



آلودگی هوا در صنعت پالایشگاهی

علیرضا فرهمند نیا^۱

۱- کارشناسی ارشد HSE، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لامرد، ایران. ایمیل: Farahmandniya_alireza@yahoo.com

چکیده

آلودگی هوا، از مهم‌ترین پیامدهای زیست‌محیطی پالایشگاه‌ها به شمار می‌رود. این آلودگی ناشی از انتشار ذرات معلق، ترکیبات آلی فرار، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، اکسیدهای گوگرد (SOx) و دیگر آلاینده‌های مضر برای سلامت انسان و محیط زیست است. با توجه به اهمیت اقتصادی صنعت نفت و تمایل به توسعه و ساخت پالایشگاه‌های جدید، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و ارائه راهکارهای کاهش اثرات سوء پیش از شروع ساخت این پالایشگاه‌ها ضروری است. در این پژوهش، با تمرکز بر آلودگی هوا، ابتدا تعاریف و مفاهیم آلودگی هوا ناشی از صنایع پالایشگاهی ارائه شد و چالش‌های مدیریتی این معضل محیط زیستی بیان گردید. در ادامه نیز تقسیم بندی از روش‌ها و راهکارهای مدیریتی برای آلودگی هوا در صنعت پالایشگاهی ارائه شد. برای این منظور، از منابع معتبر به منظور شناسایی آلاینده‌های مهم منتشره و منابع انتشار آنها استفاده گردید. در نهایت، با جمع‌بندی مطالب به دست آمده و مقایسه آن‌ها با وضعیت موجود در ایران، پیشنهادهایی در این زمینه ارائه شده است.

کلمات کلیدی: انتشارات پالایشگاهی، آلاینده‌های هوا، تأثیرات زیست‌محیطی، تکنولوژی‌های کاهش آلودگی، گازهای گلخانه‌ای

Air Pollution in the Refinery Industry

Alireza Frahmandniya^۱

^۱ - MSc., HSE, Islamic Azad University, Lamerd, Iran. Email: Farahmandniya_alireza@yahoo.com.

Abstract

Air pollution stands as one of the most significant environmental consequences of refinery operations. This pollution stems from the release of particulate matter, volatile organic compounds (VOCs), nitrogen oxides (NOx), sulfur oxides (SOx), and other harmful pollutants that pose risks to human health and the environment. Considering the economic importance of the oil industry and the drive to develop and construct new refineries, it is essential to evaluate the environmental impacts and propose mitigation strategies before commencing construction. This study, focusing on air pollution, will provide definitions and concepts related to air pollution from the refinery industry, address the management challenges associated with this environmental problem, and present solutions. For this purpose, credible sources were used to identify the main pollutants released and their sources. Finally, by synthesizing the findings and comparing them with the existing situation in Iran, proposals in this regard are presented.

Keywords: Refinery emissions, air pollutants, environmental impacts, pollution reduction technologies, Greenhouse gases

۱- مقدمه

تلاش برای حفظ و احیای آن، نه تنها یک ضرورت زیست‌محیطی، بلکه یک مسئولیت اخلاقی و اجتماعی است که باید مورد توجه همگان قرار گیرد (Prakash and Verma, ۲۰۲۲).

آلودگی محیط زیست، معضلی جهانی است که ابعاد گسترده‌ای از حیات کره زمین را تحت تأثیر قرار داده و به یکی از جدی‌ترین چالش‌های عصر حاضر تبدیل شده است. این پدیده مخرب، ناشی از ورود مواد آلاینده به اکوسیستم‌های طبیعی است و منابع حیاتی همچون هوا، آب و خاک را آلوده می‌سازد. آلودگی‌ها، نه تنها سلامت انسان‌ها و سایر موجودات زنده را تهدید می‌کنند، بلکه تعادل اکولوژیکی کره زمین را نیز برهم می‌زنند و خسارات جبران‌ناپذیری به بار می‌آورند. تنوع زیستی در معرض نابودی قرار می‌گیرد، تغییرات آب و هوایی تشدید می‌شود و سلامت و رفاه جوامع انسانی به خطر می‌افتد. افزایش جمعیت، صنعتی‌شدن جوامع و مصرف بی‌رویه منابع، از

در دنیای امروز، با افزایش جمعیت و توسعه صنایع، اهمیت محیط زیست بیش از هر زمان دیگری آشکار شده است. محیط زیست، نه تنها بستری برای حیات انسان‌ها، بلکه مأواي تمامی موجودات زنده است. این کره خاکی، با اکوسیستم‌های پیچیده و در هم تنیده خود، منابع حیاتی مانند آب، هوا، خاک و تنوع زیستی را در اختیار موجودات زنده قرار می‌دهد (Gomes et al., ۲۰۲۰). اما، فعالیت‌های بی‌رویه انسانی، از جمله آلودگی، تخریب زیستگاه‌ها و تغییرات آب و هوایی، این منابع ارزشمند را به طور فزاینده‌ای تهدید می‌کند. بی‌توجهی به این مسائل، نه تنها سلامت و رفاه انسان‌ها را به خطر می‌اندازد، بلکه تعادل اکولوژیکی کره زمین را نیز برهم می‌زند و بقای نسل‌های آینده را با چالش‌های جدی روبرو می‌سازد. بنابراین، درک اهمیت محیط زیست و

چاوشی و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی میزان انتشار و ضریب انتشار (فاکتور انتشار) گاز دی اکسید گوگرد از خروجی‌های پالایشگاه نفت تهران پرداخت. این مطالعه از نوع توصیفی مقطعی بوده و اندازه‌گیری گازهای خروجی از دودکش با استفاده از دستگاه Testo ۳۵۰ XL صورت گرفته است. با مطالعه نتایج به دست آمده مشخص گردید که میزان آلاینده SO₂ تولیدی توسط واحد تقطیر شمالی بیش از ۳ برابر واحد جنوبی است و میزان انتشار گاز آلاینده از این واحد ۲/۸ برابر و ضریب انتشار آن ۵/۶ برابر نسبت به واحد تقطیر جنوبی است، همچنین میزان غلظت، انتشار و ضریب دی اکسید گوگرد در واحد تبدیل کاتالیست شمالی بیش از ۲ برابر واحد مشابه جنوبی است و مقایسه این سه فاکتور در واحد غلظت شکن شمالی به ترتیب ۳، ۲/۶ و ۲/۶ برابر در مقایسه با واحد مشابه جنوبی اندازه‌گیری شده است.

امینی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی بهیگی محل استقرار ایستگاه پایش آلودگی هوای ناشی از پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه برق سازند با استفاده از شاخص کیفیت هوا پرداختند. به این منظور از شاخص کیفیت هوا (AQI) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه پایش آلودگی هوا اداره کل محیط زیست استان مرکزی واقع در شهرستان سازند و همچنین از اطلاعات هواشناسی استان مرکزی در روزهای مورد نظر استفاده شد. نتایج نشان دادند که بیشترین میزان آلودگی واقع در این منطقه در روزهای مورد نظر ناشی از PM(۱۰) می‌باشد که در حد خیلی ناسالم شاخص مورد نظر بوده و همچنین ایستگاه در نظر گرفته شده به منظور پایش آلودگی هوای این واحدهای صنعتی به دلیل جهت وزش باد که از سمت این واحدها به این ایستگاه نمی‌باشد، در محل مناسب مستقر نشده است.

هدایتی راد و همکاران (۱۳۹۵) مدل‌سازی پراکنش آلودگی هوای پالایشگاه نفت آبادان را با نرم افزار SCREEN انجام دادند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، مشاهده شد که غلظت آلاینده‌های مورد مطالعه در این پژوهش در فصل‌های تابستان و پاییز بالاتر از حد استانداردهای محیطی است.

احمدی و همکاران (۱۴۰۱) تاثیر صنایع نفت بر آلودگی هوا و مکان یابی بهینه آن با رویکرد زیست محیطی در کلان شهر اهواز را بررسی کردند. در این تحقیق برای بررسی پراکنش آلاینده های SO_x، NO_x، CO از نرم افزار SCREEN₃ استفاده و داده‌ها مورد بررسی شد. با توجه به نظر کارشناسان، معیارهای اصلی شامل اقلیم، عوامل طبیعی، عوامل زیست محیطی، عوامل اقتصادی و اجتماعی مشخص شد. پس از محاسبه وزن‌ها بر اساس مدل AHP و تهیه لایه‌های اطلاعاتی، از قابلیت‌های نرم افزار GIS به منظور تلفیق و هم پوشانی نقشه‌ها استفاده شد و در نهایت نقشه مکان‌یابی بهینه صنایع نفت با رویکرد زیست محیطی در کلان‌شهر اهواز تهیه شد. طبق نتایج به دست آمده باید حداقل تا فاصله ۵۰۰۰ متری که مقدار غلظت قابل توجه است هیچ‌گونه فعالیت مبنی بر سکونت وجود نداشته باشد. یعنی در این فاصله موجودات زنده و غیرزنده بیشترین آسیب را خواهند دید. مناطق کاملاً مناسب برای استقرار مکان‌های بهینه صنایع نفت در قسمت غرب، جنوب، جنوب غربی و قسمت‌هایی از شرق و شمال منطقه مورد مطالعه قرار گرفت.

خبری و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی کیفیت هوا و منابع آلودگی صنعتی در شهر بندرعباس (۱۳۹۹-۱۴۰۱) پرداختند. نتایج روزانه نشان داد که شاخص کیفیت هوا با جهت باد و دما ارتباط مستقیم و با پوشش ابر ارتباط معکوس داشته و این شاخص در تابستان به طور معنی‌داری بیشتر از سایر فصل‌ها است. نتایج نشان داد غلظت ازن و دی اکسید گوگرد در شب با جهت باد ارتباط معنی دار داشته است. مهمترین کانون‌های بالقوه آلودگی صنعتی

جمله عوامل اصلی تشدید آلودگی‌های محیط زیست هستند. با این حال، با آگاهی از این تهدید و اتخاذ رویکردهای مسئولانه و اقدامات مؤثر، می‌توان گام‌های مهمی در جهت کاهش آلودگی‌ها و حفظ محیط زیست برای نسل‌های آینده برداشت (Qu and Chen, ۲۰۲۴).

آلودگی هوا، به عنوان یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی عصر حاضر، سلامت و زندگی انسان‌ها را به طور جدی تهدید می‌کند. این پدیده، ناشی از ورود مواد آلاینده گوناگون به اتمسفر است که از منابع مختلفی همچون فعالیت‌های صنعتی، وسایل نقلیه موتوری، سوزاندن سوخت‌های فسیلی و کشاورزی نشأت می‌گیرد. آلودگی هوا، نه تنها کیفیت تنفس موجودات زنده را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه برای انسان‌ها، منجر به بروز بیماری‌های تنفسی، قلبی و عروقی، سرطان و دیگر مشکلات سلامتی می‌شود. این معضل، به‌ویژه در مناطق شهری و صنعتی، به یک بحران بهداشتی تبدیل شده و هزینه‌های گزافی را بر جوامع تحمیل می‌کند (Kampa and Castanas, ۲۰۰۸). علاوه بر این، آلودگی هوا تأثیرات مخربی بر اکوسیستم‌ها و تغییرات آب و هوایی دارد و موجب آسیب به گیاهان، حیوانات و منابع طبیعی می‌شود. بنابراین، شناخت دقیق منابع آلودگی، پیامدهای آن و اتخاذ راهکارهای مؤثر برای کاهش و کنترل آلودگی هوا، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

صنایع پالایشگاهی، به عنوان یکی از ارکان اصلی تأمین انرژی و مواد اولیه صنایع گوناگون، نقش حیاتی در اقتصاد جهانی ایفا می‌کنند. با این وجود، این صنایع به دلیل ماهیت فرآیندهای پیچیده و استفاده از مواد خام آلاینده، یکی از مهم‌ترین منابع انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شوند. پالایش نفت خام و فرآوری محصولات جانبی، منجر به انتشار طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها در هوا، آب و خاک می‌شود که تأثیرات منفی چشمگیری بر سلامت انسان و محیط زیست دارد. این آلاینده‌ها، شامل گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد، ترکیبات آلی فرار، ذرات معلق و پساب‌های آلوده است که موجب آلودگی هوا، باران‌های اسیدی، آلودگی منابع آبی و تخریب خاک می‌شوند (Adebiyi, ۲۰۲۲). علاوه بر این، حوادث ناشی از عملیات پالایشگاهی، مانند نشت مواد نفتی و انفجارها، می‌تواند منجر به آلودگی‌های گسترده و خسارات جبران‌ناپذیری شود. با توجه به اهمیت و ضرورت فعالیت صنایع پالایشگاهی، مدیریت صحیح و استفاده از فناوری‌های نوین برای کاهش آلودگی‌های ناشی از این صنایع، امری حیاتی و اجتناب‌ناپذیر است. بر اساس مطالب بیان شده، در این پژوهش، با مرور سوابق و نتایج آن‌ها، به شفاف‌سازی اثرات ساخت و توسعه صنایع پالایشگاهی در آلودگی هوا پرداخته می‌شود. انجام این پژوهش می‌تواند یاری‌گر مدیران محیط زیست، در کنترل آلاینده‌های موجود در پیرامون صنایع آلاینده باشد.

۲- سوابق تحقیق

جمال و همکاران (۱۳۸۵) آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های پالایشگاه نفت تهران را ارزیابی کردند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که غلظت آلاینده‌های خروجی از اکثر دودکش‌های موجود در پالایشگاه با اختلاف معنی داری ($P < 0.05$) کمتر از مقدار استاندارد می‌باشد و تنها در دودکش واحد باز یافت گوگرد غلظت SO₂ و CO بالاتر از حد مجاز می‌باشند. بنابراین نتایج بدست آمده حاکی از آن است که اکثر دودکش‌های موجود در پالایشگاه نفت تهران بار آلودگی چندانی را به هوای منطقه وارد نمی‌کنند.

در محدوده مورد مطالعه شامل پالایشگاه ستاره خلیج فارس، پالایشگاه بندرعباس، آلومینیوم المهدی، فولاد هرمزگان، فولاد کاوه و نیروگاه حرارتی بندرعباس شناسایی شدند که در غرب شهر قرار دارند. با توجه به ارتباط قوی بین جهت باد و شاخص کیفیت هوا، فاصله کانون‌های آلاینده از شهر به همان میزان جهت باد غالب، اهمیت دارد. لذا در مکان یابی صنایع باید علاوه بر جهت باد غالب فاصله بهینه از شهر نیز با توجه به پیچیدگی توپوگرافی در نظر گرفته شود.

۳- روش تحقیق

در این پژوهش با استفاده از پایگاه‌های داده معتبر علمی مانند PubMed، Scopus، Web of Science، Google Scholar و پایگاه‌های تخصصی مرتبط با موضوع، ابتدا مفهوم انتشارات پالایشگاهی تفسیر شد. سپس انواع آلاینده‌ها و منابع تولید آنها در صنایع پالایشگاهی همراه با تکنولوژی‌های کاهش آلودگی مشخص شدند. در نهایت مطالعات راهکارهای کنترلی آلودگی هوا در صنایع پالایشگاهی مشخص شدند.

۳-۱- انتشارات پالایشگاهی

به مجموعه‌ای از مواد آلاینده اطلاق می‌شود که در نتیجه فرآیندهای پالایش نفت خام و فرآوری محصولات جانبی، به محیط زیست راه پیدا می‌کنند. این انتشارات، طیف گسترده‌ای از مواد آلاینده را در بر می‌گیرد، از جمله گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و گوگرد، ترکیبات آلی فرار (VOCs)، ذرات معلق (PM) و سبب‌های صنعتی آلوده. این آلاینده‌ها، نه تنها بر کیفیت هوا و سلامت انسان تأثیر منفی می‌گذارند، بلکه موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی گسترده‌ای مانند باران‌های اسیدی، آلودگی منابع آبی، تخریب خاک و تغییرات آب و هوایی می‌شوند (Szklo and Schaeffer, 2007).

۳-۲- انواع آلاینده‌های هوا در پالایشگاه‌ها و اثرات آن‌ها

مهمترین آلاینده‌های هوا در پالایشگاه‌ها و اثرات آن‌ها به شرح ذیل می‌باشند (Adebiyi, 2022):

- الف- اکسیدهای نیتروژن (NOx) و نقش آن‌ها در تشکیل باران اسیدی و مه دود
- ب- اکسیدهای گوگرد (SOx) و اثرات آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست
- ج- ترکیبات آلی فرار (VOCs) و نقش آن‌ها در تشکیل ازن در سطح زمین
- د- ذرات معلق (PM) و اثرات آن‌ها بر دستگاه تنفسی
- ه- گازهای گلخانه‌ای (CO₂, CH₄) و نقش آن‌ها در تغییرات اقلیمی

۳-۳- منابع آلودگی هوا در پالایشگاه‌ها

مهمترین منابع آلودگی هوا در پالایشگاه‌ها عبارتند از (Ragothaman and Anderson, 2017):

فرآیندهای پالایش نفت خام (تقطیر، کراکینگ، آلکیلاسیون و...)

احتراق سوخت در کوره‌ها و دیگ‌های بخار

انتشار از مخازن ذخیره‌سازی و تجهیزات پالایشگاهی

انتشار از واحدهای بازیافت گوگرد و کاتالیست‌ها

انتشار از واحدهای تصفیه آب و فاضلاب

۳-۴- تکنولوژی‌های کاهش آلودگی

تکنولوژی‌های کاهش آلودگی به روش‌ها و فناوری‌هایی اشاره دارد که برای کاهش آلودگی هوا در صنایع پالایشگاهی استفاده می‌شوند. این شامل

سیستم‌های تصفیه گاز، فناوری‌های جذب و فرآیندهای تولید پاک‌تر می‌شود. با افزایش روزافزون نگرانی‌ها در مورد آلودگی محیط زیست و اثرات مخرب آن بر سلامت انسان و اکوسیستم‌ها، استفاده از تکنولوژی‌های کاهش آلودگی به عنوان یک ضرورت حیاتی مطرح شده است. این تکنولوژی‌ها، شامل مجموعه‌ای از روش‌ها، دستگاه‌ها و فرآیندهایی هستند که با هدف کاهش، حذف و یا تبدیل آلاینده‌ها از منابع مختلف، به کار گرفته می‌شوند. در واقع، تکنولوژی‌های کاهش آلودگی نقش کلیدی در حرکت به سوی یک توسعه پایدار و حفظ محیط زیست ایفا می‌کنند. این تکنولوژی‌ها، طیف گسترده‌ای از کاربردها را در بر می‌گیرند، از جمله تصفیه هوا و آب، مدیریت پسماند، کنترل آلودگی خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای. با استفاده از این تکنولوژی‌ها می‌توان آلاینده‌ها را در مبدأ کنترل کرده، میزان انتشار آن‌ها را کاهش داد و اثرات مخرب آن‌ها را به حداقل رساند. توسعه و به‌کارگیری تکنولوژی‌های کاهش آلودگی نیازمند تحقیق و توسعه مستمر، نوآوری‌های فناورانه، سرمایه‌گذاری‌های مناسب و همکاری بین‌المللی است (Zeng et al., 2019). در یک دید کلی مهم‌ترین تکنولوژی‌های کاهش آلودگی هوا در صنایع پالایشگاهی شامل ۱- پیشگیری و کنترل در منبع، ۲- تصفیه گازهای خروجی و ۳- تکنولوژی‌های نوین و آینده نگر است (Hu, 2024).

الف- تکنولوژی‌های پیشگیری و کنترل در منبع:

- ❖ بهبود راندمان احتراق و کاهش مصرف سوخت
- ❖ استفاده از کاتالیست‌های پیشرفته برای کاهش SOx و NOx
- ❖ بازیافت و استفاده مجدد از گازهای فرآیندی
- ❖ توسعه فرآیندهای پالایشی با آلودگی کمتر
- ❖ استفاده از فناوری‌های نوین برای نشت‌یابی و جلوگیری از انتشار VOCs
- ❖ طراحی و ساخت مخازن ذخیره‌سازی با سیستم‌های کنترل تبخیر

ب- تکنولوژی‌های تصفیه گازهای خروجی:

- ❖ سیستم‌های حذف اکسیدهای نیتروژن SCR و SNCR
- ❖ سیستم‌های حذف اکسیدهای گوگرد (FGD)
- ❖ فیلتراسیون ذرات معلق (سیکلون‌ها، فیلترهای کیسه‌ای، الکتروفیلترها)
- ❖ سیستم‌های حذف VOCs جذب سطحی، اکسیداسیون حرارتی، بیوفیلتراسیون
- ❖ استفاده از سیستم‌های خنک کننده برای کاهش تبخیر VOCs
- ج- تکنولوژی‌های نوین و آینده نگر:

- ❖ استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در پالایشگاه‌ها
- ❖ به دام اندازی و ذخیره‌سازی کربن (CCS)
- ❖ استفاده از فناوری‌های نانو در کاتالیست‌ها و فیلترها
- ❖ هوشمندسازی فرآیندهای پالایشی برای کاهش انتشار آلاینده‌ها

۳-۵- مطالعات راهکارهای کنترلی آلودگی هوا در صنایع

پالایشگاهی

صنایع پالایشگاهی به دلیل ماهیت فرآیندهای پیچیده و استفاده از سوخت‌های فسیلی، یکی از منابع اصلی انتشار آلاینده‌های هوا به شمار می‌روند. به همین دلیل، استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته برای کاهش آلودگی هوا در این صنایع، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر است. مطالعات راهکارهای کنترلی آلودگی هوا در صنایع پالایشگاهی به شرح ذیل هستند:

۳-۷- راهکارها و پیشنهادات

برای کاهش آلودگی هوا در صنعت پالایشگاهی، راهکارها و پیشنهادات متعددی وجود دارد که می‌توان آن‌ها را مطابق با جدول ۲ در چند دسته کلی تقسیم‌بندی کرد:

جدول ۲- راهکارها و پیشنهادات کاهش آلودگی هوا در صنعت پالایشگاهی

دسته	راهکارها و پیشنهادات	توضیحات
ارتقاء فناوری‌ها و فرایندها	بهینه‌سازی فرایندهای پالایش	استفاده از فرایندهای پیشرفته‌تر با تولید آلاینده کمتر مانند هیدروکراکینگ به جای کراکینگ حرارتی.
	نصب سیستم‌های کنترل آلودگی پیشرفته	استفاده از سیستم‌های حذف گوگرد، فیلتراسیون ذرات معلق، کاهش اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار یا فناوری‌های نوین.
	بازیافت و استفاده مجدد از مواد	استفاده مجدد از کاتالیزورها، مواد شیمیایی و سایر مواد مصرفی در فرایندهای پالایش.
	بهبود راندمان انرژی	بهینه‌سازی سیستم‌های بخار، گرمایش و سایر بخش‌های مصرف‌کننده انرژی برای کاهش انتشار آلاینده‌ها.
	جمع‌آوری و استفاده از گازهای فرار	جمع‌آوری و استفاده از گازهای فرار در فرایندهای پالایش یا تولید برق به جای سوختن آنها.
اقدامات مدیریتی و نظارتی	اجرای دقیق قوانین زیست‌محیطی	وضع قوانین سختگیرانه و نظارت بر اجرای دقیق آن‌ها در صنعت پالایش.
	ایجاد سیستم‌های پایش آنلاین	نصب سیستم‌های پایش لحظه‌ای آلودگی هوا در پالایشگاه‌ها برای کنترل مداوم انتشار آلاینده‌ها.
	شفافیت و گزارش‌دهی	ملزم کردن پالایشگاه‌ها به ارائه گزارش‌های دوره‌ای در مورد میزان انتشار آلاینده‌ها.
	تشویق و حمایت از فناوری‌های پاک	ارائه تسهیلات مالی، مشوق‌های مالیاتی و حمایت‌های پژوهشی برای توسعه و استفاده از فناوری‌های پاک.
	آموزش و ارتقاء آگاهی	برگزاری دوره‌های آموزشی برای کارکنان پالایشگاه‌ها در زمینه کنترل آلودگی هوا.
اقدامات مربوط به حمل و نقل	ارزیابی زیست محیطی دقیق	انجام ارزیابی‌های دقیق قبل از ساخت پالایشگاه‌های جدید و تعیین دقیق میزان آلاینده‌های تولیدی و راهکارهای کاهش آن‌ها.
	نوسازی ناوگان حمل و نقل سوخت	استفاده از خودروها و کامیون‌های کم آلاینده برای حمل و نقل سوخت، ترویج استفاده از خطوط اولیه و راه‌آهن به منظور کاهش تردد وسایل نقلیه سنگین.
	جایگزین	تبادل دانش و فناوری با کشورهای پیشرو در زمینه کنترل آلودگی هوا، به اشتراک گذاشتن تجربیات و فناوری‌های مربوط به کنترل آلودگی هوا بین پالایشگاه‌ها.
مشارکت و همکاری	همکاری بین پالایشگاه‌ها	مشارکت دادن جوامع محلی در فرایندهای تصمیم‌گیری و نظارت بر عملکرد زیست‌محیطی پالایشگاه‌ها.
	مشارکت جامعه محلی	تخصیص بودجه برای تحقیقات و توسعه فناوری‌های نوین در زمینه کنترل آلودگی هوا.
تحقیقات و توسعه	سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه	حمایت از دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی برای انجام مطالعات در زمینه کنترل آلودگی هوا در صنعت پالایش.
	حمایت از مراکز تحقیقاتی	

با اجرای این راهکارها و پیشنهادات، می‌توان به طور موثری آلودگی هوا در صنعت پالایشگاهی را کاهش داده و به حفظ محیط زیست و ارتقاء سلامت جامعه کمک کرد. لازم به ذکر است که موفقیت در این زمینه نیازمند عزم جدی و همکاری همه‌جانبه دولت، صنعت و جامعه است.

۱- مدیریت آلودگی هوا در صنایع پالایشگاهی ایران

مطابق با قانون هوای پاک، برای کاهش آلودگی هوا، بهبود کیفیت سوخت پالایشگاهی ضروری است. برای دستیابی به این هدف، وزارت نفت سرمایه‌گذاری‌هایی انجام داده است. این سرمایه‌گذاری، علاوه بر تامین امنیت سوخت، تولید محصولات راهبردی و افزایش درآمدهای ارزی، به کاهش آلودگی هوا نیز کمک می‌کند. از مهمترین طرح‌های در دست اجرا می‌توان به موارد زیر نام برد:

- ❖ ارتقاء کیفی پالایشگاه اصفهان برای تولید گازوئیل یورو ۵
 - ❖ تثبیت و نوسازی پالایشگاه آبادان برای کاهش تولید نفت کوره
 - ❖ بهینه‌سازی پالایشگاه لاوان برای تولید بنزین یورو
 - ❖ توسعه پالایشگاه تبریز برای افزایش ظرفیت تولید گازوئیل یورو
 - ❖ توسعه پالایشگاه شیراز برای ارتقای بنزین تولیدی به یورو ۵
- وزارت نفت همچنین طرح‌هایی برای شیرین‌سازی نفت کوره، جمع‌آوری گازهای مشعل، اجرای طرح کهاب و تحویل گاز طبیعی به نیروگاه‌ها را در دستور کار داشته است. این اقدامات نه تنها به کاهش آلودگی هوا کمک

الف- مطالعات موردی پیاده‌سازی تکنولوژی‌های خاص: در این دسته از تحقیقات، بر روی پیاده‌سازی و اثربخشی تکنولوژی‌های کاهش آلودگی در پالایشگاه‌ها تمرکز می‌شود. به عنوان مثال، مقالات و گزارش‌هایی در مورد پیاده‌سازی سیستم‌های FGD، SCR، FGD، فیلترهای کیسه‌ای، سیستم‌های بازیافت VOCs و سایر تکنولوژی‌های مرتبط وجود دارد.

ب- تحقیقات مقایسه‌ای بین تکنولوژی‌های مختلف: برخی از مطالعات به مقایسه کارایی، هزینه و مزایای استفاده از تکنولوژی‌های مختلف برای کاهش آلودگی هوا می‌پردازند. این مطالعات می‌توانند به شما در انتخاب تکنولوژی‌های مناسب برای پالایشگاه‌ها کمک کنند.

ج- تحقیقات در مورد تکنولوژی‌های نوین: تحقیقات در زمینه تکنولوژی‌های نوظهور مانند استفاده از نانوفیلترها، انرژی‌های تجدیدپذیر، سیستم‌های CCS و تکنولوژی‌های هوشمند در حال انجام است. بررسی این تحقیقات می‌تواند به شما در پیش‌بینی آینده کاهش آلودگی هوا در صنعت پالایشگاهی کمک کند.

د- مطالعات اپیدمیولوژیک: این مطالعات به بررسی رابطه بین قرار گرفتن در معرض آلاینده‌های هوا و بیماری‌های مختلف می‌پردازند. در این مطالعات، اثرات آلودگی هوا ناشی از پالایشگاه‌ها بر سلامت ساکنین اطراف آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ه- مطالعات اکولوژیک: این مطالعات به بررسی اثرات آلودگی هوا بر اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی می‌پردازند.

و- مطالعات مربوط به تغییرات اقلیمی: برخی از مطالعات به بررسی نقش پالایشگاه‌ها در انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن‌ها بر تغییرات اقلیمی می‌پردازند.

۳-۶- چالش‌ها و موانع پیش‌روی پیاده‌سازی تکنولوژی‌های

کاهش آلودگی

مطابق با جدول ۱، محدودیت‌های ناشی از هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری در کنترل آلودگی هوا در صنایع پالایشگاهی را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد. در نهایت، باید توجه داشت که محدودیت‌های مربوط به کنترل آلودگی هوا در صنعت پالایش، چند وجهی بوده و نیازمند رویکردی جامع و هماهنگ از سوی دولت‌ها، صنعت و جامعه است.

جدول ۱- محدودیت‌های ناشی از هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری

در کنترل آلودگی هوا

محدودیت‌های مالی و اقتصادی	محدودیت‌های فنی و تکنولوژیکی	محدودیت‌های قانونی و نظارتی	محدودیت‌های اجتماعی و سیاسی
۱- هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه	پیچیدگی فناوری‌ها	عدم وجود قوانین سختگیرانه	مقاومت در برابر تغییرات
۲- هزینه‌های بالای بهره‌برداری و نگهداری	محدودیت‌های تکنولوژی موجود	نوسانات در قوانین	عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی
۳- کاهش سودآوری	نیاز به توقف تولید	ضعف در نظارت و اجرا	-
۴- عدم جذابیت سرمایه‌گذاری	-	-	-

- رویکرد جامع و هماهنگ: موفقیت در کاهش آلودگی هوا در صنعت پالایش نیازمند رویکردی جامع و هماهنگ است که در آن دولت، صنعت، جوامع محلی و مراکز علمی و تحقیقاتی به طور مشترک در فرآیند تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و اجرا مشارکت داشته باشند.

به طور کلی، کاهش آلودگی هوا در صنعت پالایش یک چالش پیچیده است که نیازمند تعهد بلندمدت و تلاش مداوم از سوی همه ذینفعان است. با اجرای دقیق و هماهنگ این راهکارها، می‌توان به طور موثری اثرات منفی آلودگی هوا را در این صنعت کاهش داد و به حفظ محیط زیست و سلامت عمومی کمک کرد.

مراجع

- احمدی، هدی، برنا، رضا و مرشدی، جعفر. (۱۴۰۱). تاثیر صنایع نفت بر آلودگی هوا و مکان یابی بهینه آن با رویکرد زیست محیطی در کلان شهر اهواز. مجله علمی "آمایش سرزمین"، ۱۴(۱)، ۲۸۵-۳۱۵.
- امینی سعد، آتنا و جعفری، حمیدرضا و درویشی بلورانی، علی، ۱۳۹۲، بررسی بهینگی محل استقرار ایستگاه پایش آلودگی هوای ناشی از پتروشیمی، پالایشگاه و نیروگاه برق سازند با استفاده از شاخص کیفیت هوا اولین همایش ملی برنامه ریزی، حفاظت، حمایت از محیط زیست و توسعه پایدار، همدان، ۱۰ ص.
- هدایتی راد، فائزه، سلمان ماهینی، عبدالرسول و میرکریمی، سید حامد. (۱۳۹۴). مدلسازی پراکنش آلودگی هوای پالایشگاه نفت آبادان با نرم‌افزار SCREEN پژوهش‌های محیط زیست، ۱۳(۷)، ۹۳-۱۰۲.
- جمال، اکرم و غلامپور، اکبر و قریشی، حسین، ۱۳۸۵، سنجش آلاینده‌های معیار در دودکش‌های پالایشگاه نفت تهران و مقایسه آن با استانداردهای محیط زیست، دومین همایش آلودگی هوا و اثرات آن بر سلامت، تهران، ۸ ص.
- چاوشی بهنام، مسعودی نژاد محمدرضا، ادیب زاده امیر. ارزیابی میزان انتشار و ضریب انتشار (فاکتور انتشار) گاز دی اکسید گوگرد از خروجی‌های پالایشگاه نفت تهران، سلامت و محیط زیست، ۱۳۹۰، ۴(۲): ۲۳۳-۲۴۴.
- Adebisi, F.M., ۲۰۲۲. Air quality and management in petroleum refining industry: A review. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, ۴, pp.۸۹-۹۶.
- Gomes da Silva, F.J., Gouveia, R.M., Gomes da Silva, F.J. and Gouveia, R.M., ۲۰۲۰. Global population growth and industrial impact on the environment. *Cleaner Production: Toward a Better Future*, pp.۳۲-۷۵.
- Hu, Y., ۲۰۲۴. Optimised Fusion Model for Sulphur Abatement Solutions in Maritime Industry (Doctoral dissertation, University of Portsmouth).
- Kampa, M. and Castanas, E., ۲۰۰۸. Human health effects of air pollution. *Environmental pollution*, ۱۵۱(۲), pp.۳۶۲-۳۶۷.
- Prakash, S. and Verma, A.K., ۲۰۲۲. Anthropogenic activities and Biodiversity threats. *International Journal of Biological Innovations, IJBI*, ۴(۱), pp.۹۴-۱۰۳.
- Qu, J. and Chen, J., ۲۰۲۴. Pathways toward a pollution-free planet and challenges. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, ۱۸(۶), p. ۶۷.
- Szklo, A. and Schaeffer, R., ۲۰۰۷. Fuel specification, energy consumption and CO₂ emission in oil refineries. *Energy*, ۳۲(۷), pp.۱۰۷۵-۱۰۹۲.
- Zeng, Y., Cao, Y., Qiao, X., Seyler, B.C. and Tang, Y., ۲۰۱۹. Air pollution reduction in China: Recent success but great challenge for the future. *Science of the Total Environment*, ۶۶۳, pp.۳۲۹-۳۳۷.

می‌کنند، بلکه باعث افزایش تولید ناخالص ملی، اشتغال زایی، جلوگیری از خروج ارز و توسعه مناطق ساحلی نیز می‌شوند.

علاوه بر این در پالایشگاه تهران نیز عوامل زیر در آلودگی هوا اثرگذار هستند:

- ❖ مشعل‌های پالایشگاه تهران آلاینده هستند و باید گازهای آنها بازیافت شود.
 - ❖ خودروهای حمل سوخت و کامیون‌های تردد کننده به پالایشگاه تهران نیز فرسوده و آلاینده هستند.
- حدود ۱۰ درصد از آلودگی هوای تهران مربوط به واحدهای پالایشگاهی و نیروگاهی است و پالایشگاه تهران باید اقدامات لازم برای کاهش آلودگی را انجام دهد.

۴- نتیجه گیری

به طور خلاصه، آلودگی هوا ناشی از منابع مختلفی مانند مشعل‌های پالایشگاه، خودروهای فرسوده، واحدهای صنعتی و پسماندسوزی است که نیاز به اقدامات جدی و هماهنگ دارد. با اجرای طرح‌های بهینه‌سازی پالایشگاهی و سایر اقدامات، وزارت نفت در راستای کاهش آلودگی هوا و توسعه اقتصادی کشور گام بر می‌دارد. با مطالعه منابع مشخص شد استفاده از تکنولوژی‌های جدیدتر در فرآیند تولید در پالایشگاه‌ها و استفاده از آخرین دستاوردها در این صنعت قادر است گام اساسی در توسعه این صنعت در بخش‌های مختلف کشور را ایفا نماید. با توجه به مباحث این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش آلودگی هوا در صنعت پالایشگاهی نیازمند رویکردی جامع و چند جانبه است که شامل اقدامات فنی، مدیریتی، نظارتی، حمل و نقل، همکاری و مشارکت و تحقیقات و توسعه می‌شود. به طور خلاصه، می‌توان این نتیجه‌گیری‌ها را به صورت زیر بیان کرد:

- نیاز به ترکیبی از راهکارها: هیچ راهکار واحدی برای حل مشکل آلودگی هوا در صنعت پالایش وجود ندارد. بلکه، ترکیبی از راهکارهای فناورانه، مدیریتی، قانونی و اجتماعی مورد نیاز است تا بتوان به نتایج مطلوب دست یافت.

- نقش کلیدی فناوری: ارتقاء فناوری‌ها و فرآیندها با استفاده از تجهیزات پیشرفته کنترل آلودگی، بهینه‌سازی فرآیندهای پالایش، بازیافت مواد و افزایش راندمان انرژی، نقش کلیدی در کاهش آلاینده‌ها دارد.

- اهمیت مدیریت و نظارت: اجرای دقیق قوانین زیست‌محیطی، ایجاد سیستم‌های پایش آنلاین، شفافیت در گزارش‌دهی و ارائه مشوق‌ها برای استفاده از فناوری‌های پاک، برای مدیریت و کاهش آلودگی هوا ضروری است. - توجه به حمل و نقل: حمل و نقل سوخت نیز می‌تواند یکی از منابع آلودگی هوا باشد. بنابراین، نوسازی ناوگان حمل و نقل و استفاده از سیستم‌های حمل و نقل جایگزین می‌تواند به کاهش انتشار آلاینده‌ها کمک کند.

- ضرورت همکاری و مشارکت: همکاری‌های بین‌المللی، به اشتراک‌گذاری تجربیات بین پالایشگاه‌ها و مشارکت دادن جوامع محلی در فرآیند تصمیم‌گیری و نظارت، نقش مهمی در موفقیت برنامه‌های کنترل آلودگی هوا دارد.

- سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه: توسعه فناوری‌های نوین و کارآمد برای کنترل آلودگی هوا، نیازمند سرمایه‌گذاری در تحقیقات و حمایت از مراکز علمی و دانشگاهی است.