University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Scenarios analysis of carbon emission reduction based on Net Zero guideline

Mohsen Dadrasajirlou[1] | Mazaher Moeinaddini[2]✉ | Ali Kazemi[3] | Hadis Hashemzadeh[4]

1. Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: mohsen.dadras@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: moeinaddini@ut.ac.ir
3. Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran. E-mail: kazemi@rocketmail.com
3. Environmental Manager of Lorestan Petrochemical Company, Lorestan, Iran. E-mail: hd_hashemzadeh@yahoo.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 05 August 2023

Received in revised form 27 November 2023

Accepted 26 January 2024

Published online 10 March 2024

Keywords:

Greenhouse gases,

Net Zero,

Polyethylene,

Reduction scenarios.

ABSTRACT

Today, one of the most important issues related to human development is climate change. Due to the increasing trend of production and consumption of polymer products, the emission of greenhouse gases has increased in this sector and it is necessary to take effective measures to reduce the consequences of climate change. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of greenhouse gas emission reduction scenarios in an integrated manner based on Net Zero guidelines. In this research, using the guidelines of Net Zero (combustion emission, per energy and material consumption) and the concept of carbon intensity of emission equivalent to carbon dioxide, the effectiveness of greenhouse gas emission reduction scenarios for the production of one ton of polyethylene has been evaluated. According to the results obtained in this research, the most effective scenarios are replacement with photovoltaic energy source, which reduces greenhouse gas emissions by 0.7% (5% replacement) to 6.3% (50% replacement). Also, electricity saving scenarios from 5% to 20%, in three scenarios with 5%, 10% and 20% electricity savings, which will reduce greenhouse gas emissions by 0.6% to 2.6%. On the other hand, the plan to recover combustible gases in the polyethylene production process, according to the available technologies, can contribute to the reduction of greenhouse gas emissions by 1.2%. In general, it can be stated that the recovery of combustible gases is more reasonable than costly scenarios such as replacing the energy source.

Cite this article: Dadrasajirlou, M., Moeinaddini, M., Kazemi, A., & Hashemzadeh, H. (2024). Scenarios analysis of carbon emission reduction based on Net Zero guideline. *Journal Natural Environment*, 76 (4), 569-577. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.363347.2586

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.363347.2586

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

تحلیل سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید پلیمرهای پلی‌اتیلنی مبتنی بر خطوط راهنمای انتشار صفر

محسن دادرس اجیرلو[۱] | مظاهر معین‌الدینی[۲]✉ | علی کاظمی[۳] | حدیث هاشم‌زاده[۴]

۱. گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: mohsen.dadras@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: moeinaddini@ut.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران. رایانامه: kazemi@rocketmail.com
۴. مدیر محیط‌زیست شرکت پتروشیمی لرستان، لرستان، ایران. رایانامه: hd_hashemzadeh@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:
انتشار صفر،
پلی‌اتیلن،
سناریوهای کاهش،
گازهای گلخانه‌ای.

چکیده

امروزه یکی از مهم‌ترین موضوعات مرتبط با توسعهٔ انسانی، تغییر اقلیم است. با توجه به روند افزایشی تولید و مصرف محصولات پلیمری، انتشار گازهای گلخانه‌ای در این بخش افزایش یافته است و نیاز است اقدامات مؤثری جهت کاهش پیامدهای تغییر اقلیم انجام پذیرد. هدف از این مطالعه، ارزیابی اثربخشی سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌صورت یکپارچه و براساس خطوط راهنمای انتشار صفر است. در این تحقیق با استفاده از خطوط راهنمای انتشار صفر (انتشار احتراقی، به‌ازای مصرف انرژی و مواد) و مفهوم شدت کربن انتشار معادل دی‌اکسیدکربن محاسبه و اثربخشی سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن مورد ارزیابی قرار گرفته است. براساس نتایج، اثربخش‌ترین سناریوها به‌ترتیب جایگزینی با منبع انرژی فتوولتاییک بوده که به‌میزان ۰/۷ (۵ درصد جایگزینی) تا ۶/۳ درصد(۵۰ درصد جایگزینی) موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. همچنین سناریوهای صرفه‌جویی در مصرف الکتریسیته از ۵ تا ۲۰ درصد که در سه سناریو با میزان ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ صرفه‌جویی الکتریسیته که موجب ۰/۶ درصد تا ۲/۶ درصد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. از سوی دیگر، طرح بازیابی گازهای قابل احتراق در فرآیند تولید پلی‌اتیلن با توجه به فناوری‌های در دسترس می‌تواند به‌میزان۲/۱ درصد در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نقش داشته باشد. در کل می‌توان بیان نمود که بازیابی گازهای قابل احتراق نسبت به سناریوهای پرهزینه‌ای همچون جایگزینی منبع انرژی، ارجحیت دارد.

استناد: دادرس اجیرلو، محسن؛ معین‌الدینی، مظاهر؛ کاظمی، علی؛ و هاشم‌زاده، حدیث (۱۴۰۲). تحلیل سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید پلیمرهای پلی‌اتیلنی مبتنی بر خطوط راهنمای انتشار صفر. *محیط زیست طبیعی*، ۷۶ (۴)، ۵۷۷-۵۶۹.
DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.363347.2586

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

در گذشته به‌دلیل پایین بودن قیمت انرژی و حامل‌های انرژی در ایران، توجه به صرفه‌جویی و منابع جایگزین انرژی توجیه اقتصادی نداشته اما پس از شکل‌گیری مفاهیم گرمایش جهانی و متعهد شدن اکثر کشورهای جهان در راستای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای این رویکرد در ایران مورد توجه قرار گرفته و در سال‌های اخیر صنایع بزرگ، طرح‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در اولویت قرار داده اند (Mahdavi adli *et al*., 2017). می‌توان بیان نمود که استانداردهای ملی و بین‌المللی مبنای طرح‌های ذکر شده بوده است. در سال‌های اخیر خطوط راهنمای Net Zero توسط ISO[1] معرفی شده است. هدف این راهنما نشان دادن سمت و سوی حرکت کشورها، نهادهای بین‌المللی، صنایع بزرگ و غیره در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا پایین آمدن دمای کرۀ زمین به‌میزان ۱/۵ درجۀ سانتی‌گراد تا سال ۲۰۵۰ است. راهکارهای ارائه شده در این خطوط راهنما عبارتند از : کاهش گازهای گلخانه‌ای (با توجه به فرآیند تولید)، استفاده از فناوری‌های نوین، توجه به تنوع زیستی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، صرفه‌جویی انرژی و تعدیل در سیستم‌های اکولوژیک، اجتماعی و اقتصادی، بازنگری در فرآیندهای تولید، استفادۀ کمتر از مواد اولیه و انرژی، استفاده از فرآیندهای تثبیت دی‌اکسیدکربن و بازیافت به‌جای استفاده از مواد خام اولیه است (Fennell *et al*., 2022; ISO/NETZERO, 2023). در مطالعه‌ای کاهش ۱۰ تا ۲۰ درصدی انتشار را مستلزم مسیرهای تحول جدید مانند تولید هیدروژن الکترولیتی، هیدروکربن های مصنوعی و حذف دی‌اکسیدکربن (CDR[2]) دانسته‌اند، به این معنی که، مطالعات انتشار صفر اغلب تنوع زیادی از فناوری‌ها و تعاملات بین بخشی را در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بر می‌گیرد (John, 2021).

مطالعات آینده‌پژوهی نشان می‌دهد که در تعیین مسیرهای احتمالی دستیابی به انتشار صفر و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تعادل بین مقرون به صرفه بودن، اثرات محیطزیستی، نیازهای زیرساختی و پذیرش عمومی دارای اهمیت است. بحث در مورد زمان‌بندی و تعاریف انتشار صفر (مانند بخش اهداف)، نوآوری‌ها (مانند خودکارسازی[3])، تغییرات رفتاری (مانند رژیم غذایی و تحرک)، و عدم اطمینان به فناوری (مانند گزینه‌های حذف کربن) ممکن است در انتخاب سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای موثر باشند (Pye *et al*., 2020). سناریوهایی که در کاهش انتشار پیشنهاد شده‌اند بیشتر در زمینه‌های کاهش انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های جایگزین هستند (John, 2021).

یکی از چالش‌های روز افزون بشر در صنایعی مانند پتروشیمی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است که تأثیر مستقیم در گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی دارد (Takht Ravanchi *et al*., 2014). از محصولات صنایع پتروشیمی در ساخت حدود ۹۶ درصد کالاها در دنیا استفاده می‌شود که نشان‌دهندۀ اهمیت این بخش اقتصادی از نظر محیطزیستی است (Gabrielli *et al*., 2023). این صنایع بیشتر تمرکز بر تجزیه و تحلیل فرآیندهای تولید دارند. تمایل به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند منجر به کاهش بیش از نیمی از انتشار گازهای گلخانه‌ای شود (Sygin and Dolf, 2021). شدت کربن معیاری از انتشار دی‌اکسیدکربن و سایر گازهای گلخانه‌ای به‌ازای یک واحد فعالیت است. ساختار صنایع و پیشرفت فناوری دو عامل تأثیرگذار در شدت انتشار کربن است از طرفی، ارتقاء و بهینه‌سازی ساختار صنعت و پیشرفت فنی جزء عوامل کاهندۀ شدت کربن است. این دیدگاه بر رشد کم کربن، با حداقل مصرف انرژی و انتشار حداقل آلاینده‌ها تاکید دارد .(Cheng *et al*., 2017).

یکی از مهم‌ترین محصولات صنایع پتروشیمی، پلی‌اتیلن است. این صنعت بسیار گستره است و برای تولید این محصول، مقدار زیادی از منابع هیدروکربنی (اتیلن، پروپان و بوتن-۱ و کاتالیست) به‌همراه سوخت فسیلی و الکتریسیته مورد نیاز است. چشم‌انداز کاهش انتشار کربن و حرکت به سوی کاهش گرمایش جهانی لزوم تغییر رویکرد در بحث سوخت و انرژی را در صنایع پتروشیمی تسریع کرده است. در سطح جهانی، یکی از موارد چالش برانگیز برای مدیران صنایع پتروشیمی بحث انرژی است که در این مورد سه رویکرد: استفاده از انرژی پاک، طرح‌های مدیریتی و بهینه‌سازی مصرف سوخت و انرژی در نظر گرفته شده است (Hu *et al*.,

[1] International Organization for Standardization

[2] Carbon Dioxide Removal

[3] Automation

2023). همچنین صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تولید انرژی سازگار با محیط‌زیست نه تنها توسعهٔ اقتصادی را در صنایع پتروشیمی گسترش می‌دهد بلکه حرکت به‌سوی توسعهٔ پایدار را تقویت می‌کند (Peng *et al*., 2023).

امروزه مدیریت مصرف انرژی در صنایع به یک ضرورت تبدیل شده است. سوزاندن گازهای قابل احتراق منبع اصلی اتلاف انرژی در اکتشافات نفت و گاز، پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی است. شعله‌ور شدن به انتشار مقادیر زیادی از آلاینده‌های محیط‌زیستی مانند CO_2، SOx، NOx و هیدروکربن‌ها و همچنین سایر اثرات نامطلوب انسانی و محیطی می‌انجامد. در این راستا کاهش یا بازیابی گازهای مشعل به یکی از دغدغه‌های اصلی صنایع مربوطه تبدیل شده است. ایران با داشتن ۱۷/۴۰ میلیارد متر مکعب گازهای مشعل سالانه، رتبهٔ سوم را در میان کشورهای برتر گاز سوز در سال ۲۰۲۱ به‌خود اختصاص داده است. شعله‌ور شدن چنین میزان گاز نشان‌دهندهٔ زیان اقتصادی قابل توجه و همچنین انتشار حجم زیادی از گازهای گلخانه‌ای است (Deljoo *et al*., 2023). تولید و انتقال مواد اولیه، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی و در نهایت مصرف بالای الکتریسیته صنایع پلی‌اتیلنی همراه با انتشار گازهای گلخانه‌ای است که بایستی نگاه جامع و یکپارچه‌ای را اتخاذ نمود. بنابراین هدف این مطالعه ارزیابی مقدار انتشار و ارزیابی اثربخشی سناریوهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن براساس رویکرد شدت کربن و خطوط راهنمای انتشار صفر است.

روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه جهت محاسبهٔ معادل دی‌اکسید کربن انتشار یافته به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن با مراجعه به واحد صنعتی تولیدکنندهٔ پلی‌اتیلن اطلاعات مصرف الکتریسیته و مواد مصرفی اخذ شد (Dadrasajirlou, 2023) (شکل ۱). در این پژوهش سه دامنهٔ انتشار گازهای گلخانه‌ای براساس خطوط راهنمای انتشار صفر مورد ارزیابی قرار گرفت که عبارتند از: ۱- انتشار مستقیم ۲- انرژی ۳- مواد مصرفی

دامنهٔ یک: با استفاده از داده‌های سوخت مصرفی مقدار سوخت مورد نیاز برای تولید یک تن پلی‌اتیلن محاسبه شد (شکل ۱) و سپس با استفاده از ضرایب انتشار[4] مربوط به تجهیزات مصرف‌کنندهٔ سوخت مانند بویلر و فلر میزان انتشار مستقیم گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن محاسبه شد (جدول ۱).

دامنهٔ دو: با استفاده از میزان کل الکتریسیتهٔ مصرفی سالیانه واحد صنعتی، میزان الکتریسیتهٔ مصرفی به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن محاسبه شد و با استفاده از پایگاه دادهٔ ecoinvent و ضرایب انتشار، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن به‌دست آمد (Dadrasajirlou, 2023) (جدول ۱).

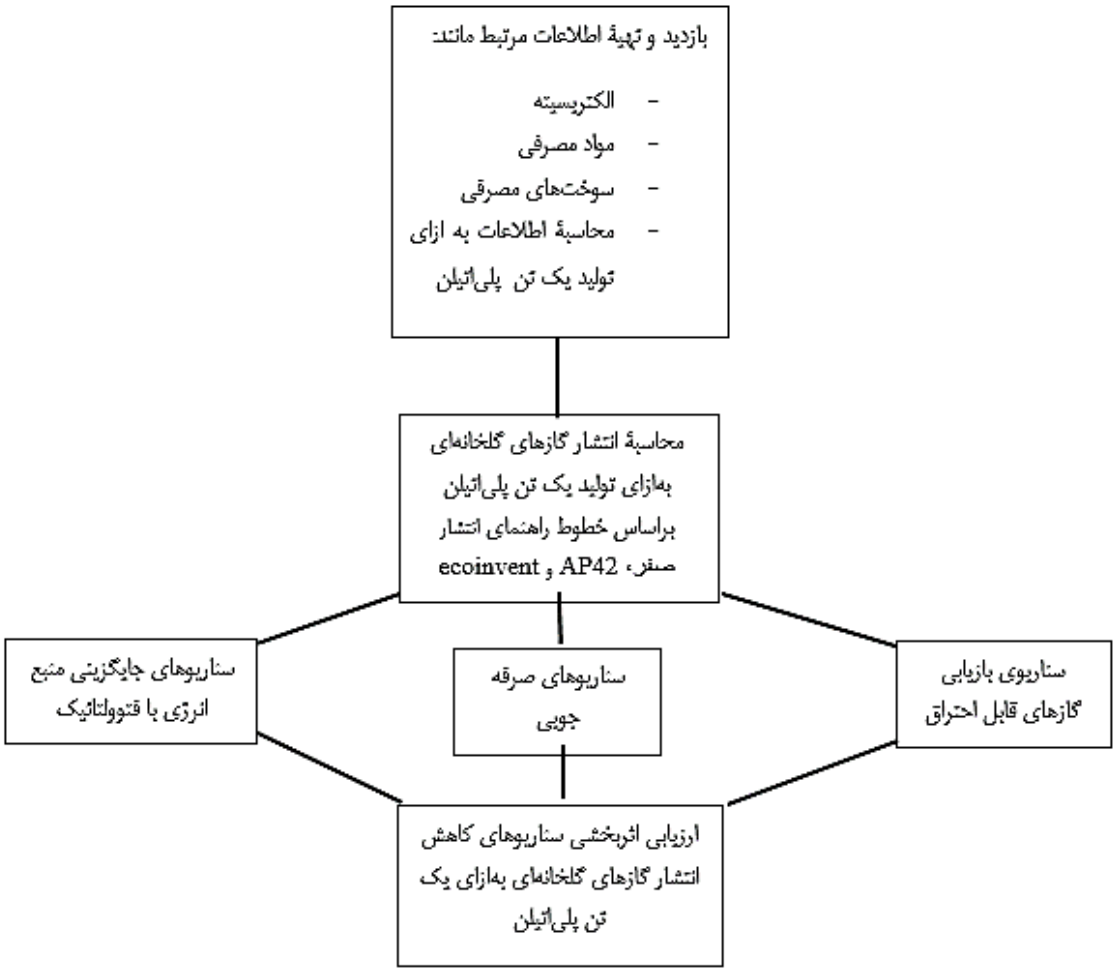
دامنهٔ سه: در این دامنه نیز ابتدا با استفاده از اطلاعات مربوط به مواد مصرفی جهت تولید پلی‌اتیلن، میزان مادهٔ مصرفی به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن محاسبه شد(شکل ۱). مواد عمدهٔ مصرفی برای تولید پلی‌اتیلن به‌صورت عمده، دو مادهٔ گاز اتیلن (۹۸٪) و بوتن ۱(۲٪) می‌باشد. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای ۹۸۰ کیلوگرم اتیلن و ۲۰ کیلوگرم بوتن ۱ با استفاده از ضرایب انتشار و پایگاه دادهٔ ecoinvent محاسبه شد (ecoinvent database, 2023) (جدول ۱).

براساس جدول ۳، تعداد ۸ سناریو در نظر گرفته شده است که چهار سناریو برای جایگزینی منبع انرژی (سناریوهای ۱ تا ۴)، سه سناریو برای کاهش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی (سناریوهای ۵ تا ۷) و یک سناریو برای بازیابی گازهای قابل احتراق(سناریو ۸) در نظر گرفته شده است. در سناریوی جایگزینی منبع انرژی، الکتریسیتهٔ مصرفی با در نظر گرفتن استفاده از نیروگاه خورشیدی با صفحات خورشیدی مورد ارزیابی قرار گرفته است و در سناریوهای ذخیره‌سازی الکتریسیتهٔ مصرفی، صرفه‌جویی در نظر گرفته شده است. در سناریوی بازیابی گازهای قابل احتراق، اثربخشی این طرح مورد ارزیابی قرار گرفت. در سناریوهای برق فتوولتایک میزان انتشار معادل دی‌اکسیدکربن برای تولید ۱ کیلووات برق فتوولتاییک با استفاده از پایگاه دادهٔ ecoinvent و نرم‌افزار SimaPro به‌دست آمد که برای هریک از سناریوها، استفاده از سناریوهای برق فتوولتایک براساس درصد برق مصرفی برای تولید یک تن پلی‌اتیلن در سناریوهای اول (۵۰٪)، دوم (۲۰٪)، سوم (۱۰٪) و چهارم (۵٪) تعمیم داده شد. در ادامه اثربخشی هر یک از سناریوها

[4] AP42

جدول ۱- سیاههٔ موجودی به‌ازای تولید یک تن پلی اتیلن

دسته	ماده	مقدار	واحد
مواد مصرفی	گاز اتیلن	۹۸۰	کیلوگرم
	بوتن-۱	۲۰/۲۳	کیلوگرم
	کاتالیست	۰/۷	کیلوگرم
انرژی	الکتریسیته	۰/۶۷	مگاوات
	سوخت مصرفی	۱۴/۳	کیلوگرم
انتشار به هوا	دی‌اکسید کربن	۶/۸۳۲	کیلوگرم



شکل ۱- روش انجام کار

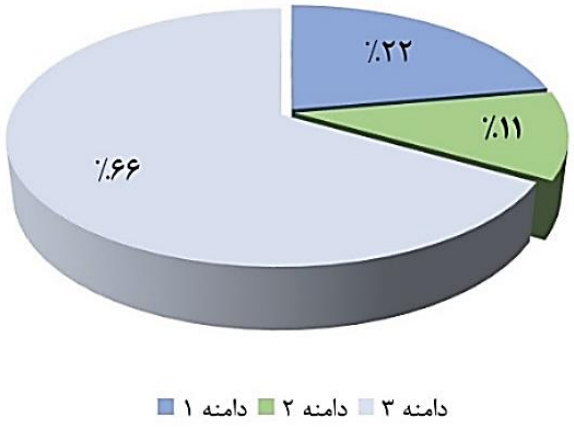
با وضع موجود مقایسه شد (ecoinvent database, 2023). در سناریوی ۸ که مربوط به انتشارات مستقیم است این سناریو به‌صورت ترکیبی دامنهٔ یک و سه را شامل می‌شود بدین‌صورت که میزان گاز ارسالی به فلر جهت سوزاندن، بازچرخانی شده و به‌عنوان مادهٔ اولیه برای تولید پلی‌اتیلن استفاده شده است.

یافته‌های پژوهش

در جدول ۲ میزان انتشار معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن ارائه شده است. در این بخش، ابتدا وضع موجود در سه دامنه براساس خطوط راهنمای انتشار صفر شامل دامنه‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای مستقیم (دامنهٔ ۱)، مرتبط با انرژی (دامنهٔ ۲) و انتشار مرتبط با مواد مصرفی (دامنهٔ ۳) ارائه شده است. در ادامه، نتایج ارزیابی اثربخشی سناریوهای مرتبط با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن شامل بازیابی گازهای قابل احتراق (سناریو ۸)، کاهش و صرفه‌جویی در مصرف الکتریسیته (سناریوهای ۷-۵) و استفاده از انرژی‌های جایگزین (سناریوهای ۴-۱) ارائه شده است. ارزیابی وضع موجود از انتشار

جدول ۲- معادل دی‌اکسیدکربن انتشار یافته برای تولید یک تن پلی‌اتیلن در سناریوی پایه (وضع موجود)

دامنه	نوع انتشار	معادل کیلوگرم دی‌اکسیدکربن
دامنهٔ ۱	مستقیم	۳۶۷/۸
دامنهٔ ۲	انرژی	۲۲۵/۲۵
دامنهٔ ۳	مواد مصرفی	۱۱۴۰/۵
جمع		۱۷۳۳/۵۵



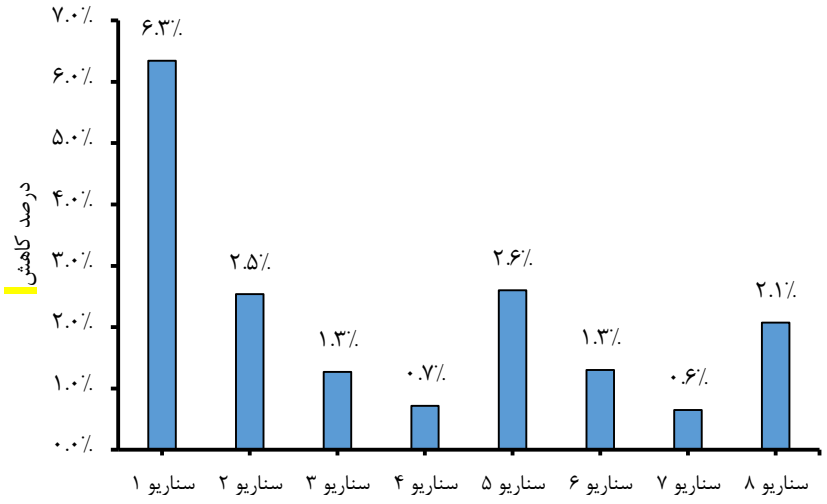
شکل ۲- انتشار معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای یک تن پلی‌اتیلن (٪)

گازهای گلخانه‌ای براساس دامنه‌های تعریف شده در خطوط راهنمای انتشار صفر، به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن در شکل ۲ و جدول ۲ ارائه شده است. نتایج وضع موجود نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان دی‌اکسیدکربن منتشر شده مربوط به مواد مصرفی و الکتریسیته به‌ترتیب ۱۱۴۰/۵ (۶۷ درصد) و ۲۲۵/۲۵ (۱۱ درصد) کیلوگرم معادل دی‌اکسیدکربن است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مجموع دو دامنهٔ ۱ و ۲، ۳۳ درصد از کل انتشار معادل دی‌اکسیدکربن به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن را به‌خود اختصاص داده است.

در سناریوهای جایگزینی، منبع انرژی الکتریسیته مصرفی از سوخت فسیلی با فتوولتاییک در نظر گرفته شده است. براساس جایگزینی ۵۰، ۲۰، ۱۰، ۵ درصد انرژی الکتریسیتهٔ مصرفی، انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن (سناریوهای ۱ تا ۴) به‌ترتیب شامل ۱۱۰، ۴۴، ۲۲، ۱۲ کیلوگرم کاهش یافته است (جدول ۳). با توجه به اینکه کل الکتریسیتهٔ مصرفی در وضع موجود دارای انتشار ۱۱ درصدی (دامنهٔ ۲) (جدول ۲) به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن است بنابراین در بالاترین سطح جایگزینی که استفادهٔ ۵۰ درصدی از برق فتوولتاییک است تنها می‌توان به‌میزان ۶/۳ درصد از کل انتشار را کاهش داد و این امر نشان‌دهندهٔ اهمیت کم این سناریوها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. از طرفی این میزان کاهش همراه با صرف هزینهٔ بالا برای احداث نیروگاه خورشیدی است. در سناریوهای صرفه‌جویی الکتریسیته با در نظر گرفتن کاهش ۲۰، ۱۰، ۵ درصدی مصرف الکتریسیته، انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن (سناریوهای ۵ تا ۷) به‌ترتیب شامل ۴۵، ۲۳، ۱۱ کیلوگرم کاهش یافته است. با توجه به اینکه میزان نقش الکتریسیته در کل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۱۱ درصد به‌دست آمده است می‌توان بیان نمود (جدول ۲) که در صرفه‌جویی الکتریسیته محدودیت وجود دارد در بهترین حالت صرفه‌جویی (سناریو ی ۵) ۲۰ درصدی الکتریسیته در نظر گرفته شده است که این میزان کاهش معادل با ۲/۶ درصد از کل انتشار معادل دی‌اکسیدکربن است که در مقابل صرفه‌جویی ۲۰ درصدی ناچیز است. در سناریوی ۸، پتانسیل کاهش انتشار مستقیم یا حاصل از احتراق مورد ارزیابی قرار گرفته است که با اجرای طرح بازیابی گازهای قابل احتراق میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن ۳۶ کیلوگرم کاهش یافته است. با توجه به اینکه در انتشار مستقیم با توجه به وضع موجود که در شکل ۲ ارائه شده است محدودیت ۲۲ درصدی از انتشار کل وجود دارد و از طرفی با توجه به اینکه بازیابی گازهای قابل احتراق به فرآیند، باعث جلوگیری از هدررفت آن گاز به‌عنوان مادهٔ اولیه شده و همچنین موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌واسطهٔ سوختن در فلر می‌شود. نتایج مطالعه‌ای

جدول ۳- اثربخشی سناریوها در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلین

سناریو	سناریوهای جایگزینی منبع انرژی				سناریوهای کاهش و صرفه‌جویی مصرف انرژی			سناریوی بازیابی گازهای قابل احتراق
	۱ (٪۵۰)	۲ (٪۲۰)	۳ (٪۱۰)	۴ (٪۵)	۵ (٪۲۰)	۶ (٪۱۰)	۷ (٪۵)	۸
درصد	-۶/۳	-۲/۵	-۱/۳	-۰/۷	-۲/۶	-۱/۳	-۰/۶	-۲/۱
کیلوگرم	-۱۱۰	-۴۴	-۲۲	-۱۲	-۴۵	-۲۳	-۱۱	-۳۶



شکل ۳- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با سناریوهای مختلف

در یک واحد پالایشگاهی شرکت بریتیش پترولیوم در کشور انگلیس نشان داد که امکان بازیابی گازهای قابل احتراق به فرآیند تولید امکان‌پذیر است و عمل سوزاندن گازهای قابل احتراق در فلر منطقی نبوده و و بازچرخانی به مرحلهٔ تولید، باعث کاهش قابل توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Simmonds *et al.*, 2003). سوزاندن گازهای قابل احتراق منبع اصلی اتلاف انرژی در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی است همچنین عامل انتشار آلاینده‌های هوا و اثرات نامطلوب انسانی و محیطزیستی است (Deljoo *et al.*, 2023).

در سناریوهای جایگزینی منبع انرژی الکتریسیته، بیشترین میزان کاهش انتشار مربوط به سناریوی ۱ با جایگزینی ۵۰ درصدی منبع تأمین انرژی الکتریسیته از سوخت فسیلی به فتوولتاییک است. در سناریوهای صرفه‌جویی الکتریسیته، بیشترین کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به سناریوی ۵ با کاهش ۲۰ درصدی الکتریسیته است. در مجموع با توجه به سناریوهای ارائه شده می‌توان با تلفیق سه سناریوی ۱- جایگزینی ۵۰ درصدی الکتریسیتهٔ فتوولتاییک (کاهش ۶/۳ درصدی)، ۲- صرفه‌جویی به میزان ۲۰ درصدی مصرف الکتریسیته (کاهش ۲/۶ درصدی) و ۳- اجرای پروژهٔ بازیابی گازهای قابل احتراق، می‌توان ۱۱ درصد (۱۹۱ کیلوگرم) از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی اتیلن را کاهش داد. در مطالعهٔ مروری در خصوص جایگزینی انرژی خورشیدی در صنعت ذکر شده است که به میزان ۴۵ درصد از انرژی مورد استفاده در صنایع تا سال ۲۰۵۰ بایستی با انرژی خورشیدی جایگزین شوند (Mekhilef *et al.*, 2011). اثر بخشی جایگزینی خورشیدی تا سطح ۵۰ درصد در این مطالعه بیانگر این مطلب است که بایستی اثر بخشی سناریوهای مرتبط از جنبه‌های مختلف به‌خصوص انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد توجه قرار گیرد. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که اثر بخشی سناریوهایی مانند بازیابی گازهای قابل احتراق در صنایع پتروشیمی علاوه بر اثر بخش بودن، هزینهٔ کمتری نسبت به سناریوهای جایگزینی با منبع تأمین انرژی خورشیدی را دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

صنایع پتروشیمی از مهمترین صنایع تأثیرگذار در انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای هستند. امروزه یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورهای مختلف دنیا کنترل و کاهش پیامدهای محیط‌زیستی و تغییرات اقلیمی ناشی از صنایع پتروشیمی جهت حفاظت از محیط‌زیست است. این صنایع با توجه به انواع فعالیت‌ها و فرآیندها، پتانسیل بالایی در افزایش گرمایش جهانی دارند.

در این پژوهش با استفاده از خطوط راهنمای انتشار صفر و مفهوم شدت کربن، اثر بخشی ۸ سناریو جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌ازای تولید یک تن پلی‌اتیلن مورد ارزیابی قرار گرفت. در این راستا، در سناریوهای یک تا چهار استفاده از سناریوهای جایگزینی منبع انرژی، در سناریوهای پنجم تا هفتم سناریوهای کاهش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی و در سناریوی هشتم بازیابی گازهای قابل احتراق به مراحل تولید مورد ارزیابی قرار گرفت. در مجموع اثربخش‌ترین سناریوها، سناریوهای مربوط به جایگزینی منبع انرژی بود که به‌میزان قابل توجهی (به‌ازای ۵۰ درصد برق فتوولتاییک ۱۱۰کیلوگرم دی‌اسیدکربن معادل ۶/۳ درصد) باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (معادل دی‌اکسیدکربن) می‌شود و سپس سناریوهای کاهش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی است که تأثیر بالایی (به‌ازای ۲۰ درصد کاهش، ۴۵ کیلوگرم دی اکسیدکربن معادل ۲/۶ درصد) در کاهش انتشار معادل دی‌اکسیدکربن داشته است و در انتها اجرای سناریو ۸ که همان بازیابی گازهای قابل احتراق است تأثیر بالای (۳۶ کیلوگرم معادل۲/۱ درصد) در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید یک تن پلی‌اتیلن داشته است. در پژوهشی که برای جایگزینی انرژی فتوولتاییک در سیستم‌های خنک‌کننده در جنوب اروپا و منطقهٔ مدیترانه انجام شده است با توجه به اینکه بازدهی سلول‌های خورشیدی به دما، تابش، ویژگی‌های طیف نوری خورشید و غیره بستگی دارد و در حال حاضر بازدهی سلول‌های فتوولتاییک در امیدوارکننده‌ترین شرایط ۱۲ تا ۱۹ درصد است. حداکثر ۴۰ الی ۵۰ درصد از انرژی اولیهٔ سیستم‌های خنک کننده صرفه‌جویی شده است (Mekhilef *et al.*, 2011). از طرفی، با در نظر گرفتن هزینه بالای ساخت نیروگاه فتوولتاییک و محدودیت در صرفه‌جویی می‌توان گفت که سناریوی بازیابی گازهای قابل احتراق نسبت به سناریوهای پرهزینهٔ دیگر مانند ساخت نیروگاه برق فتوولتاییک اثر بخشی بیشتری دارد و استفاده از آن در صنایع پتروشیمی توصیه می‌شود.

References

Cheng, Z., Li, L., Liu, J., 2017. Industrial structure, technical progress and carbon intensity in China's Provinces. Renewable and Sustainable Energy Reviews 81(2), 2935-2946.

Dadrasajirlou, M., 2023. Evaluation of the absolute environmental sustainability of polyethylene production based on the life cycle perspective. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. pp. 25-30. (In Persian)

Dashti, S., Dashtebozorgi, F., 2021. Determination of Effective Criteria for Power Plants Site Selection. Human & Environment 19(1), 1-21. 1 (In Persian)

Deljoo, M., Bijan, M., Khoda Kazi, M., Jafari, M., 2023. A techno-economic review of gas flaring in Iran and its human and environmental impacts. Process Safety and Environmental Protection 173, 642-665.

Fennel, P., Driver, J., Bataille, C., Davis, S., 2022. Nature. Going net zero for cement and steel. Nature 603(7902), 574-577.

Gabrielli, P., Rosa, L., Gazzani, M., Meys, R., Bardow, A., Mazzotti, M., Sansavini, G., 2023.One Earth. Net-zero emissions chemical industry in a world of limited resources. One Earth 6(6), 682-704.

https://ecoinvent.org/. ecoinvent Database. References from the Industry. 2023

Hu, J., Tang, Q., Wu, Z., Zhang, B., He, C., Chen, Q., 2023. Optimization and assessment method for total energy system retrofit in the petrochemical industry considering clean energy substitution for fossil fuel. Energy Conversion and Management 284, 116967.

John. E.T., 2021. Roadmaps to net-zero emissions systems: emerging insights and modeling challenges. Joule 5(10), 2551-2563.

Mahdavi-Adli, M., Farahat, S., Sarhaddi, F., 2017. Analysis and optimization using renewable energies to get Net-Zero energy building for warm climate. Journal of Computational Applied Mechanics 48(2), 331-344. (In Persian)

Mekhilef, S., Saidur, R., Safari, A., 2011. A review on solar energy use in industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(4), 1777-1790.

Peng, D., Yi, J., Chen, A., Chen, H., Yang, J., 2023. Decoupling trend and emission reduction potential of CO2 emissions from China's petrochemical industry. Environmental Science and Pollution Research 30, 23781-23795

Pye, S., Broad, O., Bataille, C., Brockway, P., Daly, H, E., Freeman, R., Gambhir, A., Geden, O., Rogan, F., Sanghvi, S., Tomei, J., Vorushylo, I., Watson, J., 2020. Modelling net-zero emissions energy systems requires a change in approach. Climate Policy 21(2), 222-231.

Sadat, M., Zoghi, M., Karimi, S., 2015. Locating the construction of solar power plant using geographic information system and hierarchical analysis method. 22 p. (In Persian)

Saygin, D., Gielen, D., 2021. Zero-emission pathway for the global chemical and petrochemical sector. Energies 14(13), 3772.

SBTi (Science Based Targets initiative), 2023, SBTi Corporate Net-Zero Standard. https:// sciencebasedtargets.org/resources/files/Net-Zero-Standard.pdf

Simmonds, M., Hurst, P., Wilkinson, M.B., Watt, C., Roberts, C.A., 2003. Elsevier Science, a study of very large scale post combustion CO_2 capture at a refining & petrochemical complex. In Greenhouse Gas Control Technologies-6th International Conference, pp. 39-44.

TakhtRavanchi, M., Sahebdelfar, S., 2014. Carbon dioxide capture and utilization in petrochemical industry: potentials and challenges. Applied Petrochemical Research 4, 63-77.