



مدل سازی و ارزیابی پراکنش ذرات معلق (PM) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) خروجی از دودکش های کارخانه سیمان جوین با مدل AERMOD، گامی در راستای توسعه پایدار صنعتی

ایمان واعظی^۱، قاسم ذوالفقاری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزواری
۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزواری

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	چکیده: با پیشرفت صنایع در کشورهای در حال توسعه، آلودگی هوا یک تهدید جدی برای سلامت و بهداشت عمومی است. توسعه پایدار فرآیندی است که آینده ای مطلوب را برای جوامع بشری متصور می شود. در نظام توسعه پایدار نیازهای انسان با استفاده از منابع بدون آسیب رساندن به یکپارچگی، زیبایی و ثبات نظام های حیاتی برطرف می شود. هدف اصلی این مطالعه شبیه سازی پراکنش ذرات معلق (PM) و اکسیدهای نیتروژن (NO _x) از دودکش های کارخانه سیمان جوین با استفاده از نرم افزار AERMOD8.9 توسعه یافته توسط آژانس حفاظت محیط زیست (US EPA) بود. همچنین مقایسه ای بین نتایج بدست آمده با استاندارد کیفیت هوای آزاد سازمان محیط زیست و استاندارد جهانی EPA انجام و راهکارهایی برای کاهش آلاینده ها ارائه شد. یافته های حاصل از مدل سازی نشان داد مقدار غلظت ذرات معلق داده های ۲۴ ساعته فصل پاییز $47/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و برای فصل تابستان $31/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بوده که در فاصله ۶۳۰۰ متری از منبع انتشار اتفاق افتاد. غلظت پیش بینی شده ذرات معلق در هر یک از فصول تابستان و پاییز در بازه ی زمانی ۲۴ ساعته کمتر از معیارهای استاندارد جهانی کیفیت هوای آزاد (EPA) و استاندارد محیط زیست ایران $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. غلظت برآورد شده مدل برای NO _x در داده های ۲۴ ساعته برای فصل تابستان $92/44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و برای فصل پاییز $39/33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بوده و به ترتیب در فواصل ۱۹۵۰ و ۲۶۰۰ متری از منبع اتفاق افتاد. غلظت پیش بینی شده NO _x در هر یک از فصول تابستان و پاییز در بازه ی زمانی ۲۴ ساعته کمتر از معیارهای استاندارد جهانی کیفیت هوای آزاد (EPA) $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و استاندارد محیط زیست ایران $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. مدل های انتشار در صنایع کمک می کند تا تغییرات لازم در راستای توسعه پایدار صنعت انجام گیرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰	
کلید واژه ها: آلاینده های محیط زیست، نرخ انتشار، استاندارد کیفیت هوای آزاد، صنعت سیمان	



Modeling and assessment of the distribution of suspended particles (PM) and nitrogen oxides (NOX) from the stacks of Joveyn Cement Factory with the AERMOD model, a step towards sustainable industrial development

Iman Vaezi¹, Ghasem Zolfaghari^{2*}

1- Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

2- Associate Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Article Info	Abstract
Article type: Research Article	With the development of industries in developing countries, air pollution is a serious threat to health and public health. Sustainable development is a process that envisages a favorable future for human societies. In the sustainable development system, human needs are met by using resources without harming the integrity, beauty and stability of vital systems.
Article history: Received: 07/11/2023	The main goal of this study is to simulate the dispersion of suspended particles (PM) and nitrogen oxides (NOX) from the stacks of the Joveyn cement factory using the AERMOD8.9 software developed by the Environmental Protection Agency (US EPA). Also, the obtained results were compared with the open air quality standard of Organization of Environmental Protection and the global standard of EPA and also, some solutions were provided to reduce pollutants.
Accepted: 12/08/2024	The results of the modeling show that the concentration of suspended particles in the 24-hour data of the autumn season is $47.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and for the summer season it is $31.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, which occurs at a distance of 6370 meters from the emission source. The predicted concentration of suspended particles in each of the summer and autumn seasons in a 24-hour period was lower than the international outdoor air quality standard (EPA) and the Iranian environmental standard; its value was equal to $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
Available online: 20/08/2024	The estimated concentration of the model for NO_x in 24-hour data is $92.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for the summer season and $39.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for the autumn season and occurs at the distances of 1950 and 2600 meters from the source, respectively. The predicted concentration of NO_x in each of the summer and autumn seasons in a 24-hour period was lower than the standards of the international air quality standard (EPA) of $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the Iranian environmental standard of $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Emission models in industries help to make the necessary changes in line with the sustainable development of the industry.
Keywords: Environmental pollutants, Emission rate, Ambient air quality standard, Cement industry	

* Corresponding author E-mail address: g.zolfaghari@hsu.ac.ir

مقدمه

فعالیت‌های صنعتی یکی از عوامل اصلی آلودگی در محیط‌های شهری است. در میان آلاینده‌های مختلف، ذرات معلق (PM) یکی از مضرترین آلاینده‌ها برای سلامت عمومی و محیط زیست در سیستم‌های شهری است. مطالعات نشان می‌دهد که سطح بالای آلاینده‌ها باعث افزایش میزان مرگ و میر می‌شود (Andersen et al., 2015; Beelen et al., 2015). در سالهای اخیر بسیاری از کشورها در تامین منابع انرژی مانند گاز طبیعی با مشکلاتی مواجه شده‌اند. در نتیجه این امر منجر به افزایش شدید قیمت‌ها می‌شود که بسیاری از کارخانه‌های سیمان را مجبور کرد تا منابع سوخت دیگری مانند مازوت را با قیمت‌های پایین‌تر تهیه کنند. این به نوبه خود منجر به تغییر قابل توجهی در میزان انتشار آلاینده‌ها به محیط زیست شد و در نتیجه مطالعه خطرات بهداشتی جوامع اطراف در نزدیکی کارخانه‌های سیمان را ضروری کرد. صنعت سیمان یکی از صنایع مهمی است که مسئول آلودگی هوا است. زیرا آلاینده‌های حاصل از آن عامل اصلی بیماری‌های تنفسی برای افرادی است که ممکن است در معرض آن قرار گیرند (John, 2020). مطالعات اخیر در مورد میزان انتشار آلاینده‌های مختلف از کارخانه‌های سیمان نشان می‌دهد که در سه دهه اخیر با نرخ‌های بسیار بالایی افزایش یافته و به سرعت ۱ تا ۲۱ برابر افزایش یافته است (Hua et al., 2015).

بنابراین، بررسی خطرات بهداشتی برای جوامعی که در نزدیکی کارخانه‌های سیمان زندگی می‌کنند، به ویژه که از مازوت و زغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می‌کنند، ضروری است. آلاینده‌هایی از عملیات سوزاندن در کارخانه‌های سیمان به وجود می‌آیند که ممکن است اثرات مضر بر سلامت جوامعی که ممکن است در نزدیکی کارخانه‌ها زندگی می‌کنند داشته باشد. این نوع مدل‌سازی به مطالعه پراکندگی آلاینده‌ها از کارخانه سیمان مورد مطالعه می‌پردازد که در صورت عدم انطباق نتایج با الزامات و مقررات بهداشتی، اقدامات لازم را در پی خواهد داشت (Abou-Shleel et al., 2020). سازمان جهانی بهداشت (WHO) اعلام کرد که هر ساله حدود ۲/۷ میلیون نفر بر اثر آلودگی جان خود را از دست می‌دهند. در طول دهه‌های گذشته، قرار گرفتن طولانی مدت انسان در معرض آلاینده‌های هوا و تاثیرات آن‌ها بر چرخه‌های جوی جهانی و منطقه ای به شدت مورد مطالعه قرار گرفته است. به طور خاص، ازن (O_3)، ذرات معلق (PM)، اکسید نیتروژن، دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد، مونوکسید کربن، سرب و سایر سموم به دلیل تاثیر بر سلامتی آن‌ها مرکز توجه تحقیقات بوده اند (Glaser, 2011). آلودگی هوا یعنی وجود یک یا چند آلاینده در هوای آزاد مانند گازها، بخارات، گرد و غبار، بو، دود غلیظ با کمیت، مشخصات و زمان ماند کافی به طوری که برای زندگی انسان، حیوان و گیاه خطرناک و برای اشیاء مضر باشد و یا به طور غیر قابل قبول مانع استفاده راحت از زندگی و اشیاء شود (Psiloglou et al., 2013). از جمله معضلاتی که دنیای امروز با آن روبرو شده است آلودگی کلان شهرها و محیط‌های پیرامون مراکز صنعتی است. کیفیت هوا و تغییرات زمانی و مکانی در یک منطقه تا حد زیادی به وسیله فعالیت‌های انسانی منتشر کننده ذرات و گازهای مختلف و مجموعه ای از شرایط غالب هواشناسی تعیین می‌شوند (Singh et al., 2013).

یکی از راهکارهای مهم برای مدیریت کیفیت هوا تخمین انتشار آلاینده‌ها است. با تخمین میزان پخش و انتشار آلاینده‌ها می‌توان برنامه‌هایی مشتمل بر توسعه سیاست‌های کنترل انتشار آلاینده‌ها، تعیین امکان برنامه‌های کنترل و مدیریت آلاینده‌ها، و مطالعه تاثیرات منابع انتشار آلاینده‌ها و راهبرد توسعه منابع صنعتی را اجرا نمود (قلیشخانی و جعفرزاده حقیقی فرد، ۱۳۸۸). به طور کلی یکی از عمده مشکلاتی که صنایع در تعیین میزان آلاینده‌ها با آن مواجه می‌شوند، اندازه گیری میزان آلاینده‌ها در فواصل مکانی بسیار دور به علت شرایط توپوگرافی و فقدان تجهیزات است (Zehtab Yazdi et al., 2021) لذا

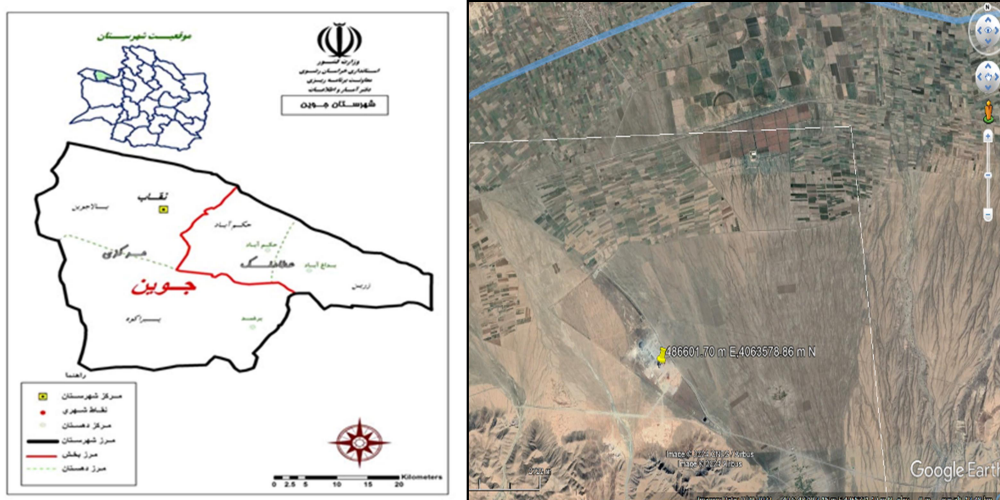
مدلسازی پراکنش آلاینده‌ها با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به جهت آگاهی از نحوه برآورد و پراکنش مقادیر آلاینده‌ها در سال‌های گذشته مورد توجه قرار گرفته است.

مدل‌های کیفیت هوا فرآیندهای انتقال و پراکنش آلاینده‌ها در اتمسفر را تعیین می‌کند. آثار زیست محیطی و بهداشتی پراکنش آلاینده‌های ذرات معلق تولیدی در کارخانه‌های سیمان مورد توجه محققان مختلف بوده است، به طوری که باروتیان و همکاران در سال ۲۰۰۶ با هدف مدلسازی ذرات معلق خروجی از دودکش کارخانه سیمان با استفاده از مدل گوس، به اندازه‌گیری مقادیر غبار در هوای آزاد کارخانه و در جهت باد پرداختند (Baroutian et al., 2006). صادقی روش و خراسانی در سال ۱۳۸۸ آثار ذرات معلق صنایع تولید سیمان در خاک‌های حوزه و تنوع و تراکم پوشش گیاهی در خصوص کارخانه سیمان آبیک را مورد مطالعه قرار دادند. Otaru و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی و مدل‌سازی پراکنش ذرات خروجی از دودکش کارخانه سیمان در نیجریه پرداختند (Otaru, 2013). در مطالعه ای دیگر Zhang و همکاران در سال ۲۰۰۸ در پروژه ای با بررسی میزان پراکنش در مقیاس شهری، شهرهنگ ژوا را مورد بررسی قرار دادند. در این پروژه سه آلاینده SO_2 ، PM_{10} ، NO_x حاصل از سوخت‌های فسیلی و فرآیندهای صنعتی را با مدل AERMOD شبیه‌سازی کرده و نتایج حاصله در ۷ ایستگاه مورد قیاس قرار گرفت (Zhang et al., 2008). نورپور و کاظمی شهابی در سال ۱۳۹۳ در پژوهشی با عنوان پیشنهاد راهکارهایی برای کاهش آلاینده‌ها در کارخانه سیمان ایلام و آزمایش اثر این پیشنهاد بر منطقه با استفاده از مدلسازی به بررسی میزان آلاینده‌های گازی و ذرات با استفاده از مدل AERMOD در حالت استفاده از بگ فیلتر علاوه بر الکتروفیلتر پرداخته‌اند (نورپور و کاظمی شهابی، ۱۳۹۳).

هدف اصلی این مطالعه شبیه‌سازی پراکنش ذرات معلق (PM) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) از دودکش‌های کارخانه سیمان جوبین با استفاده از نرم افزار AERMOD 8.9 توسعه یافته توسط آژانس حفاظت محیط زیست (US EPA) است. همچنین مقایسه ای بین نتایج بدست آمده با استاندارد کیفیت هوای آزاد سازمان محیط زیست و استاندارد جهانی EPA انجام و راهکارهایی برای کاهش آلاینده‌ها ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

کارخانه سیمان جوبین، در شمال غرب شهرستان سبزوار و در موقعیت ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و در ارتفاع ۱۱۰۰ متری از سطح دریا قرار دارد. شهر جغتای در شرق این کارخانه به فاصله ۱۸ کیلومتری واقع شده است. مساحت محیط جوامع ۱۶۵۲ کیلومتر مربع با تراکم جمعیت ۳۲ نفر در کیلومتر مربع است. شغل اکثر مردم منطقه کشاورزی بوده و غالب زمین‌های پیرامون کارخانه را اراضی کشاورزی تشکیل می‌دهد. شکل ۱ موقعیت کارخانه سیمان جوبین در نقشه ایران را نشان می‌دهد.



شکل (۱) - نقشه شهرستان جغتای و موقعیت مکانی کارخانه سیمان جوین (منبع: دفتر آمار و اطلاعات)

استفاده از مدل‌های جوی اطلاعات مفیدی را برای برنامه‌های کنترل آلودگی جوی فراهم می‌کند. مدل گوسی عوامل مرتبط با منبع و پارامترهای هواشناسی از یک منبع را برای ارزیابی غلظت آلاینده ترکیب می‌کند. مدل فرض می‌کند که آلاینده تحت هیچ واکنش شیمیایی قرار نمی‌گیرد و از طریق فرآیندهای دیگر مانند رسوب خشک یا مرطوب حذف نمی‌شود. رابطه اساسی برای تعیین غلظت سطح زمین با استفاده از مدل گوسی (Mohebbi & Baroutian, 2007) در معادله ۱ و ۲ ارائه شده است.

$$X = \frac{Q}{2\pi u S \delta_y \delta_z} \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{zr - he}{\delta_z^2}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{zr + he}{\delta_z^2}\right)^2\right] + A \right\} \quad (1)$$

$$A = \sum_{N=1}^K \left[\exp\left(\frac{-0.5(zr - he - 2Nz_i)}{\delta_z^2}\right)^2 + \exp\left(\frac{-0.5(zr + he - 2Nz_i)}{\delta_z^2}\right)^2 + \exp\left(\frac{-0.5(zr - he + 2Nz_i)}{\delta_z^2}\right)^2 + \exp\left(\frac{-0.5(zr + he + 2Nz_i)}{\delta_z^2}\right)^2 \right] \quad (2)$$

که در آن X : غلظت رو به باد $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ، Q : نرخ انتشار (g/s)، u_s : سرعت باد در ارتفاع دودکش (m/s)، δ_s : انحراف استاندارد پراکندگی جانبی (m)، δ_z : انحراف استاندارد پراکندگی عمودی (m)، Z_r : ارتفاع گیرنده‌ها از سطح زمین (m)، Z_i : ارتفاع مخلوط (m) و h_s : ارتفاع ستون مرکزی (m) است.

AERMOD یک مدل پلوم گوسی برای حالت پایا و در موارد نزدیک به سایت است که بر اساس ساختار و مفاهیم تلاطم لایه مرزی سیاره ای استوار است. در این مدل منابع سطحی و مرتفع در نواحی تخت و یا دارای پستی و بلندی در نظر گرفته می‌شود. این مدل دارای قابلیت شبیه سازی منابع چندگانه آلاینده از اقسام مختلف نقطه ای، سطحی، و حجمی است. در لایه مرزی ثابت، پراکنش در هر دو جهت افقی و عمودی، گوسی فرض می‌شود. هرچند در لایه مرزی منتقل شونده (CBL)، توزیع عمودی به کمک یک تابع چگالی احتمال دوگوسی تعریف می‌شود، ولی در توزیع افقی دوباره گوسی در نظر گرفته می‌شود. AERMOD همچنین قادر است پلوم‌های شناور را شبیه‌سازی نماید. این مدل از چهار ماژول اصلی تشکیل شده است (Cimorelli et al., 2005):

الف) ماژول هواشناسی AERMET

ب) ماژول ساختمان BPIP

(ج) ماژول توپوگرافی AERMAP

(د) ماژول محاسبات غلظت‌ها و خروجی‌های AERMOD (AERMOD, 2019)

پیش پردازنده AERMET

ماژول هواشناسی این نرم افزار AERMET نام دارد که وظیفه این ماژول دریافت داده‌های هواشناسی و تبدیل آن‌ها به پارامترهای هواشناسی و لایه مرزی لازم برای AERMOD است. AERMET سه مرحله را جهت پردازش داده‌ها انجام می‌دهد: ۱- خواندن داده‌های خام و بررسی کیفی، ۲- ترکیب تمام داده‌ها با هم و ۳- انجام محاسبات پارامترهای لایه مرزی و ایجاد ۲ خروجی برای AERMOD. در این پژوهش میزان بارش، پوشش ابر، فشار جوی، و فشار نسبت به سطح دریاهای آزاد به عنوان پارامترهای سطحی و همچنین دمای نقطه شبنم، دما، سرعت، جهت باد، و درصد رطوبت به عنوان پارامترهای نیمرخی جهت پردازش و ایجاد ۲ خروجی به نرم افزار معرفی شدند. مدل AERMET برای انجام محاسبات به ۳ پارامتر سطحی از ناحیه مورد مطالعه یعنی نسبت یوان، ضریب سپیدایی و طول زبری نیاز دارد (Atabi et al., 2014).

ضریب سپیدایی به کسری از تابش خورشیدی که بدون جذب از طریق سطح مجدداً به فضا بازتابش می‌شود، اطلاق می‌شود. نسبت یوان برای توصیف یکی از انواع انتقال حرارت به کار می‌رود. انتقال حرارت می‌تواند به صورت گرمای محسوس و گرمای نهان رخ دهد. طول زبری بر جهت و سرعت و حرکت باد در منطقه تاثیر گذار است و در واقع ارتفاعی است که در آن متوسط سرعت افقی باد به صفر می‌رسد. برای مشخص کردن این مقادیر لازم است منطقه مورد مطالعه برحسب نوع کاربری زمین‌های اطراف و پوشش گیاهی آنها، در جهت گردش عقربه‌های ساعت به قطاع‌های مناسب تقسیم شود و مقادیر این سه پارامتر بر اساس نوع کاربری (زراعی، مرتعی، بیابان) مشخص و به صورت ماهیانه، فصلی و یا سالیانه به مدل معرفی شوند (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۲) (جدول ۱). مقادیر پارامترهای جدول ۱ به مدل وارد شدند. پس از اتمام اطلاعات مربوط به سه مرحله ورودی مدل اجرا و در نهایت دو فایل Aermef.pfl و Aermef.sfc تولید شد. با تولید داده هواشناسی مورد نیاز AERMOD، اطلاعات مورد نیاز برای اجرای پروژه از طریق فایل ورودی و پردازش به مدل داده شد (AERMET, 2004).

جدول (۱) - پارامترهای سطحی استفاده شده در مطالعه حاضر

شماره قطاع (درجه)	آلبدو (بی بعد)	نسبت یوان (بی بعد)	زبری سطح (متر)
۱- (۹۰-۰) درجه	۰/۲۸	۰/۷۵	۰/۰۷۲۵
۲- (۱۸۰-۹۰) درجه	۰/۲۹	۰/۹۲۵	۰/۰۴۰۲۵
۳- (۲۷۰-۱۸۰) درجه	۰/۳۲۷۵	۴/۷۵	۰/۲۶۲۵
۴- (۳۶۰-۲۷۰) درجه	۰/۲۸	۰/۷۵	۰/۰۷۲۵

در این پژوهش اطلاعات مورد نیاز به وسیله نمونه برداری ذرات معلق خروجی از دودکش توسط دستگاه WESTECH، NO_x توسط دستگاه Testo 350 و همچنین داده‌های هواشناسی از سازمان هواشناسی تهیه شد. روش کار دستگاه WESTECH در اندازه گیری ذرات خروجی دودکش بدین گونه است که حجمی از غبار درون دودکش، در نقاط نمونه برداری (تعداد نقاط اندازه گیری با توجه به ارتفاع و قطر دودکش معین می‌شود) به صورت ایزوکینتیک (ایزوکینتیک از تجهیزات تخصصی یا دینامومتر استفاده می‌کنند که مقدار استقامت و نیروی اعمال شده را کنترل می‌کنند) و در یک دوره زمانی معین با توجه به سرعت جریان و نازل مربوطه مکش می‌شود (برای انتخاب نازل و زمان مکش می‌بایست سرعت جریان

دودکش اندازه گیری شود) و غبار موجود به وسیله فیلترهای گوناگون که از قبل به وسیله آون و دسیکاتور و ترازو با دقت چهار صفر خشک و وزن شده است (دو ساعت در دمای ۱۵۰ یا ۲۰۰ درجه سانتیگراد) جمع آوری شده و سپس مجدداً خشک و وزن شده و با استفاده از اختلاف وزن فیلتر قبل و بعد از نمونه برداری غلظت ذرات خروجی به محیط محاسبه می‌شود که میزان دما، رطوبت و فشار مطلق، حجم کل هوای برداشته شده و جرم غبار در این محاسبات لحاظ می‌شود. دستگاه Testo 350 جهت انجام اندازه گیری میزان تولید گازهای گلخانه‌ای طراحی شده است. این دستگاه به طور استاندارد دارای یک سنسور گاز O₂ و یک سنسور اضافی برای راه اندازی از بین سنسورهای گاز CO₂، CO، NO₂، NO، SO₂، H₂S یا CxHy است.

از هر دودکش سه نمونه در هر ماه برای دو فصل تابستان و پاییز تهیه شده است. به طور کلی ۵۴ آنالیز برای ذرات معلق و ۵۴ آنالیز برای اکسیدهای نیتروژن انجام شده است. قبل از انجام نمونه برداری اصلی، تعداد ۵ نمونه ذرات معلق و اکسیدهای نیتروژن اندازه گیری شد و بر اساس واریانس به دست آمده از طریق روش آماری تعداد نمونه‌های اصلی به دست آمد. در این مطالعه از تمام جامعه آماری موجود (تمام دودکش‌ها) نمونه گیری صورت گرفته است. جهت تهیه داده‌های هواشناسی شامل سرعت و جهت باد، دمای هوا و دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی و بارش از سایت هواشناسی Meteomanz استفاده شد با توجه به اینکه داده‌های هواشناسی استخراج شده سه ساعته بوده و داده‌های ورودی به نرم افزار AERMET الزاماً باید یک ساعته باشد ابتدا داده‌های سه ساعته به یک ساعته تبدیل و سپس وارد نرم افزار شد. در مرحله بعد نقشه موقعیت منابع انتشار ذرات معلق به تفکیک در محل کارخانه و نزدیکترین ایستگاه هواشناسی تعیین شد. سپس با در اختیار داشتن سرعت، قطر و غلظت ذرات معلق نرخ انتشار با واحد گرم بر ثانیه برای هر یک از دودکش‌ها محاسبه شد. در نهایت نحوه پراکنش آلاینده ذرات معلق و NO_x برای متوسط‌های زمانی ۱ و ۲۴ ساعته مدل سازی شد. برای تحلیل الگوی پراکنش آلاینده‌های ذرات معلق و NO_x نرم افزار AERMOD8.9 مورد استفاده قرار گرفت.

برای تهیه داده‌های هواشناسی از آمار ثبت شده سال ۲۰۲۲ میلادی از ایستگاه هواشناسی سبزوار که نزدیکترین ایستگاه هواشناسی از لحاظ بعد مسافت با کارخانه سیمان جوین بود استفاده شد. داده‌های مورد نیاز هواشناسی شامل سرعت و جهت باد، دمای هوا و دمای نقطه شبنم، رطوبت نسبی و بارش با بعد زمانی سه ساعته تهیه شدند. اطلاعات سه دودکش اصلی کارخانه شامل قطر داخلی دودکش در محل خروجی، سرعت گاز خروجی از دودکش، ارتفاع رها سازی آلاینده از سطح زمین، دما، غلظت آلاینده‌ها، و نرخ انتشار ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون جهت ورود به مدل تهیه شد. همچنین در جدول ۲ موقعیت مکانی دودکش‌ها و ارتفاع دودکش نشان داده شده است. منابع انتشار نقطه ای مورد استفاده در مدل شامل دودکش‌های مختلفی است که در کارخانه قرار دارند. پارامترهای دودکش‌ها در الگوی پراکنش بسته دود اهمیت دارند. از اساسی ترین پارامترهایی که به مدل ارتباط داده می‌شوند می‌توان به قطر، ارتفاع، دما و سرعت گاز خروجی دودکش اشاره کرد که برای فصول تابستان و پاییز به ترتیب در جدول ۳ آورده شده اند. نرخ انتشار از مهم ترین پارامترهای ورودی به مدل است که برای هر دودکش جداگانه تعریف و وارد مدل می‌شود.

جدول (۲) - موقعیت مکانی دودکش در مختصات جغرافیایی

نام دودکش	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع دودکش (m)
دودکش اصلی	۳۶/۴۳۷	۵۶/۵۰۵	۱۲۰
گريت کولر	۳۶/۴۳۵	۵۶/۵۱۰	۴۰
آسیاب سیمان	۳۶/۴۳۵	۵۶/۵۱۰	۴۰

جدول (۳) - مشخصات پارامترهای دودکش فصول تابستان و پاییز

پارامترهای دودکش فصل پاییز				پارامترهای دودکش فصل تابستان				نام دودکش
دما (k)	سرعت (m/s)	شعاع (m)	قطر داخلی (m)	دما (k)	سرعت (m/s)	شعاع (m)	قطر داخلی (m)	
۴۵۶	۱۲/۹	۱۲۰	۴	۴۰۸/۰۴	۱۳/۱	۱۲۰	۴	اصلی
۴۹۰	۵/۱	۴۰	۳	۴۸۸	۴/۱	۴۰	۳	گریت کولر
۳۹۲	۶/۹	۴۰۹	۲,۵	۴۱۸	۶/۳	۴۰	۲/۵	آسیاب سیمان

یافته‌های پژوهش

غلظت‌های خروجی $\mu\text{g}/\text{m}^3$ و مقادیر نرخ انتشار (g/s) برای هر دودکش برای فصول تابستان و پاییز برای ذرات معلق (PM) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) در جدول ۴ ارائه شده است. دوره ی آماری ۵ ساله نشان داد که باد غالب در شهرستان از سمت شرق به غرب وجود دارد. وجود این باد قابل پیش بینی است. به دلیل وجود ارتفاعات در شمال و جنوب جغتای و باز بودن دو سمت شرق و غرب این شهر، کریدوری مناسب جهت وزش باد ایجاد کرده است که منجر به وزیدن باد در امتداد شرقی غربی می‌شود. دو باد مطرح دیگر در شهرستان تقریباً هم جهت با باد غالب بوده و حدود ۱۱ درصد از فراوانی کل را به خود اختصاص داده و دارای جهات $۶۷/۵$ تا $۱۱۲/۵$ درجه شرقی و $۱۱۲/۵$ تا $۱۵۷/۵$ درجه جنوب شرقی است. با توجه به افزایش نسبتاً شدید باد تابستانه، میزان و مسافت پراکنش آلاینده‌ها در هر دو بعد افقی و قائم افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه حجم آلاینده‌ها در واحد سطح کاهش می‌یابد. در طرف مقابل با کاهش دما و فشردگی هوا و کاهش شدت باد در فصول سرد سال منجر به کاهش انتشار افقی و قائم آلاینده می‌شود و حجم آلودگی در واحد سطح در پیرامون منابع انتشار آلاینده‌گی افزایش می‌یابد. نتایج مدل‌سازی آلودگی هوا با استفاده از نرم افزار AERMOD8.9 برای متوسط‌های ساعتی و ۲۴ ساعته برای فصول تابستان و پاییز مورد بررسی قرار گرفت. تمام شبیه سازی‌ها برای شعاع ۲۰ کیلومتری از منبع انتشار و شبیه سازی در حالت مسطح از سطح زمین انجام شده است. با رجوع به نتایج مدل‌سازی در هر دو فصل تابستان و پاییز بیشترین مقادیر متعلق به متوسط‌های ساعتی است. در هر دو نمونه ساعتی جهت غالب پراکنش شرقی است.

بیشینه غلظت آلاینده‌ها در جهت شرقی و در شعاع تقریبی ۳ کیلومتری از منبع اتفاق افتاده است. با افزایش فاصله از دودکش غلظت ذرات در هوا در پایین دست دودکش کاهش می‌یابد. در خصوص میانگین ۲۴ ساعته غلظت آلاینده‌ها در دو نمونه تابستانه و پاییز مقادیر پایین تری از متوسط‌های ساعتی به ثبت رسیده است. همچنین همانند نتایج یک ساعته مقادیر انتشار برای فصل پاییز بیشتر از فصل تابستان به ثبت رسیده است. بر اساس استاندارد EPA مقدار متوسط غلظت ذرات معلق در طی ۲۴ ساعت نباید از ۱۵۰ میکروگرم بر متر مکعب تجاوز کند که بر اساس نتایج به دست آمده برای فصول تابستان و پاییز مقادیر منتشره پایین تر از حد مجاز است. همچنین پراکنش در جهات مختلف در فصل تابستان نشان دهنده تغییرات در جهت وزش باد است. در مقابل در فصل پاییز به دلیل فشردگی هوا و کاهش شدت باد پراکنش آلاینده‌ها در بخش شرقی و جنوبی متمرکز شده و به ترتیب در فاصله ۲۰۰۰ و ۳۵۰۰ متری از منبع انتشار اتفاق می‌افتد (شکل‌های ۴ تا ۷).

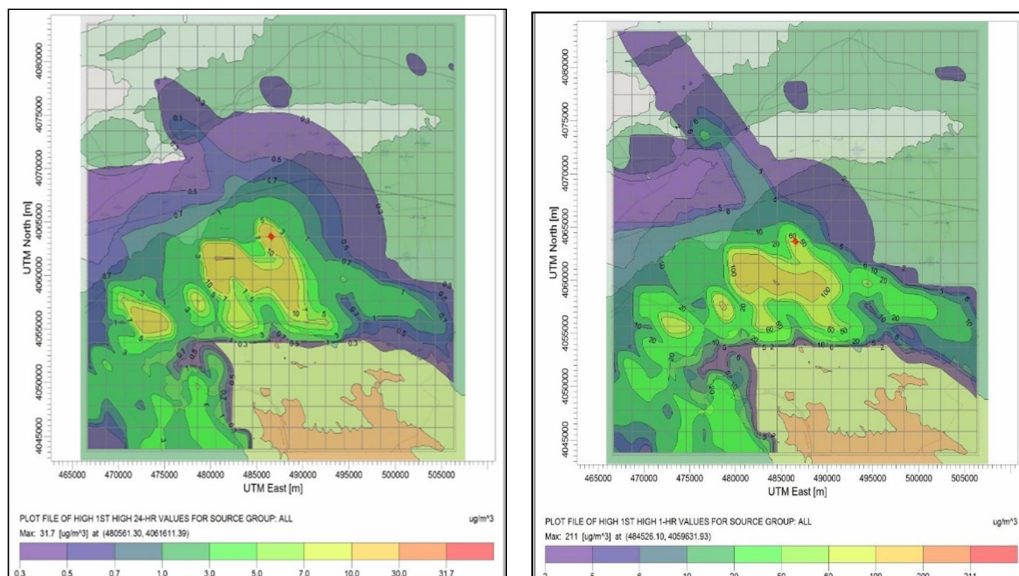
خطای مدل

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا مراحل مختلفی را برای صحت سنجی مدل و تشخیص اینکه در مدل تغییراتی به طور دلخواه ایجاد نشده باشد، اعمال می‌کند. این روش‌ها در راهنمای استفاده مربوطه به نام U.S.EPA-2003 جانمایی شده است.

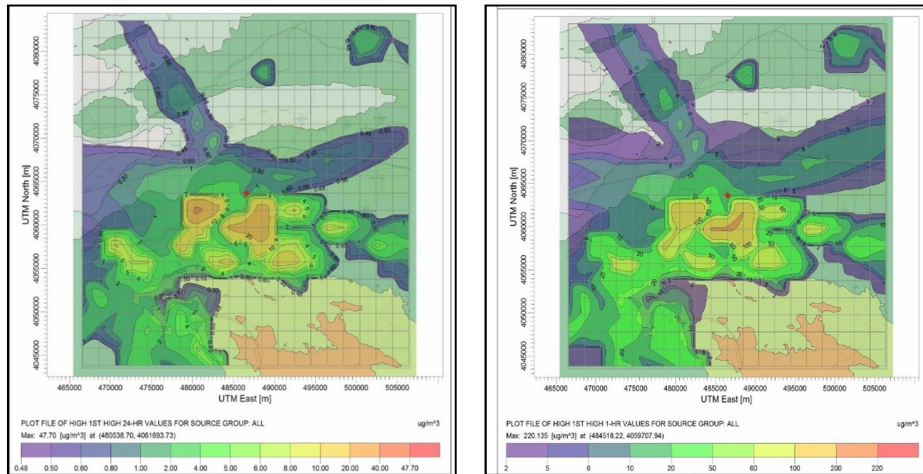
دو نوع سنجش برای ارزیابی کارایی مدل انجام می‌گیرد. ۱- سنجش اختلاف که نشانگر میزان اختلاف میان مقادیر پیش بینی و واقعیت است. ۲- سنجش میزان همبستگی که بیان کمی از ارتباط میان مقادیر پیش بینی و واقعی است. برای سنجش اختلاف از سه پارامتر بایاس، واریانس و کل تغییر پذیری استفاده می‌شود. جهت سنجش میزان همبستگی از سه پارامتر زمان و مکان و ترکیبی از هر دو استفاده می‌شود. جهت محاسبه خطای نتایج خروجی مدل و داده‌های اندازه گیری میدانی از ضریب همبستگی (Correlation coefficient) استفاده شد. برای این منظور ۴ ایستگاه اندازه گیری جهت سنجش داده‌های محیطی در پیرامون کارخانه سیمان جوین در نظر گرفته شده و داده‌های محیطی مربوط به ذرات معلق و NO_x به دست آمد. دامنه تغییرات ضرایب همبستگی بین $0/53$ تا $0/41$ گزارش شد. همچنین بر اساس پارامتر بایاس خطای محاسباتی مدلسازی بین 10 تا 15 درصد بود که در محدوده‌ی قابل قبول قرار داشت.

جدول (۴) - غلظت و نرخ انتشار ذرات معلق (PM) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) کارخانه سیمان جوین در فصل‌های تابستان و پاییز

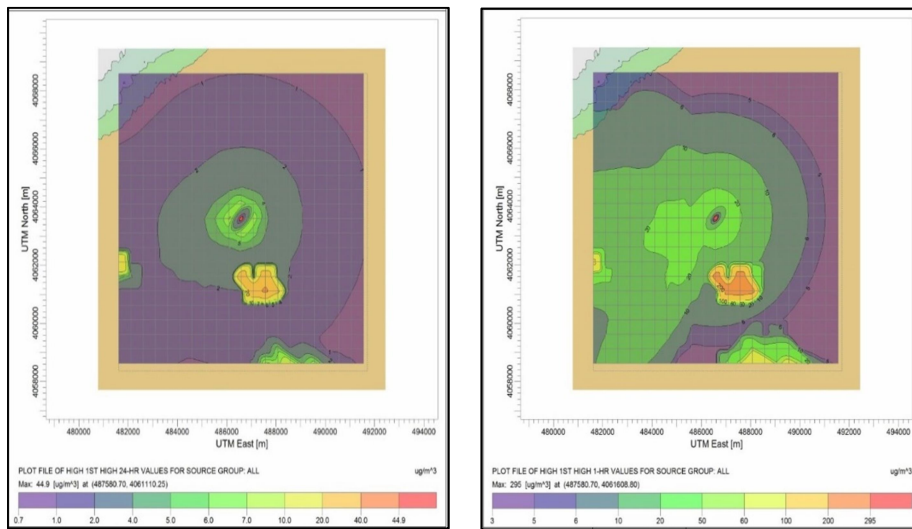
غلظت و نرخ انتشار ذرات معلق (PM)				دودکش
غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (تابستان)	نرخ انتشار g/s (تابستان)	غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (پاییز)	نرخ انتشار g/s (پاییز)	
۱۲۸/۵	۲۱/۱۴	۱۶۲/۱۳	۲۶/۲۶	اصلی
۲۷۸/۵	۸/۰۷۵	۲۲۴/۳۹	۸/۰۸۵	گریت کولر
۱۴۶/۵	۴/۵۱۶	۱۵۱/۴۶	۵/۱۲۷	آسیاب سیمان
غلظت و نرخ انتشار اکسیدهای نیتروژن (NO_x)				دودکش
غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (تابستان)	نرخ انتشار g/s (تابستان)	غلظت $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (پاییز)	نرخ انتشار g/s (پاییز)	
۲۹۹/۵	۴۹/۲۷	۲۷۹	۴۵/۲۰	اصلی
۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۳	گریت کولر
۰	۰	۰	۰	آسیاب سیمان



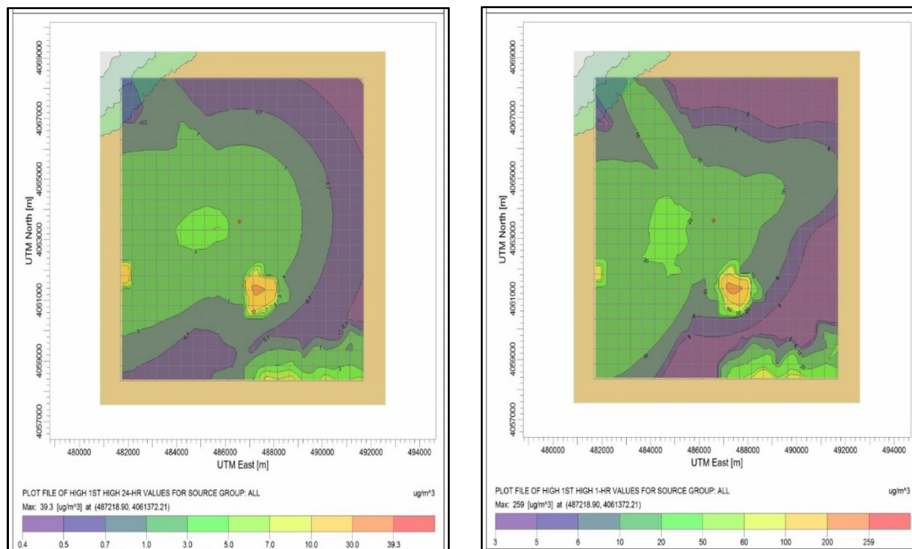
شکل (۲) - الگوی پراکنش ذرات معلق ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) برای متوسط ساعتی تابستان (سمت راست) و متوسط روزانه تابستان (سمت چپ)



شکل (۵)-الگوی پراکنش ذرات معلق ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) برای متوسط ساعتی پاییز (سمت راست) و متوسط روزانه پاییز (سمت چپ)



شکل (۶)-الگوی پراکنش اکسیدهای نیتروژن ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) برای متوسط ساعتی تابستان (سمت راست) و متوسط روزانه تابستان (سمت چپ)



شکل (۷)-الگوی پراکنش اکسیدهای نیتروژن ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) برای متوسط ساعتی پاییز (سمت راست) و متوسط روزانه پاییز (سمت چپ)

بحث و نتیجه گیری

نتایج مدلسازی نشان می‌دهد که بیشینه غلظت اکسیدهای نیتروژن مربوط به داده‌های یک ساعته فصل تابستان است. بیشترین غلظت مشاهده شده در داده‌های یک ساعته فصل پاییز $259 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در فاصله ۱۹۳۰ متری از دودکش‌های کارخانه مشاهده شده است. بیشترین غلظت مشاهده شده در داده‌های ۲۴ ساعته فصل پاییز $39/33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در فاصله ۱۹۵۰ متری از دودکش‌های کارخانه مشاهده شده است. همچنین بیشترین غلظت مشاهده شده در داده‌های یک ساعته فصل تابستان $295 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در فاصله ۲۰۵۰ متری از دودکش‌های کارخانه مشاهده شده است. نهایتاً این که بیشترین غلظت مشاهده شده در داده‌های ۲۴ ساعته فصل تابستان $44/92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در فاصله ۲۶۰۰ متری از دودکش‌های کارخانه مشاهده شده است. نتایج مدلسازی نشان می‌دهد که بیشینه غلظت ذرات معلق مربوط به داده‌های یک ساعته فصل پاییز است. بیشترین غلظت مشاهده شده در داده‌های یک ساعته فصل پاییز $220/135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در فاصله ۴۴۸۰ متری از دودکش‌های کارخانه مشاهده شده است. بیشترین غلظت مشاهده شده در داده‌های ۲۴ ساعته فصل پاییز $47/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در فاصله ۶۳۷۰ متری از دودکش‌های کارخانه مشاهده شده است. همچنین بیشترین غلظت مشاهده شده در داده‌های یک ساعته فصل تابستان $211 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در فاصله ۴۴۶۰ متری از دودکش‌های کارخانه مشاهده شده است. همچنین بیشترین غلظت مشاهده شده در داده‌های ۲۴ ساعته فصل تابستان $31/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است که در فاصله ۶۳۹۰ متری از دودکش‌های کارخانه مشاهده شده است.

پس از مدلسازی انتشار آلاینده‌ها و نشان دادن نحوه و جهت پراکنش آنها، جهت اطلاع از وضعیت در معرض قرار گیری این آلاینده‌ها میزان غلظت محیطی این آلاینده با استاندارد هوای پاک ایران و EPA مقایسه انجام شد. در جدول ۵ حد مجاز استاندارد هوای پاک و EPA نشان داده شده است.

جدول (۵). استاندارد هوای پاک در ایران سال ۹۵ و استاندارد EPA برای هوای پاک

نوع آلاینده	بازه زمانی	استاندارد هوای پاک در ایران ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	استاندارد EPA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
دی اکسید نیتروژن	سالانه	۱۰۰	۱۰۰
	۲۴ ساعته	۲۰۰	۵۳
ذرات معلق	سالانه	-	-
	۲۴ ساعته	۱۵۰	۱۵۰

مقایسه غلظت‌های محیطی بیشینه دی اکسید نیتروژن با استاندارد هوای پاک سال ۱۳۹۵ برای متوسط زمانی ۲۴ ساعته فصل تابستان $44/92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و برای ۲۴ ساعته فصل پاییز $39/33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ نشان دهنده آن است که غلظت این گاز آلاینده در بازه زمانی پایین تر از حد مجاز است. مقایسه غلظت‌های محیطی بیشینه ذرات معلق با استاندارد هوای پاک سال ۱۳۹۵ برای متوسط زمانی ۲۴ ساعته فصل تابستان $31/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و برای ۲۴ ساعته فصل پاییز $47/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ نشان دهنده آن است که غلظت این گاز آلاینده در بازه زمانی پایین تر از حد مجاز است.

در سایر مطالعات خالقی و همکاران در سال ۱۴۰۰ در بررسی اثر پراکنش NO_2 در پالایشگاه میعانات گازی سیراف (Khaleghi et al., 2021)، ذوالفقاری و همکاران (۱۴۰۰) در اندازه گیری آلاینده‌های CO_2 ، CO ، NO_x ، H_2S و گرد و غبار در قسمت‌های مختلف کارخانه سیمان (Zolfaghari et al., 2021)، نایب یزدی و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی میزان

ذرات معلق PM₁₀ را در اطراف کارخانه (Nayeb Yazdi et al., 2016)، نور پور و کاظمی شهبابی (۱۳۹۳) در مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا خروجی از دودکش کارخانه سیمان ایلام (نور پور و کاظمی شهبابی، ۱۳۹۳) و همچنین اشرفی در مطالعه مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های ناشی از کارخانه آسفالت و دستگاه سنگ شکن پروژه‌های راهسازی (مطالعه موردی باندوم محورسراب- بستان آباد) (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۲) به نتایج مشابه دست یافتند.

ارائه راهکار به منظور کاهش انتشار آلاینده‌ها

جهت غالب آلاینده‌های کارخانه سیمان جوی، شرق و شمال شرق آن بود. پس از یک فاصله طولانی پخش ذرات آلاینده به اطراف سبب کاهش غلظت آن می‌شود. برای کاهش حجم مقادیر انتشار ذرات معلق می‌توان راهکارهایی چون جمع‌آوری و بازیافت غبارات معلق در گازهای کوره استفاده نمود. بدین منظور یک محفظه سیکلون مانند به گونه‌ای تعبیه می‌شود که گازها به همراه غبارات معلق در آنها به درون آن راه پیدا کرده و با دو مکانیزم مختلف که شامل جمع‌کننده الکترواستاتیکی و فیلترهای پارچه‌ای است، ذرات معلق موجود در گازها به دام می‌افتد و به چرخه بازگردانده می‌شوند. در فرایندهای حمل مواد توسط کامیون‌ها از معدن به کارخانه نیز مقدار قابل توجهی از ذرات ریز فرار به محیط وارد می‌شوند. برای جلوگیری از فرار ذرات در حین حمل مواد توسط وسایط نقلیه سنگین، باید از احاطه‌کننده‌ها^۱ و درپوش‌هایی استفاده کرد تا مانند محافظ، وسیله نقلیه مزبور را بپوشانند. سیستم‌های هیدرولیکی کارخانه باید به گونه‌ای طراحی شود تا میزان مواد معلق در آنها که به بیرون راه پیدا می‌کند به حداقل برسد. همچنین از سویی دیگر پیشنهاد می‌شود پیش از احداث کارخانجات سیمان ارزیابی اثرات محیطی زیستی و ارزیابی ریسک انجام شود و تمامی مشکلات ناشی از احداث پیش بینی و برای رفع آنها راهکار ارائه شود. همچنین اختصاص بخشی از کارخانه به فضای سبز نیز می‌تواند به پاکسازی هوای محیط تا حدی کمک کند. با توجه به کاربرد گسترده نرم افزار EARMOD8.9 در مدل‌سازی آلاینده‌ها می‌توان از آن برای تخمین آلودگی سایر صنایع، پتروشیمی‌ها، نیروگاه‌ها و آلاینده‌های خطی نظیر خیابان‌های پردرد شهری نیز استفاده نمود. با داشتن مقادیر مدل‌سازی و استفاده از ابزارهای مدیریت ریسک می‌توان ارتباط بین افزایش مقادیر آلاینده‌گی و مخاطرات سلامت انسان و مرگ و میر را مورد بررسی قرار داد.

منابع

- اشرفی، خسرو و سلیمیان، محمد و مومنی، محمودرضا و کرمی، شاهو. (۱۳۹۲). مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های ناشی از کارخانه آسفالت و دستگاه سنگ شکن پروژه‌های راهسازی) مطالعه موردی باندوم محورسراب- بستان آباد، <https://civilica.com/doc/244965>
- نورپور، علیرضا و کاظمی شهبابی، نیما. (۱۳۹۳). مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوا خروجی از دودکش کارخانه سیمان ایلام. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز. ۱(۷۴)، ۱۰۷-۱۱۶.
- قلیشخانی، مریم و جعفرزاده حقیقی فرد، نعمت الله. (۱۳۸۸). برآورد میزان گازهای آلاینده در یکی از واحدهای بهره برداری نفت و گاز شرکت ملی نفت ایران با استفاده از ضرایب انتشار (EPA مطالعه موردی)، دومین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط زیست، تهران، <https://civilica.com/doc/77156>
- Abou-Shleel, S., El-Mohandes, M., El-Shirbeny, M., & Tolba, R. (2020). Assessing Open Rice Straw Burning Impacts on Air Quality of Great Cairo Based on Dispersion Models. 15, 1-20 .

¹ enclosure

- AERMOD implementation guide. (2019). U.S. Environmental Protection Agency ,Office of Air Quality Planning and Standards, Air Quality Assessment Division, AERMOD Implementation Workgroup. <https://purl.fdlp.gov/GPO/gpo131992>
- Al Smadi, B., Alzboon, K., & Shatanawi, K. (2009). Assessment of Air Pollutants Emissions from a Cement Plant: A Case Study in Jordan. *Jordan Civil Engineering Journal*, 3 .
- Andersen, Z. J., de Nazelle, A., Mendez, M. A., Garcia-Aymerich, J., Hertel, O., Tjønneland, A., Overvad, K., Raaschou-Nielsen, O., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2015). A Study of the Combined Effects of Physical Activity and Air Pollution on Mortality in Elderly Urban Residents: the Danish Diet, Cancer, and Health Cohort. *Environ Health Perspect*, 123(6), 557-563. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408698>
- Atabi, F., Jafarigol, F., Momeni, M., Salimian, M., & Bahmannia, G. (2014). Dispersion Modeling of CO with AERMOD in South Pars fourth Gas Refinery *jehe*, 1(4), 281-292. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jehe.1.4.281>
- Baroutian, S., Mohebbi, A., & Goharrizi, A. S. (2006). Measuring and modeling particulate dispersion: A case study of Kerman Cement Plant. *Journal of Hazardous Materials*, 136(3), 468-474. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.050>
- Beelen, R., Hoek, G., Raaschou-Nielsen, O., Stafoggia, M., Andersen, Z. J., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Wolf, K., Samoli, E., Fischer, P. H., Nieuwenhuijsen, M. J., Xun, W. W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Marcon, A., Vartiainen, E., Lanki, T., Yli-Tuomi, T., Oftedal, B., . . . Brunekreef, B. (2015). Natural-cause mortality and long-term exposure to particle components: an analysis of 19 European cohorts within the multi-center ESCAPE project. *Environ Health Perspect*, 123(6), 525-533. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408095>
- Cimorelli, A., Perry, S., Venkatram, A., Weil, J., Paine, R., Wilson, R., Lee, R., Peters, W., & Brode, R. (2005). AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization. *Journal of Applied Meteorology - J APPL METEOROL*, 44. <https://doi.org/10.1175/JAM2227.1>
- Dimovska, B., Sajin, R., Stafilov, T., Bačeva Andonovska, K., & Tănăselia, C. (2014). Determination of atmospheric pollution around the thermoelectric power plant using a moss biomonitoring. *Air Quality Atmosphere & Health*, 7, 541-557. <https://doi.org/10.1007/s11869-014-0257-8>
- Glaser, J. (2011). Kirk–Othmer Chemical Technology and the Environment. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13. <https://doi.org/10.1007/s10098-011-0371-3>
- Hua, S., Tian, H. Z., Wang, K., Zhu, C., Gao, J., Ma, Y., Xue, Y., Wang, Y., Duan, S., & Zhou, J. (2015). Atmospheric Emission Inventory of Hazardous Air Pollutants from China's Cement Plants: Temporal Trends, Spatial Variation Characteristics and Scenario Projections. *Atmospheric Environment*, 128. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.056>
- Izadrezaei, A., Ahmadi Nadoushan, M., & Lotfi, P. (2023). Modeling the Dispersion of Gaseous Pollutants CO and NO2 from fixed sources (stacks) using AERMOD model (Maroon petrochemical company) *aermod .SSUJ*, 14(4), 1-13. <https://doi.org/10.18502/tkj.v14i4.12309>
- John, J. P. (2020). Parametric Studies of Cement Production Processes. *Journal of Energy*, 2020, 4289043. <https://doi.org/10.1155/2020/4289043>
- Khaleghi, A., Robati, M., Karbassi, A., & Farsad, F. (2021). Investigating the Role and Influence of Airborne Pollutant (NO2) Dispersion on Heavy Metals in Soil (Case Study of Syraf Gas Condensate Refinery). *Environmental Researches*, 12(23), 171-183. https://www.iraneiap.ir/article_137142.html
- Mazur, M., Mintz, R., Lapalme, M., & Wiens, B. (2009). Ambient air total gaseous mercury concentrations in the vicinity of coal-fired power plants in Alberta, Canada. *The Science of the total environment*, 408(2), 373–381. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.006>
- Mohebbi, A., & Baroutian, S. (2006). A Detailed Investigation of Particulate Dispersion from Kerman Cement Plant. *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 3 .
- Mohebbi, A., & Baroutian, S. (2007). Numerical Modeling of Particulate Matter Dispersion from Kerman Cement Plant, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130, 73-82. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9447-7>
- Nayeb Yazdi, Mohammad & Arhami, Mohammad & Ketabchy, Mehdi & Delavarrafiee, Maryam. (2016). Modeling of Cement Factory Air Pollution Dispersion by AERMOD.
- Otaru, A. (2013). Model Prediction of Particulate Dispersion from a Cement Mill Stack: Case Study of a Cement Plant In Nigeria. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 3, 97-110. <https://doi.org/10.9790/2402-03297110>
- Psiloglou, B. E., Larissi, I. K., Petrakis, M., Paliatsos, A. G., Antoniou, A., & Viras, L. G. (2013). Case studies on summertime measurements of O3, NO2, and SO2 with a DOAS system in an urban semi-industrial region in Athens, Greece. *Environ Monit Assess*, 185(9), 7763-7774. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3134-2>

- Seangkiatiyuth, K., Surapipith, V., Tantrakarnapa, K., & Lothongkum, A. W. (2011). Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO₂ emissions from a cement complex. *Journal of Environmental Sciences*, 23(6), 931-940. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(10\)60499-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1001-0742(10)60499-8)
- Singh, K., Gupta, S., & Rai, P. (2013). Identifying pollution sources and predicting urban air quality using ensemble learning methods. *Atmospheric Environment*, 80, 426-437. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.08.023>
- Tory, K., Cope, M., Hess, G., Lee, S., Puri, K., Manins, P., & Wong, N. (2004). The Australian Air Quality Forecasting System. Part III: Case Study of a Melbourne 4Day Photochemical Smog Event. *Journal of Applied Meteorology - J APPL METEOROL*, 43, 680-695. <https://doi.org/10.1175/2092.1>
- User's guide for the Aermod Meteorological Preprocessor (*AERMET*) .(۲۰۰۴) .United States Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emissions, Monitoring, and Analysis Division .
- Zehtab Yazdi, Y., Mansouri, N., Atabi, F., & Aghamohammadi, H. (2021). Dispersion Modeling of Particulate Matters (PM_{2.5}, PM₁₀) from Asphalt Plants in the Southwest of Tehran) PM_{2.5}, PM₁₀ .*jehe*, 8(4), 375-390. <https://doi.org/10.52547/jehe.8.4.375>
- Zhang, Q., Wei, Y., Tian, W., & Yang, K .(۲۰۰۸) .GIS-based emission inventories of urban scale: A case study of Hangzhou, China. *Atmospheric Environment - ATMOS ENVIRON*, 42, 5150-5165. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.02.012>
- Zolfaghari, G., Nezamparvar, S., & Rajabzadeh, V. (2021). Measurement and modeling of pollutants in cement plant using Screen View model: case study, Zaveh cement factory. *Journal of Environmental Science Studies*, 6(2), 3720-3729. https://www.jess.ir/article_129885.html

Filename: 1403- 9(15) -1-14.doc
Directory: C:\Users\sajede\Documents
Template: C:\Users\sajede\AppData\Roaming\Microsoft\Templates\Normal.do
tm
Title:
Subject:
Author: PC1
Keywords:
Comments:
Creation Date: 8/22/2024 7:01:00 PM
Change Number: 4
Last Saved On: 9/5/2024 2:44:00 PM
Last Saved By: sajede
Total Editing Time: 4 Minutes
Last Printed On: 9/5/2024 2:45:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 14
Number of Words: 9,536 (approx.)
Number of Characters: 54,358 (approx.)