

# Modeling Dispersion of Pollutant Gases Emitted from the Chimney of Sahand Thermal Power Plant Using SCREEN View Software

Received: 6 July 2024, Accepted: 21 August 2024

Mahdi Saghafi<sup>1\*</sup>, Fatemeh Hosseinpour<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Bonab, Bonab, Iran

**\*Corresponding Author:**

msaghafi@ubonab.ac.ir

**How to Cite This Article:**

Saghafi M, Hosseinpour F. Modeling Dispersion of Pollutant Gases Emitted from the Chimney of Sahand Thermal Power Plant Using SCREEN View Software. Journal of Environmental Health Engineering. 2024;12(1):47-62.

**DOI:**

[10.61186/jehe.12.1.47](https://doi.org/10.61186/jehe.12.1.47)

## ABSTRACT

**Background:** This study aims to investigate the dispersion of pollutant gases emitted from the Sahand thermal power plant's chimney and determine the maximum concentration of these pollutants in the surrounding areas.

**Materials and Methods:** The emission of exhaust gases from the chimney was simulated using SCREEN View software. This software calculates the maximum concentration of pollutants at specific distances from the chimney for all air stability classes, using input data such as the mass emission rate of pollutants, the temperature and velocity of the exhaust gases, the ambient temperature, the chimney's dimensions, and the height in the direction of emission. This research calculated the concentrations of nitrogen dioxide, carbon monoxide, and sulfur dioxide in eight directions: north, northeast, east, southeast, south, southwest, west, and northwest of the power plant chimney.

**Results:** The modeling results indicate that at a distance of 1218 meters from the power plant chimney, the maximum 1-hour concentrations of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and carbon monoxide are 915.9, 54.14, and 1.305 micrograms per cubic meter, respectively. Moreover, for areas with higher elevations relative to the chimney, the maximum 24-hour concentrations for sulfur dioxide, nitrogen dioxide, and carbon monoxide are 680.5, 40.22, and 0.97 micrograms per cubic meter, respectively.

**Conclusion:** The levels of nitrogen dioxide and sulfur dioxide in some areas near the power plant exceed the permissible limits set by the environmental standards of Iran and the World Health Organization, posing a health risk to the residents of these areas.

**Keywords:** Air Pollutants, Standards, Computational Modeling

## مدل‌سازی انتشار گازهای آلاینده خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی سهند با استفاده از

## نرم‌افزار SCREEN View

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۳۱

مهدی ثقفی<sup>۱\*</sup>، فاطمه حسین پور<sup>۱</sup><sup>۱</sup> گروه مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بناب، بناب، ایران

## چکیده

زمینه و هدف: هدف این پژوهش، مطالعه نحوه انتشار گازهای آلاینده خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی سهند و تعیین حداکثر غلظت این آلاینده‌ها در مناطق اطراف نیروگاه است.

مواد و روش‌ها: جهت مدل‌سازی انتشار گازهای خروجی از دودکش نیروگاه از نرم‌افزار SCREEN View استفاده شده است که می‌تواند با داده‌هایی نظیر نرخ جرمی انتشار آلاینده‌ها، دمای و سرعت گازهای خروجی، دمای محیط، ابعاد هندسی دودکش و ارتفاعات موجود در راستای انتشار، حداکثر غلظت آلاینده در میان تمام کلاس‌های پایداری هوا را در فواصل مشخص از دودکش نیروگاه محاسبه کند. در این پژوهش، غلظت آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن، مونواکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد در ۸ راستای شمال، شمال‌شرقی، شرق، جنوب‌شرقی، جنوب، جنوب‌غربی، غرب و شمال‌غربی دودکش نیروگاه محاسبه شده است.

یافته‌ها: نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که در فاصله ۱۲۱۸ متری از دودکش نیروگاه در معیار ۱ ساعته، حداکثر غلظت دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و مونواکسید کربن، به ترتیب برابر با ۹۱۵/۹، ۵۴/۱۴ و ۱/۳۰۵ میکروگرم بر مترمکعب است. همچنین، برای راستاهای دارای ارتفاعات مرتفع‌تر از دودکش نیروگاه در معیار ۲۴ ساعته، حداکثر غلظت دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و مونواکسید کربن، به ترتیب برابر با ۶۸۰/۵، ۴۰/۲۲ و ۰/۹۷ میکروگرم بر مترمکعب است.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج به دست آمده برای حداکثر غلظت آلاینده‌های منتشر شده از نیروگاه حرارتی سهند نشان می‌دهد که غلظت آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد در برخی از مناطق مجاور نیروگاه، بالاتر از حدود مجاز استانداردهای مربوطه ایران و سازمان بهداشت جهانی بوده و سلامت ساکنین این مناطق در معرض خطر است.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های هوا، استانداردها، مدل‌سازی محاسباتی

\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

msaghafi@ubonab.ac.ir

نحوه استناد به این مقاله:

Saghafi M, Hosseinpour F. Modeling Dispersion of Pollutant Gases Emitted from the Chimney of Sahand Thermal Power Plant Using SCREEN View Software. Journal of Environmental Health Engineering. 2024;12(1):47-62.

DOI:

[10.61186/jehe.12.1.47](https://doi.org/10.61186/jehe.12.1.47)

## مقدمه

امروزه افزایش جمعیت، رشد شهرنشینی و صنعتی شدن جوامع، موجب افزایش مصرف انرژی و به تبع آن استفاده بیشتر از سوخت‌های فسیلی می‌گردد.<sup>۱</sup> سوزاندن سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه، نیروگاه‌ها، کارخانه‌ها، تأسیسات ساختمان‌ها و ...، همواره منجر به رهاسازی گازهای آلاینده هوا نظیر اکسیدهای کربن ( $CO_x$ )، اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ )، اکسیدهای گوگرد ( $SO_x$ ) و ذرات معلق (PM) می‌شود.<sup>۲-۵</sup> انتشار این آلاینده‌ها در هوا می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر سلامت انسان و محیط‌زیست داشته باشد و منجر به سردرد، خستگی، حالت تهوع، بیماری‌های تنفسی، بیماری‌های قلبی-عروقی و سرطان شود.<sup>۶</sup>

نیروگاه‌های تولید توان الکتریکی با مصرف سوخت‌های فسیلی، نقش عمده‌ای در انتشار آلاینده‌های هوا دارند.<sup>۷</sup> از این رو، لازم است تا تأثیر انتشار آلاینده‌ها از آن‌ها بر محیط‌زیست اطراف به صورت کمی بررسی و ارزیابی گردد.<sup>۸-۹</sup> با پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های منتشر شده از منابع آلاینده‌ها در شرایط مختلف آب و هوایی، می‌توان برنامه‌ریزی مناسب جهت حذف یا کاهش اثرات نامطلوب بر سلامت جوامع مجاور را انجام داد.<sup>۱۰</sup> در تخمین غلظت آلاینده‌های منتشر شده از یک منبع، بایستی داده‌های هواشناسی و اطلاعات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نیز در نظر گرفته شود.

مدل گاوسی، یک روش محاسباتی مبتنی بر معادلات ریاضی است که برای مدل‌سازی نحوه انتشار آلاینده‌های گازی در هوا استفاده می‌شود.<sup>۱۱</sup> از نرم‌افزارهای مبتنی بر مدل انتشار گاوسی می‌توان به AERMOD، CALPUFF و SCREEN view اشاره کرد.<sup>۱۲</sup> که همگی توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA) برای استفاده در شرایط مخصوص به خود مورد تأیید قرار گرفته‌اند. نرم‌افزارهای AERMOD و CALPUFF برای مدل‌سازی انتشار دوبعدی آلاینده‌ها از

یک یا چند منبع انتشار آلاینده به ترتیب در حالت‌های پایا و ناپایا استفاده می‌شوند.<sup>۱۳-۱۴</sup> نرم‌افزار SCREEN View نیز برای مدل‌سازی پایای یک‌بعدی انتشار آلاینده‌ها از یک منبع انتشار در جهت وزش باد کاربرد دارد.<sup>۱۵</sup> نرم‌افزار SCREEN View، برخلاف نرم‌افزارهای AERMOD و CALPUFF اجباراً نیازمند داده‌های هواشناسی نیست. این نرم‌افزار می‌تواند محاسبات را برای تمام شرایط آب و هوایی انجام داده و نتایج بیش‌ترین غلظت را در بدترین شرایط آب و هوایی ارائه دهد. شرایط آب و هوایی با توجه به سرعت باد و شدت تابش نور خورشید به شش کلاس پایداری تقسیم می‌شوند که این نرم‌افزار می‌تواند بیش‌ترین غلظت آلاینده را بر حسب فاصله از منبع، برای تمام کلاس‌های پایداری محاسبه کند.<sup>۱۲</sup> از این رو، علی‌رغم یک‌بعدی و تک منبع بودن مدل‌سازی، این نرم‌افزار نقش مهمی در ارزیابی‌های محیط زیستی در تعیین محل استقرار منابع آلاینده هوا دارد.<sup>۱۶</sup> از این نرم‌افزار به صورت گسترده در محاسبات انتشار آلاینده‌های هوا در زمینه‌های گوناگون استفاده شده است که می‌توان برای نمونه به این موارد اشاره کرد: انتشار  $NO_x$ ،  $CO_x$ ،  $SO_2$ ، PM، هیدروکربن‌ها (HC)، سولفید هیدروژن ( $H_2S$ ) و کل ذرات معلق (TSP) از کارخانه‌های سیمان<sup>۱۷-۱۹</sup>، انتشار  $NO_x$ ،  $CO_x$  و  $SO_x$  از پالایشگاه‌های نفت<sup>۱۲-۱۶</sup>، انتشار PM از صنایع ذوب مس<sup>۲۰</sup>، انتشار  $NO_2$ ،  $CO$ ،  $SO_2$  و PM از نیروگاه‌های تولید توان الکتریکی<sup>۲۱-۲۲</sup> و انتشار  $NO_2$ ،  $CO$ ،  $SO_2$  و سموم دفع آفات نباتی از زمین‌های کشاورزی<sup>۱۵-۲۳-۲۴</sup>.

در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار SCREEN View انتشار گازهای  $NO_2$ ،  $CO$  و  $SO_2$  از نیروگاه حرارتی سهند واقع در نزدیکی شهرستان بناب مورد بررسی قرار گرفته است تا غلظت این آلاینده‌ها در نواحی اطراف نیروگاه با مقادیر موجود در استانداردهای محیط زیستی مقایسه شود. در جدول ۱ حداکثر غلظت مجاز ذکر شده در استاندارد هوای پاک ایران<sup>۲۵</sup> و استاندارد کیفیت هوای

سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۲۶ برای آلاینده‌های  $SO_2$ ،  $CO$ ،  $NO_2$  در معیارهای ۱ ساعته و ۲۴ ساعته گردآوری شده‌اند.

جدول ۱. حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌های  $SO_2$  و  $CO$ ،  $NO_2$  در استانداردهای ایران و WHO ۲۵، ۲۶

نام آلاینده	معیار بررسی	حد مجاز استاندارد ایران ( $\mu g/m^3$ )	حد مجاز استاندارد WHO ( $\mu g/m^3$ )
دی‌اکسید	۱ ساعته	۲۰۰	۲۰۰
نیتروژن	۲۴ ساعته	-	۲۵
دی‌اکسید	۱ ساعته	۱۹۶	-
گوگرد	۲۴ ساعته	۳۹۵	۴۰
مونواکسید	۱ ساعته	۴۰۰۰۰	۳۵۰۰۰
کربن	۲۴ ساعته	-	۴۰۰۰

## مواد و روش ها

نیروگاه حرارتی سهند دارای دو واحد بخار از نوع سیکل رانکین است که هر یک ظرفیت تولید نامی ۳۲۵ MW توان الکتریکی را دارند. این نیروگاه در جنوب استان

آذربایجان شرقی با موقعیت جغرافیایی ۴۱۴۲۳۶۶ متر شمالی و ۵۸۹۶۰۹ متر شرقی در ارتفاع ۱۳۰۰ متری از سطح آزاد دریا واقع شده است (شکل ۱). شهرهای بناب، عجب‌شیر، مراغه و خوشه‌مهر در مجاورت این نیروگاه واقع شده‌اند و نزدیک‌ترین روستا به آن شورگل است.



شکل ۱. محل قرارگیری نیروگاه سهند به همراه ارتفاعات مجاور آن

اندازه‌گیری شده هر یک از آلاینده‌ها در دبی حجمی کل گازهای خروجی از دودکش ضرب شده است که خود حاصل ضرب اندازه سطح مقطع دودکش و سرعت گازهای خروجی است.

با توجه به اینکه نرم‌افزار SCREEN View مدل‌سازی انتشار آلاینده را به صورت یک‌بعدی و فقط در یک جهت انجام می‌دهد، در این پژوهش مدل‌سازی در راستای ۸ جهت شمال، شمال‌غربی، غرب، جنوب‌غربی، جنوب، جنوب‌شرقی، شرق و شمال‌شرقی برای تمام آلاینده‌های  $NO_2$ ،  $CO$  و  $SO_2$  انجام شده است. جهت مقایسه شرایط وزش باد در جهت‌های مورد مطالعه، نمودار گلباد این منطقه با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بناب برای یک سال (از ۱۴۰۰/۱۰/۱ تا ۱۴۰۱/۱۰/۱) در شکل ۲ نشان داده شده است. این شکل

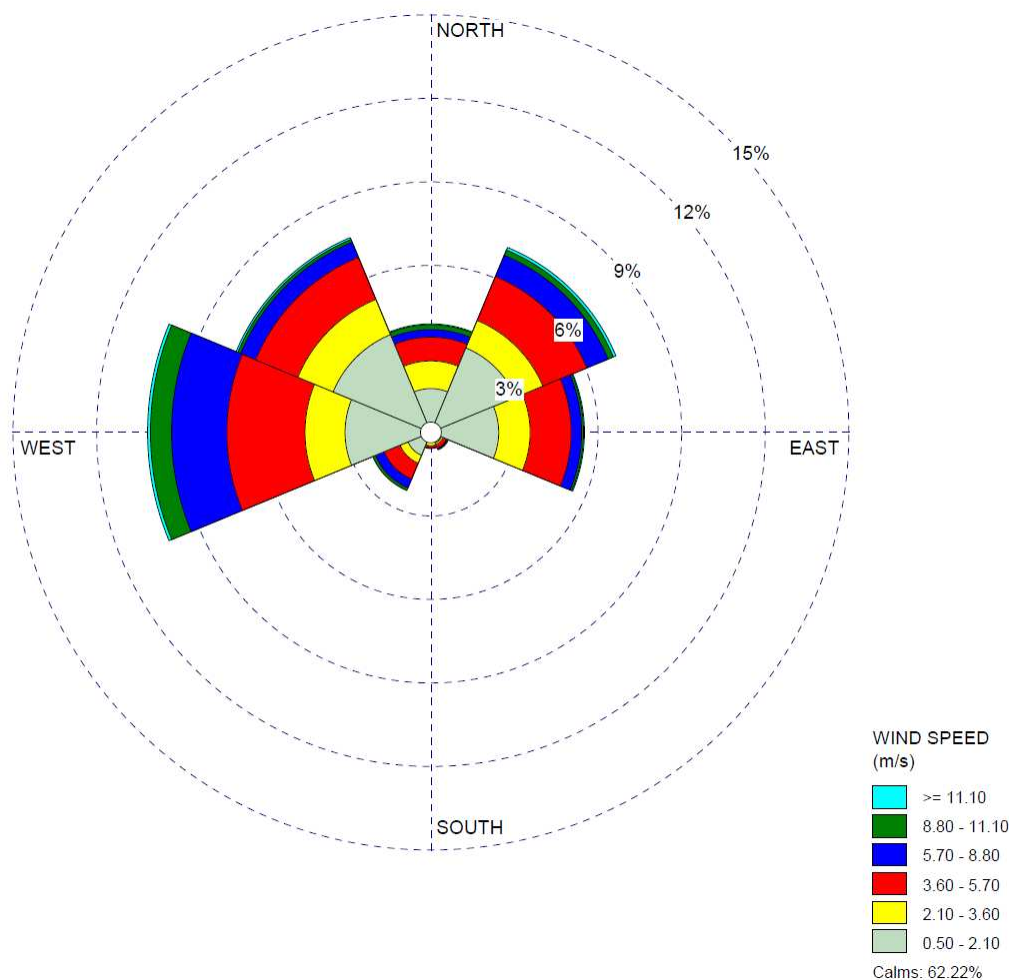
جهت مدل‌سازی انتشار گازهای خروجی از دودکش نیروگاه حرارتی سهند با استفاده از نرم‌افزار SCREEN View نیاز به مشخصات منبع انتشار شامل نرخ جرمی انتشار آلاینده‌ها، ارتفاع دودکش، قطر دهانه دودکش، سرعت گازهای خروجی از دودکش، دمای گازهای خروجی و دمای محیط است. این مشخصات در جدول ۲ برای گازهای آلاینده  $CO$ ،  $NO_2$  و  $SO_2$  آورده شده است. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری غلظت این آلاینده‌ها با استفاده از آنالایزر گازی Testo در تاریخ ۱۴۰۱/۹/۲۰ انجام شده است. در این تاریخ، واحد ۱ نیروگاه با مصرف سوخت مایع مازوت دارای تولید ۲۶۰ MW توان الکتریکی بوده است و واحد ۲ آن در حالت تعمیرات برنامه‌ریزی شده قرار داشت. جهت محاسبه نرخ جرمی انتشار آلاینده‌ها، غلظت حجمی

که در این منطقه در ۶۲/۲۲٪ از اوقات باد نمی‌وزد و انتشار آلاینده‌گی صرفاً در راستای عمودی خواهد بود. علاوه بر مشخصات منبع انتشار، ارتفاع مناطق مورد مطالعه نیز در نحوه انتشار آلاینده و غلظت‌های محاسبه شده برای آن مؤثر است. از این رو برای تمامی ۸ جهت ذکر شده، ارتفاع سطح زمین نسبت به پایه دودکش نیروگاه تا فاصله ۵۰ کیلومتری از نیروگاه محاسبه و در مدل‌سازی با نرم‌افزار در نظر گرفته شده است.

نشان می‌دهد که باد غالب در این منطقه از سمت شرق به غرب است و پس از آن وزش باد بیشتر در جهت‌های جنوب شرقی به شمال غربی، جنوب غربی به شمال شرقی و غرب به شرق است. کم‌ترین وزش باد نیز به ترتیب در جهت‌های شمال به جنوب، شمال غربی به جنوب شرقی، شمال شرقی به جنوب غربی و جنوب به شمال است. هر چقدر احتمال وزش باد در یک جهت بیشتر باشد، احتمال انتشار آلاینده‌ها در آن جهت نیز بیشتر خواهد بود، چون مناطق واقع در آن جهت زمان بیشتری را نسبت به سایر مناطق با آلاینده‌ها سپری خواهند کرد. لازم به ذکر است

جدول ۲. مشخصات منبع انتشار آلاینده‌ها

۱۹۴/۹۷	غلظت اندازه‌گیری شده $\text{NO}_2$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
۳۲۹۷/۹۰	غلظت اندازه‌گیری شده $\text{SO}_2$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
۴/۷۰	غلظت اندازه‌گیری شده $\text{CO}$ ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
۸۶/۳۳	نرخ جرمی انتشار $\text{NO}_2$ (g/s)
۱۴۶۰/۳۰	نرخ جرمی انتشار $\text{SO}_2$ (g/sec)
۲/۰۸	نرخ جرمی انتشار $\text{CO}$ (g/sec)
۲۷/۸۴	سرعت گازهای خروجی از دودکش (m/s)
۴۲۴/۵	دمای گازهای خروجی (K)
۲۸۳	دمای محیط (K)
۲۰۰	ارتفاع دودکش (m)
۴/۵	قطر دودکش (m)



شکل ۲. گلباد منطقه مورد مطالعه در طول ۱ سال برای ۸ جهت

## یافته‌ها

نتایج مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های  $SO_2$ ،  $CO$ ،  $NO_2$  با استفاده از نرم‌افزار SCREEN View در ۸ جهت انتخابی برای حداکثر غلظت هر آلاینده در معیار ۱ ساعته به همراه فاصله محل وقوع آن از پایه دودکش نیروگاه سهند در جدول ۳ گردآوری شده است. لازم به ذکر است که چون در فواصل ابتدایی تمامی جهات، هنوز ارتفاعات شروع نشده است، حداکثر غلظت و محل وقوع آن برای تمامی جهات در معیار ۱ ساعته با هم برابر است. به عبارتی، محل وقوع حداکثر غلظت در فاصله ۱۲۱۸ متری از دودکش قرار دارد و ارتفاعات در تمامی ۸ جهت انتخاب، حداقل از ۳۰۰۰ متری دودکش نیروگاه سهند

شروع می‌شوند. همچنین، با توجه به اینکه در جهت‌های جنوب، جنوب‌غربی و غرب نیروگاه، هیچ ارتفاعاتی در فاصله ۵۰ کیلومتری دودکش نیروگاه وجود ندارد، مدل‌سازی فقط یک‌بار برای این ۳ جهت انجام شده است. این نرم‌افزار علاوه بر محاسبات مربوط به معیار ۱ ساعته، قادر است تا مقدار متوسط ۲۴ ساعته را برای جهت‌هایی که دارای نواحی مرتفع‌تر از خروجی دودکش هستند (Complex Terrain)، نیز محاسبه کند. بیش‌ترین غلظت ۲۴ ساعته آلاینده‌ها و محل وقوع آن در جهت‌هایی که دارای مناطق مرتفع‌تر از خروجی دودکش هستند، در جدول ۴ آورده شده است. در انجام این مدل‌سازی، شرایط انتشار مستقل از زمان است و کاهش غلظت آلاینده‌ها در اثر واکنش شیمیایی یا رسوب در نظر گرفته نشده است.

جدول ۳. حداکثر غلظت آلاینده‌ها و فاصله محل وقوع آن نسبت به دودکش (۱ ساعته)

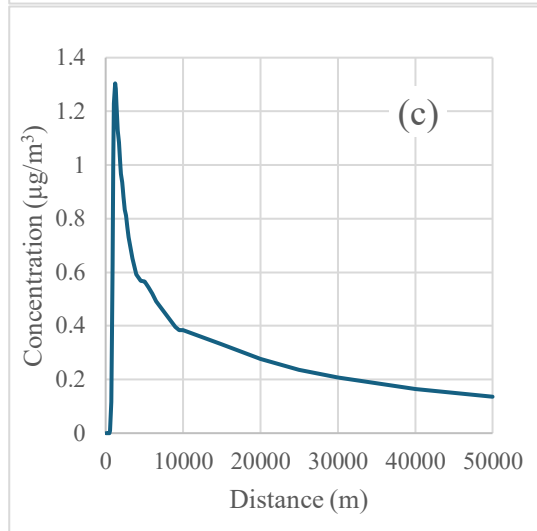
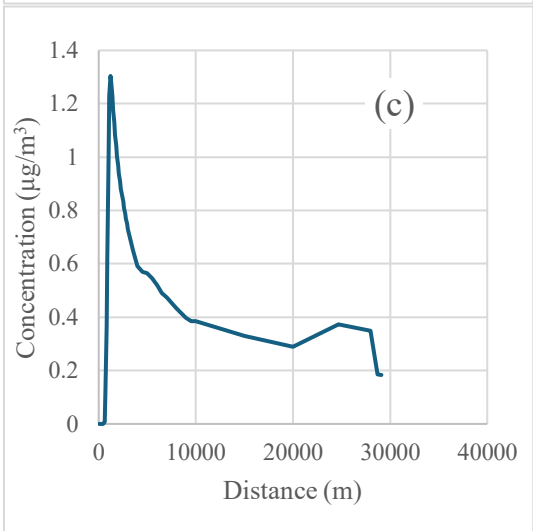
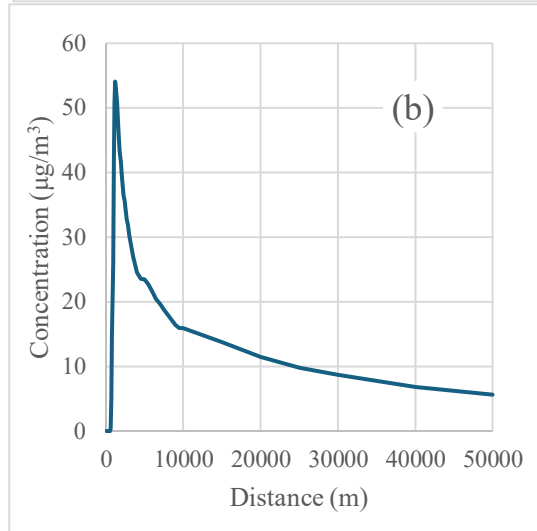
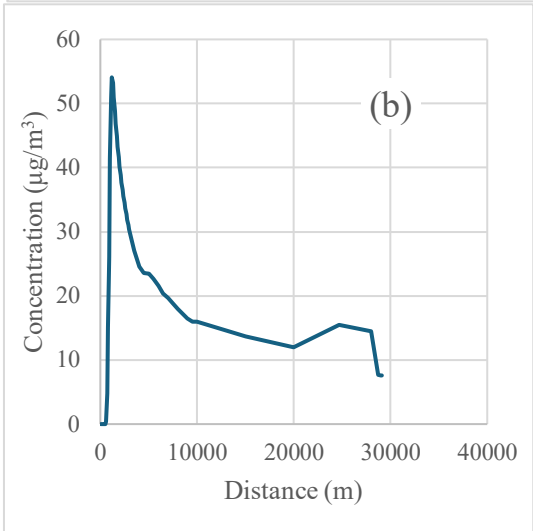
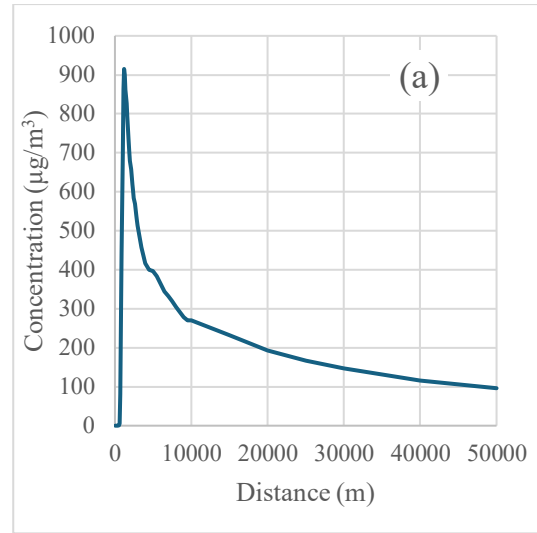
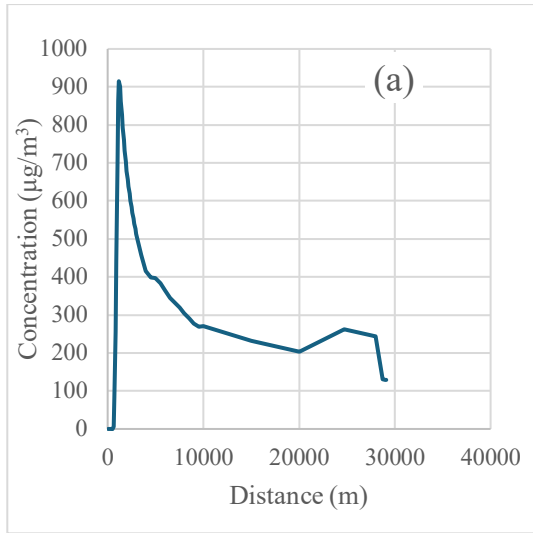
حداکثر غلظت آلاینده ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			فاصله محل غلظت حداکثر از دودکش (m)	جهت
CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>		
۱/۳۰۵	۹۱۵/۹	۵۴/۱۴	۱۲۱۸	تمام جهات

جدول ۴. حداکثر غلظت آلاینده‌ها و فاصله آن در جهت‌های دارای مناطق مرتفع‌تر از خروجی دودکش (۲۴ ساعته)

حداکثر غلظت آلاینده ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			فاصله محل غلظت حداکثر از دودکش (m)	جهت
CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>		
۰/۷۱	۴۹۸/۲	۲۹/۴۵	۹۷۰۰	شمال
۰/۹۷	۶۸۰/۵	۴۰/۲۲	۶۲۰۰	شمال شرقی
۰/۴۲	۲۹۷/۳	۱۷/۵۸	۱۹۵۰۰	شمال غربی
۰/۳۷	۲۶۱/۷	۱۵/۴۷	۲۴۷۰۰	جنوب شرقی
۰/۵۳	۳۷۰/۷	۲۱/۹۱	۱۰۸۰۰	شرق

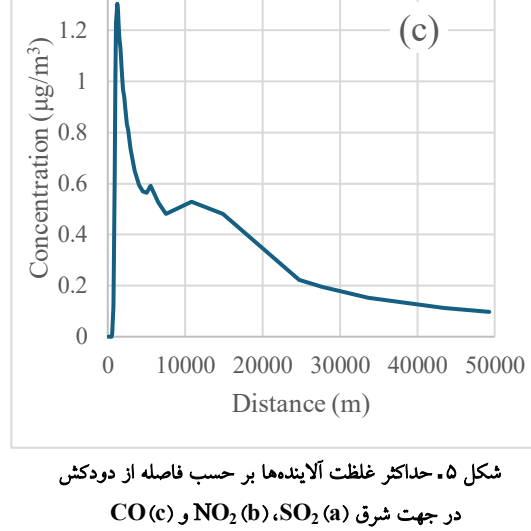
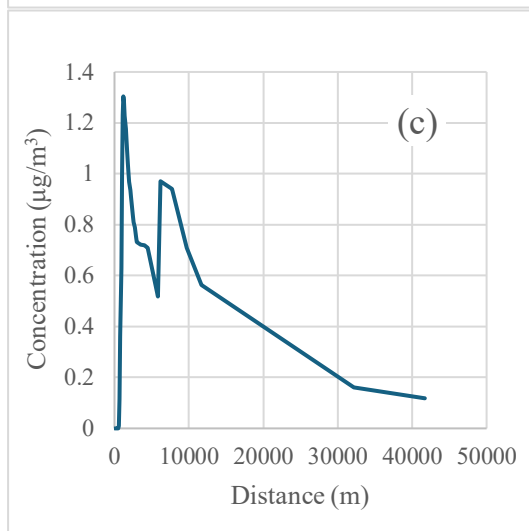
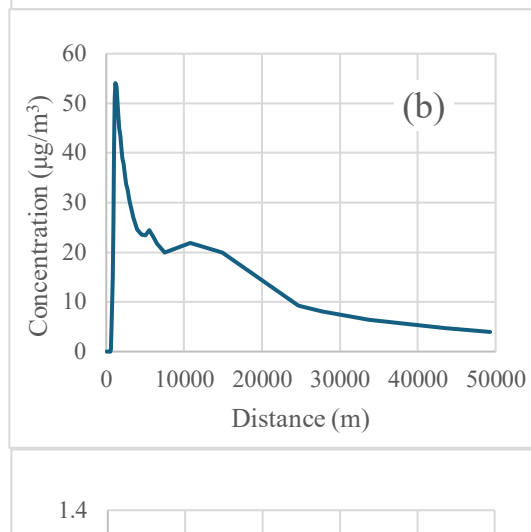
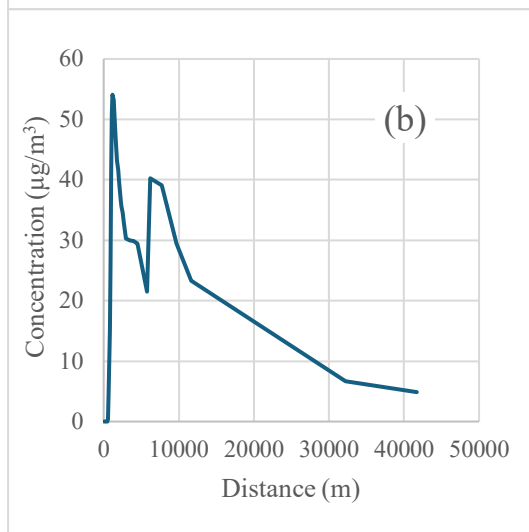
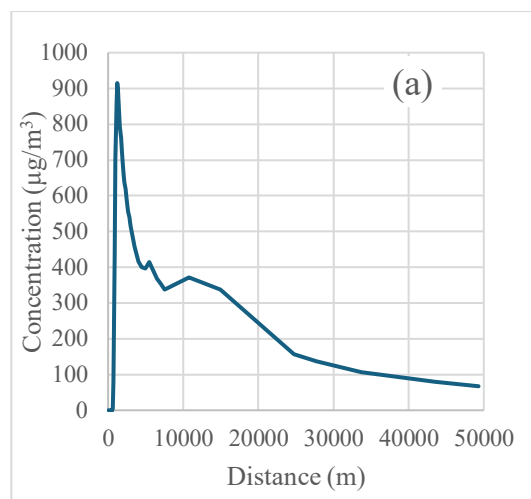
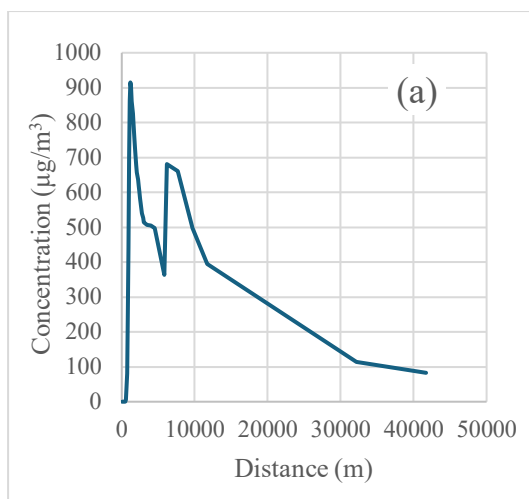
در جهت‌های غرب، جنوب غربی و جنوب نشان داده شده است. چنانچه پیش‌تر نیز گفته شد، به علت عدم وجود ارتفاعات در این جهات، نتایج شبیه‌سازی هر ۳ جهت یکسان خواهد بود.

در ادامه، با توجه به قرارگیری مناطق جمعیتی مجاور نیروگاه سهند روی برخی از جهات ۸ گانه، نمودار تغییرات حداکثر غلظت آلاینده‌ها در معیار ۱ ساعته نسبت به فاصله از دودکش نیروگاه در شکل‌های ۳ تا ۸ آورده شده است. در شکل ۳ حداکثر غلظت آلاینده‌های SO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>2</sub>



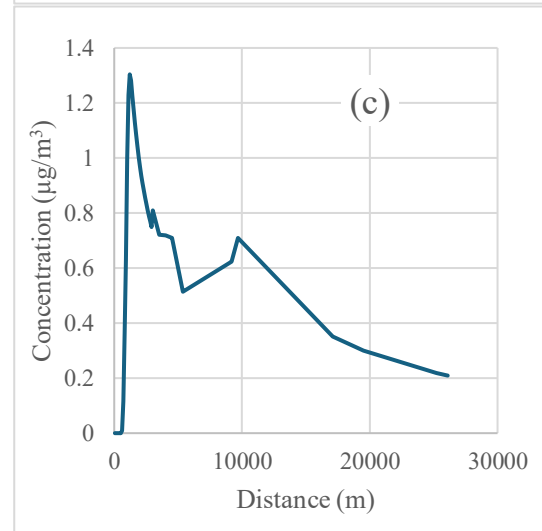
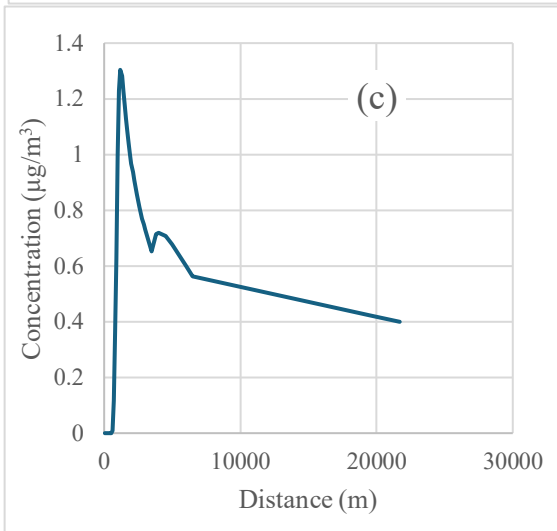
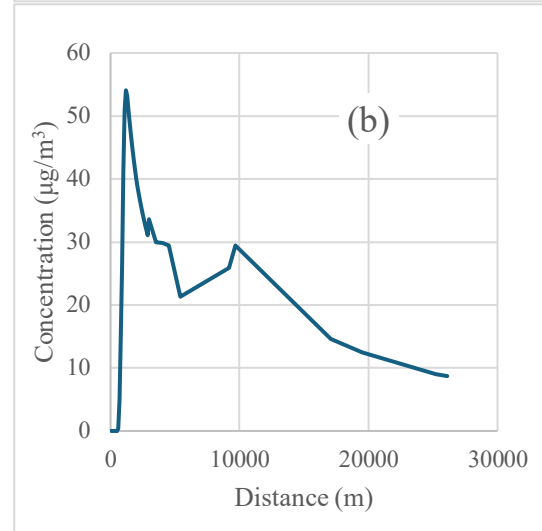
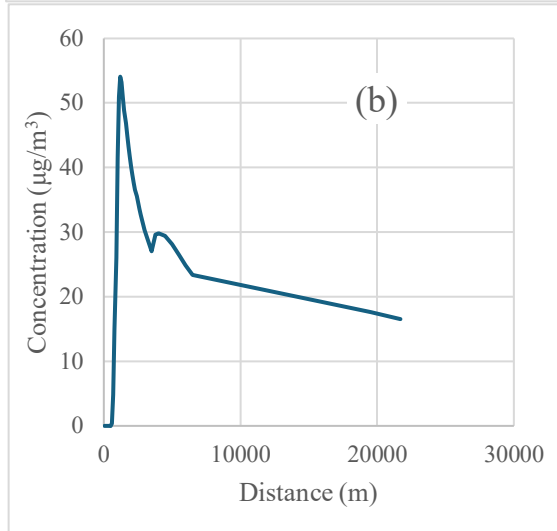
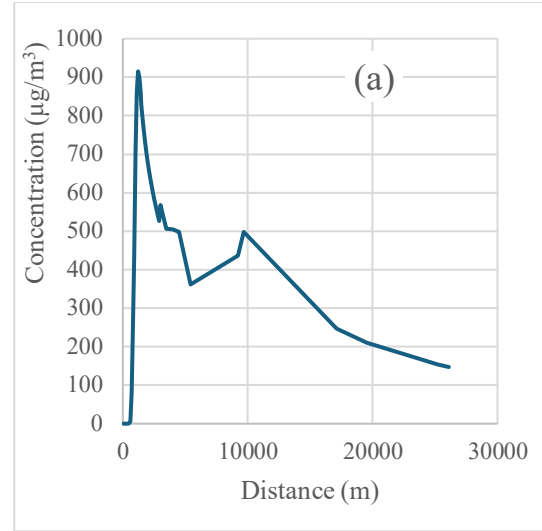
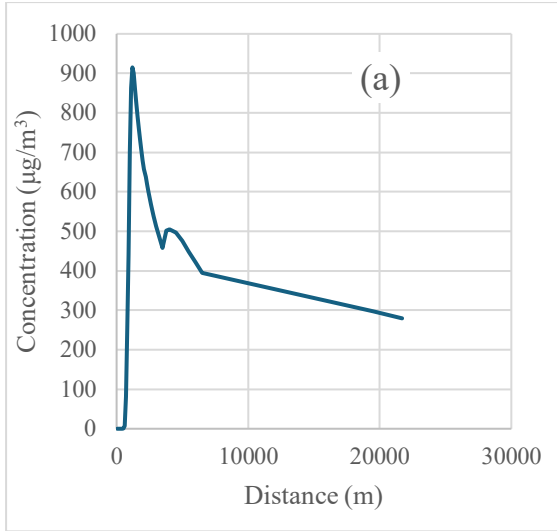
شکل ۴. حداکثر غلظت آلاینده‌ها بر حسب فاصله از دودکش در جهت جنوب شرقی: SO<sub>2</sub> (a)، NO<sub>2</sub> (b) و CO (c)

شکل ۳. حداکثر غلظت آلاینده‌ها بر حسب فاصله از دودکش در جهت‌های غرب، جنوب غربی و جنوب: SO<sub>2</sub> (a)، NO<sub>2</sub> (b) و CO (c)



شکل ۵. حداکثر غلظت آلاینده‌ها بر حسب فاصله از دودکش در جهت شرقی (a)  $SO_2$ ، (b)  $NO_2$  و (c) CO

شکل ۶. حداکثر غلظت آلاینده‌ها بر حسب فاصله از دودکش در جهت شمال شرقی (a)  $SO_2$ ، (b)  $NO_2$  و (c) CO



شکل ۸- حداکثر غلظت آلاینده‌ها بر حسب فاصله از دودکش در جهت شمال غربی (a) SO<sub>2</sub>، (b) NO<sub>2</sub> و (c) CO

شکل ۷- حداکثر غلظت آلاینده‌ها بر حسب فاصله از دودکش در جهت شمال (a) SO<sub>2</sub>، (b) NO<sub>2</sub> و (c) CO

## بحث

در این قسمت، حداکثر غلظت محاسبه شده برای آلاینده‌های مختلف در شهرها و روستاها اطراف نیروگاه سهند با محدوده‌های مجاز مربوطه در استانداردهای ایران و WHO مقایسه می‌شود. حداکثر غلظت آلاینده‌های CO و NO<sub>2</sub> در معیار ۱ ساعته در تمامی نقاط تمامی جهت‌ها شامل تمام روستاها و شهرها مجاور نیروگاه سهند، پایین‌تر از حدود مجاز ذکر شده در استانداردهای ایران و WHO است. حداکثر غلظت آلاینده SO<sub>2</sub> در تمامی جهات، حداقل تا فاصله ۲۰ کیلومتری از دودکش نیروگاه، بالاتر از حد مجاز استاندارد ایران در معیار ۱ ساعته (۱۹۶ میکروگرم بر مترمکعب) است. این محدوده شامل شهرهای بناب، خوشه‌مهر، عجب‌شیر و مراغه می‌شود. نزدیک‌ترین روستا به دودکش نیروگاه نیز روستای شورگل در سمت شمال‌شرقی و در فاصله ۱/۱ تا ۱/۶ کیلومتری است که حداکثر غلظت آلاینده SO<sub>2</sub> (تقریباً ۴/۷ برابر حد مجاز استاندارد ایران) را تجربه می‌کند. پس از آن، روستای قره‌زکی در سمت شمال‌غربی نیروگاه و در فاصله ۲/۸ کیلومتری نیروگاه واقع شده است که حداکثر غلظت SO<sub>2</sub> در آن ۲/۸ برابر حد مجاز استاندارد ایران است. روستای خضرلو نیز در سمت غرب نیروگاه با فاصله حداقل ۴ کیلومتری واقع شده است که حداکثر غلظت SO<sub>2</sub> آن ۲/۱ برابر حد مجاز استاندارد ایران است. شهر بناب و سایر روستاهای تابعه آن در فاصله بیشتر از ۶ کیلومتری در جهت‌های شرق، جنوب‌شرقی و جنوب نیروگاه واقع شده‌اند و حداکثر غلظت آلاینده SO<sub>2</sub> در آن‌ها به ۲ برابر حد مجاز می‌رسد. حداکثر غلظت SO<sub>2</sub> در شهر خوشه‌مهر (۱۶ کیلومتری) حدود ۱۰٪، در شهر عجب‌شیر (۱۱ کیلومتری) حدود ۳۰٪ و در شهر مراغه (۱۸ کیلومتری) حدود ۴۰٪ بالاتر از حد مجاز استاندارد ایران در معیار ۱ ساعته است. همچنین، غلظت این آلاینده در شهرهای دورتر از ۲۰ کیلومتری نیروگاه شامل آذرشهر، ملکان و میاندوآب، و تمام روستاهای آن‌ها، پایین‌تر از حد مجاز معیار ۱ ساعته در استاندارد ایران است.

برای مناطق دارای ارتفاعات بلندتر از خروجی دودکش نیروگاه، که غلظت حداکثر آلاینده‌ها در معیار ۲۴ ساعته نیز محاسبه شده است، غلظت CO در تمامی نقاط جهت‌های مختلف پایین‌تر از حدود مجاز ذکر شده در استاندارد WHO است. حداکثر غلظت آلاینده NO<sub>2</sub> در جهت‌های شرق، جنوب‌شرقی و شمال‌غربی پایین‌تر از حد مجاز معیار ۲۴ ساعته در استاندارد WHO است. در مقابل، حداکثر غلظت NO<sub>2</sub> در جهت شمال (۹/۷ کیلومتری) ۱۸٪ و در جهت شمال‌شرقی (۶/۲ کیلومتری) ۶۱٪ بالاتر از این حد مجاز است. به طور مشابه، حداکثر غلظت آلاینده SO<sub>2</sub> در جهت‌های شرق، جنوب‌شرقی و شمال‌غربی پایین‌تر از حد مجاز معیار ۲۴ ساعته در استاندارد ایران است و در جهت‌های شمال ۲۶٪ و در جهت شمال‌شرقی ۷۲٪ بالاتر از این حد مجاز است. با توجه به اینکه حد مجاز غلظت آلاینده SO<sub>2</sub> در استاندارد WHO پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ایران در معیار ۲۴ ساعته است، حداکثر غلظت این آلاینده در تمام جهات با ارتفاعات بلندتر از دودکش، در محدود غیرمجاز از نظر استاندارد WHO قرار دارند (۶/۵ تا ۱۷ برابر حد مجاز در استاندارد WHO).

جهت مقایسه نتایج با مطالعات قبلی انجام شده بر روی نیروگاه سهند، می‌توان از نتایج ارائه شده در مرجع<sup>۲۷</sup> برای مناطق واقع بر روی جهت‌های مورد بررسی در پژوهش جاری استفاده کرد. در این مرجع، مدل‌سازی انتشار گاز NO<sub>2</sub> از نیروگاه سهند با استفاده از نرم‌افزار AERMOD و با شرایط مشابه با مقادیر مندرج در جدول ۲ انجام شده است.<sup>۲۷</sup> به عنوان مثال، حداکثر غلظت NO<sub>2</sub> در روستای شورگل واقع در شمال‌شرقی نیروگاه در معیار ۱ ساعته با نرم‌افزار AERMOD برابر با ۴۰ میکروگرم بر مترمکعب محاسبه شده است و با استفاده از نرم‌افزار SCREEN View برابر با ۵۴ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمده است که علی‌رغم اختلاف ۳۵٪، هر دو پایین‌تر از حد مجاز (۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب) هستند. حداکثر غلظت NO<sub>2</sub> در معیار ۱ ساعته در شهر بناب واقع در

فسیلی هستند که می‌توانند بر سلامت انسان تأثیرات مخربی داشته باشند. از این رو برآورد تأثیرات ناشی از انتشار آلاینده‌ها در محیط اطراف نیروگاه‌های حرارتی مهم‌ترین گام در حفظ سلامت محیط‌زیست اطراف آن‌ها هست. به همین منظور، در این پژوهش از نرم‌افزار SCREEN View برای مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های حاصل از نیروگاه حرارتی سهند استفاده شده است. در این مدل‌سازی، انتشار آلاینده‌ها در ۸ جهت دودکش نیروگاه و در نظر گرفتن ارتفاعات موجود در این جهات انجام شده است. نتایج این پژوهش در معیارهای حداکثر غلظت ۱ ساعته برای تمام نقاط و میانگین ۲۴ ساعته برای نقاط مرتفع‌تر از خروجی دودکش نیروگاه محاسبه شده و با حدود مجاز موجود در استانداردهای مربوطه ایران و WHO مقایسه شده است.

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که حداکثر غلظت آلاینده CO در تمامی نقاط و جهات مورد بررسی پایین‌تر از حدود مجاز ذکر شده در استانداردها برای معیارهای ۱ ساعته و ۲۴ ساعته است. به طور مشابه، حداکثر غلظت آلاینده NO<sub>2</sub> در معیار ۱ ساعته در تمامی نقاط و جهات پایین‌تر از حد مجاز ذکر شده در استانداردها است. ولی در معیار ۲۴ ساعته، غلظت این آلاینده فقط در جهات شمال و شمال‌شرقی، بالاتر از حد مجاز استاندارد WHO است. حداکثر غلظت آلاینده SO<sub>2</sub> در تمامی جهات، حداقل تا فاصله ۲۰ کیلومتری از دودکش نیروگاه، بالاتر از حد مجاز استاندارد ایران در معیار ۱ ساعته است. غلظت این آلاینده در معیار ۲۴ ساعته در جهات شمال و شمال‌شرقی بالاتر از حدود مجاز ذکر شده در استانداردها هست. اما در سایر جهات با ارتفاعات بلندتر از دودکش، علی‌رغم اینکه حداکثر غلظت این آلاینده در معیار ۲۴ ساعته پایین‌تر از حد مجاز استاندارد ایران است ولی بالاتر از حد مجاز استاندارد WHO قرار دارد.

با توجه به نتایج این پژوهش، انتشار گاز دی‌اکسید نیتروژن و علی‌الخصوص گاز دی‌اکسید گوگرد از دودکش نیروگاه

جنوب‌شرقی نیروگاه با استفاده از نرم‌افزار AERMOD برابر با ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمده است و با استفاده از نرم‌افزار SCREEN View برابر با ۲۳ میکروگرم بر مترمکعب محاسبه شده است که اختلاف ۱۳۰٪ دارند. برای شهر عجب‌شیر واقع در سمت شمال‌غربی نیروگاه نیز حداکثر غلظت NO<sub>2</sub> در معیار ۱ ساعته با نرم‌افزار AERMOD برابر با ۹ میکروگرم بر مترمکعب محاسبه شده است و با استفاده از نرم‌افزار SCREEN View برابر با ۲۲ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمده است که اختلاف ۱۵۵٪ دارند. با افزایش فاصله از منبع انتشار و در نتیجه کاهش مقادیر غلظت آلاینده، مقدار اختلاف مابین نتایج دو پژوهش نیز افزایش می‌یابد. دلیل وجود این اختلاف در نتایج محاسبات دو نرم‌افزار، تفاوت در رویکرد محاسباتی آن‌ها است. در نرم‌افزار SCREEN View غلظت آلاینده در تمام شرایط جوی محاسبه شده و مقدار حداکثر آن جهت مقاصد طراحی به صورت محتاطانه ارائه می‌شود. ولی در نرم‌افزار AERMOD غلظت آلاینده صرفاً با شرایط آب و هوایی که در بازه زمانی مورد مطالعه رخ داده است، محاسبه می‌شود و مقادیر واقع بینانه‌تری ارائه می‌دهد. هرچند امکان دارد در بازه‌های زمانی کوتاه برخی از شرایط آب و هوایی بدبینانه که منجر به غلظت‌های بالاتری از آلاینده می‌شوند، اتفاق نیافتند. از طرفی، با توجه به اینکه تمامی ایستگاه‌های سنجش کیفیت هوا واقع در فاصله ۵۰ کیلومتری از نیروگاه سهند، فاقد قابلیت اندازه‌گیری غلظت گازهای SO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>2</sub> هستند، لذا امکان مقایسه نتایج محاسبات با مقادیر اندازه‌گیری شده میسر نیست.

## نتیجه‌گیری

مصرف سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌های حرارتی منجر به رهاسازی گازهایی نظیر اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای کربن در محیط‌زیست می‌شود. دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و مونواکسید کربن مهم‌ترین گازهای آلاینده حاصل از احتراق سوخت‌های

قابلیت بهره‌برداری از داده‌های هواشناسی مختص مکان نیروگاه، نظیر نرم‌افزار AERMOD، می‌تواند به نتایج واقع‌بینانه‌تر و کمتر محتاطانه منجر شود.

### سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری اداره کل حفاظت محیط‌زیست آذربایجان شرقی و نیروگاه حرارتی سهند بناب جهت تأمین داده‌های لازم برای مدل‌سازی انجام گرفته در این مقاله کمال تقدیر و تشکر را دارند.

سهند، منجر به عبور حداکثر غلظت این گازها در برخی از مناطق مجاور نیروگاه از حدود مجاز ذکر شده در استانداردهای محیط زیستی می‌شود و می‌تواند بر سلامت ساکنین این مناطق تأثیرات مخربی داشته باشد. البته لازم به ذکر است که نتایج نرم‌افزار SCREEN View مربوط به حداکثر غلظت محتمل آلاینده در تمامی کلاس‌های پایداری هوا و سرعت‌های باد است (بدترین شرایط برای ارزیابی محتاطانه‌ترین حالت) و این به معنی وقوع قطعی این حالت‌ها نیست. از این رو به نظر می‌رسد که مطالعه نحوه انتشار آلاینده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای دیگر با

## References

1. Haaj-Ghani A, Morad-Alizadeh S, Rezaei M. Feasibility of Using Solar Power Plants in Iran (Opportunities and Challenges). *Journal of Environmental Health Engineering* 2024;11(3): 347-65 [In Persian].
2. Keykhosravi ss, Nejadkoorki F, Amintoosi M. Modeling NOx, CO, SO2 and PM emissions from Sabzevar cement plant using SCREEN3 software. *Occupational Medicine Quarterly Journal* 2021;13(3): 24-37 [In Persian].
3. Naghdi S, Mirmohammadi M, Karimzadegan H, Gh J. the study of gaseous pollutants emitted from automotive industry and near road to the atmosphere using the combination of AERMOD dispersion model and MOVES model. *Journal of Environmental Health Engineering* 2022;10(1): 83-99 [In Persian].
4. Naghdi S, Mirmohammadi M, Karimzadegan H, Ghodui J. Atmospheric dispersion modeling and health effects of PM2.5 released from automotive industries (case study of Saipa). *Journal of Environmental Health Engineering* 2022;9(2): 189-206 [In Persian].
5. Zehtab Yazdi Y, Mansouri N, Atabi F, Aghamohammadi H. Dispersion Modeling of Particulate Matters (PM2.5, PM10) from Asphalt Plants in the Southwest of Tehran. *Journal of Environmental Health Engineering* 2021;8(4): 375-90 [In Persian].
6. Dastoorpoor M, Sekhavatpour Z, Masoumi K, et al. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular diseases in Ahvaz, Iran. *Science of the total environment* 2019;652: 1318-30.
7. Moazen M, Saghafi M. Investigating the environmental impacts of developing application of wind turbines and the need for the related policies. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research* 2023;9(2): 194-216 [In Persian].
8. Kumar R. A critical review on energy, exergy, exergoeconomic and economic (4-E) analysis of thermal power plants. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 2017;20(1): 283-92.
9. Siahpour G, Jozi SA, Orak N, et al. Estimation of environmental pollutants using the AERMOD model in Shazand thermal power plant, Arak, Iran. *Toxin Reviews* 2022;41(4): 1269-79.
10. 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* 2024;9(4): 374-86 [In Persian].
11. 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): 219-42.
12. Alnahdi A, Elkamel A, Shaik MA, et al. Optimal Production Planning and Pollution Control in Petroleum Refineries Using Mathematical Programming and Dispersion Models. *Sustainability* 2019;11(14): 3771.
13. Emert AD, Griffis-Kyle K, Portillo-Quintero C, Smith PN. USEPA CALPUFF validation and dispersion modeling of beef cattle feedlot PM10 and PM2.5 emissions factors. *Atmospheric Environment* 2024;316: 120189.
14. Naghdi S, Mirmohammadi M, Karimzadegan H, Ghodusi J. Atmospheric Dispersion Modeling of Benzene, Toluene, Xylene, and Ethyl Benzene Output from the Automotive Industries and Determining Ozone Formation Potential (Case Study of Saipa). *Journal of Environmental Health Engineering* 2022;9(3): 377-98 [In Persian].
15. Afshar-Mohajer N, Wu C-Y. Use of a drone-based sensor as a field-ready technique for short-term concentration mapping of air pollutants: A modeling study. *Atmospheric Environment* 2023;294: 119476.
16. Ahmadi H, Borna R, Morshedi J. The Effect of oil Industries on Air Pollution and its Optimal Locating Through the Environmental Approach in Ahvaz Metropolis. *Town and Country Planning* 2022;14(1): 285-315 [In Persian].
17. Zolfaghari G, Nezamparvar S, Rajabzadeh V. Measurement and modeling of pollutants in cement plant using Screen View model: case study, Zaveh cement factory. *Journal of Environmental Science Studies* 2021;6(2): 3720-9 [In Persian].
18. Khaniabadi YO, Sicard P, Taiwo AM, et al. Modeling of particulate matter dispersion from a cement plant: Upwind-downwind case study. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2018;6(2): 3104-10.
19. Rauf AU, Mallongi A, Daud A, et al. Community Health Risk Assessment of Total Suspended Particulates near a Cement Plant in Maros Regency, Indonesia. *Journal of Health and Pollution* 2021;11(30): 210616.
20. Ilić I, Bogdanović D, Živković D, et al. Optimization of heavy metals total emission, case study: Bor (Serbia). *Atmospheric Research* 2011;101(1): 450-9.
21. Ruhiat Y, Fatah A, Fahrizal R. The Impact of Sulfur Dioxide and Dust Pollutant Emission from Industrial Area Toward the Ambient Air Changes in Cilegon City. *Indian Journal of Public Health* 2018;9(12): 1935.
22. AlRafea K, Elkamel A, Abdul-Wahab SA. Cost-analysis of health impacts associated with emissions from combined cycle power plant. *Journal of Cleaner Production* 2016;139: 1408-24.
23. Das S, Hageman KJ, Taylor M, et al. Fate of the organophosphate insecticide, chlorpyrifos, in leaves, soil, and air following application. *Chemosphere* 2020;243: 125194.
24. Verginelli I, Nocentini M, Baciocchi R. An alternative screening model for the estimation of outdoor air concentration at large contaminated sites. *Atmospheric Environment* 2017;165: 349-58.
25. Department of Environment. Ambient Air Quality Standard Tehran, Iran, 2017 [2023/10/21]. Available from: <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>[In Persian].

26. 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.
27. Saghafi M, Hajiabdollahi Mamaghani A. Studying the release of nitrogen dioxide pollutant from Sahand power plant in Bonab. 3rd International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development, Environment and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution; Tabriz, Iran, 2024 [In Persian].