

Modeling the emission and calculation of the risk of steelmaking contaminants using the AERMOD model

Maral Rashidi Fard¹ , Yousef Rashidi^{2*} , Majid Amiri³ 

1- MSc, Department of Environmental Technologies, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2-Assistant Professor, Department of Environmental Technologies, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3- MSc, Environmental Department, Faculty of Environment and Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract

Background and Aims: Nowadays, air pollution has become a major challenge especially in large cities. Considering the paramount importance of air pollutants impact of human health, the study of pollutants emission models to estimate their dispersion and consequent impacts on human health is very important.

Materials and Methods: In this research, CO, NO₂ and SO₂ emissions from steel complexes, which are the most important pollutants of this industry, is discussed. For this purpose, AERMOD models have been designed to investigate the dispersion of pollutants and then BREEZE AERMOD model to study the risk of emission of pollutants. Finally, the risk of pollutants inhalation was estimated using the RAIS model. The data were collected statistically. All stages of this research were conducted ethically and relevant permits were obtained.

Results: According to the calculations made in our study, the risk factor for non-cancerous inhalation of air pollutants in the steel complex was 3.7 for employees, 4.8 for workers and 7.7 for office workers, 3.7 for over-threshold workers. These individuals were at risk caused by contaminants, especially carbon monoxide and nitrogen dioxide. Residents in the neighbor regions demonstrating a risk index of 0.2% are at a lower risk.

Conclusion: Considering the risk assessments made, emissions from steel complexes pose a serious health risk especially for workers. Indeed, due to the close proximity of the surrounding villages in the southern areas of the site to the steel complex flares, they are exposed to the large amounts of contaminants.

Keywords: steel complex, air pollution modeling, breeze aermod, aermod, rias method.

Please Cite this article as: Rashidi Fard M, Rashidi Y, Amiri M. Modeling the emission and calculation of the risk of steelmaking contaminants using the AERMOD model. Journal of Health in the field. 2018; 6(3):27-35.

***Corresponding Author:** Department of Environmental Technologies, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: y_rashidi@sbu.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.22037/jhf.v6i3.20605>

Received: 3. Mar. 2018

Accepted: 13. Oct. 2018

مدل‌سازی انتشار و محاسبه ریسک آلاینده‌های هوای ناشی از مجتمع فولاد

مارال رشیدی فرد^۱، یوسف رشیدی^{۲*}، مجید امیری^۳

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه فن‌آوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- استادیار، گروه فن‌آوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۳- دانشجوی کارشناس ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: امروزه آلودگی هوا در شهرهای بزرگ، به عنوان یکی از چالش‌های عمده درآمده است، با توجه به اهمیت تأثیر آلاینده‌های هوا بر سلامتی انسان، بررسی مدل‌های پخش آلاینده‌های هوا به منظور تخمین انتشار آلاینده‌ها و تأثیر آنها بر سلامتی انسان از اهمیت خاصی برخوردار است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش به بررسی آلودگی هوای ناشی از انتشار آلاینده‌های هوای NO_2 ، CO و SO_2 در مجتمع فولاد، که مهم‌ترین آلاینده‌های ناشی از این صنعت می‌باشند، پرداخته می‌شود. بدین منظور از مدل‌های AERMOD، به منظور بررسی پراکنش آلاینده‌ها و سپس با مدل BREEZE AERMOD به بررسی ریسک انتشار آلاینده پرداخته شده است. در نهایت ارزیابی ریسک استنشاق آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل RAIS صورت گرفته است. در طی انجام این مطالعه اطلاعات به صورت آماری جمع‌آوری شده و کلیه موازین اخلاقی رعایت و مجوزهای مربوطه دریافت گردید.

یافته‌ها: با توجه به محاسبات صورت گرفته، اندیس مخاطره تأثیر غیرسرطانی استنشاق آلاینده‌های هوا در مجتمع فولاد برای کارکنان محوطه ۳/۷، کارگران ۴/۸ و کارکنان اداری ۳/۷ است که بیش از حد آستانه بوده است و این افراد در معرض مخاطرات ناشی از آلاینده‌ها به خصوص منواکسید کربن و دی‌اکسید نیتروژن هستند. ساکنین مناطق مجاور با اندیس مخاطره ۰/۲ در خطر کمتری قرار دارند.

نتیجه‌گیری: با توجه به بررسی ریسک انتشار آلاینده‌ها، بیشترین افرادی که در خطر انتشار قرار دارند، کارگران می‌باشند، از سوی دیگر به دلیل نزدیک بودن روستاهای اطراف به محدوده فلرها در اراضی جنوبی سایت، ساکنین این روستاها در معرض مقادیر زیادی از آلاینده‌ها می‌باشند.

کلید واژه‌ها: مجتمع فولاد، مدل‌سازی آلودگی هوا، AERMOD، BREEZE AERMOD، روش RIAS.

*نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده علوم محیطی، گروه فن‌آوری‌های محیط زیست.

مقدمه

دریافت کننده مقایسه کردند [۵]. بررسی مطالعات انجام شده در ایران و جهان نشان می دهد که تا کنون تحقیق جامع و مدونی در خصوص مدل سازی انتشار آلاینده های هوای ناشی از دودکش ها و فلرها و سپس تعیین ریسک انتشار آلاینده ها با استفاده از مدل AERMOD در مجتمع فولاد مبارکه اصفهان انجام نشده است. برای انتخاب مناسب ترین مدل جهت انجام مطالعات کیفیت هوای مجتمع فولاد مبارکه، به این مهم توجه شده است که شبیه سازی منطقه با قابلیت های مدل، همخوانی داشته باشد. با توجه به موارد ذکر شده در این پژوهش، به منظور مدل سازی پراکنش آلاینده های هوا از مدل AERMOD استفاده شده است. بعد از اجرای مدل AERMOD از مدل BREEZE AERMOD استفاده شده است که قابلیت برآورد غلظت انتشار با وارد کردن منبع انتشار، ساختمان، گیرنده یا داده های زمین را دارد. در واقع قابلیت گرافیکی این نرم افزار این امکان را می دهد داده های خروجی مدل را به صورت سریع و قابل اعتماد ارائه دهد؛ در نتیجه در این مقاله از این مدل استفاده شده است. از پارامترهای ورودی این مدل انتشار آلاینده ها، محل قرارگیری منابع، پارامترهای هواشناسی و وضعیت جغرافیایی است. مطالعات انجام شده در زمینه بیماری های مرتبط با آلودگی هوا نشان می دهند که بیش از ۲ میلیون مرگ زودرس در هر سال، وابسته به تأثیر آلودگی هوا در محیط باز و بسته است. بیش از نیمی از این مرگ و میر و بیماری ها را جمعیت کشورهای در حال توسعه متحمل شده است [۶].

ارزیابی ریسک سلامتی انسان فرآیندی است که به تخمین ریسک سیستم یا جمعیت می پردازد. این روش شامل عدم قطعیت های وابسته، مواجهه عوامل مشخص بعدی، در نظر گرفتن خصوصیات اصلی عوامل نگران کننده علاوه بر خصوصیات سیستم مورد نظر است [۷]. هدف از بررسی این مطالعه پی بردن به آلاینده های ناشی از مراحل تولید مجتمع فولاد و تأثیر هر کدام از آلاینده ها بر سلامت افراد شاغل در مجتمع و ساکنین اطراف مجتمع فولاد مبارکه اصفهان می باشد. بدین منظور مراحل انجام فرایند ارزیابی ریسک از طریق فرموله کردن مسئله، شناسایی خطر، توصیف خصوصیات خطر، ارزیابی مقدار تماس و توصیف خصوصیات ریسک صورت می گیرد [۸].

مواد و روش ها

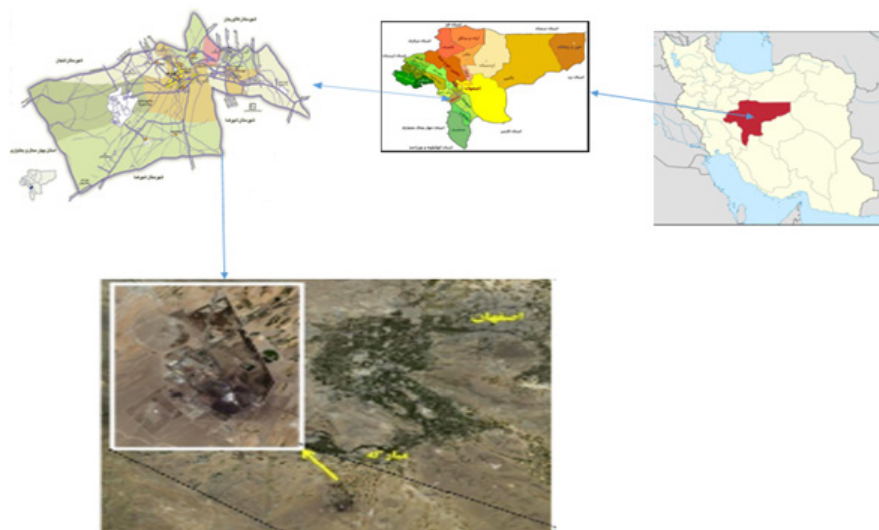
مشخصات توپوگرافی و هواشناسی منطقه مورد مطالعه

شهر مبارکه در قسمت غربی استان اصفهان و بین استان های چهارمحال و بختیاری و اصفهان قرار دارد. نزدیک ترین ایستگاه سینوپتیک در حوزه استراتژیک ۳۲ درجه و ۴۱ دقیقه و ۵۱/۲۴ ثانیه شمالی و ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه و ۵۶ ثانیه عرض شرقی و ۳۱ درجه

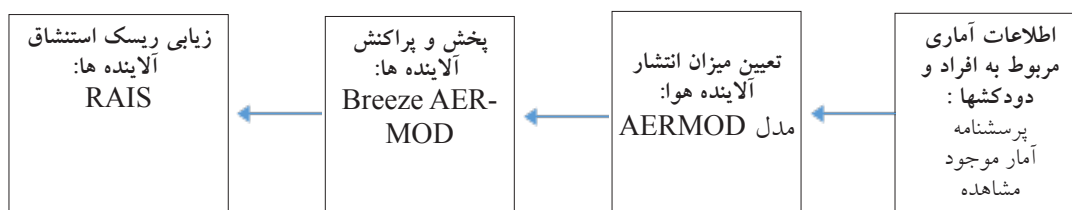
آلودگی هوا در گذشته خسارات بسیار زیادی را به لحاظ جانی و مالی به همراه داشته است [۱]. اثرات زیان بار آلودگی هوا بر سلامت انسان و در کل محیط زیست بر هیچ کس پوشیده نیست. آگاهی از غلظت آلاینده های هوا در مناطق اطراف منابع آلاینده و همچنین مقدار بیشینه غلظت ها، نقشی مؤثر در سازوکار تصمیم سازی برای مقابله با آلودگی هوا ایفا می کند. از آنجایی که نصب و نگهداری ایستگاه های پایش، به ویژه در تعداد زیاد بسیار دشوار و پرهزینه می باشد، لذا مدل سازی پراکنش آلاینده ها با استفاده از مدل های رایانه ای در سال های اخیر مورد توجه مهندسين آلودگی هوا قرار گرفته است [۲]. یکی مدل هایی که قادر به محاسبه انتشار آلاینده ها است، مدل AERMOD می باشد. بر اساس بررسی های انجام شده در ایران و جهان، در زمینه مدل سازی آلودگی هوا تحقیقات زیادی صورت گرفته است؛ نظیر فرامرز معطر و همکاران با محاسبه غلظت گازهای آلاینده SO₂ در سطح زمین منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، مطالعه موردی پالایشگاه گازی فازهای ۴ و ۵ و مقایسه آن با استانداردهای کیفیت هوا، به پیش بینی آثار بهداشتی احتمالی این گازها بر سلامت افراد جامعه مبادرت نمودند. مدل سازی انتشار گازها با استفاده از دو مدل کامپیوتری ریاضی CREAM و CAP88 (که با توجه به قابلیت ها و محدودیت های مدل ها به ترتیب در شرایط اینورژن و شرایط میانگین جوی اجرا شده اند) و با در نظر گرفتن شرایط عملیاتی نرمال پالایشگاه انجام شده است. نتایج مدل سازی نشان می دهند که در فاز عملیاتی، غلظت گاز SO₂ در بعضی نقاط و در شرایط وارونگی هوا، استانداردهای کیفیت هوا را چه در سطح ملی و چه بین المللی، حتی با در نظر گرفتن فعالیت تنها یک پالایشگاه گازی و تنها در شرایط عملیاتی نرمال که پراکنش آلاینده ها در حداقل میزان ممکن است، پشت سر می گذارد [۳]. خسرو اشرفی و همکاران، میزان انتشار آلاینده های ترکیبات آلی فرار ناشی از تبخیر سطحی، از ۱۶ مخزن واقع در یکی از پالایشگاه های میدان گازی پارس جنوبی که حاوی ۱۳ نوع مایع آلی مختلف هستند را با نرم افزار TANKS 4.0.9d تعیین و در ادامه، نحوه پراکنش این آلاینده ها را با استفاده از مدل پراکنشی AERMOD در منطقه ای با وسعت ۱۵۷۱۵ کیلومتر مربع انجام داد. در پایان مشخص شد که از مخازن ذخیره ای این پالایشگاه، سالانه تقریباً ۲۳۳ تن آلاینده های VOC منتشر می شود [۴]. سینگیاتیوس و همکاران، میزان غلظت NO_x خروجی از دودکش چهار کارخانه سیمان در کشور تایلند را به مدت هفت روز متناوب در ۱۲ ایستگاه دریافت کننده، اندازه گیری کردند. سپس با استفاده از مدل AERMOD انتشار NO_x از کارخانه سیمان را در فصل خشک و مرطوب شبیه سازی نمودند و نتایج حاصل از اندازه گیری را با نتایج حاصل از شبیه سازی در ایستگاه های

شده است و مراحل اصلی انجام ریسک انتشار آلاینده بر طبق شکل ۲ تهیه شده است.

و ۴۵ دقیقه و ۲ ثانیه و ۵۱ درجه شمالی و ۴۳ دقیقه و ۱۷،۰۸ ثانیه قرار دارد. در شکل ۱ موقعیت مکانی کارخانه فولاد مبارکه آورده



شکل ۱- موقعیت کارخانه فولاد مبارکه



شکل ۲- نمای کلی ارزیابی ریسک انتشار آلاینده‌ها

از طریق مشاهده و استفاده از پرسشنامه‌ها در ساعات مختلف، جمع آوری شده است در طی انجام این مطالعه اطلاعات به صورت آماری جمع آوری شده و کلیه موازین اخلاقی رعایت و مجوزهای مربوطه دریافت گردید. ابتدا داده‌های ورودی مدل از جمله ارتفاع دودکش، موقعیت دودکش‌ها، نرخ انتشار آلاینده بر حسب درصد و دمای گاز خروجی برای هر کدام از دودکش‌ها وارد و میزان انتشار هر آلاینده بر حسب میکروگرم بر مترمکعب تعیین می‌شود این اعداد برگرفته از EPA است و در محاسبات آن دخل و تصرفی صورت نگرفته و موازین اخلاقی رعایت شده است. پس از وارد کردن داده‌های مربوط به دودکش‌ها در مدل، داده‌های مربوط به زمان، اطلاعات جغرافیایی، اطلاعات هواشناسی تهیه شد. پس از وارد کردن کلیه داده‌های ورودی، مدل AERMOD به آنالیز داده‌ها و تخمین انتشار آلاینده‌های هوا پرداخته و اطلاعات انتشار آلاینده‌های مورد نظر استخراج شد. در نهایت انتشار آلاینده‌های NO_2 ، SO_2 و CO و

همان‌طور که در شکل ۲ نمایش داده شده است، به منظور محاسبه میزان ریسک انتشار آلاینده‌ها و استنشاق این آلاینده‌ها از دو مدل استفاده شده است. مدل اولی که برای ارزیابی ریسک مورد استفاده قرار گرفته، مدل Breeze AERMOD می‌باشد که با استفاده از اطلاعات ورودی‌های مدل AERMOD تهیه شده است. اطلاعات مورد نیاز این مدل شامل دودکش‌ها، ارتفاع دودکش، دمای خروجی گازها و مدت زمانی که افراد در تماس با گازهای آلاینده هستند. بر طبق محاسبات این مدل میزان انتشار آلاینده تعیین می‌شود. مدل دومی که مورد استفاده قرار گرفته، مدل RAIS است که اطلاعات مورد نیاز مدل RAIS شامل اطلاعات اولیه کارکنان به منظور محاسبه میزان استنشاق آلاینده‌ها توسط هر فرد، اطلاعات هواشناسی به منظور عوامل موثر در پراکنش آلاینده‌ها نظیر دما، سرعت و جهت باد و خروجی دودکش‌ها به علت فهم میزان آلودگی خروجی آلاینده‌ها می‌باشد، این اطلاعات با استفاده از اطلاعات ثبت شده، آمارگیری

۲۰۱۲ الی ۲۰۱۶ استفاده شد. مشخصات این ایستگاه سینوپتیک در جدول ۱ آورده شده است. شکل ۲ گلباد سه ساعته ایستگاه سینوپتیک شهرستان مبارکه در سالهای ۲۰۱۲ الی ۲۰۱۶ را نشان می دهد. مهم ترین پارامترهای هواشناسی شامل سرعت باد، جهت باد، رطوبت نسبی، دما و ابرناکی می باشد. داده های هواشناسی در ماژول AERMET پردازش شده و تبدیل به فایل Onsite می شوند که ورودی AERMOD است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی مبارکه اصفهان

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
ایستگاه سینوپتیک مبارکه اصفهان	۳۱۴۵ N	۵۱۴۳ E	۱۶۵۰ M

منابع انتشار آلاینده

اطلاعات مورد نیاز منابع آلاینده شامل ۹ منبع آلاینده (که همگی دودکش اند) و شامل غلظت آلاینده ها، نرخ انتشار آلاینده ها در ارتفاع آزادسازی آلاینده از سطح زمین می باشند. غلظت آلاینده ها با استفاده از دستگاه سنجش انتشار آلاینده ها TESTO اندازه گیری شده در این مدل سازی با توجه به راهنمای کتابچه ی EPA میانگین غلظت آلاینده ها در زمان حداکثری و حداقل تولید آلاینده یعنی یک ساعته و بیست و چهار ساعته محاسبه می شود. همچنین قطر داخلی دودکش در محل خروجی، مورد نیاز است که برای هر یک از دودکش ها از طریق اندازه گیری میدانی مشخص شد. افزون بر این، موقعیت مکانی منابع نسبت به هم مشخص شدند (جدول ۲). موقعیت مکانی با استفاده از GPS تعیین شده است.

در طول شبانه روز و همچنین داده های یک ساعته در مجتمع که برآیندی از تمامی دودکش ها است، به دست آمد.

ورودی مدل AERMOD با استفاده از طول مونین ابوخوف و تعیین پایداری و ناپایداری جو به محاسبه غلظت آلاینده های هوا می پردازد [۹]. ورودی مدل با توجه به میزان تولید واحدهای تولیدی، در ساعات مختلف از روز برآورد میزان متوسط انتشار آلاینده های هوا با واحد گرم در ساعت برای آلاینده های NO_2 ، SO_2 و CO تعیین می نماید. برای مدل سازی منابع انتشار آلاینده که در مجتمع به صورت یک سطح، آلاینده های هوا را به طور یکنواخت در آن پخش می کنند، در نظر گرفته می شود. در این روش مختصات و انتشار سه منبع سطحی (شامل مناطق اطراف مجتمع، فضای داخلی مجتمع و محوطه ی اطراف مجتمع) نیاز است.

برای مدل سازی نیاز به تعیین غلظت های زمینه آلاینده ها با اندازه گیری غلظت این آلاینده ها در هوای اطراف کارخانه می باشد. منظور از آلاینده های زمینه، آلاینده هایی که محصول به غیر از واحدهای تولیدی مجتمع هستند، نظیر خودروهای پرسنل یا کامیون های حاوی مواد اولیه کارخانه است.

غلظت آلاینده های هوا در دوره زمانی مورد نظر بدون در نظرگیری اثر مجتمع وضعیت آلاینده های هوا در ایستگاه های پایش آلودگی هوا در نزدیکی مجتمع بررسی شد. در نهایت با توجه به موقعیت قرارگیری مجتمع و جهت باد غالب در اصفهان، اطلاعات آلودگی هوای حاصل از اندازه گیری توسط ایستگاه پایش انتشار آلاینده ها واقع در مبارکه مورد استفاده قرار گرفته اند. با توجه به اینکه ایستگاه پایش آنالین و غلظت آلاینده ها در هر ساعت موجود است، از روش میانگین گیری در واحد زمانی مختلف، استفاده شده است. سپس، غلظت زمینه تعیین و در مدل سازی لحاظ شده است. در محدوده قرار گیری مجتمع، نقاط مورد نیاز برای تعیین داده های خروجی و نحوه ی آنالیز تعیین شده است. نقاط انتخاب شده با استفاده از روش تصادفی خوشه ای بوده که مورد تایید EPA می باشد، این روش انتخاب نقاط، منطبق بر معیارهای هر دو مدل استفاده شده در این مقاله می باشد. ارتفاع در نظر گرفته شده برای تخمین غلظت آلاینده ها، ۲ متر از سطح زمین است که میانگین ارتفاع استنشاق آلاینده ها برای کارمندان، کارگران و افرادی که در اطراف این مجتمع زندگی می کنند، است. سپس پارامترهای مورد نیاز خروجی، تعیین و دوره زمانی آن مشخص شد [۱۰].

اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه

برای استفاده از مدل AERMOD جهت مدل سازی پراکندگی آلاینده های هوای ناشی از مجتمع فولاد مبارکه، از داده های هواشناسی سه ساعته ایستگاه سینوپتیک شهرستان مبارکه در سال های

جدول ۲- مشخصات منابع انتشار در فولاد مبارکه‌ی سپاهان

منابع ساکن نشر آلاینده	عرض جغرافیایی (m)	طول جغرافیایی (m)	ارتفاع دودکش (m)	قطر دودکش (m)	دمای گاز خروجی (%k)	سرعت گازهای خروجی (m/s)
08v04-5	۵۴۰۲۳۲۰۲۸	۳۵۶۶۳۷۸۰۸۵	۲۵	۵	۴۴۶۰۱۵	۲۲۰۵۱
F11-12	۵۴۰۲۱۹۰۱۸	۳۵۶۶۳۸۷۰۳۹	۲۵	۵	۳۸۶۰۱۵	۱۱
M 1-6	۵۳۹۷۵۹۰۸۹	۳۵۶۷۲۶۳۰۰۹	۳۰	۴	۵۹۹۰۱۵	۱۱،۱
BOA 1-5	۵۳۹۷۸۵۰۹۸	۳۵۶۷۲۹۶۰۱۶	۲۰	۲	۶۲۲۰۱۵	۹،۴۴
Gal1-2	۵۳۸۹۰۱۰۵	۳۵۶۸۲۳۱۰۲۵	۳۰	۳	۷۷۵۰۱۵	۱۱،۳
2-RYA1	۵۳۹۷۳۹۰۹۶	۳۵۶۷۲۴۱۰۴۹	۲۵	۲	۳۴۳۰۱۵	۹،۶۴
P1-8	۵۳۸۸۷۲۰۱۱	۳۵۶۸۲۱۰۵۷	۳۰	۳	۷۸۷۰۱۵	۱۸
5-POP1	۵۳۹۲۶۹	۳۵۶۵۳۳۲	۲۵	۲،۵	۴۳۳۰۱۵	۱۳
Heat	۵۳۹۳۶۴	۳۵۶۵۲۴۷	۳۰	۴	۴۷۲۰۱۵	۱۳

محاسبه نرخ انتشار

با توجه به اینکه اندازه‌گیری و مشاهدات میدانی همواره با خطاهایی همراه است، برای محاسبه نرخ انتشار آلاینده‌های ناشی از مجتمع فولاد منطقه‌ی مبارکه با توجه به راهنمایی‌هایی که EPA در کتابچه‌ی راهنمای خود آورده است، قبل از محاسبه‌ی نرخ انتشار آلاینده از فاکتورهای انتشار ارائه شده توسط EPA در قالب کتابچه‌های AP-42 استفاده شده‌است. این اطلاعات بر اساس کتابچه بوده‌اند و در استفاده از آن‌ها هیچگونه دخل و تصرفی صورت نگرفته و موازین اخلاقی نیز رعایت شده است، جدول ۳ نمایش دهنده فاکتور انتشار مجتمع فولاد می‌باشد. علت محاسبه‌ی فاکتور انتشار محاسبه نرخ انتشار دقیق آلاینده‌ها می‌باشد. فاکتورهای انتشار برای

برآورد کلی نرخ انتشار آلاینده‌های مجتمع فولاد استفاده می‌شود. با توجه به جدول فاکتور انتشار آلاینده‌ها به ازای هر تن تولید فولاد مطابق جدول ۳ محاسبه شد. لازم به ذکر است که فاکتورهای نشر محاسبه‌شده کمتر از مقادیر واقعی خواهد بود؛ زیرا در مواردی از قبیل بویلرها و هیترها و همچنین کمپرسورها به دلیل نامشخص بودن میزان سوخت مصرفی، محاسبه فاکتور انتشار امکان‌پذیر نمی‌باشد. همانطور که بیان گردید، بعد از محاسبه فاکتور انتشار، میزان نرخ انتشار با استفاده از فاکتورهای انتشار مربوطه و ظرفیت تولید مجتمع فولاد با استفاده از مدل AERMOD انجام پذیرفت. جدول ۴ نمایش دهنده نرخ انتشار محاسبه شده توسط مدل AERMOD برای مجتمع فولاد می‌باشد.

جدول ۳- مجموع فاکتور انتشار ارائه شده برای مجتمع فولاد

عامل	هیدروکربن‌ها	منواکسیدکربن	دی‌اکسیدگوگرد	ذرات معلق	اکسیدهای نیتروژن
فاکتور انتشار آلاینده (kg/10 ³ L fresh feed)	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۱/۴۹	۰/۱۴۷۶	۰/۲۵۸

جدول ۴- نرخ انتشار محاسبه شده برای مجتمع فولاد

آلاینده	هیدروکربن‌ها	منواکسیدکربن	دی‌اکسیدگوگرد	ذرات معلق	اکسیدهای نیتروژن
ER (g/s)	۰/۵۵	۳/۳	۴۱۱	۴۰/۷	۷۱/۲

ارزیابی ریسک انتشار آلاینده‌ها

دو دسته از افراد به‌طور مستقیم در معرض آلاینده‌های هوا در این مجتمع قرار دارند. یک گروه شامل کارگران و کارمندان مجتمع است

که به مدت طولانی و در تمام دوره کاری خود با این غلظت از آلاینده‌های هوا در تماس‌اند و دسته دیگر شامل افرادی است که در اطراف این مجتمع فولاد ساکن هستند که در معرض الگوی

غلظت‌های استفاده شده به منظور ارزیابی ریسک، برای کارگران غلظت حداکثر و سایر افراد غلظت متوسط است. با وارد کردن داده‌های ورودی در RAIS ریسک سرطانی و غیرسرطانی برای گروه‌ها متفاوت به تفکیک نوع آلاینده محاسبه شد. برای ارزیابی تأثیر غیرسرطانی شاخص اندیس مخاطره HI و نسبت مخاطره HQ بررسی شده است. ارزیابی ریسک از طریق شاخص H_{oral} برای بلع، H_{dermal} برای تماس با پوست و $H_{inhalation}$ برای تنفس تمامی مواد شیمیایی از جمله آلاینده‌های هوا محاسبه می‌شود که در اینجا HQ تنها برای تنفس محاسبه شده است [۱۴، ۱۱]. معادله ۳ نحوه محاسبه HI را نشان می‌دهد. در صورتی که این مقدار بیش از ۱ باشد، خطر غیرسرطانی ناشی از آلاینده بروز خواهد کرد.

معادله ۳

$$H_{total} = HQ_{oral} + HQ_{dermal} + HQ_{inhalation}$$

پس از محاسبه ریسک سرطان، برای بررسی جمعیتی که در مخاطره بیماری‌های سرطانی ناشی از آلاینده یا ماده شیمیایی‌اند، ریسک سرطانی ضرب در تعداد جمعیت در تماس با آن ماده می‌شود. با ارزیابی ریسک غیرسرطانی و سرطانی آلاینده‌ها، ارزیابی کمی از خطرهای احتمالی حاصل از استنشاق آلاینده‌ها و جمعیتی که تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند، به دست آمده است. پارامتر CSF فاکتور شیب سرطانی است که برای محاسبه ریسک سرطانی یک آلاینده با پتانسیل ایجاد سرطان استفاده می‌شود [۱۶، ۱۵]. این فاکتور، افزایش احتمال ابتلا به سرطان برای افراد را در تمام طول عمر نشان می‌دهد. محاسبه آن از طریق مطالعات و آزمایش‌ها انجام می‌شود تا به منزله مرجع به کار رود [۱۷].

لازم به ذکر است، در طی انجام این مطالعه اطلاعات به صورت آماری جمع آوری شده و کلیه موازین اخلاقی رعایت و مجوزهای مربوطه دریافت گردید.

یافته‌ها

در این بخش پس از مدل‌سازی انتشار آلاینده‌ها با استفاده از مدل AERMOD که در جدول ۴ ارائه شده است، پارامترهای مورد بررسی شامل میزان انتشار آلاینده‌ها، ریسک سرطانی و غیرسرطانی و نسبت مخاطره استنشاق $HQ_{inhalation}$ آلاینده‌های هوا در مجتمع فولاد برای گروه‌های مختلف محاسبه شد که در جدول ۵ نتایج آن آورده شده است. این جدول بر حسب محاسبات معادلاتی که در قسمت مواد و روش‌ها آورده شده است، بدست آمده است.

متفاوتی از تماس با آلاینده‌های هوا در این مجتمع قرار دارند. ارزیابی تماس با آلاینده‌ها برآورد (کمی یا کیفی) از اندازه، فرکانس، مدت‌زمان و مسیر قرار گرفتن در معرض آلاینده است [۱۱]. در این پژوهش ارزیابی ریسک از روش ارائه شده از سوی RAIS از زیرمجموعه‌های EPA استفاده شده است. برای ارزیابی ریسک سرطانی و غیر سرطانی، ابتدا پارامتر CDI مطابق معادلات ۱ و ۲ محاسبه شد.

معادله ۱

$$CDI_{inhalation=NC} (\mu g/m^3) = \frac{C_{air} (\mu g/m^3) \times EF (day/yr) \times ET (hr/yr) \times (day/24)}{AT (365day/yr) \times ED}$$

معادله ۲

$$CDI_{inhalation=C} (\mu g/m^3) = \frac{C_{air} (\mu g/m^3) \times EF (day/yr) \times ET (hr/yr) \times (day/24)}{AT (365day/yr) \times LT}$$

در معادلات بالا $CDI_{inhalation=NC}$ میزان دریافت روزانه ترکیبات غیرسرطانی و $CDI_{inhalation=C}$ میزان دریافت روزانه ترکیبات سرطانی است. همچنین، C_{air} غلظت آلاینده در هوا، EF تناوب تماس، ED دوره تماس، ET زمان تماس، AT زمان متوسط تماس و LT عمر فرد است. برای محاسبه CDI ابتدا جمعیتی که در معرض آلاینده‌های منتشره در مجتمع قرار داشتند، دسته‌بندی شدند. تعداد متوسط این افراد در سال در مجتمع فولاد مبارکه به شرح: کارگران، ۱۰۰ نفر؛ کارکنان محوطه نگهداران، انتظامات، نیروهای خدماتی و نظافتی، ۸۰ نفر؛ کارکنان اداری: کارمندان اداری مجتمع، ۵۰ نفر؛ افراد ساکن در اطراف منطقه مورد مطالعه، ۲۲۳۰۰ نفر، است. برای تخمین ریسک لازم است غلظت مرجع استنشاق یا RFC برای هرکدام از آلاینده‌ها به دست آید. پارامتر RFC مربوط به مواجهه با آلاینده‌ها از طریق تنفس است و بر اساس مطالعات از پیش صورت گرفته مقادیر معینی است و در EPA تأثیر غیرسرطانی با محاسبه نرخ، فهرست خطر و RFC تنفس خالص آلاینده صورت می‌گیرد [۱۲] با مراجعه به پایگاه اینترنتی RAIS برآورد RFC، برای آلاینده‌ها و استفاده از این منبع به طور مثال مقدار آلاینده CO برابر $\mu g/m^3$ ۲۳ محاسبه شده است. سپس، محاسبه ضریب غیرسرطانی و ریسک سرطانی صورت گرفته است که داده ورودی برای محاسبه ریسک است. در نهایت ریسک غیرسرطانی و سرطانی تماس با آلاینده‌ها از طریق تنفس برای گروه‌های مختلف با استفاده از غلظت‌های به دست آمده از مدل BREEZE AERMOD محاسبه شد [۱۳].

جدول ۵- ارزیابی ریسک سرطانی و غیرسرطانی آلاینده‌های مجتمع فولاد

عوامل	ترکیبات شیمیایی	RCF (mg/m ³)	غلظت (µg/m ³)	CDI غیرسرطانی	CDI سرطانی	تنفس HI
کارگران	CO	۰،۰۲۳	۱۹۰۰	۰،۰۶۸	۲۹۴	۲،۳۷
	NO ₂	۰،۰۴۷	۸۵۰	۰،۰۶۸	۶۹،۲	۰،۳۷
	SO ₂	۰،۰۲۶۲	۸۰	۰،۰۱۶	۹،۳۹	۰،۳۷
کارکنان محوطه	CO	۰،۰۲۳	۱۵۰۰	۰،۰۰۲	۲۷۷	۲،۸
	NO ₂	۰،۰۴۷	۳۰۰	۰،۰۶۴۷	۳۹،۱	۱،۹۴
	SO ₂	۰،۰۲۶۲	۷۰	۰،۰۰۹	۹،۳۹	۰،۰۸
کارکنان اداری	CO	۰،۰۲۳	۱۵۰۰	۰،۰۰۲	۲۱۲	۲،۱
	NO ₂	۰،۰۴۷	۳۰۰	۰،۰۴۹	۳۰	۱،۴
	SO ₂	۰،۰۲۶۲	۷۰	۰،۰۰۶	۷،۲	۰،۰۸
مناطق مجاور	CO	۰،۰۲۳	۱۵۰۰	۰،۰۱۶۸	۳،۸۵	۱۱۷
	NO ₂	۰،۰۴۷	۳۰۰	۰،۰۰۲	۰،۵۴۳	۰،۰۸
	SO ₂	۰،۰۲۶۲	۷۰	۰،۰۰۹	۰،۰۳	۰،۰۰۳

بحث

در این پژوهش، میزان انتشار آلاینده‌های هوا با استفاده از مدل AERMOD برآورد شد، نتایج حاصل از مدل که به صورت غلظت آلاینده‌های حاصل از مجتمع فولاد هستند با استفاده از مدل BREEZE به منظور برآورد ارزیابی ریسک، در جدول ۵ محاسبه شده است. پس از محاسبه این مقادیر به علت بالا بردن میزان دقت محاسبه‌ی ریسک و تاثیر انتشار مقادیر حاصل را در سایت EPA وارد کرده و میزان مخاطرات بررسی می‌گردد. در محاسبات نهایی موازین اخلاقی رعایت شده و هیچگونه دخل و تصرفی صورت نگرفته است. میزان محاسبات انجام شده به شرح زیر است.

بر حسب برآورد نسبت مخاطره استنشاق آلاینده‌ی CO، بیشترین نسبت مخاطره برای کارکنان محوطه برابر ۲،۸۱ و بیش از حد آستانه بوده است. در صورتی که میزان HQ از عدد ۱ که حد آستانه است، فرا رود، امکان آسیب رسانی به سلامتی وجود خواهد داشت. همچنین، HQ برای کارگران برابر ۱۶،۲ و برای کارکنان اداری برابر ۱/۳۲ بیش از حد آستانه است. در نتیجه کارکنان اداری نیز در معرض خطرهای ناشی از آلاینده CO قرار دارند. افراد ساکن مناطق اطراف با نسبت مخاطره ۰،۱۱۷ که کمتر از حد آستانه است، در خطر کمی از عوارض غیرسرطانی CO قرار دارند. محاسبه ریسک استنشاق آلاینده NO₂ نشان می‌دهد که کارگران با HQ برابر ۲،۳۶۷ به نسبت سایرین در بیشترین خطر استنشاق آلاینده NO₂ قرار دارند و نسبت مخاطره بیش از حد آستانه است. خطر این آلاینده برای کارکنان محوطه با HQ برابر ۱،۹۴ و کارکنان اداری با HQ برابر ۱،۴۹ نیز بیش از حد آستانه است. به طور کلی این سه گروه از افراد در معرض خطرهای ناشی از استنشاق NO₂ قرار دارند. نسبت مخاطره استنشاق آلاینده SO₂ برای کارگران برابر ۰،۳۶۹، کارکنان محوطه

۰،۰۸۳۷، کارکنان اداری ۰،۶۴۱ و ساکنین مناطق اطراف ۰،۰۰۳۵ است. با توجه به اینکه تمامی مقادیر کمتر از ۱ است این افراد در معرض مخاطرات غیرسرطانی آلاینده دی‌اکسید گوگرد قرار دارند. اندیس مخاطره تمامی آلاینده‌های هوای برآورد شده برای کارکنان برابر ۳،۷۳۳، برای کارگران برابر ۴،۸۳۸ و ساکنین اطراف مجتمع فولاد برابر ۰،۲۰۲ است. اندیس مخاطره محاسبه شده برای کارگران محوطه نشان می‌دهد، این افراد در خطر جدی ابتلا به بیماری‌ها و عوارض ناشی از آلاینده‌های هوا قرار دارند. این افراد در نوبت کاری خود در محوطه باز و در معرض مستقیم آلاینده‌های منتشره از دودکش‌های مجتمع فولاد قرار دارند. کارکنان محوطه و کارگران نیز مستعد ابتلا به آثار غیرسرطانی این آلاینده‌ها هستند. کارگران در زمان حضور در مجتمع فولاد وضعیت مشابه کارکنان محوطه را دارند، اما فرکانس تماس متفاوت است. کارکنان اداری با اینکه در ساختمان‌های محدوده مجتمع فولاد در ساعات اداری حضور دارند، در معرض غیرمستقیم آلاینده‌های ناشی از دودکش‌های مجتمع فولاد در محیط بسته‌اند. همچنین، اندیس خطر نشان می‌دهد، خطر استنشاق آلاینده‌های هوا برای ساکنین مناطق اطراف این مجتمع فولاد اندک است. برای کارکنان مجتمع فولاد اعم از بخش‌های اداری و محوطه، آلاینده‌های منواکسید کربن با سهم ۵۸ درصد و دی‌اکسید نیتروژن با سهم ۴۰ درصد، بیشترین نقش را در ایجاد مخاطرات دارند. همچنین، برای کارگران، آلاینده دی‌اکسید نیتروژن با سهم ۶۴ درصد و منواکسید کربن با ۳۵ درصد از اندیس مخاطره، بیشترین نقش در ایجاد عوارض غیرسرطانی را بر عهده دارد.

همچنین، در مطالعه‌ی دیگری (عتابی و همکاران، ۱۳۹۱) با روش مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های CO با AERMOD، بیشینه غلظت‌ها مطابق خروجی پژوهش حاضر برای میانگین اساعته به دست آمد

روستاهای اطراف به محدوده فلرها در اراضی جنوبی سایت، ساکنین روستاها نیز در معرض خطر قابل توجهی هستند و بهتر است در صورت امکان فلرها در سایت پیشنهادی در اراضی شمالی سایت مستقر شوند، تا اثرات آلودگی بر ساکنین روستاهای اطراف کاهش یابد؛ زیرا تا شعاع ۱۰ کیلومتری میزان پراکنش آلاینده‌ها در حداکثر مقدار آن است و روستاها در محدوده‌ی ۱۰ کیلومتری مجتمع فولاد می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسنده بر خود لازم می‌داند از رییس پژوهشکده‌ی علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی تهران جناب آقای جعفر کامبوزیا که در ارتقا کیفیت این مقاله کمک شایانی نمود، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشد.

[۱۹]. در مطالعات فوق به بررسی ریسک و استنشاق آلاینده‌ها پرداخته نشده‌است و لذا در این مقاله سعی شده به میزان استنشاق و ریسک حاصل از استنشاق آلاینده‌ها پرداخته شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، ابتدا با استفاده از مدل AERMOD میزان پراکنش آلاینده‌های حاصل از مجتمع فولاد مدل‌سازی شد و سپس ریسک انتشار این آلاینده‌ها با استفاده از روش RAIS تعیین شد. طبق نتایج به دست آمده از محاسبه مقادیر CDI، HI و ریسک سرطان و با توجه به تمامی پارامترهای بررسی شده از جمله میزان انتشار آلاینده‌ها از طرح، مشخصات فیزیکی منابع انتشار، داده‌های هواشناسی منطقه در بین سال‌های ۲۰۱۲ الی ۲۰۱۶، موقعیت مناطق مسکونی و...، بررسی ریسک انتشار آلاینده‌ها، مشخص شد که بیشترین خطر مواجهه برای کارگران خط تولید می‌باشد اما از سوی دیگر به دلیل نزدیک بودن

References

1. Abril GA, Diez SC, Pignata ML, Britch J. Particulate matter concentrations originating from industrial and urban sources: Validation of atmospheric dispersion modeling results. *Atmospheric Pollution Research* 2016; 7(1):180-89.
2. Boubel RW, Vallero D, Fox DL, Turner B, Stern AC. *Fundamentals of Air Pollution*. 3rd ed. London: Elsevier; 1994.
3. Moatar F, Atabi F, Karshenas M and Aiat F, Health Effects of Air Pollutants - special economic zone - Energy Pars (gas refinery case study phases. *Proceedings of the 2nd Conference on Air Pollution and its Effects on Health* 2006 Sep. 6-7; Tehran, Iran (In Persian).
4. Ashrafi K, Shafiepour M, Salimian M, Momeni MR. Determination and Dispersion Modeling of VOC Emissions from Liquid Storage Tanks in Asalouyeh Zone. *Journal of Environmental Studies* 2012; 38(3):47-60 (In Persian).
5. Seangkiatiyuth K, Surapipith V, Tantrakarnapa K, Lothongkum AW. Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO₂ emissions from a cement complex. *Journal of Environmental Sciences* 2011; 23(6):931-40.
6. WHO. *Promotion of healthy lifestyles*. Geneva: World Health Organization 2002.
7. WHO. *IPCS risk assessment terminology*. Geneva: World Health Organization 2004.
8. WHO. *Principles for modelling dose-response for the risk assessment of chemicals*. Geneva: World Health Organization 2010.
9. Hall D, Spanton A, Dunkerley F, Bennett M, Griffiths R. *An inter-comparison of the AERMOD, ADMS and ISC dispersion models for regulatory applications*. Bristol: Environment Agency; 2000.
10. USEPA. *Review of the reference dose and reference concentration processes document*. Washington: Risk

Assessment Forum U.S. Environmental Protection Agency 2002.

11. Mulukutla AN, Varghese GK. Comparison of field monitored and prognostic model generated meteorological parameters for source dispersion modeling. *Modeling Earth Systems and Environment* 2015; 1(4):39. <https://doi.org/10.1007/s40808-015-0051-0>

12. Aliyu AS, Ramli AT, Saleh MA. Assessment of potential human health and environmental impacts of a nuclear power plant (NPP) based on atmospheric dispersion modeling. *Atmósfera* 2015; 28(1):13-26.

13. Srinivas C, Venkatesan R, Somayaji K, Indira R. A simulation study of short-range atmospheric dispersion for hypothetical air-borne effluent releases using different turbulent diffusion methods. *Air Quality, Atmosphere & Health* 2009; 2(1):21-28.

14. Korsakissok I, Mathieu A, Didier D. Atmospheric dispersion and ground deposition induced by the Fukushima Nuclear Power Plant accident: A local-scale simulation and sensitivity study. *Atmospheric Environment* 2013; 70:267-79.

15. Zhang Q, Wei Y, Tian W, Yang K. GIS-based emission inventories of urban scale: A case study of Hangzhou, China. *Atmospheric Environment* 2008; 42(20):5150-65.

16. USEPA. Revision to the Guideline on Air Quality Models: Adoption of a Preferred General Purpose (Flat and Complex Terrain) Dispersion Model and Other Revisions; Final Rule. Washington: U.S. Environmental Protection Agency 2005.

17. USEPA. Guideline on Air Quality Models. Washington: U.S. Environmental Protection Agency 2004.

18. PeykanPorfard, P; Khorasani, N; Karami, M and Alami, M. Modeling of Air Pollutants Using CDM Software (Case Study of Mobarakeh Steel Complex in Isfahan). *Proceedings of the 8th National Conference on Environmental Health* 2005 Oct. 8-10; Tehran, Iran (In Persian).

19. Atabi F, Jafarigol F, Momeni M, Salimian M, Bahmannia G. Dispersion Modeling of CO with AERMOD in South Pars fourth Gas Refinery. *Journal of Environmental Health Engineering* 2014; 1(4):281-92.