

مدل سازی پخش آلاینده های CO ، NO_x ، SO_2 و PM ناشی از کارخانه سیمان سبزوار با استفاده از نرم افزار SCREEN3

سید سعید کیخسروی^{۱*}، فرهاد نژادکورکی^۲، محمود امین طوسی^۳

چکیده

مقدمه: امروزه صنعت سیمان به عنوان یکی از مهم ترین صنایع آلوده کننده هوا در دنیا به شمار می رود. هدف از انجام این مطالعه، شبیه سازی انتشار آلاینده های CO ، NO_x ، SO_2 و PM ناشی از دودکش کارخانه سیمان سبزوار، توسط نرم افزار SCREEN3 است.

روش بررسی: در این مطالعه، از نرم افزار SCREEN3 برای نحوه پراکنش آلاینده های CO ، NO_x ، SO_2 و PM استفاده گردید. ورودی مدل شامل میزان غلظت و انتشار گازهای آلاینده، فاکتورهای فیزیکی مرتبط با دودکش کارخانه سیمان، سرعت و جهت باد، دمای محیط و کلاس های پایداری می باشند.

نتایج: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد، که حداکثر غلظت CO ، NO_x و SO_2 و PM توسط نرم افزار SCREEN3 در شرایط جوی ناپایدار (B) و سرعت باد ۵ متر بر ثانیه، رخ داده اند. بیشترین غلظت CO ، NO_x و PM (استفاده از گاز)، در فاصله ۱۴۰۰ متری از دودکش کارخانه با میزان به ترتیب ۰/۹، ۰/۳۲ و $6/2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و همچنین بیشترین غلظت CO ، NO_x و SO_2 و PM (استفاده از مازوت)، در فاصله ۱۱۰۰ متری از دودکش کارخانه با میزان به ترتیب ۱۹/۵، ۳۶۰، ۹ و $7/9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ پیش بینی شد. مقایسه نتایج حاصله با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران و EPA نشان داد، که غلظت CO ، NO_x و SO_2 و PM از استانداردها بالاتر نبوده است.

نتیجه گیری: مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با استاندارد EPA و استاندارد هوای پاک ایران نشان داد که در هیچ دوره نمونه برداری غلظت CO ، NO_x ، SO_2 و PM از استانداردها بالاتر نبوده است.

کلیدواژه ها: کارخانه سیمان، نرم افزار SCREEN3، الگوی پراکنش، آلودگی هوا

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۲ دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۳ استادیار، گروه علوم کامپیوتر، دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

* (نویسنده مسئول): تلفن تماس: ۰۹۱۵۰۶۹۸۲۴، پست الکترونیک: saeedkeykhosravi@stu.yazd.ac.ir

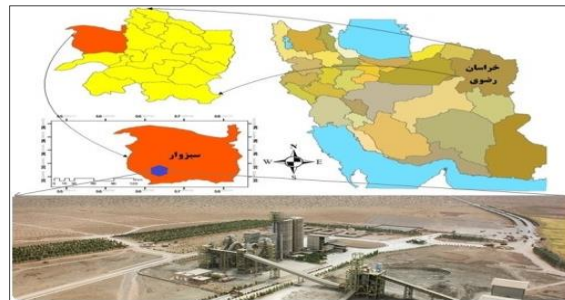
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۲

مقدمه

با پیشرفت صنایع در کشورهای در حال توسعه، آلودگی هوا به عنوان تهدیدی جدی برای سلامت و بهداشت عمومی این گونه جوامع در نظر گرفته شده است (۱). آلودگی هوا دارای اثرات نامطلوبی از جمله آسیب مجاری تنفسی، کاهش ظرفیت تنفس، نارسایی مغزی-کلیوی، پیری زودرس (۲) کاهش ظرفیت حمل اکسیژن خون، گرمای جهانی و صدمات غیرقابل جبران دیگری که به حیات حیوانات و گیاهان وارد می سازد (۳، ۴). از مهم ترین منابع آلاینده، صنایع و کارخانه ها می باشند. صنعت سیمان از سال ۲۰۰۷ به تنهایی حدود ۵ درصد از کل گازهای گلخانه ای را به اتمسفر آزاد کرده است (۵). در هر یک از مراحل مختلف تولید سیمان از جمله پیش حرارت دهی، کلینک سازی، خنک کردن کلینکر، عملیات خرد کردن و انبار کردن مقادیر زیادی گاز و گردوغبار با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متفاوت تولید خواهد شد (۶). بنابراین کنترل کیفیت هوای اطراف کارخانه از طریق سنجش شاخص هایی مانند شاخص کیفیت هوا (Air Quality Index)، شاخص آلودگی هوا (Air Pollution Index) و شاخص استاندارد آلودگی (Index Pollutant Standard) از جمله اقدامات مؤثر جهت تعیین کمیت آلاینده ها و توصیف کیفیت هوای خروجی از دودکش صنایع می باشد (۷). استانداردهای کیفیت هوا به وسیله سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا به دو نوع استانداردهای اولیه و ثانویه بنا شده اند. طبق تعریف استانداردهای اولیه آن دسته استانداردهایی هستند که رعایت آن ها برای حفظ سلامت عمومی جامعه (صرف نظر از مسائل اقتصادی و تکنولوژی) الزامی است. رعایت این گونه استانداردها برای حفظ سلامتی افراد حساس به ویژه سالمندان، بیماران تنفسی و کودکان امری بسیار ضروری است. استانداردهای ثانویه کیفیت هوا نسبت به استانداردهای اولیه دارای ابعاد وسیع تری هستند به طوری که در این استانداردها حفاظت منابع و آسایش عمومی نیز مدنظر قرار گرفته است (حفاظت ساختمان ها، محصولات، حیوانات و منسوجات). گازهای SO_2 ، NO_x ، CO و ذرات معلق از جمله آلاینده های خروجی از صنعت سیمان هستند که عوارضی مانند کاهش ظرفیت حمل اکسیژن خون در اثر ترکیب با هموگلوبین، حمله قلبی، تجزیه فیبرین (۳)، عملکرد نامناسب شش ها و کاهش

عمق تنفس (۲) گرم شدن هوا، افزایش بیماری های قلبی-عروقی و تغییر ضریب تیرگی (۸، ۴) را در پی خواهند داشت. با گسترش این صنعت تعداد کارگرانی که به اقتضای شغل در تماس با گردوغبار سیمان هستند رو به افزایش است. به طور کلی تولید سیمان یک فرآیند آلوده کننده است و عوامل زیان آور متعددی در محیط کار سلامتی شاغلین را متأثر می سازد (۹). عوارض شغلی ناشی از تماس با گردوغبار سیمان متعدد است و مهم ترین آن ها عبارت اند از درماتیت، رینیت، آسم شغلی، برونشیت مزمن و سیلیکوزیس (۱۰). مدل های کیفیت هوا فرایندهای انتقال و پراکنش آلاینده ها را در جو تعیین می کند (۱۱). مدل گوس (Gauss) به عنوان رایج ترین مدل در زمینه مدل سازی کیفیت هوا مطرح می باشد (۱۲). مدل SCREEN3 یک نرم افزار شبیه ساز بر اساس مدل گوس می باشد که برای محاسبه آسان و نمایش حداکثر غلظت آلاینده ها در سطح زمین و در فواصل مختلف از منبع آلودگی توسعه داده شده است (۱۳) و قادر است با استفاده از فاکتورهای مرتبط با دودکش و عوامل هواشناسی، حداکثر غلظت آلاینده ها و فاصله نقطه وقوع حداکثر غلظت را از منابع مداوم انتشار آلودگی در پایین دست جهت باد تخمین بزند. این مدل می تواند حداکثر غلظت را در هر تعداد نقطه تعریف شده توسط کاربر در سطح صاف یا در ارتفاع شامل فاصله تا ۱۰۰ کیلومتری محاسبه نماید (۱۴). صنعت سیمان با تولید آلاینده هایی که ذکر آن به عنوان یکی از صنایع آلوده کننده محیط زیست شناخته شده است (۱۵) و هزینه های اجتماعی بسیار سنگینی را به لحاظ جبران خسارت های فوق بر دولت ها تحمیل می نماید (۱۶)، بدیهی است که در چنین شرایطی یکی از نگرانی های اصلی صنعت سیمان، تأمین منافع زیست محیطی و عدم تخریب محیط زیست می باشد. در مطالعه ای Baroutian و همکاران در سال ۲۰۰۶ با هدف مدل سازی ذرات معلق خروجی از دودکش کارخانه سیمان کرمان با استفاده از مدل گوس، به اندازه گیری مقادیر غبار در هوای آزاد کارخانه و در جهت باد پرداختند (۱۷). Otaru و همکاران در سال ۲۰۱۳ به بررسی و مدل سازی پراکنش ذرات خروجی از دودکش کارخانه سیمان در نیجریه پرداختند (۱۸).

روداب در موقعیت ۳۵ درجه ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه ۳ دقیقه طول شرقی قرار دارد. در شمال شرق کارخانه دو روستای، پروند و کلاته میرعلی به ترتیب بافاصله ۷۶۰۰ و ۸۷۰۰ متر از کارخانه واقع شده‌اند. کارخانه در داخل منطقه حفاظت شده پروند قرار گرفته است. منطقه پروند طی مصوبه شماره ۳۴۰ شورای عالی محیط زیست (کمیسیون زیر بنائی دولت) مورخ ۱۳۸۹/۹/۲۹ به عنوان منطقه حفاظت شده به مناطق تحت مدیریت سازمان حفاظت محیط زیست پیوسته است و دارای مساحت ۱۶۹۰۰ هکتار، می باشد و یکی از بهترین مناطق کوهستانی حفاظت شده در مناطق کویری شمال شرق ایران است. شکل ۱ جایگاه کارخانه سیمان سبزوار در نقشه ایران را نشان می دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی کارخانه سیمان سبزوار

از آنجا که مطالعه‌ای در ارتباط با گازهای آلاینده خروجی از دودکش کارخانه سیمان سبزوار انجام نشده است. بنابراین بررسی میزان انتشار گازهای آلاینده، ناشی از سوخت مازوت و گاز طبیعی در اطراف کارخانه سیمان سبزوار، امری ضروری به نظر می رسد. هدف از انجام مطالعه حاضر، مدل سازی حداکثر میزان غلظت NO_x ، SO_2 ، CO و PM خروجی از دودکش کارخانه سیمان سبزوار با استفاده از نرم افزار SCREEN3، در فواصل مختلف سال و در شرایط متفاوت پایداری و سرعت باد بود.

روش بررسی

کارخانه سیمان سبزوار، واقع در استان خراسان رضوی و ۷۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سبزوار در بخش

ها اطلاعات مفیدی برای برنامه های کنترل آلودگی هوا فراهم می آورد (۱۹). معادله اساسی گوس برای تعیین غلظت آلاینده ها (معادله ۱ و ۲) در جهت پایین دست باد به صورت زیر هست (۲۰).

$$x = \frac{Q}{2\pi u_s \delta_y \delta_z} \left\{ \exp \left[-0.5 \left(\frac{z_r - h_e}{\delta_z} \right)^2 \right] + \exp \left[-0.5 \left(\frac{z_r - h_e}{\delta_z} \right)^2 \right] + A \right\} \quad (1)$$

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

کرد (۲۱). نرم افزار SCREEN3 بر پایه مدل گوس استوار است. این نرم افزار به منظور پیش بینی غلظت آلاینده ها و نیز تعیین نقاط حساس و آسیب پذیر اطراف صنایع بکار برده می شود. SCREEN3 در سال ۱۹۹۵ توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) منتشر گردید. حداقل داده های ورودی های لازم برای اجرای مدل SCREEN3 عبارت است از: مقدار انتشار آلودگی مورد نظر (g/s)، ارتفاع دودکش (m)، قطر دهانه دودکش (m)، سرعت گاز

مدل پلوم گوس به عنوان رایج ترین مدل به منظور تخمین غلظت آلاینده های خروجی از منابع انتشار مانند صنایع سیمان در سراسر جهان به کار می رود و پیش بینی های مناسبی را ارائه داده است. کاربرد این گونه مدل -

که در آن (Q) میزان انتشار برحسب گرم بر ثانیه، (h_e) ارتفاع پلوم برحسب متر، (U_s) سرعت باد در ارتفاع دودکش برحسب متر بر ثانیه، (δ_y و δ_z) ضرایب پراکندگی افقی و عمودی برحسب متر، (z_r) ارتفاع گیرنده از سطح زمین برحسب متر و (z_i) ارتفاع اختلاط برحسب متر می باشد. از آنجایی که اندازه گیری میزان آلاینده ها در هر نقطه ای ممکن نیست لذا می توان توزیع آلاینده ها و وضعیت هوا را در نقاط مختلف از طریق مدل ها پیش بینی

در دمای ۱۰۵ درجه و رطوبت گیری در دسیکاتور موردسنجش قرار گرفت و مقادیر ذرات در واحد حجم محاسبه شد.

داده های هواشناسی ۳ فصل پاییز، زمستان و بهار موردبررسی قرار گرفت و با توجه به سرعت، جهت باد غالب، میانگین دمای محیط، شرایط پایداری محیط و میزان انتشار وارد مدل نرم افزاری گردید. برای اجرای مدل، ۴ دودکش کارخانه به یک منبع معادل سازی شد. چگونگی تأثیر کارخانه سیمان بر کیفیت هوای محیط و نحوه پراکنش آلودگی تا فاصله ۵۰۰ متری از کارخانه، با استفاده از نرم افزار SCREEN3 مدل سازی شد. در نهایت نتایج حاصل از نرم افزار با استاندارد هوای پاک ایران و استاندارد EPA مقایسه گردید. نتایج حاصل از مدل توسط نرم افزار Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

نتایج

جداول ۱ تا ۳ اطلاعات مورد نیاز ورودی به نرم افزار SCREEN3 را نشان می دهد.

خروجی از دودکش (m/s)، دمای گاز خروجی (°k)، دمای محیط (°k)، ارتفاع گرینده از سطح زمین (m)، شهری یا روستایی بودن منطقه (۱۴).

به منظور سنجش غلظت گازهای NO_x، CO و SO₂ خروجی از ۴ دودکش کارخانه سیمان (کوره، گریت کولر، آسیاب سیمان و آسیاب مواد خام) در ۳ فصل (پاییز، زمستان و بهار) سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶، از دستگاه Testo مدل XL350 استفاده گردید. مقادیر غلظت به تفکیک هر فصل و در هر دودکش به طور جداگانه ثبت گردید. هم زمان با سنجش غلظت گازها، فشار و دمای گازهای خروجی دودکش نیز مورد اندازه گیری قرار گرفت. جهت تعیین میزان ذرات معلق PM_{2.5} و PM₁₀ از دستگاه Westech استفاده می گردد. سنجش مقادیر ذرات خروجی با استفاده از روش گراویمتری و بر اساس استاندارد ISO 9096 انجام گرفت. پس از نمونه گیری فیلتر موردنظر به وسیله ی آون و دسیکاتور خشک گردید و سپس موردسنجش وزنی قرار گرفت. اختلاف وزن اولیه فیلتر و وزن ثانویه آن پس از نمونه برداری و خشک شدن در آون

جدول ۱. مشخصات وضعیت دودکش کارخانه، دود خروجی و نشر جرمی آلاینده ها CO، NO_x، SO₂ و PM

مشخصات پارامترهای مورد مطالعه		سوخت
		گاز
		مازوت
مقدار NO _x اندازه گیری شده (mg/m ³)	۵۷/۲	۱۸۴/۲۰
مقدار CO اندازه گیری شده (mg/m ³)	۲۸/۹۱	۱۰۰۶/۳۶
مقدار SO ₂ اندازه گیری شده (mg/m ³)	۰	۹۲/۸
مقدار PM اندازه گیری شده (mg/m ³)	۹۹/۴۳	۸۹/۹۰
نشر جرمی NO _x (g/sec)	۱/۳۸	۱۸/۴۲
نشر جرمی CO (g/sec)	۰/۴۸۲	۳۴۰/۲
نشر جرمی SO ₂ (g/sec)	۰	۸/۷
نشر جرمی PM (g/sec)	۹/۳	۷/۵
سرعت گاز خروجی (m/s)	۱۷	۱۳/۵
دمای خروجی (°K)	۴۴۹	۴۱۵
طول دودکش (m)	۵۰	۵۰
قطر دودکش (cm)	۳۵۰	۳۵۰

جدول ۲. نتایج بررسی اطلاعات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک سبزوار

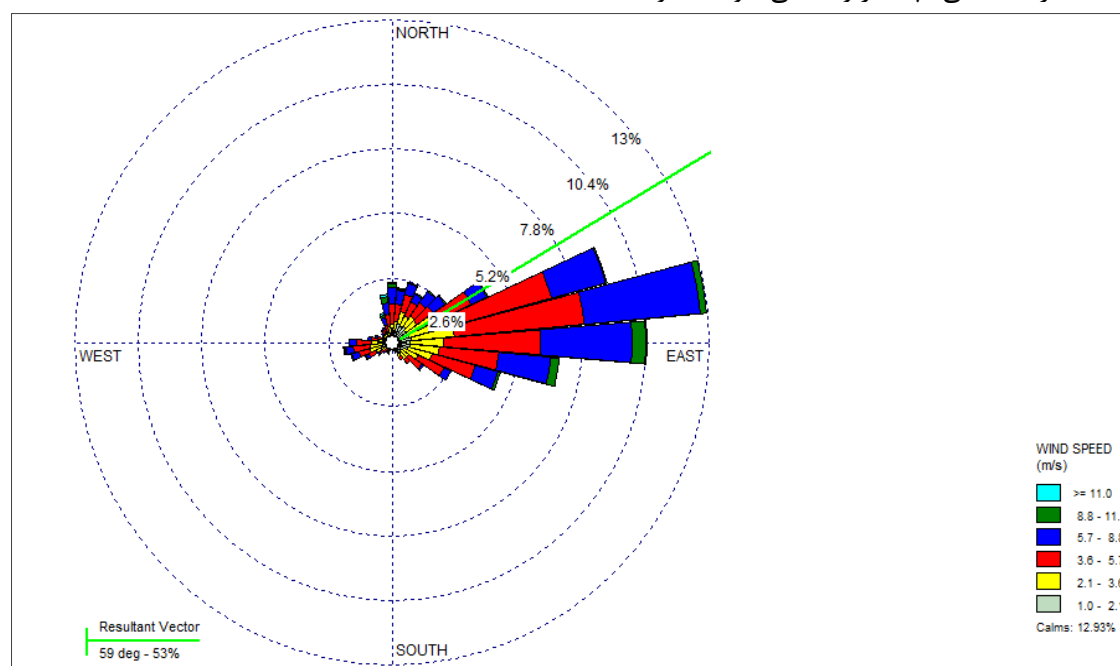
۲۹۷/۸	میانگین دما (°K)
۷، ۵، ۴	سرعت های محتمل باد غالب (m/s)
شرق و شمال شرقی	جهت باد غالب
آفتابی، ابری، نیمه ابری	پوشش آسمان

جدول ۳. کلاس‌های پایداری محتمل منطقه

سرعت باد غالب	کلاس‌های پایداری
۴	کمی ناپایدار (C)، خنثی (D)، پایدار (F)
۵	ناپایدار (B)، کمی ناپایدار (C)، خنثی (D)، کمی پایدار (E)
۷	کمی ناپایدار (C)، خنثی (D)

بنابراین در منطقه شرایط کمی ناپایدار به مفهوم سرعت-های باد ۴، ۵ و ۷ متر بر ثانیه و آسمان نسبتاً صاف و کمی ابری است. شرایط ناپایدار در سرعت باد ۵ متر بر ثانیه با آسمان نسبتاً صاف می‌باشد. شرایط کمی پایدار در سرعت باد ۵ متر بر ثانیه در شب‌ها با آسمان صاف و نیمه‌ابری است. شرایط پایدار معمولاً در شب‌ها و در حالت آسمان صاف و نیمه‌ابری در سرعت باد ۴ متر بر ثانیه و شرایط خنثی به روزها و شب‌ها ابری و نیمه‌ابری، با سرعت‌های باد ۷ متر بر ثانیه و بزرگ‌تر از آن است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که حداکثر میزان آلودگی از سمت شرق و شمال شرقی و در جهت باد غالب بوده است. شکل ۲ گلباد ۳ فصل (پاییز، زمستان و بهار) منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

یافته‌های حاصل از کاربرد مدل SCREEN3 برای شبیه‌سازی انتشار آلاینده‌های CO ، NO_x و SO_2 و PM در بازه ۳ فصل (پاییز، زمستان، بهار)، در راستای محور X تا فاصله ۵۰۰ متری از دودکش کارخانه سیمان سبزوار در جدول ۴ ارائه شده است. هنگامی که سرعت باد غالب ۴ متر بر ثانیه باشد کلاس‌های پایداری جوی بسته به پوشش ابر در آسمان و سایر شرایط جوی از کمی ناپایدار تا پایدار متغیر است. هرچه سرعت باد افزایش یابد شرایط جوی به سمت خنثی پیش خواهد رفت. در بادی با سرعت، حدود ۴ متر بر ثانیه هر چه پوشش ابر در آسمان بیشتر گردد شرایط پایدارتر خواهد گردید. در صورتی که پوشش ابر از ۵۰ درصد آسمان بیشتر باشد شرایط جوی خنثی و همچنین با افزایش سرعت باد و رسیدن به حد ۷ متر بر ثانیه شرایط کمی ناپایدار و خنثی خواهد بود.



شکل ۲. گلباد منطقه مورد مطالعه

کارخانه)، در شرایط جوی ناپایدار و سرعت باد ۵ متر بر ثانیه در فاصله ۱۴۰۰ متری از دودکش کارخانه سیمان با میزان به ترتیب ۰/۹، ۰/۳۲ و ۶/۲ میکروگرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد (شکل ۳). بیشترین غلظت CO ، NO_x

بر این اساس بافاصله گرفتن از دودکش، غلظت آلاینده‌ها ابتدا با یک شیب تند افزایش یافته و پس از طی کردن فاصله‌ای معین کاهش می‌یابد. بیشترین غلظت CO ، NO_x و PM (ناشی از استفاده از گاز به عنوان سوخت

SO₂ و PM (ناشی از استفاده از مازوت به عنوان سوخت کارخانه)، در شرایط جوی ناپایدار و سرعت باد ۵ متر بر ثانیه در فاصله ۱۱۰۰ متری از دودکش کارخانه سیمان با میزان به ترتیب ۱۹/۵، ۳۶۰، ۹ و ۷/۹ میکروگرم بر مترمکعب پیش بینی گردید (شکل ۴).

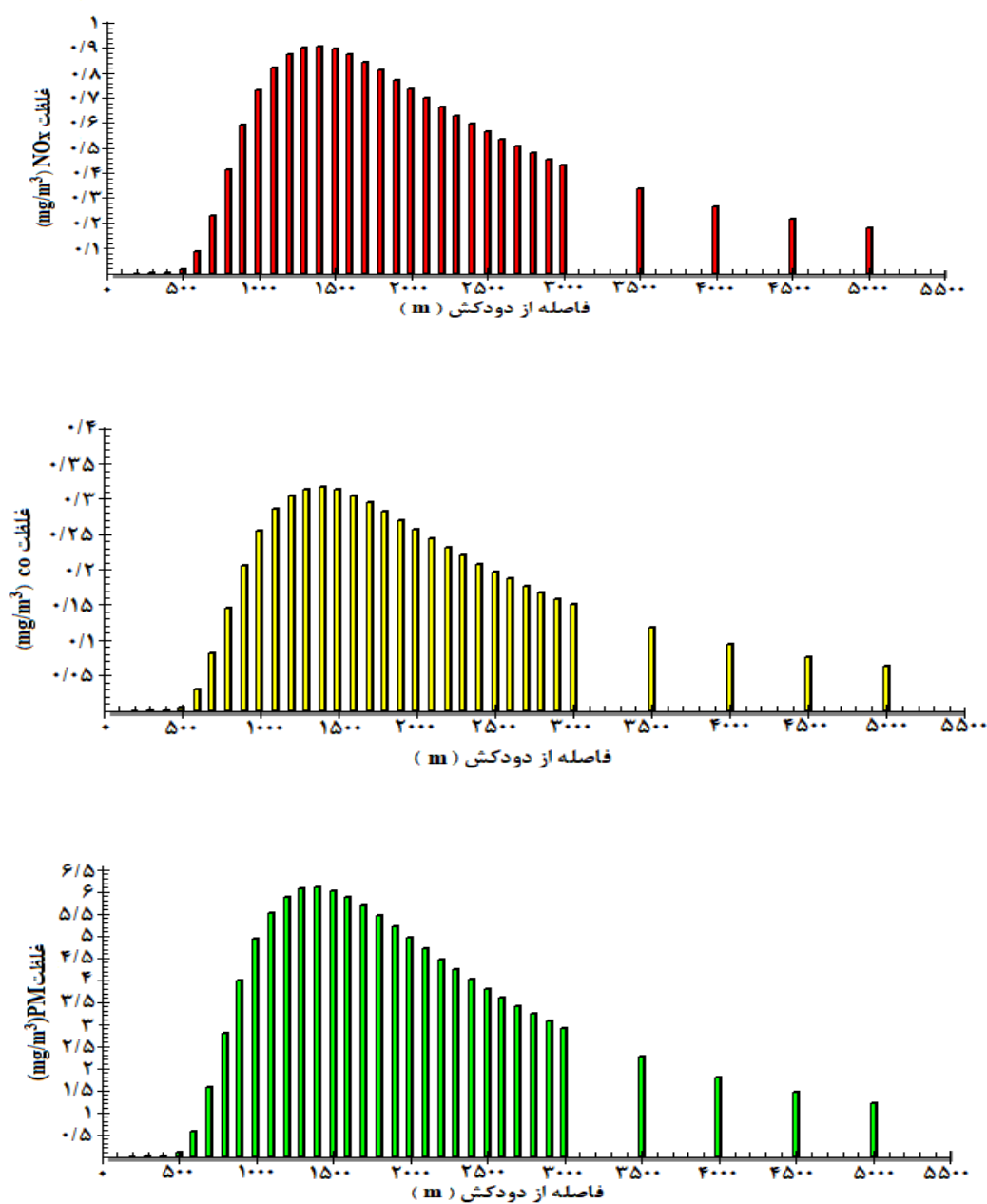
جدول ۴. شرایط غلظت آلودگی در پایین دست جهت باد نسبت به دودکش کارخانه

نوع آلاینده	سوخت مصرفی	سرعت باد غالب (m/s)	وضعیت آسمان	موقعیت زمانی	کلاس پایداری	حداکثر غلظت آلودگی (mg/m ³)	فاصله وقوع حداکثر غلظت آلودگی (m)
NOx	گاز	۴	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۰/۶۶	۲۹۰۰
NOx	مازوت	۴	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۱۵	۲۴۰۰
NOx	گاز	۴	ابری	روز یا شب	خنثی	۰/۲	۵۰۰۰
NOx	مازوت	۴	نیمه ابری	روز یا شب	خنثی	۶/۵	۵۰۰۰
NOx	گاز	۴	صاف	شب	پایدار	۰/۰۸	۵۰۰۰
NOx	مازوت	۴	نیمه ابری	شب	پایدار	۲/۲	۵۰۰۰
NOx	گاز	۵	نسبتاً صاف	روز	ناپایدار	۰/۹	۱۴۰۰
NOx	مازوت	۵	نسبتاً صاف	روز	ناپایدار	۱۹/۵	۱۱۰۰
NOx	گاز	۵	کمی ابری	روز	کمی ناپایدار	۰/۷۵	۲۵۰۰
NOx	مازوت	۵	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۱۶/۵	۱۹۰۰
NOx	گاز	۵	نیمه ابری	روز یا شب	خنثی	۰/۳	۵۰۰۰
NOx	مازوت	۵	ابری	روز یا شب	خنثی	۸/۲	۵۰۰۰
NOx	گاز	۵	نسبتاً صاف	شب	کمی پایدار	۰/۳۷	۵۰۰۰
NOx	مازوت	۵	صاف	شب	کمی پایدار	۶/۴	۵۰۰۰
NOx	گاز	۷	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۰/۸۷	۱۹۰۰
NOx	مازوت	۷	کمی ابری	روز	کمی ناپایدار	۱۸	۱۵۰۰
NOx	گاز	۷	صاف	شب یا روز	خنثی	۰/۴۴	۵۰۰۰
NOx	مازوت	۷	نیمه ابری	شب یا روز	خنثی	۱۰	۴۰۰۰
CO	گاز	۴	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۰/۲۳	۳۰۰۰
CO	مازوت	۴	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۲۸۰	۲۲۵۰
CO	گاز	۴	ابری	روز یا شب	خنثی	۰/۰۷	۵۰۰۰
CO	مازوت	۴	نیمه ابری	روز یا شب	خنثی	۱۲۰	۵۰۰۰
CO	گاز	۴	صاف	شب	پایدار	۰/۰۳	۵۰۰۰
CO	مازوت	۴	نیمه ابری	شب	پایدار	۴۰	۵۰۰۰
CO	گاز	۵	نسبتاً صاف	روز	ناپایدار	۰/۳۲	۱۴۰۰
CO	مازوت	۵	نسبتاً صاف	روز	ناپایدار	۳۶۰	۱۱۰۰
CO	گاز	۵	کمی ابری	روز	کمی ناپایدار	۰/۲۶	۲۵۰۰
CO	مازوت	۵	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۳۰۰	۱۹۰۰
CO	گاز	۵	ابری	روز یا شب	خمثی	۰/۰۵۵	۵۰۰۰
CO	مازوت	۵	ابری	روز یا شب	خنثی	۱۵۰	۵۰۰۰
CO	گاز	۵	نسبتاً صاف	شب	کمی پایدار	۰/۱۱	۵۰۰۰
CO	مازوت	۵	صاف	شب	کمی پایدار	۱۲۰	۵۰۰۰
CO	گاز	۷	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۰/۳	۲۰۰۰
CO	مازوت	۷	کمی ابری	روز	کمی ناپایدار	۳۳۰	۱۵۰۰

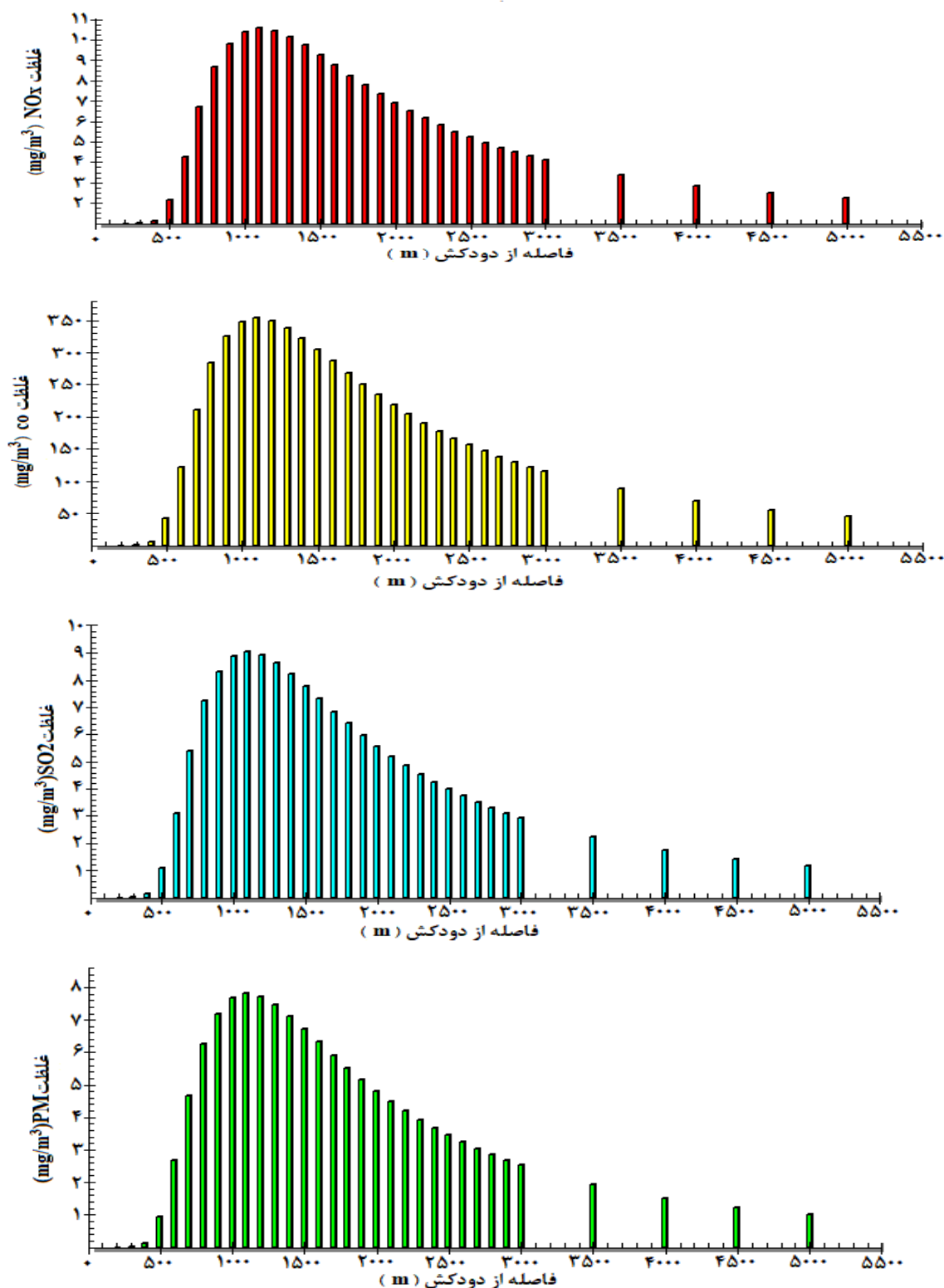
نوع آلاینده	سوخت مصرفی	سرعت باد غالب (m/s)	وضعیت آسمان	موقعیت زمانی	کلاس پایداری	حداکثر غلظت آلودگی (mg/m ³)	فاصله وقوع حداکثر غلظت آلودگی (m)
CO	گاز	۷	صاف	شب یا روز	خنثی	۰/۱۵	۵۰۰۰
CO	مازوت	۷	نیمه ابری	شب یا روز	خنثی	۱۸۰	۳۵۰۰
SO ₂	مازوت	۴	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۷	۲۲۰۰
SO ₂	مازوت	۴	نیمه ابری	روز یا شب	خنثی	۳/۱	۵۰۰۰
SO ₂	مازوت	۴	نیمه ابری	شب	پایدار	۱	۵۰۰۰
SO ₂	مازوت	۵	نسبتاً صاف	روز	ناپایدار	۹	۱۱۰۰
SO ₂	مازوت	۵	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۷/۶	۲۰۰۰
SO ₂	مازوت	۵	ابری	روز یا شب	خنثی	۳/۹	۵۰۰۰
SO ₂	مازوت	۵	صاف	شب	کمی پایدار	۳	۵۰۰۰
SO ₂	مازوت	۷	کمی ابری	روز	کمی ناپایدار	۸/۲	۱۳۰۰
SO ₂	مازوت	۷	نیمه ابری	شب یا روز	خنثی	۴/۶	۳۵۰۰
PM	گاز	۴	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۴/۵	۳۰۰۰
PM	مازوت	۴	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۶	۲۲۵۰
PM	گاز	۴	ابری	روز یا شب	خنثی	۱/۴	۵۰۰۰
PM	مازوت	۴	نیمه ابری	روز یا شب	خنثی	۲/۷	۵۰۰۰
PM	گاز	۴	صاف	شب	پایدار	۰/۵۷	۵۰۰۰
PM	مازوت	۴	نیمه ابری	شب	پایدار	۰/۸۳	۵۰۰۰
PM	گاز	۵	نسبتاً صاف	روز	ناپایدار	۶/۲	۱۴۰۰
PM	مازوت	۵	نسبتاً صاف	روز	ناپایدار	۷/۹	۱۱۰۰
PM	گاز	۵	کمی ابری	روز	کمی ناپایدار	۵	۲۵۰۰
PM	مازوت	۵	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۶/۵	۱۹۰۰
PM	گاز	۵	نیمه ابری	روز یا شب	خنثی	۲	۵۰۰۰
PM	مازوت	۵	ابری	روز یا شب	خنثی	۳/۵	۵۰۰۰
PM	گاز	۵	نسبتاً صاف	شب	کمی ناپایدار	۱/۲	۵۰۰۰
PM	مازوت	۵	صاف	شب	کمی پایدار	۲/۶	۵۰۰۰
PM	گاز	۷	نسبتاً صاف	روز	کمی ناپایدار	۵/۹	۱۹۰۰
PM	مازوت	۷	کمی ابری	روز	کمی ناپایدار	۷/۵	۱۵۰۰
PM	گاز	۷	صاف	شب یا روز	خنثی	۲/۹	۵۰۰۰
PM	مازوت	۷	نیمه ابری	شب یا روز	خنثی	۴	۳۵۰۰

با توجه به نتایج به دست آمده، شرایط غلظت آلودگی در پایین دست جهت باد نسبت به دودکش کارخانه سیمان سبزوار، مطابق جدول ۴ قابل طبقه بندی است (نتایج مدل سازی در ارتباط با هر یک از آلاینده ها در ۹ شرایط جوی مختلف به دست آمده است. از طرفی فاصله وقوع حداکثری آلاینده گی در هر یک از شرایط جوی مشخص شده است). باید توجه داشت که نتایج به دست آمده از مدل، غلظت های یک ساعته بوده و با توجه به تغییرات حتی اندک جهت یا سرعت باد در طول ۲۴ ساعته، حداکثر غلظت آلودگی و موقعیت آن تغییر خواهد

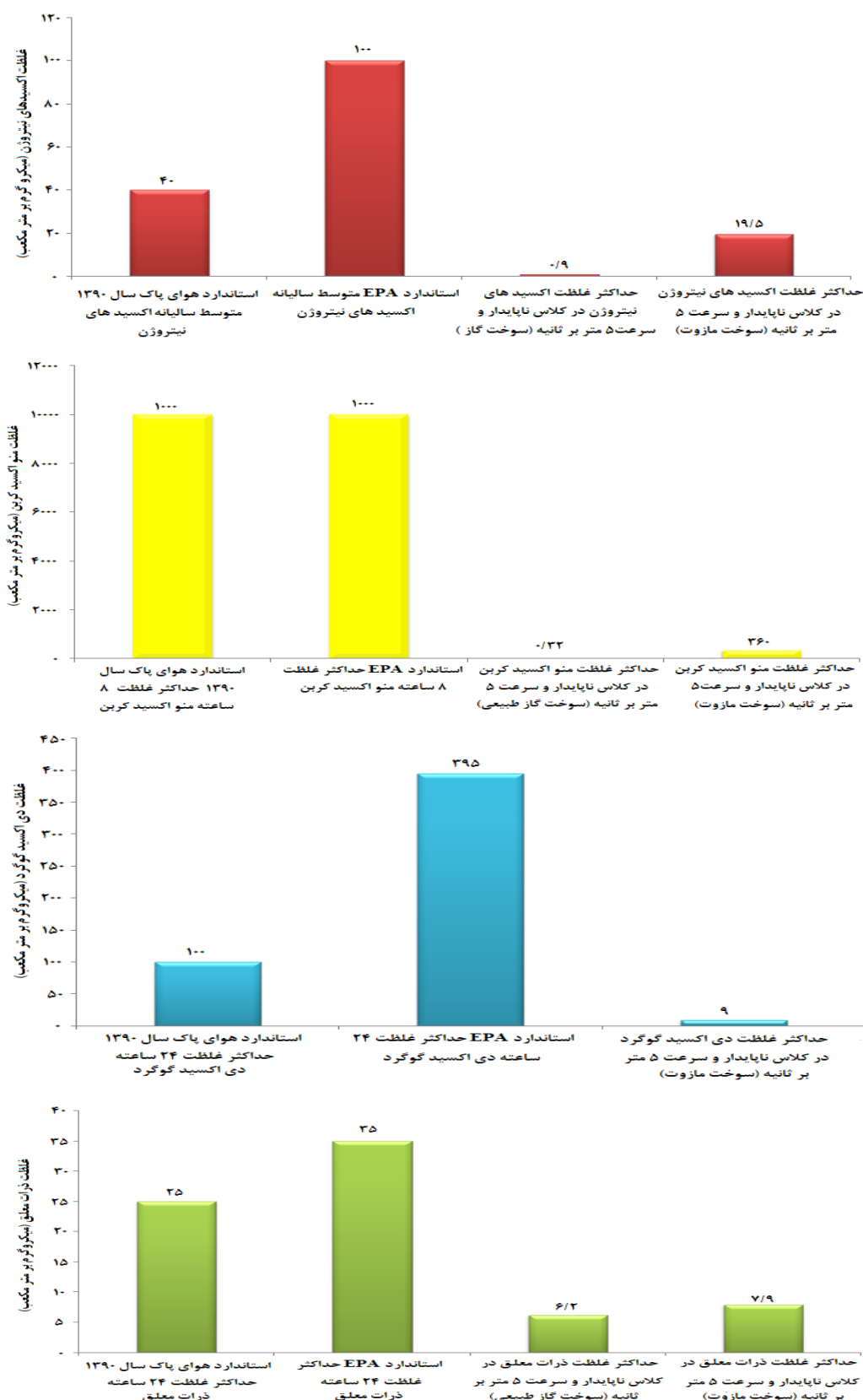
کرد که این منجر به کوچک تر شدن میانگین غلظت ۲۴ ساعته در هر فاصله از دودکش در پایین دست جهت باد خواهد گردید. بر این اساس در هیچ حالت جوی در روز یا شب میانگین غلظت آلودگی اکسیدهای نیتروژن، منو-اکسید کربن، دی اکسید گوگرد و ذرات معلق ناشی از انتشار از دودکش کارخانه از استاندارد ۲۴ ساعته یا یک ساله تجاوز نمی کند. از طرفی مقایسه غلظت های خروجی دودکش های کارخانه در مقایسه با استانداردهای هوای پاک ایران و استاندارد EPA در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۳. بیشترین غلظت NO_x (قرمز رنگ)، CO (زرد رنگ) و PM (سبز رنگ) ناشی از سوخت گاز، در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش کارخانه سیمان سبزوار در شرایط جوی ناپایدار و سرعت باد ۵ متر بر ثانیه



شکل ۴. بیشترین غلظت NO_x (قرمز رنگ)، CO (زرد رنگ)، SO_2 (آبی رنگ) و PM (سبز رنگ) ناشی از سوخت مازوت، در پایین دست جهت باد نسبت به فاصله از دودکش کارخانه سیمان سبزوار در شرایط جوی ناپایدار و سرعت باد ۵ متر بر ثانیه



شکل ۵. مقایسه غلظت NO_x (قرمز رنگ)، CO (زرد رنگ)، SO₂ (آبی رنگ) و PM (سبز رنگ) با استاندارد هوای پاک ایران و EPA

بحث

این ارزیابی جهت بررسی پراکنش آلاینده‌های خروجی از دودکش کارخانه سیمان سبزوار با استفاده از نرم‌افزار SCREEN3 در کلاس‌های پایداری B تا F موجود در جدول ۳ و میانگین غلظت CO ، NO_x ، SO_2 و PM خروجی از دودکش‌های کارخانه سیمان انجام پذیرفته شد. شاخص‌های هواشناسی به‌عنوان یک عامل مؤثر در مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌ها بررسی شد. بیشتر بادهای غالب منطقه مورد مطالعه بر اساس شکل ۲ از سمت شرق و شمال شرق وزیده شده است. با توجه به نوع فعالیت صنایع، تغییرات غلظت CO ، NO_x و PM تحت تأثیر نوع و مقدار تولید و همچنین مدت‌زمان فعالیت، در صنعت مورد نظر قرار دارد. میزان آلودگی صنایع در فصول مختلف و شرایط متفاوت هواشناسی می‌تواند افزایش یا کاهش یابد (۲۲). بنابراین بر طبق اشکال ۳ و ۴ از نتایج حاصله چنین برمی‌آید که در فواصل نزدیک به منبع انتشار غلظت CO ، NO_x و SO_2 و PM کاهش و سپس با افزایش فاصله، افزایش یافته است. بر اساس نتایج مدل، حداکثر غارت CO ، NO_x و SO_2 و PM در شرایط جوی نا-پایدار و سرعت ۵ متر بر ثانیه، رخ داده‌اند. بیشترین غلظت CO ، NO_x و PM (ناشی از استفاده از گاز به‌عنوان سوخت کارخانه)، در فاصله ۱۴۰۰ متری دودکش کارخانه سیمان با میزان به ترتیب ۰/۹، ۰/۳۲ و ۶/۲ میکرو-گرم بر مترمکعب و بیشترین غلظت CO ، NO_x و SO_2 و PM (ناشی از استفاده از مازوت به‌عنوان سوخت کارخانه)، در فاصله ۱۱۰۰ متری دودکش کارخانه سیمان با میزان به ترتیب ۱۹/۵، ۳۶۰، ۹ و ۷/۹ میکرو-گرم بر مترمکعب پیش‌بینی شد. همچنین نتایج نشان می‌دهد هر چه سرعت باد افزایش یافته است غلظت CO ، NO_x و SO_2 و PM کاهش، و فاصله وقوع حداکثر آلودگی افزایش داشته است. بنابراین چنین می‌توان استدلال کرد که افزایش سرعت باد سبب کاهش غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی سطح زمین می‌گردد. با توجه به این که بالاترین غلظت CO ، NO_x و SO_2 و PM در فاصله ۱۴۰۰ متری (ناشی از استفاده از گاز به‌عنوان سوخت) و ۱۱۰۰ متری (ناشی از استفاده از مازوت به‌عنوان سوخت) از دودکش کارخانه رخ داده‌اند لذا این نقاط می‌تواند به‌عنوان حساس-ترین نقاط از نظر آلودگی در اطراف کارخانه سیمان سبزوار در نظر گرفته شود. در کلیه کلاس‌های پایداری غلظت

CO ، NO_x و SO_2 و PM پس از رسیدن به نقطه ماکزیمم مجدداً با شیب کمتری کاهش یافته است. این تغییرات غلظت ممکن است به دلیل تغییرات شاخص‌های هواشناسی در زمان‌های مختلف باشد که نقش مهمی در شکل‌گیری بادهای و غلظت آلاینده‌ها دارد (۲۳).

استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران در سال ۱۳۹۰، برای NO_x ، به‌صورت متوسط سالیانه ۴۰ میکرو-گرم بر مترمکعب، برای CO به‌صورت حداکثر غلظت ۸ ساعته ۱۰۰۰ میکرو-گرم بر مترمکعب و برای SO_2 و $\text{PM}_{2.5}$ و PM_{10} به‌صورت متوسط ۲۴ ساعته به ترتیب برابر ۱۰۰، ۲۵ و ۵۰ میکرو-گرم بر مترمکعب است. استانداردهای سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا برای CO ، NO_x ، SO_2 و $\text{PM}_{2.5}$ و PM_{10} به ترتیب برابر ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۳۹۵، ۳۵ و ۱۵۰ میکرو-گرم بر مترمکعب است. شکل ۵ نشان‌دهنده مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از مدل SCREEN3 و استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران و EPA است که غلظت CO ، NO_x و SO_2 و PM در هیچ‌یک از موارد مورد بررسی از غلظت استاندارد ایران و EPA تجاوز نکرده‌اند. در مطالعه مشابهی که توسط Alizadehdakheel و همکاران در سال ۲۰۱۰ (۲۴)، در بررسی ذرات معلق بر روی کارخانه سیمان کرمان انجام گرفت میانگین غلظت ذرات معلق را ۳۸۰ میکرو-گرم بر مترمکعب تعیین کردند که مقادیر حاصله بالاتر از استاندارد EPA و نتایج حاصل از این مطالعه می‌باشد. Abu-Allaban و Abu-Qudais در سال ۲۰۱۱ (۲۵)، طی مطالعه موردی به‌منظور ارزیابی اثرات صنعت سیمان بر کیفیت هوا، مقادیر گازهای NO_x و SO_x را به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۰۸ ppm به دست آوردند. که مقادیر آن بسیار پایین‌تر از نتایج حاصل این پژوهش می‌باشد. الماسی و همکاران در سال ۱۳۹۱ (۲۶)، با بررسی بر روی کارخانه سیمان شهر کرمانشاه، به این نتیجه رسیدند که مقادیر گاز مونو اکسیدکربن بالاتر از استاندارد خروجی از الکتروفیلتر و کوره است، که از این نظر با نتایج مطالعه حاضر همخوانی ندارد. Atabi و همکاران در سال ۲۰۱۴ (۲۷)، حداکثر غلظت یک‌ساعته گاز مونواکسید کربن را پایین‌تر از استاندارد USEPA به دست آوردند، که از این نظر با مطالعه حاضر همخوانی دارد. Abdul-Wahab در سال ۲۰۰۶ (۲۸)، Mohebbi و

NO_x، CO₂ و PM از استانداردها بالاتر نبوده است، که نشان از عملکرد بالای فیلترهای حفاظتی کارخانه سیمان سبزوار در جذب آلاینده ها است. این تحقیق می تواند یک منبع علمی در زمینه میزان انتشار NO_x، CO₂ و PM خروجی از دودکش های کارخانه سیمان سبزوار باشد که به منظور مدیریت صحیح زیست محیطی در راستای استاندارد ISO 14001 است.

سپاس گذاری

این مقاله بخشی از پایان نامه با عنوان مدل سازی پخش گردوغبار کارخانه سیمان سبزوار با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی محیط زیست گرایش آلودگی محیط زیست، در سال های ۱۳۹۶-۱۳۹۷ می باشد، که با حمایت دانشگاه یزد به شماره ۸۳/۲۰۷/۳ اجرا شده است. بدین وسیله از مدیرعامل کارخانه سیمان سبزوار جناب آقای مهندس نصرآبادی به خاطر در اختیار گذاشتن داده های تحقیق، تشکر و قدردانی می شود.

Baroutian در سال ۲۰۰۷ (۲۹)، Otaru و همکاران در سال ۲۰۱۳ (۱۸)، Ujoh و همکاران در سال ۲۰۱۴ (۲۲)، حداکثر غلظت پیش بینی شده ذرات معلق خروجی از دودکش کارخانه سیمان را بالاتر از استاندارد سالیانه WHO با مقدار ۲۶۰ میکروگرم بر مترمکعب گزارش دادند که بالاتر از نتایج حاصل از این مطالعه می باشد. متصدی زرنندی و همکاران در سال ۱۳۸۹ (۳۰)، در مطالعه خود دریافتند که گاز SO_x، CO و NO_x بیشترین آلاینده های هوای اطراف دودکش های واحدهای تولیدی کارخانه های سیمان را تشکیل می دهند. آن ها به این نتیجه رسیدند که گاز CO مهم ترین عامل خاموشی ناگهانی سیستم های رسوب دهنده های الکتروستاتیک در کارخانه های سیمان می باشد.

نتیجه گیری

در این مطالعه، با استفاده از مدل SCREEN3 غلظت NO_x، CO₂ و PM خروجی از دودکش کارخانه سیمان سبزوار در پایین دست جهت باد غالب مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با استاندارد هوای پاک ایران و EPA نشان داد که نتایج مدل، غلظت

References:

1. Boudaghpour S, Jadidi A. *Investigation of the effect of outlet pollutants of cement production industries around Tehran and approaches to control and eliminate pollutants*. International Journal of Physical Sciences. 2009;4(9):486-95.
2. Naddafi K, Heydari M, Hasanvand M, Qaderpour M. *A comparative study of Tehran air quality in 2006 to 2007*. 11th Hamayeshe mohite behdashte; Zahedan. 2008: 46-7.
3. Ghiasedin M. *Sanitary affects air pollution, air and sound pollution in law Iran*. Tehran: Studies & Schematization Center Publications; 2008; 58-62. [Persain]
4. Gurjar B, Butler T, Lawrence M, Lelieveld J. *Evaluation of emissions and air quality in megacities*. Atmospheric Environment. 2008;42(7):1593-606.
5. Nourmoradi H, Omid Khaniabadi Y, Goudarzi G, Jourvavd M, Nikmehr K. *Investigation on the dust dispersion (PM10 and PM2. 5) by Doroud Cement Plant and study of its individual exposure rates*. scientific journal of ilam university of medical sciences. 2016;24(1):64-75. [Persain]
6. Chehregani H. *Environmental engineering in cement industry, Tehran*. Hazegh Publications. 2004; 135- 278. [Persain]
7. Ryahi Samani M. *Investigation of application precipitations in treatment output gas in cement factories*. American Journal of Environmental Sciences. 2007;3(3):166-74. [Persain]
8. Atkinson R, Anderson H, Strachan D, Bland J, Bremner S, De Leon AP. *Short-term associations between outdoor air pollution and visits to accident and emergency departments in London for respiratory complaints*. European Respiratory Journal. 1999;13(2):257-65.
9. Merenu IA, Mojiminiyi FBO, Njoku CH, Ibrahim MTO. *The effect of chronic cement dust exposure on lung function of cement factory workers in Sokoto, Nigeria*. African Gournal of Biomedical research. 2007;(10):139- 43.
10. Mwaiselage J, Bratveit M, Moen BE, Mashalla Y. *Respiratory symptoms and chronic obstructive pulmonary disease among cement factory workers*. Scand J Work Environ Health. 2005;(31):316-23.

11. Mehrdadi N, Mostafaei M, Monavari SM, Mojabi SM, Ghiasedin M, Karbasi AR, et al. **Sanitary affects air pollution, air and sound pollution in law Iran**. Tehran, Iran: Tehran Urban Planning & Research Center; 2008. [Persian]
12. Zannetti P. **Air pollution modeling: theories, computational methods and available software**. New York, NY: Springer US; 1990.
13. Mohammadi MJ, Goudarzi G, Geravandi S, Yari AR, Ghalani B, Shirali S, et al. **Dispersion modeling of nitrogen dioxide in ambient air of Ahvaz city**. Health Scope. 2016;5(2).
14. Mohammadi H, editor Ashraf zadeh MR, Naji N, Sheikhzadeh B. **Modeling of NO_x and SO₂ emission from natural gas combustion in Semnan power plant**. Second International Symposium of Environmental Engineering; 2009. [Persian]
15. Ali M, Saidur R, Hossain M. A **review on emission analysis in cement industries**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2011;15(5):2252-61.
16. Madadi H, Ashraf zadeh MR. **Modeling of air Pollutants emissions from Hormozgan cement factory**. Third national conference on safety engineering and management, HSE, Tehran. 2009:1-8. [Persian]
17. Baroutian S, Mohebbi A, Goharrizi AS. **Measuring and modeling particulate dispersion: A case study of Kerman Cement Plant**. Journal of hazardous materials. 2006;136(3):468-74.
18. Otaru A, Odigure J, Okafor J, Abdulkareem A. **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. 2013;3(2):97-110.
19. Omid KY, Emaeili S, Goudarzi G, Rashidi R, Khoshgoftar M. **Assessment of Particulate Matter Dispersion Using Gaussian Plume Model: A Case Study of Doroud Cement Factory**. Journal of Knowledge & Health in Basic Medical Sciences. 2018;12(4):16-25. [Persian]
20. Mohebbi A, Baroutian S. **Numerical modeling of particulate matter dispersion from Kerman cement plant, Iran**. Environmental monitoring and assessment. 2007;130(1):73-82.
21. Turner DB. **Workbook of atmospheric dispersion estimates: an introduction to dispersion modeling**. CRC press; 1994.
22. Ujoh F, Ifatimehin OO, Kwabe ID. **Estimating plume emission rate and dispersion pattern from a cement plant at Yandev, Central Nigeria**. Res Environ. 2014;4:115-38.
23. Silalahi DD, Midi H, Arasan J, Mustafa MS, Caliman J-P. **Robust generalized multiplicative scatter correction algorithm on pretreatment of near infrared spectral data**. Vibrational Spectroscopy. 2018;97:55-65.
24. Alizadehdakhel A, Ghavidel A, Panahandeh M. **CFD modeling of particulate matter dispersion from Kerman cement plant**. Iranian Journal of Health and Environment. 2010;3(1):67-74. [Persian]
25. bu-Allaban M, Abu-Qudais H. **Impact assessment of ambient air quality by cement industry: A case study in Jordan**. Aerosol and Air Quality Research. 2011;11(7):802-10.
26. Almasi A, Asadi F, Mohamadi M, Farhadi F, Atafar Z, Khamutian R, et al. **Survey of Pollutant emissions from stack of Saman cement factory of Kermanshah city from year 2011 to 2012**. Journal of Health in the Field. 2013;1(2):36-43. [Persian]
27. 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):281-292. [Persian]
28. Abdul-Wahab SA. **Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities**. Ecological modelling. 2006;195(3-4):338-48.
29. Mohebbi A, Baroutian S. **Numerical modeling of particulate matter dispersion from Kerman cement plant, Iran**. Environmental monitoring and assessment. 2007;130(1-3):73-82.
30. Motesaddi Zarandi S, Daraei H, Pirasteh MH. **Investigation the status monitoring, maintenance and problems of electrostatic precipitation in cement factories in Iran**. The Horizon of Medical Sciences. 2011;17(3):66-73.

Modeling NO_x, CO, SO₂ and PM emissions from Sabzevar cement plant using SCREEN3 software

Keykhosravi SS^{1*}, Nejadkoorki F², Amin toosi M³

¹ MSc in Environment Engineering, Department of Environment Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Yazd University, Yazd, Iran

² Associate Professor, Department of Environment Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Yazd University, Yazd, Iran

³ Assistant Professor, Department of Computer Science, Faculty of Mathematics and Computer Science, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Abstract

Introduction: Nowadays, the cement industry is regarded as one of the most important air pollution industries globally. This study aimed to simulate the emission of NO_x, CO, SO₂, and PM pollutants caused by the Sabzevar Cement Factory chimney by SCREEN3 software.

Materials and Methods: In this study, the SCREEN3 software was employed for the distribution of NO_x, CO, SO₂, and PM pollutants. The inputs of the model include the concentration and emission of pollutant gases, physical factors associated with the cement factory chimney, wind speed and direction, ambient temperature, and stability classes.

Results: The results of this study indicated that the maximum concentrations of NO_x, CO, SO₂, and PM by the SCREEN3 software occurred in unstable weather conditions (B) and wind speed of 5 m.s. The highest concentrations of NO_x, CO, and PM (use of gas) were at a distance of 1400 meters from the factory chimney with the rates of 0.9, 0.32, 6.2 µg.m³, respectively. Moreover, the highest concentrations of NO_x, CO, SO₂, and PM (using fuel oil) were predicted at a distance of 1100 m from the factory chimney with 19.5, 360, 9, and 7.9 µg.m³, respectively. A comparison of the obtained results with the standard of the Environmental Protection Agency of Iran (EPA) revealed that the concentrations of NO_x, CO, SO₂, and PM were not higher than the standards.

Conclusion: The comparison of results with EPA standard and Iranian clean air standard showed that NO_x, CO, SO₂, and PM concentrations were not higher than standards during the sampling period.

Keywords: Cement Plant, SCREEN3 software, Distribution Pattern, Air Pollution

This paper should be cited as:

Keykhosravi SS, Nejadkoorki F, Amin toosi M. *Modeling NO_x, CO, SO₂ and PM emissions from Sabzevar cement plant using SCREEN3 software*. Occupational Medicine Quarterly Journal. 2021;13(3): 24-37.

*Corresponding Author

Email: saeedkeykhosravi@stu.yazd.ac.ir

Tel: +989150069824

Received: 25.03.2021

Accepted: 24.07.2021