



DOI: 10.22034/ijche.2024.414677.1347



This journal is an open access journal licensed under an Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International license (CC BY-NC-ND 4.0).

Identifying and Evaluating Adaptation Solutions to Climate Change in the Iranian Petrochemical Industry

E. GhasemiKafrudi^{1*}, S. Sh. Seif², Z. Sobhani¹, S. Hemati³, D. Emadi⁴, K. Kashefi⁵

1- M. Sc. in Chemical Engineering, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI)

2- Ph. D. in Chemical Engineering, Vira Sustainable Processes Company

3- M. Sc. in Environmental Engineering, National Iranian Petrochemical Company (NIPC)

4- M. Sc. in Crisis Management, National Iranian Petrochemical Company (NIPC)

5- Ph. D. in Environmental Engineering, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI)

Email: Ghasemies@ripi.ir

Abstract

A variety of solutions and pathways to create and strengthen adaptation to climate change according to the characteristics of the Iranian petrochemical industry have been introduced in this study and were divided into different categories in terms of the timing required for implementation (short-term, medium-term and long-term) as well as the implementation nature (green, soft and grey). In the next step, these solutions were evaluated from the technical-economic-executive point of view, according to 8 criteria, and the present adaptation capacity of the petrochemical industry was evaluated based on 5 elements for each solution. All evaluations were semi-quantitatively based on the expert's judgement. Finally, based on the two indicators of "executive attractiveness" and "adaptation capacity", adaptation solutions to climate change in the petrochemical industry were prioritized. The results of this study revealed that the solutions identified to create adaptation to climate change in the petrochemical industry have a suitable executive appeal and adaptation capacity exists in an optimal extent among petrochemical companies. The solutions that got the highest score in terms of executive attractiveness include energy efficiency in equipment and processes and buildings, renewable energies (solar, wind, etc.), flare reduction, and evaluating and managing natural, safety, and health risks. It was also found that solutions such as CCU and CCS, water condensate collection and water recovery, as well as recycling and recovering waste into products or energy, are among the solutions that have the least practical appeal and are considered as strategic options.

Received: 3 September 2023

Accepted: 7 April 2024

Page Number: 9-22

Keywords:

Adaptation Solutions,
Climate Change,
Petrochemical Industry,
Adaptation Capacity

Please Cite this Article Using:

GhasemiKafrudi, E., Seif, S. Sh., Sobhani, Z., Hemati, S., Emadi, D., & Kashefi, K. (2025). Identifying and Evaluating Adaptation Solutions to Climate Change in the Iranian Petrochemical Industry. *Iranian Chemical Engineering Journal*, 23(137), 9-22, [In Persian].



شناسایی و ارزیابی راه کارهای سازگاری با تغییر اقلیم در صنعت پتروشیمی کشور

اسماعیل قاسمی کفرودی^{۱*}، سید شایان سیف^۲، زینب سبحانی^۱، ثریا همتی^۳، داود عمادی^۴، کاظم کاشفی^۵

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، پژوهشگاه صنعت نفت

۲- دکتری مهندسی شیمی، شرکت پایدار فرایند ویرا

۳- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران

۴- کارشناس ارشد مدیریت بحران، شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران

۵- دکتری مهندسی محیط زیست، پژوهشگاه صنعت نفت

پیام نگار: Ghasemies@ripi.ir

چکیده

انواع راه کارها و مسیرهای ایجاد و تقویت سازگاری با تغییر اقلیم متناسب با ویژگی های صنعت پتروشیمی کشور در این مطالعه معرفی و از نظر زمان بندی مورد نیاز برای اجرا (کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت) و نیز ماهیت اجرایی (سبز، نرم و خاکستری) به دسته بندی های مختلفی تقسیم شد. در مرحله بعدی، این راه کارها از منظر ۸ معیار، ارزیابی فنی-اقتصادی-اجرایی شد و ظرفیت سازگاری موجود در وضعیت فعلی صنعت پتروشیمی کشور براساس ۵ عنصر برای هر راه کار سنجش شد. تمامی ارزیابی ها براساس دریافت نظرات خبرگان صنعت پتروشیمی و به صورت نیمه کمی بوده است. در نهایت، براساس دو شاخص جذابیت اجرایی و ظرفیت سازگاری، راه کارهای سازگاری با تغییر اقلیم در صنعت پتروشیمی، اولویت بندی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که راه کارهای شناسایی شده برای ایجاد سازگاری با تغییر اقلیم در صنعت پتروشیمی از جذابیت اجرایی مناسبی برخوردار است و ظرفیت سازگاری در سازمان ها (شرکت های پتروشیمی) برای اجرای آن ها تا حد مطلوبی وجود دارد. راه کارهایی که بالاترین امتیاز را از نظر جذابیت اجرایی گرفت، عبارت است از: بهینه سازی مصرف انرژی در تجهیزات و فرایندها و ساختمان ها، انرژی های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی و غیره)، کاهش شدت گازهای ارسالی به مشعل و ارزیابی و مدیریت مخاطرات طبیعی، ایمنی و سلامت. هم چنین، مشخص شد که راه کارهایی هم چون ^۱CCU و ^۲CCS، جمع آوری میعانات آبی و بازگردانی آب و نیز بازیافت و تبدیل پسماند به محصول یا انرژی، از جمله راه کارهایی هستند که کمترین جذابیت اجرایی را دارد و به آن ها به عنوان گزینه های راه بردی می توان نگاه کرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۱۹

شماره صفحات: ۹ تا ۲۲

کلیدواژه ها:

راه کارهای سازگاری،

تغییر اقلیم،

صنعت پتروشیمی،

ظرفیت سازگاری

1. Carbon Capturing and Utilization

2. Carbon Capturing and Storage

* تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، پردیس پژوهش و توسعه انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه توسعه و بهینه سازی فناوری های انرژی، گروه پژوهش سوخت و احتراق

استناد به مقاله:

قاسمی کفرودی، اسماعیل، سیف، سید شایان، سبحانی، زینب، همتی، ثریا، عمادی، داود، و کاشفی، کاظم. (۱۴۰۳). شناسایی و ارزیابی راه کارهای سازگاری

حدود ۹۲٪ محصولات شیمیایی دنیا از نفت و گاز تولید شده و حدود ۳۰٪ انرژی مصرفی در بخش صنعت، مربوط به صنایع شیمیایی و پتروشیمیایی است. در صنعت پتروشیمی مدرن، نفت و گاز هم به عنوان خوراک و هم به عنوان حامل انرژی مورد نیاز فرایندها، بالغ بر ۵۰٪ هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد و در نتیجه این صنعت هم از منتشركندگان بزرگ گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌رود و آسیب‌پذیری بالایی نسبت به قیمت انرژی و کربن دارد. هم‌چنین، کاهش انتشار در صنعت که وابسته به سوخت‌های فسیلی است، چالش بزرگی محسوب می‌شود [۱]. برآوردها نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۰ میزان انتشار مستقیم صنایع پتروشیمی در جهان حدود ۱۸۰۰ میلیون تن و انتشار غیرمستقیم آن برای تأمین خوراک، حدود ۳۸۰۰ میلیون تن معادل دی‌اکسید کربن بوده است. در مجموع، این صنعت حدود ۱۰٪ گازهای گلخانه‌ای جهان را منتشر کرده است. صنایع پتروشیمی سومین منتشركندگان گازهای گلخانه‌ای در میان صنایع و عهده‌دار حدوداً ۱۴٪ تقاضای نفت جهانی است [۲].

مطالعات اخیر نشان‌دهنده دو زمینه مهم و در ظاهر متقابل برای صنعت پتروشیمی در ارتباط میان صنعت، محیط زیست و جامعه است، که عبارت است از: (۱) صنعت پتروشیمی به عنوان محافظی برای زندگی مدرن و (۲) ضرورت صنعت پتروشیمی برای حل معضلات محیط زیستی [۳]. طبق نتایج مطالعه دیگری، وابستگی قابل توجه صنعت پتروشیمی به سوخت‌های فسیلی دو ملاحظه مهم مرتبط با پایداری ایجاد می‌کند، که عبارت است از: (۱) اثر فرایندهای شیمیایی بر تغییر اقلیم و (۲) محدود و متنهای بودن منابع فسیلی [۴و۵]. راه کارهای توسعه پایدار برای صنعت پتروشیمی باید هر دو ملاحظه را دربرگیرد؛ اما هرگونه تغییری باید یک پارچگی و پیچیدگی‌های این صنعت را در نظر بگیرد، که مهم‌ترین جنبه‌های آن عبارت است از:

- ارتباط فیزیکی میان زیرساخت‌های پتروشیمی با پالایش نفت و گاز
- وابستگی صنایع به ارتباط میان پالایش نفت و کراکینگ اولفین
- اقتصاد و تجارت شرکت‌ها و بازیگران اصلی در این صنعت

احتمال خطرهای ایمنی و محیط زیستی ناشی از پدیده‌های شدید جوی در زیرساخت‌های نفت، گاز و پتروشیمی را می‌توان در سه عنوان زیر دسته‌بندی کرد [۶و۷]:

- ✓ مخاطرات خارجی که در مطالعات ارزیابی احتمال خطر، آنالیز ایمنی فرایند و طرح واکنش اضطراری دیده نشده‌اند.
- ✓ اغلب ارزیابی‌های احتمال خطر، مخاطرات منفرد برای زیرساخت‌ها را در نظر گرفته و به ندرت احتمال خطر سیستماتیک چندگانه را شامل می‌شوند.
- ✓ پتانسیل نشت مواد شیمیایی

رویه‌های ارزیابی مخاطرات خارجی و مخاطرات سیستماتیک چندگانه، با روش‌های نوین قابل بهبود هستند. به عنوان مثال، به کارگیری مهندسی فجایع در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی و استفاده از اصول تاب‌آوری [۸] و هم‌چنین برنامه‌ریزی بر مبنای بازرسی مبتنی بر احتمال خطر خودسازگار شونده^۱ در صنعت پتروشیمی [۹] در مطالعات اخیر محل توجه قرار گرفته‌اند.

اثرات بالقوه به محل جغرافیایی وابستگی زیادی دارد. افزایش سیل در نواحی ساحلی، طوفان، صاعقه، بالآمدن آب دریاها و رانش زمین از جمله مخاطرات طبیعی مهم هستند. به عنوان مثال، در اثر طوفان‌های کاترینا و ریتا در ایالات متحده آمریکا، ۱۶۳ سکوی فراساحلی نفت و گاز به کلی تخریب شد و صدها کیلومتر خط لوله آسیب دید و یا جابه‌جا شد. سیل و سیلاب می‌تواند به ساختمان‌ها، زیرساخت‌های فلزی، مخازن، راه‌ها و خطوط لوله آسیب وارد کند. تجهیزات روزمینی خطوط لوله، مانند شیرها و پمپ‌ها بیشتر در معرض آسیب هستند. هم‌چنین، سیل می‌تواند منجر به اتصالات مدار کوتاه در تجهیزات الکتریکی شود و عملیات را به‌طور ناگهانی مختل یا متوقف کند. تغییر در الگوهای بارشی و رشد جمعیت نیز بر رژیم تأمین آب تأثیرگذار است. تغییر دمای محیط نیز منجر به کمبود آب و افزایش هزینه‌های تأمین آب خواهد شد. افزایش شدید باران هم موجب فرسایش زیرساخت‌ها و افزایش هزینه‌ها می‌شود و بر فرایند انتقال و توزیع فرآورده‌ها تأثیرگذار است [۶]. بالآمدن آب دریاها و افزایش سیل در نواحی ساحلی و اثرات آن بر زیرساخت‌های صنعت پتروشیمی در سطح جهان به‌طور اختصاصی در مطالعه دیگری تحلیل شده است [۱۰].

در مجموع، جامعه جهانی به این نتیجه رسیده که صنعت پتروشیمی

1. Self-Adaptive Risk-Based Inspection Planning

نیازمند طراحی مجدد است تا پاسخگوی نیازهای جامعه باشد و الزامات زیست‌بوم و سلامت انسانی را رعایت کند. در این راستا نیازمند تدوین راه‌برد انتقالی است تا تأثیرات را کاهش دهد و توسعه پایدار این صنعت را تضمین کند. این امر از نقطه‌نظر پاسخ‌گویی به موارد زیر ضروری است [۱۱]:

- ✓ وابستگی به سوخت‌های فسیلی
- ✓ آسیب‌پذیری زنجیره تأمین
- ✓ کاهش سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه
- ✓ فشارهای تغییرات اقلیمی
- ✓ ملاحظات سلامت عمومی و محیط زیستی
- ✓ تغییر در بازارهای مصرف

مطالعه دیگری به بررسی فرصت‌ها و چالش‌های دوران گذار صنعت پتروشیمی برای کربن‌زدایی پرداخته و برای رسیدن به این هدف، به ارزیابی دسترسی به منابع طبیعی، نقش صنعت پتروشیمی در اقتصاد و وضعیت اقتصادی - سیاسی کشورهای تولیدکننده محصولات پتروشیمی کلیدی پرداخته است [۱۲]. نتایج این مطالعه نشان داده است که تدوین سیاست‌های مقابله‌ای دوران گذار برای ۱۰ کشور تولیدکننده عمده از جمله ایران با دشواری همراه است و به اقدامات جدی دولت، صاحبان کسب‌وکار و جامعه مدنی نیاز دارد. شاخص‌های صلاحیت حرفه‌ای صنعت پتروشیمی ایران با رویکرد توسعه پایدار در مطالعه دیگری بررسی شده و نتایج آن نشان داده است که قابلیت‌های ذهنی و عملکرد حرفه‌ای عمومی از مؤثرترین و اساسی‌ترین ابعاد این موضوع هستند [۱۳]. در همین راستا، مطالعه قابل توجهی بر روی ارزیابی میزان اثربخشی یادگیری سازمانی و اجتماعی بر فرایند ایجاد سازگاری با تغییر اقلیم در یک مجتمع پتروشیمی در برزیل انجام شده و نتایج آن نشان داده است که افزایش تاب‌آوری، کاهش مخاطرات و ظرفیت‌سازی مداوم برای برنامه‌ریزی و اقدام درون‌سازمانی، از این راه قابل بهبود است [۱۴].

مرور منابع در این مطالعه نشان داد که بیشتر تحقیقات در زمینه ارتباط صنعت پتروشیمی با تغییر اقلیم بر جنبه کاهش انتشار تمرکز دارد و منابعی که به سازگاری با تغییر اقلیم مرتبط باشند، محدود و نتایج آن‌ها در برخی موارد استنتاجی است. مرور برنامه‌های کشورهای صاحب صنعت پتروشیمی در این مطالعه نیز نشان داد که مهم‌ترین راه‌کارهایی که برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و

افزایش سازگاری با تغییر اقلیم و پیامدهای آن در صنایع پتروشیمی شناسایی و در نتایج مطالعات مختلف ارائه شده، به شرح زیر است [۱۷ و ۱۶ و ۱۵ و ۲]:

- بهینه‌سازی انرژی
- جذب و به‌دام‌اندازی کربن (CCS)^۱
- تغییر سوخت (زیست‌توده / زیست‌پالایی)
- تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP)^۲
- افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر
- هیدروژن سبز
- آمادگی برای مخاطرات طبیعی بیشتر (سیل، طوفان، موج گرما و غیره)

علاوه بر این موارد، شرکت‌های پتروشیمی نیز اطلاعاتی را در خصوص برنامه‌های مقابله‌ای و سازگاری با تغییر اقلیم خود بیان کرده‌اند، که در ادامه برخی از شاخص‌ترین موارد آن‌ها معرفی شده است. شرکت Chevron Phillips Chemical سالانه چندین گزارش برای عموم منتشر می‌کند که از جمله این گزارش‌ها می‌توان به «گزارش مدیریت مخاطرات تغییر اقلیم»^۳ اشاره کرد. در گزارش سال ۲۰۲۰ این شرکت، به تشکیل تیم‌های مدیریتی برای مقابله با مخاطرات تغییر اقلیم و نحوه عملکرد آن‌ها پرداخته شده، اما در چند مورد به پروژه‌های سازگاری با تغییر اقلیم در صنعت پتروشیمی نیز اشاره شده است [۱۸]. این شرکت برای افزایش تاب‌آوری تجهیزات پالایشگاهی خود اقدامات جدیدی به شرح زیر در نظر گرفته است:

- افزایش تعداد تجهیزات حیاتی، نظیر پست‌های برق برای جلوگیری از توقف ناگهانی و غیرعادی در محل پتروشیمی.
- در نظر گرفتن مجموعه راه‌کارهای مرتبط با سنجش آب و هوا در فرایند ارزیابی خطر.
- از اقدامات دیگر برای آمادگی با خطر جاری شدن سیل، می‌توان بررسی مداوم پیش‌بینی بارش باران و در نظر گرفتن احتمال جاری شدن سیل از آبراه بالادست را نام برد.

شرکت DuPont، پروژه‌های بهینه‌سازی انرژی در واحدهای فرایندی خود را با نام طرح «Bold Energy» معرفی کرده است، از جمله آن‌ها می‌توان به پروژه بهبود سامانه انرژی در واحد تولید رزین استال و

1. Carbon Capturing and Storage
2. Combined Heat and Power
3. Managing Climate Change Risks

کرده است، از جمله آنالیز هزینه - فایده (CBA)^۱، آنالیز تأثیرگذاری هزینه (CEA)^۲، آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)^۳ و آنالیز SWOT^۴، که نقاط قوت و ضعف و تهدیدها و فرصت‌ها را شناسایی می‌کند. در این مطالعه از روش آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است. برای ارزیابی راه کارهای سازگاری شناسایی شده، هشت معیار در زمینه‌های مختلف انتخاب شده و از خبرگان برای امتیازدهی در سه سطح استفاده شده است. این معیارها و تعاریف سطوح هر یک در جدول (۱) معرفی شده است.

پس از دریافت نظرات خبرگان در امتیازدهی، مجموع متوسط امتیازهای کسب شده در هر ۸ معیار برای هر راه کار، محاسبه و از آن برای رتبه‌بندی راه کارها استفاده شده است. بر این اساس، حداقل امتیاز قابل دریافت برابر با ۸ و حداکثر آن برابر با ۲۴ است. از مجموع امتیازهای کسب شده به عنوان شاخصی برای ارزشیابی فنی - اقتصادی راه کارها استفاده شده است. باتوجه به این که این شاخص از هشت معیار تشکیل شده و این معیارها فراتر از موضوعات فنی و اقتصادی هستند و جنبه‌های دیگر از جمله تأثیرگذاری، فواید جانبی و اضطراب را نیز دربر می‌گیرند، از عنوان «جذابیت اجرایی» برای این شاخص استفاده شده است. راه کارها براساس شاخص جذابیت اجرایی طبق جدول (۲) به سه سطح تقسیم شده است.

استاندارد ایزو ۱۴۰۹۲ به مفهومی با عنوان ظرفیت سازگاری^۵ پرداخته است. در ارزیابی ظرفیت سازگاری محدوده مورد نظر (صنعت پتروشیمی در این مطالعه) مواردی که باید لحاظ شود، عبارت است از: منابع انسانی، منابع فنی، منابع مالی، منابع اطلاعاتی و منابع سازمان. از این موارد در ارزیابی ظرفیت سازگاری در صنعت پتروشیمی کشور برای هر یک از راه کارها سازگاری شناسایی شده، استفاده شده است.

برای تعیین شاخص ظرفیت سازگاری از روش نظر خبرگان در مورد پنج عنصر ظرفیت سازگاری (منابع مالی، انسانی، فنی، اطلاعاتی و سازمانی) استفاده شده و از مجموع امتیازهای کسب شده در هر عنصر به عنوان امتیاز آن راه کار برای رتبه‌بندی استفاده شده است. بر این اساس، حداقل امتیاز قابل کسب برابر با ۵ و حداکثر آن برابر با ۱۵ است. از رتبه کسب شده برای تعیین وضعیت ظرفیت

1. Cost Benefit Analysis
2. Cost Effectiveness Analysis
3. Multi-Criteria decision Analysis
4. Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats
5. Adaptation Capacity

پروژه بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک واحد بازیابی حلال اشاره کرد [۱۹]. از سوی دیگر، شرکت Linde برای مدیریت چالش‌های افزایش قیمت کربن و قوانین مرتبط با مدیریت و تجارت کربن، خط تولید محصولات بدون انتشار کربن با نام Linde Green را در آمریکا و اروپا راه‌اندازی کرده است [۲۰]. پروژه سازگاری با مخاطرات فیزیکی تغییر اقلیم در منطقه تگزاس نیز از دیگر اقدامات این شرکت برای سازگاری است. شرکت BASF نیز اقدامات بلندپروازانه‌ای در زمینه تأمین انرژی پایدار و تجدیدپذیر در دست دارد، از جمله تأسیس نیروگاه بادی فراساحل، نیروگاه‌های خورشیدی، پمپ حرارتی و برق سبز [۲۱].

موضوعات مرور شده در این مطالعه محدود به موارد ذکر شده نیست و طیف وسیعی از زمینه‌های سازگاری از جمله آب [۲۲]، انرژی، پسماند [۲۳] و غیره را دربر گرفته و نتایج آن در این مقاله جمع‌بندی شده است. شناسایی و ارزیابی راه کارهای سازگاری با تغییر اقلیم از جمله مهم‌ترین مراحل تدوین برنامه‌های سازگاری تلقی می‌شود و این موضوع در خصوص صنعت پتروشیمی ایران در این مقاله دنبال شده است.

۲. روش شناسایی

در اولین گام، کلیه راه کارها و مسیرهای مناسب برای ایجاد یا تقویت سازگاری با تغییر اقلیم در صنعت پتروشیمی ایران، از نتایج مرور منابع استخراج و در شش حوزه طبقه‌بندی شد؛ که شامل انرژی، انتشار، محصول، آب، پسماند و احتمال خطر هستند. نتایج این گام در بخش بعد آمده است.

در مرحله اول از بخش ارزیابی راه کارها، از مفاهیم استاندارد ایزو ۱۴۰۹۲ که به عنوان یکی از مفیدترین مراجع تدوین برنامه‌های سازگاری شناخته می‌شود، استفاده شده است. طبق این استاندارد، اقدامات سازگاری در واقع اقداماتی هستند که آسیب‌پذیری و احتمال خطرهای شناسایی شده (حداقل اثرات با احتمال خطر بالا) را پوشش دهد و متناسب با برنامه‌های کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت باشد. این اقدامات می‌تواند در انواع مفهومی زیر تعریف شود [۲۴]:

- اقدامات سبز (سازگاری مبتنی بر زیست‌بوم)
 - اقدامات نرم (ایجاد ظرفیت سازگاری مانند تدوین دانش و غیره)
 - اقدامات خاکستری (زیرساخت‌ها و فناوری)
- استاندارد ایزو ۱۴۰۹۲ روش‌هایی را برای ارزیابی اقدامات سازگاری

سازگاری راهکارها طبق جدول (۳) استفاده شده است.

جدول ۱. معرفی معیارهای ارزیابی راهکارها و تعاریف سطوح هریک.

Table 1. Introducing criteria for evaluating solutions and definitions of each level.

Category	Criterion	Scoring		
		low (1)	middle (2)	more (3)
Sustainability	Emission Reduction	Leads to increased emissions	Has no effect on emissions	Leads to emission reduction
	Implementation Cost	High implementation cost	Moderate implementation cost	Low implementation cost
Effectiveness	Impact	Effective for a few future solutions	Effective for many future solutions	Effective for a wide range of future solutions
Risk & Uncertainty	Urgency	Relevant risks occur in the long term	Relevant risks occur in the medium term	Relevant risks occur or in the short term
Opportunity	Benefits	No additional benefits without climate risks	Benefits exist regardless of climate risks	Significant benefits with or without considering climate risks
	Opportunity	No opportunity for implementation	Opportunity can be created	Implementation opportunity currently exists
Implementation	Financial Provision	No identified source for capital provision	Capital provision is possible but not guaranteed	Required capital is available
	Necessary Structure	Requires knowledge and technology transfer from abroad	Feasible with domestic technical capabilities	Carried out with organization's knowledge and facilities

جدول ۲. تعیین سطح راهکارها براساس رتبه بندی.

Table 2. Determining the level of solutions based on ranking.

Executive Attractiveness	Description
Executive Implementation	Solutions where the benefit-to-cost ratio is high, and their impact will be observed in the short term. (Score: 18 to 24)
Future Programs	Solutions where the benefit-to-cost ratio is reasonable, but their impact will be observed in the long term. (Score: 13 to 18)
Further Investigation	Solutions where the benefit-to-cost ratio is low or uncertain and require further investigation. (Score: 8 to 13)

جدول ۳. تعریف سطوح ظرفیت سازگاری برای راهکارهای شناسایی شده.

Table 3. Definition of adaptive capacity levels for identified solutions.

Adaptation Capacity	Description
Maturity (3)	Adaptation capacity is at an acceptable and developed level. (Score: 12 to 15)
Average (2)	Adaptation capacity is at an average level but requires evolution. (Score: 8 to 12)

Initial (1)	Adaptation capacity is at initial levels or does not exist yet. (Score: 5 to 8)
-------------	---

نتایج آن را ارائه کرده است. در هریک از ردیف‌های این جدول، عناوینی ذکر شده که ممکن است خود دارای انواع و روش‌های گوناگون و در شرایط مختلف نیز کاربردهای متفاوتی داشته باشد. به عنوان مثال، راه کار بهینه‌سازی انرژی یک عنوان کلی است و روش‌های مختلفی برای اجرای آن وجود دارد که باتوجه به نوع فرایند، نوع تجهیز یا فناوری و حتی محدوده جغرافیایی می‌تواند متفاوت باشد. به عبارت دیگر، هریک از این راه کارها باید به عنوان یک سرفصل موضوعی برای تعریف و اجرای یک مطالعه جامع و به طور اختصاصی برای هریک از مجتمع‌های پتروشیمی تلقی شود و به صورت پروژه‌های پژوهشی و سپس اجرایی دنبال شود.

۲-۳ ارزیابی راهکارهای سازگاری

نتایج دسته‌بندی راه کارها به تفکیک زمان بندی (کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت) و نوع اقدام (سبز، نرم و خاکستری)، براساس آنچه در مرحله قبل ذکر شده بود، در جدول (۵) ارائه شده است.

در نهایت، با استفاده از نتایج ارزیابی دو شاخص جذابیت اجرایی و ظرفیت سازگاری، می‌توان ماتریس اولویت بندی راه کارهای سازگاری با تغییر اقلیم در صنعت پتروشیمی را تدوین و راه کارها را اولویت بندی کرد. این ماتریس به صورت شکل (۱) و نواحی آن به شرح زیر است:

- ناحیه اولویت اجرا: اجرای راه کار در اولین فرصت
- ناحیه ظرفیت سازی: ظرفیت سازی برای اجرای راه کار
- ناحیه اجرای محدود: اجرا در بخشی از سازمان با اهدافی از جمله فرهنگ سازی و محک زنی
- ناحیه مردود: بدون توجه در زمان حال

۳. نتایج و تحلیل

۳-۱ شناسایی راهکارهای سازگاری

راه کارهای شناسایی شده در مرحله اول به شش حوزه تقسیم بندی شد و نتایج اصلی مورد انتظار از آن‌ها تبیین شد که جدول (۴)

		Solutions Priority Matrix		
Adaptation Capacity	Maturity	Limited Implementation		Priority of Implementation
	Average			
	Initial	Ineffective	Capacity Building	
		Further Investigation	Future Programs	Implementation
		Executive Attractiveness		

شکل ۱. ماتریس اولویت بندی راهکارهای سازگاری.

Figure 1. Matrix of prioritization of Adaptation solutions.

جدول ۴. اقدامات سازگاری با تغییر اقلیم در صنایع پتروشیمی.

Table 4. Measures to adapt to climate change in petrochemical industries.

Area	Solution (Action)	Expected Main Results
Energy	Renewable Energies (Solar, Wind, etc.)	Energy Security, Carbon Footprint Reduction
	Biomass Energies (Algae, Biomass, etc.)	Energy Security, Carbon Footprint Reduction
	Optimization of Energy Consumption in Equipment, Processes & Buildings	Energy Security, Energy Consumption Reduction
	Fuel Transition	Emission Reduction
Emission	Carbon Capture and Storage (CCS)	Carbon Footprint Reduction of Products
	Carbon Capture and Utilization (CCU)	Carbon Footprint Reduction of Products, Economic Value Creation
	Reduction of Flare Gas Intensity	Carbon Footprint Reduction of Products
	Reduction of Various Emissions in Processes and Equipment	Carbon Footprint Reduction of Products
Product	Low Carbon Hydrogen Production (Green and Blue)	Carbon Footprint Reduction, New Product
	Low Carbon or Renewable Methanol and Ammonia Production	Carbon Footprint Reduction, New Product
Water	Collection and Recycling of Wastewater	Water Consumption Reduction, New Water Resources
	Water and Wastewater Treatment	Water Consumption Reduction, New Water Resources
	Desalination and Seawater Treatment	New Water Resources
	Water Usage Improvement	Water Consumption Reduction
Waste	Waste and Waste Reduction	Environmental Protection, Circular Economy
	Waste Sorting	Environmental Protection, Circular Economy
	Recycling and Conversion of Waste into Products or Energy	Environmental Protection, Circular Economy
Risk	Assessment and Management of Natural, Safety and Health Risks	Preparedness for Floods, Heavy Rains, Heat Waves, Storms
	Assessment and Management of Risks Related to Climate Policy	Preparedness for Stringent Laws in International Markets
	Increased Research and Development Budget	Emission Reduction, Climate Change Adaptation

جدول ۵. تقسیم بندی راه کارها از حیث زمان بندی و نوع اقدام.

Table 5. Division of solutions in terms of timing and type of action.

Area	Code	Solution (Action)	Type	Timing
Energy	1	Renewable Energies (Solar, Wind, etc.)	Grey	Mid-term
Energy	2	Biomass Energies (Algae, Biomass, etc.)	Grey	Mid-term
Energy	3	Optimization of Energy Consumption in Equipment & Buildings	Green	Short-term
Energy	4	Fuel Transition	Green	Short-term
Emissions	5	Carbon Capture and Storage (CCS)	Grey	Long-term
Emissions	6	Carbon Capture and Utilization (CCU)	Grey	Long-term
Emissions	7	Reduction of Flare Gas Intensity	Grey	Mid-term
Emissions	8	Reduction of Various Emissions in Processes and Equipment	Grey	Short-term
Product	9	Low Carbon Hydrogen Production (Green and Blue)	Green	Long-term
Product	10	Low Carbon or Renewable Methanol and Ammonia Production	Green	Long-term
Water	11	Collection and Recycling of Wastewater	Green	Short-term
Water	12	Water and Wastewater Treatment	Green	Mid-term
Water	13	Desalination and Seawater Treatment	Green	Mid-term
Water	14	Water Usage Improvement	Green	Short-term
Waste	15	Waste and Waste Reduction	Soft	Short-term
Waste	16	Waste Sorting	Soft	Short-term
Waste	17	Recycling and Conversion of Waste into Products or Energy	Grey	Mid-term
Risk	18	Assessment and Management of Natural, Safety and Health Risks	Soft	Mid-term
Risk	19	Assessment and Management of Risks Related to Climate Policy	Soft	Short-term
Risk	20	Increased Research and Development Budget	Soft	Mid-term

در دو ناحیه اجرایی و برنامه های آتی قرار گرفته اند. هم چنین، می توان نقاط قوت و ضعف در هر یک را براساس امتیاز معیارها شناسایی کرد. به عنوان مثال، مواردی که امتیاز کمتری از نظر ساختار لازم گرفته اند، به معنای لزوم تقویت ساختارهای سازمانی و ایجاد آمادگی در سازمان در آن بخش است.

نتایج ارزیابی راه کارهای سازگاری براساس روش شناسی تشریح شده، در این بخش ارائه شده است. جدول (۶) نشان می دهد که هر یک از راه کارها، چه امتیازی از نظر معیارهای مختلف جذابیت اجرایی کسب کرده و مجموع امتیاز آن ها و در نهایت سطح جذابیت اجرایی آن ها چگونه است. براساس این جدول، کلیه راه کارها از نظر اجرایی

جدول ۶. نتایج ارزیابی فنی-اقتصادی راهکارها براساس معیارهای جذابیت اجرایی.

Table 6. The results of technical-economic evaluation of solutions based on executive attractiveness criteria.

Solution (Action)	Criteria								Executive Attractiveness	
	Emission Reduction	Implementation Cost	Impact	Urgency	Benefits	Opportunity	Financial Provision	Necessary Structure	Score	Level
Renewable Energies (Solar, Wind, etc.)	3	1.8	2.8	2.5	3	2.8	2.5	2.3	20.8	Executive
Biomass Energies (Algae, Biomass, etc.)	2.7	1.5	1.8	1.8	2.3	2.2	1.5	1.7	15.5	Future
Optimization of Energy Consumption in Equipment & Buildings	3	2.5	3	2.8	2.5	3	2.7	2.5	22	Executive
Fuel Transition	2.7	1.5	2	2.5	2.7	2.3	1.8	2.5	18	Executive
Carbon Capture and Storage (CCS)	3	1.3	2.5	2.2	2.3	2.3	1.7	1.5	16.8	Future
Carbon Capture and Utilization (CCU)	3	1.2	2.5	2.3	2.7	2.3	1.5	1.5	17	Future
Reduction of Flare Gas Intensity	3	1.7	2.3	2.8	2.8	3	2.3	1.8	19.8	Executive
Reduction of Various Emissions in Processes and Equipment	3	1.8	2.2	2.3	2.5	2.8	1.8	1.8	18.3	Executive
Low Carbon Hydrogen Production (Green and Blue)	3	1.2	2.3	1.7	2.5	2.3	1.5	1.3	15.8	Future
Low Carbon or Renewable Methanol and Ammonia Production	2.8	1.3	2.3	1.8	2.3	2.3	1.5	1.2	15.7	Future
Collection and Recycling of Wastewater	2.2	1.8	2.2	2.3	2.3	2.3	2	1.8	17	Future
Water and Wastewater Treatment	2	2	2.5	2.5	2.5	2.7	2.3	2.2	18.7	Executive
Desalination and Seawater Treatment	1.8	1.7	2.5	2.2	2.3	2.8	2.2	2.2	17.7	Future
Water Usage Improvement	2.2	1.8	2.5	2.5	2.5	2.5	2.2	2	18.2	Executive
Waste and Waste Reduction	2.2	2.3	2.2	2.3	2.3	2.8	2.3	2.2	18.7	Executive
Waste Sorting	2	2.2	2.3	2.2	2.3	2.7	2.3	2.3	18.3	Executive
Recycling and Conversion of Waste into Products or Energy	2.3	1.8	2.2	2	2.5	2.7	2.2	1.7	17.3	Future
Assessment and Management of Natural, Safety and Health Risks	2.2	2.3	2.5	2.3	2.5	2.8	2.3	2	19	Executive

Solution (Action)	Criteria								Executive Attractiveness	
	Emission Reduction	Implementation Cost	Impact	Urgency	Benefits	Opportunity	Financial Provision	Necessary Structure	Score	Level
Assessment and Management of Risks Related to Climate Policy	2.3	2.3	2.5	2.2	2.3	2.5	2.5	1.8	18.5	Future
Increased Research and Development Budget	2.8	1.8	2.7	2.3	2.5	2.7	2.2	1.8	18.5	Future

نتایج رتبه‌بندی راهکارها و تعیین سطح ظرفیت سازگاری با آن‌ها در جدول (۷) ارائه شده است. امتیازهای ذکر شده، متوسط امتیازهای کسب شده به وسیله خبرگان است.

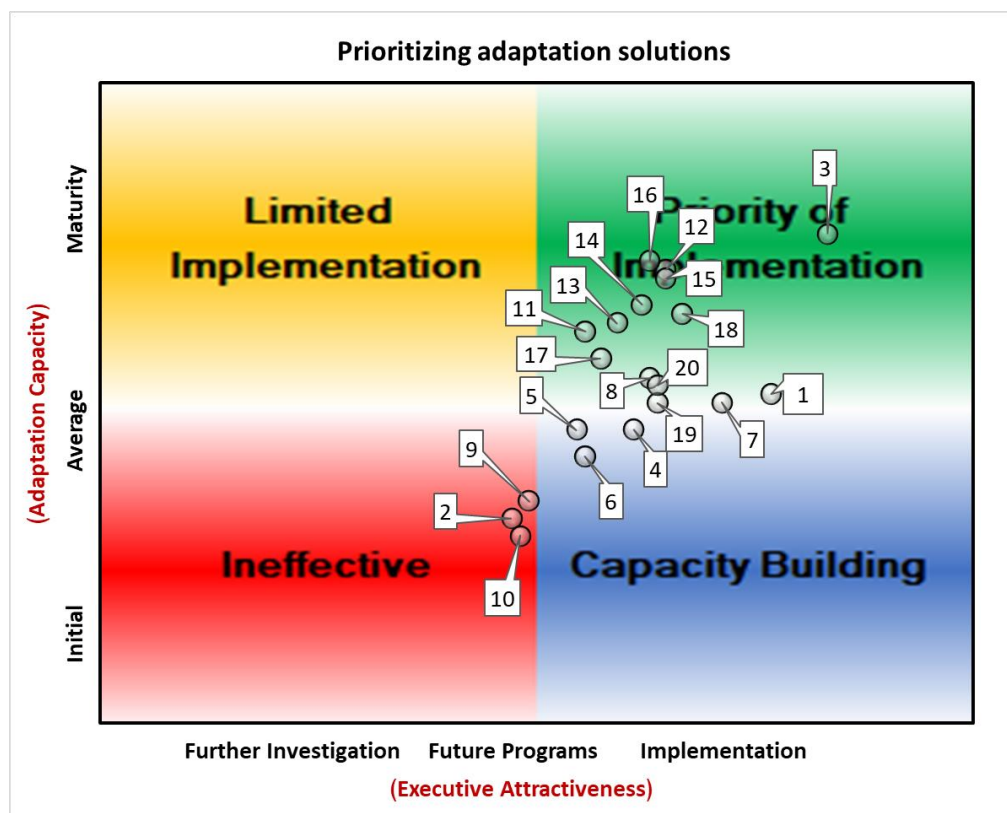
نتایج اولویت‌بندی راهکارهای سازگاری براساس روش تشریح شده نیز در شکل (۲) ارائه شده است. کد هر یک از راهکارها مترادف با کد ذکر شده در جدول (۵) است.

جدول ۷. نتایج تعیین سطح ظرفیت سازگاری با راهکارهای شناسایی شده.

Table 7. The results of determining the level of Adaptation with the identified solutions.

Action (Solution)	elements score					Adaptation Capacity	
	Human Resources	Financial Resources	Technical Resources	Information Resources	Organizational Resources	Score	Level
Renewable Energy (Solar, Wind, etc.)	2	1.7	2.3	2.5	1.7	10.2	Medium
Bioenergy (Algae, Biomass, etc.)	1.2	1	1.8	2	1.8	7.8	Initial
Optimization of Energy Consumption in Equipment and Buildings	2.7	2.3	2.7	2.8	2.7	13.2	Mature
Fuel Change	1.7	1.8	2	2.2	1.8	9.5	Medium
Carbon Capture and Storage (CCS)	1.8	1.5	2	2.5	1.7	9.5	Medium
Carbon Capture and Utilization (CCU)	1.7	1.3	2	2.2	1.8	9	Medium
Reduction in Flare Gas Emissions	1.8	1.7	2.2	2.2	2.2	10	Medium
Reduction in Emissions in Various Processes and Equipment	1.8	1.8	2.3	2.3	2.2	10.5	Medium
Low-Carbon Hydrogen Production (Green and Blue)	1.2	1.5	1.8	1.8	1.8	8.2	Medium
Low-Carbon or Renewable Methanol and Ammonia Production	1.2	1.3	1.5	2	1.5	7.5	Initial
Collection and Restoration of Aquatic Fluids	2.3	2	2.2	2.5	2.3	11.3	Medium
Water and Wastewater Treatment	2.5	2	2.8	2.8	2.3	12.5	Mature
Desalination and Water Purification	2.2	1.8	2.7	2.8	2	11.5	Medium
Improvement of Water Uses	2	2.3	2.5	2.8	2.2	11.8	Medium
Waste and Waste Reduction	2.2	2	2.7	3	2.5	12.3	Mature
Waste Segregation	2.5	2.3	2.8	2.7	2.3	12.7	Mature

Action (Solution)	elements score					Adaptation Capacity	
	Human Resources	Financial Resources	Technical Resources	Information Resources	Organizational Resources	Score	Level
Recycling and Conversion of Waste into Product or Energy	1.8	2	2.5	2.5	2	10.8	Medium
Evaluation and Management of Natural, Safety, and Health Risks	2.2	2.2	2.7	2.5	2.2	11.7	Medium
Evaluation and Management of Risks Related to Climate Policy	1.8	1.3	2.7	2.3	1.8	10	Medium
Increase in Research and Development Budgets	2.2	2.2	2	2	2	10.3	Medium



شکل ۲. نتایج اولویت بندی راه کارهای سازگاری صنعت پتروشیمی با تغییر اقلیم.

Figure 2. The results of prioritizing solutions for the petrochemical industry's adaptation to climate change.

۲. تنها چند مورد از راه کار در ناحیه مردود واقع شده اند که شامل استفاده از انرژی زیستی، تولید هیدروژن کم کربن (سبز و آبی) و تولید آمونیاک و متانول کم کربن (تجدیدپذیر) می شوند. این راه کار به توان اجرایی بالایی نیاز دارد و از نقطه نظر معیارهای جذابیت اجرایی، امتیاز پایین تری کسب کرده است. علاوه بر این، ظرفیت موجود برای اجرای آنها هنوز در شرکتها به اندازه کافی وجود ندارد. از این رو، این راه کارها

باتوجه به نتایج اولویت بندی راه کارها، موارد زیر نتیجه گرفته می شود:
 ۱. اغلب راه کارها در ناحیه اولویت اجرا و برخی از آنها در ناحیه ظرفیت سازی قرار گرفته اند. این امر نشان می دهد که راه کارهای شناسایی شده برای ایجاد سازگاری با تغییر اقلیم در صنعت پتروشیمی از جذابیت اجرایی مناسبی برخوردار بوده و ظرفیت سازگاری در سازمانها (شرکت های پتروشیمی) برای اجرای آنها تا حد مطلوبی وجود دارد.

فعالاً در برنامه سازگاری شرکت های پتروشیمی قرار نگرفته، اما احتمال دارد که با تغییر شرایط در آینده، ناحیه اولویت بندی آن ها نیز تغییر کند.

۳. راه کارهایی که بالاترین امتیاز را از نظر جذابیت اجرایی گرفته اند، به ترتیب عبارت است از:

✓ بهینه سازی مصرف انرژی در تجهیزات و فرایندها و ساختمان ها

✓ انرژی های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی و غیره)

✓ کاهش شدت گازهای خروجی مشعل

✓ ارزیابی و مدیریت مخاطرات طبیعی، ایمنی و سلامت

این راه کارها با اختلاف با سایر موارد در سطح بسیار مطلوبی از نظر جذابیت اجرایی قرار گرفته و امتیازهای بالاتر از ۱۹ کسب کرده است. با توجه به این که ظرفیت سازگاری برای برخی از آن ها (انرژی های تجدیدپذیر و کاهش گازهای خروجی مشعل) در محدوده متوسط واقع شده، باید با ظرفیت سازی جایگاه آن ها را در برنامه سازگاری تقویت کرد.

۴. راه کار بهینه سازی مصرف انرژی از نظر ظرفیت سازگاری نیز در صدر جدول قرار دارد. پس از آن، راه کارهای مرتبط با تفکیک و کاهش پسماند و همچنین بهسازی مصرف آب و تصفیه فاضلاب، دارای بیشترین ظرفیت در حال حاضر است. از این رتبه بندی نتایج زیر دریافت می شود:

(۱) راه کارهایی که ظرفیت سازگاری بالایی دارد، از جمله نقاط قوت سازمان محسوب می شود و باید در برنامه سازگاری قرار گیرند.

(۲) راه کارهایی که ظرفیت سازگاری پایینی دارد، به عنوان نقاط ضعف سازمان تلقی می شود و باید برای آن ها ظرفیت سازی کرد.

۵. بیشترین نیازمندی برای ظرفیت سازی در راه کارهایی مانند جذب و تبدیل کربن (CCU)، جذب و ذخیره کربن (CCS)، تغییر سوخت و ارزیابی و مدیریت مخاطرات مرتبط با سیاست گذاری اقلیمی، شناسایی شده است.

۶. علاوه بر CCU و CCS، جمع آوری میعانات آبی و بازگردانی آب و همچنین بازیافت و تبدیل پسماند به محصول یا انرژی، از جمله راه کارهایی هستند که کمترین جذابیت اجرایی را

دارند (البته در نواحی اولویت اجرا و ظرفیت سازی و به غیر از مواردی که در ناحیه مردود هستند).

۴. نتیجه گیری

انواع راه کارها و مسیرهای ایجاد و تقویت سازگاری با تغییر اقلیم متناسب با ویژگی های صنعت پتروشیمی کشور در ابتدای این مطالعه معرفی شد. برخی از این راه کارها، علاوه بر ایجاد سازگاری، منجر به کاهش انتشار به عنوان مسیری برای مقابله با تغییر اقلیم نیز خواهد شد. در مرحله بعد، راه کارهای شناسایی شده از نظر زمان بندی مورد نیاز برای اجرا و همچنین ماهیت اجرایی به دسته بندی های مختلفی تقسیم شد و سپس از منظر ۸ معیار، ارزیابی فنی-اقتصادی-اجرایی شد. در مرحله بعد، ظرفیت سازگاری موجود در وضعیت فعلی صنعت پتروشیمی کشور براساس ۵ عنصر ارزیابی شد. تمامی ارزیابی ها براساس دریافت نظرات خبرگان صنعت پتروشیمی و به صورت نیمه کمی بوده است. در نهایت، براساس دو شاخص جذابیت اجرایی و ظرفیت سازگاری، راه کارها اولویت بندی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که راه کارهای شناسایی شده برای ایجاد سازگاری با تغییر اقلیم در صنعت پتروشیمی از جذابیت اجرایی مناسبی برخوردار است و ظرفیت سازگاری در سازمان ها (شرکت های پتروشیمی) برای اجرای آن ها تا حد مطلوبی وجود دارد. راه کارهایی که بالاترین امتیاز را از نظر جذابیت اجرایی گرفت، عبارت است از: بهینه سازی مصرف انرژی در تجهیزات و فرایندها و ساختمان ها، انرژی های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی و غیره)، کاهش شدت گازهای ارسالی به مشعل و ارزیابی و مدیریت مخاطرات طبیعی، ایمنی و سلامت.

۵. تقدیر و تشکر

این مقاله از پروژه پژوهشی «تدوین برنامه استراتژیک مدیریت کربن در شرکت ملی صنایع پتروشیمی» که در شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران انجام شده، استخراج شده است. نویسندگان بر خود لازم می دانند که مراتب تشکر صمیمانه خود را از مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط زیست آن شرکت، که در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری رساندند، اعلام کنند.

- [1] Senior, J., Suzuki, T., & Wei-Yin Chen, M. L. (2012). Implications of Climate Change for the Petrochemical Industry. In *Handbook of Climate Change Mitigation*. Springer.
- [2] Bauer, F., Kulionis, V., Oberschelp, C., Pfister, S., Tilsted, J., Finkill, G., & Fjall, S. (2022). Petrochemicals and Climate Change: Tracing Globally Growing Emissions and Key Blind Spots in a Fossil-Based Industry. *Lund University*.
- [3] Andrée, M., & Hansson, L. (2023). Inviting the petrochemical industry to the STEM classroom: messages about industry–society–environment in webinars. *Environmental Education Research.*, 6: 1-16.
- [4] Anastas, W. J., (1998). Green chemistry: theory and practice. *Oxford University Press*.
- [5] Fatehi Far, E., & Abdulahi Far, M. (2010). Evaluation of environmental effects using the process life cycle assessment method (case study: petrochemical industry). *Journal of Iranian Chemical Engineering*, 9(52), 21-27, [In Persian].
- [6] Cruz., A. M. (2010). Vulnerability of oil and gas infrastructure to climate change and extreme weather events, *Kyoto University Report*.
- [7] Eini, S., Roshandel, R., & Rashtchian, D.. (2015). Economic analysis and evaluation of the simultaneous production of hydrogen, methanol and power from biomass. *Journal of Iranian Chemical Engineering*, 15(88), 73-82, [In Persian].
- [8] Mosallanezhad, S., Kiani, P., Makarem, M. A. & Rahimpour, M. R. (2023). Application of disaster engineering in oil, gas, and petrochemical industries. Crises in Oil, *Gas and Petrochemical Industries*, 1: 47-70.
- [9] Dabagh, S., Javid, Y., Sobhani, F., Saghaiie, A., & Parsa, K. (2022). Self-Adaptive Risk-Based Inspection Planning in Petrochemical industry by evolutionary algorithms. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 77: 24-32.
- [10] Capshaw, K. M., & Padgett, J. E. (2022). A global analysis of coastal flood risk to the petrochemical distribution network in a changing climate. *Resilient Cities and Structures*, 1(3): 52-60.
- [11] Tickner, J., Geiser, K., & Baima, S. (2021). Transitioning the Chemical Industry: The Case for Addressing the Climate, Toxics, and Plastics Crises. Environment: *Science and Policy for Sustainable Development*, 63(6): 4-15.
- [12] Rootzen, J., Nyberg, T., Karltorp, K., & Ahman, M. (2023). Turning the tanker? Exploring the preconditions for change in the global petrochemical industry. *Energy Research & Social Science*, 104: 1-16.
- [13] Torabi, Z., Saeida Ardekani, S., & Hataminasab, S. H. (2021). A New Model in Designing the Professional Competence System of the Petrochemical Industry with a Sustainable Development Approach. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37: 110-117.
- [14] Nicolletti, M., Lutti, N., Souza, R., & Pagotto., L. (2019). Social and organizational learning in the adaptation to the process of climate change: The case of a Brazilian thermoplastic resins and petrochemical company. *Journal of Cleaner Production*, 226: 748-758.
- [15] Minovi, D. (2021). The Chemical Industry: An Overlooked Driver of Climate Change. *Center for Progressive Reform With contributions by Al Huang Coming Clean & NRDC*, 1: 1-17.
- [16] Mohseni, A., & Ghaemi, A. (2019). Experimental Modeling of CO₂ Absorption into Monoethanolamine Amine Using Response Surface Methodology. *Journal of Iranian Chemical Engineering*, 19(111): 43-54, [In Persian].
- [17] Ahmedpour, T., Mehrizadeh, H., Niai, A., & Salari, D. (2016). An Overview of the Types of SolarCells. *Journal of Iranian Chemical Engineering*, 16(93): 35-53, [In Persian].
- [18] Chevron Phillips Chemical. (2020). *Managing Climate Change Risks*.
- [19] Dupont. (2023). Dupont Delrin Recognized for Responsible Care Energy Efficiency Award. [Online]. Available: [https://www.dupont.com/mobility/washington-works-responsible-care-award-2022.html]. [Accessed 2023].
- [20] Linde. (2022). CDP Response Climate Change: The Road to Net Zero Starts with Your Core Business.
- [21] BASF. (2023). BASF Renewable Energy GmbH Projects. [Online]. Available: [https://www.basf.com/global/en/who-we-are/organization/group-companies/BASF_Renewable-Energy-GmbH.html]. [Accessed 2023].
- [22] Fotuhi, M., & Rezakhani, N. (2016). Methods for optimizing water consumption in wet cooling towers. *Journal of Iranian Chemical Engineering*, 16(92): 82-89, [In Persian].
- [23] Charchi, N., Fatehifar, E., & Jadiri, N. (2017). Feasibility of Reducing Waste in Old Gasoline Production Unit of Tabriz Oil Refining Company Using Material Flow Cost Accounting (MFCA). *Journal of Iranian Chemical Engineering*, 17(101): 50-63, [In Persian].
- [24] ISO. (2020). ISO 14092: Adaptation to climate change - Requirements and guidance on adaptation planning for local governments and communities.