اندازه گیری و مدل سازی آلاینده های واحدهای مختلف کارخانه سیمان با استفاده از مدل نرم افزاری Screen View: مطالعه موردی، کارخانه سیمان زاوه

قاسم ذوالفقاری[۱*]، سارا نظام پرور[۲]، وحید رجب زاده[۳]

۱*- نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳- کارشناس ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، مدیر عامل شرکت پاک آفرینان آویژه، مشهد، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: ghr_zolfaghari@yahoo.com

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش : ۹۹/۱۱/۱۵

چکیده

در پژوهش حاضر، در ابتدا آلاینده های CO، CO_2، NOx، HC، H_2S، و گرد و غبار در قسمت های مختلف کارخانه سیمان زاوه اندازه گیری شد و سپس مدل سازی آلاینده ها در شرایط مختلف پایداری تا محدوده ۵۰ کیلومتری کارخانه در محیط نرم افزاری Screen View مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین غلظت گرد و غبار در خروجی پری هیتر به میزان ۹۳ mg/m^3 گزارش شد (کمتر از استاندارد انتشار ایران). نتایج حاصل از مدل Screen View جهت شبیه سازی انتشار آلاینده های گازی دودکش پری هیتر حاکی از آن است که حداکثر غلظت گاز آلاینده NOx در پاییز ۱۳۹۷، در حالت ناپایداری جوی تا فاصله ۳/۵ کیلومتری از منبع آلاینده به ۵۸/۶ $\mu g/m^3$ می رسد. حداکثر غلظت خروجی دودکش پری هیتر (۱۲/۷ $\mu g/m^3$) در شرایط جوی ناپایداری از استاندارد هوای پاک کشور کمتر است و نهایتا محدوده‌ای از ۳ تا ۳۰ کیلومتری خود را تحت شعاع قرار می‌دهد. غبار خروجی از دودکش های سیلوی سیمان و آسیاب سیمان به علت وجود ساختمان پری هیتر به عنوان مانع و ایجاد ناحیه خلا گردشی (Downwash) در پایین دست این دو دودکش، سبب آلودگی غبار در اطراف یعنی فواصل ۲۰۰، ۲۲۰، و ۳۵۰ متری شده است.

کلمات کلیدی: "ذرات غبار"، "آلاینده های گازی"، "آلودگی هوا"، "Screen View"، "کارخانه سیمان"

Measurement and modeling of pollutants in cement plant using Screen View model: case study, Zaveh cement factory

Ghasem Zolfaghari[1, *], Sara Nezamparvar[2], Vahid Rajab Zadeh[3]

[*]1. Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Razavi Khorasan, Sabzevar, P.O. Box: 397, Iran

2 .Master of Environment, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

3. Master of Environment, Pak Afarinan Avizheh Company, Mashhad, Iran

[*]Email Address: ghr_zolfaghari@yahoo.com

Abstract

In the present study, first CO, CO_2, NOx, HC, H_2S, and dust were measured in different parts of Zaveh cement plant and then modeling of pollutants in different stability conditions up to 50 km of the plant in the Screen View software was investigated. The highest concentration of dust in the preheater outlet was 93 mg/m^3 (less than the Iranian emission standard). The results of the Screen View model to simulate the emission of preheater gas pollutants indicate that the maximum concentration of NOx pollutant in the unstable state is 58.6 $\mu g/m^3$ up to a distance of 3.5 km from the source. The maximum output concentration of the preheater (12.7 $\mu g/m^3$) in unstable weather conditions is less than the standard clean air standard and finally covers a range of 3 to 30 km. Dust from cement silo and mills stack due to the presence of a preheater structure as a barrier and the creation of a downwash zone downstream of these two stack, caused dust pollution around the distance of 200, 220, and 350 meters.

Keywords

"Dust", "Gaseous contaminations", "Screen View", "Cement factory"

۱- مقدمه

سیمان از مهم ترین صنایعی است که در پیشرفت و آبادانی کشور نقش ایفا می‌کند. ایران از معدودترین کشورهایی است که با جدیت فراوان درصدد توسعه گسترده این صنعت است به طوری که در خاورمیانه بیشترین تولید را دارد که از لحاظ اقتصادی حائز اهمیت است. از طرف دیگر، صنایع تولیدی سیمان در مراحل مختلف تولید در صورت عدم رعایت مسائل فنی موجبات آلودگی محیط زیست را فراهم می کنند (Madadi and Ashrafzadeh, 2009). امروزه محیط زیست به دلیل آسیب و تخریب روزافزون، جایگاه ویژه¬ای در مباحث بین المللی پیدا نموده و اهمیت روزافزونی یافته است (Kamjou and Laghai, 2017). فرآیند تولید سیمان می تواند اشکال مختلف آلودگی همچون آلودگی هوا، خاک، آلودگی صوتی، و همچنین آلودگی آب را تولید کند (Sadeghi and Khorasani, 2010; Adetayo Adenirana et al., 2019). از جمله مهم ترین این آلاینده ها، آلودگی هوا می باشد که به علت انتشار در سطح وسیع سبب ایجاد بیماری های مختلف در موجودات زنده از جمله انسان می شود. میزان سمیت و آثار زیان بار ناشی از آن بسته به نوع و ترکیب گرد و غبار، اندازه ذرات، و همچنین غلظت آلودگی متفاوت است. از سوی دیگر، احتراق سوخت های فسیلی در طی مراحل تولید، آلاینده‌هایی مانند NOx، HC، H_2S، CO و همچنین گرد و غبار منتشر نموده که سبب ایجاد پدیده گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوا، تولید باران های اسیدی، و مخاطرات بهداشتی و سلامتی برای انسان و سایر موجودات می گردد (Adetayo Adenirana et al., 2019). از این رو بررسی شیوه آلایندگی و انتشار این صنعت و ارایه راهکارهایی برای جلوگیری از پیشرفت آلودگی محیطی، از دیدگاه بین المللی و ملی بسیار مهم و ضروری به نظر می رسد (Nayeb yazdi et al., 2016.) مدل سازی شناخت و ارزیابی الگوهای رفتاری حاکم بر محیط است. از این رو پیش بینی و شبیه سازی حرکت آلاینده ها در محیط و تخمین فاصله تحت تاثیر آلودگی می تواند از مزایای بهره گیری مدل شبیه سازی واقعی پدیده بدون صرف هزینه باشد. مدل ها ابزارهایی جهت شبیه سازی دنیای واقعی هستند. امروزه مدل های بسیاری در علم محیط زیست همچون مدل سازی آلودگی های هوا مورد استفاده قرار می گیرد (Hedayati Rad et al., 2017). پژوهش های بسیاری برای پیش بینی، کنترل، و جلوگیری از انتشار آلودگی های صنعت سیمان با مدل های مختلفی در سراسر جهان انجام شده است که می توان به مطالعه Adetayo Adenirana و همکاران در سال ۲۰۱۹ با کمک مدل Aermode اشاره نمود. نتایج بررسی گازهای NO، NO_2، SO_2، CO و VOC نشان داده که بار آلودگی این گازها تا ۲۱ برابر حد آستانه می رسد. Nayeb yazdi و همکاران (۲۰۱۶) نیز در پژوهشی، به مدل سازی توزیع ذرات خروجی آلاینده هوا در کارخانه سیمان آبیک در ایران با مدل Aermode پرداختند. نتایج نشان داد زندگی در مکان های کمتر از ۱۰۰۰ متر از کارخانه می تواند به طور بالقوه برای سلامت انسان خطرناک باشد و بیش از ۵۰ درصد ذرات PM_{10} در این بازه مکانی ته نشین می شوند. همچنین Otaru و همکاران (۲۰۱۳) به مدل سازی پراکنش ذرات خروجی پرداختند و نتایج حاصل را با استانداردهای سازمان جهانی بهداشت مقایسه نمودند. نتایج نشان داد میان داده های حاصل از مدل و نتایج تجربی تطابق قابل قبولی وجود دارد. Huertas و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ به مطالعه نحوه توزیع کل ذرات معلق خروجی از دودکش کارخانه سیمان با کمک نرم افزار Aermode پرداختند. نتایج حاکی از این است که میان غلظت های اندازه گیری شده ذرات و نتایج پیش بینی شده توسط مدل همبستگی و تطابق وجود دارد. Taha و همکاران نیز در سال ۲۰۰۵، انتشار آلاینده های بیوآئروسل را در یک مرکز کمپوست زباله جنوب شرق انگلستان با استفاده از نرم‌افزار Screen View بررسی کردند. Omidi khaniabadi و همکاران (۲۰۱۶) نیز در کارخانه سیمان درود با مدل نرم افزاری Screen View به شبیه سازی پخش آلاینده های خروجی از دودکش پرداختند. مطالعات بسیاری پیرامون اثر انتشار با مدل های مختلف انجام گرفته که هدف آن ها تعیین میزان غلظت آلاینده ها و جهت مشخص کردن اثرات بر محیط زیست است. لذا با توجه به ضرورت بررسی و پژوهش کارخانه های تولیدی سیمان، در این تحقیق سعی شد آلاینده های هوا شامل CO، CO_2، NOx، H_2S، هیدروکربن ها (CH)، و گرد و غبار (PM) اندازه گیری شده و نحوه انتشار آن ها در شرایط مختلف پایداری در کارخانه سیمان زاوه در محیط نرم افزاری Screen View مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد و نهایتا راهکارهای مدیریتی لازم ارایه گردد.

۲- معرفی مدل Screen View

مدل نرم افزاری Screen View در سال ۱۹۹۵ توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا به منظور پیش بینی حداکثر غلظت و نحوه انتشار آلاینده ها در فواصل مختلف تا ۵۰ کیلومتری سطح زمین بر پایه روش گوسین طراحی و به کار برده شد (Homaun et al., 2013). این مدل می تواند کلیه محاسبات منبع واحد و محاسبات کوتاه مدت شامل تخمین حداکثر غلظت در سطح زمین و فاصله تا حداکثر، منظور کردن اثرات انحراف جریان ساختمان ها برای نواحی نزدیک و دور، تخمین غلظت در ناحیه خلاء گردشی (Downwash) و تخمین غلظت به علت وارونگی و تجمع درخط ساحلی (Fumigation)، و تعیین افزایش ستون دود برای رهاسازی از شعله را تخمین زده و حداکثر غلظت را در هر تعداد نقطه تعریف شده توسط کاربر محاسبه نماید (Daman et al., 2017). مدل Screen View بر اساس مدل پلوم گوس (Gaussian plume model) می باشد. برای به دست آوردن مدل گوس از دیدگاه لاگرانژین استفاده شده و بر پایه موازنه جرم استوار است. معادله مدل گوس برای تعیین غلظت آلاینده ها در پایین دست به شکل زیر است:

$$C(x,y,z,H)=\frac{Q}{2\Pi\sigma_X\sigma_Y U}\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\left\{\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right]+\exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right]\right\}$$

که Q دبی انتشار هر آلاینده، U سرعت باد، C غلظت هر آلاینده در هر نقطه با x، y، H و z معین، H ارتفاع موثر دودکش، σY ضریب انتشار افقی، σZ ضریب انتشار عمودی هستند (EPA, 1995). در مدل Screen View شش کلاس هواشناسی شامل خیلی ناپایدار (Very unstable)، ناپایدار (Unstable)،کمی ناپایدار (Slightly unstable)، خنثی (Neutral)، کمی پایدار (Slightly stable)، و پایدار (Stable) وجود دارد. همچنین منابع شامل نقطه ای (Point)، خطی (Line)، سطحی (Area)، و حجمی (Volume) در نظر گرفته شده است (Lakes Environmental Company, 2020).

۳- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

کارخانه سیمان زاوه در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه در شهرستان زاوه و در ۱۸۰ کیلومتری جنوب مشهد و ۲۷ کیلومتری شرق تربت حیدریه واقع شده است. شرکت سپهر زاوه طوس در سال ۸۳ با همت بخش خصوصی شکل گرفت. ظرفیت تولیدی روزانه کارخانه در فاز اول سال ۱۳۸۴ حدود ۳۵۰۰ تن برآورد شده است. شکل ۱ موقعیت شهرستان زاوه در استان خراسان رضوی و تصویری از کارخانه سیمان زاوه را نشان می دهد.

شکل ۱- موقعیت شهرستان زاوه در استان خراسان رضوی، تصویری از کارخانه سیمان زاوه، و برخی از تولیدات کارخانه

- **نمونه برداری**

در این مطالعه جهت اندازه گیری رطوبت، سرعت، فشار، و دمای گاز خروجی از دستگاه پرتابل KIMO HD 200 استفاده شد.آلاینده های هوای مورد مطالعه شامل CO، CO_2، NOx، H_2S، هیدروکربن ها، و گرد و غبار هستند که در خروجی دودکش های الکتروفیلتر واحد پری‌هیتر و سه دودکش فرعی شامل سیلوی سیمان یک، آسیاب سیمان یک، و سنگ شکن اندازه گیری انجام شده است (پاییز ۱۳۹۷). به علاوه غلظت ذرات معلق در هوای محوطه کارخانه اندازه گیری شده است. برای اندازه‌گیری گرد و غبار خروجی دودکش از دستگاه Westech بر اساس استاندارد ISO 9096 و در شرایط ایزوکنتیک استفاده شد. اندازه گیری و آنالیز گازهای خروجی دودکش به روش دستگاهی قرائت مستقیم با کمک دستگاه Land com ساخت شرکت LAND انگلستان صورت گرفت. جهت اندازه گیری غلظت ذرات معلق محیط از پمپ SKC با دقت اندازه گیری ۵٪± استفاده گردید. نتایج حاصل از اندازه گیری برای ورود به مدل و آنالیز از واحد (µg/m3) به (g/s) تبدیل شد و به همراه مشخصات فنی دودکش واحدهای مختلف کارخانه سیمان جهت مدل سازی که در جدول ۱ شرح داده شده است وارد نرم افزار شد.

- **ورودی های مدل Screen View**

- حداقل ورودی‌های لازم برای اجرای برنامه Screen View عبارتند از: نوع منبع: نقطه ای (point)، مقدار انتشار (g/s)، ارتفاع دودکش (m)، قطر دهانه دودکش (m)، سرعت گاز خروجی از دودکش (k°)، دمای گاز خروجی از دودکش (m)، دمای محیط (m)، ارتفاع گیرنده از سطح زمین، و شهری یا روستایی بودن منطقه (U= شهری، R= روستایی). با توجه به جهت شرقی باد و اختلاف بسیار ناچیز پستی بلندی زمین، توپوگرافی در مدلسازی از نوع مسطح (Flat) انتخاب گردید. در مدل Screen View سه نوع عوارض وجود دارد: عوارض ساده (Simple terrain)، پیچیده (Complex terrain)، و ترکیبی (Simple+Complex). عوارض ساده نیز بر دو نوع مسطح (Flat) و مرتفع (Elevated) هستند (Lakes Environmental Company, 2020). مطابق استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست، تست نشت‌یابی برای اطمینان از عدم نشتی سیستم برای هر یک از دودکش‌ها، با استفاده از دستگاه Leak Test انجام گرفت. در این تحقیق به منظور دستیابی به نحوه انتشار آلاینده‌ها در شرایط مختلف جوی، مدل-سازی در سه حالت کلاس‌بندی هواشناسی (Meteorology) یعنی در شرایط ناپایداری، خنثی، و پایداری مورد سنجش و مقایسه قرار گرفت.

جدول ۱- شرایط محیطی و اطلاعات لازم برای نمونه برداری و نرم افزار Screen View

شرایط نمونه برداری/واحدهای سیمان	پری هیتر	سیلوی سیمان	سنگ شکن	آسیاب سیمان
شهری یا روستایی	روستایی	روستایی	روستایی	روستایی
ارتفاع از سطح زمین (m)	۰	۰	۰	۰
دمای محیط (K^o)	۲۹۸	۲۹۸	۲۹۸	۲۹۸
دمای گاز خروجی (K^o)	۳۶۹	۳۳۸	۳۳۴	۳۸۷
سرعت گاز خروجی (m/s)	۱۴	۱۶	۱	۱۲
قطر داخلی دودکش (m)	۴	۰/۴	۱	۱
ارتفاع دودکش (m)	۱۳۵	۶۰	۵۰	۴۰

٤- نتایج و بحث

جدول های ۲ و ۳ نتایج حاصل از اندازه گیری آلاینده ها را نشان می دهد. در این مطالعه آلاینده‌های گاز CO، CO_2، NOx، CH، و H_2S خروجی از دودکش پری هیتر به همراه ذرات معلق خروجی از چهار دودکش پری هیتر، دودکش سنگ شکن، آسیاب، و سیلوی سیمان به طور جداگانه در محیط Screen View مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل Screen View جهت شبیه سازی انتشار آلاینده‌های گازی دودکش پری هیتر حاکی از آن است که حداکثر غلظت گاز آلاینده NOx در پاییز ۱۳۹۷، در حالت ناپایداری جوی تا فاصله ۳/۵ کیلومتری از منبع آلاینده به ۵۸/۶ $\mu g/m^3$ رسیده که این مقدار از حد استاندارد هوای پاک (۴۰ $\mu g/m^3$) سازمان جهانی سلامت (World Health Organization (WHO)) بیشتر (WHO, 2018) و از مقدار راهنمای آژانس حفاظت محیط زیست (Environmental Protection Agency (EPA)) کمتر (۱۰۰ $\mu g/m^3$) است (EPA, 2020) (جدول ۴ و شکل ۱). همچنین در این مطالعه میزان خروجی گازهای آلاینده CO_2 و H_2S اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان دادند که حداکثر غلظت آلاینده CO_2 برابر ۲۴۹۵۰ $\mu g/m^3$ و حداکثر غلظت H_2S برابر ۵/۹۸ $\mu g/m^3$ در شرایط ناپایداری در محدوده ۳/۵ کیلومتری می باشد. در شرایط ناپایداری، حداکثر غلظت گازهای CO در فاصله ۳/۵ کیلومتری از دودکش ۱۳/۵ $\mu g/m^3$ و غلظت هیدروکربن ها (CH) در فاصله ۳/۵ کیلومتری از دودکش ۴۷/۹ $\mu g/m^3$ به دست آمد.

جدول ۲- شرایط محیطی نمونه برداری گرد و غبار و نتایج حاصل از آن

محل نمونه برداری	رطوبت	فشار	حجم	زمان نمونه‌برداری	Dust (Wet)	Dust (Dry)	استاندارد خروجی*	ذرات (گرم بر ثانیه)
	%	Mbar	لیتر	min	mg/m^3	mg/m^3	mg/m^3	g/s
خروجی پری هیتر	۱۴	۸۵۵/۲	۱۶۴	۲۰	۷۹/۹۸	۹۳	۱۰۰	۹/۵۳
سیلوی سیمان	۱۶	۸۷۰/۴	۱۰۰	۱۲	۱۲/۹۰	۱۵/۳۶	۱۰۰	۰/۳۸۵
سالن سنگ شکن	۱	۸۶۱/۷	۱۰۰	۱۵	۱۱/۸۰	۱۱/۸۰	۱۰۰	۰/۴۴۴
آسیاب سیمان	۱۲	۸۶۸/۳	۱۵۰	۱۵	۴۹/۳۵	۵۶/۰۸	۱۰۰	۱/۰۵۴

*استاندارد خروجی کارخانجات و کارگاه های صنعتی، ۱۳۹۵

جدول ۳- نتایج حاصل از اندازه گیری آلاینده های خروجی پری هیتر

آلاینده/واحدهای سیمان	آلاینده بر حسب گرم بر ثانیه
گرد و غبار	۹/۵۳
CO	۱۰
CO_2	۱۸۷۵۹
NO_X	۴۳/۴
CH	۳۵/۹
H_2S	۴/۴

در این مطالعه میزان خروجی غبار خروجی از دودکش پری هیتر در سه حالت پایداری مدلسازی شد (شکل ۲). حداکثر غلظت خروجی دودکش پری هیتر (۱۲/۷ $\mu g/m^3$) در شرایط جوی ناپایداری از استاندارد هوای پاک کمتر است و نهایتا محدوده‌ای از ۳ تا ۳۰ کیلومتری خود را تحت شعاع قرار می‌دهد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت دودکش پری هیتر به دلیل ارتفاع زیاد و همچنین دمای بسیار بالای گاز خروجی آن باعث افزایش خیز ستون دود شده و آلاینده‌ها را تا دور دست با حجم بسیار کم و در واقع بی‌خطر انتشار می‌دهد. حداکثر غلظت غبار دودکش سالن سنگ شکن ۵/۹ $\mu g/m^3$ بوده که در مقایسه با میزان حد مجاز هوای پاک کمتر است (جدول ۴).اما موقعیت قرارگیری دو دودکش آسیاب و سیلوی سیمان به گونه‌ای است که با وجود میزان خروجی کم نسبت به حد مجاز خروجی‌های صنایع سیمان، سبب آلودگی هوای کارخانه در بخش الکتروفیلتر شده است. غبار خروجی از دودکش‌های سیلوی سیمان و آسیاب سیمان به علت وجود ساختمان الکتروفیلتر به عنوان مانع و ایجاد ناحیه خلا گردشی در پایین دست این دو دودکش، سبب آلودگی غبار در اطراف یعنی فواصل ۲۰۰، ۲۲۰، و ۳۵۰ متری شده است (جدول ۴ و شکل ۳). Downwash اثر تغییر جریان به وسیله

ساختمان ها و موانع است که در این مطالعه لحاظ شده است. ساختمان پری‌هیتر با ارتفاع ۱۳۵ متر، عرض حداقل ۳۰ متر، و با فاصله حدودا ۲۰۰ متر ناحیه خلاء گردشی را برای دودکش های سیلو و آسیاب ایجاد کرده است. مجموع انتشار غبار برای هر دو منبع در شرایط پایداری، خنثی، و ناپایداری به ترتیب $\mu g/m^3$ ۲۳۴، $\mu g/m^3$ ۲۰۲، و $\mu g/m^3$ ۸۶ است که محیطی آلوده را ایجاد می نماید (طبق نتایج مدل). نمونه برداری از غلظت ذرات معلق محیطی (هوای آزاد)، در چهار ضلع شمالی، جنوبی، شرقی، و غربی کارخانه (خارج از شعاع ۱۰۰ متری ساختمان الکتروفیلتر) توسط پمپ نمونه بردار SKC، میزان غبار پراکنده در هوای آزاد در جدول ۵ ارائه شده است.تمامی اندازه گیری های ذرات معلق محیطی کمتر از حدود معیار استاندارد کیفیت هوای ملی (National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)) مصوب آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (Environmental Protection Agency (EPA)) می باشد (EPA, 2020) در حالی که میزان ذرات معلق در ضلع شمالی کارخانه بیشتر از مقدار راهنمای سازمان سلامت جهانی (World Health Organization (WHO)) است. با فاصله گرفتن از محیط ساختمان الکتروفیلتر به شدت از غلظت ذرات معلق محیط کاسته می‌شود (WHO, 2018). در مطالعه امیدی خانی آبادی و همکاران (۱۳۹۴)، شبیه سازی پخش آلاینده های خروجی از دودکش کارخانه سیمان دورود با استفاده از مدل نرم افزاری Screen view صوت گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که حداکثر غلظت پیش بینی شده گازهای دی اکسید نیتروژن، دی اکسید گوگرد، و ذرات معلق در شرایط خنثی و سرعت ۶ متر بر ثانیه در فاصله ۱۰۸۴ متری دودکش کارخانه سیمان برابر با ۲۶۵/۴۸، ۱۶۸/۳۹، ۵۶/۵۶ میکروگرم بر متر مکعب می باشد. در مطالعه حاضر با توجه به جدول شماره ۴ و شکل ۳ برای دودکش پری هیتر می‌توان گفت که در حالت ناپایداری جوی حداکثر مقدار انتشار آلاینده‌ها در محدوده ۳/۵ کیلومتری، در حالت پایداری در محدوده ۲۲ کیلومتری، و در حالت خنثی ۲۹ کیلومتری در پایین دست باد است. بررسی ها نشان داد که آلاینده های دودکش پری هیتر کارخانه سیمان زاوه، روستاهای صفی آباد، چخماق، علمدر، و جعفرآباد را در پایین دست خود می تواند تحت تاثیر قرار دهد.

جدول ٤- غلظت آلاینده ها در کلاس بندی های مختلف هواشناسی و مقایسه با استانداردها

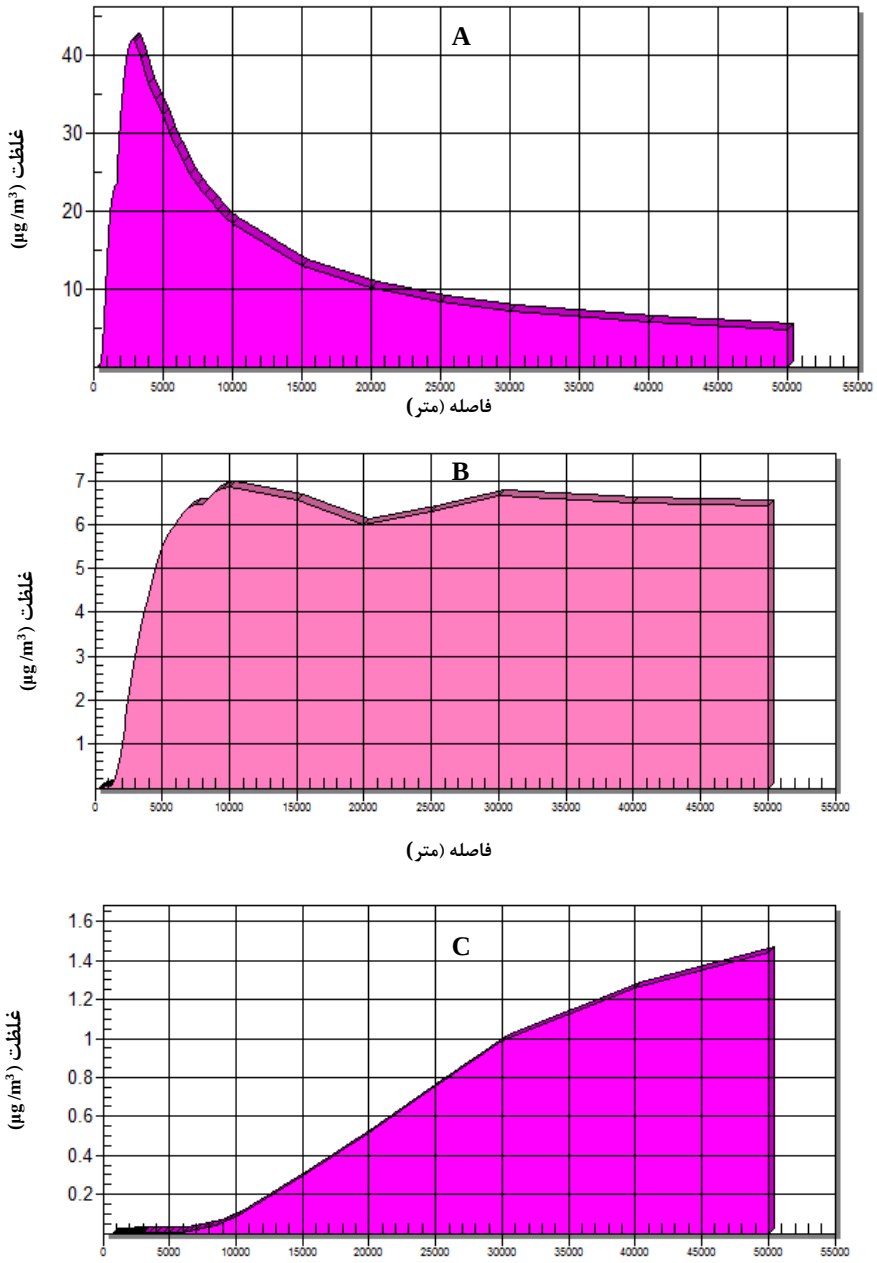
منبع آلاینده	نوع مواد آلاینده	ناپایداری		خنثی		پایداری		مقدار راهنما* ($\mu g/m^3$)	
		فاصله (m)	حداکثر غلظت ($\mu g/m^3$)	فاصله (m)	حداکثر غلظت ($\mu g/m^3$)	فاصله (m)	حداکثر غلظت ($\mu g/m^3$)	EPA	WHO
دودکش الکتروفیلتر	NO_X	۳۵۰۰	۵۸/۶	۲۹۰۰۰	12/31	۲۱۵۰۰	۹/۶	۱۰۰	۴۰
	CO_2	۳۵۰۰	۲۴۹۵۰	۲۹۰۰۰	۵۳۲۵	۲۱۵۰۰	۴۱۵۰	–	
	H_2S	۳۵۰۰	۵/۹۸	۲۹۰۰۰	۱/۲۸	۲۱۵۰۰	۰/۹۸	–	
	CO	۳۵۰۰	۱۳/5	۲۹۰۰۰	۲/۸	۲۱۵۰۰	۲/۲	۱۰۰۰۰ (۸ ساعته)	
	CH	۳۵۰۰	47/9	۲۹۰۰۰	10/3	۲۱۵۰۰	7/85	–	
	غبار	۳۵۰۰	12/7	۲۹۰۰۰	2/7	۲۱۵۰۰	2/1	۱۵۰	۲۰
دود کش سنگ شکن	غبار	۲۵۰	۵/۹	۲۱۰۰	2/7	۷۰۰۰	۱/۵۵	۱۵۰	۲۰
دودکش سیلو	غبار	۳۵۰	۱۹	۳۵۰	۳۲	۴۰۰	۱۴	۱۵۰	۲۰
دودکش آسیاب	غبار	۲۰۰	۶۷	۲۲۰	۱۷۰	۲۰۰	۲۲۰	۱۵۰	۲۰

جدول ٥- مقایسه مقادیر غلظت ذرات معلق محیطی با استاندارد هوای پاک

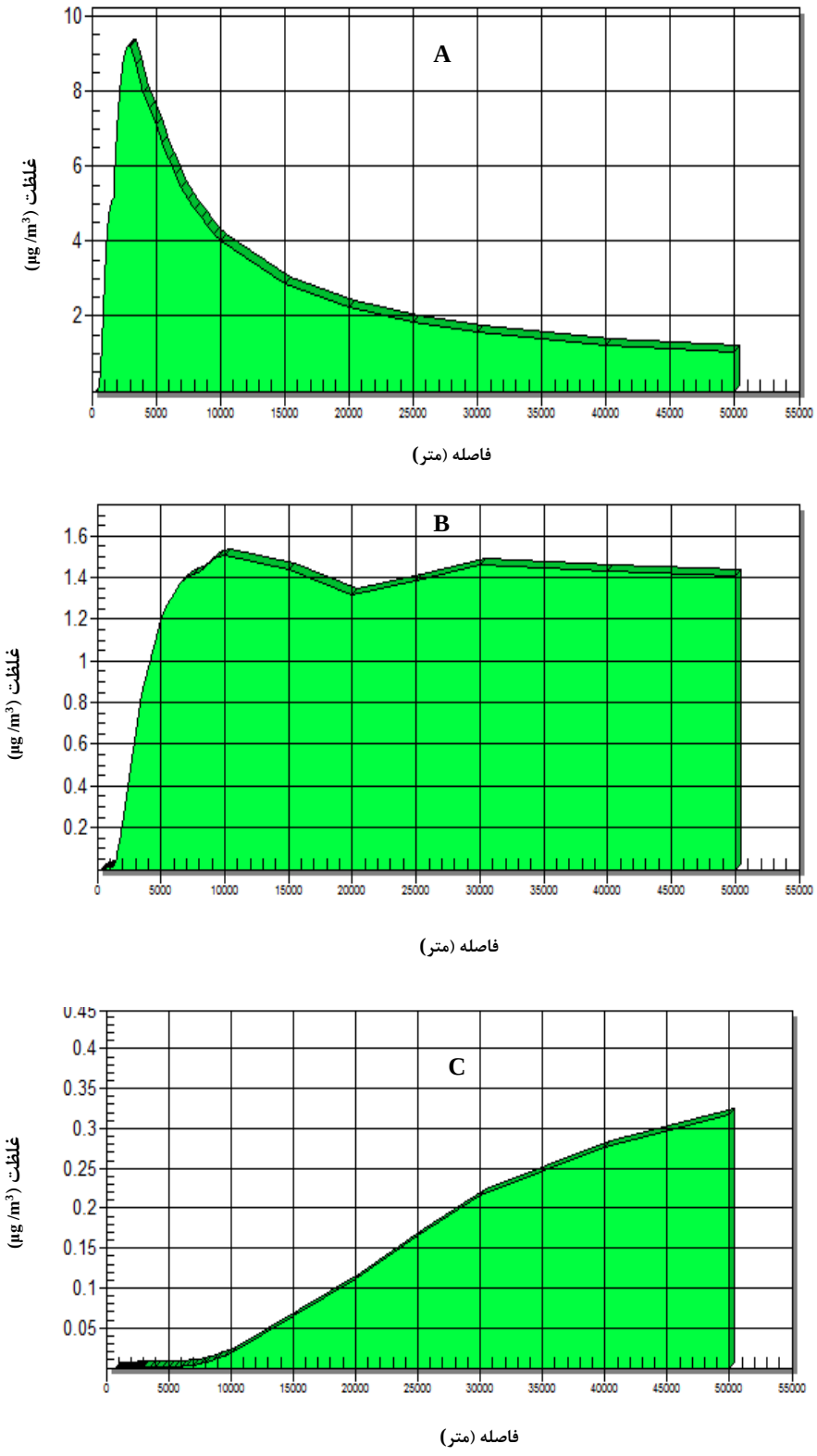
ذرات معلق محیطی	($\mu g/m^3$) آلاینده	غلظت ($\mu g/m^3$)	مقدار راهنمای WHO سالانه ($\mu g/m^3$)	مقدار راهنمای EPA سالانه ($\mu g/m^3$)
ضلع شمالی کارخانه	PM_{10}	۴۶	۲۰	۱۵۰
ضلع شرقی کارخانه	PM_{10}	۳	۲۰	۱۵۰
ضلع غربی کارخانه	PM_{10}	۱۱	۲۰	۱۵۰
ضلع جنوبی کارخانه	PM_{10}	۵	۲۰	۱۵۰

در جهت شرقی کارخانه تا ۱۰ کیلومتر اول جزو اراضی بایر، تپه مانند و بخشی از آن ذخایر و معادن آهک و آبرفتی آهکی تحت بهره برداری کارخانه می‌باشد اما در حالت پایداری و خنثی روستاهای محدوده ۳۰ کیلومتری را می تواند تحت تاثیر خود قرار دهد. با توجه به این که تمامی این محدوده اراضی تحت کشاورزی و سکونتگاه‌های روستایی می‌باشد باید حداکثر تلاش در مدیریت انتشار آلاینده‌ها و اقدامات

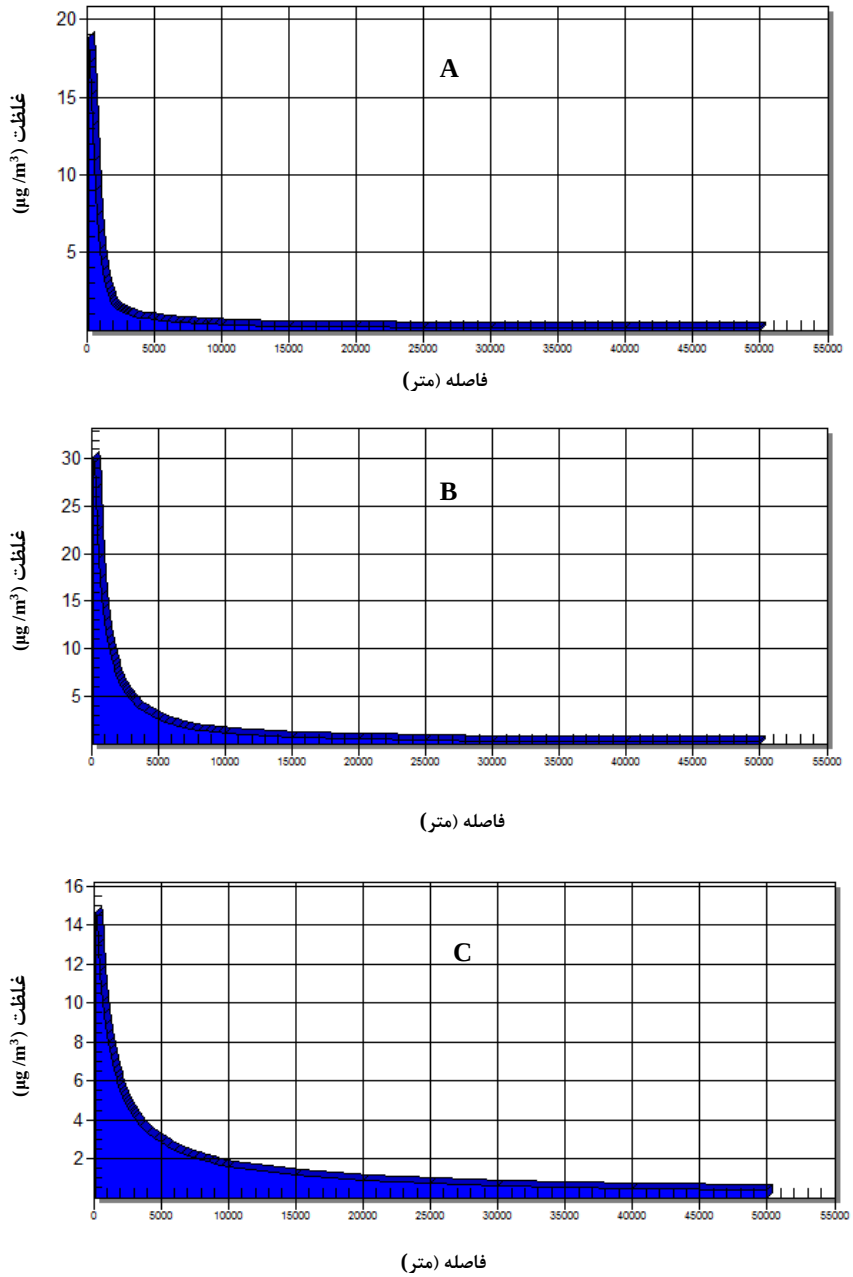
ضروری و لازم صورت پذیرد. در این مقاله به علت تعداد زیاد عناصر مورد بررسی و تعداد زیاد خروجی‌های مدل Screen View، نمایش تمامی نمودارهای خروجی نرم‌افزار خارج از حوصله در این مقاله بوده، از این رو در شکل های ۱ تا ۳، تنها نمودارهای آلاینده گرد و غبار و NOx الکتروفیلتر و گرد و غبار سیلو و آسیاب کارخانه سیمان در شرایط مختلف هواشناسی ارائه شده است. گرد و غبار عمدتاً در مراحلی مانند استخراج، حمل و نقل، انبار، و آسیاب کردن مواد اولیه و محصول تولید می گردد. برای کنترل آن می توان از روش های متعددی مانند استفاده از انواع مختلف فیلترها، محبوس کردن تجهیزات، استفاده از اسپری های آبی و غیره بهره گرفت.مهم ترین آلاینده های دیگر شامل NOx، SO_2، CO، و CO_2 هستند که دارای دو منشا اصلی یعنی واکنش های شیمیایی مواد اولیه در اثر حرارت و سوخت مصرفی کارخانه می باشند. کنترل انتشار هر کدام از این آلاینده ها از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد (شرکت سیمان زاوه، ۱۳۹۹). پیشنهاد می-گردد برای کاهش بار آلودگی بیشتر در مناطق مجاور، تدابیر و اقداماتی همچون ارتقای فیلترهای کیسه‌ای مکانیکی به ایرجت، اصلاح عملکرد فیلترهای کیسه‌ای، و ایجاد سیستم‌های تخلیه مناسب به همراه HOOD را در نظر گرفت. سیستم پایش آنلاین نصب شده در کارخانه سیمان زاوه، پارامترهای اکسیژن، منوکسید کربن، گرد و غبار، و تیرگی در خروجی الکتروفیلتر اصلی را به صورت لحظه ای اندازه گیری می نماید. باتوجه به ماهیت فرآیند تولید سیمان، سیستم های خردایش، پخت و انتقال مواد گرد و غبار تولید می نمایند. در این خصوص با نصب ۲ دستگاه الکترو فیلتر، ۲ دستگاه بگ هاوس، و ۵۳ دستگاه غبارگیر کیسه ای (بگ فیلتر) و کنترل آن ها، پاک سازی، تمیز کاری، تعمیر و تعویض کیسه ها وضعیت خروجی گرد و غبار کنترل می شود (شکل ۴).



شکل ۱- گراف های خروجی نرم افزار Screen View، پراکنش الاینده اکسیدهای نیتروژن (NO_x) از دودکش الکتروفیلتر کارخانه سیمان زاوه در شرایط ناپایداری (A)، خنثی (B)، و پایدار (C).



شکل ۲- گراف های خروجی نرم افزار Screen View، پراکنش آلاینده گرد و غبار از دودکش الکتروفیلتر کارخانه سیمان زاوه در شرایط ناپایداری (A)، خنثی (B)، و پایدار (C).



شکل ۳- گراف های خروجی نرم افزار Screen View، پراکنش آلاینده گرد و غبار از دودکش سیلوی کارخانه سیمان زاوه در شرایط ناپایداری (A)، خنثی (B)، و پایدار (C).

شکل ٤- تصاویری از تجهیزات پایش آلاینده ها در کارخانه سیمان زاوه: الکتروفیلتر (تصویر بالایی) و سامانه پایش آنلاین (تصویر پایینی)

دارایی و همکاران در مطالعه ای وضعیت پایش، نگهداری، و مشکلات رسوب دهنده های الکتروستاتیک در کارخانجات سیمان کشور را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که گازهای منوکسید کربن، دی اکسید گوگرد، و دی اکسید نیتروژن در مجموع بیش از ۵۰ درصد آلاینده های خروجی دودکش کارخانجات سیمان را به خود اختصاص می دهند. بر اساس گزارش مذکور، گاز منوکسید کربن مهم ترین عامل خاموشی ناگهانی سیستم های رسوب دهنده های الکتروستاتیک در کارحانجات سیمان می باشد (Daraie et al., 2011). برای کاهش گازهای آلاینده می توان از راهکارهایی همچون کاهش نشت هوا به سیستم پخت، اصلاح مواد تغذیه به کوره، بررسی امکان جایگزینی سوخت، استفاده از سوخت هایی که شامل حداقل NOx و SOx باشد، روش هایی نظیر کنترل دمای پیک شعله، بهبود عملکرد پیش‌کلساینر برای کاهش میزان NOx و CO و همچنین استفاده از شعله‌های احیایی برای کاهش مقدار NOx و سایر ترکیبات استفاده کرد (Ahsani Estahbanaty, 2014 ; Haghir Chehregani, 2004) از سوی دیگر، پیشنهاد می‌شود قبل از تاسیس کارخانجات ارزیابی ریسک و ارزیابی اثرات محیط‌زیستی انجام شود و تمامی مشکلات ناشی از تاسیس آن‌ها پیش-بینی و برای رفع آن‌ها تدابیری اندیشیده شود. در نهایت بعد از تاسیس ساختار شرکت‌ها بخشی از فضای کارخانه‌ها به فضای سبز تخصیص یابد تا برای کمک به پاکسازی هوا و حفظ محیط‌زیست درختکاری شود و از پوشش گیاهی مناسب و جاذب آلودگی استفاده شود. شرکت سیمان زاوه در سال ۹۳ به عنوان واحد نمونه سبز برتر استان انتخاب شده است. ایستگاه تحقیقاتی پرورش آهو، ایستگاه اورژانس زیست محیطی، ایجاد باغات مثمر و غیر مثمر (به مساحت ۱۵۰ هکتار)، احداث تصفیه خانه فاضلاب بهداشتی، و پیاده سازی سیستم مدیریت زیست محیطی از جمله فعالیت های شاخص زیست محیطی شرکت سیمان زاوه تربت بوده است.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از همکاری صمیمانه مدیریت محترم شرکت سیمان زاوه و کارشناس محترم سرکار خانم مهندس صدیقه صادقیان قدردانی می نمایند.

منابع

- Adetayo Adenirana, J., Olasunkanmi Yusufa, R., Sunday Fakinleb, S., Ademola Sonibare, J. 2019. Air quality assessment and modelling of pollutants emission from a major cement plant complex in Nigeria. Journal of Atmospheric Pollution Research. Vol. 10, No. 1. P, 257- 266.
- Ahsani Estahbanaty, N. 2014. Solutions for reducing and controlling the environmental pollution of cement factories. Journal of Cement. Vol. 24, No. 59, P. 65- 67, (In Persian).
- Daman, F., Mohammad Asgari, H., Dadolahi-Sohrab, A., Khazaei, S.H., Shenavar, B., Javid, R., 2017. Dispersion modeling of air pollutants with Aermod and Screen 3 in Bandar Imam Petrochemical Company. The second National Conference of Environment, Natural Resources, Agriculture and Pure energy, Hamedan, Iran. P. 13, (In Persian).
- Daraie, H., Motasadi Zarandi, S, Piraste, M., 2011. Study of monitoring, maintenance, and problems of electrostatic precipitators in some cement plants in Iran. Journal of the Medical and Health Sciences University Gonabad, 3(17), 66-74, (In Persian).
- Environmental Protection Agency (EPA), 1995. SCREEN 3 Model: user's guide. USA: United States Environmental Protection Agency. Report No E-B.
- Environmental Protection Agency (EPA), 2020 (online). From https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table [Accessed November 2010].
- Haghir Chehregani, H. 2004. Environmental engineering in cement industry. Hazegh Publication. Qom, Iran, P. 1026, (In Persian).
- Hedayati Rad, F., Salman-Mahini, A., Mirkarimi, S.Y., 2017. Air pollution dispersion modeling of Abadan oil refinery using Screen 3. Journal of Environmental Researches, Vol. 7, No. 13, P. 93- 102, (In Persian).
- Homaun, G., Razm, S., Kuhi, M. 2013. Study and analysis of climate change of Torbat Heydariyeh synoptic station during the next thirty years. The first international conference on environmental crises and its solutoin ICECS, P. 1186-1192, (In Persian).
- Huertas, J., Huertas, M., Izquierdo, S., Gonzalez, E. 2012. Air quality impact assessment of multiple open pit coal mines in northern Colombia. Journal of Environmental Management.Vol 93,P. 121- 129.
- Kamjou, E., Laghai, H.A., 2017, Planing for Urmia city toward reducing consequences of Urmia lake's drying. Journal of Hoviat Shahr, Vol. 11, No. 29, P. 79- 94, (In Persian).
- Lakes Environmental Company, 2020 (online). From https://www.weblakes.com/products/screen/ [Accessed October 2020].
- Madadi, H., Ashrafzadeh, M.R., 2009. Modeling of air pollutants emissions from Hormozgan cement factory, Third national conference on safety engineering and management, HSE, Tehran. P, 1-8, (In Persian).
- Nayeb Yazdi, M., Arhami, M., Ketabchy, M., Delavarrafeei, M. 2016. Modeling of cement factory air pollution dispersion by Aermod. A&WMA's 109 th Annual Conference & Exhibition, New Orleans, Louisiana, 1-11.

- Omidi Khaniabadi, Y., Goudarzi, G R., Rashidi, R., Zare, S., Armin, H., Jourvand, M A., 2016. Simulation of pollutants dispersion from Dorud cement plant using SCREEN 3 software model. Journal of yafte, Vol. 17, No. 4. P. 75- 83, (In Persian).
- Otaru, A., Odigure, J., Okafor, J., Abdulkareem, A. 2013. Model prediction of particulate dispersion from a cement mill stack: Case study of a cement plant in Nigeria. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. Vol. 2, No. 3, P. 97- 110.
- Sadeghi, M., Khorasani, N., 2010. The effects of cement dust on the diversity and density of vegetation. Journal of Environmental Science and Technology, Vol. 11. No. 1, P. 107- 119, (In Persian).
- Taha, M., Pollard, S., Sarkar, U., Longhurst, P. 2005. Estimating fugitive bioaerosol releases from static compost windrows: Feasibility of a portable wind tunnel approach. Journal of Waste Management. Vol. 25, P. 445- 450.
- World Health Organization (WHO), 2018 (online). From https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health.
- Zaveh cement factory, 2020 (online). From http://www.ztcc.ir/fa [Accessed October 2020], (In Persian).