

# 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. *Journal of Research in Environmental Health*. Winter 2024; 9(4): 374-386.

## مدل سازی پراکندگی گازهای آلاینده خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز با نرم افزار 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، مدل سازی نحوه انتشار گازهای آلاینده خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز به منظور تعیین غلظت این آلاینده ها در مناطق مجاور نیروگاه است. **مواد و روش ها:** در این پژوهش، مدل سازی انتشار گازهای آلاینده ناشی از فعالیت نیروگاه حرارتی تبریز با نرم افزار AERMOD انجام شده است تا غلظت گازهای دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن در مناطق پیرامونی و شهرستان های هم جوار در منطقه ای مربعی شکل به ضلع ۴۴/۸۵ کیلومتر بررسی شود. داده های استفاده شده در این مدل سازی شامل اطلاعات هواشناسی یک ساله، اطلاعات منبع انتشار آلاینده ها، و اطلاعات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه هستند. در این مدل سازی، 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. **یافته ها:** نتایج محاسبات نشان می دهد که حداکثر غلظت آلاینده دی اکسید 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 دی اکسید گوگرد در معیارهای ۱، ۳، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب برابر با ۳۹۹۸، ۲۲۰۸، ۵۸۴ و ۲۲/۶ میکروگرم بر مترمکعب است. **نتیجه گیری:** مقایسه نتایج با حدود مجاز در استانداردهای محیط زیستی نشان می دهد که حداکثر غلظت آلاینده های دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن در برخی از نواحی پرجمعیت مسکونی مجاور نیروگاه بالاتر از حد مجاز در برخی از معیارها هستند و این آلاینده ها می توانند سلامت ساکنین اطراف این نیروگاه را در مخاطره قرار دهند.

**کلید واژه ها:** آلاینده هوا، دی اکسید گوگرد، دی اکسید نیتروژن، شبیه سازی محاسباتی، نیروگاه.

## مقدمه

مدل سازی انتشار آلاینده های جوی، ابزاری مهم و ضروری در بررسی شرایط محیط زیستی و توزیع مقدار آلاینده های مضر برای سلامت انسان و محیط زیست است. با دانش فنی کنونی بشری، امکان به صفر رساندن انتشار آلاینده های صنعتی وجود ندارد. بنابراین چنانچه مواد آلوده کننده ناشی از فعالیت های نیروگاهی و میزان اثرگذاری هر یک از این مواد در آلوده کردن محیط زیست شناسایی نشود، سلامت شهروندان با مخاطرات جدی مواجه می گردد. پژوهش های زیادی نشان داده است که آلودگی هوا می تواند اثرات قابل توجهی در سلامت عمومی افراد داشته باشد. حدود ۶ درصد از آمار مرگ و میر سالیانه جهان به علت مرگ زودرس ناشی از آلودگی هوا و در ایران حدود ۱۰ درصد از مرگ و میرها ناشی از عواقب آلودگی هوا است (۱). تخمین مقدار و تعیین نحوه پراکندگی آلاینده های هوا از منابع مختلف، اولین گام برای کنترل شرایط محیط زیست و ارتقای سلامت افراد است. اندازه گیری های تجربی آلودگی هوا، اطلاعات مهمی از انواع آلاینده های موجود در هوای هر منطقه و میزان غلظت هر یک از آلاینده ها را ارائه می دهند (۲)، اما این روش فقط می تواند کیفیت هوا را در مکان ها و زمان های اندازه گیری شده، توصیف کند و توانایی تعمیم پذیری برای سایر نقاط به خصوص در عوارض پیچیده زمین را ندارند. از طرفی، برای اندازه گیری و یافتن محل حداکثر مقدار آلاینده ها در طی انتشار در یک منطقه، نیاز است تا به صورت آزمون و خطا و با صرف زمان و هزینه زیاد، اندازه گیری ها به دفعات در مکان ها و زمان های مختلف انجام شود. البته با استفاده از روش های مبتنی بر داده ها<sup>۱</sup> نظیر شبکه های عصبی مصنوعی (۳)، ماشین بردار پشتیبان<sup>۲</sup> (۴) و ... و با داشتن داده های محدود اندازه گیری شده، می توان تخمینی از مقادیر آلاینده ها در سایر نقاط یا زمان های آتی را به دست آورد. ولی استفاده از این تخمین ها به علت وجود عوامل متعدد مؤثر بر توزیع آلاینده ها، همواره با عدم قطعیت هایی همراه است و به همین دلیل

عموماً در بررسی های نظارتی سازمان های محیط زیستی از این روش ها استفاده نمی شود. در مقابل، مدل سازی انتشار آلاینده های هوا که یک روش مبتنی بر مدل<sup>۳</sup> برای توصیف رابطه بین انتشار منابع آلاینده، داده های هواشناسی، و جغرافیای منطقه است، می تواند توصیف قطعی تر و کامل تری از این پدیده ارائه دهد. با داشتن یک مدل ریاضی از انتشار آلاینده ها، می توان راهنمایی های دقیق تری در مورد اجرای اقدامات کنترلی را ارائه کرد و اثربخشی استراتژی های مختلف کاهش آلاینده ها را تعیین نمود.

مدل گاوسی<sup>۴</sup> یکی از قدیمی ترین روش های مدل سازی پراکندگی آلاینده های جوی است که همچنان در مقایسه با سایر روش ها نظیر مدل های اویلری<sup>۵</sup> و لاگرانژی<sup>۶</sup>، پرکاربردترین و پذیرفته شده ترین روش محاسباتی برای تعیین غلظت یک آلاینده در یک نقطه خاص است (۵ و ۶). از مدل های گاوسی می توان برای مدل سازی منابع نقطه ای انتشار آلاینده ها نظیر دودکش های نیروگاهی و پالایشگاهی استفاده کرد. همچنین، قابلیت توسعه روابط حاکم بر مدل های گاوسی برای منابع خطی (نظیر جاده ها) و منابع منطقه ای (نظیر آتش سوزی مراتع و جنگل ها) نیز وجود دارد. اطلاعات مربوط به منابع آلاینده از جمله نرخ نشر جرمی مواد، سرعت و دمای گازهای خروجی، و ارتفاع انتشار، به همراه داده های هواشناسی نظیر سرعت و جهت باد، دمای هوای محیط، و سایر پارامترهای تعیین کلاس پایداری هوا، برای استفاده از مدل گاوسی مورد نیاز هستند (۵).

AERMOD<sup>۷</sup>، یک نرم افزار مدل سازی انتشار آلاینده گی بر پایه ستون گاوسی حالت پایدار است و برای انتقال گونه های ساطع شده در یک میدان باد استفاده می شود (۷). از این نرم افزار علاوه بر مدل سازی منابع نقطه ای، می توان برای مدل سازی منابع

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 سه‌پند (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 مدل سازی دقیق انتشار آلاینده‌ها از نیروگاه حرارتی تبریز احساس شود. از این رو در این مقاله با مدل سازی 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، سهند، 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 ISCST<sup>۳</sup> (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 ISCST<sup>۳</sup> در ارزیابی‌های محیط زیستی آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده<sup>۲</sup> 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 مدل سازی پراکندگی آلاینده‌ها با مدل گاوسی بر عهده دارند. در ایران، از AERMOD به صورت گسترده جهت مدل سازی پراکندگی آلاینده‌های منتشر شده از فعالیت‌های صنعتی نظیر نیروگاه‌ها (۱۳-۱۵)، پالایشگاه‌های نفت و گاز (۱۶-۲۳)، سکوها 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 مدل سازی 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 مدل سازی 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 مدل سازی 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

| ارتفاع دودکش<br>(متر) | قطر دودکش<br>(متر) | دمای گاز خروجی<br>(درجه سلسیوس) | سرعت گازهای خروجی<br>(متر بر ثانیه) | دی‌اکسید نیتروژن<br>(گرم بر ثانیه) | دی‌اکسید گوگرد<br>(گرم بر ثانیه) |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| ۱۲۰                   | ۵                  | ۱۶۷                             | ۳۲/۶                                | ۳۵۴/۶                              | ۷۰۱/۳                            |
|                       |                    |                                 |                                     | واحد ۱                             | واحد ۲                           |
|                       |                    |                                 |                                     | واحد ۲                             | واحد ۱                           |
|                       |                    |                                 |                                     | ۱۵۴/۰                              | ۱۴۴۶/۷                           |

AERMAT انجام می‌گردد.

AERMAT از داده‌های هواشناسی به همراه ویژگی‌های سطح زمین، برای محاسبه پارامترهای میانی نظیر سپیدایی<sup>۵</sup>، نسبت بوون<sup>۶</sup> و زبری سطح<sup>۷</sup> برای هر یک از گیرنده‌ها استفاده می‌کند. مقدار متوسط سپیدایی، 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<sup>۸</sup> نظیر: سرعت اصطکاکی، طول مونین-اوبوخوف<sup>۹</sup>، 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 ( $\sigma_v$ ،  $\sigma_w$ )، گرادیان دمای پتانسیل ( $d\theta/dz$ )، و دمای پتانسیل ( $\theta$ ) در AERMOD استفاده می‌شوند (۴۲). همچنین، پیش‌پردازنده AERMAP، از داده‌های ارتفاعی WGS84<sup>۱۰</sup> 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<sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> 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<sup>۳</sup> (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<sup>۴</sup> (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

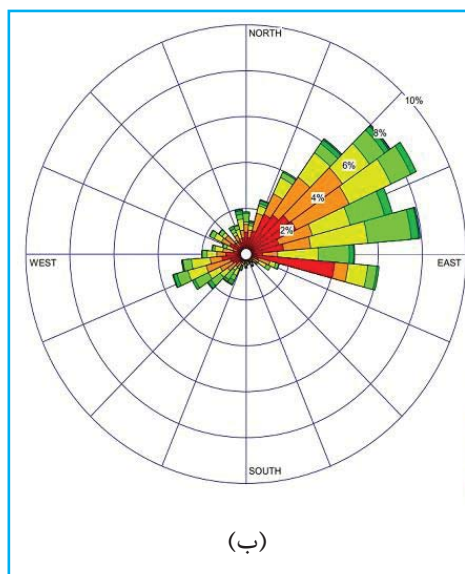
1. Universal Transverse Mercator (UTM)

2. Parts Per Million (ppm)

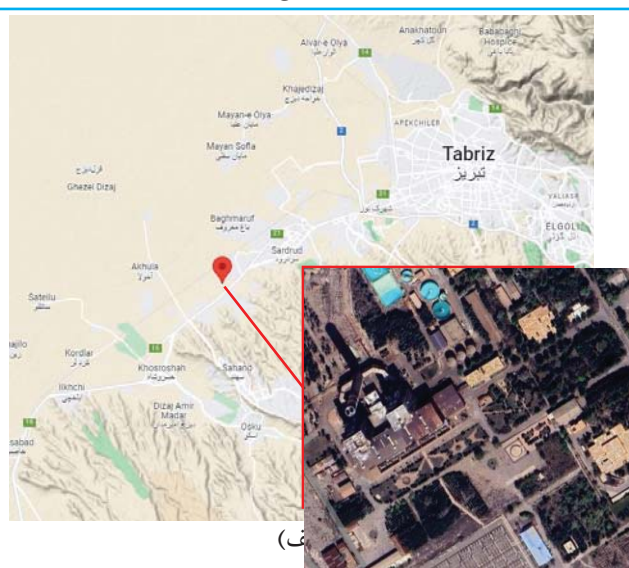
3. Receptor

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.



(ب)



(ف)

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

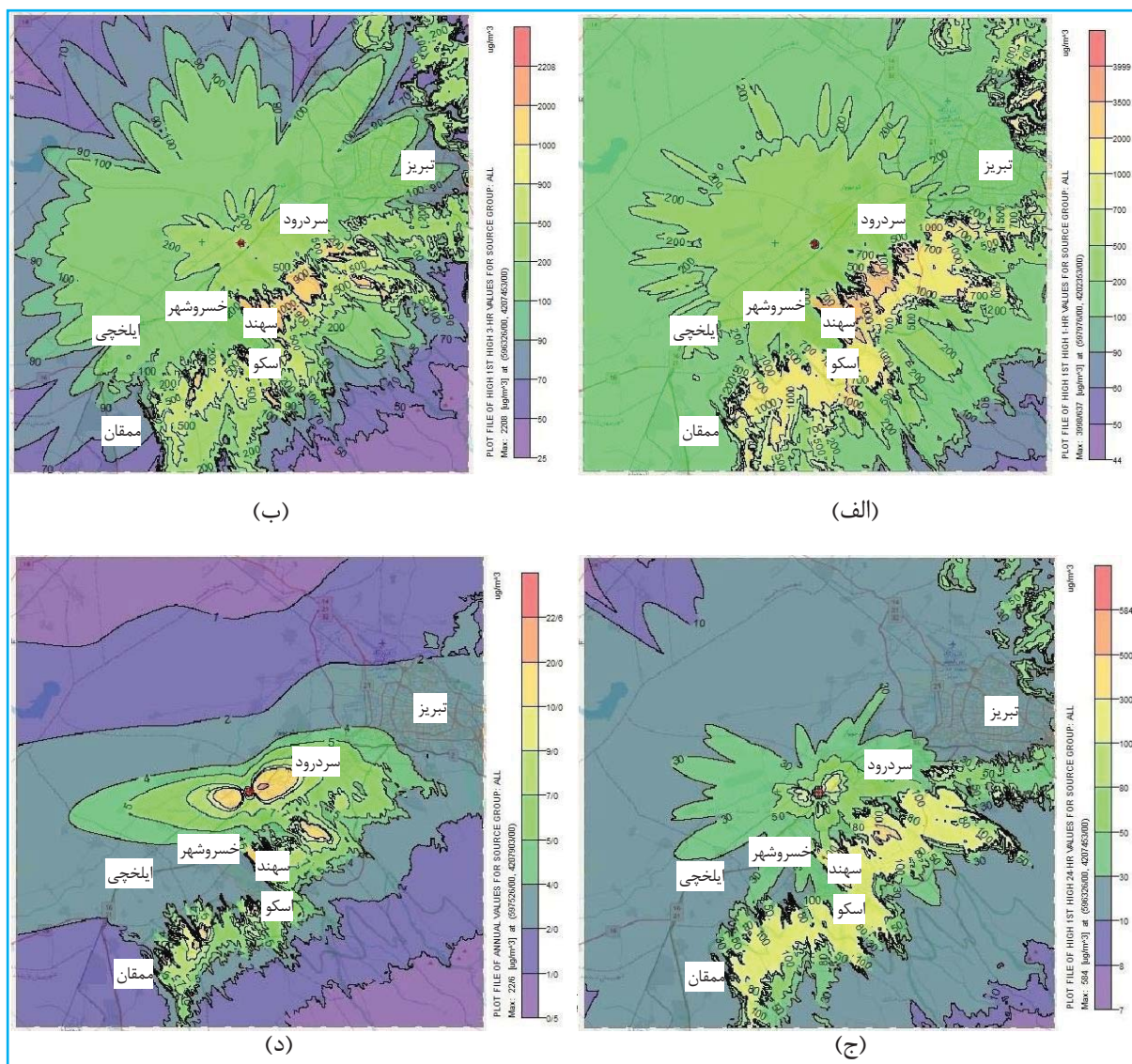
فرض‌های استقلال از زمان، عدم برهمکنش بین منابع مختلف انتشار آلاینده‌گی و کاهش غلظت آلودگی تحت عواملی نظیر فعل و انفعالات شیمیایی، جذب و یا ته‌نشینی در محدوده بررسی لحاظ گردیده است. همچنین، نمایش نتایج غلظت محاسبه شده برای آلاینده‌های مختلف در هر یک از گیرنده‌های تعیین شده به صورت مقدار حداکثر غلظت در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

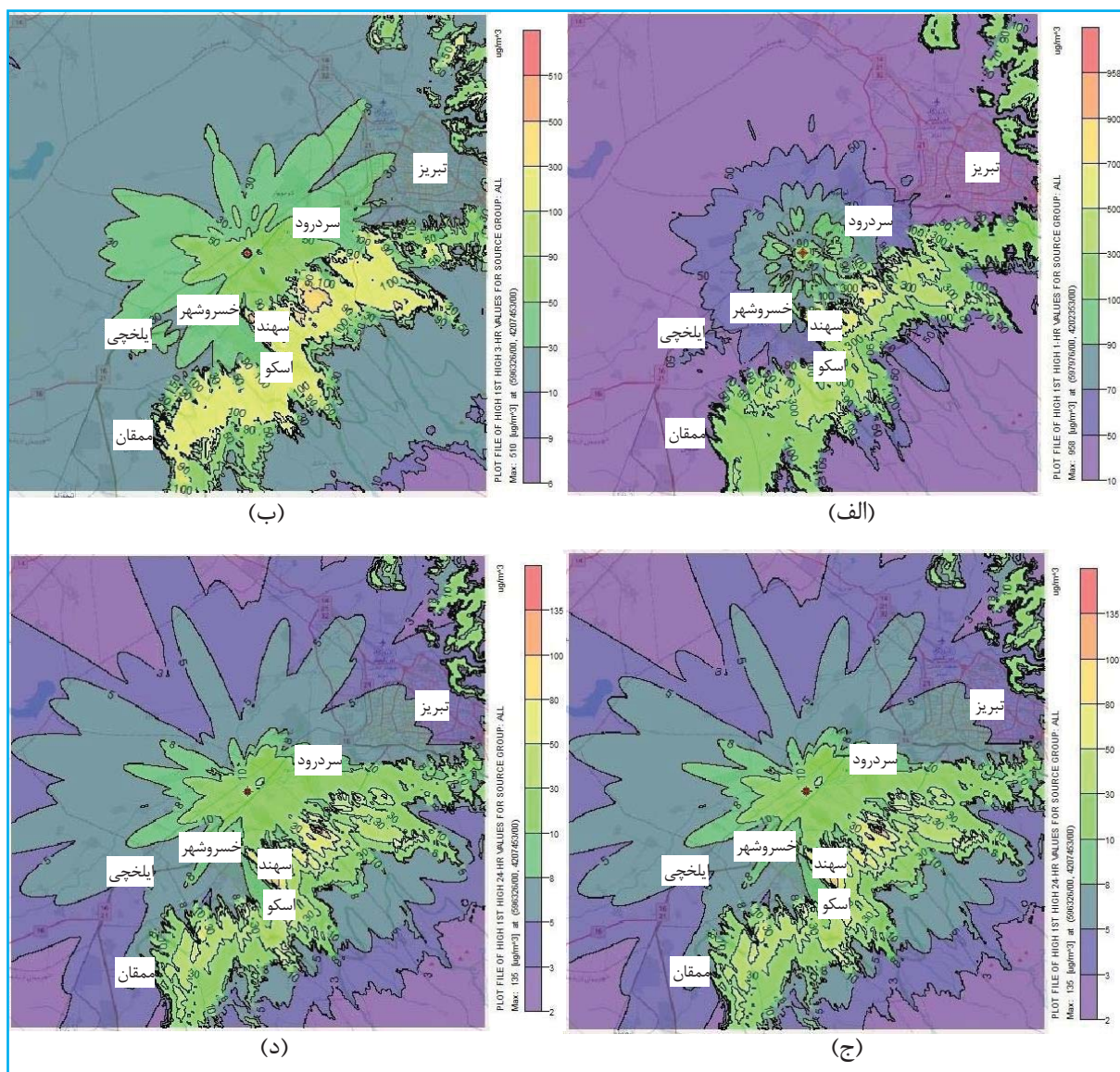
نتایج مدل‌سازی پخش آلاینده‌های دی‌اکسید گوگرد و دی‌اکسید نیتروژن به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در این شکل‌ها، میزان حداکثر غلظت آلاینده در مناطق اطراف نیروگاه حرارتی تبریز برای بازه ۱ ساله مورد بررسی، بر اساس معیارهای حداکثر غلظت ۱ ساعته، ۳ ساعته و ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب در 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<sup>۱</sup> (۴۴) نیز برای دی اکسید گوگرد حد مجاز ۴۰ میکروگرم بر مترمکعب در معیار ۲۴ ساعته و برای دی اکسید نیتروژن حدود مجاز ۲۰۰



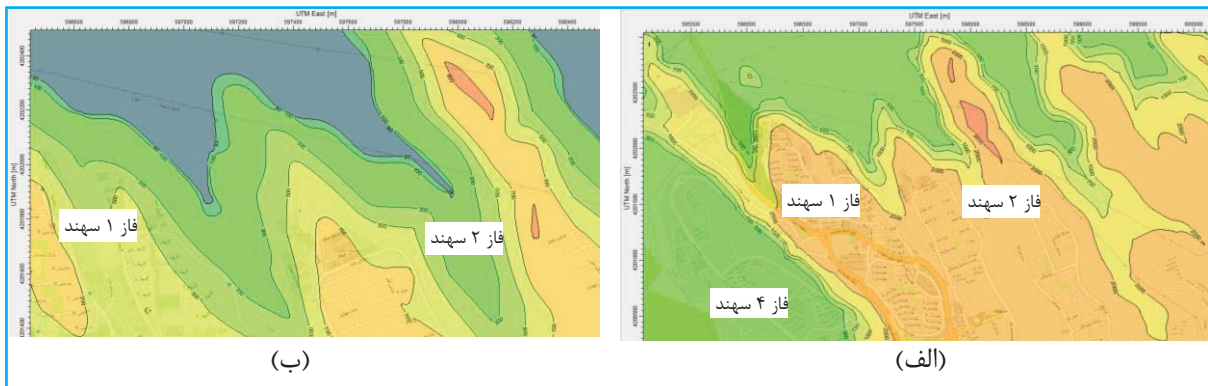
شکل ۲: غلظت گاز دی اکسید گوگرد در معیارهای: الف- ۱ ساعته، ب- ۳ ساعته، ج- ۲۴ ساعته و د- میانگین سالانه



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

مناطق غیرمسکونی در مجاورت شهر سهند واقع هستند. با توجه به این نتایج در معیار ۱ ساعته، 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 ساعته 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-دی اکسید گوگرد، ب-دی اکسید 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 دی اکسید گوگرد و دی اکسید 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، ایلخچی و خسروشهر، به جز سهند)، حداکثر غلظت دی اکسید نیتروژن کمتر از ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب (حد مجاز استانداردهای ایران و سازمان بهداشت جهانی) است. در نواحی مسکونی شهر سهند، حداکثر غلظت دی اکسید نیتروژن در معیار ۱ ساعته از ۴۰۰ تا ۸۰۰ میکروگرم بر مترمکعب تغییر می‌کند که ۲ تا ۴ برابر حدود مجاز است. حداکثر غلظت دی اکسید 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 ایلخچی تا ۵۰۰ میکروگرم بر مترمکعب افزایش می‌یابد. حداکثر غلظت دی اکسید 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 دی اکسید گوگرد ۲۲۰۸ میکروگرم بر مترمکعب و بیشترین مقدار غلظت دی اکسید نیتروژن ۵۱۰ میکروگرم بر مترمکعب است که در داخل محوطه نیروگاه تبریز رخ می‌دهند. حداکثر غلظت دی اکسید 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 دی اکسید 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 دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن در معیار ۲۴ ساعته به ترتیب در شکل ۲-ج و شکل ۳-ج آورده شده است. نتایج حاصل برای دی اکسید 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 دی اکسید نیتروژن در معیار میانگین سالانه با حد مجاز سازمان بهداشت جهانی (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) نیز نشان می دهد که غلظت این آلاینده برای تمامی شهرهای مجاور نیروگاه در محدوده مجاز است. همچنین، حداکثر غلظت آلاینده دی اکسید 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 می یابد (جدول ۲).

همچنین، نتایج حاصل برای دی اکسید گوگرد بیان گر این است که غلظت این آلاینده در شهرهای تبریز، ممقان، ایلخچی و خسروشهر پایین تر از حد مجاز استانداردهای ایران و سازمان بهداشت جهانی است و در شهرهای سردرود و اسکو صرفاً پایین تر از حد مجاز استاندارد ایران است. همچنین، حداکثر غلظت آلاینده دی اکسید گوگرد در شهر سهند، به ۴۷۰ میکروگرم بر مترمکعب می رسد که حدود ۲۰٪ بالاتر از حد مجاز در استاندارد ایران است.

### معیار میانگین سالانه

توزیع غلظت آلاینده های دی اکسید گوگرد و دی اکسید نیتروژن در

جدول ۲. خلاصه نتایج حداکثر غلظت آلاینده ها در معیارهای مختلف

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

صورت گرفته است. لذا، علی رغم یکسان بودن شرایط منبع انتشار، داده های هواشناسی شامل سرعت و جهت باد، دما، رطوبت، فشار، میزان پوشش ابری و میزان بارندگی در بازه های زمانی مورد بررسی متفاوت هستند. چنانچه گلباد رسم شده (شکل ۱) برای بازه ۱ سال مورد بررسی در پژوهش جاری نشان می دهد که جهت باد غالب از سمت شمال شرقی به سمت جنوب غربی است، ولی در پژوهش پیشین (۴۰) باد غالب برای بازه ۳ ماهه از سمت جنوب شرقی به سمت شمال غربی است. تفاوت نرم افزارهای مورد مطالعه از دیگر دلایل اختلاف نتایج دو پژوهش می تواند باشد. نرم افزارهای AERMOD و ISCST3 از الگوریتم های متفاوتی برای انجام محاسبات انتشار آلاینده ها استفاده می کنند که می تواند در شرایط

در نهایت، به مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش که برای اولین بار از نرم افزار AERMOD برای تحلیل نحوه انتشار آلاینده های خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی تبریز استفاده کرده است، با نتایج تنها پژوهش پیشین روی این نیروگاه که با استفاده از نرم افزار ISCST3 انجام شده است (۴۰)، پرداخته می شود. لازم به ذکر است که هر دو پژوهش با داده های یکسان انتشار آلاینده ها (نرخ انتشار آلاینده، دما و سرعت گازهای خروجی دودکش، و مکان، ارتفاع و قطر دودکش) ولی در بازه های زمانی مختلف انجام شده اند. پژوهش پیشین با استفاده از داده های هواشناسی ۳ ماه زمستان سال ۱۳۹۲ انجام شده است و پژوهش جاری با استفاده از داده های هواشناسی یک سال منتهی به ۱ دی ماه 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، را رد 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، ۲۲۰۸ و ۲۲/۶ میکروگرم بر مترمکعب، و بیشترین میزان آلاینده دی اکسید نیتروژن در معیار ۳ ساعته، ۲۴ ساعته و میانگین سالانه به ترتیب برابر با ۵۱۰، ۱۳۵ 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, Qiami-Giashi K, et al. Investigation of Emission and Dispersion of PM<sub>2.5</sub> 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 (NO<sub>2</sub>): 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 NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> 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 NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>x</sub> 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. SO<sub>2</sub> 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. Shojaei Barjoei S, Azimzadeh H, Kuchakzadeh M, et al. Dispersion and Health Risk Assessment of PM<sub>10</sub> 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 PMCID: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>