ارزیابی آسیب‌پذیری صنعت پتروشیمی کشور از پیامدهای تغییر اقلیم و شناسایی ریسک‌ها و فرصت‌های بالقوه

اسماعیل قاسمی کفرودی[1*]، سید شایان سیف[2]، زینب سبحانی[1]، کاظم کاشفی[1]، مرضیه احمدی[3]، محمدعلی رجبی[3]

۱. عضو هیئت علمی پردیس پژوهش و توسعه انرژی و محیط زیست، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۲. شرکت پایدار فرآیند ویرا، تهران، ایران

۳. شرکت ملی صنایع پتروشیمی، تهران، ایران

آدرس پست الکترونیکی نویسنده مسئول مکاتبات: ghasemies@ripi.ir

مقاله‌ی علمی-پژوهشی

صفحه ۳۰ - ۴۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹

چکیده

هدف این مطالعه، شناسایی و پیشبینی خسارت‌های احتمالی ناشی از تغییر اقلیم بر صنعت پتروشیمی کشور، شناسایی جنبه‌های تأثیرگذار تغییر اقلیم و تبیین تأثیرپذیرترین فعالیت‌های صنعت پتروشیمی از تغییر اقلیم و در نهایت تحلیل ریسک‌ها و فرصت‌ها بوده است. از استاندارد ایزو ۱۴۰۹۱ برای تدوین روششناسی این مطالعه استفاده شده است. محدوده جغرافیایی مطالعه شامل کل کشور در ۱۰ ایستگاه هواشناسی (مطابق با مناطق دارای صنعت پتروشیمی) و بازه زمانی تجزیه و تحلیل شامل ۲۵ سال آینده (۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰) بوده است. مجموعاً ۱۲ متغیر اقلیمی برای این محدوده زمانی و مکانی مورد بررسی قرار گرفته است. در مجموع ۱۸ جنبه تأثیرپذیر صنعت پتروشیمی از تغییرات متغیرهای اقلیمی و پیامدهای آن‌ها (مخاطرات اقلیمی) شناسایی شده و بر اساس ۱۲ متغیر اقلیمی و تغییرات روند آن‌ها در مناطق مختلف کشور (مجموعاً ۱۷ روند-منطقه) ارزیابی شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که مهم‌ترین ریسک‌های قابل‌توجه در صنعت پتروشیمی ناشی از تغییر اقلیم به موضوعات افزایش دما، روزهای داغ و باران‌های سیل‌آسا در کلیه مناطق، افزایش رطوبت نسبی در کلیه مناطق به غیر از عسلویه، افزایش خشک‌سالی در کلیه مناطق به غیر از عسلویه و شیراز، افزایش سرعت باد در کلیه مناطق به غیر از ماهشهر و افزایش دمای آب و اسیدیته دریا در سواحل عمان و خلیج فارس معطوف است. مهم‌ترین پیامدهای این تغییرات شامل افزایش مصرف و قیمت انرژی، آسیب و استهلاک تأسیسات، افزایش هزینه‌های عملیاتی و اختلال در تولید پایدار و بعضاً افزایش مخاطرات ایمنی، سلامت و محیط زیستی می‌شود. همچنین نتیجه گرفته شد که مهم‌ترین فرصت‌های پیش رو برای صنعت پتروشیمی در محدوده کاهش استهلاک و آسیب به تجهیزات در مناطق جنوبی کشور (عسلویه و شیراز) قرار گرفته و پس از آن افزایش دسترسی به منابع انرژی و خوراک و کاهش مخاطرات سلامتی و ایمنی از جمله مهم‌ترین فرصت‌ها در کلیه مناطق کشور هستند.

کلید واژه‌ها: ارزیابی، آسیب‌پذیری، تغییر اقلیم، مخاطرات، صنعت پتروشیمی

۱. مقدمه

افزایش آگاهی نسبت به ارتباط صنعت پتروشیمی با تغییر اقلیم و نیز فراهم آوردن ابزارها و پیشنهادهایی برای تعیین رویکرد تصمیم‌گیران و ذینفعان نسبت به این موضوع، امری ضروری است. درهم‌تنیدگی صنعت پتروشیمی با انرژی‌های

فسیلی، سرمایه‌گذاری‌های سنگین و تنوع محصولات، از یک سو باعث پیچیده شدن تغییر و تحول شده و از سوی دیگر، انعطاف‌پذیری این صنعت را به دلیل ارتباطات و پویایی بالا افزایش می‌دهد. تحقیقات علمی در خصوص ارتباط بحران اقلیمی و صنعت پتروشیمی و ارائه راه‌کارهایی برای تغییر رویکرد در این بخش، همچنان در مراحل ابتدایی خود در سطح جهان است.

برای شناخت ابعاد مداخلات تغییر اقلیم و صنعت پتروشیمی، مطالعات مختلفی انجام شده است. پروژه‌ای که در سال ۲۰۲۱ در دانشگاه Lund انجام شده[۱]، نتایج مختلفی را در خصوص ویژگی‌های ارتباط صنعت پتروشیمی با تغییرات اقلیمی بیان کرده است. از جمله اینکه بازیگران کلیدی مختلفی در صنعت پتروشیمی وجود دارند، مانند شرکت‌های ملی و بین‌المللی نفت و گاز، شرکت‌های پتروشیمی و شرکت‌های بازارهای نوظهور از سوی دیگر، درهم‌تنیدگی شرکت‌های پتروشیمی این امکان را می‌دهد که با تغییرات و شوک‌های خارجی، سازگار شوند. از سوی دیگر، همین پیچیدگی مانعی در ایجاد تغییرات است. این مطالعه دریافته است که چالش اصلی در امور تأمین مالی، کمبود شفافیت و همچنین دشواری دریافت اطلاعات مالی در بخش پتروشیمی است[۱].

طبق نتایج مطالعه‌ای دیگر[۲]، وابستگی قابل‌توجه صنعت پتروشیمی به سوخت‌های فسیلی دو ملاحظه مهم مرتبط با پایداری ایجاد می‌کند که عبارت‌اند از (۱) اثر فرآیندهای شیمیایی بر تغییر اقلیم و (۲) محدود و متناهی بودن منابع سوخت‌های فسیلی. راهکارهای توسعه پایدار برای صنعت پتروشیمی باید هر دو ملاحظه را دربرگیرند؛ اما هرگونه تغییری باید یکپارچگی و پیچیدگی‌های این صنعت را در نظر بگیرد که مهم‌ترین جنبه‌های آن عبارت است از (۱) ارتباط فیزیکی میان زیرساخت‌های پتروشیمی با پالایش نفت و گاز، (۲) وابستگی صنایع به ارتباط میان پالایش نفت و کراکینگ اولفین و (۳) اقتصاد و تجارت شرکت‌ها و بازیگران اصلی در این صنعت.

تغییرات اقلیمی موجب افزایش ریسک در بروز فجایع شیمیایی و انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای می‌شود. از سوی دیگر، صنایع شیمیایی عموماً در جوامع کم‌درآمد و در معرض ریسک تغییرات اقلیمی قرار داشته و مخاطرات مرتبط با تغییر اقلیم می‌تواند بر سلامت، محیط زیست و اقتصاد آن جوامع اثرات منفی بیشتری اعمال کند[۳]. در مجموع جامعه جهانی به این نتیجه رسیده است که صنعت پتروشیمی نیازمند طراحی مجدد است تا پاسخگوی نیازهای جامعه بوده و الزامات زیست‌بوم و سلامت انسانی را رعایت کند. در این راستا نیازمند تدوین راهبرد انتقالی است تا تأثیرات را کاهش داده و توسعه پایدار این صنعت را تضمین کند. این امر از نقطه نظر پاسخگویی به موارد زیر ضروری است[۴]:

- 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

مرور مطالعات دیگر کشورها و صاحبان صنایع پتروشیمی نشان می‌دهد که آسیب‌پذیری صنعت پتروشیمی از تغییرات اقلیمی (به‌طور مستقیم) و اقدامات مقابله‌ای با تغییرات اقلیمی (به‌طور غیرمستقیم) را می‌توان به محورهای اساسی زیر تقسیم‌بندی کرد:

- کاهش دسترسی به منابع فسیلی (به‌عنوان انرژی و خوراک)
- افزایش قیمت منابع فسیلی (به‌عنوان انرژی و خوراک)
- افزایش رقابت و محدودیت‌های فنی و اقتصادی به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر
- افزایش هزینه‌های مالی (مالیات کربن) و اعتباری (مسئولیت اجتماعی) در استفاده از منابع فسیلی
- افزایش مخاطرات طبیعی و حوادث صنعتی (سیل، بالا آمدن سطح آب، آتش‌سوزی و غیره)
- افزایش شرایط حدی و آسیب به افراد و تجهیزات (افزایش دمای هوا، افزایش رطوبت و غیره)
- افزایش محدودیت‌ها و سختگیری قوانین محیط زیستی (جریمه، مالیات و غیره)
- کاهش دسترسی به آب
- تغییر در بازارهای مصرف و زنجیره ارزش

در این مقاله، آسیب‌پذیری صنعت پتروشیمی کشور از پیامدها و مخاطرات تغییر اقلیمی شناسایی شده و بر اساس روش‌شناسی‌های مرجع و استاندارد، مورد ارزیابی قرار گرفته است. روش استفاده شده در این مطالعه در بخش «روش‌شناسی»

تشریح شده و نتایج آن در ادامه ارائه شده است. تاکنون پژوهشی با عنوان مشابه در ایران انجام نشده است. همچنین، نمونه خارجی این مطالعه نیز در دسترس نیست که از جمله علل آن می‌توان به مواردی همچون جدید بودن موضوع در سطح بین‌المللی و همچنین عدم دسترسی به دلیل محرمانگی اشاره کرد. این مطالعه برای اولین بار به پیش‌بینی تغییرات آب و هوایی در مناطق دارای صنعت پتروشیمی در دهه‌های آینده پرداخته و سپس پیامدهای این تغییرات (ریسک‌ها و فرصت‌ها) را شناسایی کرده است. برای اولین بار، جنبه‌های تأثیرپذیر صنعت پتروشیمی کشور از تغییرات اقلیمی شناسایی شده و بر اساس نظر جمعی خبرگان این صنعت، ارزشیابی شده است. در نهایت، این پژوهش توانسته است فرصت‌های بالقوه و خطرات قابل‌توجه این موضوع را ارائه و اولویت‌بندی نماید.

۲. روش تحقیق

۲-۱. روش‌شناسی

ارزیابی آسیب‌پذیری و سازگاری[1] (V&A) با تغییر اقلیم برای تبیین چگونگی تحت تأثیر قرار گرفتن از تغییرات آب و هوایی و توانایی برای کاهش آسیب‌پذیری از طریق سازگاری انجام می‌شود. ارزیابی اثرات تغییرات آب و هوایی شامل چارچوب‌ها و ابزارهای مختلفی است و انتخاب رویکردی مناسب برای ارزیابی آسیب‌پذیری و سازگاری اهمیت بسیاری دارد. بر اساس دستورالعمل جامعی که سازمان ملل در این زمینه تدوین کرده است، انواع روش‌های ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم عبارت‌اند از ارزیابی تأثیر، ارزیابی آسیب‌پذیری و ارزیابی سازگاری[۵].

در (جدول ۱) برخی از مهم‌ترین مراجع روش‌شناسی‌های ارزیابی اثرات و آسیب‌پذیری معرفی شده است.

جدول ۱: چارچوب‌های آسیب‌پذیری و سازگاری منتخب

چارچوب	سال انتشار	توضیحات	مرجع
هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) - دستورالعمل‌های فنی برای ارزیابی تأثیرات و تغییرات آب و هوایی	۱۹۹۴	شامل نمونه‌هایی از رویکردهای نسل اول برای V&A است. دستورالعمل‌ها تأکید تحلیلی دارند و بر شناسایی و تعیین کمی تأثیرات تمرکز دارند.	[۶]
هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC) - چارچوب‌های سیاستی برای سازگاری با تغییر اقلیم	۲۰۰۴	بر اساس پنج گام اصلی ارائه شده است. این پنج گام، کاربران را قادر خواهد ساخت تا گزارشی برای ارزیابی آسیب‌پذیری یک پروژه و یا سیاست‌گذاری تهیه کنند.	[۷]
برنامه توسعه ملل متحد[2]- طراحی ابتکارات سازگاری با تغییرات آب و هوا: مجموعه ابزارهای برنامه توسعه ملل متحد برای متخصصین	۲۰۱۰	تمرکز بر تصمیم سازگاری. تعریف مسئله و رویکرد حل سازگار.	[۸]
برنامه توسعه ملل متحد، برنامه محیط‌زیست ملل متحد[3]، تسهیلات جهانی محیط‌زیست[4] - استفاده از اطلاعات آب و هوا برای تصمیمات سازگاری	۲۰۱۱	چارچوبی ارائه می‌دهد که متخصصان مخاطرات آب و هوایی و حوزه سازگاری را هدف قرار می‌دهد. همچنین برخی مقایسه‌ها را در میان چارچوب‌های سازگاری مطرح، ارائه می‌دهد.	[۹]
UNFCCC گروه کشورهای توسعه‌یافته، کشورهای در حال توسعه: طرح‌های ملی سازگاری: دستورالعمل‌های فنی برای فرایند برنامه ملی سازگاری	۲۰۱۲	راهنمای توسعه برنامه‌های سازگاری ملی را ارائه می‌دهد.	[۱۰]
PROVIA[5] - راهنمایی برای ارزیابی آسیب‌پذیری، تأثیرات و سازگاری با تغییرات آب و هوایی	۲۰۱۴	چارچوبی برای در نظر گرفتن طیف وسیعی از رویکردهای ارزیابی V&A ارائه می‌دهد. هدف آن کمک به متخصصان، مانند محققان، سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان بخش و مشاوران، انتخاب روش‌ها و ابزارهای مناسب برای شرایط خاص و وضعیت سازگاری آن‌ها است.	[۱۱]
GIZ - کتاب آسیب‌پذیری: مفهوم و دستورالعمل‌های استاندارد ارزیابی آسیب‌پذیری	۲۰۱۴	دستورالعمل‌های عمیق و گام‌به‌گام نحوه انجام ارزیابی آسیب‌پذیری را ارائه می‌دهد. دستورالعمل‌ها برای سازمان‌هایی که در برنامه‌ریزی توسعه مشارکت دارند ایجاد شده است	[۱۲]
استاندارد ISO 14091	۲۰۲۱	راهنمایی‌هایی را در مورد رویکردهای ارزیابی ریسک‌های تغییر اقلیم ارائه داده و تصریح کرده است که این راهنمایی‌ها برای ارزیابی آسیب‌پذیری تغییر اقلیم نیز کاربرد دارند.	[۱۳]

1. Vulnerability and Adaptation (V&A)
2. United Nations Development Programme (UNDP)
3. United Nations Environment Programme (UNEP)
4. Global Environment Facility (GEF)
5. Programme of Research on Climate Change Vulnerability, Impacts and Adaptation (PROVIA)

هرچند در دنیا تحقیقات گسترده و جامعی در رابطه با آسیب‌پذیری صنعت پتروشیمی انجام نشده است ولی در مباحث مشابه تحقیقاتی صورت پذیرفته است که می‌توان به نتایج گوین در زمینه آسیب‌پذیری اقیانوس اشاره نمود که گسترده‌ترین رویکردهای تحلیلی اتخاذ شده برای ارزیابی آسیب‌پذیری، از جمله مقیاس‌های فضایی را نیازمند به رویکردهای ترکیبی شامل هر دو بعد بیوفیزیکی و اجتماعی آسیب‌پذیری و ادغام تدریجی جنبه‌های تاب‌آوری در چنین روش‌هایی توصیف می‌کند [۱۴]. بنجامین سواکول نیز در زمینه اثرات گازهای فلردار بر تغییرات اقلیمی، پیامدهای فاجعه‌بار افزایش دما را به خاطر بالا بودن پتانسیل گرمایش جهانی آن تفسیر می‌کند [۱۵]. میچل در مقاله خود تحت عنوان تغییرات اقلیمی و تولید، روش‌های کاهش اثرات تغییر اقلیم از جمله در نظر گرفتن کل چرخه عمر در طراحی و سهولت استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی به‌عنوان اهداف توسعه بیان می‌کند [۱۶]. اوبرایان در مقاله خود در مورد تأثیرات تغییرات اقلیم، آسیب‌پذیری و سازگاری در نروژ باهدف شناسایی اثرات اجتماعی آن‌ها، آستانه‌های بالقوه و اثرات غیرمستقیم را مهم‌تر از اثرات مستقیم و بخشی شمرده و در آخر می‌نویسد که ظرفیت انطباقی در سطوح بالای ملی، موانع و محدودیت‌های سازگاری را پوشش می‌دهد و باید توجه بیشتری به بافت اجتماعی تأثیرات تغییرات اقلیمی و فرآیندهایی که آسیب‌پذیری و سازگاری را شکل می‌دهند، معطوف شود [۱۷]. هریسون در زمینه تغییرات اقلیمی پلتفرم ارزیابی یکپارچه را توصیف می‌کند که چارچوب مدل‌سازی کل‌نگر (میان بخشی، تغییرات اقلیمی و اجتماعی-اقتصادی) را ارائه می‌کند. اثرات بالقوه سناریوهای تغییرات اقلیمی و یا اجتماعی- اقتصادی، نقاط حساس آسیب‌پذیری بخشی و پتانسیل انطباق برای کاهش اثرات در محدودیت سرمایه سناریوهای انتخاب شده و مقرون‌به‌صرفه بودن اقدامات انطباق در این پلتفرم شناسایی می‌شود[۱۸]. جوناس در مقاله خود پنجره انطباق را معرفی می‌کند که فاصله زمانی بین شناسایی سطح قابل قبول ریسک و سطح بیش از حد آن می‌باشد. اقدامات مقابله با خطر را شامل دو اقدام مکمل، سازگاری با تغییرات پیش‌بینی‌شده اقلیمی و کاهش تغییرات اقلیمی از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌داند که هر دوی این اقدامات خطر فراتر رفتن از آستانه‌های بحرانی را کاهش می‌دهد[۱۹]. فریادرس در مقاله خود در کنار بررسی پیک نفت ایران به تغییرات اقلیمی هم به‌عنوان موضوع مکمل می‌پردازد و گذار به انرژی تجدید پذیر را به‌عنوان راه حل سازگاری مطرح می‌کند[۲۰]. ویزر یکی از دلایل مهم افزایش بلایای طبیعی مانند سیل، طوفان، موج گرما و خشک‌سالی را تغییرات اقلیمی دانسته و با بررسی آن به همراه عوامل دیگر نظیر رشد جمعیت و ثروت و تغییرات در آسیب‌پذیری، نتیجه می‌گیرد علیرغم اقدامات سازگاری اتخاذ شده توسط کشورها، روند آسیب‌پذیری تاریخی در طول زمان پایدار است[۲۱].

در این مطالعه از استاندارد ایزو ۱۴۰۹۱ (انطباق با اثرات تغییرات آب و هوایی - اصول، الزامات و راهنمایی) که آخرین استاندارد از سری ISO ۱۴۰۹۰ است و بسیاری از عناصر سازگاری با تغییرات اقلیمی، از جمله برنامه‌ریزی قبلی، برنامه‌ریزی سازگاری، اجرا، نظارت و ارزیابی و گزارش و ارتباطات را توصیف می‌کند، به‌عنوان مرجع اصلی روش‌شناسی ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده شده است، زیرا دارای روشی واضح و قابل اجرا با وجود محدودیت‌های داده‌ای است و امکان شناسایی تهدیدها و فرصت‌ها بر مبنای روش ارزیابی ریسک را فراهم می‌کند.

بسیاری از شرکت‌ها و صنایع بزرگ جهان دارای برنامه‌های مدون برای کاهش اثرات اقلیمی خود و افزایش تاب‌آوری در برابر پیامدهای آن هستند. گزارش‌های منتشر شده توسط این شرکت‌ها نشان می‌دهد که ارزیابی آسیب‌پذیری از تغییر اقلیم و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، دو رویکرد اصلی اقدام اقلیمی آن‌ها بوده و شرکت‌ها دارای برنامه‌هایی برای هر دو مسیر هستند. پروژه‌هایی که توسط شرکت‌های پتروشیمی مطرح جهان در مهر و موم‌های اخیر تعریف و اجرا شده‌اند نشان می‌دهد که توجه به این آسیب‌ها و پیشگیری از آن‌ها در فرایند تصمیم سازی کلان نقش به سزایی داشته است.

از سوی دیگر، عدم قطعیت در پیش‌بینی رخدادهای آب و هوایی و پیامدهای ثانویه آن‌ها، موضوع شناخته شده و پذیرفته شده‌ای است و در بسیاری از مراجع و حتی استانداردها به آن اشاره شده است. در نتیجه تمامی این موضوعات تنها نشان دهنده روندهای کلان با احتمال وقوع بالا هستند، هرچند ممکن است در برخی موارد دقیق نباشند. با توجه به اینکه روش‌شناسی استفاده شده در این مطالعه، منطبق با روش‌شناسی استاندارد ۱۴۰۹۱ بوده است، می‌توان انتظار داشت که حداقل بخشی از شرکت‌های جهان نیز از همین روش‌شناسی برای انجام مطالعات خود استفاده می‌کنند.

۲-۲. محدوده مطالعه

ارزیابی این مطالعه بر بخش پتروشیمی کشور متمرکز شده و محدوده جغرافیایی آن شامل نقاط متمرکز صنعت پتروشیمی کشور (عسلویه و ماهشهر) و چندین نقطه غیرمتمرکز دیگر است که در ایستگاه‌های هواشناسی آن مناطق انجام شده است. بازه زمانی تجزیه و تحلیل شامل ۲۵ سال آینده (۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰) است، زیرا بسیاری از تصمیمات سازگاری دارای بازه زمانی بسیار کوتاه‌تری هستند چراکه افق‌های برنامه‌ریزی یا عمر بسیاری از سرمایه‌گذاری‌هایی که در حال حاضر انجام می‌شوند کوتاه‌تر هستند.

از رویکرد «غربالگری» مطابق با استاندارد ایزو ۱۴۰۹۱ برای ارزیابی در این پروژه استفاده شده است. به‌طورکلی بهتر است طیف وسیعی از شرایط احتمالی در آینده، برای درک بهتری از آسیب‌پذیریهای بالقوه و همچنین هزینه‌ها و مزایای احتمالی سازگاری ارزیابی شوند. به همین دلیل از سناریوهای تغییرات آب و هوایی استفاده شده است؛ بنابراین، فهرستی از موارد زیر تهیه شده است:

- مخاطرات اقلیمی بالقوه (افزایش دما، موج‌های گرما، سیل، بالا آمدن آب دریا و غیره) در بازه زمانی مدنظر
- ویژگی‌های سامانه (حساسیت و مواجهه صنعت پتروشیمی نسبت به مخاطرات اقلیمی)

در گام بعد، ماتریس غربالگری از دو محور تشکیل می‌شود. محور اول شامل مخاطرات اقلیمی بوده و محور دوم عناصری از سامانه که در مواجهه با مخاطرات و متأثر از آن‌ها هستند را در برمی‌گیرد. سپس برای هر یک از نقاط متناظر دو محور، بهترین تخمین در مورد پیامدها را شناسایی شده و به روش مشورت با خبرگان و با سطح‌بندی به شرح (جدول ۲) وزندهی شده است. در توصیف تأثیرگذاری‌ها جنبه‌های مواجهه و حساسیت در نظر گرفته می‌شوند. یادآوری می‌شود که اختصاص امتیاز منفی با این هدف در دسترس خبرگان قرار گرفت تا جنبه‌های فرصت نیز شناسایی شوند.

جدول ۲: سطح‌بندی امتیازدهی به مخاطرات اقلیمی

امتیاز	توصیف
منفی	امتیاز منفی به این معنی است که مخاطره مورد نظر بر جنبه مورد نظر تأثیر معکوس دارد (فرصت)
صفر	امتیاز صفر به این معنی است که مخاطره مورد نظر بر جنبه مورد نظر تأثیری ندارد.
۱	تأثیر کم
۲	تأثیر متوسط
۳	تأثیر زیاد

۲-۳. مخاطرات اقلیمی

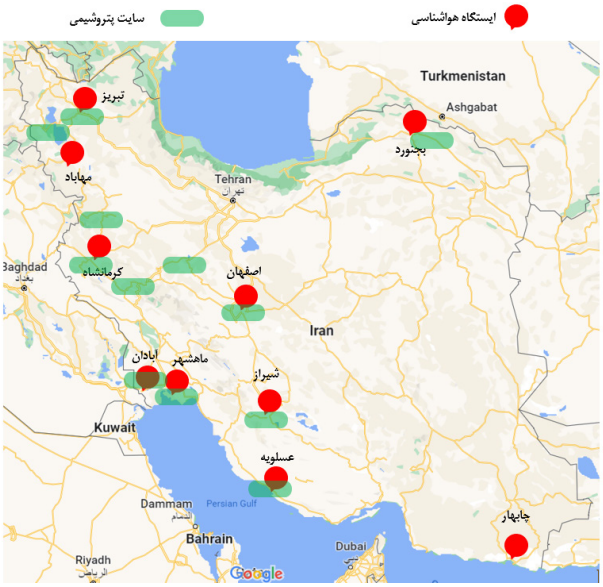
مناطق (شهرهای) دارای فعالیت صنعت پتروشیمی در ایران و متغیرهای اقلیمی مؤثر بر فعالیت‌های صنعت پتروشیمی، به ترتیب در (جداول ۳ و ۴) ارائه شده‌اند. (شکل ۱) نیز پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. تطابق مناسب گستره ایستگاه‌های هواشناسی با مناطقی که پتروشیمی‌ها در آن قرار دارند، نشان می‌دهد که از نتایج پیش‌بینی‌های اقلیمی برای ارزیابی اثرات بر صنعت پتروشیمی در سطح کشور می‌توان به‌خوبی استفاده کرد.

جدول ۳: مناطق دارای فعالیت‌های صنعت پتروشیمی

تبریز	بجنورد	مهاباد	کرمانشاه	اصفهان	آبادان	ماهشهر	شیراز	عسلویه	چابهار

جدول ۴: متغیرهای اقلیمی مؤثر بر فعالیت‌های صنعت پتروشیمی

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
۱	میانگین بارش	۷	امواج گرمایی
۲	بارش‌های سنگین (سیل‌آسا)	۸	خشک‌سالی
۳	دوره‌های تر و خشک	۹	سرعت باد و روند وقوع طوفان‌ها
۴	رطوبت نسبی	۱۰	دمای سطح آب خلیج فارس و دریای عمان
۵	بیشینه دما	۱۱	افزایش سطح آب خلیج فارس و دریای عمان
۶	کمینه دما	۱۲	اسیدیته دریا



شکل ۱: پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه و مناطق دارای صنعت پتروشیمی

پیش‌نگری این متغیرها برای دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰ - ۲۰۲۵) و روند تغییرات آن‌ها در مقایسه با اقلیم گذشته (دوره ۲۰۱۴ - ۱۹۸۵) از نتایج پروژه پژوهشی در شرکت ملی صنایع پتروشیمی ایران استخراج شده است.

۳. نتایج و تحلیل

۳-۱. مخاطرات اقلیمی

خلاصه نتایج پیشبینی تغییرات متغیرهای اقلیمی در بازه زمانی مدنظر از ۱۰ ایستگاه هواشناسی (مطابق با مناطق دارای صنعت پتروشیمی) به شرح (جدول ۵) به‌دست آمده است.

جدول ۵: خلاصه نتایج پیش‌بینی تغییرات متغیرهای اقلیمی

ایستگاه / متغیر اقلیمی	تبریز	بجنورد	مهاباد	کرمانشاه	اصفهان	آبادان	ماهشهر	شیراز	عسلویه	چابهار
میانگین بارش	↓	↑	↓	↑	↑↑	↑↑	↑↑↑	↑	–	↑↑↑
بارشهای سنگین	–	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
دوره‌های تر	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑↑	↑	↑
دوره‌های خشک	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓↓	↓	↓
رطوبت نسبی	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑
میانگین دما	↑	↑	↑↑	↑↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
امواج گرمایی	↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
روزهای داغ	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
روزهای یخبندان	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↓	–	–	↓	–	–
بزرگای خشکسالی	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↑
سرعت باد	–	–	–	–	↑	–	↓	↑	↑	↑
دمای سطح آب	–	–	–	–	–	↑	↑	–	↑	↑
افزایش سطح آب	–	–	–	–	–	↑	↑	–	↑	↑
اسیدیته دریا	–	–	–	–	–	↑	↑	–	↑	↑

۱) به روند کاهشی با پیکان رو به پایین و روند افزایشی با پیکان رو به بالا نشان داده شده است.

۲) تعداد پیکان متناسب با پررنگ شدن هر خانه، نشان‌دهنده شدت افزایش یا کاهش است.

۳) روند دوره‌های خشک کاملاً برعکس دوره‌های تر است.

۴) روند امواج گرمایی تقریباً مشابه روزهای داغ است.

۵) سه مورد آخر مربوط به دریای عمان و خلیج فارس است.

با توجه به توضیحات ذیل (جدول ۵)، می‌توان پارامترهای افزایش دوره‌های تر را معادل کاهش دوره‌های خشک در نظر گرفته و تنها یکی از آن‌ها را در ارزیابی استفاده نمود. همچنین، با توجه به اینکه روند افزایشی موج‌های گرمایی معادل افزایش روزهای داغ است و لذا تنها یکی از این دو پارامتر در ارزیابی وارد می‌شود.

به‌طور خلاصه، نتایج حاصل از بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در آینده نشان داد که در دهه‌های آتی (تا سال ۲۰۵۰) در مناطقی که صنعت پتروشیمی کشور در آن‌ها قرار دارد، روندهای زیر برقرار خواهد بود:

- افزایش میانگین بارش و بارش‌های سنگین (سیل‌آسا) و همچنین افزایش دوره‌های تر (و به‌تبع آن کاهش دوره‌های خشک) در تمامی بخش‌ها مشاهده خواهد شد، به‌غیر از تبریز و مهاباد که روندهای معکوس خواهند داشت؛ اما میزان رطوبت نسبی در تمامی بخش‌ها به‌غیر از عسلویه روندی افزایشی خواهد داشت.
- میانگین دمای هوا، تعداد روزهای داغ و امواج گرمایی در تمامی بخش‌ها دارای روندهای افزایشی خواهند بود و به‌تبع آن تعداد روزهای یخبندان نیز روندی کاهش خواهد داشت. همچنین، خشک‌سالی در تمامی بخش‌ها به‌غیر از شیراز و عسلویه تشدید خواهد شد.
- سرعت باد در اغلب مناطق کشور تغییرات چندانی نخواهد داشت و تنها در مناطق جنوبی کشور با افزایش همراه خواهد بود.
- در مناطق ساحلی دریای عمان و خلیج فارس، میزان اسیدیته آب، دمای سطح آب و تراز آب دارای روندهای افزایشی خواهند بود.

این روندها در ارزیابی ریسک نقش **مخاطره** را خواهند داشت و باید تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های سامانه (صنعت پتروشیمی) توصیف و ارزشیابی شوند تا ارزیابی ریسک تغییرات اقلیمی به انجام رسد.

۲-۳. ویژگی‌های سامانه

منظور از ویژگی‌های سامانه در اینجا، جنبه‌های تأثیرپذیر صنعت پتروشیمی از تغییرات متغیرهای اقلیمی و پیامدهای آن‌ها (مخاطرات اقلیمی) می‌باشد که هر دو عامل حساسیت و مواجهه در آن‌ها لحاظ شده باشد. جنبه‌های تأثیرپذیر صنعت پتروشیمی به شرح (جدول ۶) شناسایی شده‌اند. در نهایت، ماتریس غربالگری دارای ۱۸ سطر (جنبه) و ۱۷ ستون (مخاطره) خواهد شد.

جدول ۶: جنبه‌های تأثیرپذیر صنعت پتروشیمی از تغییرات متغیرهای اقلیمی

ردیف	جنبه تأثیرپذیر	ردیف	جنبه تأثیرپذیر	ردیف	جنبه تأثیرپذیر
۱	افزایش مصرف انرژی	۷	افزایش هزینه عملیاتی	۱۳	هزینه‌های اجتماعی و برندینگ
۲	اختلال در تولید پایدار	۸	افزایش قیمت خوراک	۱۴	تبعات قانونی
۳	کاهش تولید	۹	افزایش قیمت انرژی	۱۵	کاهش ارزش سهام
۴	کاهش خوراک	۱۰	مخاطرات محیط زیستی	۱۶	کاهش سود اقتصادی
۵	آسیب به تجهیزات	۱۱	مخاطرات ایمنی	۱۷	آسیب به زنجیره تأمین بالادست
۶	استهلاک تجهیزات	۱۲	مخاطرات سلامت	۱۸	آسیب به زنجیره تأمین پایین‌دست

۳-۳. نتایج ارزیابی

نتایج ارزشیابی در قالب ماتریس غربالگری بر اساس نظرات خبرگان (کارشناسان باتجربه محیط‌زیست و روسای محیط‌زیست در پتروشیمی‌ها) به شرح (جدول ۷) به‌دست آمده است. در گام بعد، جنبه‌های شناسایی شده با توجه به امتیاز کسب شده و بر اساس (جدول ۸) به سه دسته تقسیم‌بندی شده و درنهایت خطرات قابل‌توجه صنعت پتروشیمی کشور متأثر از تغییرات اقلیمی استخراج شده‌اند.

جدول ۷: نتایج ارزشیابی ریسک‌های تغییرات اقلیمی صنعت پتروشیمی کشور

مخاطره اقلیمی / جنبه تأثیر	کاهش میانگین بارش (تبریز و مهاباد)	افزایش میانگین بارش (سایر نقاط)	افزایش بارش‌های سیل‌آسا (کلیه نقاط)	کاهش دوره‌های تر (تبریز و مهاباد)	افزایش دوره‌های تر (سایر نقاط)	کاهش رطوبت نسبی (عسلویه)	افزایش رطوبت نسبی (سایر نقاط)	افزایش میانگین دما (کلیه نقاط)	افزایش روزهای داغ (کلیه نقاط)	کاهش روزهای یخبندان (کلیه نقاط)	کاهش خشکسالی (شیراز و عسلویه)	افزایش خشکسالی (سایر نقاط)	کاهش سرعت باد (ماهشهر)	افزایش سرعت باد (سایر نقاط)	افزایش سطح آب (عمان و خلیج فارس)	افزایش دمای آب (عمان و خلیج فارس)	افزایش اسیدیته دریا (عمان و خلیج فارس)
افزایش مصرف انرژی	۱,۰۰	۰,۷۳	۰,۸۹	۱,۰۰	۰,۸۲	-۰,۲۱	۱,۵۵	۲,۲۸	۲,۲۲	-۰,۲۹	۰,۰۸	۱,۸۲	۰,۶۹	۰,۶۴	۰,۰۷	۱,۵۰	۰,۷۷
اختلال در تولید پایدار	۱,۳۰	۰,۶۴	۱,۶۱	۱,۲۰	۰,۶۴	۰,۲۱	۱,۰۰	۱,۵۰	۱,۸۹	-۰,۱۴	۰,۰۸	۱,۴۵	۰,۶۲	۱,۱۸	۰,۵۰	۱,۳۶	۱,۱۵
کاهش تولید	۰,۸۰	۰,۱۸	۱,۰۰	۰,۷۰	۰,۲۷	۰,۰۷	۰,۴۵	۱,۰۶	۱,۳۳	-۰,۱۴	۰,۳۱	۱,۰۹	۰,۱۵	۰,۲۷	۰,۴۳	۱,۳۶	۰,۹۲
کاهش خوراک	۰,۴۰	۰,۳۶	۰,۳۹	۰,۴۰	۰,۲۷	۰,۰۰	۰,۳۶	۰,۵۰	۰,۶۱	-۰,۰۷	۰,۳۸	۰,۸۲	۰,۰۸	۰,۰۰	۰,۲۹	۰,۸۶	۰,۵۴
آسیب به تجهیزات	۰,۲۰	۰,۳۶	۱,۴۴	۰,۱۰	۰,۳۶	-۰,۲۱	۰,۷۳	۰,۹۴	۱,۳۹	-۰,۲۱	-۰,۱۵	۰,۶۴	۰,۱۵	۰,۹۱	۰,۷۱	۰,۶۴	۱,۶۹
استهلاک تجهیزات	۰,۷۰	۰,۷۳	۱,۴۴	۰,۶۰	۰,۸۲	-۰,۱۴	۱,۰۹	۱,۲۲	۱,۵۶	-۰,۰۷	۰,۱۵	۰,۹۱	۰,۴۶	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۹۳	۱,۸۵
افزایش هزینه عملیاتی	۱,۱۰	۱,۰۰	۱,۱۷	۱,۰۰	۰,۹۱	۰,۰۷	۱,۵۵	۱,۵۶	۱,۶۷	-۰,۰۷	۰,۱۵	۱,۵۵	۰,۷۷	۱,۰۰	۰,۵۷	۱,۲۹	۱,۵۴
افزایش قیمت خوراک	۰,۳۳	۰,۱۰	۰,۴۴	۰,۴۰	۰,۳۶	۰,۰۷	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۴۴	۰,۰۰	۰,۳۱	۰,۶۴	۰,۱۵	۰,۱۸	۰,۴۶	۰,۶۲	۰,۵۸
افزایش قیمت انرژی	۱,۱۰	۰,۵۵	۰,۶۷	۱,۰۰	۰,۶۴	۰,۲۹	۱,۰۰	۱,۵۰	۱,۵۰	-۰,۰۷	۰,۱۵	۱,۵۵	۰,۵۴	۰,۷۳	۰,۴۳	۱,۱۴	۰,۸۵
مخاطرات محیط زیستی	۰,۸۰	۰,۱۸	۱,۶۱	۰,۷۰	۰,۰۹	۰,۳۶	۰,۲۷	۱,۴۷	۱,۴۴	۰,۱۴	-۰,۵۴	۰,۹۱	۰,۳۱	۰,۹۱	۰,۷۱	۱,۰۷	۲,۰۰
مخاطرات ایمنی	۰,۲۰	۰,۵۵	۲,۰۰	۰,۲۰	۰,۲۷	۰,۲۱	۰,۱۸	۱,۲۸	۱,۵۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۳۶	۰,۳۸	۱,۵۵	۰,۹۳	۰,۶۴	۰,۹۲
مخاطرات سلامت	۰,۷۰	۰,۲۷	۱,۳۳	۰,۶۰	۰,۲۷	۰,۲۱	۰,۳۶	۱,۳۹	۱,۶۱	-۰,۰۷	-۰,۲۳	۰,۵۵	۰,۶۲	۱,۱۸	۰,۹۳	۰,۷۱	۱,۱۵
هزینه‌های اجتماعی و برندینگ	۰,۵۰	۰,۰۹	۰,۵۶	۰,۳۰	۰,۰۰	۰,۰۷	۰,۰۹	۰,۴۴	۰,۶۱	۰,۳۶	۰,۰۰	۰,۳۶	۰,۳۸	۰,۷۳	۰,۷۱	۰,۴۳	۰,۶۲
تبعات قانونی	۰,۲۲	۰,۲۰	۰,۷۱	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۷	۰,۰۰	۰,۲۸	۰,۳۹	۰,۰۰	-۰,۰۸	۰,۲۷	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۲۹	۰,۱۴	۰,۳۸
کاهش ارزش سهام	۰,۷۰	۰,۲۷	۰,۸۳	۰,۵۰	۰,۲۷	۰,۲۱	۰,۳۶	۰,۵۶	۰,۸۳	۰,۱۴	۰,۳۱	۰,۸۲	۰,۱۵	۰,۴۵	۰,۷۱	۰,۶۴	۰,۶۲
کاهش سود اقتصادی	۰,۷۰	۰,۱۸	۱,۲۲	۰,۵۰	۰,۲۷	۰,۲۱	۰,۸۲	۱,۱۱	۱,۲۲	۰,۰۰	۰,۳۱	۱,۰۰	۰,۰۸	۰,۳۶	۰,۷۱	۱,۰۸	۰,۷۵
آسیب به زنجیره تأمین بالادست	۰,۵۰	۰,۳۶	۱,۲۲	۰,۵۰	۰,۴۵	۰,۱۴	۰,۵۵	۰,۶۷	۰,۷۸	-۰,۲۱	۰,۳۸	۱,۲۷	۰,۰۰	۰,۳۶	۰,۶۴	۱,۰۷	۰,۸۵
آسیب به زنجیره تأمین پایین‌دست	۰,۶۰	۰,۳۶	۱,۱۱	۰,۶۰	۰,۴۵	۰,۱۴	۰,۶۴	۰,۶۷	۰,۸۳	-۰,۱۴	۰,۳۸	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۲۷	۰,۶۴	۱,۰۰	۰,۹۲

به‌طور خلاصه پیش‌نگری متغیرهای ذکر شده در (جدول۴) برای دوره آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۵) و روند تغییرات آن‌ها در مقایسه با اقلیم گذشته (دوره ۲۰۱۴-۱۹۸۵) بر اساس مدل اقلیمی مشخص شده است. این پیش‌بینی‌ها توصیفات کلی از روندهای افزایشی یا کاهشی این پارامترها و شدت نسبی آن‌ها به دست می‌دهند. این توصیفات بر اساس افزایشی یا کاهشی بودن به ترتیب با پیکان‌های رو به بالا و رو به پایین و بر اساس شدت توسط تعداد پیکان‌ها (۱ تا ۳) در (جدول ۵) خلاصه شده‌اند. هر یک از این پیش‌بینی‌ها

برای هر یک از مناطق به‌طور جداگانه انجام شده است. این روندها در ارزیابی ریسک نقش مخاطره را داشته‌اند. سپس جنبه‌های تأثیرپذیر صنعت پتروشیمی از تغییرات متغیرهای اقلیمی و پیامدهای آن‌ها (مخاطرات اقلیمی) به شرح (جدول ۶) شناسایی شده‌اند. در تهیه و تدوین این جنبه‌ها نیز از نظرات خبرگان استفاده شده است. درنهایت، به روش نظرسنجی از خبرگان، میزان تأثیرپذیری هر یک از جنبه‌ها از مخاطرات اقلیمی، کمی‌سازی شده و نتایج آن در (جدول ۷) ارائه شده است

جدول ۸: محدوده امتیاز برای شناسایی جنبه‌ها

محدوده امتیاز	توضیح
=< ۱/۵	جنبه مورد نظر ریسک قابل توجه است
۰/۵ < ... < ۱/۵	جنبه مورد نظر ریسک قابل قبول است
=< ۰/۵	جنبه مورد نظر ریسک غیر قابل توجه است

لازم به ذکر است که حداکثر امتیاز قابل کسب برابر با ۳ بوده است و در نتیجه انتخاب محدوده بیشتر از ۱/۵ به‌عنوان ریسک‌های قابل توجه، به معنای در نظر گرفتن ریسک‌هایی است که بیش از نیمی از متوسط امتیاز قابل کسب را آوردهاند.

۳-۴. تحلیل نتایج

۳-۴-۱. فرصت‌های بالقوه

در (جدول ۸)، برخی از جنبه‌های امتیاز متوسط منفی به دست آورده‌اند و این بدان معناست که جنبه مورد نظر نه‌تنها ریسک نبوده بلکه به‌عنوان فرصت بالقوه شناخته می‌شود. طبق نتایج به‌دست آمده، موارد زیر از جمله فرصت‌های بالقوه برای صنعت پتروشیمی در نتیجه تغییرات اقلیمی هستند:

- کاهش آسیب به تجهیزات و استهلاک در مجتمع‌های واقع در منطقه عسلویه در نتیجه کاهش رطوبت نسبی،
- کاهش مصرف انرژی در منطقه عسلویه در نتیجه کاهش رطوبت نسبی،
- کاهش آسیب به تجهیزات، کاهش مخاطرات زیستی و سلامت انسانی و کاهش تبعات قانونی در شیراز و عسلویه به دلیل کاهش خشکسالی،
- کاهش مصرف انرژی، امکان افزایش تولید و دسترسی بیشتر به خوراک، کاهش استهلاک و آسیب به تجهیزات، کاهش هزینه‌های عملیاتی، کاهش مخاطرات سلامت انسانی، کاهش آسیب‌پذیری زنجیره تولید در بالادست و پایین‌دست در کلیه مناطق کشور به دلیل کاهش روزهای یخبندان.

در یک نگاه کلی، نتیجه‌گیری می‌شود که مهم‌ترین فرصت‌های پیش رو برای صنعت پتروشیمی در زمینه کاهش استهلاک و آسیب به تجهیزات در مناطق جنوبی کشور (عسلویه و شیراز) قرار گرفته و پس از آن افزایش دسترسی به منابع انرژی و خوراک و کاهش مخاطرات سلامت از جمله مهم‌ترین فرصت‌ها در کلیه مناطق کشور هستند.

۳-۴-۲. خطرات قابل‌توجه

با توجه به (جدول ۸) و امتیازهای به‌دست آمده، نتیجه‌گیری می‌شود که مهم‌ترین ریسک‌های قابل‌توجه در صنعت پتروشیمی ناشی از تغییر اقلیم به موضوعات افزایش دما، روزهای داغ و باران‌های سیل‌آسا در کلیه مناطق، افزایش رطوبت نسبی در کلیه مناطق به‌غیر از عسلویه، افزایش خشکسالی در کلیه مناطق به‌غیر از عسلویه و شیراز، افزایش سرعت باد در کلیه مناطق به‌غیر از ماهشهر و افزایش دمای آب و اسیدیته دریا در سواحل عمان و خلیج فارس معطوف است.

مهم‌ترین پیامدهای این تغییرات شامل افزایش مصرف و قیمت انرژی، آسیب و استهلاک تأسیسات، افزایش هزینه‌های عملیاتی و اختلال در تولید پایدار و بعضاً افزایش مخاطرات ایمنی، سلامت و محیط زیستی می‌شود.

مهم‌ترین ریسک‌های قابل‌توجه بر اساس امتیاز کسب شده به ترتیب اولویت به شرح (جدول ۹) می‌باشند.

جدول ۹: اولویت‌بندی ریسک‌های قابل‌توجه در میان کلیه ریسک‌ها

رتبه	جنبه	مخاطره	امتیاز
۱	افزایش مصرف انرژی	افزایش میانگین دما (کلیه نقاط)	۲.۲۸
۲	افزایش مصرف انرژی	افزایش روزهای داغ (کلیه نقاط)	۲.۲۲
۳	مخاطرات ایمنی	افزایش بارشهای سیل‌آسا (کلیه نقاط)	۲
۴	مخاطرات محیط زیستی	افزایش اسیدیته دریا (عمان و خلیج فارس)	۲
۵	اختلال در تولید پایدار	افزایش روزهای داغ (کلیه نقاط)	۱.۸۹
۶	افزایش مصرف انرژی	افزایش خشکسالی (کلیه نقاط به غیر از شیراز و عسلویه)	۱.۸۲
۷	آسیب به تجهیزات	افزایش اسیدیته دریا (عمان و خلیج فارس)	۱.۶۹
۸	افزایش هزینه عملیاتی	افزایش روزهای داغ (کلیه نقاط)	۱.۶۷
۹	اختلال در تولید پایدار	افزایش بارشهای سیل‌آسا (کلیه نقاط)	۱.۶۱
۱۰	مخاطرات سلامت	افزایش روزهای داغ (کلیه نقاط)	۱.۶۱
۱۱	مخاطرات محیط زیستی	افزایش بارشهای سیل‌آسا (کلیه نقاط)	۱.۶۱
۱۲	استهلاک تجهیزات	افزایش روزهای داغ (کلیه نقاط)	۱.۵۶
۱۳	افزایش هزینه عملیاتی	افزایش میانگین دما (کلیه نقاط)	۱.۵۶
۱۴	افزایش قیمت انرژی	افزایش خشکسالی (کلیه نقاط به غیر از شیراز و عسلویه)	۱.۵۵
۱۵	افزایش مصرف انرژی	افزایش رطوبت نسبی (کلیه نقاط به غیر از عسلویه)	۱.۵۵
۱۶	افزایش هزینه عملیاتی	افزایش رطوبت نسبی (کلیه نقاط به غیر از عسلویه)	۱.۵۵
۱۷	افزایش هزینه عملیاتی	افزایش خشکسالی (کلیه نقاط به غیر از شیراز و عسلویه)	۱.۵۵
۱۸	مخاطرات ایمنی	افزایش سرعت باد (کلیه نقاط به غیر از ماهشهر)	۱.۵۵
۱۹	افزایش هزینه عملیاتی	افزایش اسیدیته دریا (عمان و خلیج فارس)	۱.۵۴
۲۰	اختلال در تولید پایدار	افزایش میانگین دما (کلیه نقاط)	۱.۵
۲۱	استهلاک تجهیزات	افزایش اسیدیته دریا (عمان و خلیج فارس)	۱.۵
۲۲	افزایش قیمت انرژی	افزایش روزهای داغ (کلیه نقاط)	۱.۵
۲۳	افزایش قیمت انرژی	افزایش میانگین دما (کلیه نقاط)	۱.۵
۲۴	افزایش مصرف انرژی	افزایش دمای آب (عمان و خلیج فارس)	۱.۵
۲۵	مخاطرات ایمنی	افزایش روزهای داغ (کلیه نقاط)	۱.۵

همان‌طور که در (جدول ۹) مشاهده می‌شود، افزایش دما بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داده است که طبیعتاً آسیب‌های اقتصادی آن به‌عنوان یک متغیر اقلیمی از سایر موارد بیشتر خواهد بود. بررسی اثر اقتصادی متغیرهای اقلیمی بر صنعت پتروشیمی نیازمند پروژه‌هایی تخصصی می‌باشد که داده‌های فرآیندی زیادی را برای مطالعه و شبیه‌سازی می‌طلبد؛ اما برای اینکه بتوان حداقل اشاره‌ای کوچک، به مفاهیم اقتصادی اثر تغییرات اقلیمی در مقیاس صنعتی نمود و مسئله کمی ملموس‌تر گردد، به‌صورت تقریبی می‌توان گفت که به ازای هر درجه افزایش دما، ۰/۶ درصد راندمان تولید برق کاهش می‌یابد [۲۲] و به‌تبع آن تولید توان یا برق کم می‌شود. با این دیدگاه قیمت تمام شده تولید برق افزایش می‌یابد و مصرف‌کننده حداقل به ازای هر درجه افزایش دما باید ۰/۶ درصد هزینه بیشتر بپردازد که این امر باعث می‌گردد در بخش پتروشیمی هزینه خرید برق سالانه (بر اساس داده‌های واقعی استفاده شده در پروژه پژوهشی مدیریت کربن) حدود ۳ میلیون دلار افزایش یابد.

۴. نتیجه‌گیری

اهداف اصلی از ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی انجام شده در این مطالعه، شناسایی و پیشبینی خسارت‌های احتمالی ناشی از تغییر اقلیم بر صنعت پتروشیمی کشـور، شناسایی جنبه‌های تأثیرگذار تغییـر اقلیم و تأثیرپذیرتریـن فعالیت‌های صنعـت پتروشیمی از تغییـر اقلیم و درنهایت تحلیل ریسـک‌ها و فرصت‌ها بوده اسـت. مطابق با اسـتاندارد ایزو ۱۴۰۹۱، ماتریس غربالگـری از دو محور تشـکیل گردید. محور اول شـامل مخاطرات اقلیمی بوده و محور دوم عناصری از سامانه که در مواجهه با مخاطرات و متأثر از آن‌ها هسـتند را در برمی‌گیرد. محدوده جغرافیایی مطالعه شـامل کل کشـور در ۱۰ ایستگاه هواشناسی (مطابق با مناطق دارای صنعت پتروشیـمی) و بازه زمانی تجزیه و تحلیل شـامل ۲۵ سـال آینده (۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰) بوده است. مجموعاً ۱۲ متغیر اقلیمی برای این محدوده زمانی و مکانی مورد بررسی قرار گرفته است.

در مجموع ۱۸ جنبه تأثیرپذیر صنعت پتروشیمی از تغییرات متغیرهای اقلیمی و پیامدهای آن‌ها (مخاطرات اقلیمی) شناسایی شده و بر اساس ۱۲ متغیر اقلیمی و تغییرات روند آن‌ها در مناطق مختلف کشور (مجموعاً ۱۷ روند- منطقه) ارزیابی شدند. برای هر یک از نقاط متناظـر دو محور، بهترین تخمیـن در مورد پیامدها شناسـایی و به روش‌های نیمه‌کمی (امتیازدهی صفر تا ۳) توسط خبرگان صنعت پتروشیمی به آن‌ها وزندهی شده است.

نتایج این مطالعه نشان داد که مهم‌ترین ریسک‌های قابل‌توجه در صنعت پتروشیمی ناشی از تغییر اقلیم به موضوعات افزایش دما، روزهای داغ و باران‌های سیل‌آسا در کلیه مناطق، افزایش رطوبت نسـبی در کلیه مناطق به‌غیر از عسـلویه، افزایش خشکسـالی در کلیه مناطق به‌غیر از عسلویه و شیراز، افزایش سرعت باد در کلیه مناطـق به‌غیر از ماهشـهر و افزایش دمـای آب و اسیدیته دریا در سواحل عمان و خلیج فارس معطوف است. مهم‌ترین پیامدهای این تغییرات شامل افزایش مصرف و قیمت انرژی، آسیب و استهلاک تأسیسات، افزایش هزینه‌های عملیاتی و اختلال در تولید پایدار و بعضاً افزایش مخاطرات ایمنی، سـلامت و محیط زیسـتی میشود. درنهایت، ریسک‌های قابل‌توجه این صنعت در قبال تغییر اقلیم، بر اساس امتیاز دریافت شده اولویت‌بندی شدند.

همچنین نتیجه گرفته شد که مهم‌ترین فرصت‌های پیش رو برای صنعت پتروشیمی در محدوده کاهش استهلاک و آسیب به تجهیزات در مناطق جنوبی کشور (عسلویه و شیراز) قرار گرفته و پـس از آن افزایش دسـترسی به منابع انـرژی و خوراک و کاهش مخاطرات سـلامتی و ایمنی از جملـه مهم‌ترین فرصت‌ها در کلیه مناطق کشور هستند.

مراجع:

[1]. T. D. N. Fredric Bauer, "Petrochemicals and Climate Change: Corporate power, networks and international governance," 2021.

[2]. W. J. Anastas PT, Green chemistry: theory and practice, London: Oxford University Press, 1998.

[3]. D. Minovi, "The Chemical Industry: An Overlooked Driver of Climate Change," Center for Progressive Reform.

[4]. K. G. &. S. B. Joel Tickner, "Transitioning the Chemical Industry: The Case for Addressing the Climate, Toxics, and Plastics Crises," Environment: Science and Policy for Sustainable Development, Vols. 63-6, pp. 4-15, 2021.

[5]. "CGE Training Materials for Vulnerability and Adaptation Assessment Chapter 2 Vulnerability and Adaptation Frameworks".

[6]. [Online]. Available: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/ipcc-technical-guidelines-1994n.pdf. [Accessed 2022].

[7]. "ADAPTATION POLICY FRAMEWORKS FOR CLIMATE CHANGE: DEVELOPING STRATEGIES, POLICIES AND MEASURES," IPCC, 2004.

[8]. [Online]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/951013_Toolkit%20for%20Designing%20Climate%20Change%20Adaptation%20Initiatives.pdf. [Accessed 2022].

[9]. [Online]. Available: http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/low_emission_climateresilientdevelopment/applying-

& Lars Otto Naess. (2006). Questioning Complacency: Climate Change Impacts, Vulnerability, and Adaptation in Norway. Ambio, 35(2), 50–56. http://www.jstor.org/stable/4315686.

[18]. Harrison, P. Holman, Ian. Berry, P. 2015/02/01, 153 - 167, Assessing cross-sectoral climate change impacts, vulnerability and adaptation: an introduction to the CLIMSAVE project, VL - 128, 10.1007/s10584-015-1324-3, Climatic Change.

[19]. Jones, R.N. An Environmental Risk Assessment/Management Framework for Climate Change Impact Assessments. Natural Hazards 23, 197–230 (2001).

[20]. Faryadras, A., & Maleki, A. (2023). Window to the Concept of Peak Oil and Policy Implications: Case of Iran. Iranian Journal of Public Policy, 9(3), 78-99. doi: 10.22059/jppolicy.2023.95724.

[21]. Visser, H., Petersen, A.C. & Ligtvoet, W. On the relation between weather-related disaster impacts, vulnerability and climate change. Climatic Change 125, 461–477 (2014). https://doi.org/10.1007/s10584-014-1179-z.

[22]. Iran's Initial National Communication to United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) / Prepared by department of Environment, National Climate Change Office with cooperation of the United Nations Development Programme (UNDP).

climate-information-for-adaptation-decision-making.html. [Accessed 2022].

[10]. [Online]. Available: https://unfccc.int/files/adaptation/cancun_adaptation_framework/application/pdf/naptechguidelines_eng_high__res.pdf. [Accessed 2022].

[11]. [Online]. Available: http://www.unep.org/provia/RESOURCES/Publications/PROVIAGuidancereport/tabid/130752/Default.aspx. [Accessed 2022].

[12]. [Online]. Available: https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp342deP/1443/index.php/knowledge/vulnerability-assessment/vulnerability-sourcebook/. [Accessed 2022].

[13]. "ISO 14091 - Adaptation to climate change — Guidelines on vulnerability, impacts and risk assessment," 2021.

[14]. Thang T.X. Nguyen, Jarbas Bonetti, Kerrylee Rogers, Colin D. Woodroffe, Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices, Ocean & Coastal Management, Volume 123, 2016, Pages 18-43, ISSN 0964-5691,

[15]. Benjamin K. Sovacool, Steve Griffiths, Jinsoo Kim, Morgan Bazilian, Climate change and industrial F-gases: A critical and systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options for reducing synthetic greenhouse gas emissions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 141, 2021, 110759, ISSN 1364-0321,.

[16]. Geoffrey R. Mitchell, Climate Change and Manufacturing, Procedia Manufacturing, Volume 12, 2017, Pages 298-306, ISSN 2351-9789,.

[17]. O'Brien, K., Eriksen, S., Linda Sygna,

IRANIAN JOURNAL OF GAS ENGINEERING

Volume 11 / Issue 2 / NO. 20 / Winter 2024 / Pages 30-42

Journal Homepage: www.ijge.irangi.org

Vulnerability Assessment of Iranian Petrochemical Industry from Climate Change Consequences to Analyses Risks and Opportunities

Esmaeil GhasemiKafrudi[1*], Shayan Seif[2], Zeynab Sobhani[1], Kazem Kashefi[1], Marzyeh Ahmadi[3], MohammadAli Rajabi[3]

1. Scientific Faculty Member of Energy and Environment Research Center, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran
2. Vira Sustainable Processes, Tehran, Iran
3. National Iranian Petrochemical Company, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

ORIGINAL RESEARCH

Article History:
Received: 29 August 2024
Revised: 27 September 2024
Accepted: 09 November 2024

Keywords:
Assessment
Vulnerability
Climate change
Risks
Petrochemical industry

ABSTRACT

The purpose of this study is to identify and predict possible damages caused by climate change on Iranian petrochemical industry, to identify the influential aspects of climate change, and to explain the most affected industrial activities from climate change, and finally to analyse risks and opportunities. ISO 14091 standard has been used to compile the methodology of this study. The geographical scope of the study included the entire country in 10 meteorological stations (corresponding to the areas with petrochemical industry) and the time frame of the analysis included the next 25 years (2025 to 2050). A total of 12 climate variables have been investigated,18 influential aspects of the petrochemical industry from changes in climatic variables and their consequences (climatic risks) were identified and evaluated based on 12 climatic variables and their changes in different regions of the country (17 trends-regions in total). The results of this study showed that the most significant risks in the petrochemical industry due to climate change are increase in temperature, number of hot days and torrential rains in all regions, relative humidity increase in all regions except Asalouyeh, drought increase in all regions except Asaluyeh and Shiraz, increase in wind speed in all regions except Mahshahr, and increase in water temperature and sea acidity at the coasts of Oman and the Persian Gulf. The most important consequences of these changes include the increase in energy consumption and energy price, depreciation of facilities, increase in operating costs and disturbance in sustainable production, and increase in safety, health and environmental risks. It was also concluded that the most important future opportunities for the petrochemical industry are in the scope of reducing depreciation and damage to equipment in the southern regions of the country (Asaluyeh and Shiraz) and after that, increasing access to energy and feed resources and reducing health and safety risks will be the most important opportunities in all regions of the country.

DOR: 20.1001.1.25885251.1403.00.0.0

How to cite this article

E. GhasemiKafrudi, S. Seif, Z. Sobhani, K. Kashefi, M. Ahmadi, M.A. Rajabi, Vulnerability Assessment of Iranian Petrochemical Industry from Climate Change Consequences to Analyses Risks and Opportunities. *Iranian Journal of Gas Engineering*. 2024; 11(1): 30 -42. (https://www.ijge.irangi.org/article_723235.html)

* Corresponding Author.
E-mail address: ghasemies@ripi.ir, (E. GhasemiKafrudi).

Available online 30 December 2024
25885-5251/© 2014 The Authors. Published by Iranian Gas Institute.
This is an open access article under the CC BY license. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)