



ارزیابی پراکنش گرد و غبار با استفاده از مدل پلوم گوس: مطالعه موردی کارخانه سیمان

دورود

یوسف امیدوی‌خانی‌آبادی^۱، شیرین اسماعیلی^۲، غلامرضا گودرزی^۳، رجب رشیدی^۴، محمد خوش‌گفتار^{۵*}

۱- دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز- شبکه بهداشت کارون- کارشناس ارشد.

۲- دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز- دانشکده بهداشت- کارشناس ارشد.

۳- دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز- دانشکده بهداشت- عضو مرکز تحقیقات فناوری‌های زیست محیطی- دانشیار.

۴- دانشگاه علوم پزشکی لرستان- دانشکده بهداشت- گروه بهداشت حرفه‌ای- استادیار.

۵- دانشگاه علوم پزشکی شاهرود- معاونت بهداشتی- کارشناس ارشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۵

چکیده

مقدمه: پخش گرد و غبار به‌عنوان مهمترین آلودگی ناشی از تولید سیمان شناخته می‌شود. در این مطالعه پراکنش گرد و غبار (PM_{10}) حاصل از دودکش کارخانه سیمان دورود با استفاده از مدل گوس در شرایط مختلف جوی بررسی می‌گردد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، دستگاه Westech Instrument برای سنجش ذرات خروجی براساس استاندارد ISO-9096 به‌روش گراویمتریک به‌کار برده شد. مدل پلوم گوس برای تخمین پراکنش PM_{10} منتشره از دودکش کارخانه سیمان در فواصل زمانی مشخص مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصله با استاندارد ۲۴ ساعته سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) مقایسه شد. اثر شاخص‌های هواشناسی شامل دما، سرعت باد و رطوبت نسبی نیز روی پراکنش گرد و غبار مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج: نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که حداکثر و حداقل غلظت پیش‌بینی شده در هوای آزاد در فاصله ۱۸۰۰ و ۵۰۰ متری در شرایط پایدار و کمی پایدار با مقدار $118/12 \mu g/m^3$ و $53/13 \mu g/m^3$ از منبع انتشار به‌دست آمد. کاهش سرعت باد و همچنین افزایش پایداری هوا نقش مهمی در افزایش غلظت ذرات گرد و غبار در فضای اتمسفر اطراف کارخانه سیمان داشته است.

نتیجه‌گیری: مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با استاندارد EPA نشان داد که در هیچ دوره نمونه‌برداری غلظت PM_{10} از استاندارد بالاتر نبوده است. بررسی‌های میدانی بیشتر به‌صورت سنجش PM_{10} در بالادست و پایین دست کارخانه سیمان و مقایسه نتایج با یافته‌های حاصل از مدل ضروری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پراکنش غبار، پلوم گوس، کارخانه سیمان.

*نویسنده مسئول: شاهرود- دانشگاه علوم پزشکی شاهرود- معاونت بهداشتی، تلفن: ۰۹۱۲۴۷۳۸۵۲۶، نمابر: ۰۲۳۳۲۲۱۵۵۰، Email: mohammad.khoshgoftar@yahoo.com

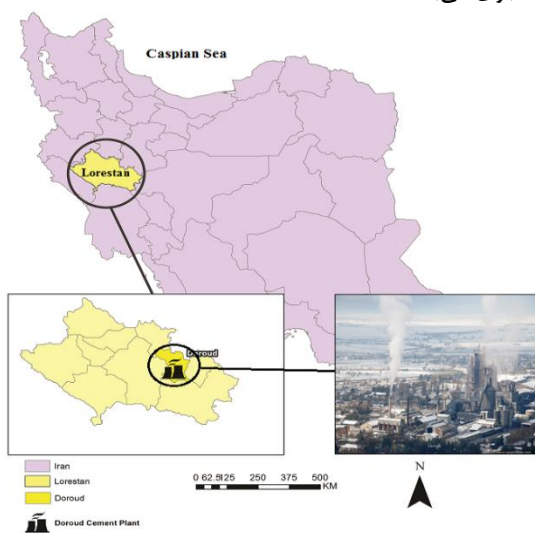
ارجاع: امیدوی‌خانی‌آبادی یوسف، اسماعیلی شیرین، گودرزی غلامرضا، رشیدی رجب، خوش‌گفتار محمد. ارزیابی پراکنش گرد و غبار با استفاده از مدل پلوم گوس: مطالعه موردی کارخانه سیمان دورود. مجله دانش و تندرستی ۱۳۹۶؛ ۱۲(۴): ۱۶-۲۵.

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی است که همواره تهدیدی جدی برای سلامت و بهداشت جامعه بوده است (۴-۱). رشد روزافزون صنعت و اقتصاد منجر به افزایش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های هوا گردیده است. سازمان جهانی بهداشت گزارش داد که سالانه بیش از ۲/۷ میلیون مرگ در رابطه با آلودگی هوا رخ می‌دهد (۲ و ۷-۵). بر طبق برنامه ملی زیست محیطی ایالات متحده، مواد معلق ذره‌ای، اصطلاح عمومی گرد و غبار موجود در هوا است که کیفیت هوای بسیاری از شهرهای جهان را تحت تأثیر قرار داده است. ذرات معلق یکی از شش آلاینده شاخص هوا می‌باشد که توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا دارای استاندارد کیفیت هوای آزاد می‌باشد (۱۰-۸). مطالعات اپیدمیولوژیک نشان دادند که سالانه بیش از ۵۰۰ هزار آمریکایی بر اثر بیماری‌های قلبی-عروقی در ارتباط با مواد معلق ذره‌ای می‌میرند (۳، ۱۱ و ۱۲). صنعت سیمان، از صنایع مهم کشور بوده و باتوجه به نقش مهم سیمان در بخش‌های مختلف، دارای اهمیت اقتصادی بالایی می‌باشد. نگرانی عمده در ارتباط با انتشارات صنایع سیمان، اثر آن بر محیط زیست و جوامع مجاور می‌باشد (۱۳). صنایع سیمان در نتیجه فرآیندهای مختلف تولید سیمان حجم وسیعی از ذرات معلق را وارد هوا می‌کند (۱۴). باتوجه به آلودگی زیست محیطی ناشی از فعالیت صنایع و بدتر شدن کیفیت هوا، انگیزه برای توسعه مدل‌های کیفیت هوا به‌منظور تعیین مقدار این آلاینده‌ها و توسعه ابزارهای کاهنده آنها افزایش یافته است (۱۵). مدل پلوم گوس به‌عنوان رایج‌ترین مدل به‌منظور تخمین غلظت آلاینده‌های خروجی از منابع انتشار مانند صنایع سیمان در سراسر جهان به‌کار می‌رود و پیش‌بینی‌های مناسبی را ارائه داده است. کاربرد اینگونه مدل‌ها اطلاعات مفیدی برای برنامه‌های کنترل آلودگی هوا فراهم می‌آورد. مطالعات زیادی مانند مطالعه علیزاده داخل و همکاران (۱۶)، عبدلوهاب (۱۷)، باروتیان و همکاران (۱۳)، اوتارو و همکاران (۱۸)، جاه و همکاران (۱۹)، ابوالابان و ابوقدیس (۶)، آبریل و همکاران (۲۰)، محبی و باروتیان (۲۱) مارکونا و همکاران (۲۲)، یاکتین و بایرام (۲۳) و ال کیلانی و بلال (۲۴) به‌منظور بررسی پراکنش ذرات معلق کارخانه سیمان انجام شده است. مدل پلوم گوس برای تخمین غلظت آلاینده‌ها، شاخص‌های مرتبط با منبع انتشار و داده‌های هواشناسی را ترکیب می‌کند (۲۵). در این مدل فرض شده است که هیچ واکنش شیمیایی و فرآیندی جهت حذف آلاینده‌ها از اتمسفر صورت نمی‌گیرد. معادله اساسی گوس برای تعیین غلظت آلاینده‌ها (معادله ۲ و ۳) در جهت پایین دست باد به‌صورت زیر می‌باشد (۲۱).

$$A = \sum_{N=1}^K \left[\exp \left(\frac{-0.5(z_r - h_e - 2Nz_i)^2}{\delta_z} \right)^2 + \exp \left(\frac{-0.5(z_r - h_e - 2Nz_i)^2}{\delta_z} \right)^2 + \exp \left(\frac{-0.5(z_r - h_e - 2Nz_i)^2}{\delta_z} \right)^2 + \exp \left(\frac{-0.5(z_r - h_e - 2Nz_i)^2}{\delta_z} \right)^2 \right] \quad (3)$$

که در آن Q (g/s) میزان انتشار، u_s (m/s) سرعت باد در ارتفاع دودکش، δ_y (m) و δ_z ضرایب پراکنندگی افقی و عمودی، h_e (m) ارتفاع پلوم، z_r (m) ارتفاع گیرنده از سطح زمین و z_i (m) ارتفاع اختلاط می‌باشد. کارخانه سیمان دورود یکی از کارخانجات مهم تولیدکننده سیمان در کشور می‌باشد که در مرکز شهرستان دورود و همجوار با مناطق مسکونی واقع شده است. شهرستان دورود در استان لرستان و در غرب کشور واقع شده است. شکل ۱ جایگاه کارخانه سیمان دورود در نقشه کشوری را نشان می‌دهد. باتوجه به اهمیت بررسی غلظت آلاینده‌های خروجی از دودکش منابع ثابت، هدف از این مطالعه مدل‌سازی پراکنش ذرات معلق (PM₁₀) خروجی از دودکش کارخانه سیمان دورود در شرایط مختلف جوی می‌باشد.



شکل ۱- کارخانه سیمان دورود و جایگاه آن در نقشه کشور

مواد و روش‌ها

در این مطالعه توصیفی-تحلیلی، سنجش گردوغبار خروجی از دودکش کارخانه سیمان توسط دستگاه Westech Instrument (M9096 Particulate Sampling Train) براساس استاندارد ISO 9096 صورت گرفت. در طول نمونه‌برداری مهم است که سنجش ذرات به‌صورت ایزوکینتیکی انجام گیرد (شکل ۲). برای انجام نمونه‌برداری ایزوکینتیکی لازم است که سرعت گاز ورودی به پروب نمونه‌برداری با سرعت حقیقی گاز دودکش در نقطه نمونه‌برداری برابر باشد. به‌دلیل

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

مختلف صورت پذیرد. داده‌های هواشناسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین دما، سرعت باد و رطوبت نسبی بررسی گردید. در نهایت نتایج اندازه‌گیری باتوجه به کلاس پایداری وارد مدل گوس گردید و با استاندارد EPA مقایسه گردید.

مراحل مختلف محاسبه غلظت PM_{10} در پایین دست جهت باد و در راستای محور X در روابط ۴ تا ۱۲ ارایه شده است. سرعت سطحی باد در ده متری بالای سطح زمین جهت تجزیه و تحلیل اثر انتشارات PM_{10} مورد استفاده گردید. جهت محاسبه سرعت باد در ارتفاع دودکش از معادله ۴ استفاده گردید.

$$u = u_0 \left(\frac{H_s}{Z_0} \right)^n \quad (4)$$

که در آن $u(m)$ سرعت باد در ارتفاع دودکش، $u_0(m)$ سرعت باد در ارتفاع مبنا، $Z_0(m)$ ارتفاع اندازه‌گیری رفرنس و $H_s(m)$ ارتفاع دودکش می‌باشد. همچنین n عدد پروفایل باد می‌باشد که تابع کلاس پایداری است. جهت محاسبه خیزش ستون دود (dh) لازم است که میزان شار شناوری (F_b) باتوجه به سرعت (w) و دمای اولیه ستون دود (T_{p0}) به دست آید. رابطه ۵ برای محاسبه میزان شار شناوری به کار رفته است.

$$F_b = \frac{W_0 R_0^2 g}{T_{p0}(T_{p0} - T_{a0})} \quad (5)$$

که در آن $R_0(m)$ شعاع داخلی دودکش، $W_0(m)$ سرعت گاز خروجی، $T_{p0}(^{\circ}K)$ دمای گاز خروجی و $T_{a0}(^{\circ}K)$ دمای هوای آزاد در ارتفاع دودکش می‌باشد. اگر $F_b \geq 55$ باشد در این صورت میزان خیزش نهایی ستون دود باتوجه به سرعت باد در ارتفاع دودکش (u_s) در کلاس‌های پایداری A-D، از رابطه ۶ که در زیر ارایه شده است، به دست می‌آید.

$$dh = 38.71 \frac{F_b^{0.6}}{u_s} \quad (6)$$

که در آن F_b و u_s به ترتیب میزان شار شناوری و سرعت باد می‌باشند. همچنین در شرایط اتمسفری پایدار E و F خیزش ستون دود از رابطه ۷ به دست می‌آید.

$$dh = 2.6 \left(\frac{F_b}{u_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

که در آن F_b و u_s به ترتیب میزان شار شناوری و سرعت باد می‌باشند. پس از محاسبه F_b از رابطه ذکر شده و نیز میزان خیزش ستون دود، ارتفاع مؤثر دودکش (H) از مجموع ارتفاع دودکش (h_s) و میزان خیزش ستون دود (dh) براساس رابطه ۸ به دست آمد و وارد معادله گوس گردید.

$$H = h_s + dh \quad (8)$$

برای محاسبه δy و δz از معادلات ۹-۱۱ مورد استفاده برای منحنی‌های پاسکونل-گیفورد استفاده شده است. این معادلات در زیر آورده شده‌اند.

$$\delta_y = 465.11628(x) \tan(\text{TH}) \quad (9)$$

$$\delta_z = ax^b \quad (10)$$

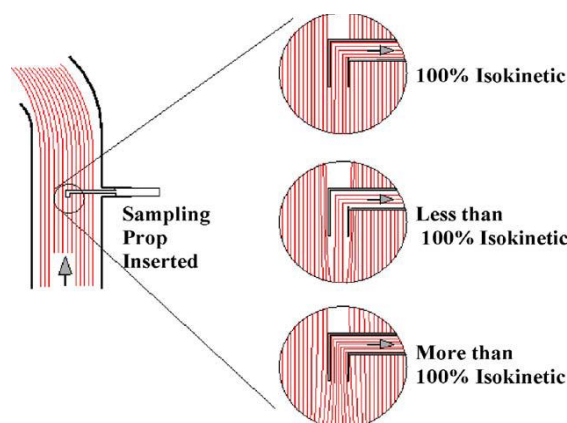
که در آن TH برابر است با:

$$\text{TH} = 0.017452393[c - d \ln(x)] \quad (11)$$

اینکه قطر پروب نمونه‌برداری از قطر لوله خروجی دودکش کمتر است و ممکن است که دما نیز این چنین باشد بنابراین برای حفظ شرایط ایزوکینتیک باید میزان جریان گاز ورودی به پروب نمونه‌برداری کنترل گردد. جهت سنجش ذرات خروجی از روش گراویمتریک استفاده گردید. در این روش پس از آماده‌سازی فیلتر و حذف رطوبت در آون و دیسیکاتور، نسبت به توزین فیلتر اقدام گردید. در محل نمونه‌برداری ابتدا سرعت گاز خروجی محاسبه شد و باتوجه به سرعت خروجی، قطر نازل و دبی پمپ مشخص گردید. پس از انجام نمونه‌برداری فیلتر مورد نظر با حفظ شرایط در آزمایشگاه برای حذف رطوبت، در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید و سپس در ژل دیسیکاتور قرار گرفت. سپس فیلتر مجدداً وزن گردید و از اختلاف وزن حاصله میزان ذرات در واحد حجم طبق معادله ۳ محاسبه گردید.

$$C = \frac{W_2 - W_1}{V} \times 10^6 \quad (3)$$

که در آن $C (\mu\text{g}/\text{m}^3)$ غلظت ذرات، W_1 و W_2 وزن اولیه و ثانویه ذرات و $V (\text{m}^3)$ حجم هوای عبوری می‌باشد.



شکل ۲- نمونه‌برداری ایزوکینتیک و غیر ایزوکینتیک

شاخص‌های هواشناسی هر فصل از اداره هواشناسی شهرستان دورود تهیه گردید و پس از تجزیه و تحلیل به‌عنوان نماینده هر دوره نمونه‌برداری در فصل‌های مختلف برای رسم گلباد در محیط Excel مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه تأثیر شاخص‌های مختلف مانند شرایط پایداری اتمسفر، ناهم‌واری سطح، سرعت باد، میزان انتشار و غیره در نظر گرفته شد. فصل زمستان دارای سرمای غالب، خشکی هوا و اینورژن با سرعت پایین باد می‌باشد و سبب افزایش غلظت آلاینده‌ها در سطح زمین می‌شود. کمترین ارتفاع اختلاط در فصل زمستان مشاهده می‌شود. در سایر فصول ارتفاع اختلاط و سرعت باد افزایش می‌یابد که منجر به کاهش غلظت آلاینده‌ها در سطح زمین می‌گردد (۲۶). عمده شرایط هنگام نمونه‌برداری متمرکز بر روی سرعت و جهت باد بوده است و سعی شده است تا نمونه‌برداری در شرایط جوی آرام و در روزهای

نتایج

یافته‌های حاصل از اندازه‌گیری غلظت PM_{10} در دودکش‌های الکتروفیلتر شماره ۱، ۲ و کوره در ۴ فصل مختلف و کلاس‌های پایداری محتمل در هر دوره اندازه‌گیری در جدول ۱ ارایه شده است. باتوجه به جدول مشاهده می‌شود که میانگین غلظت ذرات خروجی از الکتروفیلتر شماره ۲ بالاتر از غلظت خروجی از سایر دودکش‌ها می‌باشد.

شکل ۳ تغییرات دما، سرعت باد و رطوبت نسبی شهرستان درود در طول ۴ فصل سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌توان دید رطوبت نسبی در یک دوره ۵ ماهه از فروردین تا مرداد کاهش یافته است و از شهریور مجدداً افزایش داشته است. این در حالی است که در همین دوره زمانی (فروردین تا مرداد) دما افزایش داشته است و از شهریور مجدداً کاهش یافته است. همچنین سرعت باد از فروردین تا تیر ماه کاهش یافته و سپس مجدداً از مرداد ماه افزایش یافته است.

تغییرات جهت باد در طول ۴ فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در قالب گلبادهای مختلف در شکل ۴ الف تا د ارایه گردیده است. همان‌طور ملاحظه می‌گردد جهت باد غالب و نیمه غالب عمدتاً از سمت جنوب (S) و شرق (E) شهرستان درود بوده است.

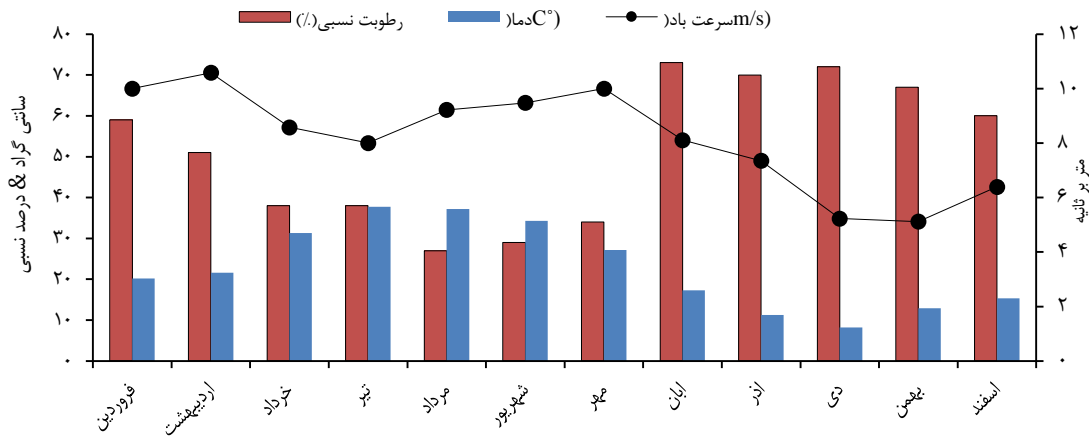
در روابط ۹، ۱۰ و ۱۱ شاخص $X(m)$ فاصله در پایین دست جهت باد را نشان می‌دهد. همچنین شاخص‌های a ، b ، c و d مقادیر تعریف شده در مقوله پایداری پاسکوئل-گیفورد می‌باشند. میزان غلظت آلاینده‌ها در فواصل مختلف در پایین دست جهت باد توسط معادله ریاضی گوس که در زیر ارایه شده به دست آمد. هر X یا فاصله از منبع دارای یک مقدار غلظت می‌باشد که توسط فرمول زیر برحسب میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد.

$$C(x, 0, z) = \frac{Q}{\pi u \delta y \delta z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\delta z}\right) \quad (12)$$

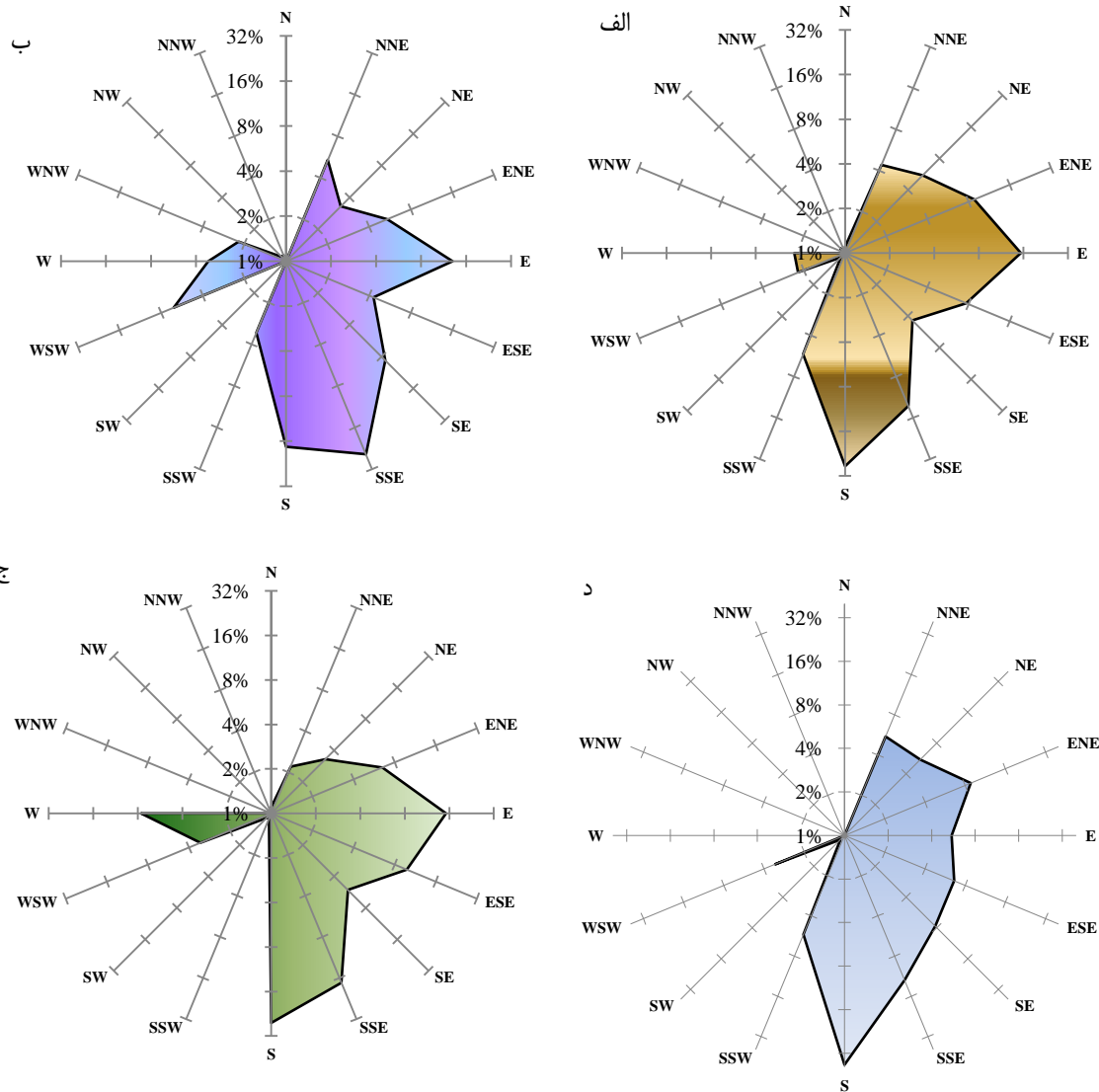
که در آن $Q(g/s)$ دبی خروجی، $H(m)$ ارتفاع مؤثر دودکش، $u(m/s)$ سرعت باد در ارتفاع دودکش و δy و $\delta z(m)$ شاخص‌های پراکندگی می‌باشند. جهت بررسی اثر شاخص‌های هواشناسی و رسم گلباد از نرم افزار Excel استفاده گردید. همچنین مقادیر پیش‌بینی شده غلظت PM_{10} در فواصل مختلف از منبع انتشار توسط مدل گوس وارد نرم‌افزار Minitab.17.0 گردید و نتایج به صورت نمودارهای سه بعدی ارایه گردید.

جدول ۱- غلظت PM_{10} حاصل از دودکش‌های کارخانه سیمان و کلاس‌های پایداری محتمل در هر دوره اندازه‌گیری

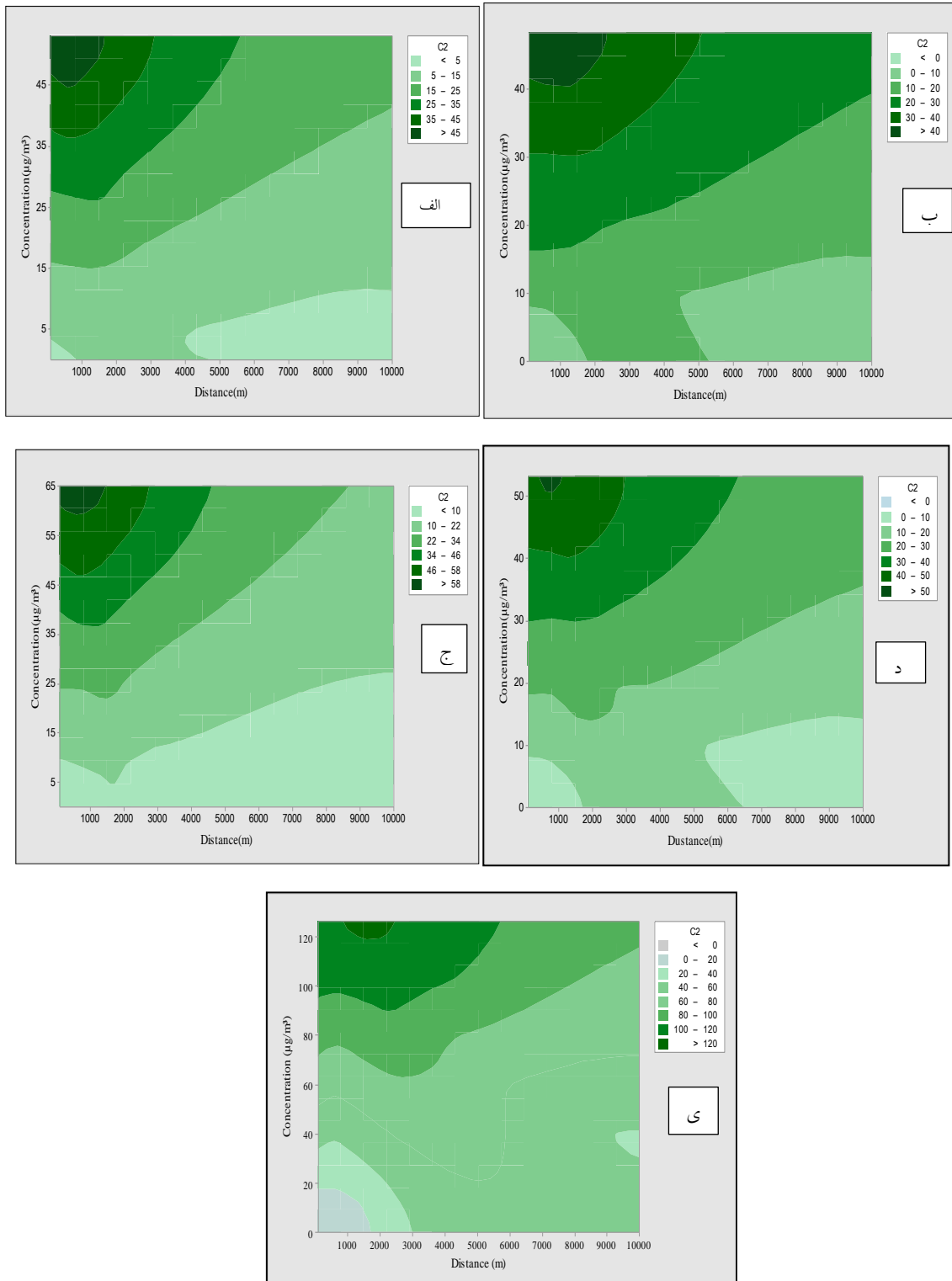
ماه سال	سوخت مورد استفاده	کلاس پایداری	واحد	$(PM_{10} \text{ mg/m}^3)$
اردیبهشت	گاز طبیعی	C-D	Electro filter 1	۳۴/۹
			Kiln	۳۶/۴
مرداد	گاز طبیعی	B	Electro filter 2	۱۱۰/۵
			Electro filter 1	۴۱/۸
			Kiln	۶۳/۲
			Electro filter 2	۱۵۸/۹
آبان	گاز طبیعی	D	Electro filter 1	۴۴/۶
			Kiln	۵۱/۷
			Electro filter 2	۹۵/۵
			Electro filter 1	۲۲/۵۹
بهمن	مازوت	F	Kiln	۳۸/۲۴
			Electro filter 2	۸۱/۵۲



شکل ۳- تغییرات میانگین ماهیانه دما، سرعت باد و رطوبت نسبی



شکل ۴- گلباد جهت باد غالب در کارخانه سیمان دورود (الف) بهار، (ب) تابستان، (ج) پاییز و (د) زمستان



شکل ۵- پیش‌بینی گرد و غبار در فواصل مختلف از منبع انتشار (الف) اردیبهشت کلاس C، (ب) اردیبهشت کلاس D، (ج) مرداد کلاس B، (د) آبان کلاس D و (ی) بهمن کلاس F

کمترین غلظت PM_{10} در اردیبهشت ماه در کلاس پایداری C پیش‌بینی گردیده است. در زمستان به دلیل سرمای غالب، خشکی هوا و اینورژن های گرمایی، سرعت باد پایین می‌باشد بنابراین کمترین ارتفاع اختلاط معمولاً در این فصل مشاهده می‌شود. در نتیجه این عوامل سبب افزایش غلظت آلاینده‌ها در سطح زمین می‌شوند. در سایر فصول ارتفاع اختلاط و سرعت باد افزایش می‌یابد که منجر به کاهش غلظت آلاینده‌ها در سطح زمین می‌گردد. بر طبق شکل ۳ بیشترین سرعت باد در فصل بهار اتفاق افتاده است. بنابراین چنین می‌توان استدلال کرد که افزایش سرعت باد سبب کاهش غلظت آلاینده‌ها در نزدیکی سطح زمین می‌گردد. سیدهارت (۲۶) با بررسی اثر تغییرات سرعت باد، دما، پوشش ابر و جهت باد گزارش کرد که غلظت ذرات گرد و غبار خروجی از دودکش نیروگاه در فصل زمستان در نزدیکی سطح زمین افزایش یافته است و در فصول دیگر باتوجه به پایین بودن دما و سرعت باد، غلظت گرد و غبار کاهش یافته است. همچنین یوبرو و همکاران (۲۷) گزارش کردند که در فصل زمستان به دلیل وقوع اینورژن گرمایی و شرایط مه آلود، کیفیت هوا کاهش یافته و سبب افزایش غلظت PM_{10} در اطراف کارخانه سیمان گردیده است. لذا نتایج دو مطالعه اخیر با نتایج حاصل از این مطالعه مطابقت دارد. باتوجه به این که بالاترین غلظت گرد و غبار در فاصله ۱۸۰۰ متری از دودکش رخ داده است لذا این نقطه می‌تواند به عنوان حساس‌ترین نقطه از نظر PM_{10} در اطراف کارخانه سیمان دورود در نظر گرفته شود. در کلیه کلاس‌های پایداری غلظت گرد و غبار 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 بادها و غلظت آلاینده‌ها دارد.

بر اساس استاندارد EPA مقدار متوسط غلظت گرد و غبار در یک شبانه روز نباید از $1150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ تجاوز نماید (۱۶ و ۲۸). مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از مدل پلوم گوس در این مطالعه نشان می‌دهد که غلظت PM_{10} در هیچ یک از موارد مورد بررسی از غلظت EPA تجاوز نکرده است. در ایران مطالعه مشابه‌ای توسط علیزاده داخل و همکاران (۱۶) بر روی پراکنش ذرات کارخانه سیمان کرمان انجام گرفت. حداکثر غلظت PM_{10} با مقدار $2380 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در فاصله ۸۰۰ متری پیش‌بینی شد که مقادیر حاصله بالاتر از استاندارد EPA و نتایج حاصل از این مطالعه می‌باشد. نورپور و شهابی (۲۹) پراکنش PM_{10} خروجی از دودکش کارخانه سیمان ایلام را توسط مدل AERMOD بررسی کردند. بیشترین غلظت PM_{10} در فاصله ۸۹۰۰ متری در راستای شرقی و ۵۲۰۰ متری در راستای شمالی برابر $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ به دست آمد که نتایج حاصله پایین‌تر از نتایج این مطالعه بوده است. اکبری و برهاندانی (۳۰) حداکثر غلظت ذرات غبار خروجی از کارخانه سیمان بهبهان را $1152 \mu\text{g}/\text{m}^3$ به دست آوردند که از استاندارد ۲۴ ساعته EPA متجاوز بوده است. در اردن الصمدی و

یافته‌های حاصل از پیش‌بینی پراکنش گرد و غبار تا فاصله ده کیلومتری دودکش کارخانه سیمان در راستای محور X و در پایین دست جهت باد در ماه‌های مختلف باتوجه به کلاس پایداری غالب در شکل ۵ الف تا ی نمایش داده شده است. بر این اساس حداکثر غلظت گرد و غبار پیش‌بینی شده توسط مدل گوس در اردیبهشت ماه در کلاس C و D به ترتیب برابر $48/26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $53/13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در فواصل ۵۰۰ و ۹۰۰ متری از منبع انتشار روی داده است. همچنین حداکثر غلظت گرد و غبار در دیگر دوره‌های نمونه برداری شامل مرداد، آبان و بهمن با مقادیر $68/08$ ، $50/15$ و $118/12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ به ترتیب در فواصل ۶۰۰، ۹۰۰ و ۱۸۰۰ متری از دودکش کارخانه سیمان رخ داده است. حداکثر غلظت پیش‌بینی شده در بهمن ماه و کلاس پایداری F رخ داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد هر چه سرعت باد کاهش یافته است غلظت ذرات PM_{10} افزایش داشته است.

بحث

این ارزیابی جهت بررسی پراکنش ذرات خروجی از دودکش کارخانه سیمان دورود با استفاده از مدل پلوم گوس در کلاس‌های پایداری B تا F موجود در جدول ۱ و میانگین غلظت گرد و غبار خروجی از سه دودکش الکتروفیلتر شماره ۱ و ۲ و کوره انجام پذیرفته است. شاخص‌های هواشناسی به عنوان یک عامل مؤثر در مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌ها بررسی گردید (۱۵). اثر شاخص‌های هواشناسی شامل دما، سرعت باد و رطوبت نسبی نشان داد که هرچه میانگین دما و سرعت باد افزایش یافته، درصد رطوبت نسبی کاهش داشته است و بالعکس. این استدلال با یافته های حاصل از مطالعه آبریل و همکاران (۲۰) و شاهسونی و همکاران (۷) مطابقت دارد. بیشترین بادهای غالب بر اساس شکل ۴ (الف) تا (د) از سمت جنوب و غرب وزیده است. به نظر می‌رسد هر چه دما افزایش یافته نوسانات جهت باد غالب نیز افزایش بیشتری داشته و منجر به تغییر جهت وزش باد شده است. به طوری که در تابستان بیشترین تغییرات و در زمستان کمترین تغییرات جهت وزش باد رخ داده است. بنابراین بر طبق اشکال ۳ و ۴ از نتایج حاصله چنین برمی‌آید که نوسانات جهت باد غالب می‌تواند با میزان دما دارای یک رابطه تنگاتنگ باشد. باتوجه به نوع فعالیت صنایع، تغییرات غلظت گرد و غبار تحت تأثیر نوع و مقدار تولید و همچنین مدت زمان فعالیت در صنعت مورد نظر قرار دارد. میزان غلظت PM_{10} در فصول مختلف و شرایط متفاوت هواشناسی می‌تواند افزایش یا کاهش یابد (۱۹). پیش‌بینی پراکنش غلظت گرد و غبار در فواصل مختلف از دودکش کارخانه سیمان دورود در راستای محور X توسط مدل پلوم گوس نشان داد که در فواصل نزدیک به منبع انتشار غلظت PM_{10} کاهش و سپس با افزایش فاصله، افزایش یافته است. حداکثر غلظت پیش‌بینی شده در فاصله حدود ۱۸۰۰ متری از دودکش کارخانه سیمان در کلاس پایداری F مشاهده شده است. همچنین

و در راستای محور X مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه نتایج حاصل از این مطالعه با استاندارد EPA نشان داد که در هیچ دوره نمونه‌برداری غلظت PM₁₀ از استاندارد بالاتر نبوده است. سازه‌های بزرگ همچون کارخانجات سیمان که حجم وسیعی از ذرات گرد و غبار را وارد محیط می‌کنند همواره مشکلات مهمی را سبب می‌شوند. بنابراین توجه به میزان آلاینده‌های این سازه‌ها، استفاده از روش‌های نوین برای کنترل آلودگی ایجاد شده به‌وسیله آنها مانند بگ فیلتر، بگ‌هاوس، رسوب‌دهنده های الکتروستاتیکی و فیلترهای هیبریدی می‌تواند تا حد زیادی از آسیب های زیست محیطی و بهداشتی خصوصاً اثرات مضر برای کارکنان و اهالی ساکن در اطراف این کارخانه بکاهد. باتوجه به اینکه مدل تنها توانایی پیش‌بینی غلظت‌های خروجی از دودکش را دارد و اثر گرد و غبار حاصل از بالادست کارخانه سیمان بر غلظت آن در پایین دست منبع را نمی‌تواند مورد ارزیابی قرار دهد، بنابراین بررسی‌های میدانی بیشتر به صورت سنجش PM₁₀ در بالا دست و پایین دست کارخانه سیمان و مقایسه با نتایج حاصل از مدل ضروری می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از حمایت‌های مسئولین کارخانه سیمان دورود و همچنین دانشگاه علوم پزشکی لرستان تقدیر و تشکر نمایند (شماره طرح ۱۱۴۳).

References

- Daryanoosh M, Goudarzi GH, Rashidi R, Keishams F, Hopke PK, Mohammadi MJ, et al. Risk of morbidity attributed to ambient PM10 in the western cities of Iran. *Toxin Reviews* 2017;1-6. doi: 10.1080/15569543.2017.1370602
- Khaniabadi YO, Hopke PK, Goudarzi G, Daryanoosh SM, Jourvand M, Basiri H. Cardiopulmonary mortality and COPD attributed to ambient ozone. *Environ Res* 2017;152:336-41. doi: 10.1016/j.envres.2016.10.008
- Khaniabadi YO, Goudarzi G, Daryanoosh SM, Borgini A, Tittarelli A, De Marco A. Exposure to PM10, NO2, and O3 and impacts on human health. *Environ Sci Pollut Res* 2017;24:2781-9.
- Farhadi M, Sicard P, De Marco A, Khoshgofar M, Taiwo AM, Mohammadi MJ, et al. Hot spots of NOx emission from the cement factory main stacks. *Fresenius Environ Bull* 2017;26:8345-552.
- 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. *J Environ Sci* 2011;23:931-40.
- Abu-Allaban M, Abu-Qudais H. Impact assessment of ambient air quality by cement industry: a case study in Jordan. *Aerosol Air Qual Res* 2011;11:802-10. doi: 10.4209/aaqr.2011.07.0090
- Shahsavani A, Naddafi K, Jafarzade Haghighifard N, Mesdaghinia A, Yunesian M, Nabizadeh R, et al. The evaluation of PM10, PM2.5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *J Arid Environ* 2012;77:72-83.
- Shakour A, El-Shahat M, El-Taieb N, Hassanein M, Mohamed A. Health impacts of particulate matter in greater Cairo, Egypt. *J Am Sci* 2011;7:840-8.

همکاران (۳۱) به ارزیابی پراکندگی ذرات منتشره از کارخانه سیمان با استفاده از مدل پخش گوس پرداختند در این مطالعه حداکثر غلظت ۲۴ ساعته $6/359 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بوده که بالاتر از استاندارد EPA و نتایج به‌دست آمده از این مطالعه بوده است. در آفریقای جنوبی طی مطالعه انگلبرکت و همکاران (۳۲) حداکثر غلظت PM₁₀ در فاصله ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ متری برابر $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ به‌دست آمد که از استاندارد شبانه روزی آفریقای جنوبی با مقدار $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ پایین‌تر بوده است. ابوالابان و ابوقدیس گزارش کردند که غلظت PM₁₀ پیش‌بینی شده توسط مدل پلوم گوس از استاندارد اردن کمتر بوده است (۶). باروتیان و محبی (۲۱)، اوتارو و همکاران (۱۸)، عبدالوهاب (۱۷)، جاه و همکاران (۱۹) و نور و یاپ (۳۳) حداکثر غلظت پیش‌بینی شده گرد و غبار 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 می‌باشد. به دلیل اینکه این کارخانه در محدوده شهرستان دورود و همجوار با مناطق مسکونی واقع شده است و باتوجه به جهت باد غالب به‌خصوص در فصل تابستان که نوسانات سمت وزش باد غالب بسیار بالاتر می‌باشد، افزایش غلظت گرد غبار (که ممکن است حاوی مواد محرک و خطرناک باشد) در مسیر پایین دست جهت باد در راستای محور X به سمت مرکز شهرستان دورود و مناطق مسکونی می‌باشد. در فصل زمستان در این کارخانه از سوخت مازوت برای حرارت دادن به کوره دوار استفاده می‌گردد و به دلیل اینکه در این فصل هوا دارای پایداری شدیدی می‌باشد و بالاترین غلظت‌های غبار در این فصل پیش‌بینی شده است لذا خطرات بهداشتی مرتبط با سلامت به‌خصوص به دلیل کاربرد مازوت در این فصل افزایش می‌یابد و اهالی ساکن در اطراف کارخانه سیمان در معرض این ذرات خطرناک قرار می‌گیرند. برخی ذرات معلق ممکن است حاوی ملکول‌های گازی محرک باشند. افرادی که بخشی از اوقات روزانه خود را در این مکان‌ها می‌گذرانند در خطر آسیب‌های تنفسی ناشی از این گرد و غبار قرار دارند که در صورت استنشاق ممکن است مستقیماً روی بافت بدن ایجاد اثرات سوء کنند. برتولیدی و همکاران (۳۴) یک ارتباط معنادار بین تماس با انتشارات دودکش کارخانه سیمان و بیماری‌های قلبی-عروقی به‌ویژه برای کودکان به‌دست آوردند. همچنین مارکونا و همکاران (۲۲) گزارش کردند که هر $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ افزایش در میزان PM₁₀ خروجی از دودکش کارخانه سیمان سبب افزایش معنی‌دار ۲/۵٪ در غیبیت دانش‌آموزان از مدرسه می‌گردد. این ذرات خروجی معمولاً حاوی فلزات سنگین، دی‌اکسیدها و فوران‌ها نیز می‌باشند که خاصیت سمیت و سرطانزایی دارند و می‌توانند روی اهالی ساکن در این مناطق اثرات نامطلوبی داشته باشند. این استدلال با مطالعه شوماکر و همکاران (۲۸) مطابقت دارد.

در این مطالعه، با استفاده از مدل پلوم گوس غلظت گرد و غبار (PM₁₀) خروجی از دودکش کارخانه سیمان دورود در پایین دست جهت باد غالب

9. Khaniabadi YO, Polosa R, Chaturkova RZ, Daryanoosh M, Goudarzi G, Borgini A, et al. Human health risk assessment due to ambient PM10 and SO2 by an air quality modeling technique. *Process Saf Environ Prot* 2017;111:346-54.
10. Goudarzi G, Daryanoosh S, Godini H, Hopke P, Sicard P, De Marco A, et al. Health risk assessment of exposure to the Middle-Eastern Dust storms in the Iranian megacity of Kermanshah. *Public Health* 2017;148:109-16. doi: 10.1016/j.puhe.2017.03.009
11. Zhou M, Liu Y, Wang L, Kuang X, Xu X, Kan H. Particulate air pollution and mortality in a cohort of Chinese men. *Environ Pollut* 2014;186:1-6. doi: 10.1016/j.envpol.2013.11.010
12. Khaniabadi YO, Daryanoosh SM, Amrane A, Polosa R, Hopke PK, Goudarzi G, et al. Impact of middle eastern dust storms on human health. *Atm Pollut Res* 2017;8:606-13. doi: 10.1016/j.apr.2016.11.005
13. Baroutian S, Mohebbi A, Soltani Goharrizi A. Measuring and modeling particulate dispersion: A case study of Kerman Cement Plant. *J Hazard Mater* 2006;136:468-74. doi: 10.1016/j.jhazmat.2006.01.050
14. Carrasco F, Bredin N, Heitz M. Gaseous contaminant emissions as affected by burning scrap tires in cement manufacturing. *J Environ Qual* 2002;31:1484-90.
15. Taiwo AM, Harrison RM, Shi Z. A review of receptor modelling of industrially emitted particulate matter. *Atmos Environ* 2014;97:109-20. doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.07.051
16. Alizadehdakheel A, Ghavidel A, Panahandeh M. CFD modeling of particulate matter dispersion from kerman cement plant. *Iran J Health & Environ* 2010;3:67-74.
17. Abdul-Wahab S. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. *Ecological Modeling* 2006;195:338-48. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2005.11.044
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. *J Environ Sci, Toxic Food Tech* 2013;3:97-110. doi: 10.9790/2402-03297110
19. Ujoh F, Ifatimehin OO, Kwabe ID. Estimating Plume Emission Rate and Dispersion Pattern from a Cement Plant at Yandev, Central Nigeria. *Resources Environ* 2014;4:115-38.
20. Abril GA, Wannaz ED, Mateos AC, Pignata ML. Biomonitoring of airborne particulate matter emitted from a cement plant and comparison with dispersion modelling results. *Atmos Environ* 2014;82:154-63. doi: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.020
21. Mohebbi A, Baroutian S. Numerical modeling of particulate matter dispersion from kerman cement plant, Iran. *Environ Monit Assess* 2007;130:73-82. doi: 10.1007/s10661-006-9447-7
22. Marcona A, Pesce G, Girardi P, Marchetti P, Blengio G, Sappadin SdZ, et al. Association between PM10 concentrations and school absences in proximity of a cement plant in northern Italy. *Int J Hyg Environ Health* 2014;217:386-91. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.07.016
23. Yatkin S, Bayram A. TSP, PM depositions, and trace elements in the vicinity of a cement Plant and their source apportionments using chemical mass balance model in Izmir, Turkey. *Environ Monit Assess* 2010;167:125-41. doi: 10.1007/s10661-009-1036-0
24. El-Kilani R, Belal MH. Modelling an environmental pollutant transport from the stacks to and through the soil. *J Adv Res* 2010;1:243-53. doi: 10.1016/j.jare.2010.05.009
25. Mohebbi A, Baroutian S. A detailed investigation of particulate dispersion from kerman cement plant. *Iranian J Chem Eng* 2006;3:65-74.
26. Sidhartha P. Modeling and monitoring of suspended particulate matter from Badarpur thermal power station, Dehli. *Environ Modeling Software* 2004;19:383-90. doi: 10.1016/S1364-8152(03)00137-3
31. Al Smadi M, Al-Zboon K, Shatnawi K. Assessment of air pollutants emissions from a cement plant: a case study in Jordan. *Jordan Civil Eng* 2009;3:265-82.
32. Engelbrecht J, Joubert J, Harmse J, Hongoro C. Optimising a fall out dust monitoring sampling programme at a cement manufacturing plant in South Africa. *African J Environ Sci Tech* 2013;7:128-39.
33. Noor H, Yap C, Zolkepli O, Faridah M. Effect of exposure to dust on lung function of Cement factory workers. *Med J Malaysia* 2000;55:51-7.
34. Bertoldi M, Borgini A, Tittarelli A, Fattore E, Cau A, Fanelli R, et al. Health effects for the population living near a cement plant: An epidemiological assessment. *Environ Intl* 2012;41:1-7. doi: 10.1016/j.envint.2011.12.005
27. Yubero E, Carratalá A, Crespo J, Nicolás J, Santacatalina M, Nava S, et al. PM10 source apportionment in the surroundings of the San Vicente del Raspeig cement plant complex in southeastern Spain. *Environ Sci Pollut Res* 2011;18:64-74. doi: 10.1007/s11356-010-0352-9
28. Schuhmacher M, Domingo JL, Garreta J. Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood. *Environ Res* 2004;95:198-206. doi: 10.1016/j.envres.2003.08.011
29. Noorpoor A, Shahabi NK. Dispersion modeling of air pollutants from the ilam cement factory stack. *J Civil Environ Eng* 2014;44:107-16.
30. Akbari A, Borhandiani S. An evaluation of pollutant gases outlet cement factory behbahan and compared with the standard. 1th National Conference on Planning and Environmental Hamadan Islamic Azad University 2011.p.1-8.[Persian].



Assessment of Particulate Matter Dispersion Using Gaussian Plume Model: A Case Study of Doroud Cement Factory

Yusef Omid-Khaniabadi (M.Sc.)¹, Shirin Emaeili (M.Sc.)², Gholamreza Goudarzi (Ph.D.)³, Rajab Rashidi (Ph.D.)⁴, Mohammad Khoshgoftar (M.Sc.)^{5*}

1- Health System of Karoon, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

2- Dept. of Environmental Health, School of Public Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

3- Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.

4- Dept. of Occupational Health, School of Health, Lorestan University of Medical Sciences, Khorramabad, Iran.

5- Vice-chancellery of Health, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran.

Received: 3 September 2017, Accepted: 30 December 2017

Abstract:

Introduction: The dispersion of particulate matter has been known as the most serious environmental pollutant from the cement plants. In this study, the dispersion of dust (PM_{10}) from the stack of Doroud Cement plant was investigated using Gaussian plume model in different atmospheric conditions.

Methods: In this study, westech instrument was used to measure PM_{10} level by gravimetric method based on ISO-9096 standard. The Gaussian plume model was used for predict PM_{10} concentrations in certain intervals. The results were compared with 24 hour EPA standard for PM_{10} . The effect of meteorological parameters including temperature, wind speed and relative humidity on the PM_{10} dispersion were assessed.

Results: The results showed that the maximum and minimum predicted concentrations in ambient air were obtained at the distance of 1800 and 500 meter from the source with concentrations of 118.12 and 53.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The increment of wind speed and increasing of air stability had an important role in rising of dust in atmosphere surrounding of cement plant.

Conclusion: The comparison of results with EPA standard showed that PM_{10} concentrations were not higher than standard during sampling period. The further field investigations to measure PM_{10} in upwind and downwind of cement plant and compare with the results of modeling are essential.

Keywords: Dust dispersion, Gaussian plume, Cement plant.

Conflict of Interest: No

*Corresponding author: M. Khoshgoftar, Email: mohammad.khoshgoftar@yahoo.com

Citation: Omid-Khaniabadi Y, Emaeili Sh, Goudarzi Gh, Rashidi R, Jamshidi E, Khoshgoftar M. Assessment of particulate matter dispersion using gaussian plume model: a case study of doroud cement factory. Journal of Knowledge & Health 2018;12(4):16-25.