

کاربست مدل‌های SWEEP و AERMOD در شبیه‌سازی ریسک انتشار PM₁₀ از دپو مواد اولیه و پسماندهای صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه شهرستان اردکان یزد در سال ۱۳۹۷

سعید شجاعی برجوئی^{*}، حمیدرضا عظیم زاده، اصغر مصلح آرانی

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۰۴/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۲۶

چکیده

مقدمه: کاربرد مدل‌های کیفیت هوا در سیستم ارزیابی ریسک سلامت به عنوان ابزاری موثر در ارزیابی مواجهه جمعیت انسانی با عوامل زیان آور محیطی تعریف شده است. این تحقیق با هدف ارزیابی ریسک سلامت مواجهه تنفسی با PM₁₀ انتشاریافته از دپو مواد اولیه و پسماندهای تعدادی از صنایع کانی‌های غیرفلزی به روش مدل‌سازی انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه توصیفی ابتدا برای تخمین میزان نشر PM₁₀ از دپوهای صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه اطلاعات موردنیاز مدل SWEEP با بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی تهیه شد. سپس با ورود اطلاعات هوشمندی AERMAP، مدل رقومی ارتفاع به AERMOD، نرخ انتشار و ابعاد هندسی منابع آلاینده به PM₁₀ مقادیر مواجهه با PM₁₀ در جمعیت تحت تأثیر شبیه‌سازی شد. ترکیب شیمیایی دپوها با استفاده از ICP-MS تعیین گردید. متعاقباً با استفاده از روابط پیشنهادی EPA ریسک سرطان‌زاوی و غیرسرطان‌زاوی مواجهه با PM₁₀ تخمین زده شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج شبیه‌سازی مدل SWEEP بیشترین میزان نشر PM₁₀ برای دپو کارخانه کاشی و سرامیک تخمین زده شد. بیشترین ماسیم‌های غلظت یک، هشت و ۲۴ ساعته شبیه‌سازی شده PM₁₀ به ترتیب برابر با ۸۸۴، ۱۹۶۷ و ۱۲۷۲ µg/m³ است. بیشترین میانگین مواجهه تنفسی یک (۵۲/۵۳)، هشت (۱۱/۶۴)، ۲۴ (۵/۸۵) ساعته با PM₁₀ برای کارکنان کارخانه فرآوری (ILCR) شن و ماسه تخمین زده شد. بیشترین درصد ترکیب شیمیایی دپوها، سیلیس بود. بر این اساس، مقادیر ریسک سرطان‌زاوی (ILCR) مواجهه با PM₁₀ کوچکتر از ۱۰^{-۴} و ریسک غیرسرطان‌زاوی (HQ) کوچکتر از یک پیش‌بینی شد.

نتیجه گیری: اگرچه مقادیر عددی ریسک در محدوده مجاز پیش‌بینی شد اما می‌توان با ایجاد سنگفرش بر روی دپو صنایع تا حدودی میزان انتشار PM₁₀ را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: PM₁₀، SWEEP، AERMOD، ارزیابی ریسک سلامت، مواجهه تنفسی

*نویسنده مسئول: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد
ایمیل: said.shojaee71@gmail.com شماره تماس: ۰۹۱۲۸۳۶۸۴۳۶

بهداشتی آن برقرار کنند.^۷

امروزه یکی از برنامه‌های اصلی جهت شناسایی خطرات ناشی از ذرات معلق در محیط و تخمین اثرات آنها روی افراد ارزیابی ریسک سلامت است. در واقع ارزیابی ریسک سلامت فرآیندی علمی برای شناسایی و تخمین اثرات بالقوه یک عامل شیمیایی، فیزیکی، میکروبیولوژیکی یا حتی روانشناختی روی یک جمعیت مشخص انسانی، تحت شرایط معین و در یک دوره زمانی خاص می‌باشد، که یک روش منطقی برای تعیین اندازه کمی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از خطرات احتمالی بر روی جمعیت انسانی در معرض است.^۸ به طور کلی فرآیند ارزیابی ریسک سلامت شامل ۴ مرحله شناسایی خطر یا عامل خطر زا، روابط دوز - پاسخ یا دوز - اثر، ارزیابی مواجهه، توصیف ریسک است. طبق بررسی‌های انجام شده، روش‌های متعددی از جمله پایش محیطی، پایش فردی و پایش بیولوژیکی جهت برآورد میزان مواجهه افراد با عوامل خطر محیطی وجود دارد. در تمامی این روش‌ها میزان مواجهه افراد با عامل زیان آور محیطی به طور مستقیم سنجیده می‌شود.^۹ اما گاهی اندازه‌گیری مواجهه برای هر فردی در جمعیت مورد نظر به دلایل اقتصادی، فنی، لجستیکی و عملی امکان پذیر نیست. در سال‌های اخیر، کاربرد مدل‌سازی انتشار کیفیت هوا در سیستم ارزیابی ریسک سلامت به عنوان ابزاری موثر در تعیین میزان مواجهه افراد با عامل زیان آور تعریف شده است.^{۱۰} مدل‌سازی انتشار کیفیت هوا شامل شبیه سازی کامپیوتری است که غلظت آلاینده‌ها را از انواع منابع انتشار آلودگی پیش‌بینی می‌نماید.^{۱۱} استفاده از مدل در واقع یک توصیف ریاضی است که قابلیت پیش‌بینی مواجهه‌های انسانی و دیگر انواع مواجهات در غیاب داده‌های پایشی کامل یا دیگر داده‌ها دارد.^{۱۲} امروزه مدل‌سازی آلودگی هوا به ابزاری اساسی و قدرتمند در مطالعات آلودگی هوا خصوصاً در پیش‌بینی وضعیت آلودگی هوا و نحوه انتشار آلاینده‌ها و غلظت آن‌ها تحت شرایط مختلف و مکان‌های

مقدمه

صنایع کانی‌های غیرفلزی به عنوان صنایع اصلی در شکوفایی اقتصاد کشور، یکی از منابع عمده انتشار ذرات معلق در محیط به شمار می‌روند.^۱ در واقع اجرای برنامه‌های توسعه این دسته از صنایع بدون در نظر گرفتن ملاحظات محیط‌زیستی در کنار نبود ضوابط روشی و همچنین اجرای ضعیف برخی قوانین موجود جهت حفاظت از محیط زیست، باعث قرارگیری آنها در لیست صنایع آلاینده شده است.^۲ بنابراین پایش و نحوه انتشار ذرات معلق از این صنایع و نیز اثرات بهداشتی آن بر افراد و سایر خطرات محیطی بر تأسیسات و فرایند کترل آنها از مباحث مهم مورد توجه پژوهشگران و کارشناسان حوزه محیط‌زیست و بهداشت محیط است.

بر اساس آمارهای جهانی ارائه شده، حدود ۸٪ مرگ‌های ناشی از سرطان ریه، ۳٪ مرگ‌های ناشی از عفونت‌های تنفسی و ۵٪ از مرگ‌هایی که به واسطه بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی رخ می‌دهد، به دلیل وجود ذرات معلق ریز در هوا است که این بار بیماری در کشورهای در حال توسعه محسوس‌تر است.^۳ مطالعات بسیاری وجود دارد که تائیدکننده رابطه مستقیم معنی دار بین میزان مواجهه کوتاه مدت و بلند مدت با ذرات معلق و پیشرفت بیماری‌های تنفسی، قلبی، عروقی و افزایش بروز سرطان ریه، بیماری‌های انسداد مزمن ریوی (COPD) - Pulmonary Disease در کودکان و بزرگسالان است.^۴ zolghi و همکاران بیان داشتند با افزایش هر $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ غلظت PM_{10} خطر بیماری‌های قلبی - عروقی متناسب در شهر تبریز ۰/۹٪ افزایش می‌یابد.^۵ طی مطالعه Pope و همکاران در ایالت متحده مشخص شد که غلظت‌های بالای ذرات با ریسک افزایش بستره شدن بیماران قلبی در ارتباط است.^۶ در مطالعه دیگر، Geravandi و همکاران توانستند رابطه‌ای مستقیمی بین غلظت مواجهه با PM_{10} با اثرات

AERMOD به یک ارزیابی جامع از میزان مواجهه افراد با PM₁₀ و ارزیابی ریسک سلامت آن بر انسان دست یابند. در مطالعه Shojaee Barjoe و همکاران با استفاده از مدل AERMOD مواجهه تنفسی افراد با PM₁₀ انتشاریافته از دودکش‌های صنایع کاشی و سرامیک پایین تر از حد مجاز استاندارد WHO تخمین زده شد. همچنین در این مطالعه احتمال وقوع ریسک‌های سرطان زایی و غیرسرطان زایی در Shafie افراد در محدوده مجاز پیش بینی شد.⁹ در پژوهش Pour و همکاران بر روی پایانه مسافربری بیهقی از مدل AERMOD جهت شیوه سازی مواجهه تنفسی با PM₁₀ در رانندگان، کارکنان محوطه، کارکنان اداری و مسافران استفاده شد و نتایج تحقیق آنها نشان داد ریسک‌های سرطانی رانندگان در سطوح غیر ایمن قرار دارد.¹⁰ در تحقیقاتی، جهت ارزیابی ریسک مواجهه تنفسی با PM₁₀ از روش نمونه برداری مستقیم از هوا استفاده شده است. نمونه‌ای از چنین مطالعات می‌توان به پژوهش Mohammed با هدف ارزیابی ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی شهر ماخته عربستان سعودی اشاره نمود. نتایج تحقیقات Mohammed نشان داد ریسک‌های سرطانی و غیر سرطانی مواجهه با PM₁₀ در کودکان و بزرگسالان قابل قبول است.¹¹

Shojaee Barjoe و همکاران ریسک‌های غیر سرطانی مواجهه شغلی کارگران یک واحد صنعتی تولید خاک چینی با ذرات معلق در گروه‌های شغلی اپراتور یک (۵۳۴) و دو (۴۷۹) دستگاه سنگ‌شکن، اپراتور بارگیری دستگاه سنگ‌شکن (۸۴۹)، اپراتور درایر (۱۹۱)، اپراتور دوغاب (۳۰۱) و اپراتور فیلترپرس (۱۷۸) بیش از حد مجاز به دست آوردند.¹² De Donno و همکاران ریسک‌های غیرسرطانی مواجهه تنفسی شهروندان با PM₁₀ در سه شهر ایتالیا در سطوح ایمن پیش بینی نمودند.¹³ همچنین نتایج بررسی Bhagia درباره ریسک‌های سرطانی مواجهه غیرشغلی با سیلیس کریستالی در PM₁₀ انتشار یافته از معدن شن ماسه

دلخواه تبدیل شده است.¹⁴ به این ترتیب روش مدل‌سازی انتشار کیفیت هوا در سیستم ارزیابی ریسک سلامت این امکان را فراهم می‌آورد که سبب کاهش هزینه‌های اقتصادی و زمانی نمونه برداری از میزان مواجهه افراد شود.

مدل‌های آلدگی هوا در مطالعات متعددی با اهداف ویژه استفاده گردیده است. در برخی تحقیقات کاربرد مدل SWEEP جهت تخمین نرخ انتشار PM₁₀ از منابع آلاینده‌های سطحی به منظور ارائه استراتژی‌های کنترل غبار، منعکس شده است. نمونه‌ای از چنین تحقیقات می‌توان به پژوهش Tatarko و همکاران جهت تخمین نرخ انتشار PM₁₀ از اراضی مخروبه با طراحی چهار سناریوی مدیریتی اشاره نمود. نتایج این محققان نشان داد، نرخ انتشار PM₁₀ از اراضی مخروبه در حالتی که بادشکن وجود ندارد برابر با 0.13 kg/m^2 است اما در سه حالت ایجاد بادشکن خلاف جهت باد غالب منطقه upwind and (upwind, mid-field)، خلاف جهت باد غالب - وسط (mid-field)، خلاف جهت باد غالب - وسط - در جهت باد غالب (upwind, mid-field and downwind) به ترتیب نرخ انتشار PM₁₀ برابر با $0.12, 0.06$ و 0.05 kg/m^2 است.¹⁵

Jia و همکاران توانستند با استفاده از مدل SWEEP نرخ انتشار PM₁₀ از پسماندهای آبیک Dam برابر با 0.26 kg/m^2 نصب شیوه سازی نمایند. دستاورد تحقیق آنها نشان داد، نصب بادشکن‌های ۸۰۰ متری در کناره‌های غربی باطله‌ها در جهت باد غالب منطقه باعث کاهش انتشار ذرات معلق در هوا می‌شود.¹⁶ Chung و همکاران توانستند با اجرا مدل SWEEP به مدل‌سازی کیفیت هوا جهت شیوه سازی غلظت ذرات معلق اتمسفری در طی رخداد طوفان‌های گرد و غبار در سراسر کشورهای شمال غربی اقیانوس آرام بپردازند.¹⁷ همچنین در مطالعه Behbahani از مدل SWEEP جهت تخمین، ارزیابی ریسک و خطر PM₁₀ انتشار یافته از خاک‌های دانمارک طی رخدادهای فرسایس بادی استفاده شده است.¹⁸

در تحقیقات دیگر، محققین توانسته اند با استفاده از مدل

صنعتی است. با اخذ اطلاعات هواشناسی از مرکز تحقیقات هواشناسی استان یزد، جهت باد غالب منطقه از سمت شمال به سمت جنوب با سرعتی برابر با $8/80 \text{ m/s}$ - $5/70 \text{ m/s}$ تعیین گردید. بر اساس روش Dumbarton اقلیم منطقه خشک و فرا-سرد بوده و با متوسط بارش سالیانه کمتر از 60 mm از کمترین پوشش گیاهی برخوردار است.^{۹,۱۰}. کمبود منابع آب در این منطقه به همراه تبخیر بسیار بالا باعث شده تا رفته رفته زمینه اشتغال در حوزه کشاورزی کاهش یابد و به موازات آن به دلیل وجود منابع سرشار معدنی، صنایع مختلفی ایجاد شود. تخلیه پسماندهای صنعتی و دپو مواد اولیه به همراه وقوع طوفان‌های گرد و غبار زمینه ورود آلودگی به سطح شهر شده است.^{۱۱,۱۲}.

مدل ضریب انتشار SWEEP

Single- – SWEEP زیر مدل تک رخداد فرسایش بادی (Event Wind Erosion Evaluation Program) بخش مستقلی از مدل WEPS (Wind Erosion Prediction System) بوده که قادر به شبیه سازی مواد معلق در هوا (Suspended material), میزان خرز (Creep) و جهش (Saltation) ذرات در یک ناحیه مستطیلی شکل شبکه‌ای در واکنش به سرعت و جهت باد، شرایط سطحی، جهت گیری ناحیه مستطیلی شکل است.^{۲۲} در این مدل تلفات خاک/رسوب به دو مولفه خرز/جهش و معلق در هوا تقسیم بندی می‌شوند. در نهایت سطح زمین به طور دوره‌ای برای شبیه سازی تغییرات ناشی از فرسایش به روز می‌شود.^{۱۲} جهت شبیه سازی، ابتدا مدل SWEEP سرعت اصطکاک آستانه را تخمین زده و سپس زمانی که سرعت اصطکاک بیشتر از سرعت اصطکاک آستانه باد باشد، شبیه سازی را آغاز می‌کند. سرعت اصطکاک از روی سرعت بسیار پایین باد، زیری آئرودینامیکی و پوشش گیاهی (در صورت وجود) قابل محاسبه است. سرعت اصطکاک آستانه در مدل SWEEP به عنوان سرعتی از باد

کالیفرنیا نشان داد گزارشی در ارتباط با بیماری سیلیکوزیس در ساکنین اطراف وجود ندارد.^{۲۰}

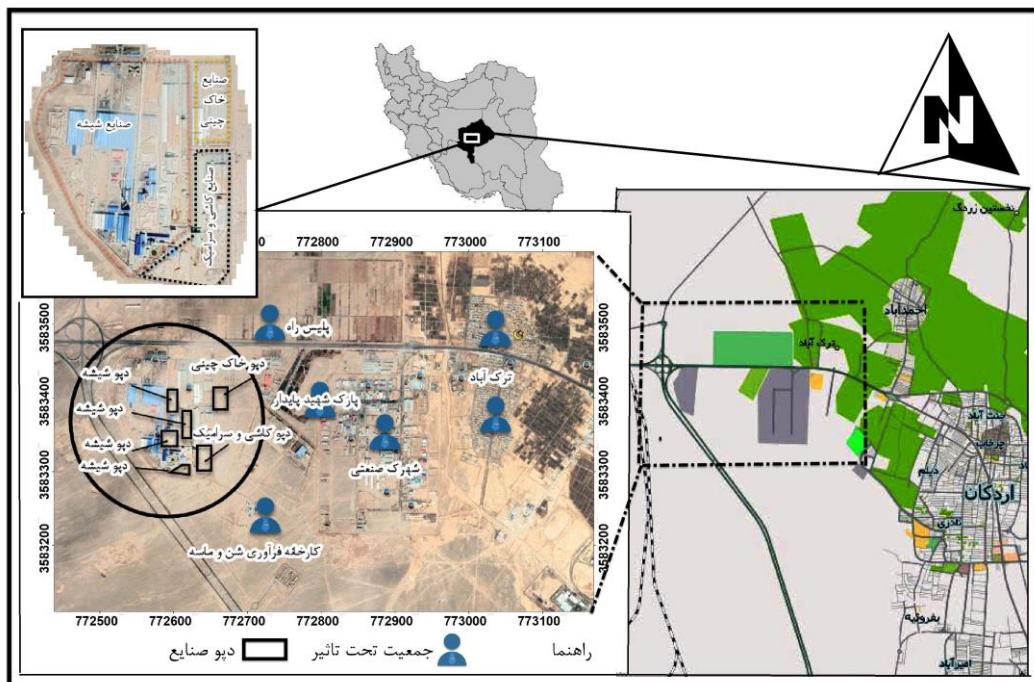
اگر چه تاکنون مطالعه‌ای در کشور در رابطه ارزیابی ریسک مواجهه تنفسی با PM_{10} ناشی از منابع آلینده سطحی انسان زاد به روش مدل‌سازی انجام نشده است، با این حال این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک مواجهه ساکنین منطقه با PM_{10} انتشاریافته از دپو مواد اولیه و پسماندهای صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه در شهرستان اردکان با استفاده از دو مدل AERMOD و SWEEP انجام شده است. بدون شک نتایج این تحقیق نشان دهنده اثرات بهداشتی پسماندها و مواد اولیه بر ساکنین منطقه خواهد بود و رویکردی مدیریتی در راستای کاهش انتشار ذرات معلق از این منابع آلینده سطحی ارائه خواهد داد.

مواد و روش‌ها

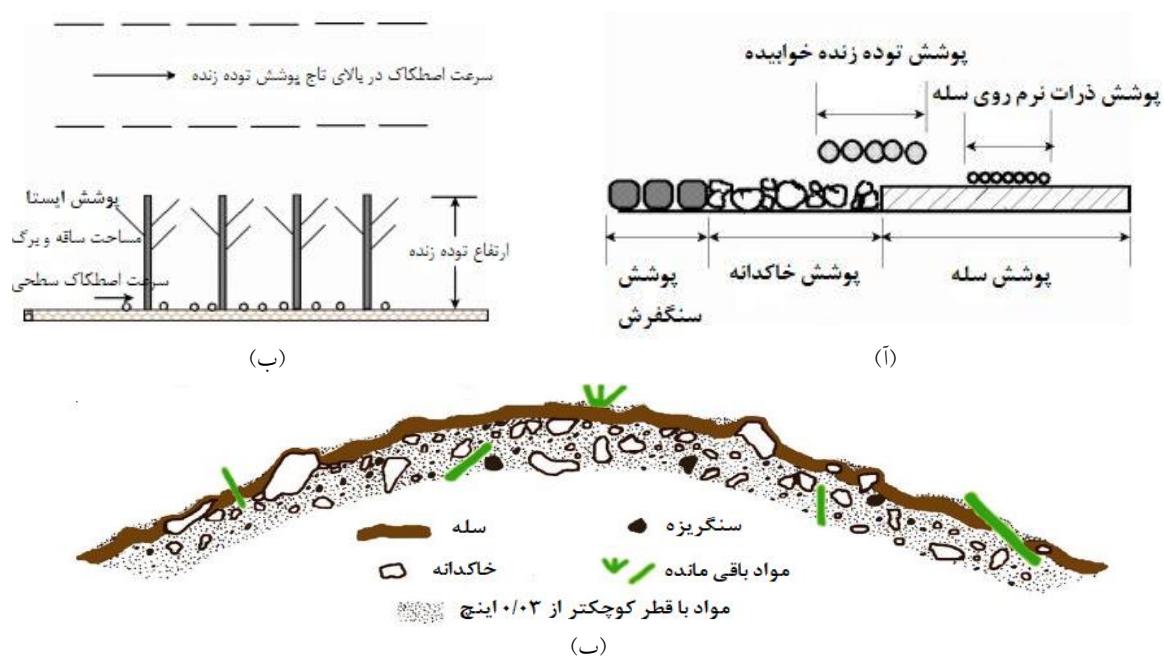
معرفی منطقه مورد مطالعه: این مطالعه توصیفی در بخش شمال غربی شهرستان اردکان استان یزد بر روی دپو مواد اولیه و پسماند تعدادی از صنایع کانی‌های غیرفلزی شامل صنایع شیشه، خاک چینی و کاشی سرامیک صورت گرفت. با بررسی عکس‌های هوایی منطقه در نرم افزار Google Earth مختصات جغرافیایی صنایع مورد بررسی به صورت "۱۹°۵۴' ۳۲° ۵۵'۲۶" شمالی و "۵۳° ۵۵'۲۶" شرقی برای صنایع خاک چینی و "۲۰°۰'۸" ۳۲° شمالی و "۵۳° ۵۵'۳۹" شرقی برای صنایع خاک چینی و "۱۹°۵۳' ۳۲° ۵۵'۳۹" شمالی و "۵۳° ۵۵'۳۹" شرقی برای صنایع کاشی سرامیک تعیین گردید (شکل ۱). همچنین مختصات جغرافیایی محدوده انتخابی با مساحت $84/89 \text{ Km}^2$ برای مدل سازی پراکنده PM_{10} به صورت "۲۰°۵۰' ۳۲° ۱۸'۴۴" شمالی و "۵۳° ۲۳' ۵۳° ۵۷'۰۴" شرقی تعیین گردید که در برگیرنده انواع مختلفی از کاربری‌ها اعم از کشاورزی، پارک، مرتع و بیابان، منطقه مسکونی و شهرک

زنده به طور تصادفی پوشانیده شده است. در صورت وجود پوشش گیاهی، این پارامتر به عنوان توده زنده در مدل قابل تعریف است. در این پارامتر توزیع یکنواخت توده زنده ایستاده ۵ تا ۱۰ بار نسبت به زیست توده خوابیده در کترل فرسایش باد مؤثر است. سرعت تماسی باد در بالای توده زنده ایستا به دلیل وجود ساقه‌ها و برگ‌ها کاهش یافته و مقدار آن برای برآورده فرسایش در سطح خاک استفاده می‌شود. برگ‌ها با شاخص سطح برگ و ساقه‌ها با شاخص تعداد در واحد سطح بیان می‌شود (شکل ۲ بخش (ب)). رطوبت خاک سطحی از باعث افزایش سرعت اصطکاک آستانه (در آغاز فرسایش)، استفاده می‌شود. تراکم خاکدانه و توزیع اندازه آنها تعیین کننده میزان تحرک خاک در سطح است. پایداری مکانیکی خشک کلوخه‌ها و سله از دیگر پارامترهای هستند که نشان دهنده مقاومت آنها در برابر سایش ناشی از برخورد ذرات فرسایش یافته است.^{۲۲}

است که باعث جابجایی یا جهش خاکدانه‌های زیاد در سطح می‌شود^{۲۳}. در مدل SWEEP زیری سطح (Surface Roughness) به دو شکل زیری تصادفی (Random Roughness) و زیری ردیفی یا جهت دار (Oriented Roughness) قابل تعریف است. زیری تصادفی از طریق انحراف استاندارد ارتفاعات سطح و زیری ردیفی یا جهت دار با توجه به جهت، ارتفاع، فاصله بین ردیف‌ها پوشش خاک قابل تعیین است. مطابق شکل (۲) بخش (آ) و (پ) پوشش سطح مستعد تولید غبار در سه سطح نشان داده شده است. سطح اول شامل پوشش سنگفرش (Surface Crust)، خاکدانه (Aggregates) و سله (rock) است که به صورت درصد پوشش بیان می‌شود. سطح دوم، شامل بخشی از پوشش سطحی سله با مواد نرم فرسایش پذیر است. در شرایطی که سله وجود ندارد این پارامتر صفر در نظر گرفته می‌شود. در سطح سوم، بخشی از کل سطح است که با توده

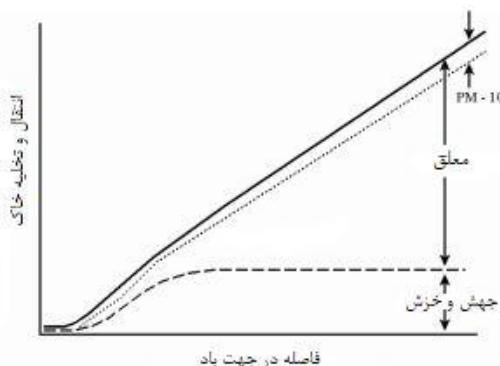


شکل ۱: موقعیت دبو صنایع شیشه، کاشی سرامیک و خاک چینی، کاربری اراضی و جمعیت تحت تاثیر در نرم افزار Google Earth



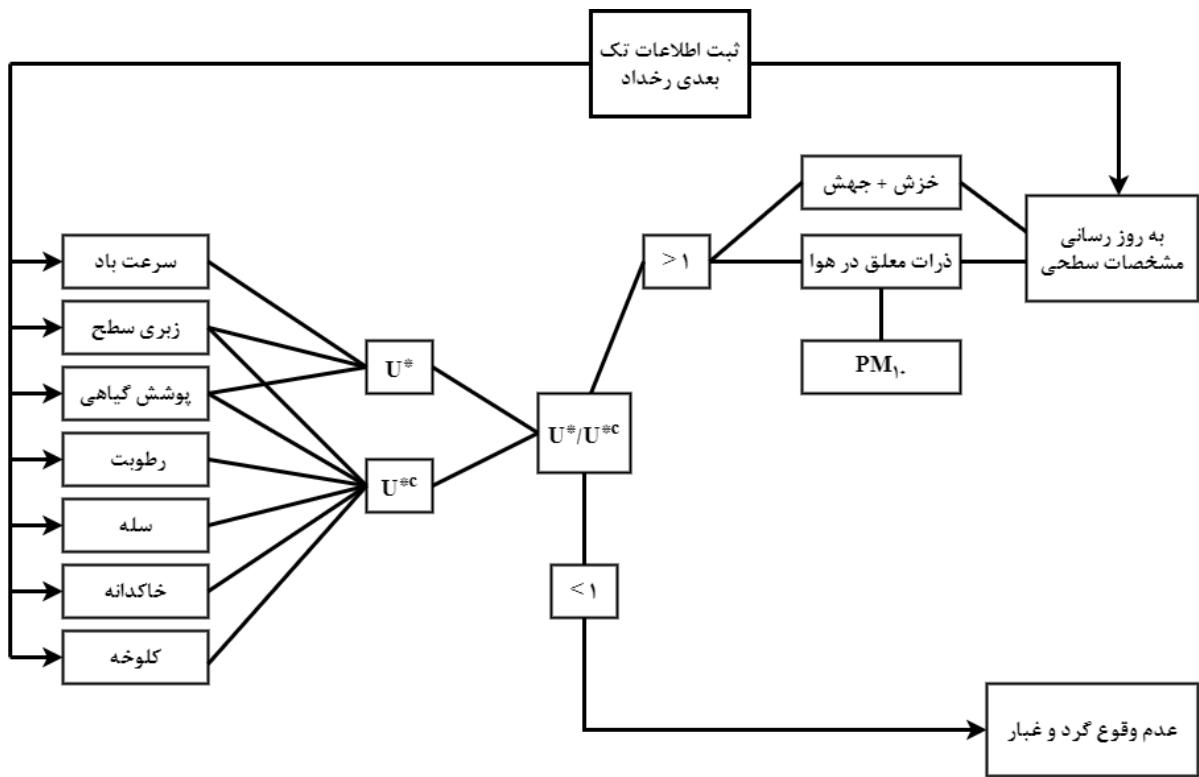
شکل ۲: بخش (آ) نمایانگر اجزاء پوشش سطحی خوابیده خاک به عنوان ورودی‌های مدل SWEEP است.^{۲۲} بخش (ب) سرعت اصطکاک سطحی در بالای توده زنده ایستا که با رشد ساقه و برگ نسبت به سرعت اصطکاک سطحی در زیر توده زنده ایستا کاهش می‌یابد.^{۲۲} بخش (پ) نمایی از پروفیل خاک حاوی سله، سنگریزه، خاکدانه، مواد باقی‌مانده و بستر حاوی ذرات کوچکتر از $0.03\text{ }\mu\text{m}$ اینچ است.^{۲۴}

هوای کند. در مدل SWEEP ذرات معلق و PM_{10} در هر سلول از شبکه مستطیلی شکل محاسبه می‌شود. اطلاعات سلول‌های شبکه به صورت خروجی ارائه و متوسط آن در سطح مستطیل برای پریود زمانی مورد نظر ارائه می‌شود.^{۲۲} در شکل (۴) نمایی کلی از فرآیند شبیه‌سازی مدل SWEEP ارائه شده است.



شکل ۳: نمودار ترانسکت خطی ظرفیت انتقال برای ذرات جهشی/خرشی و معلق^{۲۲}

انتقال ذرات خاک در خلال فرسایش در سه حالت رخ می‌دهد: خاکدانه‌ها در اندازه خزشی (با قطر 2 mm) که روی سطح خزش می‌کنند. خاکدانه‌های جهشی (mm $0.01\text{--}0.04$) که روی سطح جهش می‌کنند و خاکدانه‌های معلق با اندازه کمتر از 0.1 mm که در اثر تلاطم جریان به صورت معلق جا بجا می‌شوند. با تغییر در سرعت تماسی و اصطکاکی، وزن مخصوص خاکدانه‌ها و رسوبات مقدار ماده انتقالی با حالت‌های مختلف تغییر می‌کند. بخش معلق اغلب به صورت ذرات کوچکتر از $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM₁₀) شبیه‌سازی می‌شود. متداول ترین حالت تخلیه و جایه جایی شبیه‌سازی شده در یک ترانسکت (قطع طولی) خطی مطابق شکل (۳) است. انتقال ذرات به صورت معلق در جهت وزش باد حتی در شرایطی که محدودیت ظرفیت انتقال جهشی/خرشی وجود داشته باشد ادامه پیدا می‌کند. چرا که منشاء ذرات در اندازه معلق عموماً در سطح زمین فعال است و این ذرات را وارد



شکل ۴: نمایی از ورودی‌های مدل SWEEP جهت تعیین دو پارامتر U^* سرعت اصطکاک (m/s) و U^*/U^{*c} سرعت اصطکاک آستانه (m/s) و نمایش خروجی‌های آن.^{۲۲}

توزیع چگالی دو گاووسی تعریف می‌شود. در زمین‌های ناهموار مدل AERMOD از مفاهیم تقسیم خطوط جریان استفاده کرده و غلظت نهایی را از مجموع وزنی غلظت‌های حاصل از دو حالت پلوم افقی و پیرو عوارض زمین تعیین می‌کند که در زمین‌های صاف هر دو حالت یکسان هستند. این مدل از هسته اصلی پردازش AERMOD جهت تخمین غلظت آلاینده و از پیش پردازندۀ‌های AERMET جهت تخمین پارامترهای لایه مرزی جو و AERMAP جهت تجزیه تحلیل اطلاعات توپوگرافی منطقه استفاده می‌کند.^{۲۳}

ماژول هواشناسی AERMET

این پیش پردازندۀ در واقع نسخه کامل شده پردازشگر هواشناسی برای مدل‌های تنظیمی (MPRM) -

کاربریت مدل AERMOD

مدل AERMOD یک مدل پراکندگی گوسی در شرایط پایدار (Steady-state dispersion model) است که برای تعیین غلظت آلاینده‌های محیطی مختلف در مناطق صنعتی، شهری و روستایی، صاف و ناهموار و منابع آلاینده نقطه‌ای، حجمی و انواع مختلف منابع سطحی قابل استفاده است. دامنه مدل‌سازی در این مدل تا ۵۰ km است و بیشتر از ۵۰ km نتایج از دقت پایین تری برخوردار است.^{۲۴} در این مدل فرض بر این است که توزیع غلظت در لایه مرزی پایدار (Stable Boundary Layer – SBL) در هر دو جهت قائم و افقی همانند توزیع غلظت در جهت افقی در لایه مرزی همرفتی (Convective Boundary Layer – CBL) گاووسی است. اما در CBL توزیع غلظت در جهت قائم با یک تابع

باد بیشتر از 8 m/s بود استخراج گردید و به مدل SWEEP داده شد. همچنین قابل ذکر است پارامتر توده زنده به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی بر روی دپوها صفر در نظر گرفته شد. سایر اطلاعات ورودی مدل SWEEP در جدول ۲ ارائه شده است.

بعد از شبیه سازی نرخ انتشار، جهت ترسیم نقشه‌های پراکندگی، تخمین مواجهه افراد، بیشینه‌های غلط و متوسط غلط PM_{10} در منطقه برای بازده‌های زمانی یک، هشت و ۲۴ ساعته از سیستم مدل سازی AERMOD استفاده شد.

با اخذ اطلاعات هواشناسی از مرکز تحقیقات هواشناسی استان یزد، ابتدا داده‌های میانگین سه ساعته سرعت باد، جهت باد، ابرناکی، دمای هوای خشک، فشار ایستگاه و رطوبت نسبی توسط پیش پردازنده AERMET از فرمت اکسل به فرمت مناسب sam. تبدیل گردید. به دلیل عدم اندازه‌گیری داده‌های جو بالا توسط ایستگاه هواشناسی سینوپتیک از گزینه پیش فرض مدل (Upper Air Estimator) جهت تخمین این داده‌ها استفاده شد. همچنین مشخصات سطحی کاربری‌های موجود در منطقه برای ۴ فصل سال تا شعاع سه کیلومتری از صنایع به پیش پردازنده AERMET داده شد (جدول ۲). با اجرای AERMET دو فایل به فرمت PFL و SCF. تهیه و به مدل اصلی داده شد. با توجه به مسطح بودن منطقه مورد مطالعه و عدم وجود عوارض ارتفاعی ناهموار (Complex terrain) قابل توجه از DEM~90m برای اجرا استفاده شد. در نهایت برای اجرای AERMAP شبکه‌ای کارتزین با ۴۴۴ پذیرنده به همراه ۶ پذیرنده مجرزا در نقاطی خاص که محل استقرار جمعیت تحت تاثیر بود، برای مدل مشخص گردید. همچنین اطلاعاتی دیگر نظیر ارتفاع و مساحت دپوها و نرخ انتشار PM_{10} بر حسب g/s برای مدل اصلی تعریف شد. در نهایت خروجی‌های یک، هشت و ۲۴ ساعته بر حسب میکروگرم بر متر مکعب برای روزهای طوفانی تهیه شد. اطلاعات بیشتر درباره ورودی‌های مدل

(Meteorological Processor for Regulatory Models) بوده که با تغییراتی در محاسبات پارامترهای لایه مرزی و در نظر گرفتن الگوریتم‌های جدیدی به منظور تاثیرات فروننشست آلاینده‌ها به AERMET تغییر نام داده است^{۲۷}. پیش پردازنده AERMET با گرفتن داده‌های خام هواشناسی سطحی و جو بالا، پس از کنترل کیفیت و ادغام داده‌ها، اقدام به محاسبات برخی پارامترهای لایه مرزی نظیر طول مونین - ابوخوف (Monin-Obukhov)، ارتفاع اختلاط همرفتی و مکانیکی، مقیاس سرعت همرفتی و غیره می‌نماید که به صورت خروجی وارد مدل AERMOD خواهد شد. در پیش پردازنده AERMET در شرایطی که اطلاعات جو بالا در دسترس نیست، این قابلیت وجود دارد که با توجه اطلاعات هواشناسی سطحی، محاسبات پارامترهای لایه مرزی صورت بگیرد که این مهم بر اساس فرمول‌های تجربی و نیمه تجربی ارائه شده انجام می‌شود^۹.

ورودی مدل‌های SWEEP و AERMOD

منابع سطحی آلاینده در این تحقیق شامل چهار دپو مربوط به صنعت شیشه سازی، یک دپو برای صنعت خاک چینی و یک دپو مربوط به صنعت کاشی سرامیک است. اطلاعات موقعیت مکانی و پارامترهای ژئومتریک دپوهای مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است.

ابتدا با استفاده از فرمول حد کفایت نمونه کربز با خطای 10% ، t برابر با $1/96$ مجموعاً ۱۸ نمونه خاک برای اجرای این تحقیق محاسبه شد^{۲۸}. سپس نمونه‌های از خاک سطحی دپوها از لایه $0-10 \text{ mm}$ خاک به روش نمونه برداری تصادفی برداشت گردید. پس از انجام مراحل اندازه‌گیری‌های میدانی و عملیات آزمایشگاهی اطلاعات مورد نیاز برای تخمین نرخ انتشار PM_{10} بر حسب g/s به مدل SWEEP داده شد. در این تحقیق با بررسی اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹۷ اطلاعات سرعت باد، جهت باد و میانگین دمای در روزهای که سرعت

و انحراف معیار در نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ صورت گرفت. AERMOD در جدول ۳ ارائه شده است. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری این پژوهش شامل حداقل، حداکثر، میانگین

جدول ۱: اطلاعات موقعیت مکانی و پارامترهای ژئومتریک دپو صنایع مورد مطالعه

ارتفاع تقریبی (m)	مساحت (m ²)	موقعیت مکانی		دپو
		Y	X	
۲	۳۱	۳۵۸۰۴۱۹	۷۷۵۴۰۸	شیشه
۳	۱۹	۳۵۸۰۴۶۲	۷۷۵۶۹۷	شیشه
۲	۶۲	۳۵۸۰۶۴۹	۷۷۵۷۰۹	کاشی و سرامیک
۲	۳۲	۳۵۸۰۷۶۴	۷۷۵۲۳۱	شیشه
۲	۶	۳۵۸۱۳۳۱	۷۷۵۶۱۹	خاک چینی
۲	۲۶	۳۵۸۰۸۹۱	۷۷۵۴۷۸	شیشه

جدول ۲: مشخصات سطحی (آلبیدو، نسبت باون و زبری سطح) کاربری اراضی منطقه در فصول مختلف سال

فصل	قطع	ابتداء قطاع (درجه)	انتهای قطاع (درجه)	نوع کاربری اراضی	آلبیدو	نسبت باون (بی بعد)	زبری سطح (m)
زمستان	۱	۴۰	۷۵	زراعی	۰/۶	۱/۵	۰/۰۱
	۲	۷۵	۱۳۵	شهر	۰/۳۵	۱/۵	۱
	۳	۱۳۵	۱۳۵	بیابان	۰/۴۵	۶	۰/۱۵
بهار	۱	۴۰	۷۵	زراعی	۰/۱۴	۰/۳	۰/۰۳
	۲	۷۵	۱۳۵	شهر	۰/۱۴	۱	۱
	۳	۱۳۵	۱۳۵	بیابان	۰/۳	۳	۰/۳
تابستان	۱	۴۰	۷۵	زراعی	۰/۲	۰/۵	۰/۰۲
	۲	۷۵	۱۳۵	شهر	۰/۱۶	۲	۱
	۳	۱۳۵	۱۳۵	بیابان	۰/۲۸	۴	۰/۰۳
پاییز	۱	۴۰	۷۵	زراعی	۰/۱۸	۰/۷	۰/۰۵
	۲	۷۵	۱۳۵	شهر	۰/۱۸	۲	۱
	۳	۱۳۵	۱۳۵	بیابان	۰/۲۸	۶	۰/۰۳

جدول ۳: خلاصه‌ای از اطلاعات ورودی مدل‌های SWEEP و AERMOD و پیش‌پردازندۀ‌های AERMAP و AERMET

بردازندۀ	مدل / پیش‌اطلاعات ورودی	روش جمع آوری اطلاعات	توضیحات
SWEEP	درصد رس، سیلت و شن، شن خیلی ریز، سنگریزه وزن مخصوص ظاهری حادقل، حداکثر و قطر میانه خاکدانه	آزمایشگاه آزمایشگاه آزمایشگاه	به روش هیدرومتری و GR گراف تعیین شد به روش ارشمیدوس اندازه‌گیری شد به روش سری الک و GR گراف تعیین شد
AERMOD	مشخصات بادشکن شامل تعداد، تخلخل و عرض بادشکن مساحت دپوها و زاویه آزموت استقرار آنها زیری تصادفی المارس اطلاعات اقیمه‌ی شامل حداکثر سرعت و جهت باد (پیش‌تر از s) و میانگین دمای روزانه	- بازدید میدانی بازدید میدانی بازدید میدانی	- به روش پین مترا تعیین شد دریافت اطلاعات از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مبید
AERMET	تعريف مختصات ورتکس، مساحت، ارتفاع و نرخ انتشار از دپوها	تلغیقی از اندازه‌گیری‌های نرخ انتشار PM_{10} در SWEEP میدانی و شبیه سازی نرم افزار	تعريف در پردازندۀ اصلی شش گیرنده مجزا به ارتفاع $1/5$ m در مدل تعريف گردید.
AERMAP	سرعت و جهت باد، ابرناکی، رطوبت نسبی، فشار ایستگاه هوای خشک	اندازه‌گیری‌های میدانی دریافت اطلاعات از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مبید	تعريف در پیش‌پردازندۀ سه قطاع با زوایای $40-75^{\circ}$ برای کاربری‌های زراعی، $75-135^{\circ}$ شهر و $135-40^{\circ}$ بیان تعريف شد.
DEM~90mSRTM ³	تعیین مشخصات سطحی قطاع شامل آلبیدو، نسبت باون، زبری سطح برای هر کاربری	تعريف در پیش‌پردازندۀ مقادیر این پارامترها به طور مستقیم توسط پیش‌پردازندۀ برای چهار فصل سال تهیه شد	نحوه DEM به صورت آنلاین توسط پیش‌پردازندۀ تهیه شد.

می‌گذرانند، کارکنان کارخانه روباز فرآوری شن و ماسه، نگهبانی مستقر در بخش ورودی کارخانه کاشی و سرامیک، کارکنان در شهرک صنعتی اردکان و پلیس راه اردکان بود. برای ارزیابی ریسک سرطانی مواجهه با PM_{10} محاسبات بر اساس رابطه (۱) و ریسک غیرسرطانی بر اساس روابط (۲) و (۳) صورت گرفت. این روابط بر اساس مدل پیشنهادی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده استخراج شده است.^{۲۹}

در این پژوهش برای انجام ارزیابی ریسک سلامت، نمونه‌های خاک به آزمایشگاه مرکزی زرآزم ارسال گردید تا غاظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شود.

ارزیابی ریسک سلامت

در این تحقیق جمعیت تحت تاثیر (مواجهه با PM_{10}) شامل بزرگسالان و کودکان ساکن در روستا ترک آباد و افرادی که اکثر اوقات فراغت خود را در پارک شهید پایدار

$$\text{ILCR} = [(C \times BR \times DS \times EF \times ED) \div (BW \times AT \times 365)] \times SF \quad (1)$$

$$EC = (CA \times ET \times EF \times ED) \div AT \quad (2)$$

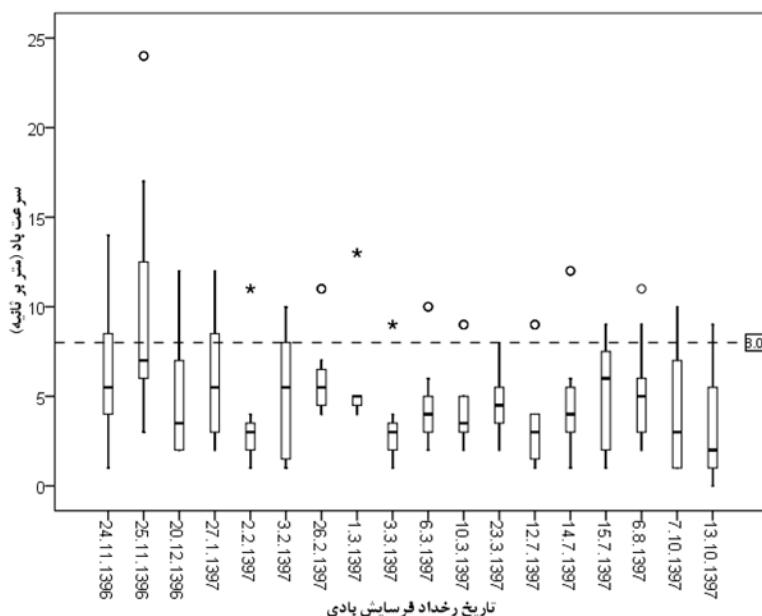
$$HQ = EC \div RfC \quad (3)$$

محاسبه ریسک‌های سرطانی در نظر گرفته شد. وزن بدن برای کودکان و بزرگسالان به ترتیب ۱۵ و ۷۰ kg در نظر گرفته شد.^{۳۰} فاکتور شیب سرطان برای مهمترین عامل شیمیایی سرطان زا که بیشترین درصد در PM_{۱۰} دارد. در ارزیابی ریسک بهداشتی غیرسرطانی اگر مقادیر ریسک بالاتر از عدد یک گردد، ریسک بالاتر از حد مجاز و غیرقابل قبول است و اگر مقادیر ریسک کمتر از یک شود، ریسک کمتر از حد مجاز و قابل قبول می‌گردد.^۱ بر اساس مرجع پیشنهادی EPA، در صورتی که مقادیر عددی ILCR بیشتر از ۱۰^{-۴} شود، وقوع ریسک‌های سرطانی در منطقه زیاد است. در صورتی که مقادیر عددی ILCR در محدوده ۱۰^{-۴} تا ۱۰^{-۶} باشد ریسک متوسط و اگر کوچکتر از ۱۰^{-۶} باشد، ریسک پایینی در منطقه وجود دارد.^{۲۹}

یافته‌ها

نمودار جعبه‌ای سرعت باد، جهت باد و دما در روزهای که سرعت باد بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی (۸ m/s) است در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) نشان داده شده است. مطابق نتایج در مجموع ۱۸ روز وجود دارد که سرعت باد بیشتر از ۸ m/s است. بررسی توزیع فراوانی ماسیمم‌های سرعت باد نشان داد تعداد روزهای که در آن‌ها سرعت باد برابر با ۱۴، ۱۲، ۲۴، ۱۱، ۱۰، ۱۳، ۹ و ۸ m/s است به ترتیب ۱، ۱، ۳، ۳، ۵ و ۱ روز می‌باشد. میانگین روزانه سرعت باد در محدوده ۹/۷۵ – ۳/۳۷ m/s متغیر است که بیشترین مقدار آن مربوط به روز ۲۵ بهمن ماه است.

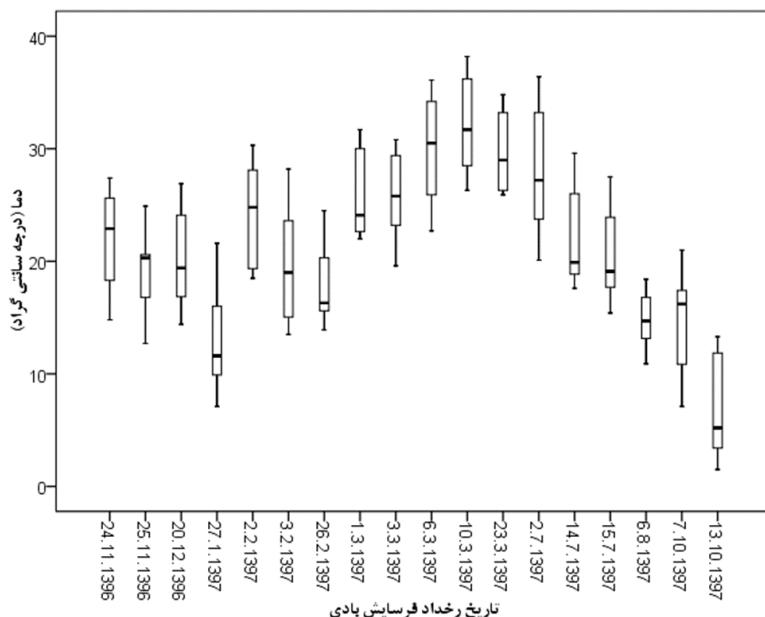
در روابط فوق پارامترهای ILCR (Incremental Lifetime Cancer Risk) بیانگر ریسک ابتلا به سرطان در طول عمر (Concentration) C (mg/kg/day)، نرخ تنفس (Breathing Rate) BR (μg/m³)، میزان غلظت مهمترین ترکیب شیمیایی زیان آور قابل استنشاق DS (m³/hr)، میزان مواد مهمله شیمیایی زیان آور (Exposure Duration) ED (day/years)، میزان روزهای مواجهه (Exposure Frequency) EF (hr/day)، میزان مواد مهمله شیمیایی زیان آور پسماند (Exposure Duration) ED (day/years)، مدت زمان در سال (years)، وزن بدن (Body Weight) BW (kg)، میزان مواد مهمله شیمیایی زیان آور (years)، میزان مواد مهمله شیمیایی زیان آور (years) با میزان مواد مهمله شیمیایی زیان آور (years) در سال (years) می‌شود (years) برای ریسک‌های سرطانی ۷۰×۳۶۵ و برای ریسک‌های غیرسرطانی از رابطه تبدیل واحد زمان×years به دست می‌آید، عدد ۳۶۵day/years×24hr/day تعداد روزهای سال (Cancer Slope Factor) SF (day/year) است که معمولاً به عنوان امید به زندگی توصیف می‌شود (years). فاکتور شیب سرطان (Exposure) EC (mg/kg/day⁻¹)، غلظت مواد مهمله (Concentration) CA (μg/m³)، میزان مواد مهمله شیمیایی سرطان زا (Concentration the Air) که بیشترین درصد ترکیب شیمیایی در PM_{۱۰} دارد (μg/m³)، زمان مواجهه (Exposure Time) ET (hr/day)، میزان مواد مهمله شیمیایی در سال (years) به دست آمد. در این پژوهش مواد مهمله ساکنین بزرگسال و کودک به ترتیب برابر با ۲۴ و ۶ سال و در هر سال ۱۸ روز طوفانی و هر روز طوفانی برابر با یک، هشت و ۲۴ ساعت مواد مهمله با نرخ تنفس ۰/۸۳ m³/hr (بزرگسالان) و (کودکان) ۰/۳۰ m³/hr با امید به زندگی ۵۶ سال برای



شکل ۵: نمودار جعبه‌ای داده‌های سرعت باد در روزهای که سرعت باد بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی (m/s) است.

میانگین جهت باد روزانه از 137° تا 235° متغیر بوده و در اکثر روزها میانگین جهت باد از جنوب غرب تا جنوب شرق متغیر بود.

همچنین در بین روزهای مورد بررسی بیشترین میانگین دما روزانه با مقادیر برابر با $32/32^{\circ}C$ مربوط به ۱۰ خرداد ماه و کمترین آن با مقادیر $7^{\circ}C$ مربوط به ۱۳ دی ماه بود.



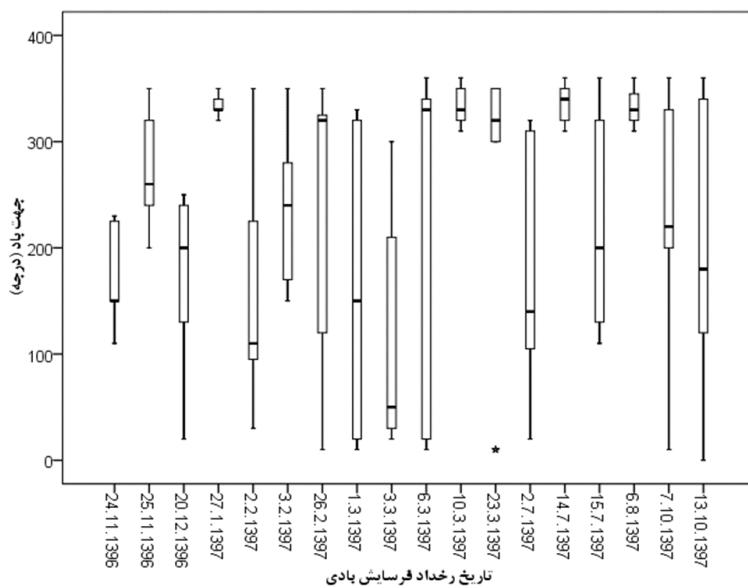
شکل ۶: نمودار جعبه‌ای داده‌های دما در روزهای که سرعت باد بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی (m/s) است.

نتایج نرخ انتشار PM_{10} شبیه سازی شده توسط مدل SWEEP برای هریک از روزهای رخدادهای فرسایش بادی در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد، نرخ انتشار PM_{10} از دپو کاشی و سرامیک به دلیل دارا بودن درصد شن بیشتر، پایداری، قطر میانگین خاکدانه و زبری تصادفی کمتر، بیشتر است. خاک‌های حاوی درصد ذرات شن بیشتر به دلیل عدم چسبندگی مستعد فرسایش بادی بوده و در نتیجه انتشار PM_{10} از این سطوح بیشتر است. از طرف دیگر در بین روزهای مورد بررسی حداقل سرعت باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی برابر با 24 m/s است که در تاریخ $25/11/96$ اتفاق افتاده است. نرخ انتشار PM_{10} از تمامی دپوهای مورد بررسی در این روز 4×10^{-4} است که در بین روزهای رخداد فرسایش بادی، بیشترین نرخ انتشار PM_{10} را دارد. کمترین نرخ انتشار به میزان 4×10^{-4} مربوط به روز $23/3/97$ است که حداقل سرعت باد اندازه‌گیری شده در این روز برابر با 8 m/s است. بیشترین نرخ انتشار سالانه PM_{10} از دپوها در ۱۸ روز رخداد فرسایش بادی مورد بررسی مربوط به کارخانه کاشی و سرامیک با مقدار $3/59 \text{ kg/m}^2$ و کمترین $0/024 \text{ kg/m}^2$ مربوط به یکی از دپوهای کارخانه شیشه بود.

نتایج اندازه‌گیری اطلاعات خاک شناسی مورد نیاز مدل SWEEP در جدول ۴ ارائه شده است. مطابق نتایج بیشترین درصد شن با مقادیر 86% مربوط به دپو کارخانه کاشی و سرامیک و کمترین درصد شن با مقادیر 76% مربوط به دپو صنایع شیشه است. بیشترین و کمترین درصد شن خیلی ریز به ترتیب با مقادیر 35% و 23% برای دپو صنایع شیشه اندازه‌گیری شد. بیشترین درصد رس با مقادیر 9% برای دپو دپوهای شیشه و کمترین درصد رس با مقادیر 4% برای دپو صنایع خاک چینی و کاشی سرامیک اندازه‌گیری شد. بیشترین درصد سیلت با مقادیر 18% مربوط به دپو کارخانه شیشه و کمترین آن با مقادیر 10% برای کارخانه کاشی و سرامیک به دست آمد. از لحاظ پایداری خاکدانه، مقادیر پایداری دپوها تقریباً نزدیک به یک دیگر بود اما بیشترین مقادیر این پارامتر برای دپو خاک چینی و کاشی سرامیک اندازه‌گیری شد. حداقل ($0/01 \text{ mm}$) و حداقل (6 mm) اندازه خاکدانه برای دپو شیشه اندازه‌گیری شد. حداقل (1 mm) و شیشه با مقادیر 1 mm کاشی و سرامیک با مقادیر $0/1 \text{ mm}$ و شیشه با مقادیر 1 mm به دست آمد. بیشترین زبری تصادفی برای دپو شیشه و کمترین آن دپو صنایع کاشی و سرامیک و شیشه اندازه‌گیری شد.

جدول ۴: اطلاعات خاکشناسی و روی مدل SWEEP

شده	ظاهری (mg/m^3)	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)	رنز (%)	پایداری	میانگین هندسی (mm)	حداقل خاکدانه	حداکثر اندازه خاکدانهها	ذبیری تصادفی آلمارس (mm)
شیشه	۱/۰۶	۶	۱۸	۷۶	۲۳	۲/۵	۱	۰/۰۱	۴	۱۰
شیشه	۱/۶۲	۹	۱۳	۷۸	۳۰	۲/۶	۲	۰/۰۵	۶	۶
کاشی و سرامیک	۱/۶۰	۴	۱۰	۸۶	۲۸	۲/۲	۰/۱	۰/۰۳	۵	۵
شیشه	۱/۵۵	۷	۱۶	۷۷	۲۷	۲/۴	۰/۵	۰/۰۱	۵	۵
خاک چینی	۱/۵۵	۴	۱۲	۸۴	۳۲	۲/۹	۰/۲	۰/۰۴	۲	۶
شیشه	۱/۶۱	۷	۱۴	۷۹	۳۵	۲/۶	۱	۰/۰۳	۳	۸



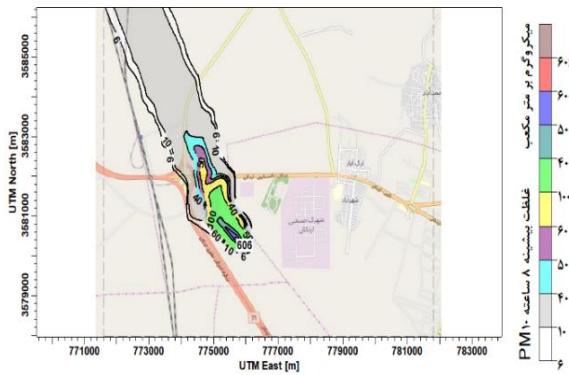
شکل ۷: نمودار جعبه‌ای داده‌های جهت باد در روزهای که سرعت باد بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی (8 m/s) است.

جدول ۵: نرخ انتشار PM_{10} شبیه سازی شده در روزهای رخداد فرسایش بادی توسط مدل SWEEP

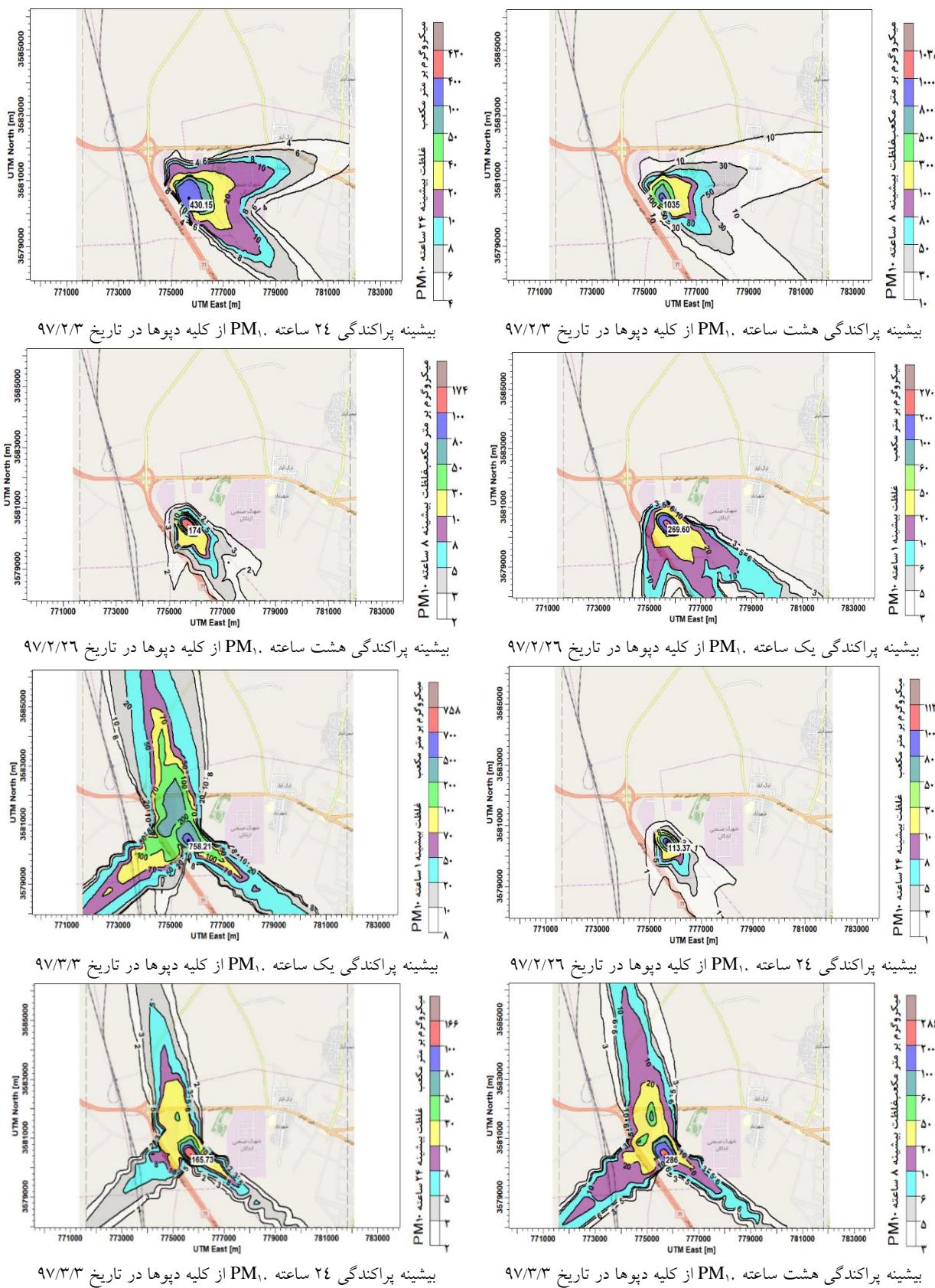
دپو/تاریخ	شیشه	کاشی سرامیک	شیشه	شیشه	خاک چمنی	شیشه
۱۳۹۶/۱۱/۲۴	$1/2 \times 10^{-3}$	$1/9 \times 10^{-3}$	$3/7 \times 10^{-3}$	$7/0 \times 10^{-3}$	$7/0 \times 10^{-4}$	$1/2 \times 10^{-3}$
۱۳۹۶/۱۱/۲۵	$1/4 \times 10^{-3}$	$4/7 \times 10^{-3}$	$1/2 \times 10^{-3}$	$2/6 \times 10^{-3}$	$7/0 \times 10^{-4}$	$3/7 \times 10^{-3}$
۱۳۹۶/۱۲/۰	$5/0 \times 10^{-4}$	$7/0 \times 10^{-4}$	$1/0 \times 10^{-3}$	$4/0 \times 10^{-3}$	$7/0 \times 10^{-4}$	$5/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۱/۲۷	$1/4 \times 10^{-3}$	$1/6 \times 10^{-3}$	$2/9 \times 10^{-3}$	$4/2 \times 10^{-3}$	$3/0 \times 10^{-4}$	$8/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۲/۲	$1/2 \times 10^{-3}$	$1/3 \times 10^{-3}$	$2/2 \times 10^{-3}$	$3/1 \times 10^{-3}$	$2/0 \times 10^{-4}$	$5/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۲/۳	$1/5 \times 10^{-3}$	$1/3 \times 10^{-3}$	$2/6 \times 10^{-3}$	$2/8 \times 10^{-3}$	$2/0 \times 10^{-4}$	$1/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۲/۶	$1/0 \times 10^{-3}$	$1/1 \times 10^{-3}$	$2/0 \times 10^{-3}$	$3/2 \times 10^{-3}$	$2/0 \times 10^{-4}$	$5/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۳/۱	$1/3 \times 10^{-3}$	$1/2 \times 10^{-3}$	$3/0 \times 10^{-3}$	$4/0 \times 10^{-3}$	$5/0 \times 10^{-4}$	$1/0 \times 10^{-3}$
۱۳۹۷/۳/۲	$5/0 \times 10^{-4}$	$3/0 \times 10^{-4}$	$1/0 \times 10^{-3}$	$1/5 \times 10^{-3}$	—	—
۱۳۹۷/۳/۶	$1/0 \times 10^{-3}$	$9/0 \times 10^{-4}$	$1/7 \times 10^{-3}$	$2/0 \times 10^{-3}$	—	$2/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۳/۱۰	$5/0 \times 10^{-3}$	$3/0 \times 10^{-4}$	$1/0 \times 10^{-3}$	$1/5 \times 10^{-3}$	—	—
۱۳۹۷/۳/۲۳	—	—	$4/0 \times 10^{-4}$	$8/0 \times 10^{-4}$	—	—
۱۳۹۷/۷/۲	$3/0 \times 10^{-4}$	$2/0 \times 10^{-4}$	$1/0 \times 10^{-3}$	$1/5 \times 10^{-3}$	—	—
۱۳۹۷/۷/۱۴	$9/0 \times 10^{-4}$	$1/0 \times 10^{-3}$	$2/1 \times 10^{-3}$	$4/0 \times 10^{-3}$	$4/0 \times 10^{-4}$	$7/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۷/۱۵	$7/0 \times 10^{-4}$	$3/0 \times 10^{-4}$	$1/1 \times 10^{-3}$	$1/7 \times 10^{-3}$	—	—
۱۳۹۷/۸/۶	$4/0 \times 10^{-4}$	$8/0 \times 10^{-4}$	$1/6 \times 10^{-3}$	$2/5 \times 10^{-3}$	$3/0 \times 10^{-4}$	$4/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۱۰/۷	$5/0 \times 10^{-4}$	$5/0 \times 10^{-4}$	$1/4 \times 10^{-3}$	$2/0 \times 10^{-3}$	—	$1/0 \times 10^{-4}$
۱۳۹۷/۱۰/۱۳	$7/0 \times 10^{-4}$	$7/0 \times 10^{-4}$	$1/2 \times 10^{-3}$	$1/0 \times 10^{-3}$	—	—
نرخ انتشار سالانه ($\text{Kg/m}^2 \cdot \text{year}$)						
۰/۳۷	۱/۸۷	۱/۴۱	۳/۵۹	$7/0 \times 10^{-2}$	$2/4 \times 10^{-2}$	

روز 11 m/s بوده و جهت باد در این روز عمدتاً به سمت جنوب و جنوب شرق منطقه است. همچنین نتایج دیگر این پژوهش نشان داد، کمترین ماسیم غلظت ۲۴ ساعته اتفاق افتاده برابر با $99\text{ }\mu\text{g/m}^3$ و در تاریخ $97/3/10$ است. با توجه به اینکه دپوهای صنایع مورد بررسی در منطقه مسطح بیابانی قرار گرفته اند، پراکندگی PM_{10} انتشاریافته در تمامی جهات صورت می‌گیرد؛ اما با توجه به اینکه جهت باد غالب منطقه از سمت شمال به سمت جنوب است در اکثر روزهای رخداد فرسایش بادی پراکندگی ذرات به سمت جنوب منطقه است. همان طور که مشاهده می‌کنیم ماسیم غلظت اتفاق افتاده در نزدیکی دپوها به ویژه دپو کاشی و سرامیک بوده و با افزایش فاصله از این منبع آلاینده سطحی از غلظت PM_{10} کاسته می‌شود.

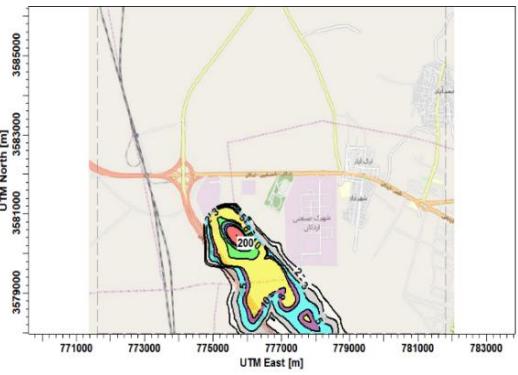
نتایج حاصل از پراکندگی PM_{10} از دپوهای سیلیکاتی صنایع مورد بررسی در برخی از روزهای رخداد فرسایش بادی برای بازدههای زمانی یک، هشت و ۲۴ ساعته در شکل (۸) نشان داده شده است. همان طور که از نقشه‌های خروجی AERMOD پیداست، در میان روزهای رخداد فرسایش بادی PM_{10} بیشترین ماسیم غلظت یک، هشت و ۲۴ ساعته PM_{10} انتشاریافته از دپوها در تاریخ $97/7/14$ و در ساعت یک شب، به ترتیب به مقدار $1967\text{ }\mu\text{g/m}^3$ و $1272\text{ }\mu\text{g/m}^3$ است. در این روز در اکثر نقاط گیرنده محدوده مورد مطالعه، غلظت PM_{10} صفر بوده و سرعت باد برابر با 12 m/s و جهت باد غالب از سمت شمال به سمت جنوب است. کمترین ماسیم غلظت یک و هشت ساعته PM_{10} شبیه سازی شده در بین روزهای مورد بررسی به ترتیب برابر با $270\text{ }\mu\text{g/m}^3$ و $174\text{ }\mu\text{g/m}^3$ در $97/2/26$ است. ماسیم سرعت باد ثبت شده در این



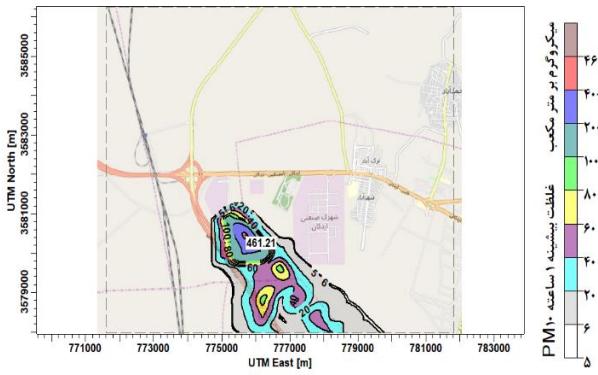
کاربست مدل‌های AERMOD و SWEEP در شبیه‌سازی ریسک انتشار PM_{10} از دپو مواد اولیه و ...



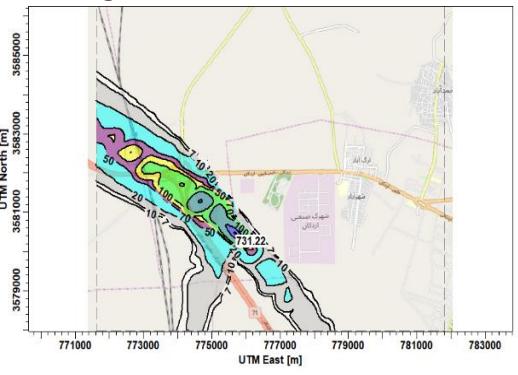
سعید شجاعی برجوئی و همکاران



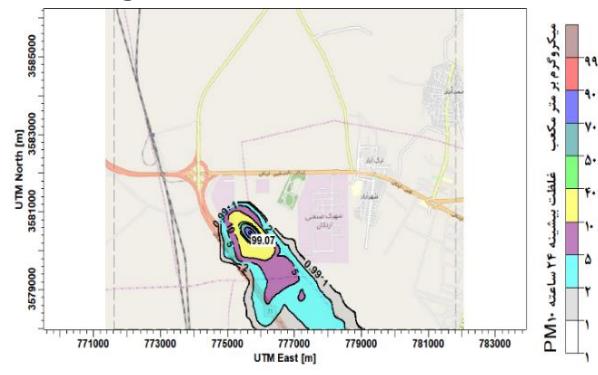
بیشینه پراکندگی هشت ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۳/۱۰



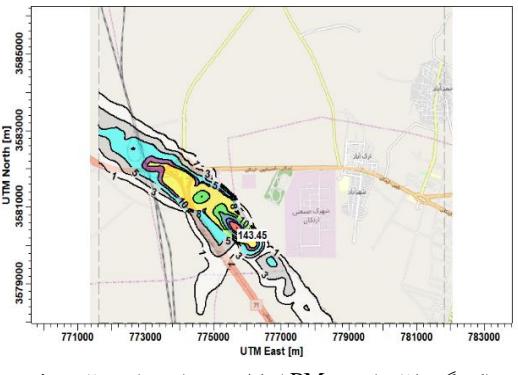
بیشینه پراکندگی یک ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۳/۱۰



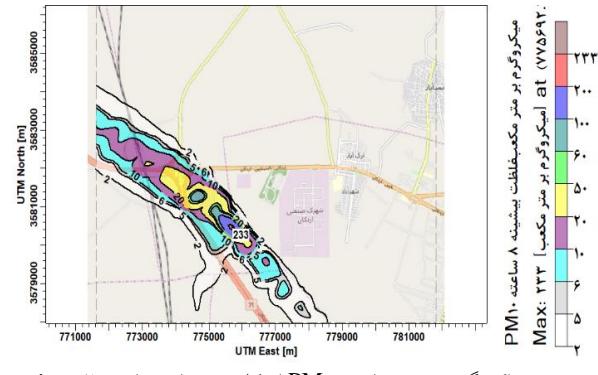
بیشینه پراکندگی یک ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۷/۲



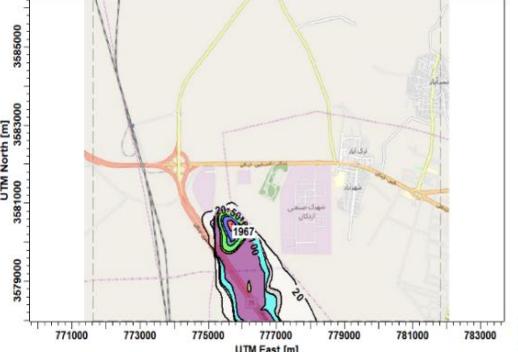
بیشینه پراکندگی ۲۴ ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۳/۱۰



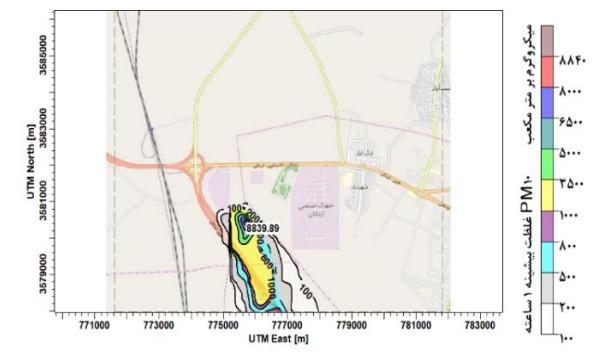
بیشینه پراکندگی ۲۴ ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۷/۲



بیشینه پراکندگی هشت ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۷/۲

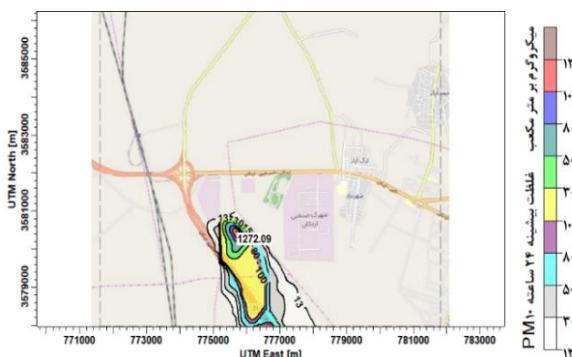


بیشینه پراکندگی هشت ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۷/۱۴



بیشینه پراکندگی یک ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۷/۱۴

کاربست مدل‌های AERMOD و SWEET در شبیه‌سازی ریسک انتشار PM_{10} از دپو مواد اولیه و ...



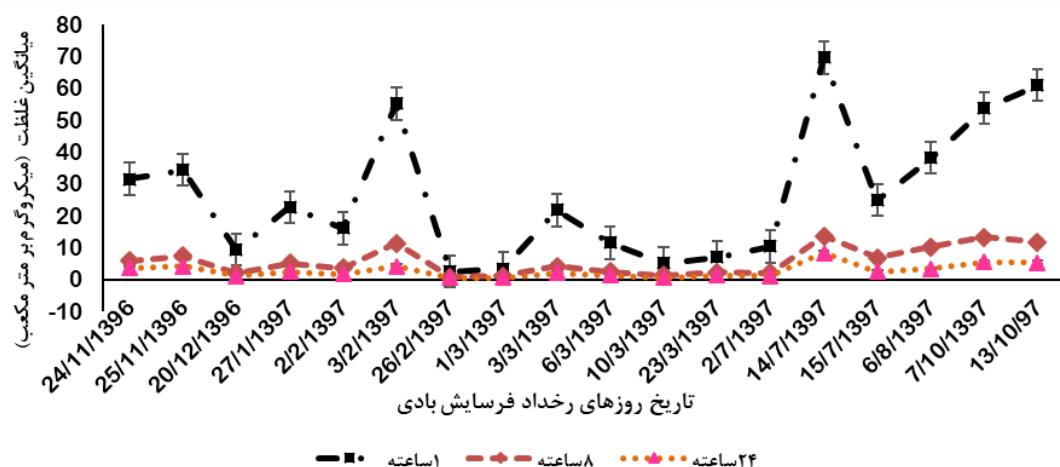
بیشینه پراکندگی ۲۴ ساعته PM_{10} از کلیه دپوها در تاریخ ۹۷/۷/۱۴

شکل ۸: ترسیم نحوه پراکندگی و مаксیمم‌های غلظت PM_{10} رخ داده برای بازه‌های زمانی یک، هشت و ۲۴ ساعته در برخی روزهای رخداد فرسایش بادی

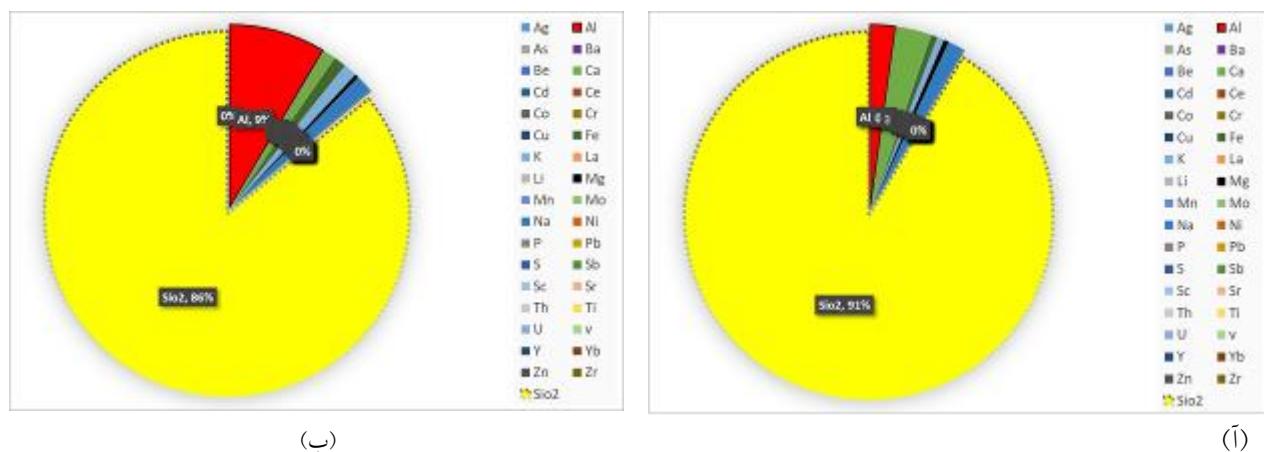
غلظت متوسط PM_{10} در تاریخ ۱۳۹۷/۲/۲۶ و برای هریک از بازده‌های زمانی مذکور به ترتیب برابر با $2/50$ ، $0/83$ و $0/52 \mu g/m^3$ به دست آمد.

نتایج آنالیز درصد فلزات سنگین و سیلیس نمونه‌های خاک در شکل (۱۰) نشان داده شده است. چنانچه از شکل پیداست سیلیس در دپوهای مورد بررسی بیشترین درصد مواد تشکیل دهنده دپو صنایع شیشه (۹۱٪) و خاک چینی، کاشی و سرامیک (۸۶٪) را به خود اختصاص می‌دهد.

نتایج تخمین غلظت متوسط PM_{10} انتشار یافته از دپوهای کارخانجات شیشه، خاک چینی و کاشی و سرامیک مربوط به روزهای رخداد فرسایش بادی در محدوده مدل‌سازی در شکل (۹) نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌گردد بیشترین غلظت متوسط یک، هشت و ۲۴ ساعته PM_{10} در روز ۹۷/۷/۱۴ به ترتیب برابر با $69/73$ ، $13/73$ و $8/38 \mu g/m^3$ است. در این روز $1/58\%$ گیرنده‌ها معادل ۷ گیرنده دارای غلظت ۲۴ ساعته PM_{10} پیش‌بینی شده بالاتر از استاندارد ملی کیفیت هوای ($50 \mu g/m^3$) می‌باشد. کمترین



شکل ۹: متوسط غلظت PM_{10} انتشار یافته از دپوهای صنایع شیشه، خاک چینی و کاشی و سرامیک در روزهای رخداد فرسایش بادی



شکل ۱۰: آنالیز درصد فلزات سنگین و سیلیس در دپو صنایع شیشه (آ) و خاک چینی و کاشی سرامیک (ب)

(۲/۶۴)> نگهبانی کارخانه کاشی و سرامیک (۱/۷۸)> کارکنان شهرک صنعتی اردکان (۱/۶۰) و از نظر میانگین مواجهه ۲۴ ساعته به صورت کارکنان کارخانه فرآوری شن و ماسه (۴/۰۴)> پارک شهید پایدار (۳/۱۶)> ساکنین روستای ترک آباد (۱/۹۰)> کارکنان شهرک صنعتی اردکان (۰/۰۸۷)> نگهبانی کارخانه فرآوری شن و ماسه (۰/۶۶) ارزیابی شد. با توجه به اینکه کارخانه فرآوری شن و ماسه یک صنعت روباز در پایین دست دپو صنایع موردن بررسی است و از سوی دیگر، منطقه مورد مطالعه دارای توپوگرافی خاصی برای به دام انداختن گرد و غبار نیست، کارگران شاغل در این صنعت علاوه بر مواجهه شغلی با گرد و غبار شن و ماسه، تحت تاثیر مواجهه غیرشغلی با گرد و غبار دپو صنایع شیشه، خاک چینی و کاشی و سرامیک در روزهای رخداد فرسایش بادی قرار دارند. با توجه به اینکه جهت باد غالب منطقه از سمت شمال به سمت جنوب است، بنابراین عامل اصلی مواجهه با PM₁₀ در این گروه از افراد جهت باد غالب منطقه است. از آن جایی که سیلیس بیشترین درصد ترکیب شیمیایی دپو صنایع دارد، مقادیر مواجهه مذکور ممکن برای جمعیت تحت تاثیر بسیار خطیرناک باشد. بنابراین مبنای محاسبات ارزیابی ریسک

نتایج میزان مواجهه یک، هشت و ۲۴ ساعته گروههای مورد مطالعه با PM₁₀ انتشاریافته از دپوها در روزهای رخداد فرسایش بادی در جدول (۶) نشان داده شده است. مطابق نتایج حداکثر مواجهه یک و هشت ساعته با PM₁₀ به ترتیب با مقادیر ۷۳۴/۷۴ و ۷۳/۳۵ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ برای کارکنان پلیس راه اردکان – نائین و حداکثر مواجهه ۲۴ ساعته با مقادیر ۴۸/۵۶ برای کارکنان کارخانه فرآوری شن و ماسه تخمین زده شد. همان طور که ملاحظه می‌گردد، بیشترین میانگین مواجهه یک، هشت و ۲۴ ساعته با PM₁₀ در کارکنان کارخانه فرآوری شن و ماسه به ترتیب به مقدار ۵۲/۵۳، ۵۲/۶۴ و ۵/۸۵ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ در تخمین زده شد. ترتیب رتبه بندی افراد مواجهه با PM₁₀ در جمعیت تحت تاثیر از نظر میانگین مواجهه یک ساعته با PM₁₀ بر حسب میکروگرم بر متر مکعب به صورت کارکنان کارخانه فرآوری شن و ماسه (۵۲/۵۳)> کارکنان پلیس راه اردکان نائین (۴۲/۹۳)> پارک شهید پایدار (۱۰/۱۷) و سکونتگاههای روستای ترک آباد (۱۵/۱۷)> نگهبانی کارخانه کاشی و سرامیک (۹/۹۰)> کارکنان شهرک صنعتی (۴۳/۹)، از نظر میانگین مواجهه هشت ساعته به صورت کارخانه فرآوری شن و ماسه (۱۱/۶۴)، پلیس راه نائین – اردکان (۷/۲۶)، سکونتگاههای روستای ترک آباد (۵/۰۵)، پارک شهید پایدار

در سطوح ایمن قرار دارد.

بحث

تخمین نرخ انتشار PM_{10} در SWEEP

نتایج این تحقیق نشان داد نرخ انتشار PM_{10} از دپو صنایع کاشی سرامیک بیشتر از سایر دپوها است. به طوری که میزان نشر سالانه PM_{10} از این دپو برابر با $3/59 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{year}$ تخمین زده شد.

سلامت بر اساس سیلیس در نظر گرفته شد. در سال ۲۰۱۱ بخش کیفیت هوا آژانس حفاظت محیط زیست نیوجرسی گزارشی تحت عنوان "مقدار سمیت مواجهه تنفسی با آلاینده ها" ارائه داده است. در این گزارش مقدار R/C برای سیلیس برابر با $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ارائه شده است^{۳۱}. در این پژوهش بر اساس مطالعات، مقدار فاکتور شبیه سلطان برای سیلیس برابر با $1/85 \times 10^{-5}$ در نظر گرفته شد^{۱۸}، نتایج ارزیابی ریسک مواجهه تنفسی در جمعیت تحت تاثیر با PM_{10} نشان داد، نسبت خطر و شاخص ریسک ابتلا به سلطان در طول زندگی

جدول ۶: آمار توصیفی مقدار مواجهه جمعیت تحت تاثیر با PM_{10} ، نسبت خطر (HQ) و ریسک ابتلا به سلطان در طول عمر (ILCR) برای کودکان و بزرگسالان

ILCR بزرگسال	ILCR کودکان	HQ بزرگسالان	HQ کودکان	انحراف معدار	نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز	نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز	نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز	نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز	نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز نیاز
$3/77 \times 10^{-8}$	-	$6/7 \times 10^{-3}$	$7/7 \times 10^{-3}$	۳۶/۹۸	۹/۹۰	۱۶۱/۹۶	۰	۱	نگهدانی کارخانه کاشی و سرامیک
$2/93 \times 10^{-7}$	-	$5/4 \times 10^{-2}$	$5/4 \times 10^{-2}$	۷/۱۹	۱/۷۸	۲۶/۹۹	۰	۸	
$8/81 \times 10^{-7}$	-	۰/۱۶	۰/۱۶	۲/۱۰	۰/۶۶	۹	۰	۲۴	
$5/62 \times 10^{-8}$	$2/45 \times 10^{-8}$	$1/0 \times 10^{-2}$	$1/0 \times 10^{-2}$	۵۳/۵۴	۱۵/۱۷	۲۴۳/۴	۰	۱	پارک شهید پایدار
$4/50 \times 10^{-8}$	$1/96 \times 10^{-7}$	$8/3 \times 10^{-2}$	$8/3 \times 10^{-2}$	۹/۲۶	۲/۶۴	۴۰/۳۷	۰	۸	
$1/35 \times 10^{-7}$	$5/88 \times 10^{-7}$	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۹۹	۳/۱۶	۱۳/۴۶	۰	۲۴	
$1/02 \times 10^{-7}$	$4/46 \times 10^{-8}$	$1/8 \times 10^{-2}$	$1/8 \times 10^{-2}$	۵۳/۵۴	۱۵/۱۷	۳۵۹/۲۱	۰	۱	ساکنین روستا ترک آباد
$8/18 \times 10^{-7}$	$3/57 \times 10^{-7}$	۰/۱۵	۰/۱۵	۱۵/۲۳	۵/۰۵	۶۵/۹۳	۰	۸	
$2/45 \times 10^{-7}$	$1/07 \times 10^{-7}$	۰/۴۵	۰/۴۵	۵/۳۵	۱/۹۰	۲۲/۷۴	۰	۲۴	
$1/94 \times 10^{-7}$	-	$3/5 \times 10^{-2}$	$3/5 \times 10^{-2}$	۱۰۴/۴۴	۵۲/۰۳	۴۲۱/۱۷	۰	۱	کارکنان کارخانه فرآوری شن و ماسه
$1/05 \times 10^{-7}$	-	۰/۲۸	۰/۲۸	۲۱/۷۸	۱۱/۶۴	۷۲/۸۴	۰	۸	
$4/77 \times 10^{-7}$	-	۰/۸۶	۰/۸۶	۱۱/۷۷	۵/۸۵	۴۸/۵۶	۰	۲۴	
$3/49 \times 10^{-8}$	-	$6/4 \times 10^{-3}$	$7/4 \times 10^{-3}$	۱۷/۷۰	۹/۴۳	۷۴/۸۱	۰	۱	کارکنان شهرک صنعتی
$2/79 \times 10^{-7}$	-	$5/1 \times 10^{-2}$	$5/1 \times 10^{-2}$	۲/۹۵	۱/۶۰	۱۲/۴۶	۰	۸	ارdekان
$8/39 \times 10^{-7}$	-	۰/۱۵	۰/۱۵	۱/۱۷	۰/۸۷	۴/۵۷	۰	۲۴	
$1/59 \times 10^{-7}$	-	$2/9 \times 10^{-2}$	$2/9 \times 10^{-2}$	۱۰۴/۴۸	۴۲/۹۳	۷۳۴/۷۴	۰	۱	کارکنان پلیس راه نائین -
$1/27 \times 10^{-7}$	-	۰/۲۳	۰/۲۳	۱۷/۶۶	۷/۲۶	۷۳/۳۵	۰	۸	ارdekان
$3/82 \times 10^{-7}$	-	۰/۷۰	۰/۷۰	۹/۹۵	۴/۰۴	۴۱/۵۴	۰	۲۴	

زبری تصادفی شاخص حساسیت خاک در برابر فرسایش بادی بوده که از طریق کنترل انتشار و جهش ذرات خاک می‌تواند در پیش‌بینی نرخ انتشار PM_{10} استفاده کرد. در مطالعه حاضر کمترین و بیشترین مقادیر زبری تصادفی اندازه‌گیری شده به روش پین متر برای دپو کاشی سرامیک با مقادیر برابر با 5 mm و شیشه برابر با 10 mm اندازه‌گیری شد. در تحقیقات afrasyabi و همکاران، زبری تصادفی خاک‌های مستعد فرسایش بادی در منطقه دشت یزد-اردکان در محدوده $23/5 - 7/04\text{ mm}$ اندازه‌گیری نمودند. آنها بیان داشتند، زبری سطح خاک با ایجاد مانع در مقابل جریان باد، باعث کاهش سرعت باد و پیرو آن کاهش میزان فرسایش بادی می‌گردد. از این رو اندازه‌گیری آن در بحث تخمین نرخ انتشار PM_{10} حائز اهمیت است.^{۳۶} در صورتی که سطح خاک عامل حفاظتی مناسبی نداشته باشد، در اثر نیروی برشی باد، فرسایش پیدا می‌کند. نرخ انتشار PM_{10} با افزایش زبری آثرودينامیکی کاهش می‌یابد و هر چقدر زبری آثرودينامیکی کوچکتر باشد، با افزایش سرعت باد، نرخ انتشار PM_{10} باشد. نرخ انتشار خواهد یافت.^{۳۷} نتایج تحقیقات Feng و همکاران^{۳۸} و Mahmoodabadi و همکاران^{۳۹} نشانی از آن دارد که اندازه خاکدانه‌های موجود در سطح دپوها، به ویژه ذرات درشت بر کنترل زبری تصادفی نقش مهمی دارند.

در تحقیق حاضر کمترین و بیشترین مقدار قطر میانگین خاکدانه به ترتیب برای دپو کاشی و سرامیک به مقدار $0/1\text{ mm}$ و دپو شیشه به مقدار $0/5\text{ mm}$ به دست آمد. در واقع قطر میانگین خاکدانه از طریق تاثیر بر زبری تصادفی بر نرخ انتشار PM_{10} از دپو کاشی سرامیک تاثیر داشته است. پایداری خاکدانه‌ها از دیگر عوامل موثر در تشدید فرسایش بادی هستند. هر چقدر خاکدانه‌ها ناپایدار و درشت‌تر باشند نرخ فرسایش پذیری و بادبردگی آنها افزایش می‌یابد.^{۴۰} Shahverdi و همکاران با بررسی توان رسوب زایی لندرم‌ها ارگ دامغان به این نتیجه دست یافتند که بیشترین پراکنش

در پژوهش Jia و همکاران نرخ انتشار روزانه PM_{10} از سد باطله آیتیک، $kg/m^2 / ۰/۲۶$ تخمین زده شد.^{۱۳} در پژوهش‌های که در رابطه با فرسایش بادی در دنیا انجام شده، نشان می‌دهد که شدت انتشار PM_{10} از خاک تابع دو دسته عوامل فرسایندگی و فرسایش پذیری است. فرسایش پذیری به ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک و همچنین شرایط سطحی آن مربوط می‌شود، در حالی که فرسایندگی به فیزیک باد مانند سرعت آن وابسته است.^{۳۲} Alipour و همکاران بیان داشتند در حالتی فرسایش بادی و انتشار غبار شدیدتر است که ذرات خاک به هم چسبیده نباشند و نیز خاک‌ها سست، خشک و برهنه بوده و بادهای با سرعت و تکرار زیاد وجود داشته باشند. به عبارت دیگر خاک‌ها دارای ساختمان ضعیف و توده‌ای با تکامل کم به راحتی به وسیله باد جابه جا می‌گردند.^{۳۳} در پژوهش حاضر نتایج اندازه‌گیری برشی پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک نظیر درصد رس، سیلت و شن به عنوان پارامترهای بافت دپو صنایع نشان داد، ذرات شن بیشترین درصد فراوانی را نسبت به رس و سیلت دارند. بیشترین درصد فراوانی شن برای دپو کارخانه کاشی و سرامیک اندازه‌گیری شد بنابراین می‌توان اذعان نمود شن سهم مهمی را در انتشار ذرات دارد. همچنین حداقل ($0/۰1\text{ mm}$) و حداقل (۶ mm) اندازه خاکدانه به روش سری الک برای دپو شیشه تعیین گردید. در پژوهش Kazemi و همکاران بر روی تعیین حساسیت رسوبات دریاچه خشک مهارلو نتایج نشان داد، ذرات سیلت بیشترین درصد فراوانی را نسبت به ذرات رس و ماسه دارند در نتیجه ذرات سیلت بیشترین سهم را در انتشار غبار از سطح دریاچه دارند.^{۳۴} در تحقیقات Ono و همکاران بر روی دریاچه خشک شده اونز آمریکا، باد به عنوان عامل مهم فرساینده خاک معرفی شده است. نتایج تحقیقات Ono و همکاران نشان داد، وزش باد در عرض 24 ساعت از سطح دریاچه، ذرات PM_{10} را به غلظتی با بیش از $12000\text{ }\mu\text{g/m}^3$ می‌رساند.^{۳۵}

سرامیک بالاتر از حدود استاندارد WHO پیش بینی شد.^۹ نتایج مطالعه حاضر نشان داد ماکسیم‌های غلظت PM_{10} شبیه سازی شده عمدتاً در جهت باد غالب منطقه رخ می‌دهند. نتایج تحقیقات Jayadipraja و همکاران بر روی شبیه سازی پراکندگی ذرات معلق دودکش‌های صنایع سیمان نشان داد، الگوی پراکندگی ذرات معلق شبیه سازی شده عمدتاً در جهت باد غالب از غرب به شرق است^{۱۰}. همچنین در مطالعه Mokhtar و همکاران پراکندگی آلاینده‌ها از نیروگاه زغال سنگ عمدتاً در جهت باد غالب پیش بینی شد^{۱۱}. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، از عوامل موثر بر پخش و پراکندگی PM_{10} می‌توان جهت باد غالب منطقه دانست. در تحقیق حاضر با توجه مسطح بودن منطقه مورد مطالعه، پخش ذرات معلق در تمامی جهات صورت می‌گیرد. اما غالب بودن جهت باد منطقه به سمت نواحی جنوبی (بیابانی) باعث رخ دادن ماکسیم‌های غلظت PM_{10} در پایین دست منابع انتشار می‌گردد.

در تحقیق حاضر تاثیر فاصله از منبع انتشار بر غلظت PM_{10} به خوبی مشهود است. به طوری که مقدار غلظت PM_{10} به علت نسبت بیشتر ذرات جامد معلق درون هوا، با فاصله گرفتن از دپوها با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. پس از یک فاصله طولانی پخش ذرات آلاینده به اطراف سبب کاهش غلظت آن می‌شود. این مطلب با نتایج به دست آمده از تحقیقات Shojaee Barjoe و همکاران^۹ و Chaleshtori و همکاران^{۱۰} هم خوانی دارد.

مطابق نتایج به دست آمده در این تحقیق، کمینه غلظت PM_{10} به ترتیب در متوسط‌های زمانی هشت و ۲۴ ساعته و بیشینه حجم ذرات در متوسط زمانی یک ساعته روی داده است. بنابراین در متوسط‌های زمانی، اختلاف زیادی در مقادیر غلظت PM_{10} دیده می‌شود که با نتایج تحقیقات Zou و همکاران^{۱۱}، Kazemi و Shahabi و Noorpoor^{۱۲} و همکاران^{۱۳} و Shamsipour^{۱۴} مطابقت دارد.

ذرات ناپایدار در برابر باد در اراضی مرتعی و کمترین پراکنش در اراضی کشاورزی بوده به این ترتیب اراضی مرتعی توان رسوب زایی و تولید غبار بالاتری نسبت اراضی کشاورزی دارند.^{۱۵} در بین دپوها مورد بررسی، پایداری خاکدانه‌های دپو کاشی و سرامیک از کمترین مقدار برخوردار بود بنابراین پایداری ضعیف خاکدانه دپو کارخانه کاشی و سرامیک نسبت به سایر دپوها نقش مهمی را در انتشار PM_{10} ایفا می‌کند.

ارزیابی پراکندگی و میزان مواجهه جمعیت تحت تاثیر با PM_{10} در AERMOD

مطابق خروجی‌های حاصل از شبیه سازی AERMOD بیشترین ماکسیم‌های غلظت یک، هشت و ۲۴ ساعته اتفاق افتاده در ۱۴ مهر به ترتیب برابر با $8840 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $1967 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $1272 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین ماکسیم غلظت یک و هشت به ترتیب با مقادیر برابر با $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $174 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در ۲۶ اردیبهشت و ۲۴ ساعته با مقدار برابر با $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در ۱۰ خرداد بوده است. همچنین نتایج مقایسه غلظت متوسط PM_{10} در کل شبکه گیرنده با استاندارد ملی کیفیت هوا نشان داد، بیشترین غلظت متوسط یک، هشت و ۲۴ ساعته PM_{10} در روز $97/7/14$ به ترتیب برابر با $69/73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $13/73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و $8/38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است. در این روز $1/58\%$ گیرنده‌ها معادل ۷ گیرنده دارای غلظت ۲۴ ساعته PM_{10} پیش بینی شده بالاتر از استاندارد ملی کیفیت هوا $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. در مطالعه Fadavi و همکاران غلظت در ساعته ذرات معلق شبیه سازی شده در مدل AERMOD در اطراف کارخانه سیمان اردستان با استاندارد ۲۴ ساعته EPA $\mu\text{g}/\text{m}^3$ WHO ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) و استاندارد هوای پاک ایران ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) مقایسه شد و نتایج نشان داد ماکسیم غلظت ذرات معلق در محدوده مدل‌سازی پایین تر از حدود استانداردهای پیشنهادی هستند.^{۱۶} همچنین در پژوهش Shojaee Barjoe و همکاران ماکسیم غلظت PM_{10} شبیه سازی در مدل AERMOD در اطراف دودکش‌های یکی از صنایع کاشی و

Fard و همکاران به روش مدل‌سازی با AERMOD ریسک‌های سرطان زایی و غیرسرطان زایی مواجهه با آلاینده‌های انتشار یافته از دودکش‌های صنایع فولاد برای ساکنین مجاور در سطوح ایمن پیش‌بینی شد.^{۴۹}

نتیجه گیری

نتایج کلی حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد میزان نشر PM_{10} از دپوها بستگی به توزیع اندازه ذرات، زبری سطح و پایداری خاکدانه‌ها دارد که مجموع این عوامل سبب افزایش انتشار PM_{10} از دپو کارخانه کاشی و سرامیک شده است. بنابراین یکی از راهکارهای مناسب در راستای مدیریت و کاهش نشر PM_{10} ایجاد سنتگرفرش بر روی دپو صنایع است. وجود زبری ناشی از وجود سنگ ریزه سطحی مانند سنتگرفرش بیابانی نیز می‌تواند بر کاهش شدت نشر PM_{10} تاثیر گذار باشد.

نتایج دیگر این تحقیق نشان داد فاکتورهای هواشناسی نظری جهت باد غالب منطقه نقش موثری در پراکندگی و میزان مواجهه تنفسی افراد با PM_{10} دارد. ریسک‌های سرطان زایی و غیرسرطان زایی مواجهه تنفسی با PM_{10} انتشار یافته از دپو صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه برای ساکنین مجاور در محدوده ریسک قابل قبول پیش‌بینی شد. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق موید کاربرد دو مدل AERMOD و SWEEP در مدل‌سازی منابع آلاینده سطحی و ارزیابی ریسک بهداشتی است. در کشورهای در حال توسعه که با کمبود امکانات و تجهیزات نمونه برداری از آلاینده‌ها رو به رو هستند، می‌توان با استفاده از مدل‌های مذکور به یک ارزیابی جامع درباره شدت آلاینده‌گی منابع آلودگی دست یافت و اقدامات موثری در راستای جلوگیری از مخاطرات محیط زیستی و بهداشتی انجام داد.

نتایج دیگر این تحقیق نشان داد، حداکثر مواجهه یک و هشت ساعته با PM_{10} در ۱۸ روز مورد بررسی به ترتیب با مقادیر $734/74$ و $73/35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ مربوط به پلیس راه اردکان – نائین و مواجهه ۲۴ ساعته مربوط به کارکنان کارخانه فرآوری شن ماسه است. این در حالی است که حداکثر میانگین‌های مواجهه یک، هشت و ۲۴ ساعته به مقدار $52/53$ و $11/64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ برای کارکنان کارخانه فرآوری شن ماسه که در فاصله 2 Km از صنایع در پایین دست مستقر هستند، تخمین زده شد که همگی پایین تر از حدود استاندارد پیشنهادی EPA و WHO هستند.

ارزیابی پارامترهای HQ و ILCR در گروه‌های مواجهه با PM_{10}

با در نظر گرفتن فاکتور شب سرطان و غلظت مرجع برای سیلیس نتایج تخمین ریسک‌های سرطان زایی و غیرسرطان زایی مواجهه تنفسی با PM_{10} در جمعیت تاثیر نشان داد شاخص HQ کوچکتر از یک و شاخص ILCR کوچکتر از 10^{-6} است بنابراین ریسک‌های سرطان زایی و غیرسرطان زایی مواجهه تنفسی با PM_{10} در سطح ایمن پیش‌بینی شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با در نظر گرفتن امید به زندگی ۵۶ سال برای ساکنین، درصورتی که در هر سال ۱۸ بار دپوهای سیلیکاتی تحت تاثیر فرسایش بادی و بادبردگی قرار گیرند و فراوانی مواجهه کودکان با گرد و غبار برخواسته از دپوها برابر با ۶ سال و بزرگسالان برابر با ۲۴ سال باشد، مواجهه یک، هشت و ۲۴ ساعته با PM_{10} از نظر وقوع عوارض غیرسرطانی و سرطانی تا شعاع تقریباً 9 کیلومتری در سطوح قابل قبول است. در روش مدل‌سازی ارائه شده توسط Shojaee Barjoe و همکاران ریسک‌های سرطان زایی و غیرسرطان زایی مواجهه تنفسی با PM_{10} انتشار یافته از دودکش‌ها برای ساکنین مجاور یکی از صنایع کاشی و سرامیک در سطوح ایمن پیش‌بینی شد.^۹ در مطالعه Rashidi

کد اخلاق ۱۳۹۷.۰۲۷ IR.YAZD.REC.1398 در سال ۱۳۹۷ با
حمایت دانشگاه یزد اجرا شده است.

سیاستگذاری

این مقاله حاصل از پایان نامه کارشناسی ارشد به شماره

References

- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, Mosleh Arani A. Determination of pollution level, carcinogenic and non-carcinogenic risks of heavy metals of falling dust in industrial areas (Case study: Ardakan county industries). *Iran J Health Environ* 2020;12(4): 571-92 [In Persian]
- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Mosleh Arani A. Ecological Risk Assessment of Some Heavy Metals in the Dust Emitted from Non-Metallic Industries of Ardakan County of Yazd in Summer 2018: A Descriptive Study. *J Rafsanjan Univ Med Sci* 2020;19(2): 173-92 [In Persian]
- Kermani M, Dowlati M, Jonidi Jafari A, Rezaei Kalantari R. Estimation of Mortality and Morbidity due to Exposure to Respirable Particulate Matter (RPM) in the Air of Tehran in 2014 - 2015. *J Occup Environ Health* 2017;2(4): 301-10 [In Persian]
- Mohseni Bandpi A, Eslami A, Shahsavani A, et al. Water-soluble and organic extracts of ambient PM_{2.5} in Tehran air: assessment of genotoxic effects on human lung epithelial cells (A549) by the Comet assay. *Toxin Rev* 2017;36(2): 116-24.
- Zolghi e, godarzi g, gravandi s, et al. Estimate of cardiovascular and respiratory diseases related to particle matter pollutant in Tabriz air, northwest of Iran, 2011. *J Ilam Univ Med Sci* 2014;22(1): 84-91.
- Gholampour A, Nabizadeh R, Hassanvand MS, et al. Investigation of the ambient particulate matter concentration changes and assessing its health impacts in Tabriz. *Iran J Health Environ* 2015;7(4): 541-56 [In Persian]
- Geravandi S, Zallaghi E, Goudarzi G, et al. Effects of PM₁₀ on human health in the western half of Iran (Ahwaz, Bushehr and Kermanshah Cities). *Arch Hyg Sci* 2015;4(4): 179-86.
- Aghaei M, Yunesian M. Exposure Assessment to Environmental Pollutants in Human Health Risk Assessment Studies; Overview on New Approaches. *J Health* 2019;10(2): 138-55 [In Persian]
- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, kuchakzadeh M, et al. Dispersion and Health Risk Assessment of PM₁₀ Emitted from the Stacks of a Ceramic and Tile industry in Ardakan, Yazd, Iran, Using the AERMOD Model. *Iran South Med J* 2019;22(5): 317-32 [In Persian]
- Khosravi Y, Zamani AA, Parizanganeh AH, Yaftian MR. Assessment of spatial distribution pattern of heavy metals surrounding a lead and zinc production plant in Zanjan Province, Iran. *Geoderma Reg* 2018;12:7-10 [In Persian].
- Esmailzadeh M, Bazrafshan E, Nasrabadi M. Dispersion Modeling of NOx and SO₂ Emissions from Tous Gas Power Plant, Mashhad. *Iran J Health Environ* 2013;6(1): 77-90 [In Persian]
- Tatarko J, Van Donk S, Ascough II J, Walker D. Application of the WEPS and SWEEP models to non-agricultural disturbed lands. *Heliyon* 2016;2(12): e00215.
- Jia Q, Al-Ansari N, Knutsson S. Modeling of wind erosion of the Aitik Tailings Dam using SWEEP model. *Eng J* 2014;6(7): 355-64.
- Chung SH, Herron-Thorpe FL, Lamb BK, et al. Application of the wind erosion prediction system in the AIRPACT regional air quality modeling framework. *Trans ASABE* 2013;56(2): 625-41.
- Behbahani AM. Hazard and risk assessment of wind erosion and dust emissions in Denmark-a simulation and modelling approach: University_of_Basel; 2015.
- Shafie-Pour M, Pardakhti A, Mejari M. Risk Assessment of Air Pollutants Emissions in Beihagi Terminal By Modeling. *J Environ Stud* 2015;41(1): 97-105 [In Persian]
- Mohammed AM. Estimation of PM₁₀ Health Impacts on Human within Urban Areas of Makkah city, KSA. *Preprints* 2017: 11-1.
- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, MoslehArani A, K, MohamadReza. Occupational monitoring and health risks assessment of respiratory exposure to dust in an industrial unit of production Khak-e-Chini. *Occup Med* 2019;11(3): 14-25 [In Persian]
- De Donno A, De Giorgi M, Bagordo F, et al. Health risk associated with exposure to PM₁₀ and benzene in three Italian towns. *J Environ Res Public Health* 2018;15(8): 1672.
- Bhagia L. Non-occupational exposure to silica dust. *Indian J Occup Environ Med* 2012;16(3): 95-100.
- Shojaee Barjoe S, Azimzadeh HR, Mosleh Arani A. Tolerance of Plants to Air Pollution in the Industrial Complex of Glass, Khak-e-Chini, Tile and Ceramics in Ardakan, Iran. *J Sch Public Health Inst Public Health Res* 2020;18(1): 73-92 [In Persian]
- Manhattan Kansas. User Manual DRAFT, Single-event Wind Erosion Evaluation Program. Wind Erosion Research Unit 2008.
- Pi H, Feng G, Sharratt B. Performance of the SWEEP model affected by estimates of threshold friction velocity. *Trans ASABE* 2014;57(6): 1675-85.
- Wagner LE. A history of wind erosion prediction models

- in the United States Department of Agriculture: The Wind Erosion Prediction System (WEPS). *Aeolian Res* 2013;10: 9-24.
25. Atabi F, Jafarigol F, Momeni M, et al. Dispersion modeling of CO with AERMOD in South Pars fourth gas refinery. *J Environ Health Engin* 2014;1(4): 281-92 [In Persian]
 26. Ashrafi K, Shafiepour M, Salimian M, Momeni MR. Determination and Dispersion Modeling of VOC Emissions from Liquid Storage Tanks in Asalouyeh Zone. *J Environ Stud* 2012;38(3): 47-60 [In Persian]
 27. Kalhor M, Ghaleh Askari S, Bozorgi M. AERMET performance in evaluation of boundary layer parameters and its effect on carbon monoxide concentration outputs in AERMOD model compared to upper air data. *Iran J Health Environ* 2018;11(3): 365-76 [In Persian]
 28. Shojaee Barjoe S, Azimzadeh H, Mosleh Arani A. Evaluation of Individual and Integrated Pollution Indices of Some Heavy Metals in Atmospheric Dust Deposition Around Khak-e-chini, Tile and Ceramic, Sand and Gravel and Glass in Ardakan County Industries in Winter 2018. *J Environ Health Engin* 2020;7(3): 314-37 [In Persian]
 29. EPA U. US Environmental Protection Agency, Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. US EPA, Washington, DC <http://www.epa.gov/cancerguidelines> 2005.
 30. USEPA. Exposure factors handbook: 2011 edition. USEPA Office of Research and Development Washington.; 2011.
 31. Bureau of Technical Services-Air Quality Evaluation Section. Toxicity Values for Inhalation Exposure. New Jersey Department of Environmental Protection 2011: NJDEP/DAQ/AQEvet ToxAll2011.xls 1/30/2.
 32. Sadeghi RMH. Analysis of wind erosion and determination of sand movement direction in Khezrabad region. *Watershed Engin Manage* 2018;10(1): 95-107 [In Persian]
 33. Farzanehpour F, Torabi A, Bakhshinia S, Mesbahzadeh T. The Severity of Wind Erosion Assessment in Ala Region of Semnan Using IRIFR. E. A Model. *J Desert Eco Engin* 2016;5(10): 99-107 [In Persian]
 34. Kazemi M, Feiznia S, Khosravi H, Mesbah H. Investigating of Susceptibility of Maharloo Lake Sediments to Wind Erosion and Determination of Dust Movement Direction. *Desert Manage* 2019;6(12): 49-60 [In Persian]
 35. Ono DM, Hardebeck E, Schade T. Owens Valley PM10 planning area demonstration of attainment state implementation plan: project alternatives analysis summary. The District 1997.
 36. Afrasyabi S, Tazeh M, Taghizadeh Mehrjardi R, Kalantari S. Performance of two measurement methods of pin meter and laser disto meter in the measurement of microtopography Created by desert pavement. *J Desert Eco Engin* 2019;8(22): 1-14.
 37. Iranmanesh M, Gharahi N, Pajooresh M. The Effect of Vegetation Pattern, Biochar and Powdery Walnut Shell on Wind Erosion, Using Wind Tunnel. *Desert Manage* 2019;7(13): 135-48 [In Persian]
 38. Feng G, Sharratt B. Evaluation of the SWEEP model during high winds on the Columbia Plateau. *Earth Surf Proc Land* 2009;34(11): 1461-8.
 39. Mahmoodabadi M, Dehghani F, Azimzadeh H. Effect of soil particle size distribution on wind erosion rate. *J Soil Manage Sustain Produc* 2011;1(1): 81-97 [In Persian]
 40. Mahmoodabadi M, Mirzaee M, Naghavi H. Aggregate Size Distribution Indices Influenced by Different Types/Managements of Plant Residues under Field Conditions. *J Environ Ero Res* 2016;6(3): 52-70.
 41. Shahverdi s, nikoo s, mashhadi n, et al. Study of landforms sedimentation based on changes in land use (Case Study: Damghan). *J Desert Eco Engin* 2016;5(12): 37-50 [In Persian]
 42. Fadavi A, Abari MF, Nadoushan MA. Evaluation of AERMOD for distribution modeling of particulate matters (Case study: Ardestan Cement Factory). *Int J Pharm Res Allied Sci* 2016;5(4): 262-70.
 43. Jayadipraja E, Daud A, Assegaf A, Maming M. The application of the AERMOD model in the environmental health to identify the dispersion area of total suspended particulate from cement industry stacks. *J Res Med Sci* 2016;4(6): 2044-9.
 44. Mokhtar MM, Hassim MH, Taib RM. Health risk assessment of emissions from a coal-fired power plant using AERMOD modelling. *Process Saf Environ* 2014;92(5): 476-85.
 45. Chaleshtori LA, Nejadkoorki F, Ashrafi K. Performance of AERMOD Under Different Building Forms and Dimensions. *Environ Sci* 2015;13(1): 15-24 [In Persian]
 46. Zou B, Zhan FB, Wilson JG, Zeng Y. Performance of AERMOD at different time scales. *Simul Model Pract Theory* 2010;18(5): 612-23 [In Persian]
 47. Noorpoor A, Kazemi Shahabi N. Dispersion modeling of air pollutants from the Ilam cement factory stack. *J Civil Environ Engin* 2014;44(1): 37-44 [In Persian]
 48. Shamsipour A, Ashrafi E, Alikhah AM, Ashrafi K. Modeling the distribution of suspended particles in the south of Tehran by the model of AERMOD (A Case Study of Tehran cement factory). *Environ Sci* 2016;41(4): 799-814 [In Persian]
 49. Fard MR, Rashidi Y, Amiri M. Modeling the emission and calculation of the risk of steelmaking contaminants using the AERMOD model. *J Health Field* 2018;6(3): 49-59 [In Persian]

Application of SWEEP and AERMOD Models to Simulate PM₁₀ Emission Risk from Primary Materials and Waste Depos of Tile and Ceramic, Khak-e-Chini and Glass Industries of Ardakan, Yazd, Iran in 2018

Saeed Shojaee Barjoe*, HamidReza Azimzadeh, Asghar Mosleh Arani

Department of Environmental, School of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran

*E-mail: said.shojaee71@gmail.com

Received: 5 May 2020; Accepted: 16 August 2020

ABSTRACT

Background: Application of air quality models in Health Risk Assessment system has been defined as an effective tool in assess the human population exposure to environmental harmful factors. The present study was conducted to aim of health risk assessment of respiratory exposure to PM₁₀ Emitted from Depos of primary materials and waste a number of Non-metallic minerals industries by Modeling method.

Methods: In this descriptive study, first to Field visits and laboratory measurements was obtained the information needed for SWEEP model to estimate PM₁₀ emission rate from depos of Tile and Ceramic, Khak-e-chini and glass industries. Then, with the introduction of meteorological information to AERMET, the digital elevation model to AERMAP, the emission rate and the geometric dimensions of the pollutant sources to AERMOD, simulated the values of exposure to PM₁₀ in the affected population. The chemical composition of the depos was determined using ICP-MS. Subsequently, using the EPA suggested relationships was estimated the risk of carcinogenic and non-carcinogenic exposure to PM₁₀.

Results: According to the simulation results of SWEEP model, the highest PM₁₀ emission was estimated for the Tile and Ceramic depo. The highest concentration maximum of 1, 8, and 24 h of PM₁₀ simulated were 8840, 1967, and 1272 µg/m³, respectively. The highest average respiratory exposure of 1 (52.53), 8 (11.64), 24 (5.85 µg/m³) hour to PM₁₀ was estimated for Sand and Gravel processing plant staff. The highest percentage of chemical compounds in depos was for silica. Accordingly, the carcinogenicity risk (ILCR) of exposure to PM₁₀ was predicted less than 10⁻⁴ and non- carcinogenicity risk (HQ) less than one.

Conclusion: Although numerical values of risk were predicted in the permissible limit, but to creating Surface rock on the depo industries can reduce the emission of PM₁₀.

Keywords: PM₁₀, AERMOD, SWEEP, Health Risk Assessment, Respiratory exposure