

Modeling the Dispersion of Pollutant Gases from the Chimney of the Tabriz Thermal Power Plant with AERMOD Software

ABSTRACT

Background and Purpose: The objective of this study is to simulate the release of pollutant gases from the chimney of the Tabriz thermal power plant to ascertain the concentration of these pollutants in the vicinity of the power plant.

Materials and Methods: The dispersion of pollutants emitted by the Tabriz thermal power plant is modeled using AERMOD software to analyze the concentrations of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in nearby areas and neighboring cities within a 44.85 km square. The data utilized for this modeling encompass one-year meteorological records, emission source particulars, and geographical data. This modeling calculated the distribution pattern of pollution and pollutant concentrations on the ground surface near the Tabriz thermal power plant for intervals of 1, 3, and 24 hours, as well as the annual average.

Results: The calculated results reveal that the maximum concentrations of nitrogen dioxide in the studied area, for intervals of 1, 3, and 24 hours, and the annual average are 957, 510, 135, and 5.21 micrograms per cubic meter, respectively. Similarly, the maximum concentrations of sulfur dioxide, for the same intervals, are 3998, 2208, 584, and 22.6 micrograms per cubic meter, respectively.

Conclusion: The findings indicate that the maximum concentrations of sulfur dioxide and nitrogen dioxide in certain densely populated residential zones exceed the permissible limits set by environmental standards for specific criteria. Consequently, the health of residents near this power plant could be at risk.

Keywords: Air Pollutants, Sulfur Dioxide, Nitrogen Dioxide, Computational Modeling, Power Plant.

Mahdi Saghafi

* Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran. (Corresponding author):
msaghafi@ubonab.ac.ir

Ali Hajiabdollahi Mamaghani

BSc graduate, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran.

Received: 2023/05/24

Accepted: 2023/09/12

DOI: 10.22038/jreh.2024.23859

Document Type: Research article

► **Citation:** Saghafi M, Hajiabdollahi Mamaghani A. Modeling the Dispersion of Pollutant Gases from the Chimney of the Tabriz Thermal Power Plant with AERMOD Software. *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2024; 9(4): 374-386.

مدل‌سازی پراکندگی گازهای آلاینده خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز با نرم‌افزار AERMOD

مهدی تقفی

* استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران. (نویسنده مسئول):
msaghafi@ubonab.ac.ir

علی حاجی عبدالهی ممقانی

کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

زمینه و هدف: هدف این پژوهش، مدل‌سازی نحوه انتشار گازهای آلاینده خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز به منظور تعیین غلظت این آلاینده‌ها در مناطق مجاور نیروگاه است. **مواد و روش‌ها:** در این پژوهش، مدل‌سازی انتشار گازهای آلاینده ناشی از فعالیت نیروگاه حرارتی تبریز با نرم‌افزار AERMOD انجام شده است تا غلظت گازهای دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن در مناطق پیرامونی و شهرستان‌های هم‌جوار در منطقه‌ای مربعی شکل به ضلع ۴۴/۸۵ کیلومتر بررسی شود. داده‌های استفاده شده در این مدل‌سازی شامل اطلاعات هواشناسی یک ساله، اطلاعات منبع انتشار آلاینده‌ها، و اطلاعات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه هستند. در این مدل‌سازی، الگوی پخش آلودگی و میزان غلظت آلاینده در سطح زمین برای مناطق پیرامونی نیروگاه حرارتی تبریز در معیارهای ۱، ۳، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه محاسبه شده است.

یافته‌ها: نتایج محاسبات نشان می‌دهد که حداکثر غلظت آلاینده دی‌اکسید نیتروژن در منطقه مورد بررسی، در معیارهای ۱، ۳، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب برابر با ۹۵۷، ۵۱۰، ۱۳۵ و ۵/۲۱ میکروگرم بر مترمکعب و حداکثر غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد در معیارهای ۱، ۳، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب برابر با ۳۹۹۸، ۲۲۰۸، ۵۸۴ و ۲۲/۶ میکروگرم بر مترمکعب است.

نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج با حدود مجاز در استانداردهای محیط‌زیستی نشان می‌دهد که حداکثر غلظت آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن در برخی از نواحی پرجمعیت مسکونی مجاور نیروگاه بالاتر از حد مجاز در برخی از معیارها هستند و این آلاینده‌ها می‌توانند سلامت ساکنین اطراف این نیروگاه را در مخاطره قرار دهند.

کلید واژه‌ها: آلاینده هوا، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، شبیه‌سازی محاسباتی، نیروگاه.

مقدمه

عموماً در بررسی‌های نظارتی سازمان‌های محیط‌زیستی از این روش‌ها استفاده نمی‌شود. در مقابل، مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های هوا که یک روش مبتنی بر مدل^۳ برای توصیف رابطه بین انتشار منابع آلاینده، داده‌های هواشناسی، و جغرافیای منطقه است، می‌تواند توصیف قطعی‌تر و کامل‌تری از این پدیده ارائه دهد. با داشتن یک مدل ریاضی از انتشار آلاینده‌ها، می‌توان راهنمایی‌های دقیق‌تری در مورد اجرای اقدامات کنترلی را ارائه کرد و اثربخشی استراتژی‌های مختلف کاهش آلاینده‌ها را تعیین نمود.

مدل گاوسی^۴ یکی از قدیمی‌ترین روش‌های مدل‌سازی پراکندگی آلاینده‌های جوی است که همچنان در مقایسه با سایر روش‌ها نظیر مدل‌های اویلری^۵ و لاگرانژی^۶، پرکاربردترین و پذیرفته‌شده‌ترین روش محاسباتی برای تعیین غلظت یک آلاینده در یک نقطه خاص است (۵ و ۶). از مدل‌های گاوسی می‌توان برای مدل‌سازی منابع نقطه‌ای انتشار آلاینده‌ها نظیر دودکش‌های نیروگاهی و پالایشگاهی استفاده کرد. همچنین، قابلیت توسعه روابط حاکم بر مدل‌های گاوسی برای منابع خطی (نظیر جاده‌ها) و منابع منطقه‌ای (نظیر آتش‌سوزی مراتع و جنگل‌ها) نیز وجود دارد. اطلاعات مربوط به منابع آلاینده از جمله نرخ نشر جرمی مواد، سرعت و دمای گازهای خروجی، و ارتفاع انتشار، به همراه داده‌های هواشناسی نظیر سرعت و جهت باد، دمای هوای محیط، و سایر پارامترهای تعیین‌کننده کلاس پایداری هوا، برای استفاده از مدل گاوسی مورد نیاز هستند (۵).

AERMOD^۷، یک نرم‌افزار مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها بر پایه ستون گاوسی حالت پایدار است و برای انتقال گونه‌های ساطع شده در یک میدان باد استفاده می‌شود (۷). از این نرم‌افزار علاوه بر مدل‌سازی منابع نقطه‌ای، می‌توان برای مدل‌سازی منابع

مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های جوی، ابزاری مهم و ضروری در بررسی شرایط محیط‌زیستی و توزیع مقدار آلاینده‌های مضر برای سلامت انسان و محیط‌زیست است. با دانش فنی کنونی بشری، امکان به صفر رساندن انتشار آلاینده‌های صنعتی وجود ندارد. بنابراین چنانچه مواد آلوده‌کننده ناشی از فعالیت‌های نیروگاهی و میزان اثرگذاری هر یک از این مواد در آلوده کردن محیط‌زیست شناسایی نشود، سلامت شهروندان با مخاطرات جدی مواجه می‌گردد. پژوهش‌های زیادی نشان داده است که آلودگی هوا می‌تواند اثرات قابل توجهی در سلامت عمومی افراد داشته باشد. حدود ۶ درصد از آمار مرگ‌ومیر سالیانه جهان به علت مرگ زودرس ناشی از آلودگی هوا و در ایران حدود ۱۰ درصد از مرگ‌ومیرها ناشی از عواقب آلودگی هوا است (۱). تخمین مقدار و تعیین نحوه پراکندگی آلاینده‌های هوا از منابع مختلف، اولین گام برای کنترل شرایط محیط‌زیست و ارتقای سلامت افراد است. اندازه‌گیری‌های تجربی آلودگی هوا، اطلاعات مهمی از انواع آلاینده‌های موجود در هوای هر منطقه و میزان غلظت هر یک از آلاینده‌ها را ارائه می‌دهند (۲)، اما این روش فقط می‌تواند کیفیت هوا را در مکان‌ها و زمان‌های اندازه‌گیری‌شده، توصیف کند و توانایی تعمیم‌پذیری برای سایر نقاط به خصوص در عوارض پیچیده زمین را ندارند. از طرفی، برای اندازه‌گیری و یافتن محل حداکثر مقدار آلاینده‌ها در طی انتشار در یک منطقه، نیاز است تا به صورت آزمون و خطا و با صرف زمان و هزینه زیاد، اندازه‌گیری‌ها به دفعات در مکان‌ها و زمان‌های مختلف انجام شود. البته با استفاده از روش‌های مبتنی بر داده‌ها^۱ نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی (۳)، ماشین بردار پشتیبان^۲ (۴) و ... و با داشتن داده‌های محدود اندازه‌گیری‌شده، می‌توان تخمینی از مقادیر آلاینده‌ها در سایر نقاط یا زمان‌های آتی را به دست آورد. ولی استفاده از این تخمین‌ها به علت وجود عوامل متعدد مؤثر بر توزیع آلاینده‌ها، همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است و به همین دلیل

3. Model-based Method

4. Gaussian Models

5. Eulerian Models

6. Lagrangian Models

7. American Meteorological Society-Environmental Protection Agency Regulatory Model

1. Data Driven Methods

2. Support Vector Machines (SVM)

است. موقعیت قرارگیری شهر تبریز که با کوه‌های عون ابن علی (شمال)، ساری داغ و بیلانکوه (شرق)، و سه‌نند (جنوب) محصور شده است و صنایع آلاینده آن در سمت غرب قرار دارند، موجب شده است تا وضعیت آلودگی آن تشدید شود (۸) و نیاز بیشتری به مدل‌سازی دقیق انتشار آلاینده‌ها از نیروگاه حرارتی تبریز احساس شود. از این‌رو در این مقاله با مدل‌سازی نحوه انتشار گازهای آلاینده دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز، میزان غلظت این آلاینده‌ها در مناطق پیرامونی و شهرهای هم‌جوار نیروگاه نظیر تبریز، سه‌نند، اسکو، خسروشهر، ممقان و ایلخچی تعیین شده است. مقایسه غلظت‌های محاسبه شده برای گازهای آلاینده، با حدود مجاز ذکر شده در استانداردهای مربوطه، نشان‌گر میزان تأثیر آلاینده‌های خروجی از دودکش نیروگاه بر محیط زیست اطراف آن است. در این پژوهش، برای اولین بار از نرم‌افزار AERMOD برای تحلیل نحوه انتشار آلاینده‌های خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز استفاده شده است و همچنین نسبت به مطالعه قبلی انجام شده روی این نیروگاه با نرم‌افزار ISCST₃ (۴۰) که فقط شامل یک فصل از سال بود، مدت زمان بیشتری را پوشش می‌دهد و برای یک سال انجام شده است. لازم به ذکر است که نرم‌افزار AERMOD در سال ۲۰۰۶ جایگزین نرم‌افزار ISCST₃ در ارزیابی‌های محیط زیستی آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده^۲ شده است (۴۱).

روش کار

در این پژوهش از نرم‌افزار AERMOD که مبتنی بر روش ستون گاوسی پایدار با برد کوتاه (کمتر از ۵۰ کیلومتر) است، جهت بررسی الگوی انتشار آلاینده‌های خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز استفاده شده است. نیروگاه حرارتی تبریز، در جنوب غربی شهر تبریز به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر منطقه شمال غرب ایران با جمعیتی بالغ بر ۱/۶ میلیون نفر واقع است (شکل ۱-الف). این نیروگاه مطابق تقسیم‌بندی مرکاتور عرضی

آلاینده خطی ناشی از حرکت خودروها در جاده‌ها و خیابان‌ها هم بهره برد (۸-۱۲). این نرم‌افزار دارای دو پیش-پردازنده AERMET و AERMAP است که به ترتیب وظیفه انجام آماده‌سازی داده‌های هواشناسی و عوارض زمین را جهت استفاده در مدل‌سازی پراکندگی آلاینده‌ها با مدل گاوسی بر عهده دارند. در ایران، از AERMOD به صورت گسترده جهت مدل‌سازی پراکندگی آلاینده‌های منتشر شده از فعالیت‌های صنعتی نظیر نیروگاه‌ها (۱۳-۱۵)، پالایشگاه‌های نفت و گاز (۱۶-۲۳)، سکوها‌های نفتی (۲۴)، صنایع سیمان (۲۵)، صنایع کاشی و سرامیک (۱۴، ۲۶)، و صنایع فولاد (۲۷) استفاده شده است. AERMOD در سطح بین‌المللی نیز برای کاربردهای خاص دیگری نظیر مدل‌سازی انتشار دی‌اکسید گوگرد از فرودگاه‌های مجاور خط ساحلی (۲۸)، پخش هگزا فلوراید گوگرد در یک منطقه کوهستانی (۲۹)، انتشار ترکیبات گوگرد از مخازن فاضلاب (۳۰، ۳۱)، انتشار بوی دامداری‌ها (۳۲)، انتشار ذرات معلق از کارخانه پنبه پاک‌کنی (۳۳)، انتشار بو از پالایشگاه نفت (۳۴)، انتشار آلاینده‌های گازی از کشتی‌های تفریحی (۳۵)، انتشار فلزات سنگین از کارخانه کک (۳۶)، انتشار گاز رادن از معادن اورانیوم (۳۷، ۳۸) و انتشار مواد رادیواکتیو از نیروگاه‌های هسته‌ای (۳۹) استفاده شده و نتایج قابل اطمینانی را ارائه داده است.

در مجاورت شهرها، عمده‌ترین عامل انتشار مواد آلاینده هوا، نیروگاه‌های حرارتی تولید برق هستند که با سوزاندن سوخت‌های فسیلی اثر مداومی بر میزان آلودگی هوا دارند (۱۳). با سوختن سوخت‌های فسیلی، آلاینده‌های هوا نظیر اکسیدهای گوگرد (SO_x)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، اکسیدهای کربن (CO) و ذرات معلق (PM) در هوا منتشر می‌شوند. برای تعیین میزان تأثیر هر نیروگاه بر آلودگی شهرهای اطراف آن، نیاز است تا مدل‌سازی دقیقی از فرآیند انتشار آلاینده‌ها با استفاده از داده‌های جغرافیایی و هواشناسی در آن منطقه صورت گیرد. در این پژوهش، از منبع نقطه‌ای در نرم‌افزار AERMOD برای مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های ناشی از فعالیت نیروگاه حرارتی تبریز استفاده گردیده

1. Industrial Source Complex Short Term 3

2. United States Environmental Protection Agency (EPA)

جدول ۱. مشخصات دودکش‌ها و نرخ گازهای منتشر شده

دما، گاز خروجی (درجه سلسیوس)	قطر دودکش (متر)	دما، گاز خروجی (درجه سلسیوس)		سرعت گازهای خروجی (متر بر ثانیه)	دی‌اکسید نیتروژن (گرم بر ثانیه)		دی‌اکسید گوگرد (گرم بر ثانیه)	
		۱	۲		۱	۲	۱	۲
۱۶۷	۵	۳۲/۶	۳۵۴/۶	۱۵۴/۰	۱۴۴۶/۷	۷۰۱/۳	۱	۲

AERMAT انجام می‌گردد.

AERMAT از داده‌های هواشناسی به همراه ویژگی‌های سطح زمین، برای محاسبه پارامترهای میانی نظیر اسپیدیته^۵، نسبت بوون^۶ و زبری سطح^۷ برای هر یک از گیرنده‌ها استفاده می‌کند. مقدار متوسط اسپیدیته، نسبت بوون و زبری سطح محاسبه شده برای محدوده جغرافیایی این پژوهش در طول ۱ سال مورد مطالعه، به ترتیب برابر با ۰/۱۸، ۰/۸ و ۰/۰۷۱ است. سپس AERMAT پارامترهای لایه مرزی اتمسفری^۸ نظیر: سرعت اصطکاک، طول مونین-اوبوخوف^۹، مقیاس سرعت همرفتی، مقیاس دما، ارتفاع اختلاط و شار حرارتی سطح زمین، را محاسبه می‌کند. پارامترهای لایه مرزی برای محاسبه پروفیل‌های عمودی سرعت باد، نوسانات جانبی و عمودی آشفستگی (σ_v ، σ_w)، گرادیان دمای پتانسیل ($d\theta/dz$)، و دمای پتانسیل (θ) در AERMOD استفاده می‌شوند (۴۲). همچنین، پیش‌پردازنده AERMAP، از داده‌های ارتفاعی WGS84^{۱۰} برای محاسبه تأثیر ارتفاع زمین در تعیین ارتباط مابین منبع انتشار آلاینده (مکان دودکش نیروگاه) و هر گیرنده استفاده می‌کند.

با توجه به اینکه AERMOD به طور ویژه برای پشتیبانی از برنامه‌های نظارتی EPA طراحی شده است، این نرم‌افزار شامل طیف وسیعی از گزینه‌ها برای مدل‌سازی اثرات کیفیت هوا ناشی از منابع آلودگی است. لذا به غیر از تنظیمات مرتبط با نوع داده‌های ورودی هواشناسی و داده‌های جغرافیایی، از تنظیمات پیش‌فرض نرم‌افزار در مدل‌سازی استفاده شده است. در انجام مدل‌سازی

جهانی^۱ در ناحیه S ۳۸، در محل ۵۹۶۴۰۱ متر شرقی و ۴۲۰۷۳۷۸ متر شمالی با ارتفاع ۱۳۶۲ متر از سطح دریا و در زمینی به مساحت ۱/۹ کیلومتر مربع قرار دارد. ظرفیت تولید اسمی دو واحد بخار این نیروگاه در مجموع ۷۰۰ مگاوات است. در جدول (۱) مشخصات دو دودکش این نیروگاه و نرخ گازهای منتشر شده از آن‌ها آورده شده است (۴۰). اطلاعات مربوط به گازهای خروجی نیروگاه به صورت غلظت حجمی بر مبنای قسمت در میلیون^۲ از مرجع شماره (۴۰) اخذ شده‌اند و با استفاده از جرم مولی هر گاز و رابطه گازهای ایده‌آل مابین فشار و دما، به غلظت جرمی بر مبنای گرم بر مترمکعب تبدیل شده‌اند. سپس با استفاده از سرعت گازهای خروجی و سطح مقطع دودکش، دبی گازهای خروجی محاسبه و میزان انتشار آلاینده‌ها بر حسب گرم بر ثانیه محاسبه شده است (جدول ۱). در این پژوهش نیروگاه حرارتی تبریز به صورت منبع انتشار نقطه‌ای در منطقه‌ای مربع شکل به ضلع ۴۴/۸۵ کیلومتر که شامل ۹۰۰۰۰ گیرنده^۳ (با آرایش متعامد ۳۰۰ در ۳۰۰ با فاصله ۱۵۰ متر از همدیگر) است، مدل‌سازی گردیده است.

جهت مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها علاوه بر اطلاعات منبع آلاینده‌گی، به عوارض زمینی و اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه نیز نیاز است. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز شامل سرعت و جهت باد، دمای حباب خشک^۴ (دمای اندازه‌گیری شده با دماسنجی که به دور از رطوبت و تابش مستقیم نور خورشید، در معرض هوا قرار گرفته باشد)، رطوبت، فشار، میزان پوشش ابری و میزان بارندگی است. همان‌طور که گفته شد، پردازش داده‌های هواشناسی در نرم‌افزار AERMOD توسط پیش‌پردازنده

5. Albedo

6. Bowen Ratio

7. Surface Roughness

8. Atmospheric Boundary Layer (ABL) or Planetary Boundary Layer (PBL)

9. Monin-Obukhov

10. World Geodetic System 1984

1. Universal Transverse Mercator (UTM)

2. Parts Per Million (ppm)

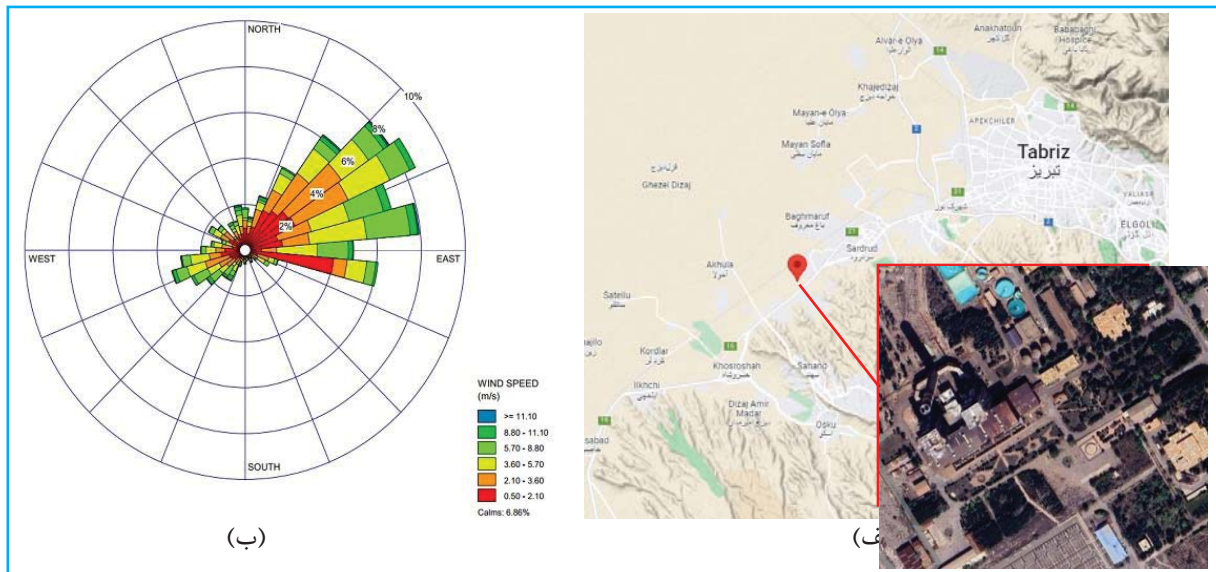
3. Receptor

4. Dry Bulb Temperature

بازه زمانی ۱ دی ماه سال ۱۴۰۰ تا ۱ دی ماه سال ۱۴۰۱ استفاده شده است. این داده‌ها در بازه‌های ۳ ساعته برای سرعت و جهت باد، دما، رطوبت، فشار، میزان پوشش ابری و میزان بارندگی برای تمام روزها در یک فایل جمع‌آوری و در پیش‌پردازنده AERMET تحلیل می‌شوند. با رسم گلباد وزش باد در این مدت زمان ۱ ساله توسط پیش‌پردازنده AERMET (شکل ۱-ب) و بررسی سرعت و جهت باد، مشاهده می‌گردد که جهت باد غالب از سمت شمال شرقی به سمت جنوب غربی است.

فرض‌های استقلال از زمان، عدم برهمکنش بین منابع مختلف انتشار آلاینده‌گی و کاهش غلظت آلودگی تحت عواملی نظیر فعل و انفعالات شیمیایی، جذب و یا ته‌نشینی در محدوده بررسی لحاظ گردیده است. همچنین، نمایش نتایج غلظت محاسبه شده برای آلاینده‌های مختلف در هر یک از گیرنده‌های تعیین شده به صورت مقدار حداکثر غلظت در معیارهای ۱، ۳، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه انجام شده است.

در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه سینوپتیکی هواشناسی شهر تبریز که از طریق سازمان هواشناسی ایران تهیه شده است، در



شکل ۱. الف-موقعیت قرارگیری دودکش نیروگاه حرارتی تبریز نسبت به مناطق مسکونی و ارتفاعات مجاور آن، ب- گلباد طی سال مورد بررسی

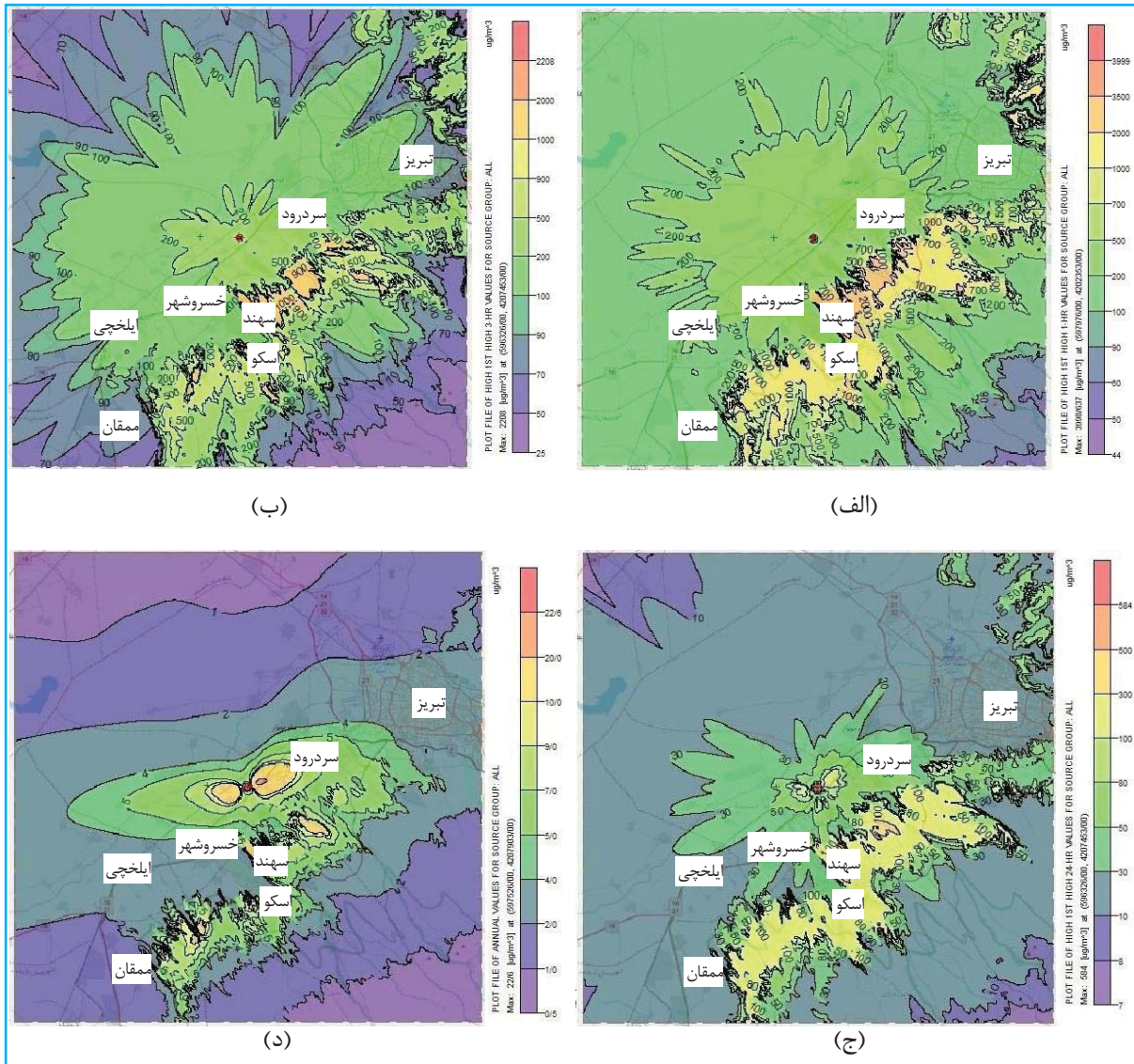
یافته‌ها

گیرنده در طول ۱ سال مورد بررسی است. استاندارد کیفیت هوای آزاد در ایران (۴۳)، حدود مجاز برای حداکثر غلظت گازهای دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن را در بازه‌های زمانی مختلف سنجش، تعیین کرده است؛ که برای دی‌اکسید گوگرد برابر ۱۹۶ میکروگرم در مترمکعب در معیار ۱ ساعته و ۳۹۵ میکروگرم در مترمکعب در معیار ۲۴ ساعته است و برای دی‌اکسید نیتروژن برابر ۲۰۰ میکروگرم در مترمکعب در معیار ۱ ساعته و ۱۰۰ میکروگرم در مترمکعب در معیار میانگین

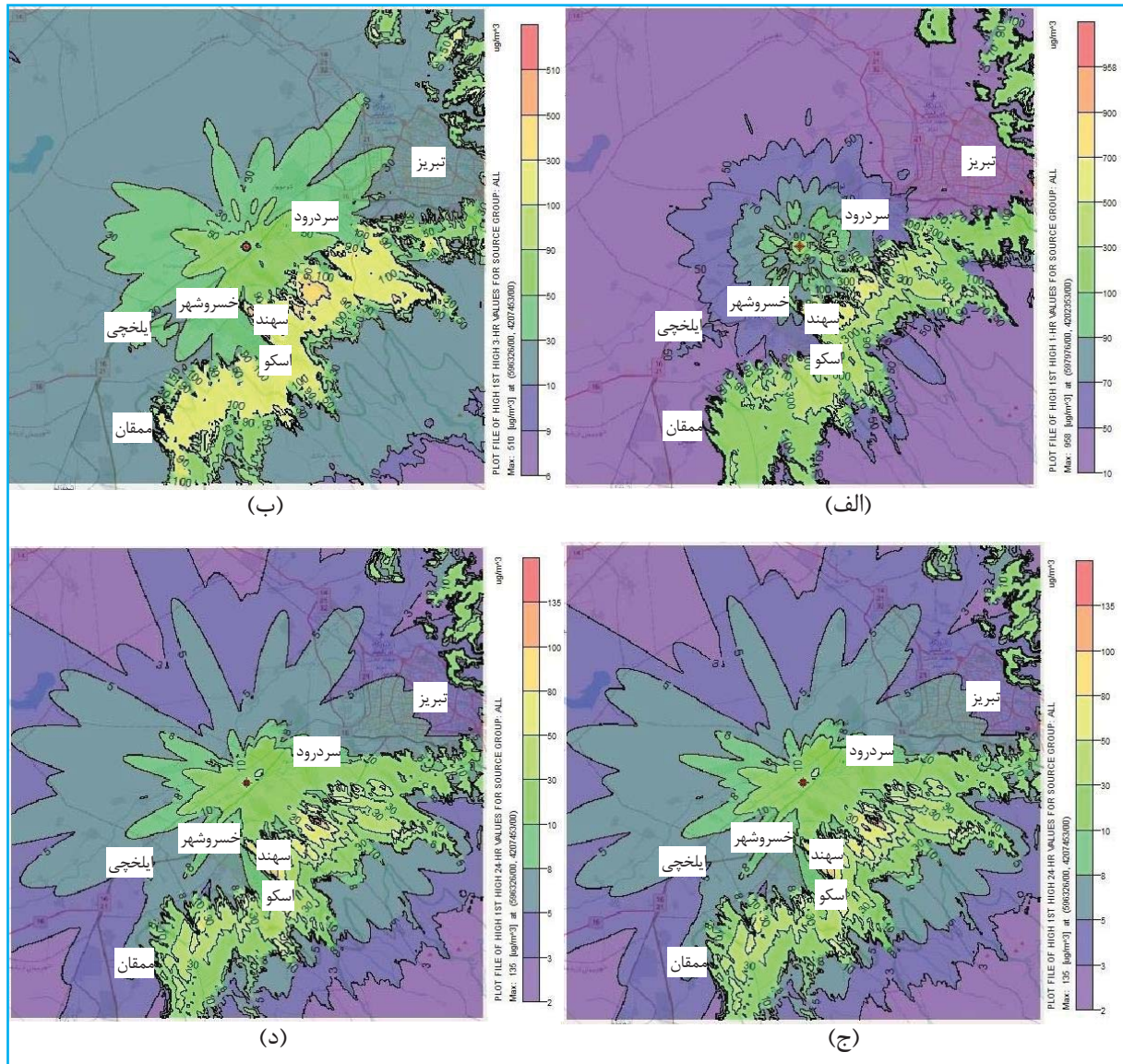
نتایج مدل‌سازی پخش آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در این شکل‌ها، میزان حداکثر غلظت آلاینده در مناطق اطراف نیروگاه حرارتی تبریز برای بازه ۱ ساله مورد بررسی، بر اساس معیارهای حداکثر غلظت ۱ ساعته، ۳ ساعته و ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب در قسمت‌های الف، ب، ج و د مربوط به هر یک از شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده است. برای مثال، منظور از حداکثر غلظت ۱ ساعته، حداکثر غلظت میانگین ۱ ساعته، برای هر

میکروگرم در مترمکعب در معیار ۱ ساعته، ۲۵ میکروگرم بر مترمکعب در معیار ۲۴ ساعته و ۱۰ میکروگرم در مترمکعب در معیار میانگین سالانه را در نظر گرفته است (۴۴).

سالانه است (۴۳). از طرفی، سازمان بهداشت جهانی^۱ (۴۴) نیز برای دی‌اکسید گوگرد حد مجاز ۴۰ میکروگرم بر مترمکعب در معیار ۲۴ ساعته و برای دی‌اکسید نیتروژن حدود مجاز ۲۰۰



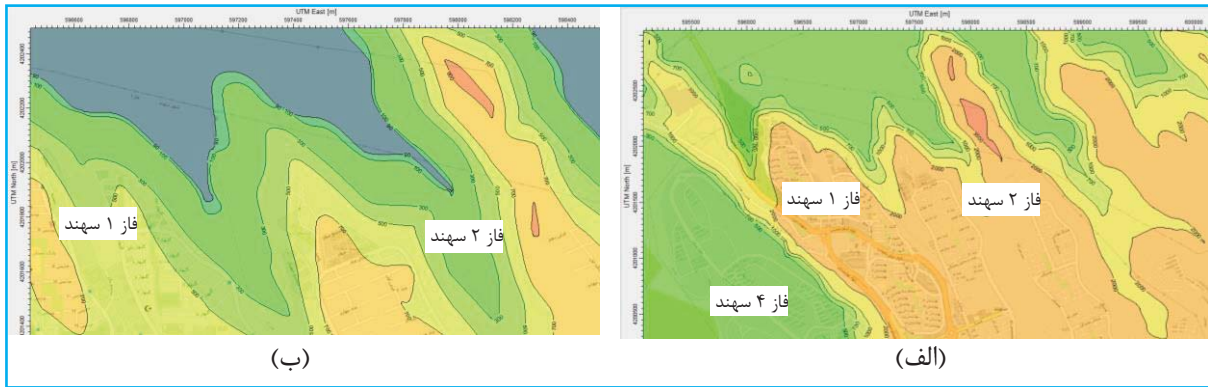
شکل ۲: غلظت گاز دی‌اکسید گوگرد در معیارهای: الف- ۱ ساعته، ب- ۳ ساعته، ج- ۲۴ ساعته و د- میانگین سالانه



شکل ۳. غلظت گاز دی‌اکسید نیتروژن در معیارهای: الف- ۱ ساعت، ب- ۳ ساعت، ج- ۲۴ ساعت، و د- میانگین سالانه

مناطق غیرمسکونی در مجاورت شهر سهند واقع هستند. با توجه به این نتایج در معیار ۱ ساعت، حداکثر غلظت دی‌اکسید گوگرد حدوداً ۲۰ برابر مقدار حد مجاز استاندارد ایران و حداکثر غلظت دی‌اکسید نیتروژن حدوداً ۵ برابر حدود مجاز استاندارد ایران و سازمان بهداشت جهانی است.

با توجه به نتایج مدل‌سازی، بیشترین غلظت دی‌اکسید گوگرد در معیار ۱ ساعت برابر با ۳۹۹۸ میکروگرم بر مترمکعب در فاصله ۳/۳۵ کیلومتری از منبع (شکل ۴-الف) است و بیشترین غلظت دی‌اکسید نیتروژن ۹۵۷ میکروگرم بر مترمکعب در فاصله ۵/۳۲ کیلومتری از منبع (شکل ۴-ب) هست که هر دو نقطه در



شکل ۴. محل وقوع بیشینه غلظت آلاینده‌ها (در مجاورت شهر سهند) در معیار ۱ ساعته: الف-دی‌اکسید گوگرد، ب-دی‌اکسید نیتروژن

بحث

در ابتدا، میزان غلظت به دست آمده برای آلاینده‌های منتشر شده از نیروگاه حرارتی تبریز برای نواحی پرجمعیت مسکونی مجاور نیروگاه حرارتی تبریز بحث و با مقادیر حدود مجاز معیارهای مختلف در استانداردهای ایران و سازمان بهداشت جهانی (در صورت وجود) مقایسه شده است.

معیار ۱ ساعته

با توجه به توزیع‌های به دست آمده برای انتشار گازهای آلاینده دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن در این معیار (به ترتیب در شکل ۲-الف و شکل ۳-الف)، مشاهده می‌گردد در نواحی مسکونی اکثر شهرهای مجاور نیروگاه (تبریز، ممقان، اسکو، سردرود، ایلیخچی و خسروشهر، به جز سهند)، حداکثر غلظت دی‌اکسید نیتروژن کمتر از ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب (حد مجاز استانداردهای ایران و سازمان بهداشت جهانی) است. در نواحی مسکونی شهر سهند، حداکثر غلظت دی‌اکسید نیتروژن در معیار ۱ ساعته از ۴۰۰ تا ۸۰۰ میکروگرم بر مترمکعب تغییر می‌کند که ۲ تا ۴ برابر حدود مجاز است. حداکثر غلظت دی‌اکسید گوگرد نیز فقط در شهرهای تبریز و ممقان کمتر از ۱۹۶ میکروگرم بر مترمکعب (حد مجاز استاندارد ایران) است و در شهرهای خسروشهر، سردرود و ایلیخچی تا ۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش می‌یابد. حداکثر غلظت دی‌اکسید گوگرد در شهر اسکو تا ۲۰۰۰ میکروگرم بر مترمکعب و در شهر سهند تا ۳۵۰۰ میکروگرم

بر مترمکعب می‌رسد که بسیار بالاتر از حد مجاز است.

معیار ۳ ساعته

با بررسی نتایج به دست آمده در شکل ۲-ب و شکل ۳-ب، بیشترین مقدار غلظت دی‌اکسید گوگرد ۲۲۰۸ میکروگرم بر مترمکعب و بیشترین مقدار غلظت دی‌اکسید نیتروژن ۵۱۰ میکروگرم بر مترمکعب است که در داخل محوطه نیروگاه تبریز رخ می‌دهند. حداکثر غلظت دی‌اکسید نیتروژن در این معیار در نواحی مسکونی تمامی شهرها به جز سهند، زیر ۹۰ میکروگرم بر مترمکعب است و در شهر سهند تا ۴۸۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش می‌یابد. همچنین، حداکثر غلظت دی‌اکسید گوگرد در این معیار در نواحی مسکونی اکثر شهرهای پیرامونی نیروگاه (به جز شهر سهند)، زیر ۴۰۰ میکروگرم بر مترمکعب است و در شهر سهند تا ۲۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش می‌یابد.

معیار ۲۴ ساعته

نتایج توزیع غلظت ناشی از انتشار آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن در معیار ۲۴ ساعته به ترتیب در شکل ۲-ج و شکل ۳-ج آورده شده است. نتایج حاصل برای دی‌اکسید نیتروژن نشان می‌دهد که در اکثر شهرهای مجاور نیروگاه (به جز شهر سهند)، حداکثر غلظت پایین‌تر از حد مجاز سازمان بهداشت جهانی در این معیار (۲۵ میکروگرم بر مترمکعب) است و در شهر سهند غلظت تا ۱۱۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش می‌یابد.

معیار میانگین سالانه به ترتیب در شکل ۲-د و شکل ۳-د نشان داده شده است. مقایسه نتایج غلظت برای دی‌اکسید نیتروژن در معیار میانگین سالانه با حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) نیز نشان می‌دهد که غلظت این آلاینده برای تمامی شهرهای مجاور نیروگاه در محدوده مجاز است. همچنین، حداکثر غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد در تمامی شهرهای پیرامونی نیروگاه به جز سردرود و سهند، زیر ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب است و در شهرهای سردرود و سهند تا ۱۷ میکروگرم بر مترمکعب افزایش می‌یابد (جدول ۲).

همچنین، نتایج حاصل برای دی‌اکسید گوگرد بیان‌گر این است که غلظت این آلاینده در شهرهای تبریز، ممقان، ایلخچی و خسروشهر پایین‌تر از حد مجاز استانداردهای ایران و سازمان بهداشت جهانی است و در شهرهای سردرود و اسکو صرفاً پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ایران است. همچنین، حداکثر غلظت آلاینده دی‌اکسید گوگرد در شهر سهند، به ۴۷۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد که حدود ۲۰٪ بالاتر از حد مجاز در استاندارد ایران است.

معیار میانگین سالانه

توزیع غلظت آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن در

جدول ۲. خلاصه نتایج حداکثر غلظت آلاینده‌ها در معیارهای مختلف

نام آلاینده	معیار بررسی	غلظت حداکثر (میکروگرم بر مترمکعب)	محل وقوع حداکثر غلظت	زمان وقوع حداکثر غلظت (تاریخ - ساعت)	حد مجاز استاندارد ایران (میکروگرم بر مترمکعب)	حد مجاز استاندارد WHO (میکروگرم بر مترمکعب)
دی‌اکسید نیتروژن	۱ ساعته	۹۵۷	نواحی غیرمسکونی مجاور فاز ۲ شهر سهند	۱۸ مهر ۱۴۰۱ - ۱۸:۰۰	۲۰۰	۲۰۰
	۳ ساعته	۵۱۰	داخل محوطه نیروگاه تبریز	۲۸ بهمن ۱۴۰۰ - ۱۵:۰۰	-	-
میانگین سالانه	۲۴ ساعته	۱۳۵	داخل محوطه نیروگاه تبریز	۲۸ بهمن ۱۴۰۰	-	۲۵
	میانگین سالانه	۵/۲۱	شمال بزرگراه شفیق‌زاده جنب نیروگاه تبریز	-	۱۰۰	۱۰
دی‌اکسید گوگرد	۱ ساعته	۳۹۹۸	نواحی غیرمسکونی مجاور فاز ۲ شهر سهند	۱۸ مهر ۱۴۰۱ - ۱۸:۰۰	۱۹۶	-
	۳ ساعته	۲۲۰۸	داخل محوطه نیروگاه تبریز	۲۸ بهمن ۱۴۰۰ - ۱۵:۰۰	-	-
میانگین سالانه	۲۴ ساعته	۵۸۴	داخل محوطه نیروگاه تبریز	۲۸ بهمن ۱۴۰۰	۳۹۵	۴۰
	میانگین سالانه	۲۲/۶	شمال بزرگراه شفیق‌زاده جنب نیروگاه تبریز	-	-	-

صورت گرفته است. لذا، علی‌رغم یکسان بودن شرایط منبع انتشار، داده‌های هواشناسی شامل سرعت و جهت باد، دما، رطوبت، فشار، میزان پوشش ابری و میزان بارندگی در بازه‌های زمانی مورد بررسی متفاوت هستند. چنانچه گلباد رسم شده (شکل ۱) برای بازه ۱ سال مورد بررسی در پژوهش جاری نشان می‌دهد که جهت باد غالب از سمت شمال‌شرقی به سمت جنوب‌غربی است، ولی در پژوهش پیشین (۴۰) باد غالب برای بازه ۳ ماهه از سمت جنوب‌شرقی به سمت شمال‌غربی است. تفاوت نرم‌افزارهای مورد مطالعه از دیگر دلایل اختلاف نتایج دو پژوهش می‌تواند باشد. نرم‌افزارهای AERMOD و ISCST3 از الگوریتم‌های متفاوتی برای انجام محاسبات انتشار آلاینده‌ها استفاده می‌کنند که می‌تواند در شرایط

در نهایت، به مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش که برای اولین بار از نرم‌افزار AERMOD برای تحلیل نحوه انتشار آلاینده‌های خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز استفاده کرده است، با نتایج تنها پژوهش پیشین روی این نیروگاه که با استفاده از نرم‌افزار ISCST3 انجام شده است (۴۰)، پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که هر دو پژوهش با داده‌های یکسان انتشار آلاینده‌ها (نرخ انتشار آلاینده، دما و سرعت گازهای خروجی دودکش، و مکان، ارتفاع و قطر دودکش) ولی در بازه‌های زمانی مختلف انجام شده‌اند. پژوهش پیشین با استفاده از داده‌های هواشناسی ۳ ماه زمستان سال ۱۳۹۲ انجام شده است و پژوهش جاری با استفاده از داده‌های هواشناسی یک سال منتهی به ۱ دی‌ماه سال ۱۴۰۱

نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از نرم افزار AERMOD، نحوه انتشار دی اکسید نیتروژن و دی اکسید گوگرد خروجی از نیروگاه حرارتی تبریز در مناطق اطراف آن شبیه سازی شد. نتایج این پژوهش نشان می دهد که سلامت ساکنین برخی از شهرهای اطراف نیروگاه حرارتی تبریز با توجه به شرایط جوی حاکم در مدت زمان مورد مطالعه می تواند توسط آلاینده های خروجی از نیروگاه در تهدید باشد. از این رو لازم است با تدابیری نظیر کاهش توان تولیدی نیروگاه یا تغییر نوع سوخت آن در برخی از شرایط جوی، از ایجاد چنین شرایطی جلوگیری نمود. همچنین، به عنوان پژوهش های آتی پیشنهاد می شود که انتشار گازهای آلاینده از مجموعه صنایع موجود در مناطق غربی کلان شهر تبریز به صورت یکپارچه بررسی و تحلیل شوند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده ها و داده سازی را در این مقاله رعایت کرده اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد، وارد می کنند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری سازمان هواشناسی ایران جهت تأمین داده های لازم جهت مدل سازی انجام گرفته در این مقاله کمال تقدیر و تشکر را دارند.

مختلف جوی منجر به اختلاف قابل توجه میان نتایج دو نرم افزار گردد (۴۵).

در پژوهش پیشین با نرم افزار ISCST3، بیشترین میزان آلاینده دی اکسید گوگرد در معیارهای ۳ ساعته، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب برابر با ۶۳۰، ۱۵۰ و ۹ میکروگرم بر مترمکعب است، و بیشترین میزان آلاینده دی اکسید نیتروژن در معیارهای ۳ ساعته، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب ۸۳، ۲۲ و ۱/۸ میکروگرم بر مترمکعب است که همگی در فاصله ۲/۵ کیلومتری از منبع رخ می دهند. در پژوهش جاری با نرم افزار AERMOD، بیشترین میزان آلاینده دی اکسید گوگرد در معیار ۳ ساعته، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب برابر با ۵۸۴، ۲۲/۶ و ۲۲ میکروگرم بر مترمکعب، و بیشترین میزان آلاینده دی اکسید نیتروژن در معیار ۳ ساعته، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب برابر با ۱۳۵، ۵۱۰ و ۵/۲۱ میکروگرم بر مترمکعب در فواصل ۰/۰۶ تا ۱/۲۵ کیلومتری محاسبه شده اند.

لازم به ذکر است که به دلیل تجمع و تعدد منابع مختلف آلاینده هوا در سمت غرب کلان شهر تبریز نظیر نیروگاه حرارتی، پالایشگاه، پتروشیمی، شهرک های صنعتی، تراکتورسازی، ماشین سازی، ایستگاه راه آهن و فرودگاه بین المللی، داده های اندازه گیری شده توسط ایستگاه های سنجش کیفیت هوا نشان گر برآیند تمام منابع با ماهیت های ثابت و متغیر خواهند بود و نمی توان از آن ها برای مقایسه نتایج استفاده کرد.

References

1. Abdi A, Abessi O, Khavasi E. Numerical modeling for transport and distribution of carbon monoxide plume in indoor spaces and stagnant environment. Journal of Research in Environmental Health 2022; 8(3): 233-48 (Persian).
2. Aleahmad M, Karbassi A, Davami AH, et al. A feasibility study of using Mahshahr city's meteorological and air quality data to evaluate air pollution. Journal of Research in Environmental Health 2022; 8(2): 148-59 (Persian).
3. Asaei-Moamam Z, Safi-Esfahani F, Mirjalili S, et al. Air quality particulate-pollution prediction applying GAN network and the neural Turing machine. Applied Soft Computing 2023; 110723. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110723>
4. Zarei A, Zarei S, Kakapor V, et al. Prediction of daily PM2.5 concentration using support vector training combination (SVM) - adaptive and principal component analysis (PCA). Journal of Research in Environmental Health 2023; 9(1): 108-21 (Persian).
5. Snoun H, Krichen M, Chérif H. A comprehensive review of Gaussian atmospheric dispersion models: current usage and future perspectives. Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration 2023; 8(1): 219-242. <https://doi.org/10.1007/s41207-023-00354-6>

6. Leelőssy Á, Molnár F, Izsák F, et al. Dispersion modeling of air pollutants in the atmosphere: a review. *Open Geosciences* 2014; 6(3): 257-78. <https://doi.org/10.2478/s13533-012-0188-6>
7. Cimorelli AJ, Perry SG, Venkatram A, et al. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization. *Journal of Applied Meteorology* 2005; 44(5): 682-93. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
8. Khazini L, Jamshidi-Kalajahi M, Qiame-Giashi K, et al. Investigation of Emission and Dispersion of PM2.5 Pollutant Emitted from BRT Buses in Tabriz City. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 2021; 50.4(101): 33-43 (Persian).
9. Khazini L, Jamshidi-Kalajahi M, Blond N. Investigation of Emissions and Dispersion of Pollutants from Cars in Tabriz City. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 2019; 49.3(96): 23-34 (Persian).
10. Francisco DM, Heist DK, Venkatram A, et al. Observations and parameterization of the effects of barrier height and source-to-barrier distance on concentrations downwind of a roadway. *Atmospheric Pollution Research* 2022; 13(4): 101385. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101385> PMID:35450153 PMCID:PMC9016629
11. Munjal A, Sharma S, Nema AK, et al. Factors affecting particulate matter levels near highway toll plazas in India. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2022; 110: 103403. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103403>
12. Irankunda E, Török Z, Mereuță A, et al. The comparison between in-situ monitored data and modelled results of nitrogen dioxide (NO2): case-study, road networks of Kigali city, Rwanda. *Heliyon* 2022; 8(12): e12390. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12390> PMID:36590563 PMCID:PMC9800557
13. Ghorbani H, Talebi AF. Dispersion modeling of NOx and SO2 pollutions using AERMOD model (Case study of Shahid Salimi power plant, Neka). *Journal of Environmental Science Studies*. 2023; 8(2): 6647-61 (Persian).
14. Momeni I, Danehkar A, Karimi S, et al. Dispersion modelling of SO2 pollution Emitted from Ramin Ahwaz power plant using AERMOD model. *Human & Environment* 2011; 9(3): 3-8 (Persian).
15. Esmaeilzadeh M, Bazrafshan E, Nasrabadi M. Dispersion Modeling of NOx and SO2 Emissions from Tous Gas Power Plant, Mashhad. *Iranian Journal of Health and Environment* 2013; 6(1): 77-90 (Persian).
16. Atabi F, Jafarigol F, Momeni M, et al. Dispersion Modeling of CO with AERMOD in South Pars fourth Gas Refinery. *Journal of Environmental Health Engineering* 2014; 1(4): 281-92 (Persian).
17. Rahimi R, Mansouri N, Alsheikh AA, et al. Evaluation of amount, emission factors and concentrations of SO2, NO2 and CO in ILAM Gas Refinery. *Journal of Environmental Science and Technology* 2021; 23(3): 71-85 (Persian).
18. Zoroufchi-Benis K, Fatehifar E, Ahmadi J, et al. Simulation of Pollution Distribution around the Tabriz Oil Refining Company by using ISCST Model. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 2015; 44.4(77): 99-106 (Persian).
19. Jamshidi-Angas M, Jozi SA, Hejazi R, et al. The Survey of CO Distribution from the Oil Refinery Stacks Using AERMOD Dispersion Model. *International Journal of Occupational Hygiene* 2015; 13(1).
20. Keykhosravi SS, Nejadkoorki F, Zamani S. Developing a Risk Assessment Model for Respiratory Exposure to Toxic Chemical pollutants in one of gas refineries in South Pars using a Combination of AERMOD and SQRA Methods. *J-Health-Saf-Work* 2023; 13(1): 109-28 (Persian).
21. Jafarigol F, Atabi F, Momeni M. The Survey of NOx Distribution Using Dispersion Models AERMOD and CALPUFF at a Gas Refinery. *Journal of Environmental Health Engineering* 2016; 3(3): 193-205 (Persian). <https://doi.org/10.18869/acadpub.jehe.3.3.193>
22. Hallaji H, Bohloul MR, Peyghambarzadeh SM, et al. Measurement of air pollutants concentrations from stacks of petrochemical company and dispersion modeling by AERMOD coupled with WRF model. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2023; 20(7): 7217-7236. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04959-w>
23. Karimi S, Asghari M, Rabie R, et al. Machine learning-based white-box prediction and correlation analysis of air pollutants in proximity to industrial zones. *Process Safety and Environmental Protection* 2023; 178: 1009-1025. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.096>
24. Asadollahfardi G, Delnavaz M, Khajoo'e A. SO2 dispersion mathematical simulation of flare combustion, case study: Aboozar oil and gas platform in Kharg Island. *Modares Civil Engineering journal* 2016; 16(2): 9-20 (Persian).
25. Noorpoor A, Kazemi Shahabi N. Dispersion Modeling of Air Pollutants from the Ilam Cement Factory Stack. *Journal of Civil and Environmental Engineering* 2014; 44.1(74): 107-16 (Persian).
26. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, kuchakzadeh M, et al. Dispersion and Health Risk Assessment of PM10 Emitted from the Stacks of a Ceramic and Tile industry in Ardakan, Yazd, Iran, Using the AERMOD Model. *Iranian South Medical Journal* 2019; 22(5): 317-32 (Persian). <https://doi.org/10.29252/ismj.22.5.317>
27. Bajoghli M, Abari M, Radnezhad H. Dispersion Modeling of Total Suspended Particles (TSP) Emitted from a Steel Plant at Different Time Scales Using AERMOD View. *Journal of*

- Earth, Environment and Health Sciences 2016; 2(2): 77-82. <https://doi.org/10.4103/2423-7752.191399>
28. Pandey G, Venkatram A, Arunachalam S. Evaluating AERMOD with measurements from a major U.S. airport located on a shoreline. *Atmospheric Environment* 2023; 294: 119506. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119506>
 29. Haq Au, Nadeem Q, Farooq A, et al. Assessment of AERMOD modeling system for application in complex terrain in Pakistan. *Atmospheric Pollution Research* 2019; 10(5): 1492-1497. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2019.04.006>
 30. Moreno-Silva C, Calvo DC, Torres N, et al. Hydrogen sulphide emissions and dispersion modelling from a wastewater reservoir using flux chamber measurements and AERMOD® simulations. *Atmospheric Environment* 2020; 224: 117263. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117263>
 31. Li R, Han Z, Shen H, et al. Volatile sulfur compound emissions and health risk assessment from an A2/O wastewater treatment plant. *Science of The Total Environment* 2021; 794: 148741. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148741> PMID:34323741
 32. Huang D, Guo H. Performance of AERMOD for predicting livestock odour dispersion under Canadian Prairies climate and flat terrain. *Biosystems Engineering* 2023; 226: 223-237. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2023.01.015>
 33. Yang Z, Evans MN, Buser MD, et al. Improving modeling of low-altitude particulate matter emission and dispersion: A cotton gin case study. *Journal of Environmental Sciences* 2023; 133: 8-22. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2022.03.048> PMID:37451791
 34. Mott A, Guo H. Odour dispersion modelling, impact criteria, and setback distances for an oil refinery plant. *Atmospheric Environment* 2022; 270: 118879. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118879>
 35. Mendoza-Lara OO, Ortega-Montoya CY, Prieto Hinojosa AI, et al. An empirical and modelling approach to the evaluation of cruise ships' influence on air quality: The case of La Paz, Mexico. *Science of The Total Environment* 2023; 886: 163855. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163855> PMID:37142024
 36. Zeng W, Wan X, Gu G, et al. An interpolation method incorporating the pollution diffusion characteristics for soil heavy metals - taking a coke plant as an example. *Science of The Total Environment* 2023; 857: 159698. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159698> PMID:36309258
 37. Zhang H, Gao J, Bai Y, et al. Delimiting radiation protection distance of underground uranium mining and metallurgy facilities: A case study in China. *Heliyon* 2022; 8(12): e12419. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12419> PMID:36590546 PMID:PMC9800555
 38. Lolila F, Mazunga MS. Measurements of natural radioactivity and evaluation of radiation hazard indices in soils around the Manyoni uranium deposit in Tanzania. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 2023; 16(1): 100524. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100524>
 39. Ghaemi far S, Aghaie M, Minuchehr A, et al. Evaluation of atmospheric dispersion of radioactive materials in a severe accident of the BNPP based on Gaussian model. *Progress in Nuclear Energy* 2019; 113: 114-27. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2019.01.019>
 40. Ahmadi J, Kahforoshan D, Zoroufchi-Benis K, et al. Modeling air pollution distribution using ISCST3 model around Tabriz thermal power plant. *Iranian Chemical Engineering Journal*. 2015; 14(81): 48-56 (Persian).
 41. U.S. Environmental Protection Agency. Air Quality Dispersion Modeling - Preferred and Recommended Models United States. 2023; [9 screens] Available at: URL: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-preferred-and-recommended-models>. Accessed 1 January 2024.
 42. U.S. Environmental Protection Agency. AERMOD Model Formulation. Research Triangle Park, NC: Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division; 2023.
 43. Department of Environment. Ambient Air Quality Standard. 2017; [1 screens] Available at: URL: <https://nacc.doe.ir/portal/file/?738087/%D8%A7%D8%B3%D8%AA%D8%A7%D9%86%D8%AF%D8%A7%D8%B1-%DA%A9%D9%8A%D9%81%D9%8A%D8%AA-%D9%87%D9%88%D8%A7%D9%8A-%D8%A2%D8%B2%D8%A7%D8%AF.pdf> (Persian). Accessed 1 January 2024.
 44. World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.
 45. Faulkner WB, Shaw BW, Grosch T. Sensitivity of Two Dispersion Models (AERMOD and ISCST3) to Input Parameters for a Rural Ground-Level Area Source. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2008; 58(10): 1288-1296. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.10.1288>