ارزیابی نحوه پراکنش آلودگی هوای خروجی از دودکش‌های پالایشگاه نفت تبریز با استفاده از مدل AERMOD

برومند صلاحی*[۱]، محمود بهروزی[۲]

۱-گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲-پژوهشکده علوم دریایی، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، تهران، ایران

Doi: https://doi.org/10.48308/esrj.2023.102130 **(پژوهشی)**

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۷

چکیده

کنترل منابع آلودگی ناشی از صنایع در راستای حفاظت از محیط‌زیست، یکی از راهبردهای مدیریتی در مسیر دستیابی به توسعه پایدار است که نیازمند پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها در شعاع مشخصی از دودکش‌ها بوده و مدل‌های ریاضی قادر به شبیه‌سازی آن هستند. در پژوهش حاضر به‌منظور دستیابی به این رهیافت در دشت میان‌کوهی تبریز، غلظت آلاینده-های خروجی از ۲۰ دودکش پالایشگاه نفت تبریز با مدل AERMOD برای شعاع ۱۰ کیلومتری پیش‌بینی گردید. گلباد سالانه نشان داد که باد غالب مسیر شرقی و باد درجه یک مسیر غربی دارد. نتایج پیش‌بینی مدل نشان داد که غلظت هشت‌ساعته‌ی مونوکسیدکربن ۰/۵ تا ۲۰ میکروگرم بر مترمکعب؛ غلظت یک‌ساعته دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن بین ۵ تا ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب و غلظت ۲۴ ساعته ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون نیز بین ۰/۵ تا ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب بود که غلظت آن‌ها کمتر از حد مجاز انتشار می‌باشد. مسیر بادهای شرقی موجب انتقال آلاینده‌ها به سمت کوهپایه‌های شمالی سهند در جنوب‌غربی پالایشگاه نفت شده و در ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر تجمع می‌یابند. بیشترین تجمع آلاینده‌های جوی در شهر خلجان در جنوب‌غربی پالایشگاه نفت تبریز بوده و از طرف دیگر بادهای غالب باعث شده تا آلاینده‌ها از دشت تبریز فاصله گرفته و تأثیر زیادی بر اکوسیستم محیطی دشت تبریز نداشته باشد.

واژه‌های کلیدی: پالایشگاه نفت، دی‌اکسید گوگرد، ذرات معلق، شهر تبریز، مدل AERMOD.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

* نویسنده مسئول: E-mail: salahi@uma.ac.ir

Evaluation of the distribution of exhaust air pollution from the chimneys of Tabriz Oil Refinery using AERMOD model

Salahi[*1], B., Behrouzi[2], M.,

1-Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2-Environmental Hazards, Marine Science Institute, Kish International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran

(Original Article) https://doi.org/10.48308/esrj.2023.102130
Received: 19 Dec 2022 Accepted: 6 Feb 2023

Abstract

Controlling industrial pollution sources in order to protect the environment is one of the management strategies in the path of achieving sustainable development, which requires predicting the concentration of pollutants in a specific radius of the chimney and mathematical models can be similar. In the present study, in order to achieve this approach in the middle mountain plain of Tabriz, the concentration of pollutants emitted from 20 chimneys of Tabriz oil refinery with AERMOD model for a radius of 10 km was predicted. Annual wind rose plot showed that the dominant wind is from the east and the first-degree wind is from the west. The results of the model prediction showed that the concentration of CO 8h was 0.5 to 20 ug/m^3; The concentrations of SO_2 and NO_2 1h were between 5 and 100 ug/m^3, and the concentration of $PM_{2.5}$ 24h was between 0.5 and 10 ug/m^3, which were less than standard emit. East winds transfer pollutants to the northern of the Sahand, southwest of the oil refinery, and accumulate at altitudes of less than 1500 meters. The highest concentration of atmospheric pollutants is in Kheljan city in the southwest of Tabriz oil refinery and prevailing winds have caused the pollutants to move away from Tabriz plain and not have much impact on the environmental ecosystem of Tabriz plain.

Keywords: Oil Refinery, SO2, Particles Matter, Tabriz City, AERMOD Model.

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

* Corresponding author E-mail address: salahi@uma.ac.ir

مقدمه

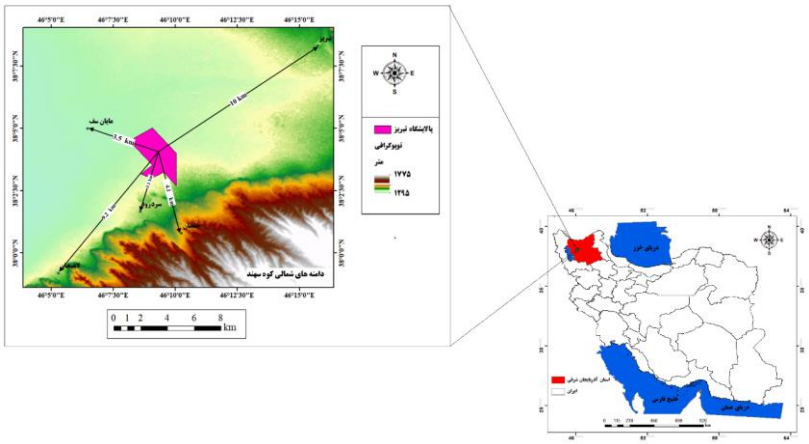
آلودگی هوا از مهم‌ترین مشکلات محیطی در مناطق صنعتی بوده که انتشار آن از دودکش و پراکنش آن در اتمسفر منطقه، بر اکوسیستم‌های اراضی مجاور آن آسیب جدی می‌زند (Contardo et al, 2020). ترکیب دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن با بخار آب و هسته‌های تراکم، موجب ایجاد اسیدسولفوریک و اسیدنیتریک می‌شود که با اسیدی شدن قطرات مه و باران بر اکولوژی‌های محیطی تأثیر می‌گذارد (Křeček et al, 2019). نفوذ گازهای سمی همچون دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، مونوکسیدکربن، اُزن و ذرات معلق به سیستم تنفسی موجودات زنده، سلامت آن‌ها را به خطر می‌اندازد (Meo et al, 2021). برای مقابله با این خطر زیست‌محیطی و اکولوژیکی و همچنین کنترل منابع آلودگی و تدوین راهبردهای محیط‌زیستی در به حداقل رساندن انتشار آلاینده‌ها، مدیران و پژوهشگران سعی در شناسایی و پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های انتشار یافته از منابع آلودگی و نحوه پخش و پراکنش آن در محدوده تعیین شده دارند (Kesarkar et al, 2007). پیش‌بینی نحوه پراکنش آلاینده‌های خروجی از دودکش صنایع بر مبنای ویژگی‌های محیطی از قبیل توپولوژی سطحی، مسیر بادهای غالب، مشخصات فیزیکی دودکش‌ها، ضریب انتشار آلاینده‌ها در صنایع، نوع پوشش اراضی منطقه و همچنین شرایط جوی حاکم بر منطقه به‌ویژه لایه مرزی و پدیده‌های جوی همچون وارونگی دمایی انجام می‌شود (Rzeszutek and Szulecka, 2021). این پارامترهای محیطی که به عنوان لایه‌های ورودی به مدل برای تعریف پراکنش آلودگی خروجی از دودکش صنایع شناخته می‌شود، نقش مهمی در تدوین برنامه‌های کنترل آلودگی دارند. مدل‌های نرم‌افزاری که در قرن بیستم جامعه علمی را فرا گرفته است، توانایی شبیه‌سازی و نحوه پراکنش آلودگی هوا را دارند که با پیش‌بینی کیفیت و پراکنش آلودگی در اطراف یک واحد صنعتی می‌تواند در راستای کنترل و ایجاد محدودیت برای منابع آلاینده، بسیار حائز اهمیت باشد (Moreno-Silva et al, 2020)؛ بنابراین مدل‌سازی پخش و پراکنش آلاینده‌های خروجی از دودکش صنایع می‌تواند به عنوان اولین گام در تدوین راهبردهای مدیریتی - حفاظتی در پیشبرد اهداف زیست‌محیطی و کنترل آلودگی اکوسیستم‌های منطقه‌ای شناخته شود. با توجه به انتشار آلاینده‌های گازی و ذرات معلق از دودکش کوره‌های پالایشگاه نفت تبریز و نقش آن در تخریب محیط‌زیست و اکولوژی‌های فعال در دشت میان‌کوهی تبریز، کنترل آلودگی آن در اولویت برنامه‌ریزی‌های محیطی منطقه قرار دارد که برای دستیابی به این رهیافت، شبیه‌سازی و پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها و نحوه پخش و پراکنش آن‌ها در شعاع ۱۰ کیلومتری مجاور پالایشگاه نفت، می‌تواند مفید واقع گردد. در منابع آلودگی نقطه‌ای همچون دودکش صنایع و پالایشگاه‌ها، پخش و پراکنش آلاینده‌ها به فاکتورهایی از قبیل طبیعت فیزیکی - شیمیایی مواد منتشره، مشخصات دودکش، شرایط هواشناختی، طبیعت و توپولوژی سطحی زمین در پایین‌دست باد از دودکش بستگی دارد (Santos et al, 2019). مدل‌های ریاضی برای شناخت سنجه‌های رفتاری ستون دود و آلودگی، از پارامترهای فوق استفاده نموده و با معادله‌سازی، پراکنش آلودگی جوی را در شعاع خاصی از منبع آلودگی، شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌نماید (Steinberga et al, 2019). مدل AERMOD بهترین مدل ریاضی برای پیش‌بینی آلودگی منابع نقطه‌ای به‌ویژه دودکش صنایع شناخته می‌شود که پژوهشگران در صنایع مختلف از این مدل استفاده می‌نمایند. این

مدل بر مبنای ساختار و مفاهیم تلاطم لایه مرزی سیاره‌ای استوار است که با معادله‌سازی پارامترهای سمت و سرعت باد، ارتفاع لایه مرزی، دما و ابرناکی، نوع کاربری اراضی، شیب و توپولوژی عوارض سطحی، مشخصات دودکش و سرعت و دمای گاز خروجی از دودکش، میزان تأثیر هر یک از پارامترها بر پخش و پراکنش غلظت آلاینده‌های هوا را شناسایی نموده و تا شعاع حداکثر ۵۰ کیلومتری، غلظت هر آلاینده را پیش‌بینی نموده و نتایج آن با استاندارد مجاز انتشار جهانی قابل مقایسه است (Macêdo et al, 2020; Rzeszutek and Szulecka, 2021). با تغییر در هر یک از پارامترهای ورودی به مدل، نحوه پراکنش و غلظت آلاینده‌ها نیز تغییر می‌کند؛ به گونه‌ای که در دشت اهواز، بادهای غربی موجب انتقال آلاینده‌های خروجی از نیروگاه رامین اهواز شده و به واسطه عدم وجود موانع توپوگرافیکی، آلاینده‌ها بدون برخورد به موانع، از محل دور شده و از غلظت آن کاسته می‌شود و غلظت دی‌اکسید گوگرد از حد استاندارد ملی و جهانی نیز کمتر است (مؤمنی و همکاران، ۱۳۹۰)؛ اما در پالایشگاه ۴ گازی پارس جنوبی با توجه به مسیر بادهای غربی و قرارگیری پالایشگاه در دامنه ارتفاعات شمالی در نوار ساحلی، آلاینده-های خروجی از دودکش و فِلِر در دامنه ارتفاعات تجمع یافته و غلظت مونوکسید کربن در شعاع ۱۰ کیلومتری، بیشتر از حد استاندارد جهانی بود (عتابی و همکاران، ۱۳۹۳). در کارخانه سیمان جنوب تهران، ذرات معلق خروجی از ۱۲ دودکش به واسطه مسیر بادهای تابستانه به نزدیکی شهر تهران رسیده و در دشت تهران با توجه به عدم وجود موانع فیزیکی، این ذرات علی‌رغم این‌که در شعاع یک تا ۵ کیلومتری تجمع زیادی دارند، اما تا شعاع ۱۵ کیلومتری نیز انتقال می‌یابد (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). استفاده از سوخت‌های فسیلی به‌ویژه ذغال‌سنگ در مالزی موجب انتشار گازهای سمی و ذرات معلق شده که طی ۲۰ سال اخیر، اکوسیستم‌های مجاور نیروگاه‌ها به شدت تخریب شده که مسئولین برای کنترل این آلودگی، از مدل ریاضی AERMOD استفاده نموده و تا شعاع ۲۰ کیلومتری، غلظت آلاینده‌ها را شبیه‌سازی نموده و نشان دادند که احتمال ریسک اکولوژیکی نیروگاه تا شعاع ۳ کیلومتر است و دولت بودجه مشخصی برای احیای اکوسیستمی که در خطر آلودگی است، تصویب نمود (Mokhtar et al, 2014). بادهای شمال‌غربی و غربی در استان خوزستان به‌ویژه دشت اهواز، در نحوه پراکنش آلاینده‌های خروجی از دودکش پالایشگاه گاز مارون اثرگذار بوده و باعث شده تا آلاینده‌ها به سمت محل سکونت کارکنان پالایشگاه جریان یابند که سطح خطر ابتلا به بیماری را بالا می‌برد (Mousavi et al, 2021). مدل AERMOD برای مناطقی که از سرعت باد کم و آرامی برخوردار است، مناسب نبوده و پژوهشگران از میانگین داده‌های بادسنجی دو دقیقه‌ای استفاده نموده و نتایج مناسبی به دست آورده‌اند (Pandey and Sharan, 2019). در مدل‌سازی و پیش‌بینی غلظت SO_2 و NO_2 خروجی از دودکش پالایشگاه نفت، مدل AERMOD و CALPUFF مقایسه گردید که خروجی آزمون تی‌استیودنت نشان داد مدل AERMOD قابلیت مدل‌سازی بهتری دارد (Amoatey et al, 2019). صنعت فولاد در انتشار آلاینده‌های جوی و تخریب محیط‌زیست، نقش زیادی دارد که در فولاد سپید فاراب کویر، غلظت NO_2 و SO_2 در شعاع ۳۰ کیلومتری بیشتر از حد استاندارد می‌باشد و غلظت ساعتی SO_2 حدود ۳۲۴ میکروگرم در مترمکعب بود (Arani et al, 2021). در شهرک‌های صنعتی که چندین واحد صنعتی و کارخانه فعال بوده و انتشار آلودگی از این منابع موجب افزایش تراکم و غلظت آلاینده‌ها می‌شود و

در یک نمونه موردی در شهرک صنعتی پاسیر گودانگ در منطقه جوهور مالزی، غلظت NO_2، SO_2 و PM_{10} پس از مشاهدات میدانی، با مدل AERMOD شبیه‌سازی شد و خروجی نمودار Q-Q بیان‌گر این بود که مدل AERMOD توانایی پیش‌بینی غلظت آلاینده‌ها را دارد و غلظت این آلاینده‌ها به ترتیب ۳۶/۲، ۸/۵۹ و ۵/۴ میکروگرم بر مترمکعب بود (Afzali et al, 2017). پالایشگاه نفت تبریز به‌منظور تولید مواد، حجم عظیمی از آلاینده‌های گازی را منتشر می‌کند و با توجه به توپوگرافی، عوارض مورفولوژیکی منطقه‌ای به‌ویژه کوه سبلان، الگوی پراکنش خاصی از مواد آلاینده را به وجود می‌آورد. با توجه به نزدیکی پالایشگاه به چشم‌اندازهای مسکونی تبریز و حومه غربی آن، می‌توان با مدل‌سازی پخش و پراکنش آلاینده‌های منتشره از پالایشگاه نفت تبریز، گام بزرگی در تدوین برنامه راهبردی در حفاظت از محیط‌زیست بر مبنای رویکرد اکوسیستمی برای دست‌یابی به رهیافت توسعه پایدار منطقه برداشت. بدین ترتیب سؤال اصلی این مطالعه این‌گونه مطرح می‌گردد که پارامترهای محیطی در شعاع ۱۰ کیلومتری چه تأثیری بر نحوه پراکنش آلاینده‌های خروجی از دودکش پالایشگاه نفت تبریز دارند و غلظت آلاینده‌ها چه تفاوتی با حد استاندارد هوای پاک ایران (۱۳۹۵) دارند. هدف اصلی پژوهش نیز در راستای پاسخ‌گویی به سؤال‌های مطرح شده می‌باشد که رهیافت اصلی این مطالعه، نحوه پراکنش آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های پالایشگاه نفت تبریز و نقش پارامترهای محیطی - جوی در مسیر جریان آلاینده‌ها می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

پالایشگاه نفت تبریز با موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی در زمینی به مساحت ۱۵۰ هکتار در ارتفاع ۱۳۶۲ متر از سطح دریا در جنوب غربی شهر تبریز در سال ۱۳۵۳ طراحی و در بهمن‌ماه ۱۳۵۶ به بهره‌برداری رسید (شکل ۱) (ظروف‌چی بنیس و همکاران، ۱۳۹۳). این پالایشگاه دارای ۲۰ دودکش کوره است که گازهای آلوده را به بیرون متصاعد می‌کند (tbzrefinery.co.ir).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی پالایشگاه نفت تبریز

مواد و روش‌ها

در این پژوهش نحوه پخش و پراکنش غلظت آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های پالایشگاه نفت تبریز شامل SO_2، NO_2، CO و $PM_{2.5}$ با استفاده از داده‌های هواشناسی، لایه‌ی کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاعی و مشخصات دودکش‌ها با مدل

AERMOD در محدوده شعاعی ۱۰ کیلومتری پیش‌بینی گردید. این مطالعه برای بازه زمانی سال-های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ انجام شد و میانگین لایه‌های ورودی به مدل و غلظت آلاینده‌های خروجی از دودکش صنایع که از مرکز پایش آلودگی پالایشگاه نفت تبریز به دست آمد، وارد مدل گردید. مدل AERMOD، مدل پراکنش حالت دائم است که دارای دو ماژول (پیش‌پردازنده) شامل AERMET و AERMAP است که ماژول AERMET مربوط به تهیه فایل داده‌های هواشناسی و کاربری اراضی و ماژول AERMAP مربوط به مشخصات دودکش، آلاینده‌ها و مدل رقومی ارتفاعی می‌باشد (Kumar et al, 2017). داده‌های ماژول AERMET شامل سمت و سرعت باد، میزان ابرناکی، رطوبت نسبی و دمای هوای سطحی (ارتفاع ۲ متری از سطح زمین) در بازه زمانی یک‌ساعته می‌باشد که از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک تبریز در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به دست آمد. همچنین این ماژول برای انجام محاسبات به ۳ پارامتر سطحی از منطقه یعنی نسبت بوان(انتقال حرارت)، ضریب سپیدایی(بازتاب نور از سطح زمین) و طول زبری سطح(توپولوژی سطحی) احتیاج دارد که بر نحوه پخش و پراکنش آلاینده‌ها در سطح زمین اثر می-گذارند. برای تهیه این پارامترها، نوع کاربری اراضی منطقه در چهار جهت ۹۰ درجه‌ای وارد مدل گردیده و ضریب پارامترها محاسبه شد (جدول ۱). خروجی مدل AERMET، دو فایل یا پسوندهای SFC و PFL بود که در گام بعد وارد مدل AERMAP می‌گردد.

جدول ۱: ضریب سپیدایی، نسبت بوان و زبری پوشش سطحی منطقه موردمطالعه

بخش (درجه)	نوع کاربری	ضریب سپیدایی	نسبت بوان	طول زبری سطح
۰ - ۹۰	کشاورزی	۰/۲۸	۰/۷۵	۰/۰۷۲۵
۹۰ - ۱۸۰	شهری	۰/۲۰۷۵	۱/۶۲۵	۱
۱۸۰ - ۲۷۰	کشاورزی	۰/۲۸	۰/۷۵	۰/۰۷۲۵
۲۷۰ - ۳۶۰	شهری	۰/۲۰۷۵	۱/۶۲۵	۱

در ماژول AERMAP، ابتدا به‌واسطه مشخصات دودکش‌ها (جدول ۲)، نرخ انتشار محاسبه گردید. سپس نقاط کنترلی تهیه گردید؛ فایل‌های تهیه شده از AERMET و همچنین مدل رقومی ارتفاعی وارد ماژول AERMAP شد. پارامتر نوع کاربری اراضی منطقه که یکی از لایه‌های ورودی به مدل می‌باشد، در ماژول AERMAP تنها نوع کاربری اراضی مشخص می‌شود و با تیک‌زدن کاربری‌های کوهستان، مسکونی و کشاورزی، پارامتر نوع کاربری اراضی در مدل مشخص می‌شد؛ اما لایه مدل رقومی ارتفاعی از تصاویر سنجنده SRTM با پیکسل‌های ۳۰ متری تهیه و وارد مدل گردید. با استفاده از اطلاعات تهیه شده در دو ماژول از مدل AERMOD نحوه پخش و پراکنش آلاینده‌های خروجی از دودکش‌ها محاسبه گردید (جدول ۳). شکل ۲ نیز دیاگرام روش انجام پژوهش در دستیابی به هدف اصلی را نشان می‌دهد.

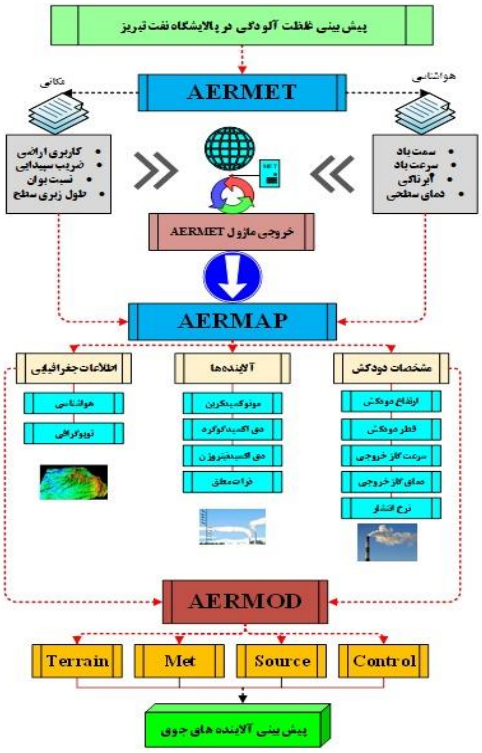
جدول ۲: مشخصات دودکش‌های پالایشگاه نفت تبریز (ظروفچی بنیس و همکاران، ۱۳۹۳)

دودکش	ارتفاع دودکش (متر)	قطر دودکش (متر)	دمای گاز خروجی (سانتی‌گراد)	سرعت گاز خروجی (متر در ثانیه)
۱	۷۳	۳/۵	۱۹۵	۶/۵
۲	۷۳	۳/۵	۱۹۸	۵/۴

۳	۷۳	۳/۵	۱۹۴	۶/۳
۴	۳۶/۶	۱/۹	۶۳۵	۴/۲
۵	۴۳	۳/۵۷	۵۱۳	۶
۶	۳۶/۶	۲/۱۸	۵۵۲	۱۴
۷	۳۶/۶	۰/۹۲	۴۹۰	۷
۸	۴۶	۱/۸۱	۳۵۵	۳/۹
۹	۴۶	۲/۱۸	۲۶۱	۴
۱۰	۳۶/۶	۲/۲	۵۲۵	۷/۲
۱۱	۳۶/۶	۴/۳۵	۶۱۸	۱۲/۱
۱۲	۳۶/۶	۲/۳۵	۳۷۴	۴
۱۳	۵۲	۲/۵۲	۴۲۷	۳/۹
۱۴	۷۳/۲	۳/۵۸	۲۴۸	۴
۱۵	۳۶/۶	۱/۵	۲۶۲	۸
۱۶	۵۲	۲/۳۸	۲۰۷	۸/۲
۱۷	۵۳	۱/۵۸	۲۴۴	۶/۵
۱۸	۳۶/۶	۱/۵۸	۲۱۵	۶/۲
۱۹	۳۶/۶	۳	۴۰۲	۶/۵
۲۰	۶۰/۸	۲/۳۵	۳۱۶	۶/۶

جدول ۳: استاندارد هوای پاک ایران (میکروگرم بر مترمکعب) (سازمان حفاظت محیطزیست، ۱۳۹۵)

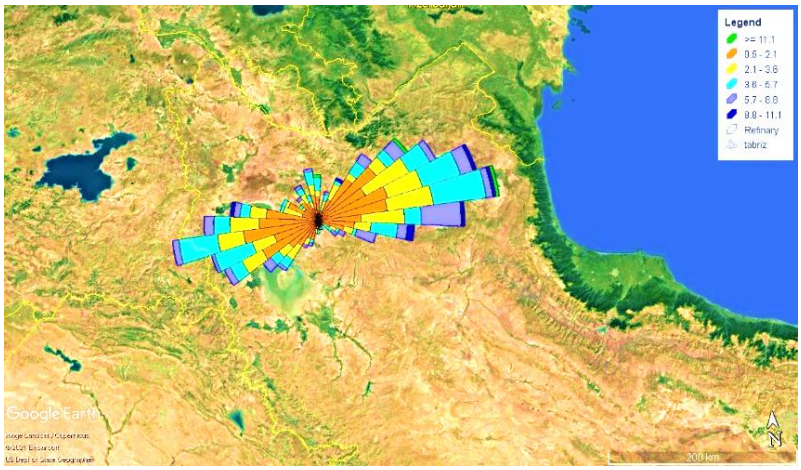
منبع آلاینده	آلاینده	بازه زمانی	حد مجاز انتشار
دودکش	$PM_{2.5}$	۲۴ ساعته	۳۵
	NO_2	۱ ساعته	۲۰۰
	SO_2	۱ ساعته	۱۹۶
	CO	۸ ساعته	۱۰۰۰۰



شکل ۲: دیاگرام روش انجام پژوهش در دستیابی به هدف اصلی (۱۴۰۰)

بحث و نتایج

ایستگاه تبریز و پالایشگاه نفت تبریز در یک منطقه میان‌کوهی و در دامنه شمالی سهند قرار دارد؛ یعنی به نحوی که یک‌سری رشته‌کوه، تبریز را از جهات مختلف احاطه کرده که این شرایط توپوگرافی بر نحوه سمت و سرعت بادهای منطقه‌ای و محلی آن تأثیر می‌گذارد. نمودار گلباد سالانه‌ی ایستگاه تبریز نشان می‌دهد که جهت باد غالب از سمت شرق می‌باشد. در این ایستگاه، ۱۱/۴ درصد باد دارای سرعتی بیش از ۵ متر در ثانیه است. بادهای درجه یک دارای مسیر غربی هستند و می‌توان گفت که سیستم‌های سینوپتیک در مقیاس کلان به‌ویژه بادهای غربی و بادهای حاصل از پرفشار سیبری در جهات بادهای غالب تبریز نقش مهمی دارند (شکل ۳).

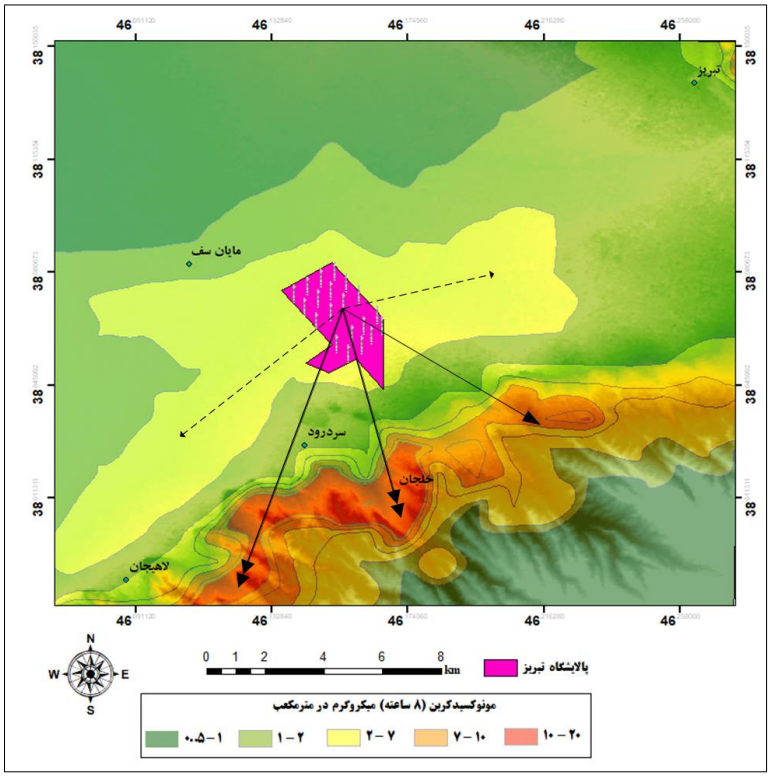


شکل ۳: گلباد سالانه ایستگاه تبریز در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰

گاز مونوکسیدکربن (CO)

در پالایشگاه نفت، در اثر احتراق سوخت کوره، طی واکنش‌هایی کربن به مونوکسیدکربن تبدیل شده و از طریق دودکش به جو منتشر می‌گردد. مدل AERMOD غلظت گاز مونوکسیدکربن خروجی از ۲۰ دودکش کوره در پالایشگاه نفت تبریز را به شعاع ۱۰ کیلومتر در بازه زمانی هشت‌ساعته پیش‌بینی نمود. در این بازه زمانی، غلظت CO بین ۰/۵ تا ۲۰ میکروگرم در مترمکعب پیش‌بینی گردید که به‌واسطه وقوع بادهای شرقی، آلاینده‌ها به‌سمت کوهپایه‌های جنوب‌غربی انتقال یافته و حد بیشینه غلظت آن با ۲۰ میکروگرم در مترمکعب در این کوهپایه تجمع یافته است. به دلیل قرارگیری سکونتگاه‌های شهری خلجان و سردرود در کوهپایه شمالی سهند و مسیر بادهای غالب شرقی، غلظت گاز مونوکسیدکربنی که از دودکش پالایشگاه نفت تبریز در هوای محیطی این شهرها افزایش یافته و منجر به افزایش ریسک اکولوژیکی این مناطق می‌شود؛ اما به دلیل مسیر بادهای شرقی و تخلیه آلاینده‌های جوی از پالایشگاه، غلظت این گاز به سمت سکونتگاه شهری تبریز و اکولوژی‌های متنوع موجود در دشت میان‌کوهی کاهش یافته و تأثیر زیادی بر آن‌ها ندارد. مسیر جریان آلاینده‌ها و شدت آن نیز با فلش بر روی نقشه نشان داده شده است (شکل ۴). به‌طور کلی غلظت CO در بازه زمانی هشت ساعته در تبریز ۰/۵ تا ۲۰ میکروگرم در مترمکعب است که بسیار پایین‌تر از حد استاندارد این گاز می‌باشد؛ بنابراین بادهای غالب منطقه همراه با توپوگرافی محل موجب تصفیه هوای دشت تبریز از گاز CO شده و پالایشگاه نفت

نمی‌تواند تأثیر زیادی بر اکولوژی‌های گیاهی، جانوری و شهری در دشت تبریز داشته باشد؛ اما شهرهای پایکوهی در جنوب‌غربی پالایشگاه، تحت تأثیر آلودگی گاز مونوکسیدکربن قرار دارند.



شکل ۴: غلظت گاز مونوکسیدکربن در بازه زمانی هشت ساعته در شعاع ۱۰ کیلومتری از پالایشگاه نفت تبریز

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که غلظت هشت ساعته گاز مونوکسیدکربن در هوای محیطی پالایشگاه نفت تبریز بیش از حد استاندارد آن می‌باشد، اما نتایج مدل‌سازی AERMOD نشان داد که غلظت این گاز در هوای محیطی محدوده موردمطالعه بسیار کمتر از حد مجاز انتشار بوده و نمی‌تواند به‌عنوان یک گاز سمی شناخته شده و بر محیط‌زیست منطقه آسیب برساند. اگرچه گاز مونوکسیدکربن در ترکیب با دیگر گازهای جوی باعث تشکیل آلاینده‌های ثانویه می‌شود.

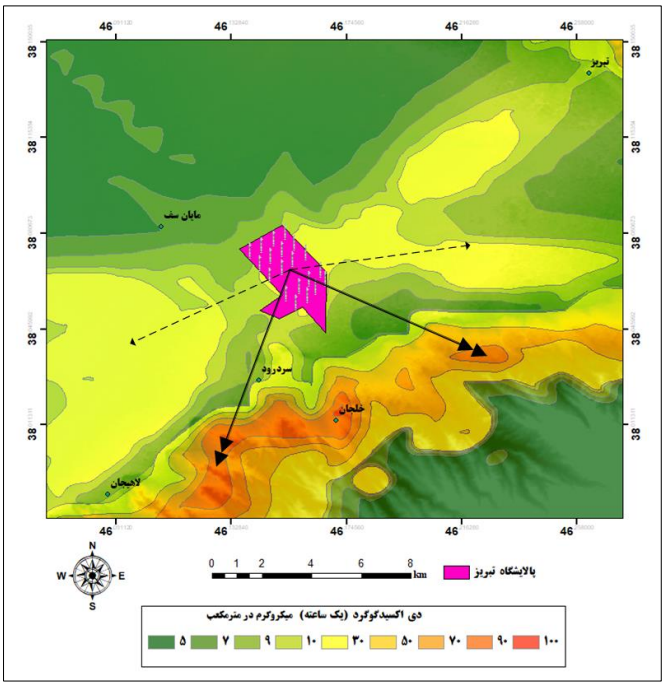
جدول ۴: مقایسه غلظت گاز مونوکسیدکربن هشت‌ساعته (میکروگرم بر مترمکعب) بین استاندارد هوای پاک ایران، مرکز پایش و مدل AERMOD

ردیف	مکان اندازه‌گیری		غلظت مونوکسیدکربن
۱	حد مجاز انتشار (استاندارد هوای پاک)		۱۰،۰۰۰
۲	پایش آلودگی هوای محیطی در پالایشگاه		۱۲،۰۰۰
۳	نتایج مدل‌سازی AERMOD	مایان‌سف	۲/۵
۴		خلجان	۱۸
۵		لاهیجان	۵/۵

گاز دی‌اکسید گوگرد (SO_2)

گاز دی‌اکسید گوگرد، گازی بی‌رنگ، غیرآتش‌زا و بی‌بو است که در غلظت‌های پایین در اتمسفر دیده می‌شود و در کوره‌های پالایشگاه‌های نفت، گوگرد در واکنش با اکسیژن به دی‌اکسید گوگرد تبدیل شده و از طریق دودکش کوره‌های پالایشگاه نفت

وارد جو می‌شود. حد استاندارد غلظت یک‌ساعته‌ی این گاز حدود ۱۹۶ میکروگرم در مترمکعب است که استاندارد هوای پاک ایران در سال ۱۳۹۵ می‌باشد. پیش‌بینی غلظت حداکثر یک‌ساعته آن با مدل AERMOD در شعاع ۱۰ کیلومتری از پالایشگاه نفت تبریز نشان داد که غلظت این گاز بین ۵ تا ۱۰۰ میکروگرم در مترمکعب است که بادهای غالب منطقه‌ای و محلی، نوع پوشش اراضی و توپوگرافی محل در نحوه پخش و پراکنش آن تأثیر گذاشته و موجب شده تا در دامنه پایکوهی شمالی سهند تجمع یابد و حد بیشینه آن با ۱۰۰ میکروگرم در مترمکعب در سکونتگاه شهری خلجان مشاهده گردید. از طرف دیگر، با توجه به مسیر بادهای شرقی و غربی، دامنه غلظت ۵ تا ۳۰ میکروگرم در مترمکعب در دو طرف دودکش‌های پالایشگاه کشیده شود و حتی به شهر تبریز نیز رسیده است (شکل ۵). اگرچه غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد کمتر از حد استاندارد هوای پاک ایران می‌باشد، اما تجمع این گاز در دامنه پایکوهی سهند و وجود اکوسیستم‌های فعال در این منطقه و همچنین گسترش سکونتگاه‌های شهری در این ناحیه، امکان به خطر افتادن سلامت اکوسیستم وجود دارد.



شکل ۵: غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد در بازه زمانی یک‌ساعته در شعاع ۱۰ کیلومتری از پالایشگاه نفت تبریز

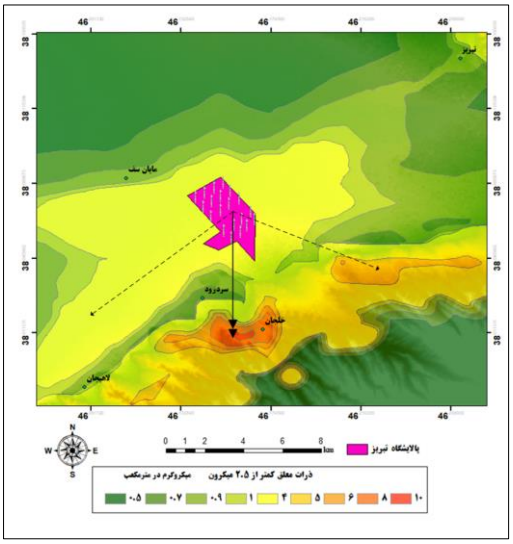
نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که غلظت یک‌ساعته گاز دی‌اکسید گوگرد در هوای محیطی پالایشگاه نفت تبریز بیش از حد استاندارد آن می‌باشد. نتایج مدل‌سازی AERMOD نشان داد که غلظت این گاز در هوای محیطی محدوده موردمطالعه کمتر از حد مجاز انتشار می‌باشد. در بین سکونتگاه‌های شهری و روستایی منطقه نیز بیشترین غلظت این گاز در هوای محیطی خلجان پیش‌بینی شد که در دامنه کوهستان سهند قرار دارد.

جدول ۵: مقایسه غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد یک‌ساعته (میکروگرم بر مترمکعب) بین استاندارد هوای پاک ایران، مرکز پایش و مدل AERMOD

ردیف	مکان اندازه‌گیری		غلظت دی‌اکسید گوگرد
۱	حد مجاز انتشار (استاندارد هوای پاک)		۱۹۶
۲	پایش آلودگی هوای محیطی در پالایشگاه		۲۱۱
۳		مایان‌سف	۱۰
۴	نتایج مدل‌سازی AERMOD	خلجان	۹۸
۵		لاهیجان	۴۵

ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون ($PM_{2.5}$)

ذرات معلق حاصل از سوخت کربن در کوره و انتشار آن از طریق دودکش پالایشگاه نفت به هوای محیطی منطقه می‌باشد، تحت‌تأثیر مشخصات دودکش، دما و سرعت گاز خروجی، شرایط جوی و توپوگرافی محل بوده که پس از مدت زمانی بسته به شرایط جوی، بر سطح زمین رسوب می‌کند. حد مجاز انتشار آن در بازه زمانی ۲۴ ساعته، حدود ۳۰ میکروگرم در مترمکعب است. نتایج مدل‌سازی نشان داد که در شعاع ۱۰ کیلومتری از پالایشگاه نفت تبریز، غلظت این ذرات بین ۰/۵ تا ۱۰ میکروگرم در مترمکعب است که غلظت بیشینه آن نیز همسان با آلاینده‌های گازی، در نواحی پایکوهی سهند بوده و در سکونتگاه شهری خلجان به ۱۰ میکروگرم در مترمکعب می‌رسد. دامنه غلظت ۴ میکروگرم در مترمکعب در اطراف پالایشگاه نفت گسترده شده و عمدتاً به‌سمت غرب کشیده شده است که نتیجه مسیر بادهای غالب شرقی می‌باشد (شکل ۶). همچنین بادهای غالب باعث شده تا شهر تبریز از ذرات معلق خروجی از دودکش پالایشگاه نفت دور بماند، اما شهر خلجان به شدت در معرض خطر ذرات معلق کربنی بوده و ریسک اکولوژیکی بالایی متوجه اکوسیستم‌های پایکوهی دامنه شمالی سهند می‌باشد؛ بنابراین، اگرچه غلظت ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون در شعاع ۱۰ کیلومتری از پالایشگاه نفت تبریز کمتر از حد استاندارد هوای پاک ایران می‌باشد، اما با توجه به تجمع آن در مناطق سکونتگاهی، خطر ته‌نشینی این ذرات سمی در سیستم تنفسی افراد و حتی حیوانات اهلی وجود دارد.



شکل ۶: غلظت ذرات معلق کوچک‌تر از ۲/۵ میکرون در بازه زمانی ۲۴ ساعته در شعاع ۱۰ کیلومتری از پالایشگاه نفت تبریز

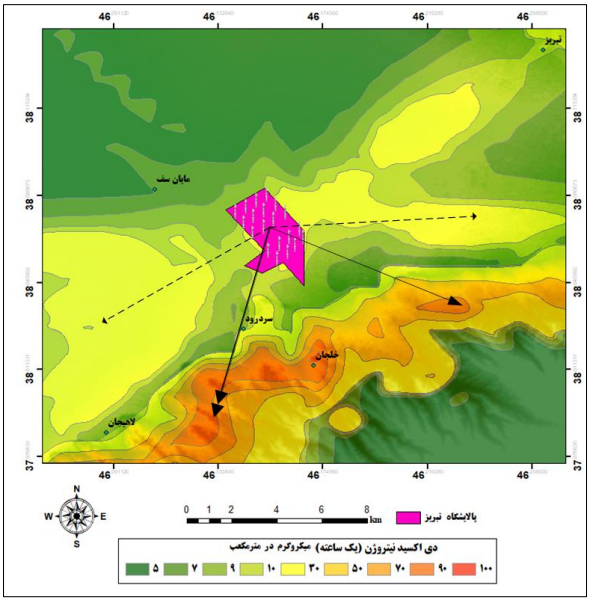
نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که غلظت ۲۴ساعته ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون در هوای محیطی پالایشگاه نفت تبریز بیش از دو برابر حد استاندارد آن می‌باشد. نتایج مدل‌سازی بیان‌گر این است که غلظت ذرات معلق در هوای محیطی محدوده موردمطالعه کمتر از حد مجاز انتشار می‌باشد که دلیل اصلی آن وزش بادهای شدید منطقه می‌باشد که به نحوی بر تصفیه هوای محیطی اطراف پالایشگاه تأثیر می‌گذارد.

جدول ۶: مقایسه غلظت ذرات معلق (PM2.5) ۲۴ ساعته (میکروگرم بر مترمکعب) بین استاندارد هوای پاک ایران، مرکز پایش و مدل AERMOD

ردیف	مکان اندازه‌گیری		غلظت ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون
۱	حد مجاز انتشار (استاندارد هوای پاک)		۳۵
۲	پایش آلودگی هوای محیطی در پالایشگاه		۸۹
۳	نتایج مدل‌سازی AERMOD	مایان‌سف	۱/۱
۴		خلجان	۹/۳
۵		لاهیجان	۵/۳

گاز دی‌اکسید نیتروژن (NO_2)

گاز دی‌اکسید نیتروژن که یکی از اکسیدهای نیتروژن می‌باشد، حاصل از احتراق بوده و از دودکش کوره‌های پالایشگاه نفت به اتمسفر انتشار یافته و در ترکیب با بخارآب باعث تشکیل اسیدنیتریک شده که خطر زیست-محیطی زیادی دارد. غلظت یک‌ساعته آن در شعاع ۱۰ کیلومتری از پالایشگاه نفت تبریز بین ۵ تا ۱۰۰ میکروگرم در مترمکعب می‌باشد که همسان با دیگر گازها، تحت‌تأثیر شرایط جوی و توپوگرافی قرار دارد و غلظت بیشینه آن در نواحی پایکوهی سهند و سکونتگاه شهری خلجان تجمع یافته است. اگرچه مسیر بادهای غربی و شرقی موجب کشیده شدن دامنه غلظت ۱۰ تا ۳۰ میکروگرم در مترمکعب به سمت شرق و غرب پالایشگاه شده است، اما به دلیل فاصله کلان‌شهر تبریز از پالایشگاه، غلظت این گاز در تبریز کاهش یافته و خطر زیادی از طرف پالایشگاه نفت، این شهر را تهدید نمی‌کند (شکل ۷).



شکل ۷: غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن در بازه زمانی یک‌ساعته در شعاع ۱۰ کیلومتری از پالایشگاه نفت تبریز

به‌طورکلی، غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن شبیه به دی‌اکسید گوگرد و مونوکسیدکربن ناشی از کوره-های پالایشگاه نفت کمتر از حد استاندارد بوده و نمی‌تواند ریسک و خطرپذیری محیطی را تشدید نماید؛ اما تجمع آن در نواحی پایکوهی سهند و به ویژه شهر خلجان، احتمال به خطر افتادن سلامت اکوسیستم‌های محیطی آن وجود دارد. نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که غلظت یک‌ساعته گاز دی‌اکسید نیتروژن در هوای محیطی پالایشگاه نفت تبریز بیش از حد استاندارد آن می‌باشد. نتایج مدل AERMOD بیان‌گر این است که غلظت این گاز در هوای محیطی محدوده موردمطالعه کمتر از حد مجاز انتشار می‌باشد.

جدول ۷: مقایسه غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن یک‌ساعته (میکروگرم بر مترمکعب) بین استاندارد هوای پاک ایران، مرکز پایش و مدل AERMOD

ردیف	مکان اندازه‌گیری		غلظت دی‌اکسید نیتروژن
۱	حد مجاز انتشار (استاندارد هوای پاک)		۲۰۰
۲	پایش آلودگی هوای محیطی در پالایشگاه		۲۲۹
۳	نتایج مدل‌سازی AERMOD	مایان‌سف	۹/۳
۴		خلجان	۹۶
۵		لاهیجان	۴۵

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی وضعیت باد در دشت میان-کوهی تبریز بیان‌گر این است که باد غالب شرقی و باد درجه یک، غربی بوده که دارای بیشترین فراوانی باد هستند. سرعت بیشتر از ۵ متر در ثانیه در جهت شرقی دارای فراوانی بیشتری نسبت به دیگر جهات بوده و نشان می‌دهد که مسیر بادهای شرقی می-تواند تأثیر بیشتری بر نحوه پخش و پراکنش آلاینده‌های خروجی از دودکش کوره‌های پالایشگاه نفت تبریز داشته باشد. بادهای غالب شرقی حاصل از سیستم‌های اتمسفری در مقیاس سینوپتیک بوده که از پرفشار حرارتی سیبری و همچنین پرفشار دریای خزر نشأت می‌گیرد و در دالان‌های میان-کوهی منطقه تشدید شده و بر سرعت آن افزوده می‌گردد (زینالی و عظیمی، ۱۳۹۵). سمت و سرعت باد، همراه با سایر پدیده‌های محیطی شامل توپوگرافی، لایه‌ی مرزی جو و نوع کاربری اراضی، از عوامل اصلی در نحوه پراکنش آلاینده‌های جوی به شمار می‌روند (Su et al, 2018). مدل AERMOD یکی از مدل‌های گوسی بوده که با الگوریتم‌ها و توابع ریاضی، از پارامترهای محیطی و مشخصات دودکش صنایع، برای پیش‌بینی آلاینده-ها استفاده می‌نماید (Cimorelli et al, 2005; Seangkiatiyuth et al, 2011). در پژوهش حاضر نیز از مدل AERMOD برای شبیه‌سازی غلظت آلاینده‌های خروجی از ۲۰ دودکش پالایشگاه نفت تبریز استفاده گردید که در آن مسیر بادهای غالب و توپوگرافی محل، بیشترین تأثیر را در نحوه پخش و پراکنش آلاینده‌ها دارند؛ در کارخانه سیمان ایلام (نورپور و کاظمی شهابی، ۱۳۹۴) و جنوب تهران (شمسی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳) نیز بادهای غالب مهم‌ترین عامل در نحوه پراکنش ذرات معلق می-باشد. در پژوهش حاضر نتایج بیان‌گر این بود که آلاینده‌ها تحت‌تأثیر بادهای غالب، در دامنه پایکوهی شمالی سهند و در محدوده جنوب‌غربی پالایشگاه نفت تبریز تجمع یافته و حد بیشینه آن‌ها در دامنه ارتفاعی ۱۴۵۰ تا ۱۵۰۰ متری قرار دارد، اما از این سطح (ارتفاع ۱۵۰۰ متری) به بعد، هرچه بر میزان ارتفاع محل افزوده می‌شود، از غلظت آلاینده‌های جوی نیز کاسته می‌شود و در صنعت

فولاد سپید فاراب کویر حد آستانه‌ی غلظت در ارتفاع ۷۵۰ متری از سطح زمین قرار دارد (Arani et al, 2021) که دلیل اصلی آن قرارگیری لایه مرزی در این ارتفاع می‌باشد که موجب وقوع وارونگی دما و تجمع آلاینده‌ها در این سطح می‌شود (Perry et al, 2005). در مسیر رهیافت توسعه پایدار، بهره‌برداری از منابع طبیعی و ایجاد اشتغال برای مردم منطقه از طریق حفاظت از محیط‌زیست و صیانت از منابع طبیعی قابل دستیابی است. پالایشگاه نفت تبریز بر وضعیت اقتصادی منطقه تأثیر مثبتی داشته و خوراک پتروشیمی‌های کشور را تأمین نماید، اما به شرطی که بر محیط‌زیست منطقه و اکوسیستم‌های فعال منطقه آسیب نزند. یکی از راه‌های تخریب محیط‌زیست، انتشار آلاینده‌ها بوده که از طریق دودکش کوره‌های پالایشگاه نفت وارد محیط می‌شود. سنجش آلاینده‌های جوی که از طریق دودکش صنایع انتشار می‌یابد، فقط از طریق اندازه‌گیری در خروجی دودکش قابل انجام است، اما در یک شعاع مشخصی که آلاینده‌های جوی، محیط‌زیست را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد، اندازه‌گیری به صرفه نبوده و قابل انجام نیست؛ اما مدل AERMOD این توانایی را دارد که غلظت هر یک از آلاینده‌های جوی را تا شعاع ۵۰ کیلومتر شبیه‌سازی و پیش-بینی نماید و در پژوهش حاضر از این مدل برای پیش‌بینی آلاینده‌های خروجی از ۲۰ دودکش پالایشگاه نفت تبریز تا شعاع ۱۰ کیلومتری استفاده گردید. در دشت میان‌کوهی تبریز، غلظت آلاینده-های خروجی از دودکش‌های پالایشگاه نفت کمتر از حد استاندارد بوده و تأثیری زیادی بر اکولوژی-های متنوع و اکوسیستم‌های آن ندارد. به‌واسطه بادهای غالب که جهت شرقی دارد، حد بیشینه غلظت آلاینده‌های گازی و ذرات معلق در کوهپایه-های شمالی سهند و در هوای محیطی سکونتگاه شهری خلجان بوده و باد موجب شده تا آلاینده‌ها از شهر تبریز که در شرق پالایشگاه نفت قرار دارد، فاصله گرفته و به سمت کوهستان‌های جنوبی جریان یابد و در کلان‌شهر تبریز این آلاینده‌ها بسیار کم است. از لحاظ ارتفاعی نیز به دلیل استقرار لایه مرزی، حد بیشینه غلظت آلاینده‌های جوی در ارتفاع ۱۴۵۰ تا ۱۵۰۰ متری در کوهپایه‌های جنوبی بوده که از این ارتفاع به بالا، از غلظت گازها و ذرات معلق خروجی از دودکش کاسته می‌شود. به‌طور کلی، غلظت آلاینده‌های جوی در دشت میان‌کوهی تبریز از حد استاندارد آن کمتر است و ریسک خطرپذیری اکوسیستم‌های آن قابل کنترل می‌باشد. اگرچه در پالایشگاه اهواز، فولاد سپید فاراب کویر و یا دیگر صنایع، غلظت بعضی از گازها و ذرات معلق بیشتر از حد استاندارد آن می‌باشد، اما در دشت تبریز به‌واسطه مسیر بادهای غالب منطقه، توپوگرافی و قرارگیری ارتفاعات در نواحی جنوبی، غلظت آلاینده‌ها کمتر از حد استاندارد است. وارونگی‌های دمایی که با واژه اینورژن شناخته می‌شود، یکی دیگر از عوامل طبیعی مؤثر در تشدید آلودگی هوای کوهپایه‌ها و دشت‌های شمالی کوهستان سهند است که نقش مهمی در افزایش غلظت آلاینده‌های خروجی از دودکش‌های پالایشگاه نفت تبریز دارد. وارونگی‌های دمایی در این منطقه عمدتاً تابشی بوده که از انعکاس نور از سطح برف در ماه‌های سرد به وجود می‌آید. فراوانی وارونگی‌ها در زمستان بیشتر از دیگر فصول است و حتی شدت و تداوم آن نیز در این فصل زیاد است؛ اما در تابستان، پایه لایه وارونگی در ارتفاع بالاتری تشکیل می‌شود و به علت ناپایداری هوا، وارونگی به سرعت از بین می‌رود و اثر آن بر آلودگی منطقه نیز بسیار ناچیز است (جهانبخش اصل و روشنی، ۱۳۹۲)؛ بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که غلظت آلاینده‌های خروجی از دودکش پالایشگاه

نفت تبریز در ماه‌های سرد در زمستان به علت تداوم و تشدید لایه وارونگی و قرارگیری آن در نزدیکی سطح زمین، بسیار بیشتر از ماه‌های گرم در تابستان است. در این مطالعه، غلظت آلاینده‌های اصلی که از دودکش‌های پالایشگاه نفت تبریز منتشر می‌شود، در شعاع ۱۰ کیلومتری با مدل پلوم گوسی AERMOD شبیه‌سازی و پیش‌بینی گردید و مبتنی بر شاخص کیفیت هوا، آلودگی منطقه بررسی گردید؛ اما تاکنون شاخص کیفیت هوا برای تمام آلاینده‌های منتشره تعریف نشده است و تنها آلاینده‌های اصلی را در بر می‌گیرد. از طرف دیگر، مدل AERMOD قادر به مدل‌سازی آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، مونوکسیدکربن، ذرات معلق و سرب می‌باشد؛ در صورتی که آلاینده‌های دودکش منابع فرآیندی شامل فتالیک انیدرید، مالئک انیدرید، تولوئن دی ایزو سیانات، اتیلن اکساید، اتیل بنزن، استایرن، ترکیبات آروماتیک، پارافین، استن و دیگر آلاینده‌ها در مدل AERMOD قابل پیش‌بینی نمی‌باشند. درحالی که این آلاینده‌ها اثرات شدیدی بر محیط‌زیست منطقه به‌ویژه جامعه و سلامت انسان، اکولوژی‌های مختلف گیاهی و جانوری می‌گذارد. ترکیب این آلاینده‌ها در هوای محیطی منطقه، موجب تشکیل آلاینده‌های ثانویه متعددی می‌شود و از طرف دیگر، ته‌نشینی آلاینده‌های جامد و مایع بر سطوح زمینی، موجب بروز بیماری‌های مختلفی در اکوسیستم‌های فعال منطقه می‌شود؛ بنابراین در برنامه‌ریزی و مدیریت تمهیدات و راهبردهای عملیاتی، اگرچه نتایج پژوهش حاضر می‌تواند پراکنش آلاینده‌های اصلی هوا در منطقه را شناسایی نموده و در برنامه‌ریزی منطقه‌ای تبریز و تصمیم‌گیری‌های محیط‌زیستی مؤثر واقع شود، اما برای تصمیم‌گیری در مقیاس زمانی بلندمدت و جامعه، نیاز به ارزیابی و پایش آلاینده‌های ثانویه و دیگر آلاینده‌های خروجی از دودکش پالایشگاه تبریز ضروری می‌باشد. همچنین به منظور تدوین برنامه‌ریزی‌های فضایی و ناحیه‌ای در حفاظت محیط‌زیست، ارزیابی تأثیر آلاینده‌های خروجی از دودکش پالایشگاه تبریز بر اکولوژی‌های گیاهی و جانوری به‌ویژه رشد و توسعه آن‌ها می‌تواند بسیار مفید واقع گردد.

منابع

-جهانبخش اصل، س. و روشنی، ر.، ۱۳۹۲. بررسی وضعیت و شدت وارونگی‌های سطح پایین شهر تبریز طی دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲۸(۴)، ص ۴۵-۵۴.

-زینالی، ب. و عظیمی، ع.، ۱۳۹۵. امکان‌سنجی پتانسیل انرژی بادی در شمال غرب ایران با استفاده از الگوریتم فازی، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره ۶، شماره ۲۴، ص ۷۳-۸۸.

-سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۵، ماده (۱۵) قانون نحوه جلوگیری از آلودگی هوا- مصوب ۱۳۷۴، تصویب‌نامه هیئت وزیران.

-شمسی‌پور، ع.ا.، اشرفی، ا.، علی‌خواه اصل، م. و اشرفی، خ.، ۱۳۹۴. مدل‌سازی الگوی پراکنش ذرات معلق در منطقه جنوب تهران (مطالعه موردی: کارخانه سیمان تهران) با مدل AERMOD، نشریه محیط‌شناسی، شماره ۴۱(۴)، ص ۷۹۹-۸۱۴.

-ظروفچی بنیس، خ.، فاتحی‌فر، ا.، احمدی، ج. و محمدی، م.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی پخش آلودگی هوا با استفاده از نرم‌افزار ISCST در اطراف شرکت پالایش نفت تبریز، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، شماره ۴۴(۴)، ص ۱۰۶-۱۰۰.

-عتابی، ف.، جعفری گل، ف.، مؤمنی، م.ر.، سلیمیان، م. و بهمن‌نیا، غ.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی نحوه

پراکنش آلاینده CO با استفاده از نرم‌افزار AERMOD در پالایشگاه ۴ گازی پارس جنوبی، مجله مهندسی بهداشت محیط، جلد ۱، شماره ۴، ص ۲۸۱-۲۹۲.
-مؤمنی، ا.، دانه‌کار، ا.، کریمی، ص. و خراسانی، ن.، ۱۳۹۰. مدل‌سازی پخش SO_2 ناشی از نیروگاه اهواز با استفاده از مدل AERMOD، نشریه انسان و محیط‌زیست، دوره ۹، شماره ۲۹، ص ۳-۸.
-نورپور، ع.ر. و کاظمی شهابی، ن.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا خروجی از دودکش کارخانه سیمان ایلام، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، شماره ۴۴(۷۴)، ص ۱۰۷-۱۱۶.

-Afzali, A., Rashid, M., Afzali, M. and Younesi, V., 2017. Prediction of air pollutants concentrations from multiple sources using AERMOD coupled with WRF prognostic model, Journal of Cleaner Production, v. 166, p. 1216-1225.
-Amoatey, P., Omidvarborna, H., Affum, H.A. and Baawain, M., 2019. Performance of AERMOD and CALPUFF models on SO2 and NO2 emissions for future health risk assessment in Tema Metropolis, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, v. 25(3), p. 772-786.
-Arani, M.H., Jaafarzadeh, N., Moslemzadeh, M., Ghalhari, M.R., Arani, S.B. and Mohammadzadeh, M., 2021. Dispersion of NO2 and SO2 pollutants in the rolling industry with AERMOD model: a case study to assess human health risk, Journal of Environmental Health Science and Engineering, p. 1-12.
-Cimorelli, A.J., Perry, S.G., Venkatram, A., Weil, J.C., Paine, R.J., Wilson, R.B. and Brode, R.W., 2005. AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part I: General model formulation and boundary layer characterization, Journal of applied meteorology, v. 44(5), p. 682-693.
-Contardo, T., Vannini, A., Sharma, K., Giordani, P. and Loppi, S., 2020. Disentangling sources of trace element air pollution in complex urban areas by lichen biomonitoring, A case study in Milan (Italy), Chemosphere, v. 256, p. 127-155.
-Kesarkar, A.P., Dalvi, M., Kaginalkar, A. and Ojha, A., 2007. Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling, A case study for PM10 dispersion over Pune, India, Atmospheric Environment, v. 41(9), p. 1976-1988.
-Křeček, J., Palán, L., Pažourková, E. and Stuchlík, E., 2019. Water-quality genesis in a mountain catchment affected by acidification and forestry practices, Freshwater Science, v. 38(2), p. 257-269.
-Kumar, A., Patil, R.S., Dikshit, A.K. and Kumar, R., 2017. Application of WRF model for air quality modelling and AERMOD-a survey. Aerosol and Air Quality Research, v. 17(7), p. 1925-1937.
-Macêdo, M.F.M. and Ramos, A.L.D., 2020. Vehicle atmospheric pollution evaluation using AERMOD model at avenue in a Brazilian capital city, Air Quality, Atmosphere & Health, v. 13(3), p. 309-320.
-Meo, S.A., Abukhalaf, A.A., Sami, W. and Hoang, T.D., 2021. Effect of environmental pollution PM2. 5, carbon monoxide, and ozone on the incidence and mortality due to SARS-CoV-2 infection in London, United Kingdom, Journal of King Saud University-Science, v. 33(3), p. 101-137.

-Mokhtar, M.M., Hassim, M.H. and Taib, R.M., 2014. Health risk assessment of emissions from a coal-fired power plant using AERMOD modelling, Process Safety and Environmental Protection, v. 92(5), p. 476-485.
-Momeni, I., Daneh Kar, A., Karimi, S. and Khorasani, N., 2011. Modeling SO2 emission from Ahvaz Ramin power plant using AERMOD model. Man and the Environment, v. 9 (3(18-29)), p. 3-8.
-Moreno-Silva, C., Calvo, D.C., Torres, N., Ayala, L., Gaitán, M., González, L. and Susa, M.R., 2020. Hydrogen sulphide emissions and dispersion modelling from a wastewater reservoir using flux chamber measurements and AERMOD® simulations, Atmospheric Environment, v. 224, p. 117-136.
-Mousavi, S.S., Goudarzi, G., Sabzalipour, S., Rouzbahani, M.M. and Hassan, E.M., 2021. An evaluation of CO, CO2, and SO2 emissions during continuous and non-continuous operation in a gas refinery using the AERMOD, Environmental Science and Pollution Research, p. 1-13.
-Pandey, G. and Sharan, M., 2019. Accountability of wind variability in AERMOD for computing concentrations in low wind conditions, Atmospheric Environment, v. 202, p. 105-116.
-Perry, S.G., Cimorelli, A.J., Paine, R.J., Brode, R.W., Weil, J.C., Venkatram, A. and Peters, W.D., 2005. AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part II: Model performance against 17 field study databases, Journal of applied meteorology, v. 44(5), p. 694-708.
-Rzeszutek, M. and Szulecka, A., 2021. Assessment of the AERMOD dispersion model in complex terrain with different types of digital elevation data, In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 642(1), p. 120-134. IOP Publishing.
-Santos, F.S., Miranda, G.A., Carvalho, A.N., Carvalho, V.S. and Albuquerque, T.T.D.A., 2019. Regulated air pollutant emissions from higher emitters' stationary sources in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 36, p. 775-784.
-Seangkiatiyuth, K., Surapipith, V., Tantrakarnapa, K. and Lothongkum, A.W., 2011. Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO2 emissions from a cement complex, Journal of Environmental Sciences, v. 23(6), p. 931-940.
-Steinberga, I., Sustere, L., Bikse, J., Bikse, J. and Kleperis, J., 2019. Traffic induced air pollution modeling: Scenario analysis for air quality management in street canyon, Procedia Computer Science, v. 149, p. 384-389.
-Su, T., Li, Z. and Kahn, R., 2018. Relationships between the planetary boundary layer height and surface pollutants derived from lidar observations over China: regional pattern and influencing factors, Atmospheric Chemistry and Physics, v. 18(21), p. 15921-15935.