت های گازی از طریق رابطه ۴ محاسبه می شود (۱۰):

$$EF_{\mathrm{i.CO_2}} = \frac{\sum_{k=1}^{n}(x_k \times CN_k) \times 44}{23.685 \times LHV_i \times 1000} \qquad (۴)$$

در این رابطه،

$EF_{i,CO2}$ = ضریب انتشار CO_2 برای سوخت i بر حسب ton/GJ (تن به ازای هر گیگاژول)، CN_k = تعداد کربن در ترکیب k در سوخت، X_k = کسر مولی (حجمی) ترکیب k در سوخت (کسری از ۱)، LHV_i = ارزش حرارتی خالص سوخت گازی i بر حسب GJ/Sm^3 (گیگاژول به ازای هر استاندارد متر مکعب)، ۴۴ = جرم مولی CO_2، ۲۳/۶۸۵ = تبدیل حجم مولی ($23.685\ m^3/kmol$) و ۱۰۰۰ = ضریب تبدیل کیلوگرم به تن

مرحله دوم: محاسبه کارایی محیط زیستی واحد پتروشیمی بر اساس رویکرد DEA-MBP[2]

در این تحقیق از نرم افزار DEAP version 2.1[3]برای انجام محاسبات کارایی‌های فنی و محیط زیستی واحد پتروشیمی استفاده شده است. نرم افزار یاد شده تحت سیستم عامل DOS[4]طراحی شده و فاقد دسترسی برای عموم می‌باشد. همچنین قابلیت فراخوانی اطلاعات از فایل متنی و استخراج و ارسال نتایج حل مساله را به همان صورت دارد. ابتدا اطلاعات مصرف نهاده‌های تولید و محصولات برای چند واحد تصمیم گیرنده DMU[5]در بستر نرم افزار Excel وارد می شوند (در حالتی که کارایی یک واحد در طی زمان محاسبه گردد اطلاعات مربوط به هر دوره زمانی متناظر با اطلاعات یک واحد تصمیم گیرنده در نظر گرفته می شود). این فایل مبنای ایجاد فایل داده

۱- استاندارد متر مکعب واحد حجمی گاز طبیعی با شرایط درجه حرارت ۱۵/۶ درجه سانتی گراد و فشار ۱ اتمسفر می باشد (۱۰).

2- Data Envelopment Analysis - Materials Balance Principle (DEA-MBP)

3- Data Envelopment Analysis Program

4- Disk Operating System

5- Decision Making Unit

متنی قرار می گیرد که محاسبات کارایی بر اساس آن انجام خواهند شد. سپس فایل متنی دستورالعمل محاسبه کارایی (شامل نام فایل ورودی، تعداد واحدهای مورد بررسی، تعداد بازه های زمانی، تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها، ماهیت ورودی یا خروجی محور بودن الگو، بازده به مقیاس و...) با هدف مشخص نمودن فایل داده مورد نظر و روش محاسبه برای نرم افزار ایجاد می‌شود. در انتها پس از انجام محاسبات لازم توسط نرم افزار، نتایج در قالب فایل خروجی متنی در اختیار کاربر قرار می گیرد (۱۱). مبنای محاسبات در برنامه نرم افزاری DEAP روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) می‌باشد (۱۱). تحلیل پوششی داده‌ها یک روش غیرپارامتری برای محاسبه کارایی یک یا چند واحد تصمیم گیرنده با فرض دارا بودن چند ورودی و چند خروجی است (۱۲). در این روش نیازی به تعیین شکل صریح تابع تولید نیست و از برنامه ریزی خطی برای ساختن یک مرز برای پوشاندن (نام تحلیل پوششی داده ها از این ویژگی منشأ گرفته است) تمام داده ها استفاده می شود. کارایی واحد تصمیم گیرنده نسبت به این مرز محاسبه می شود (۹). اصل تعادل مواد (MBP) مطابق قانون بقای جرم بیان می دارد که هر آنچه در تولید به کار می رود به اشکال متفاوتی از خروجی تبدیل شده و از بین نمی رود. مطابق این اصل تعادل میان نهاده های تولید و ستانده‌ها (اعم از مطلوب یا نامطلوب) همیشه برقرار است (۱۳، ۱۴). نرم افزار DEAP از رویکرد تلفیقی DEA-MBP برای انجام کلیه محاسبات استفاده می‌کند (۱۱). این رویکرد مبتنی بر تجزیه و تحلیل اقتصادی و محیط زیستی نسبت نهاده‌ها و ستانده‌ها و همچنین بررسی جریان مواد بر اساس مفهوم تعادل جرم است و سعی در تعدیل آثار تولیدات نامطلوب (آثار جانبی محیط زیستی) ناشی از فعالیتهای اقتصادی دارد (۱۲، ۱۳).

مدل مورد استفاده در تحلیل پوششی داده ها

مدلی که توسط چارنز، کوپر و رودز معرفی گردید مدل معروف CCR[1] است (۱۵). این مدل طی رساله دکتری رودز به راهنمایی کوپر با عنوان ارزیابی پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان مدارس ملی آمریکا ابداع و در سال ۱۹۷۸ با چاپ مقاله‌ای تحت عنوان اندازه گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده به جهان علم معرفی گردید (۱۶). مبنای شکل‌گیری CCR، تعریف کارایی به صورت نسبت یک خروجی به یک ورودی است و برای محاسبهٔ کارایی فنی، به جای استفاده از نسبت یک خروجی بـه یـک ورودی، از نسـبت مجموع موزون خروجی‌ها به مجموع موزون ورودی‌ها استفاده می‌شود (۱۷). مدل مذکور با فرض بازده به مقیاس ثابت ارائه شد و یکی از اساسی ترین مدل های تحلیل پوششی داده ها است (۱۵، ۱۷). از آن زمان به بعد مطالعات زیادی در زمینه کاربرد و گسترش این روش صورت گرفت و مدل های جدید و مقالات زیادی در این زمینه ارائه شد. به عنوان نمونه، در سال ۱۹۸۴، بنکر، چارنز و کوپر مدل CCR را بر مبنای بازده به مقیاس متغیر بسط دادند و مدل معروف BCC[2] را ارائه نمودند (۱۵، ۱۸). مدل های DEA مورد استفاده برای ارزیابی کارایی واحد تحت بررسی می توانند از دو رویکرد مجزا برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده کنند: رویکرد ورودی محور و رویکرد خروجی محور (۱۶).

مدل CCR با ماهیت ورودی

الف) الگوی ورودی محور[3]: در این الگو هدف ثابت نگه داشتن سطح خروجی ها و کاهش سطح ورودی ها در فرآیند تولید می باشد به عبارت دیگر تغییر در شاخص های ورودی بیشتر از خروجی بوده و مسوولین هر واحد تصمیم گیری آزادی عمل بیشتری در تغییر آن دارند. در الگوی مذکور ناکارایی فنی نسبتی است که برای قرار گرفتن واحد تولیدکننده در مرز کارایی بایستی مقدار ورودی ها کاهش داده شود و مقدار خروجی بدون تغییر بماند (۱۹).

مدل CCR با ماهیت خروجی

ب) الگوی خروجی محور[4]: در این حالت هدف ثابت نگه داشتن سطح ورودی ها و افزایش سطح خروجی‌ها می باشد. دیدگاه خروجی محور به دنبال نسبتی است که مقدار خروجی ها افزایش یابند بدون آنکه تغییر در مقدار ورودی ها بوجود آید تا از این طریق واحد مورد نظر به مرز کارایی برسد (۱۹).

1- Charnes, Cooper and Rhodes
2- Banker, Charnes and Cooper
3- Input Orientated Model
4- Output Orientated Model

بازده به مقیاس

بازده به مقیاس بیانگر پیوند بین تغییرات ورودی ها و خروجی های یک سیستم می باشد. یکی از ویژگی‌های بارز روش تحلیل پوششی داده ها کاربرد الگوهای مختلف، متناظر با بازده به مقیاس های متفاوت و همچنین اندازه‌گیری بازده به مقیاس واحدها است.

الف) بازده به مقیاس ثابت CRS[1]: بیانگر آن است که افزایش در مقدار ورودی منجر به افزایش خروجی به همان نسبت شود.

ب) بازده به مقیاس متغیر VRS[2]: نشان می‌دهد که افزایش خروجی بیشتر یا کمتر از نسبت افزایش در ورودی می باشد (۱۵، ۱۹).

در این تحقیق، نرم افزار DEAP با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و مدل CCR، با فرض ماهیت ورودی مقادیر و بازده به مقیاس ثابت به محاسبه کارایی واحد پتروشیمی، مطابق با رابطه ۵ می‌پردازد. در این رابطه، i، r و j به ترتیب اندیس های مرتبط با تعداد ورودی، خروجی و مشاهدات هستند. x و y نشان دهنده ورودی‌ها و خروجی‌ها می باشد (نشانگر 0 به مفهوم ورودی و خروجی هدف است). بردار λ ضریبی است که با مشخص کردن حد بالا برای خروجی ها و حد پایین برای مشاهدات شرایط بهینه را برای می نیمم شدن θ (سطح کل ورودی‌ها در تولید) فراهم می کند (۱۹).

$$\begin{aligned} &min\theta \\ &s.t.\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} \le \theta x_i \qquad i = 1.\ldots.m \\ &\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} \ge y_r \qquad r = 1.\ldots.s \\ &\lambda_j \ge 0 \end{aligned} \qquad (۵)$$

یافته ها

مرحله اول: ارزش حرارتی خالص گاز طبیعی که تنها سوخت مصرفی در واحد پتروشیمی زاگرس می‌باشد و ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای دی‌اکسیدکربن بر اساس ترکیب مشخص این سوخت و مطابق با دستورالعمل‌های محاسبه و گزارش دهی انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ترتیب برابر با GJ/Sm^3 ۳۲/۸۷ ×۱۰$^{-۳}$ و ton/GJ ۵۵/۷۳ ×۱۰$^{-۳}$ محاسبه شد که نتایج محاسبات در جداول ۱ و ۲ خلاصه شده است.

جدول ۱- محاسبه ارزش حرارتی خالص گاز طبیعی در واحد پتروشیمی

Table 1. Calculation of lower (or net) heating value for natrual gas in petrochemical plant

ردیف	ترکیب گاز طبیعی	درصد مولی (٪)	X_k (درصدمولی/۱۰۰)	LHV_k	$X_k \times LHV_k$	$LHV_i = \frac{\sum_{k=1}^{n}(x_k \times LHV_k)}{23.685}$
۱	H_2	۰	۰	۰/۲۴۱۷۹	۰	$LHV_{NG} = \frac{0.77852}{23.685} = 32.87 \times 10^{-3}\frac{GJ}{Sm^3}$
۲	CH_4	۹۲/۷۶	۰/۹۲۷۶	۰/۸۰۲۷۱	۰/۷۴۴۵۹	
۳	C_2H_6	۱/۷۳	۰/۰۱۷۳	۱/۴۲۸۸۳	۰/۰۲۴۷۲	
۴	C_3H_8	۰/۲۷	۰/۰۰۲۷	۲/۰۴۳۳	۰/۰۰۵۵۲	
۵	iso-C_4H_{10}	۰/۰۴	۰/۰۰۰۴	۲/۶۴۸۴	۰/۰۰۱۰۶	
۶	n-C_4H_{10}	۰/۰۶	۰/۰۰۰۶	۲/۶۵۷۶	۰/۰۰۱۵۹	
۷	iso-C_5H_{12}	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۳/۲۶۵	۰/۰۰۰۳۲	
۸	n-C_5H_{12}	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۳/۲۶۹۳	۰/۰۰۰۳۳	
۹	C_6H_{14}	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۳/۸۸۷۲	۰/۰۰۰۳۹	
۱۰	N_2	۴/۰۹	۰/۰۴۰۹	۰	۰	
۱۱	CO_2	۱/۰۲	۰/۰۱۰۲	۰	۰	
مجموع		۱۰۰/۰	۱/۰۰۰	-	۰/۷۷۸۵۲	

1- Constant Returns to Scale

2- Variable Returns to Scale

جدول ۲- محاسبه ضریب انتشار CO_2 برای گاز طبیعی در واحد پتروشیمی

Table 2 -Calculation of CO_2 emission factor for natural gas in petrochemical plant

ردیف	ترکیب گاز طبیعی	درصد مولی (٪)	X_k (۱۰۰/درصدمولی)	CN_k	$X_k \times CN_k$	$EF_{i,co_2} = \frac{\sum_{k=1}^{n}(x_k \times CN_k) \times 44}{23.685 \times LHV_i \times 1000}$
۱	H_2	۰	۰	۰	۰	$EF_{NG,CO_2} = \frac{0.9861 \times 44}{23.685 \times 0.03287 \times 1000} = 55.73 \times 10^{-3} \frac{tco_2}{GJ}$
۲	CH_4	۹۲/۷۶	۰/۹۲۷۶	۱	۰/۹۲۷۶	
۳	C_2H_6	۱/۷۳	۰/۰۱۷۳	۲	۰/۰۳۴۶	
۴	C_3H_8	۰/۲۷	۰/۰۰۲۷	۳	۰/۰۰۸۱	
۵	iso-C_4H_{10}	۰/۰۴	۰/۰۰۰۴	۴	۰/۰۰۱۶	
۶	n-C_4H_{10}	۰/۰۶	۰/۰۰۰۶	۴	۰/۰۰۲۴	
۷	iso-C_5H_{12}	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۵	۰/۰۰۰۵	
۸	n-C_5H_{12}	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۵	۰/۰۰۰۵	
۹	C_6H_{14}	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۶	۰/۰۰۰۶	
۱۰	N_2	۴/۰۹	۰/۰۴۰۹	۰	۰	
۱۱	CO_2	۱/۰۲	۰/۰۱۰۲	۱	۰/۰۱۰۲	
مجموع		۱۰۰/۰	۱/۰۰۰	-	۰/۹۸۶۱	

با عنایت به این که ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای CH_4 و N_2O به ترتیب برابر با ۱×۱۰$^{-۶}$ و ۱×۱۰$^{-۷}$ تن به ازای هر گیگا ژول و قابلیت گرمایش جهانی (GWP[1]) گازهای گلخانه ای CO_2، CH_4 و N_2O به ترتیب برابر با ۱، ۲۸ و ۲۶۵ می باشند و با در نظر گرفتن میزان مصرف فصلی سوخت طی سال های ۹۰ تا ۹۶، میزان انتشار فصلی معادل دی‌اکسیدکربن ناشی از مصرف گاز طبیعی در کوره‌ها مطابق با روابط ۱ و ۲ (موضوع بخش روش بررسی این مقاله) محاسبه شد و به عنوان ورودی در مرحله برآورد کارایی محیط زیستی مورد استفاده قرار گرفت.

در ادامه انتشار معادل دی‌اکسیدکربن در تابستان سال ۱۳۹۲ مطابق با روابط ۱ و ۲، به عنوان یک مثال محاسبه شده است:

$E_{C,NG,CO2}$= ۱۲,۱۰۱,۰۹۴ Sm^3× ۳۲/۸۷ ×۱۰$^{-۳}$ GJ/Sm^3 × ۵۵/۷۳ ×۱۰$^{-۳}$ $tonCO_2/GJ$= ۲۲,۱۶۷ tCO_2

$E_{C,NG,CH4}$= ۱۲,۱۰۱,۰۹۴ Sm^3× ۳۲/۸۷ ×۱۰$^{-۳}$ GJ/Sm^3 ×۱ ×۱۰$^{-۶}$ $tonCH_4/GJ$= ۰/۴ tCH_4

$E_{C,NG,N2O}$= ۱۲,۱۰۱,۰۹۴ Sm^3× ۳۲/۸۷ ×۱۰$^{-۳}$ GJ/Sm^3 ×۱×۱۰$^{-۷}$ $tonN_2O/GJ$= ۰/۰۴ tN_2O

E_C= ۲۲,۱۶۷×۱+ ۰/۴× ۲۸ +۰/۰۴×۲۶۵ = ۲۲,۱۸۹ $tonCO_2e$

مرحله دوم: تولید متانول در واحد پتروشیمی زاگرس با استفاده از ۱۱ نهاده اصلی (برق اکتیو، بخار مصرفی در زمان راه اندازی، آب نمک زدایی شده، آب بدون املاح، آب دریا، نیتروژن، اکسیژن، هوای ابزار دقیق، هوای سرویس، گاز خوراک و گاز سوخت) صورت می پذیرد. اطلاعات میزان مصرف نهاده‌های تولید و محصول توسط نرم افزار DEAP مورد پردازش قرار گرفتند (اطلاعات هر فصل به عنوان یک واحد تصمیم گیرنده در نظر گرفته شده است). کارایی فنی واحد پتروشیمی بر اساس مشاهدات فصلی و نسبت‌گیری میان ورودی‌ها و تنها ستانده آن با فرض الگوی ورودی محور و بازده به مقیاس ثابت، در طی

1- Global warming potential

سالهای ۹۰ تا ۹۶، برآورد شد (رابطه ۶). طبق این رابطه هر اندازه میزان نهاده‌های مصرفی یا مخرج کسر نسبت به محصول تولید شده یا صورت کسر بیشتر باشند کارایی فنی واحد صنعتی کمتر خواهد بود. به منظور محاسبه کارایی محیط زیستی علاوه بر متغیرهای فوق، میزان انتشار فصلی معادل دی اکسید کربن بر حسب سوخت مصرفی (گاز طبیعی)، طی سال های مذکور در نظر گرفته شده است (رابطه ۷). در خصوص محاسبه کارایی محیط‌زیستی نیز افزایش مقدار انتشار معادل دی‌اکسید کربن در مخرج کسر سبب افزایش نسبت نهاده‌ها به ستانده شده و از این طریق منجر به کاهش امتیاز این کارایی خواهد شد.

$$\text{Technical Efficiency} = \sum \text{Output} / \sum \text{Input} \quad (6)$$

$$\text{Environmental Efficiency} = \sum \text{Output} / \sum (\text{Input} \times \text{Emission}) \quad (7)$$

رابطه ۸ نشان می‌دهد که کارایی تخصیصی محیط‌زیستی بر اساس نسبت کارایی محیط‌زیستی به کارایی فنی محاسبه می-شود. هر اندازه که واحد صنعتی در تولید محصول خود از طریق مصرف نهاده کمتر ضمن تولید آلودگی کمتر موفق‌تر عمل نماید به تولید پاک‌تر و تخصیص یافته‌تری دست یافته است. همان طور که از رابطه یاد شده استنباط می‌شود، امتیاز کارایی تخصیصی محیط‌زیستی ارتباط مستقیم با عملکرد واحد اقتصادی در حوزه انتشار کربن دارد، به نحوی که میزان انتشار کمتر با بهبود نسبت کارایی محیط‌زیستی به کارایی فنی، سبب افزایش امتیاز کارایی تخصیصی محیط‌زیستی خواهد شد. آنچه که مسلم است تناسب میان مصرف نهاده و تولید آلودگی با میزان محصول تولید شده، نقش مهمی در بهبود همزمان عملکرد تولید و کارایی‌های محیط-زیستی و تخصیصی محیط‌زیستی ایفا می نماید.

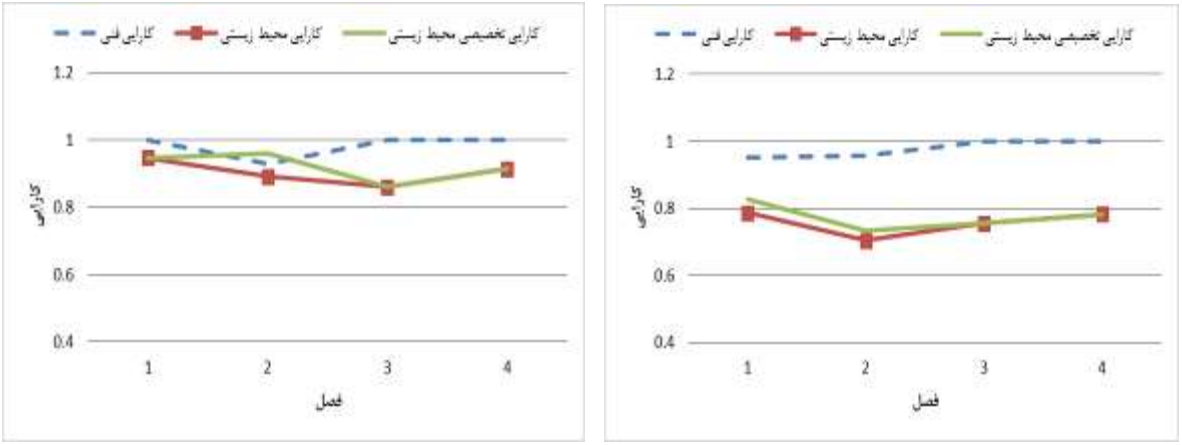
$$EAE = EE/TE \quad (8)^{1}$$

نسبت یک در روابط فوق بیانگر کارایی کامل یا ۱۰۰ درصد بوده و می‌تواند مبنای تعیین حداقل نهاده مورد نیاز و یا حداقل انتشار ممکن به ازای تولید یک واحد محصول قرار گیرد.

اشکال ۱ و ۲، تغییرات کارایی‌ها و جدول ۳ نتایج برآورد کارایی‌ها توسط نرم افزار را به تفکیک سال‌های مورد مطالعه در واحد پتروشیمی نشان می دهند. روند کارایی تخصیصی محیط‌زیستی تابعی از کارایی محیط‌زیستی بوده و نوسانات هماهنگی میان آنها وجود دارد. به طور مثال همزمان با رخداد کمترین امتیاز کارایی محیط‌زیستی (۰/۷۰۴) در تابستان ۱۳۹۱، کمترین امتیاز کارایی تخصیصی محیط‌زیستی (۰/۷۳۵) نیز در همان زمان مشاهده می شود. با در نظر گرفتن امتیاز بالای کارایی فنی (۰/۹۵۸) در تابستان ۱۳۹۱، امتیاز پایین کارایی محیط‌زیستی را می توان به افزایش میزان انتشار کربن که احتمالا به دلیل مسائل فنی مربوط به احتراق سوخت اتفاق افتاده است، ربط داد. در تایید موارد عنوان شده در خصوص روابط ۶ تا ۸ و با مقایسه امتیازات کارایی-های واحد پتروشیمی زاگرس در تابستان سال ۱۳۹۱ و تابستان سال ۱۳۹۰ مشاهده می شود که حتی با وجود کمتر بودن امتیاز کارایی فنی (۰/۹۲۸) در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۹۱، به دلیل بیشتر بودن امتیاز کارایی محیط‌زیستی (۰/۸۹۲) که قطعا ناشی از برقراری نسبت مناسب‌تر میان انتشار و تولید محصول می‌باشد، امتیاز کارایی تخصیصی محیط‌زیستی (۰/۹۶۱= ۰/۸۹۲÷۰/۹۲۸) نسبت به امتیاز آن در سال ۱۳۹۱ بیشتر است. کاهش کارایی محیط‌زیستی از عوامل متعدد منتهی به عدم تناسب میان محصول و نهاده‌ها مانند اتخاذ روش‌های نادرست فنی و مدیریتی در فرایند تولید، مشخصات نامناسب سوخت و مواد اولیه، نبود کنترل یا کنترل ناکارای عملکرد فنی تجهیزات به ویژه کوره‌ها و غیره نشات می‌گیرد. قضاوت در مورد امتیاز کارایی یک واحد منوط به شناسایی تمامی عوامل اثرگذار و بررسی اثرات متقابل آنها می باشد که در محدوده این تحقیق نمی گنجد. به طور کلی انتخاب و مصرف سوخت‌های پاک مانند گاز طبیعی، اصلاح فرایند و توجه به مسائل فنی تولید از مهمترین عوامل موثر بر بهبود کارایی‌های محیط‌زیستی و تخصیصی محیط‌زیستی ناشی از احتراق سوخت در کوره‌ها می‌باشند. کارایی کوره‌ها از طرق مختلفی مانند بازگرداندن گاز دودکش به ورودی

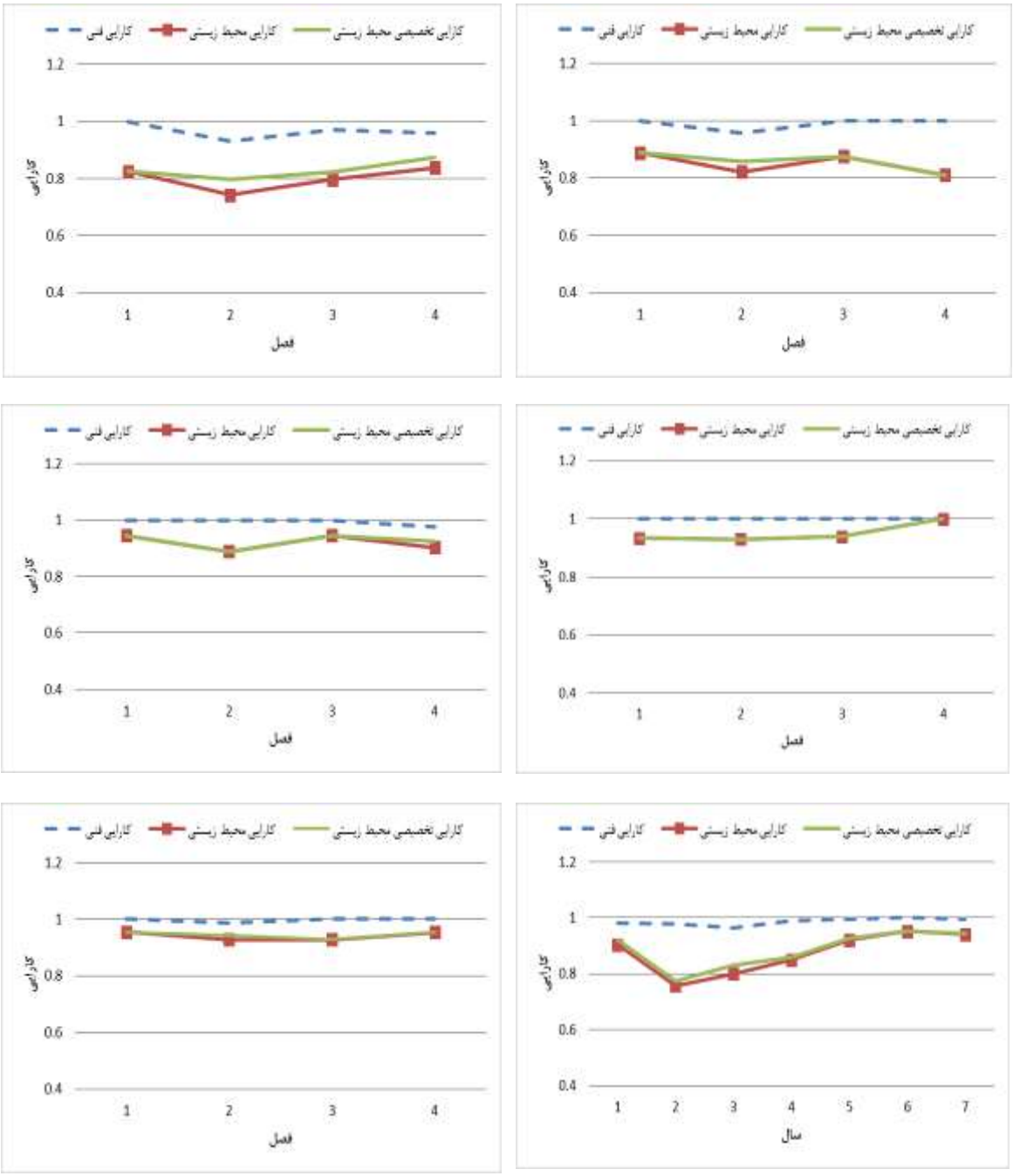
1- Environmental Allocative Efficiency
2- Environmental Efficiency
3- Technical Efficiency

کوره با مشعلهای مخصوص، کنترل هوای اضافی در محفظه احتراق، کار در دمای مناسب کوره، توزیع مناسب حرارت، کاهش تلفات حرارتی ناشی از باز بودن دریچه‌ها، تنظیم فشار داخل کوره، استفاده در ظرفیت مناسب کوره، به حداقل رساندن سطح تماس کوره با هوا، افزایش ضخامت دیواره کوره، ایجاد پوشش با عایق انعکاسی داخل کوره، بررسی دقیق مشعل‌های هر کوره و اصلاح مشعل‌های معیوب (کارکرد نامناسب مشعل‌ها به ویژه در ظرفیت‌های بالا سبب اتلاف مقدار زیادی انرژی به دلیل مصرف سوخت زیاد و افزایش دمای سطح لوله‌ها شده که استمرار آن سبب کاهش عمر لوله‌ها و تخریب زود هنگام آنها و تحمیل خسارت خواهد شد)، بهینه سازی احتراق در مشعل‌ها در شرایط مختلف و رسیدن به درصد هوای اضافی طراحی و استفاده از فناوری‌های مرتبط با کاهش انتشار آلاینده‌ها مانند فن‌آوری پینچ حرارتی، کربن کپچر و... ارتقا می‌یابد. این عوامل با بهبود کارایی محیط‌زیستی باعث کاهش مقادیر و هزینه‌های تلفات انرژی، مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها می‌شوند.



شکل ۱- تغییرات فصلی کارایی فنی/ محیط زیستی/تخصیصی محیط زیستی در سال ۱۳۹۰ (الف) - ۱۳۹۱ (ب)

Figure 1. Seasonal Changes of Technical/Environmental/Environmental allocative efficiency in 2011 (a) - 2012 (b)



شکل ۲- تغییرات فصلی کارایی فنی/ محیط زیستی/تخصیصی محیط زیستی در سال۱۳۹۲ (ث) – ۱۳۹۳ (د)- ۱۳۹۴ (ج) - ۱۳۹۵ (ح) – ۱۳۹۶ (و) – ۱۳۹۰ الی ۱۳۹۶ (ز)

Figure 2. Seasonal Changes of technical/Environmental/Environmental allocative efficiency in 2013 (c) -2014 (d) - 2015 (g) - 2016 (h) –2017 (v) -2011 to 2017 (z)

جدول ۳- کارایی‌های فنی، محیط زیستی و تخصیصی محیط زیستی فصلی طی سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶

Table 3 Seasonal Technical, Environmental, and Environmental allocative efficiencies from 2011 to 2017

سال	فصول	امتیاز کارایی فنی	فاصله تا مرز کارایی فنی (درصد)	امتیاز کارایی محیط زیستی	فاصله تا مرز کارایی محیط زیستی (درصد)	امتیاز کارایی تخصیصی محیط زیستی	فاصله تا مرز کارایی تخصیصی محیط زیستی (درصد)
۱۳۹۰	۱	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۹۴۷	۵/۳۰	۰/۹۴۷	۵/۳۰
	۲	**۰/۹۲۸**	۷/۲۰	۰/۸۹۲	۱۰/۸۰	۰/۹۶۱	۳/۸۸
	۳	۱/۰۰۰	۰/۰۰	**۰/۸۶۰**	۱۴/۰۰	**۰/۸۶۰**	۱۴/۰۰
	۴	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۹۱۴	۸/۶۰	۰/۹۱۴	۸/۶۰
۱۳۹۱	۱	**۰/۹۵۱**	۴/۹۰	۰/۷۸۷	۲۱/۳۰	۰/۸۲۸	۱۷/۲۵
	۲	۰/۹۵۸	۴/۲۰	**۰/۷۰۴**	۲۹/۶۰	**۰/۷۳۵**	۲۶/۵۱
	۳	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۷۵۶	۲۴/۴۰	۰/۷۵۶	۲۴/۴۰
	۴	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۷۸۲	۲۱/۸۰	۰/۷۸۲	۲۱/۸۰
۱۳۹۲	۱	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۸۲۵	۱۷/۵۰	۰/۸۲۵	۱۷/۵۰
	۲	**۰/۹۳۲**	۶/۸۰	**۰/۷۴۳**	۲۵/۷۰	**۰/۷۹۷**	۲۰/۲۸
	۳	۰/۹۶۹	۳/۱۰	۰/۷۹۷	۲۰/۳۰	۰/۸۲۲	۱۷/۷۵
	۴	۰/۹۵۹	۴/۱۰	۰/۸۳۷	۱۶/۳۰	۰/۸۷۳	۱۲/۷۲
۱۳۹۳	۱	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۸۸۸	۱۱/۲۰	۰/۸۸۸	۱۱/۲۰
	۲	**۰/۹۵۸**	۴/۲۰	۰/۸۲۲	۱۷/۸۰	۰/۸۵۸	۱۴/۲۰
	۳	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۸۷۶	۱۲/۴۰	۰/۸۷۶	۱۲/۴۰
	۴	۱/۰۰۰	۰/۰۰	**۰/۸۱۰**	۱۹/۰۰	**۰/۸۱۰**	۱۹/۰۰
۱۳۹۴	۱	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۹۴۵	۵/۵۰	۰/۹۴۵	۵/۵۰
	۲	۱/۰۰۰	۰/۰۰	**۰/۸۸۹**	۱۱/۱۰	**۰/۸۸۹**	۱۱/۱۰
	۳	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۹۴۵	۵/۵۰	۰/۹۴۵	۵/۵۰
	۴	**۰/۹۷۶**	۲/۴۰	۰/۹۰۳	۹/۷۰	۰/۹۲۵	۷/۴۸
۱۳۹۵	۱	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۹۳۵	۶/۵۰	۰/۹۳۵	۶/۵۰
	۲	۱/۰۰۰	۰/۰۰	**۰/۹۳۰**	۷/۰۰	**۰/۹۳۰**	۷/۰۰
	۳	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۹۴۰	۶/۰۰	۰/۹۴۰	۶/۰۰
	۴	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
۱۳۹۶	۱	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۹۵۴	۴/۶۰	۰/۹۵۴	۴/۶۰
	۲	**۰/۹۸۶**	۱/۴۰	۰/۹۲۹	۷/۱۰	۰/۹۴۲	۵/۸۰
	۳	۱/۰۰۰	۰/۰۰	**۰/۹۲۸**	۷/۲۰	**۰/۹۲۸**	۷/۲۰
	۴	۱/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۹۵۳	۴/۷۰	۰/۹۵۳	۴/۷۰

موارد مشخص شده در جدول ۳ نشان دهنده حداقل کارایی‌ها در هر سال می باشند. حداقل امتیاز برای کارایی‌های محیط-زیستی و تخصیصی محیط‌زیستی در سال های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۶ در فصل پاییز، در سال ۱۳۹۳ در فصل زمستان و در سایر سال های مطالعه در فصل تابستان به دست آمده‌اند که متاثر از برآیند شرایط حاکم بر تولید در آن مقطع از سال می‌باشند. نسبت میان مقادیر سه متغیر محصول خوب یا اقتصادی، محصول بد یا جانبی (انتشار ناشی از تولید) و مصرف نهاده‌ها می‌تواند در اثر مواردی چون اولویت دادن به تامین گاز مناطق شهری و روستایی و تخصیص کمتر آن به صنایع در زمستان، پیشامد مشکلات فنی و نیاز به اورهال پتروشیمی در سایر فصول مانند تابستان و بسیاری عوامل دیگر تحت الشعاع قرار گرفته باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

کارایی هر واحد اقتصادی (نسبت میان داده‌ها و ستانده‌های آن مجموعه) بین صفر و یک محاسبه شده و به صورت درصد بیان می شود. در جریان محاسبات مربوط به کارایی، برنامه ریزی خطی یک مرز برای پوشاندن تمام داده ها ایجاد می‌کند. کارایی نسبت به مرز کارایی برآورد می شود، به طوری که نقاط واقع بر آن، کاراً (کارایی یک) و سایر نقاط که در داخل سطح پوششی قرار می گیرند ناکاراً (کارایی کمتر از یک) محسوب می شوند. فاصله تا مرز کارایی[1] نشان دهنده درصد ناکارایی یا حد جبران برای رسیدن به کارایی صد در صد می باشد.

مطابق با نتایج جدول ۳، میانگین کارایی‌های فنی، محیط زیستی و تخصیصی محیط زیستی واحد پتروشیمی زاگرس طی سالهای ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ مطلوب و بین ۷۰ تا ۹۰ درصد می باشد. مقادیر فاصله تا مرز کارایی بیان می کند که واحد تولید کننده با چند درصد کاهش در میزان مواد اولیه می تواند با حفظ میزان محصول خود به عملکرد بهتری دست یابد. به عنوان مثال کارایی فنی در فصل تابستان سال ۱۳۹۲ حاکی از آن است که واحد پتروشیمی با کاهش به میزان ۶/۸ ٪ در مصرف مواد اولیه می توانست به تولید ثابت خود ادامه دهد. مقادیر کارایی‌های محیط زیستی و تخصیصی محیط زیستی (کارایی تخصیصی محیط زیستی نسبت کارایی محیط زیستی به کارایی فنی است) نیز بیانگر این امر است که واحد پتروشیمی قادر بوده با کاهش آلودگی تا حدود ٪۲۶، ضمن حفظ مقدار محصول خود، به تولید پاکتر و تخصیص یافته تر به میزان ۲۰ ٪ دست یابد. امتیازات کارایی در تابستان سال ۱۳۹۶، امکان ۱/۴ ٪ کاهش در مصرف مواد اولیه تولید، ۷/۲ ٪ کاهش در میزان انتشار کربن و ۵/۸ ٪ تولید پاکتر و تخصیص یافته تر را نشان می دهد. بر اساس عملکرد کارا در زمستان ۱۳۹۵، مقدار مطلوب انتشار CO_2 به ازای تولید هر واحد محصول معادل ۰/۱۱ واحد تعیین گردید که می تواند مبنای محاسبه مازاد انتشار در فصول دیگر قرار گیرد. به منظور اطمینان از دقت نتایج برآورد شده، امتیازات کارایی به صورت ماهانه طی مطالعه دیگری انجام پذیرفت و مقایسه داده‌های فصلی و ماهانه نشان داد؛ از آن جاکه کارایی تحت تاثیر عواملی چون کیفیت خوراک ورودی، عملکرد دستگاه‌ها و تجهیزات و ... می‌باشد، محاسبات ماهانه تصویر دقیق‌تری از تولید را در برنامه ریزی‌ها و تصمیم‌سازی‌های مدیریتی ارایه می‌نماید. اگرچه اجرای اقدامات منتهی به بهبود کارایی همواره هزینه بر بوده و ملاحظات اقتصادی قابل توجهی را برای واحدهای صنعتی در پی دارد، لکن کسب مزیت‌های رقابتی ملی و بین المللی پایدار و حفظ سود اقتصادی که ارتباط تنگاتنگ با اخذ مجوزها و استانداردهای محیط زیست ضمن کاهش هزینه‌های محیط زیستی[2] (جرایم زیست محیطی، انواع مالیات بر آلودگی و...) دارد، صنایع را به انتخاب گزینه ارتقای کارایی ترغیب می‌نماید. شایان ذکر است در حال حاضر نحوه مشارکت در توافقنامه پاریس و تنظیم و تصویب برنامه مشارکت ملی موسوم به NDC[3] در دستور کار دولت ایران قرار دارد. مطابق این برنامه پیشنهادی اقداماتی در خصوص کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای انجام خواهد شد. بدیهی است تسری نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل کارایی واحد پتروشیمی زاگرس به سایر واحدهای صنعتی علاوه بر پیشبرد برنامه‌های ملی کاهش آلودگی هوا منجر به تقویت مشارکت‌های

۱- کارایی – ۱= فاصله تا مرز کارایی (ناکارایی)

2- External Cost

3- Nationally Determined Contribution

بین‌المللی در این زمینه خواهد شد. پیشنهاد می‌شود واحدهای صنعتی کشور با اعمال نظارت دقیق‌تر بر روند تولید محصولات مطلوب و نامطلوب، اصلاح ساختار تولید، بهینه سازی مصرف انرژی، افزایش استفاده از انرژی های نو و کمتر آلاینده، به کارگیری فناوری های سازگار با محیط زیست به جای فناوری های مخرب و آلاینده، گامی موثر در جهت ارتقای کارایی و کاهش سیر صعودی انتشار آلاینده‌ها بردارند. دولت نیز می تواند با تشویق واحدهای صنعتی فعال درعرصه حفاظت از محیط زیست مسیر رسیدن به توسعه پایدار و شکوفایی اقتصادی را هموارتر نماید.

تشکر و قدردانی

این تحقیق بر اساس اطلاعات و داده‌های تولید در شرکت پتروشیمی زاگرس انجام شده است که بدین وسیله از همکاری ایشان قدردانی می نماید.

References

1. Department of Environment, Division of Human Environment, 2018. Environmental assessment report of Assaluyeh industrial area, pp. 29-46. (In Persian)
2. National Petrochemical Company of Iran, 2014. Iran’s petrochemical industry report (annual report), International Affairs Department, pp. 127-128.
3. Ragothaman, A., Anderson, W., 2017. Air quality impacts of petroleum refining and petrochemical industries, Journal of Environments, Vol. 4. No. 3.pp. 66. https://doi.org/10.3390/environments4030066
4. Geravand, S., Mehregan, N., Sadeghi, H., Malekshahi, M., 2013. Energy efficiency assessment in the petrochemical industry of the country. Journal of Economic Policy-making, No. 10, pp.57-74. (In Persian)
5. Horváthová, Eva, 2012. The impact of environmental performance on firm performance: Short-term costs and long-term benefits?, Ecological Economics, Elsevier, Vol. 84(C), pp. 91-97.
6. Geng, Z., Zeng, R., Han, Y., Zhong, Y., Fu, H., 2019. Energy efficiency evaluation and energy saving based on DEA integrated affinity propagation clustering: A case study of complex petrochemical industries. Journal of Energy, Elsevier, Vol.179(C), pp.863-875. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.042
7. Chen, Sh., 2015. Environmental pollution emissions, regional productivity growth, and ecological economic development in China, China Economic Review, Elsevier, Vol. 35(C), pp. 171-182.
8. Naji Meidani, A.k., 2015. Investigating the relationship between industrialization and energy efficiency in the industrial sector in Iran. Journal of Economic Policy-making, Vol. 7. No. 13, pp.27-56. (In Persian)
9. Seiford, L.M., Thrall, R.M., 1990. Recent development in DEA: the mathematical programming approach to frontier analysis. Journal of Econometrics, Vol.46, pp.7-38.
10. Ministry of Petroleum, Office of Health, Safety, Environment and Passive defense, 2018. Guidelines for calculating and reporting greenhouse gas emissions. MOP-HSED-GL-307(1). pp. 26-30. (In Persian)
11. Coelli, T.J. 1996. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment

Analysis (Computer) Program. Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA), Department of econometrics, Working Paper 96/08, University of New England, Armidale.

12. Coelli, T.J., Lauwers, L., Van Huylenbroeck, G., 2007. Environmental efficiency measurement and the materials balance condition. Journal of Productivity Analysis, Vol. 28, pp. 3-12.
13. Coelli, T.J., Lauwers, L., Van Huylenbroeck, G., 2005. Formulation of Technical, Economic and Environmental Efficiency Measures That Are Consistent With the Materials balance Condition," CEPA Working Papers Series WP062005, School of Economics, University of Queensland, Australia. https://economics.uq.edu.au/files/5310/WP062005.pdf.
14. Ebert, U., Welsch, H., 2007. Environmental emissions and production economics: implications of the materials balance. American Journal of Agricultural Economics, Vol. 89, No. 2. pp. 287-293. https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.00997.x
15. Shadman, F., Abdulrahim, Kh., 2016. Joint environmental and technical efficiency of steam power plants: A case study of Iran. Journal of Air Pollution and Health, Vol. 2. No.1. pp. 33-46.
16. Mehregan, M., 2016. Quantitative models in evaluating the performance of organizations. Second edition, Ketabedaneshgahi Publications. pp. 84-91. (In Persian)
17. Charnes, A., Cooper, W W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision-making units. European Journal of Operational Research, Vol. 2, No. 6. pp. 429-444.
18. Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W W., 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Journal of Management Science, Vol. 30, No. 9. pp. 1078 -1092.
19. Shadman, F., 2012. Environmental and cost efficiency in steam-powered electricity generation in Iran. Universiti Putra Malaysia (Ph.D. dissertation). pp.74-80.