Archive of SID

محیط‌شناسی، دورهٔ ٤١، شمارهٔ ٤، زمستان ١٣٩٤، صفحهٔ ٨١٤-٧٩٩

مدل‌سازی الگوی پراکنش ذرات معلق در منطقهٔ جنوب تهران (مطالعهٔ موردی: کارخانهٔ سیمان تهران) با مدل AERMOD

علی‌اکبر شمسی‌پور[1]*، الهام اشرفی[2]، مرضیه علیخواه اصل[3] و خسرو اشرفی[4]

۱. دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران

۲. کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست- ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشگاه پیام‌نور، واحد تهران شرق

elhamashrafi39@yahoo.com

۳. استادیار دانشگاه پیام‌نور، واحد پردیس alikhahasl@pnu.ac.ir

٤. دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران khashrafi@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۳

چکیده

مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌ها با لحاظ انواع خصوصیات منابع انتشارات، شرایط آب و هوایی و موقعیت مکانی منبع آلودگی شاید قابلیت ارائهٔ خروجی‌های مطلوب برای برنامه‌ریزی و مدیریت کاهش و کنترل آلاینده‌های منتشره را داشته باشد. در پژوهش حاضر از عناصر اقلیمی (دما، رطوبت، جهت و سرعت باد) با مقیاس روزانه برای سال ۲۰۱۰ ایستگاه دوشان‌تپه استفاده شد. متغیرهای انتشارها و خصوصیات منبع انتشار آلاینده (ارتفاع دودکش، سرعت و دمای گاز خروجی، نرخ انتشار جرم آلاینده و ...) از کارخانهٔ سیمان، با توجه به نتایج نمونه‌برداری‌های فصلی از ۱۲ منبع آلاینده دریافت شد که همگی از نوع دودکش بودند. مدل‌سازی رایانه‌ای پراکنش آلودگی هوا با مدل AERMOD انجام شد. مدل برای ارزیابی آثار نشر از منابع مختلف صنعتی در فواصل کمتر از ۵۰ کیلومتر به کار گرفته می‌شود. یافته‌ها از مدل‌سازی پراکنش آلودگی هوا نشان می‌دهد که بیشترین آثار ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در فاصلهٔ ۱ تا ۵ کیلومتری از کانون انتشار رخ می‌دهد. در تابستان میزان ذرات ورودی به تهران از منشأ کارخانه افزایش بیشتری دارد و تا فاصلهٔ ۱۵ کیلومتری از مبدأ را پوشش می‌دهد. پیشنهاد می‌شود کارخانهٔ سیمان در خطوط تولید خود به‌واسطهٔ کاهش چشمگیر غبار از فیلترهای هیبریدی بهره ببرد.

کلیدواژه

کارخانهٔ سیمان، ذرات معلق، مدل‌سازی آلودگی هوا، مدل AERMOD.

۱. سرآغاز

صنعت سیمان از صنایع بزرگ و مادر در سطح جهان است و از مهم‌ترین صنایع آلوده‌کنندهٔ هوا محسوب می‌شود و ایران از معدود کشورهایی است که با جدیت فراوان درصدد توسعه و گسترش صنعت سیمان است. صنعت سیمان در ایران سابقه‌ای ۷۹ ساله دارد و با مجموع ظرفیت تولید سیمان سالانه ۶۶ میلیون تن، بزرگ‌ترین کشور تولیدکنندهٔ سیمان در منطقهٔ خاورمیانه است (کاظمی شهرابی و نورپور، ۱۳۹۳). فرایند تولید این ماده به گونه‌ای است که در مراحل مختلف آن آلاینده‌های زیادی در محیط منتشر می‌شود. در این راستا، آلودگی هوا از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی این صنعت به شمار می‌رود (علیزاده داخل و همکاران، ۱۳۸۸ و دیانتی و همکاران، ۱۳۸۸).

پراکنش انواع صنایع در پیرامون تهران نیز با کمترین

* نویسنده مسئول: Email: shamsipr@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

ملاحظات زیست‌محیطی در مکان‌یابی آن‌ها امروزه سبب بروز و توسعهٔ انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی همچون آب، خاک، هوا و آشفتگی و ناسازگاری فضایی شده است (کاظمی شهرابی، ۱۳۹۱). آثار زیست‌محیطی و بهداشتی پراکنش آلاینده‌های ذرات معلق تولیدی در کارخانه‌های سیمان مورد توجه پژوهشگران مختلف بوده است، به طوری که صادقی روش (۱۳۸۵) و صادقی روش و خراسانی (۱۳۸۸) آثار گرد و غبار صنایع تولید سیمان در خاک‌های حوزه و تنوع و تراکم پوشش گیاهی در خصوص کارخانهٔ سیمان آبیک را بررسی کردند. در این مورد جنوب‌شرق تهران از آلوده‌ترین مناطق شهری است که از هر دوی منابع آلایندهٔ متحرک و ثابت آسیب می‌بینند. در سال‌های اخیر کارخانهٔ سیمان جنوب تهران از آلوده‌کننده‌ترین صنایع در کشور معرفی شده است و از علل مهم آلودگی شدید هوای منطقهٔ جنوب‌شرق تهران محسوب می‌شود. مطالعات مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های هوا، تلاشی برای به دست آوردن اطلاعات مفید برای اجرای آتی راهبردهای مهار آلودگی هوا فراهم می‌آورد. مدل‌های کیفیت هوا در چندین دههٔ اخیر به صورت گسترده به کار می‌روند و بر پایهٔ محاسبات انجام‌شده با رایانه شکل گرفته‌اند. اکثر مدل‌های کیفیت هوا در سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا و تعدادی از نمایندگی‌های آن در دسترس است. در انتخاب مدل مواردی کلیدی شامل: نوع منبع آلاینده، نوع عوارض سطحی و نوع منطقهٔ شبیه‌سازی شده است (عتابی و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به شرایط توپوگرافی پیچیده در مناطق شهری نظیر تهران، مدل باید به خوبی قادر به لحاظ‌کردن تأثیرات غلظت‌های زمینهٔ آلاینده‌ها، آلاینده‌های ثانویه و تغییرات توپوگرافی در ناحیهٔ شبیه‌سازی‌شده باشد. لذا AERMOD یک مدل پراکنشی حالت دائمی است و برای تعیین غلظت آلاینده‌های مختلف در مناطق شهری و روستایی، صاف و ناهموار، انتشارات سطحی و در ارتفاع، از منابع نقطه‌ای، حجمی و انواع مختلف منابع سطحی استفاده می‌شود. این مدل نحوهٔ پخش و پراکنش آلاینده‌ها را از منبع تا دریافت‌کننده شبیه‌سازی می‌کند (یاری‌زاده، ۱۳۹۲). پس در مطالعه برای شبیه‌سازی الگوی پراکنش ذره‌ای استفاده شده است و برای ارزیابی آثار نشر از منابع مختلف صنعتی برای فاصلهٔ حداکثر انتشاری ۵۰ کیلومتر به کار می‌رود و به پهنه‌بندی شعاع پراکنش آلاینده‌ها پرداخته شده است. در این زمینه اشرفی و همکاران (۱۳۹۲) انتشار آلاینده‌های ناشی از کارخانهٔ آسفالت و دستگاه سنگ‌شکن پروژه‌های راه‌سازی را مدل‌سازی کردند. همچنین، اشرفی و همکاران (۱۳۹۱) مطالعه‌ای با عنوان «تعیین میزان انتشار و مدل‌سازی نحوهٔ پراکنش آلاینده‌های ترکیبات فرار ناشی از تبخیر سطحی از مخازن ذخیره‌ای واقع در منطقهٔ عسلویه» انجام دادند. کسارکار و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل AERMOD، آلایندهٔ ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون را در شهر پونای هندوستان مدل‌سازی کردند که در آن فراسنج‌های هواشناسی مورد نیاز با مدل دینامیکی تحلیل و پیش‌بینی هوا (WRF)[1] محاسبه شد. ژانگ و همکاران (۲۰۰۸)، سه آلایندهٔ SO_2، NOX و PM_{10} حاصل از سوخت‌های فسیلی و فرایندهای تولیدی صنایع را با مدل AERMOD در قالب یک مطالعهٔ موردی در شهر هانگ‌ژوا در جنوب چین شبیه‌سازی کردند. مازو و همکاران (۲۰۰۹) بخارهای جیوهٔ حاصل از چهار نیروگاه سوخت زغال سنگی در شهر آلبرتای کانادا را در محدوده‌ای با وسعت ۶۰×۶۰ کیلومتر همراه ۱۶۹ پذیرنده با مدل AERMOD مدل‌سازی و با مقادیر ثبت‌شده در ۲ ایستگاه پایش مقایسه کردند. زوار‌رضا و همکاران (۲۰۱۰) شرایط آلودگی هوای تهران را با مدل آلودگی هوا (TAPM)[2] انجام دادند. آن‌ها الگوی پراکنش و روند تغییرات آلاینده‌های هوا را در شهری با شرایط اقلیمی گرم و خشک و ویژگی‌های مکانی با ناهمواری‌های پیچیدهٔ تهران شبیه‌سازی کردند. شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۱)، الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان‌شهر تهران در شرایط وزش باد را با مدل آلودگی هوا (TAPM) شبیه‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

کردند. در آن از شاخص ترمودینامیکی ترکیبی اولری-لاگرانژی (EDMF)[۳] برای شبیه‌سازی پراکنش آلاینده‌های نیروگاه و پالایشگاه نفت تهران در دو شرایط تابستانه و زمستانه بهره بردند. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن بود که شرایط وزش باد، افزایش میزان انرژی جنبشی تلاطم ناشی از سرعت باد و شرایط ناپایدار جوی، با انتقال افقی آلاینده‌ها و ایجاد حرکات قائم فرازشی سبب تعدیل آلودگی می‌شود. شمسی‌پور و صیدی شاه‌آبادی (۱۳۹۱)، روابط وارونگی دما و آلودگی هوای تهران را برای پاییز ۱۳۸۹ با روش همدید و دینامیکی انجام دادند. اشرفی (۱۳۹۱) در پژوهشی با عنوان «مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های ذره‌ای ناشی از شرکت سیمان شمال»، تأثیر این آلاینده‌ها (ذرات معلق) در مناطق اطراف را با استفاده از ابزار مدل‌سازی و بهره‌گیری از مدل AERMOD بررسی کردند. او با شناسایی منابع آلاینده (دودکش‌ها) و در دست داشتن اطلاعات هواشناسی و توپوگرافی منطقه به انجام شبیه‌سازی برای دورهٔ آماری ۵ ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹) اقدام کرد. در نتیجه به بیشترین میزان غلظت‌های رخداده برای هر یک از متوسط‌های زمانی با در نظر گرفتن عوارض زمین اشاره شد. همچنین سلیمیان (۱۳۹۰)، با به کارگیری مدل AERMOD میزان انتشار و الگوی پراکنش ترکیبات آلی فرار از مخازن ذخیرهٔ مایعات نفتی را در خصوص فازهای نفتی پارس جنوبی انجام داد.

مدل AERMOD قادر به تولید سه نوع خروجی است که عبارت‌اند از:

۱. بیشترین مقادیر غلظت (نخستین، دومین، ...) در هر پذیرنده و در هر متوسط زمانی و برای هر گروه از منابع؛

۲. بیشترین منابع غلظت (حداکثر تا ۵۰) در کل پذیرنده‌ها و در هر متوسط زمانی و برای هر گروه از منابع؛

۳. جدول تمامی مقادیر غلظت رخداده در تمامی روزهای دورهٔ آماری، در هر پذیرنده، در هر متوسط زمانی و برای هر گروه از منابع.

۱.۱. مدل انتشار گوسی

مدل AERMOD از مدل‌های پراکنش آلودگی گوسی استفاده می‌کند. مدل‌های گوسی از پرکاربردترین مدل‌های توزیع انتشاری در حالت پایایی توده است. این مدل بر مبنای تقریب ریاضی حرکت توده و آسان‌ترین مدل قابل استفاده است. از این مدل به منظور نحوهٔ پخش و پراکنش آلاینده‌ها در مناطق شهری و صنعتی با مقیاسی در حدود ۱ تا چند ۱۰ کیلومتر استفاده می‌شود. فرمول‌های تودهٔ گوسی در شرایط پایا تعریف و عموماً یک زمان متوسط و شرایط آب و هوایی ثابت در نظر گرفته می‌شود. در مدل‌های با شرایط پایدار محاسبهٔ غلظت برای هر ساعت با نرخ انتشار و شرایط جوی واحد در محدودهٔ معینی صورت می‌گیرد. در نتیجه شبیه‌سازی غلظت به صورت متوسط ساعتی است. مدل تودهٔ گوسی وقتی کاربردی است که زمین دارای پستی و بلندی‌های ناهموار نباشد و هوای منطقه پایدار و دارای بادهای سبک در دورهٔ زمانی کوتاه باشد (یاری‌زاد، ۱۳۹۲).

فرمول‌های گوسی برای محاسبهٔ غلظت آلاینده‌ها به گروه‌های زیر تقسیم می‌شوند:

مدل‌های دود گوسی سنتی؛

مدل‌های گوسی مدل‌های نسل جدید براساس پارامترهای لایهٔ مرزی؛

مدل‌های گوسی دود قطعه قطعه شده یا بخار.

مدل‌های نسل جدید که در AERMOD استفاده شده‌اند، توصیف ساختار لایهٔ مرزی براساس احتمال فرضیه و پارامترهای لایهٔ مرزی است. این دیدگاه جایگزین توصیف سنتی شرایط جوی شده است و توصیف فرایندهای انتشار آلاینده‌ها را بهبود می‌بخشد. در مدل‌های جوی که پارامترهای لایهٔ جوی را تعیین می‌کنند، نیمرخ‌های قائم سرعت باد و دما، پیش‌فرایندهای جوی نامیده می‌شوند (برکوویز، ۱۹۸۵؛ بلچر و هانت، ۱۹۹۳). در مدل‌های نسل جدید نیمرخ‌های گوسی انتشار غلظت آلاینده در جهت‌های قائم و افقی معمولاً فقط برای شرایط

www.SID.ir

Archive of SID

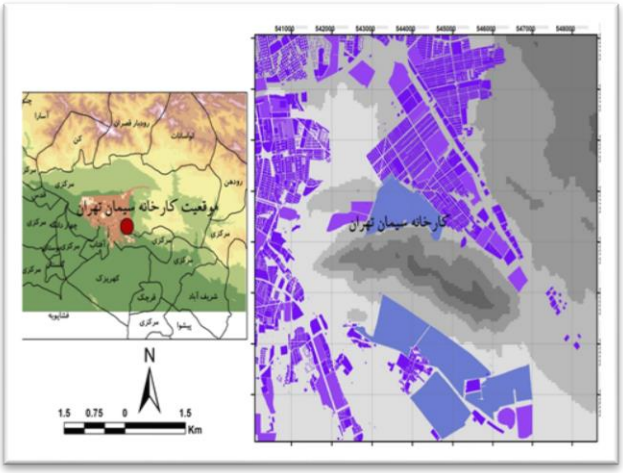
خنثی و پایدار فرض می‌شوند. در شرایط غیرپایدار نیمرخ گوسی غلظت‌ها فقط در جهت افقی نگه داشته می‌شود. برای شرایط ناپایدار معمولاً فرمول‌های نیمه‌تجربی دیگری معرفی می‌شوند. مثال‌هایی از مدل‌های نسل جدید شامل OML[۴]، HPDM[۵]، سامانه‌های مدل‌سازی ADMS[۶] و AERMOD هستند. در سال‌های اخیر رشد شایان توجهی در استفاده از مدل‌های دودی نسل جدید به‌ویژه در کشورهای اروپای غربی و امریکا به علت طرح‌های بین‌المللی هماهنگ مدل‌سازی آلودگی هوا در مقیاس محلی ایجاد شده است. این مدل‌ها به آهستگی جایگزین مدل‌های دودی گوسی نسل قدیم در محاسبات انتشار آلودگی هوا در مقیاس محلی شدند (نجیب‌زاده، ۱۳۹۰).

در این پژوهش پخش ذرات معلق منتشرشده از کارخانهٔ سیمان تهران با به کارگیری مدل برگزیدهٔ EPA[۷] یعنی AERMOD مدل‌سازی و خلاصهٔ بیشترین غلظت‌های به‌دست‌آمده از گیرنده‌ها برای میانگین‌های زمانی تعیین‌شده نمایش داده شده است.

۲. داده‌ها و روش بررسی

۱.۲. منطقهٔ مورد مطالعه

کارخانهٔ سیمان تهران در جنوب‌شرق ایران در انتهای خیابان دولت‌آباد و بزرگراه امام علی در پای دامنهٔ شمالی کوه بی‌بی شهربانو قرار دارد. این کارخانه در سال ۱۳۳۳ تأسیس و نخستین کورهٔ آن با ظرفیت روزانهٔ ۳۰۰ تن در سال ۱۳۳۵ بهره‌برداری شد (شکل ۱). این کارخانه با تولید ۲۶۲۰۰۰۰ تن انواع سیمان، حدود ۸ درصد تولید کل کشور را دارد.



شکل ۱. موقعیت مکانی کارخانهٔ سیمان تهران

۳. روش‌های گردآوری و تحلیل داده‌ها

در این مطالعه اطلاعات پایه به صورت گزارش‌های اندازه‌گیری و نمونه‌برداری ذرات معلق خروجی از دودکش و داده‌های جوی از سازمان هواشناسی کشور و کارخانهٔ مورد مطالعه أخذ شد. در مرحلهٔ بعدی نقشهٔ موقعیت منابع آلاینده به تفکیک در محل کارخانه و نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی تهیه شد. سپس با ورود داده‌های مربوط به هر دودکش به مدل با نرخ انتشار با واحد گرم بر ثانیه به‌وسیلهٔ محاسبهٔ دبی با مقیاس میکروگرم بر ثانیه و ضرب مقادیر آن برای هر یک از غلظت ذرات معلق خروجی از دودکش با مقیاس میکروگرم بر متر مکعب، نحوهٔ پراکنش آلایندهٔ ذرات معلق برای متوسط‌های زمانی ۱، ۳، ۸ و ۲۴ ساعته و دورهٔ آماری یک ماهه و فصلی انجام شد. برای تحلیل الگوی پراکنش آلاینده‌های ذرات معلق از مدل AERMOD استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID

۱.۳. مدل AERMOD

مدل AERMOD یک مدل حالت دائم توده است که برای شبیه‌سازی پراکنش ذره‌ای طراحی شده است و از یک هستهٔ اصلی پردازش برای تخمین غلظت آلاینده و ۲ پیش‌پردازنده استفاده می‌کند؛ پیش‌پردازندهٔ AERMET[8] که یک پیش‌پردازندهٔ هواشناسی و یک پیش‌پردازندهٔ زمین‌شناسی به نام AERMAP[9] است. پیش‌پردازندهٔ AERMET داده‌های هواشناسی را پردازش می‌کند و پارامترهای لایهٔ مرزی جو را به منظور استفاده در مدل تخمین می‌زند و پیش‌پردازندهٔ AERMAP اطلاعات توپوگرافی منطقه را تجزیه و تحلیل می‌کند و در نهایت مدل با استفاده از نتایج این دو پیش‌پردازنده و اطلاعات تکمیلی در خصوص منابع انتشار و شبکهٔ پذیرنده، محاسبات خود را انجام و نتایج نهایی را ارائه می‌دهد (۱).

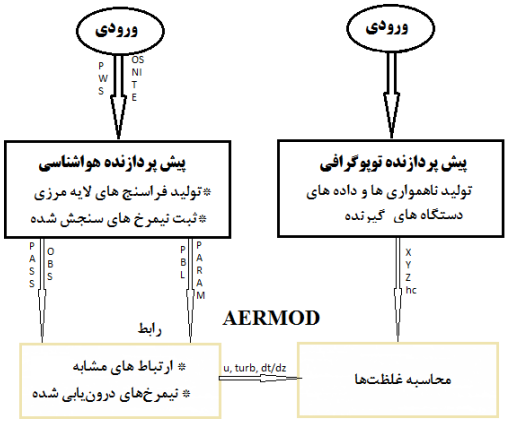
مدل AERMOD با توجه به ملزومات زیر اجرا و برای پژوهش موردنظر انتخاب شد:

۱. این مدل قابلیت تخمین غلظت قابل قبول تحت شرایط مختلف را دارد.

۲. یک مدل مناسب برای کاربر است و قادر است کلیهٔ اطلاعات مورد نیاز ورودی را دریافت کند.

۳. مبانی اساسی فیزیک را در حین سادگی در محاسبات لحاظ می‌کند.

۴. قابلیت به کارگیری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی نظیر Arc/View برای نمایش خروجی‌ها را دارد. ساختار مدل AERMOD در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار کلی مدل AERMOD

منبع: EPA, 2004

۲.۳. ورودی‌های مدل AERMOD

در تحقیق حاضر داده‌های جوی از آمار ثبت و کنترل کیفی‌شدهٔ سال ۲۰۱۰ میلادی ایستگاه هواشناسی دوشان‌تپه استفاده شد که به لحاظ بعد مسافتی (با کمتر از ۹ کیلومتر) در نزدیک‌ترین فاصله از کارخانهٔ سیمان جنوب تهران بود (داده‌ها برای سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ کنترل کیفی نشده بودند). داده‌ها با مقیاس زمانی سه ساعتهٔ عناصر جوی؛ سرعت و جهت باد، دمای هوا و دمای نقطهٔ شبنم، رطوبت نسبی و بارش تهیه شدند، سپس در جدول ۱ اطلاعات هواشناسی به صورت میانگین ماهانه محاسبه شد. اطلاعات ۱۲ منبع آلاینده که همگی از نوع دودکش‌اند به صورت فصلی شامل غلظت آلاینده‌ها، نرخ انتشار ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون (PM_{10})، ارتفاع آزادسازی آلاینده از سطح زمین، دما و سرعت گاز خروجی از دودکش، همچنین قطر داخلی دودکش در محل خروجی، مورد نیاز است که برای هر یک از دودکش‌ها مشخص شد. افزون بر این، موقعیت مکانی منابع نسبت به هم مشخص شدند (جدول ۲).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مقادیر ماهانهٔ متغیرهای جوی سال ۲۰۱۰ ایستگاه دوشان‌تپه

متغیر/ماه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
سرعت باد	۲/۰۳	۲/۸	۲/۸	۵/۱۸	۴/۹۷	۴/۱۶	۳/۵۹	۴/۰۲	۲/۹۹	۳/۲۶	۲/۴۷	۲/۸
جهت باد	NE-SW	NE-SW	W-SW	W-SW	W-SW	W-SW	W-SW	SW-NE	NE-SW	NE-SW	NE-SW	NE-SW
دما	۸/۷	۹/۱۱	۱۴/۹	۱۷/۱۱	۲۳/۶۱	۳۰/۹۲	۳۳/۱۴	۲۹/۵۹	۲۶/۱۰	۲۲/۲۸	۱۳/۱۴	۹/۸۴
رطوبت نسبی	۴۸/۹۶	۴۹/۱۲	۴۰/۴۸	۳۶/۱۲	۲۷/۶۹	۱۷/۲۸	۲۱/۳۲	۳۸/۲۹	۲۸/۹۵	۳۳/۹۳	۳۸/۸۹	۳۵/۱۰
نقطهٔ شبنم	-۲/۱۴	-۱/۷۶	۰/۰۶	۱/۵۸	۲/۰۹	۲/۴۶	۷/۰۴	۷/۹۱	۶/۳۹	۵/۲۹	-۱/۷۹	-۵/۹۶
متوسط بارش	۷/۲۳	۴/۷۵	۱/۳۳	۴/۲۵	۲/۱۶	۰/۱۲۵	۰	۰	۱/۲۵	۱/۱۸	۱	۰/۵

منبع داده‌ها: سازمان هواشناسی ایران

جدول ۲. موقعیت قرارگیری دودکش‌ها در مختصات UTM[۱۰] و مختصات دکارتی

نام واحد	X	Y	شرقی	شمالی
کورهٔ ۶	۰	۰	۵۴۶۲۵۴	۳۹۳۷۰۷۴
کورهٔ ۴	-۶۱/۵	۰	۵۴۶۲۰۲	۳۹۳۷۰۶۷
سیمان ۲	-۱۶۳	-۶۵/۵	۵۴۶۱۱۱	۳۹۳۶۹۸۳
سیمان ۳	-۱۷۴	-۶۵/۵	۵۴۶۰۹۲	۳۹۳۶۹۸۱
سیمان ۴	-۱۵۳	-۶۵/۵	۵۴۶۰۷۶	۳۹۳۶۹۷۸
کورهٔ واحد ۳	-۱۹۷	۵۰	۵۴۶۰۶۴	۳۹۳۷۰۹۷
آسیاب سیمان ۶/۱	-۱۱۳	-۱۳۲	۵۴۶۳۹۹	۳۹۳۶۹۷۵
آسیاب سیمان ۶/۲	۱۳۰	-۱۲۳	۵۴۶۴۱۳	۳۹۳۶۹۶۰
آسیاب سیمان ۸/۱	۱۸۶	-۲۳۴	۵۴۶۴۶۹	۳۹۳۶۹۵۵
آسیاب سیمان ۸/۲	۲۰۹	-۲۵۳	۵۴۶۴۸۶	۳۹۳۶۹۵۸
گریت ۸	۲۵۸	۶۳	۵۴۶۴۵۵	۳۹۳۷۰۷۴
کورهٔ واحد ۸	۲۰۰	۴۴	۵۴۶۴۹۵	۳۹۳۷۱۹۳

منابع انتشار شامل دودکش‌های مختلفی است که در کارخانه وجود دارد. خصوصیات دودکش‌ها در الگوی پراکنش بستهٔ دود مؤثرند. از مهم‌ترین خصوصیاتی که وارد مدل می‌شوند قطر و ارتفاع دودکش، همچنین دما و سرعت گاز خروجی است که در جدول ۳ خصوصیات دودکش‌های کارخانهٔ سیمان تهران ارائه شده‌اند.

غلظت انتشار آلاینده‌های ذرات معلق هر کدام از دودکش‌ها در سه مرحلهٔ مختلف اندازه‌گیری و مقادیر متفاوتی ثبت می‌شود. نرخ انتشار از مهم‌ترین پارامترهای ورودی به مدل است که به طور متوسط محاسبه می‌شود و برای هر دودکش جداگانه تعریف و وارد مدل می‌شود؛ مقادیر آن‌ها در جدول ۴ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. مشخصات دودکش‌های کارخانهٔ سیمان ورودی به مدل AERMOD

شناسهٔ دودکش	قطر دودکش (متر)	ارتفاع دودکش (متر)	دمای گاز خروجی (کلوین)	سرعت گاز خروجی (متر بر ثانیه)
الکتروفیلتر کورهٔ واحد ۳	۴	۶۰	۴۸۵	۱۴/۲
الکتروفیلتر کورهٔ واحد ۴	۳	۶۰	۴۱۴/۶۶	۲۰/۵
الکتروفیلتر کورهٔ واحد ۶	۵	۷۲	۳۸۴/۵	۱۲/۶
الکتروفیلتر کورهٔ واحد ۸	۴	۱۲۰	۳۸۷/۳۳	۱۴
هیبرید سیمان ۲	۰/۷	۲۶	۳۲۳/۶۶	۱۲
هیبرید سیمان ۳	۰/۷۵	۲۶	۳۰۴	۱۰/۶
هیبرید سیمان ۴	۰/۸	۲۶	۳۳۶	۱۷/۴
الکتروفیلتر آسیاب سیمان ۶	۱/۸	۳۶	۳۳۷/۳۳	۱۱/۶
بگ هاوس شمارهٔ ۱ واحد ۸	۳	۳۰	۳۲۵/۶۶	۱۰/۱
بگ هاوس شمارهٔ ۲ واحد ۸	۳	۳۰	۳۲۵/۷	۱۰/۴
الکتروفیلتر گریت کولر واحد ۸	۳/۵	۴۰	۵۵۰	۱۵/۳
الکتروفیلتر گریت کولر واحد ۶	۴	۴۰	۴۸۴/۶۶	۱۴/۷

منبع داده‌ها: شرکت سیمان تهران

جدول ۴. منابع، غلظت و نرخ انتشار آلاینده‌های خروجی PM[11] از دودکش‌ها

شناسهٔ دودکش	غلظت mg/m^3 مرحلهٔ اول	غلظت mg/m^3 مرحلهٔ دوم	غلظت mg/m^3 مرحلهٔ سوم	نرخ انتشار mg/s
الکتروفیلتر کورهٔ واحد ۳	۹/۸۱	۸۳/۴	۸۵	۱۴/۹۳۶۴۷۷۶
الکتروفیلتر کورهٔ واحد ۴	۸۵/۶	۸۵/۵	۹۱	۱۲/۶۷۹۹۳۲۳
الکتروفیلتر کورهٔ واحد ۶	۶۷/۵	۷۲/۵	۹۵	۲۲/۳۱۶۸۹۵۸۳
الکتروفیلتر کورهٔ واحد ۸	۳۶/۴	۲۱/۳	۴۷	۶/۱۴۳۵۱۴۶۶
هیبرید سیمان ۲	۴۸	۳۲	۲۶	۰/۱۶۴۱۱۷۳۳
هیبرید سیمان ۳	۲۷	*	*	۰/۱۲۶۳۷۵۱۸۷۵
هیبرید سیمان ۴	۲۹	*	۲۰	۰/۲۱۵۹۸۱۷۶
الکتروفیلتر آسیاب سیمان ۶	۸۶	۱۲۳	۴۶	۲/۵۵۴۲۵۱۸۴
بگ هاوس شمارهٔ ۱ واحد ۸	۱۵	۵	۲۳	۱/۰۰۷۲۳۳۵
بگ هاوس شمارهٔ ۲ واحد ۸	۱۱	*	۱۸	۱/۰۹۲۶۰۲۲۵
الکتروفیلتر گریت کولر واحد ۸	۱۴	۶۵	۷	۷/۰۶۸۵۸۴۸۳۳
الکتروفیلتر گریت کولر واحد ۶	۴۵	۱۰۸	۴۶	۱۳/۰۴۰۶۲۹۳۳

منبع داده‌ها: شرکت سیمان تهران

www.SID.ir

Archive of SID

۳.۳. پیش‌پردازندهٔ AERMET

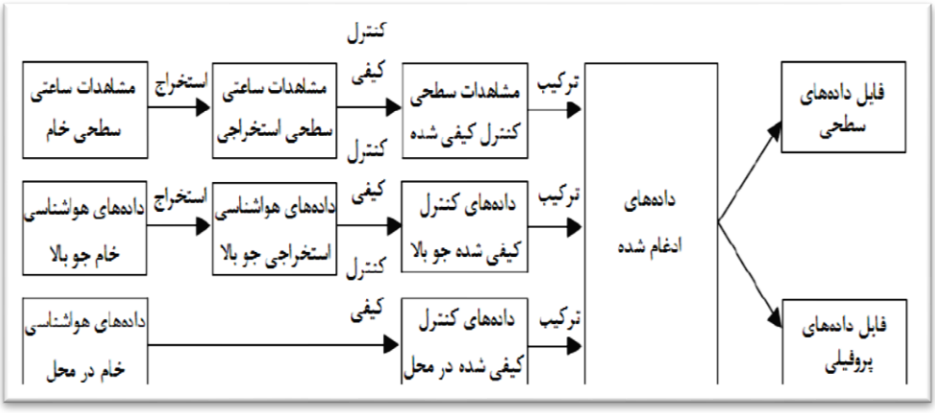
در این پژوهش سطح منطقه به سبب دوری نسبی از کوه و اثر نامحسوس ارتفاعات در الگوی پراکنش آلاینده‌های هوای کارخانهٔ سیمان صاف فرض شد. پس نیازی به اجرای پیش‌پردازندهٔ AERMAP نبود. بنابراین، فقط پیش‌پردازندهٔ AERMET اجرا و خروجی آن در AERMOD استفاده شد. پیش‌پردازندهٔ AERMET به گونه‌ای طراحی شده است که می‌توان تمامی اطلاعات هواشناسی موجود را در قالب فایل در محل، تعریف و برای پردازش استفاده کرد. لذا در این پژوهش میزان بارش، پوشش ابری، فشار جوی و فشار نسبت به سطح دریاهای آزاد به‌منزلهٔ پارامترهای سطحی، همچنین دمای نقطهٔ شبنم، دما، جهت باد، سرعت باد و درصد رطوبت به‌منزلهٔ پارامترهای نیمرخی در نظر گرفته شده‌اند. پیش‌پردازندهٔ AERMET به‌منزلهٔ پیش‌پردازندهٔ هواشناسی و با هدف سازماندهی و پردازش داده‌های هواشناسی موجود در ساختاری مناسب برای استفاده از طریق مدل پراکنشی AERMOD طراحی شده است (شکل ۳).

مدل AERMET برای انجام محاسبات به ۳ پارامتر سطحی از منطقه یعنی نسبت بوان، ضریب سپیدایی و طول زبری سطح احتیاج دارد. ضریب سپیدایی کسری از تابش خورشیدی است که بدون جذب از طریق سطح، دوباره به فضا بازتابش می‌شود، نسبت بوان؛ شاخصی برای تعیین رطوبت سطح است و نسبت شار گرمای محسوس به شار حرارتی نهان است و طول زبری سطح نیز به جریان باد و ارتفاع موانع سطحی مربوط است و در واقع ارتفاعی است که در آن متوسط سرعت افقی باد به صفر می‌رسد (۱۳). برای تعیین این پارامترها از جدول ۶ استفاده و مقادیر پارامترهای ارائه‌شده در جدول ۵ در پژوهش به مدل وارد شد.

جدول ۵. پارامترهای سطحی استفاده‌شده در این مطالعهٔ موردی با تغییرات سالیانه

شمارهٔ قطاع	ابتدای قطاع (درجه)	انتهای قطاع (درجه)	ضریب آلبدو (بی بعد)	نسبت بوان (بی بعد)	زبری سطح (متر)
۱	۰	۲۷۰	۰/۲۸	۶	۰/۳
۲	۲۷۰	۳۰۰	۰/۲۸	۶	۰/۳
۳	۳۰۰	۳۶۰	۰/۲۸	۶	۰/۳

منبع: شرکت سیمان تهران



شکل ۳. فرایند آماده‌سازی اطلاعات برای AERMOD با پیش‌پردازندهٔ AREMET منبع: EPA, 2004

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. ضریب سپیدایی، نسبت بوان و زبری انواع پوشش‌های سطحی

	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	سطح
ضریب سپیدایی	۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳	بیابانی
	۰/۶	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۱۴	زراعی
	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۴	شهری
نسبت بوان	۲	۲	۱/۵	۱	بیابانی
	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۲	زراعی
	۰/۵	۱	۱	۰/۵	شهری
زبری سطح	۰/۱۵	۰/۳	۰/۳	۰/۳	بیابانی
	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۳	زراعی
	۱	۱	۱	۱	شهری

منبع: EPA, 2004

پس از تکمیل اطلاعات مربوط به سه مرحلهٔ ورودی، مدل اجرا و در نتیجهٔ آن دو فایل Aermet.sfc و Aermet.pfl تولید شد. مهم‌ترین دادهٔ ورودی مدل AERMOD است. پس از اجرای AERMET و تولید فایل‌های هواشناسی مورد نیاز مدل AREMOD، اطلاعات پروژه با استفاده از فایل ورودی و برای پردازش، به مدل معرفی شد. مدل AERMOD برای هر نوع از منابع آلاینده، اطلاعات خاصی درخواست می‌کند (کاظمی‌شهرابی و نورپور، ۱۳۹۳)

۴. بحث و یافته‌های پژوهش

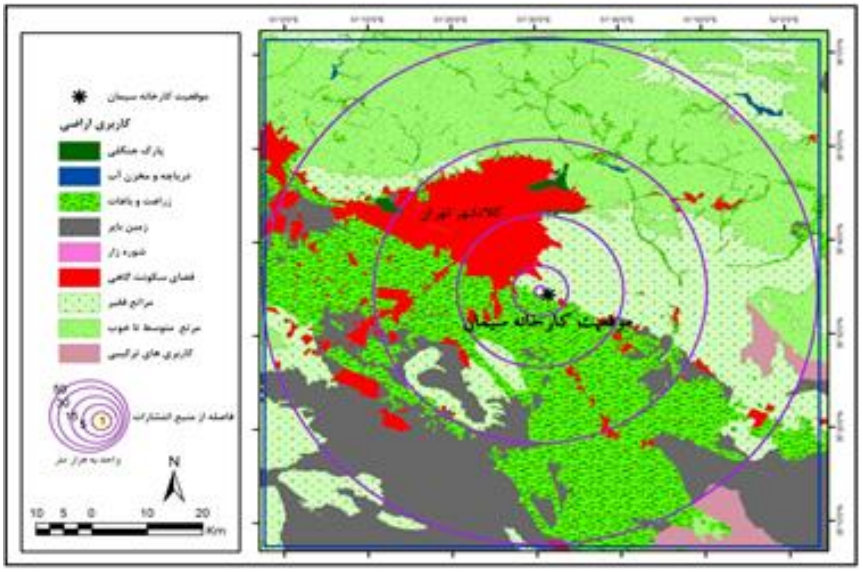
پراکنش آلاینده‌های ذرات معلق ناشی از کارخانهٔ سیمان جنوب تهران از منابع مهم آلودگی هوای جنوب‌شرق تهران است. برای نمایش الگوی پراکنش آلاینده‌های کارخانه از ابزار مدل‌سازی دینامیکی با تأکید بر عناصر جوی استفاده شد. داده‌های جوی استفاده‌شده گویای متوسط سالانهٔ شدت باد حدود ۳/۵ متر بر ثانیه بود که در ماه‌های تابستان شدید و زمستان از شدت کمتری برخوردارند. جهت باد غالب به تقریب در تمام ماه‌های سال جنوب‌غرب، غرب و شمال‌شرقی است. جالب اینکه بادهای غالب تابستانه غربی است و در ماه‌های دورهٔ سرد سال جهت شمال‌شرق و جنوب‌غربی است که نشان‌دهندهٔ محلی‌بودن بادهاست. روند تغییرات دما، رطوبت و بارش ماهانه گویای رژیم مدیترانه‌ای است با دماهای بیشینهٔ تابستانه همراه افت رطوبت نسبی هوا و نبود بارش و افت دما همراه افزایش نسبی رطوبت و میزان بارش ماهانه طی دورهٔ زمستانه است. بنابر اطلاعات داده‌های اقلیمی هوای گرم تابستان با شدت نسبتاً بالای بادهای تابستانه، میزان و مسافت پراکنش آلاینده‌ها را در هر دو بعد افقی و قائم افزایش می‌دهد. در نتیجه حجم آلاینده‌ها در واحد سطح کاهش می‌یابد. در مقابل کاهش دما و انقباض هوا همراه کاهش شدت باد در ماه‌های سرد سال گسترش افقی و قائم آلاینده‌ها را کاهش داده است و حجم آلودگی در واحد سطح در پیرامون منبع انتشار افزایش می‌یابد. نکتهٔ اساسی دیگر اینکه در تمام ماه‌های سال جهت وزش یکی از بادهای غالب یا نایب غالب از جنوب‌غرب است که پراکنش آلاینده‌ها را به سمت تهران نشان می‌دهد (جدول ۱).

تأثیر آلاینده‌ها در محیط‌های طبیعی و انسانی منشأ مخاطرات و آسیب‌های زیست‌محیطی است. بنابراین، منطقهٔ استقرار کارخانه به لحاظ کاربری زمین بررسی شد.

www.SID.ir

Archive of SID

مجاورت با کلان‌شهر تهران و گسترهٔ وسیع کاربری زراعی و باغی در پیرامون کارخانه حایز اهمیت است. در شعاع ۵ تا ۱۰ کیلومتری کارخانهٔ شرق کارخانه را زمین‌های با کاربری مراتع فقیر اشغال کرده است و جنوب و غرب آن با کاربری‌های زراعی و باغی و شهرهای کوچک و بزرگ اقماری تهران مشخص می‌شوند (شکل ۴).



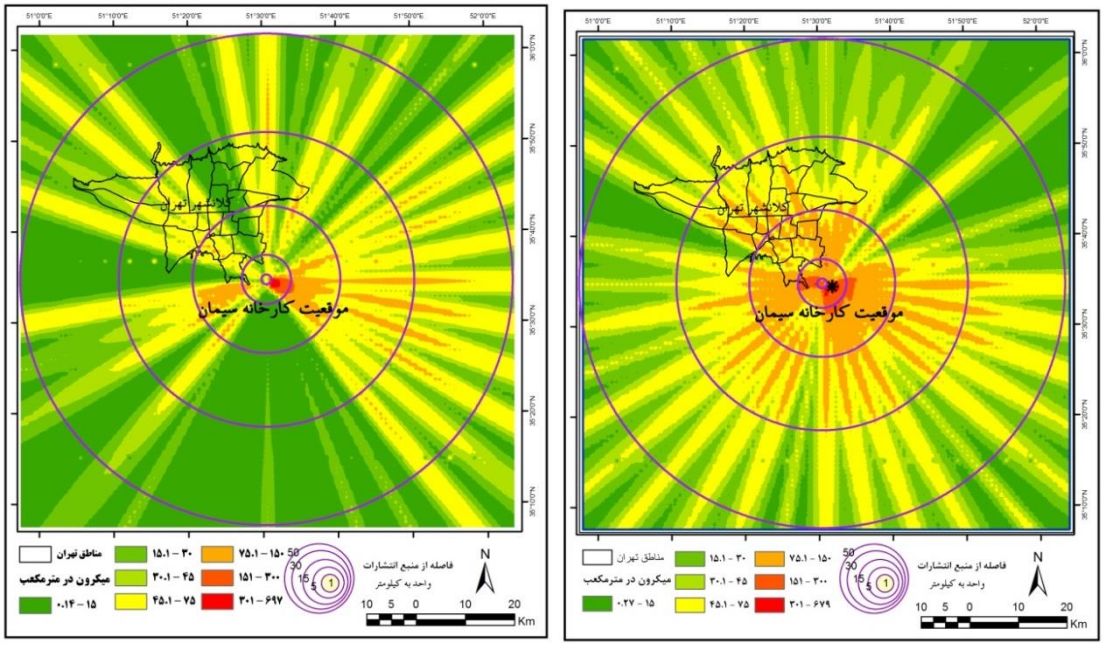
شکل ۴. کاربری اراضی پیرامون کارخانهٔ سیمان تهران تا شعاع ۵۰ کیلومتری

نتایج مدل‌سازی آلودگی هوا از نرم‌افزار AERMOD، برای متوسط‌های ساعتی، سه، هشت و ۲۴ ساعتی و متوسط‌های ماهانه و فصلی برای دو شرایط تابستانه و زمستانه مورد توجه قرار گرفت. در این پژوهش شبیه‌سازی برای ارتفاع ۲ متر یا سطح تنفس انجام شد. ارتفاع شبیه‌سازی‌شده در حالت مسطح فرض شده است. نکتهٔ دیگر اینکه تمام شبیه‌سازی‌ها برای شعاع ۵۰ کیلومتری از منبع انتشارات انجام شده است.

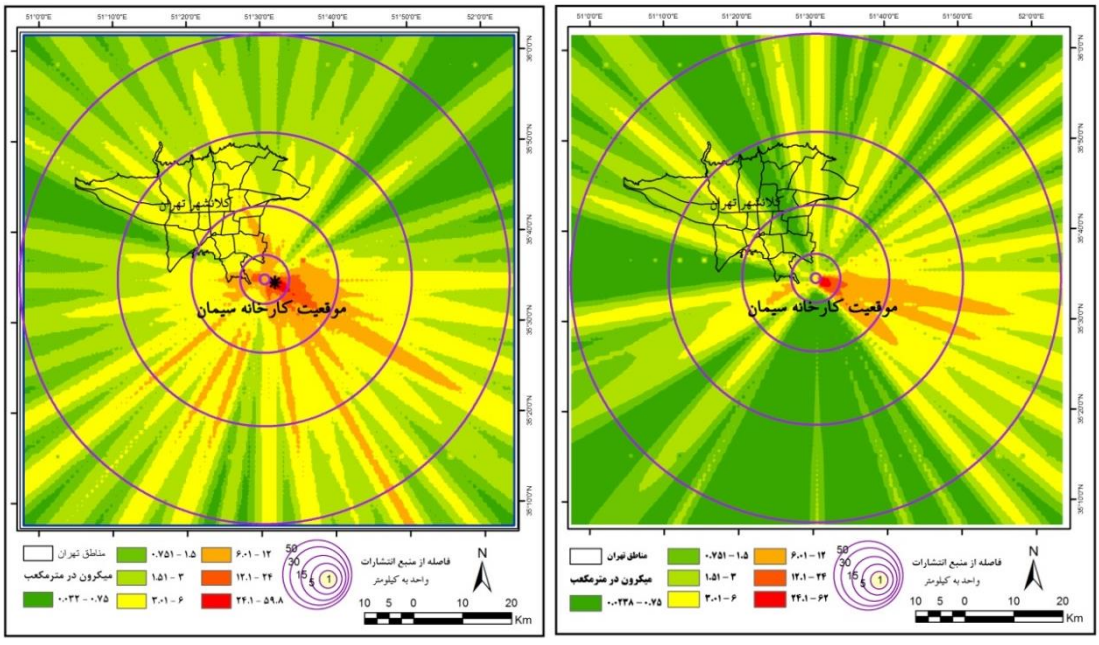
با مراجعه به نتایج مدل‌سازی در هر دو دورهٔ تابستانه و زمستانه برای متوسط‌های ساعتی دارای بالاترین مقادیر است. در هر دو نمونهٔ ساعتی جهت غالب شرق منبع انتشار است. ذرات معلق در اثر وزش باد در جهت x جابه‌جا و نیروی جاذبهٔ زمین سبب ته‌نشین‌شدن ذرات و افزایش تدریجی غلظت در نزدیک سطح زمین می‌شود. در نمونهٔ تابستان به‌واسطهٔ گرمای هوا و شدت بالاتر وزش باد گسترهٔ بیشتری از منطقهٔ پیرامون کارخانه در محدودهٔ پراکنش آلاینده‌ها قرار گرفته است. بیشینهٔ مقادیر تا شعاع ۵ کیلومتری پخش شده‌اند. در شعاع ۱۰ کیلومتری در نمونهٔ تابستانه تا غلظت ۱۵۰ میکرون در متر مکعب می‌رسد. در مقابل در نمونهٔ زمستانه پراکنش آلاینده‌ها در جهت شرق و نزدیک منبع متمرکزتر شده است. ناپایداری محلی و نوسان‌های زیاد در جهت وزش باد در نمونهٔ تابستانی نمایان‌گر جهات مختلف پراکنش آلودگی است. تغییرات زیاد در جهت وزش باد نشان‌دهندهٔ اثر عوامل محلی در شکل‌گیری باد است. در زمستان به سبب ورود سامانه‌های جوی بیرونی جهت باد غالب غربی حاکم و جهت پخش آلودگی در جهت شرق متمرکز شده است. بنابراین، بیشینهٔ غلظت آلاینده‌ها در جهت شرقی و در شعاع تقریبی ۵ کیلومتری از منبع روی داده است. تغییرات غلظت ذرات برحسب فاصله از دودکش در پایین‌دست جهت وزش باد غالب با افزایش فاصله از دودکش غلظت ذرات معلق در هوا کاهش می‌یابد (شکل ۵).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. الگوی پراکنش و غلظت آلایندهٔ ذرات معلق برای متوسط یک ساعتهٔ تابستانه (راست) زمستانه (چپ)



شکل ۶. الگوی پراکنش و غلظت آلایندهٔ ذرات معلق (PM_{10}) برای متوسط روزانهٔ تابستانه (راست) زمستانه (چپ)

در خصوص میانگین غلظت روزانهٔ آلاینده‌ها در دو نمونهٔ تابستانه و زمستانه در ارتفاع ۲ متری سطح، به طور شایان توجهی مقادیر پایین‌تری از متوسط‌های ساعتی ثبت شده است. در مقابل جهت پخش به سمت شرق و جنوب‌شرق متمرکزتر شده است. همانند نمونهٔ ساعتی در میانگین روزانهٔ دورهٔ تابستانه جهت‌های مختلف پراکنش آلاینده‌ها، نشان‌دهندهٔ تغییرات در جهت و شدت وزش باد است و بالابودن گسترهٔ پخش گویای انبساط هوای ناشی از دمای بالای هواست. براساس استاندارد EPA مقدار متوسط غلظت ذرات معلق طی شبانه‌روز از ۱۵۰ میکرون بر متر

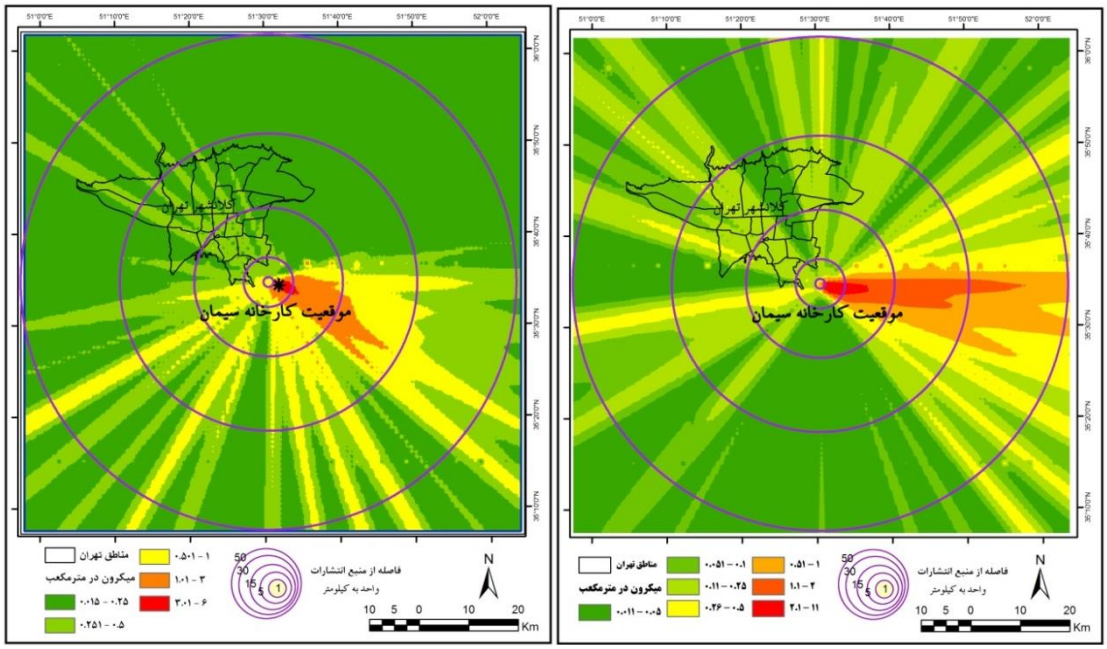
www.SID.ir

Archive of SID

مکعب نباید تجاوز کند. این گویای پایین‌بودن نرخ انتشار ذرات معلق در کارخانه است. با مقایسهٔ غلظت ذرات معلق PM_{10} در دو ارتفاع صفر و ۲ متری، به دلیل بالاتربودن نسبی شدت باد در ارتفاع ۲ متری به علت کاهش اصطکاک سطحی، مقادیر بیشینهٔ غلظت در فاصلهٔ کمتری از دودکش ثبت شده است (شکل ۶).

در خصوص دورهٔ ماهانه آنچه بیشتر از هر مطلبی درخور توجه است، کاهش مقادیر متوسط ماهانه به کمینه‌ترین مقدار آن است. تفاوت در جهت پراکنش در نمونه‌های تابستانی و زمستانه واضح‌تر از نمونه‌های ساعتی و روزانه است. نوسان‌های ساعتی و روزانه در جهت وزش باد در متوسط ماهانه کم‌رنگ شده و جهت باد غالب ماهانه مشخص‌تر است. پس در دورهٔ زمستانه باد غالب غربی برای پراکنش آلاینده‌ها را کاملاً در جهت شرقی متمرکز کرده و در نمونهٔ تابستانه جهت باد غالب شمال‌غرب تا غرب است و جهت پخش به جنوب‌شرق گرایش دارد. متفاوت از نمونه‌های ساعتی و روزانه در متوسط ماهانه پراکنش آلودگی جهت شرق تا شعاع ۵۰ کیلومتری کشیده شده است. در صورتی که در نمونهٔ تابستانه مسافت پخش آلاینده‌ها تا شعاع ۳۰ کیلومتری هم نرسیده است (شکل ۷). شدت باد غالب غربی و درصد بالای تداوم باد غالب عامل این کشیدگی در دورهٔ ماهانه است.

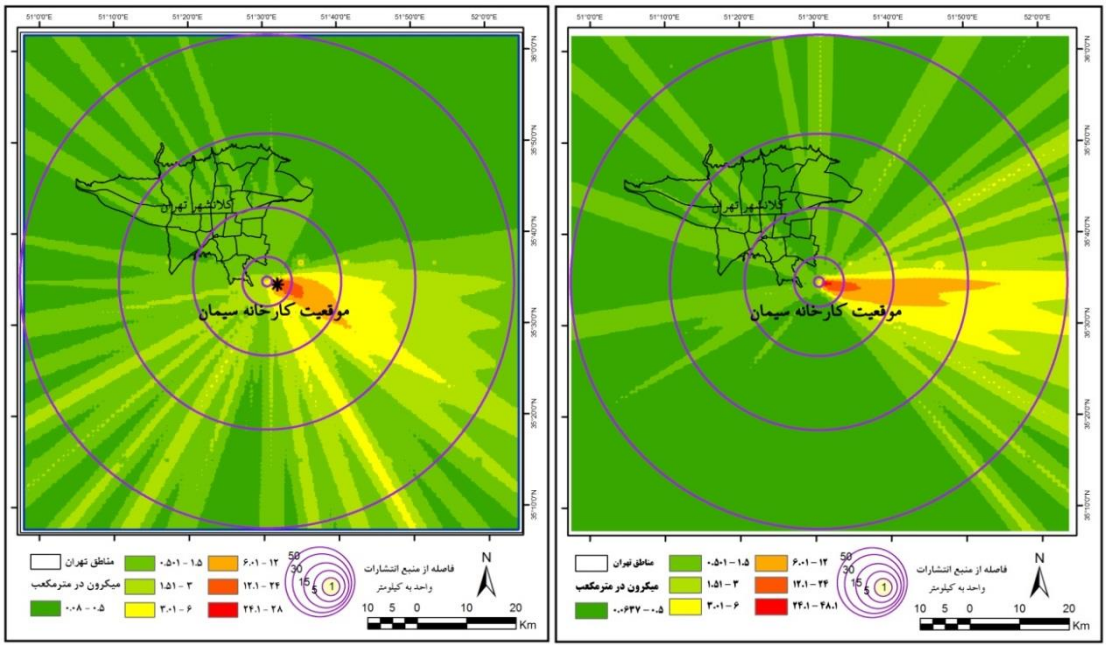
روند کلی جهت پراکنش آلاینده‌ها در متوسط فصلی هم مشاهده می‌شود. الگوی کلی پراکنش در متوسط فصلی مشابه الگوی ماهانه و تفاوت آن‌ها در میزان حجم و غلظت آلودگی در واحد سطح است. تابستان با تغییرات زیاد در جهت وزش باد مشخص شده است که به سمت شرق و نوار جنوبی حاکمیت بیشتری دیده می‌شود. در نمونهٔ زمستانه باد غالب غربی است و چون از سامانه‌های همدیدی و منطقه‌ای تبعیت می‌کند، شدت بالایی دارد و پراکنش را در جهت شرق متمرکز و گسترش داده است (شکل ۸).



شکل ۷. الگوی پراکنش و حجم آلایندهٔ ذرات معلق (PM_{10}) برای متوسط ماهانهٔ تابستانه (راست) زمستانه (چپ)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. الگوی پراکنش و غلظت آلایندهٔ ذرات معلق (PM_{10}) برای متوسط فصلی تابستانه (راست) زمستانه (چپ)

۵. نتیجه‌گیری

جهت غالب پخش آلاینده‌های کارخانه، شرق و جنوب‌شرق آن است. جهتی که توسعهٔ کالبدی تهران و شهرهای اقماری پاکدشت و ورامین در آن مسیر قرار دارند. افزون بر آلاینده‌های کارخانه، آلودگی ناشی از توسعهٔ جاده‌ها و ترابری برون‌شهری در آن محدوده وضعیت آلودگی هوا را تشدید کرده و شرایط بحران آلودگی هوا در آن منطقه شکل گرفته است.

مقدار غلظت به علت نسبت بیشتر ذرات جامد معلق درون هوا، با فاصله‌گرفتن از دودکش با سرعت بیشتری کم می‌شود. پس از یک فاصلهٔ طولانی پخش ذرات آلاینده به اطراف سبب کاهش غلظت آن می‌شود. همان‌گونه که مشخص است، کمینهٔ غلظت به ترتیب در متوسط‌های زمانی ماهانه و فصلی ثبت شده و بیشینهٔ حجم ذرات در متوسط‌های زمانی ساعتی به‌ویژه یک ساعته روی داده است. بنابراین، در متوسط‌های زمانی، اختلاف زیادی در مقادیر غلظت آلایندهٔ ذرات معلق دیده می‌شود.

در متوسط‌های زمانی ساعتی تا روزانه بیشترین نوسان در جهت پراکنش ذرات دیده می‌شود، این میزان انتشار در پهنه‌های پیرامون منبع نقطه‌ای بیشترین تمرکز را دارد. با بزرگ‌شدن مقیاس زمانی به ماهانه و فصلی، بیشینهٔ غلظت در جهت شرقی و جنوب‌شرقی کارخانه متمرکز و یک‌سویه می‌شود.

با توجه به استاندارد غلظت ذرات در ایران و EPA، مشاهده می‌شود که میزان خروجی مدل چند برابر استاندارد است و در مقیاس‌های ساعتی و روزانه در مجاورت منبع انتشار و فضای کارخانه حجم ذرات بسیار بالاست و در محدوده‌های سکونتگاهی تهران نیز انتشار ذرات به‌ویژه در دورهٔ تابستان افزایش دارد.

استاندارد کیفیت هوای امریکا برای ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در ۲۴ ساعت ۱۵۰ میلی‌گرم بر متر مکعب و در ایران ۵۰ میلی‌گرم بر متر مکعب است. با توجه به اینکه بیشینهٔ غلظت خروجی‌های کارخانهٔ سیمان ۱۲۳ میلی‌گرم بر متر مکعب است، با استانداردهای ایران و EPA مطابقت دارد.

نتایج خروجی مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌ها با مقادیر غلظت اندازه‌گیری‌شده در واحدهای مختلف کارخانهٔ سیمان (جدول ۴)، هماهنگ است، اما مقادیر بالاتری

www.SID.ir

Archive of SID

نسبت مقادیر اندازه‌گیری ثبت شده است. به طوری که مجموع مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ دستی در موقعیت دودکش‌های مختلف کارخانه برابر با ۵۰۴ میلی‌گرم بر متر مکعب در مرحلهٔ سوم تولید محاسبه شده است. در صورتی که در میانگین‌های ساعتی مقادیر بیشینهٔ بالای ۶۷۰ میلی‌گرم به دست آمده است که با بالارفتن بازهٔ زمانی خروجی‌ها میانگین‌ها روند کاهشی دارند.

خروجی‌های پژوهش حاضر در مقایسه با تحقیق اشرفی (۱۳۹۰) برای مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های ذره‌ای از شرکت سیمان شمال، با وجود ویژگی‌های سطحی و اقلیمی متفاوت در دو منطقه، الگوی پراکنش تقریباً مشابهی را نشان داده است و در محدوده‌های مجاور شرکت در محدودهٔ ۶×۶ کیلومتر مربعی تعیین شدند. همچنین، در مطالعهٔ دیگری (عمید، ۱۳۸۸) با روش مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های CO[12] با AERMOD بیشینهٔ غلظت‌ها مطابق خروجی پژوهش حاضر برای میانگین ساعتی ۱ ساعته به دست آمد. همچنین، در راستای استدلال نتایج خروجی پژوهش حاضر، نتایج پژوهش قلم بالاتی و بیات (۱۳۹۱) برای انتشار آلاینده‌های دودکش شمارهٔ هشت کارخانه از طریق مدل Screen view[13]، نتایج مشابهی به دست آورده است؛ به طوری که بیشترین غلظت آلاینده‌ها را در فاصلهٔ ۱۰۰ متری از دودکش ثبت کرده است.

با نزدیک‌شدن به منبع انتشار (کارخانه)، میزان رسوب ذرات جامد افزایش می‌یابد. چنان‌که منصوری و موسویان (۱۳۸۷)، کارایی سیستم‌های غبارگیر را ارزیابی و روش‌های بهینهٔ کنترل ذرات معلق در کارخانهٔ سیمان درود را ارائه کردند، در پژوهش حاضر اضافه بر تأکید بر به کارگیری سیستم‌های فیلتری در کاهش انتشارات ذرات معلق، پیشنهاد می‌شود دست‌کم چند درصد از فضای اختصاص‌یافته برای احداث واحدهای تولیدی به فضای سبز تبدیل شود، زیرا کمربند سبز در تصفیهٔ غبار سیمان خروجی کارکرد دارد. هم‌اکنون وسعت فضای سبز کارخانه به میزانی است که بیشتر جنبهٔ زیباشناختی آن در نظر گرفته شده است و باید گونه‌هایی انتخاب شوند که کاربرد تصفیه‌ای بیشتری داشته باشند.

یادداشت

1. Weather Reaserches and Forcasts
2. The Air Pollution Model
3. Eddy Diffisiuvity/Mass Flux
4. OML; یک مدل مدرن گوسی پراکنش آلودگی است
5. Hybrid Plume Dispersion Model
6. Atmospheric Dispersion Modelling System
7. Environmental Protection Agency
8. A meteorological data preprocessor
9. A terrain preprocessor
10. Universal Transfers Mercator
11. Particulate Matter
12. Carbon Monoxide
13. Screen View is a Windows interface for the U.S. EPA screening model SCREEN3

منابع

اشرفی، خ. ۱۳۹۱. «مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های ذره‌ای از شرکت سیمان شمال»، طرح پژوهشی، دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران.

اشرفی، خ.، سلیمیان، م.، مؤمنی، م.، کرمی، ش.، امینی، ا. ۱۳۹۲. «مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های ناشی از کارخانهٔ آسفالت و دستگاه سنگ‌شکن پروژه‌های راه‌سازی»، (مطالعهٔ موردی: باند دوم محور سراب- بستان‌آباد)، مهندسی حمل و نقل، شمارهٔ چهارم، صص ۳۱۳- ۳۳۲.

اشرفی، خ.، شفیع‌پور، م.، سلیمیان، م.، مؤمنی، م. ۱۳۹۱. «تعیین میزان انتشار و مدل‌سازی نحوهٔ پراکنش آلاینده‌های ترکیبات آلی فرار ناشی از تبخیر سطحی از مخازن ذخیره‌ای واقع در منطقهٔ عسلویه»، محیط‌شناسی، سال ۳۸، شمارهٔ ۳، صص ۴۷- ۶۰.

بالاتی، ع. و بیات، ج. ۱۳۹۱. «بررسی آلاینده‌های صنعت سیمان و مدیریت و کنترل آن»، (مطالعهٔ موردی: کارخانهٔ سیمان تهران)، اولین کنفرانس بین‌المللی صنعت سیمان، انرژی و محیط‌زیست، تهران، دانشکدهٔ محیط‌زیست دانشگاه تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

دیانتی تیلکی، ر.، ابراهیمی، ع.، میرباقری، ا.، قنبری، ن. ۱۳۸۸. «بررسی انتشار و پراکنش آلاینده‌های منتشره از دودکش‌های نیروگاه نکا»، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، دانشکدهٔ بهداشت دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.

سازمان هواشناسی ایران. ۱۳۹۳. «آمار روزانهٔ عناصر جوی ایستگاه دوشان‌تپه در دورهٔ ۱۹۹۰– ۲۰۱۲»، تهران.

سلیمیان، م. ۱۳۹۰. «تخمین میزان انتشار ترکیبات آلی فرار از مخازن ذخیرهٔ مایعات نفتی فازهای ۹ و ۱۰ شرکت نفت و گاز پارس جنوب با نرم‌افزار TANKS4.0 و مدل‌سازی نحوهٔ پراکنش این آلاینده‌ها با مدل AERMOD»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.

شرکت سیمان تهران. ۱۳۹۱. «داده‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ انتشارات آلاینده‌های ذرات معلق»، گزارش سالانه.

شمسی‌پور، ع.، صیدی شاه‌آبادی، ا. ۱۳۹۱. «واکاوی روابط وارونگی دما و آلودگی هوای تهران در پاییز ۱۳۸۹»، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال سوم، شمارهٔ ۱۰، صص ۵۱– ۶۳.

شمسی‌پور، ع.، نجیب‌زاده، ف.، حسین‌پور، ز. ۱۳۹۱. «شبیه‌سازی الگوی پراکنش آلودگی هوای کلان‌شهر تهران در شرایط وزش باد، جغرافیا و مخاطرات محیطی»، سال اول، شمارهٔ ۴، صص ۱۹– ۳۶.

صادقی‌روش، م. ۱۳۸۵. «پراکنش آلودگی ناشی از گرد و غبار صنایع تولید سیمان بر روی خاک‌های حوزهٔ نفوذ»، (مطالعهٔ موردی: کارخانهٔ سیمان آبیک)، همایش خاک، محیط‌زیست و توسعهٔ پایدار، دانشگاه تهران، صص ۴۵۵– ۴۵۸.

صادقی‌روش، م.، خراسانی، ن. ۱۳۸۸. «بررسی آثار گرد و غبار ناشی از صنایع تولید سیمان بر تنوع و تراکم پوشش گیاهی»، (مطالعهٔ موردی: کارخانهٔ سیمان آبیک)، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، سال یازدهم، شمارهٔ ۱ (۴۰)، صص ۱۰۷– ۱۱۹.

عتابی، ف.، عباسپور، م.، کرباسی، ع.، حاجی سید میرزاحسینی، ع. ۱۳۸۶. «مدل‌سازی انتشار ذرات معلق با به کارگیری مدل – ADMS Urban»، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، سال سوم، شمارهٔ ۹ (۱)، صص ۱– ۱۵.

عمید، م. ۱۳۸۸. «مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های تولیدی در مجتمع پتروشیمی بوعلی سینا»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

علیزاده داخل، ا.، قویدل، آ.، پناهنده، م. ۱۳۸۸. «مدل سازی پخش ذرات معلق کارخانهٔ سیمان کرمان با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی»، فصلنامهٔ سلامت و محیط، سال اول، شمارهٔ ۳ (۱)، صص ۷۴– ۷۶.

کاظمی شهرابی، ن. ۱۳۹۱. «بررسی میزان آلایندهٔ خروجی TSP از دودکش‌های صنعتی توسط مدل‌سازی پراکنش انتشار آلودگی»، اولین کنفرانس بین‌المللی صنعت سیمان، انرژی و محیط‌زیست.

کاظمی شهرابی، ن.، نورپور، ع. ۱۳۹۳. «مدل‌سازی پراکنش آلاینده‌های هوای خروجی از دودکش کارخانهٔ سیمان ایلام»، نشریهٔ مهندسی عمران و محیط‌زیست، سال ۱۱، شمارهٔ ۴۴، شمارهٔ ۱.

منصوری، ن.، موسویان، م. ۱۳۸۷. «ارزیابی کارایی سیستم‌های غبارگیر و پیشنهاد روش بهینهٔ کنترل ذرات در کارخانهٔ سیمان درود»، نشریهٔ سیمان، سال پنجم، شمارهٔ ۱۵، صص ۴۹– ۵۵.

نجیب‌زاده، ف. ۱۳۹۰. «واکاوی آلودگی هوای تهران با شاخص‌های ترمودینامیکی»، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران.

یاری‌زاد، ب. ۱۳۹۲. «خصوصیات و نحوهٔ مدل‌سازی آلودگی هوا در بستهٔ نرم‌افزاری AERMOD»، مرجع مهندسی آلودگی هوای ایران.

Belcher, S.E. and Hunt, J.C.R. 1993. Turbulent shear flow over slowly moving waves, *J. Fluid Mech. Vol.* 251: pp. 109-148.

Berkowitz, S. 1985. Smoking and asthma. Pediatrics, vol. 76: pp. 654-655.

Kesarkar, A. P., Dalvi, M., Kaginalkar, A., Ojha, A. 2007. Coupling Of the Weather Resarch and Forecasting Model AERMOD for pollutant dispersion modeling: A case study for PM10 dispersion over pune, India . Journal of Atmospheric Environment, vol. 41: pp. 1976-1988

www.SID.ir

Archive of SID

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 Journal of Science of the Total Environment, vol. 408: pp. 373-381

Zawar-reza, p. Appelhans, T. Gharaylou, M. Shamsipour, A. 2010. meso scale control on particulate matter pollution for mega city in a semi-arid mountainous environment, environment and pollution, vol. 41: pp. 166-183.

Zhang, Q., Wei, Y., Tian, W., Yang, K. 2008. GIS- based emission inventories of urban scale: A case study of Hangzhou, China. Journal of Atmospheric Environment, vol. 42, pp. 5150- 5165

www.SID.ir