دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست- پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال بیست و دوم، شماره ۵، صفحه ۳۳۳ - ۳۱۷ (آذر و دی ۱۳۹۸)

Iran South Med J 2019; 22(5): 317-333

مدلسازی نحوه پراکنش و ارزیابی خطر سلامت مواجهه با PM_{10} انتشاریافته از دودکش‌های یکی از صنایع کاشی و سرامیک شهرستان اردکان با استفاده از مدل AERMOD

سعید شجاعی برجوئی (MSc)[1*]، حمیدرضا عظیم‌زاده (PhD)[1]، محمدرضا کوچک‌زاده (MSc)[2]، اصغر مصلح‌آرانی (PhD)[1]، حمید سودائی‌زاده (PhD)[1]

[1] گروه آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران
[2] بخش محیط زیست انسانی، اداره کل حفاظت محیط زیست استان یزد، یزد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۴/۲۷ - پذیرش مقاله: ۹۸/۵/۱۹)

چکیده

زمینه: در کشورهای در حال توسعه، آلودگی هوا ناشی از صنایع به عنوان تهدیدی جدی برای سلامت و بهداشت عمومی جوامع است. هدف از این پژوهش تعیین نحوه پراکندگی و ارزیابی خطر سلامت PM_{10} انتشار یافته از دودکش‌های یک کارخانه کاشی و سرامیک است.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به صورت توصیفی – مقطعی در یکی از صنایع کاشی و سرامیک شهرستان اردکان انجام شد. ابتدا برای ترسیم نحوه پراکندگی و ارزیابی مواجهه با PM_{10}، اطلاعات انتشار دودکش‌ها، داده‌های هواشناسی و توپوگرافی برای اجرای مدل AERMOD تهیه گردید. سپس مقادیر غلظت شبیه‌سازی شده با استانداردهای EPA و WHO مقایسه و با استفاده از روابط پیشنهادی توسط EPA خطرات سلامتی مواجهه با PM_{10} در دو بخش خطرات سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا محاسبه شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد پراکندگی PM_{10} به علت مسطح بودن ناحیه مدلسازی به صورت یکنواخت و در تمامی جهات صورت می‌گیرد. با مقایسه بیشینه‌های غلظت شبیه‌سازی شده با استانداردهای مذکور نتایج نشان داد، بیشینه‌های غلظت PM_{10} در بازه زمانی ۲۴ ساعته برای دو استاندارد و در بازه زمانی سالانه برای استاندار WHO بالاتر از حد مجاز است. بر عکس متوسط‌های غلظت ۲۴ ساعته و سالانه پایین‌تر از حدود مجاز پیش‌بینی شد. نتایج ارزیابی خطر سلامت در هر دو بخش خطرات سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا قابل قبول تخمین زده شد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش هر چند سهم خطرات سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی دودکش‌های کارخانه مورد بررسی قابل قبول محاسبه گردید ولی اثرات تجمعی صنایع اردکان می‌تواند احتمال وقوع چنین خطراتی را در ساکنین روستاهای اطراف صنایع تشدید نماید.

واژگان کلیدی: مواجهه، پراکندگی، ارزیابی خطر سلامت، دودکش، PM_{10}

* یزد، گروه آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران

Email: said.shojaee71@gmail.com
***ORCID: 0000-0001-7560-3154**

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

مقدمه

پیشرفت فعالیت‌های صنعتی، برنامه‌های توسعه و پروژه‌های زیربنایی با وجود تمام مزایا و منافعی که برای انسان به همراه داشته است سرمنشاء بسیاری از مخاطرات، ریسک‌ها و نارسایی‌های قابل توجهی نیز بوده‌اند (۱). در طول چند دهه اخیر تعداد عوامل زیان‌آور محیطی به واسطه رشد روز افزون صنایع و تولیدات صنعتی افزایش چشمگیری یافته و انسان‌ها همواره در مواجهه با طیف وسیعی از آلاینده‌ها و عوامل مضر شیمیایی می‌باشند (۲). ذرات معلق به عنوان مهم‌ترین آلاینده شناخته شده آلودگی هوا، اصطلاح عمومی گرد و غبار موجود در هوا بوده که عمدتاً به واسطه فرآیندهای صنعتی ایجاد می‌شوند (۳). بر طبق آمار سازمان بهداشت جهانی، مواجهه با ذرات معلق موجود در هوای آزاد، سالانه مرگ زودرس نیم میلیون انسان را به دنبال دارد (۴). مطالعات گسترده صورت گرفته در زمینه اثرات ذرات معلق نشان داده‌اند که مواجهه با ذرات می‌تواند به پیشرفت و ایجاد بیماری‌های تنفسی، قلبی عروقی و افزایش بروز بیماری‌ها مانند سرطان ریه، بیماری انسداد مزمن ریه (COPD) کمک کند (۵). ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰ میکرون به واسطه خصوصیات فیزیکوشیمیایی مانند اندازه، تعداد، ناحیه سطحی، خاصیت الکترواستاتیکی و ترکیبات شیمیایی خود باعث بیماری‌های قلبی-عروقی، التهاب مجاری تنفسی و اثرات سایتوتوکسیک و صدمه به DNA سلول می‌شوند (۶). مواجهه اجتناب‌ناپذیر انسان با این عامل محیطی زیان‌آور و برآورد میزان واقعی مواجهه با این عامل، یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی محققین و تصمیم گیرندگان جامعه تبدیل شده است (۷). صنایع کاشی به عنوان یکی از صنایع شاخص آلاینده در ایران با مشکل آلودگی گرد و غبار روبه رو بوده و فرآیند تولید در این صنعت به گونه‌ای است که در مرحله خرایش مواد اولیه توسط سنگ شکن‌های فکی و چکشی و سایش آن‌ها توسط بالمیل و همچنین در مرحله تهیه بدنه کاشی و سرامیک ذرات معلق عمدتاً از جنس کائولن، بنتونیت و فلدسپات از طریق دودکش‌ها (به ویژه اسپری درایرها) به محیط اطراف منتشر می‌کند که ممکن است منجر به مشکلات بهداشتی ساکنین مجاور کارخانه در اثر مواجهه استنشاقی، گوارشی و پوستی شود. در این راستا نیاز به فرآیندی تحت عنوان ارزیابی خطر جهت شناسایی خطرات در محیط و تخمین اثرات آن‌ها بر روی افراد بیشتر احساس می‌شود تا بتوان پیامدهای بالقوه ناشی از خطرات احتمالی بر روی افراد را بررسی کرد و از کنترل خطراتی که منجر به اثرات کوتاه مدت و بلندمدت بر سلامتی می‌شوند، اطمینان حاصل نمود (۸). ارزیابی خطر سلامت در واقع فرآیندی علمی برای شناسایی و تخمین اثرات بالقوه یک عامل شیمیایی، فیزیکی و یا حتی روانشناختی روی یک جمعیت مشخص انسانی، تحت شرایط معین و دریک دوره زمانی خاص می‌باشد، که این 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 (۹). مرور منابع نشان می‌دهد اکثر مطالعات انجام شده بر روی صنعت کاشی و سرامیک مبتنی بر نحوه شکل‌گیری و انتشار گرد و غبار صنایع تولید کاشی و سرامیک به محیط پیرامونی بوده از جمله پژوهش‌های فصاحت و همکاران (۱۰)، تیکول و اسریچاندر (Srichandr & Tikul) (۱۱)، فونسکا (Fonseca) و همکاران (۱۲)، دی لاکامپا (De la Campa) (۱۳) اما ارزیابی خطر سلامت گرد و غبار صنعت کاشی و سرامیک بر روی انسان مورد

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

توجه قرار نگرفته است.

شهرستان اردکان به عنوان بزرگ‌ترین شهرستان استان یزد در منطقه‌ای خشک و بیابانی قرار گرفته است و با متوسط بارش سالیانه کمتر از ۶۰ میلی‌متر، از کمترین پوشش گیاهی برخوردار می‌باشد. بر این اساس همواره وزش بادهایی با سرعت بیش از ۲۰ کیلومتر بر ساعت علاوه بر ایجاد فرسایش بادی، زمینه شکل‌گیری طوفان‌های گرد و خاک و انتشار ذرات معلق را در هوای منطقه ایجاد می‌نماید. کمبود منابع آب در این منطقه به همراه تبخیر بسیار بالا باعث شده تا رفته رفته زمینه‌ی اشتغال در حوزه کشاورزی کاهش یافته و به موازات آن و به دلیل وجود منابع سرشار معدنی در منطقه، صنایع مختلف ایجاد و گسترش یابد. در این راستا و طی سال‌های گذشته انواع صنایع غیرفلزی مختلف از جمله کارخانه‌های شیشه، خاک چینی و کاشی و سرامیک در حاشیه این شهرستان ایجاد گردیده و رو به توسعه می‌باشد (۱۴). پراکنش این صنایع در پیرامون شهرستان اردکان با کمترین ملاحظات زیست محیطی در مکان‌یابی آن‌ها، امروزه سبب بروز و توسعه انواع آلودگی‌های زیست محیطی همچون آب، خاک، هوا و آشفتگی و ناسازگاری فضایی شده است. همگام با رشد این روند بروز انواع بیماری‌ها در اثر مواجهه با عوامل زیان‌آور پدیدار گشته است. با شناسایی خطرپذیری منابع آلاینده و تعیین سهم هر یک از صنایع در ایجاد آلودگی هوا و ریسک‌ها بهداشتی منتسب به آن‌ها می‌توان تصمیماتی را برای کنترل منابع انتشار آلودگی اتخاذ نمود. امروزه با ادغام دنیای مدل‌سازی به ویژه مدل‌های پراکندگی هوا با مدل‌های ارزیابی خطر سلامت توانسته است، هزینه‌های اقتصادی و زمانی برای نمونه‌برداری محیطی از آلاینده کاهش داده و اجرای ارزیابی خطر سلامت به راحتی انجام شود. ارزیابی خطر سلامت در محیط‌های باز می‌تواند رویکرد نوینی را در اختیار کارشناسان و مسئولین جوامع قرار دهد که بر اساس آن تصمیماتی در رابطه با کنترل منابع آلاینده برای کاهش آلودگی و احتمال وقوع ریسک‌های منتسب به آن‌ها گرفته شود. با این توصیف هدف از نگارش این مقاله استفاده از مدل AERMOD در ترسیم نحوه پراکندگی PM_{10} منتشر شده از یک صنعت کاشی و سرامیک و ارزیابی خطر سلامت در اثر مواجهه گوارشی، پوستی و استنشاقی با آن است.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به صورت توصیفی - مقطعی در شهرستان اردکان در یکی از صنایع کاشی و سرامیک انجام شده است. این صنعت در زمینی به وسعت ۲۱۰۰۰۰ متر مربع، با راه اندازی ۸ خط تولید دیجیتال دارای قابلیت تولید روزانه ۱۸۰۰۰ متر کاشی دیوار، ۲۲۰۰۰ متر کاشی کف و ظرفیت تولید سالانه ۳ میلیون متر مربع کاشی است. تعداد دودکش های این صنعت که سبب پخش PM_{10} می شود، شامل ۶ دودکش ساکشن لعاب ۱ و ۲، ساکشن آماده‌سازی بدنه، ساکشن پرس، اسپری ۱ و اسپری ۲ است. ارتفاع میانگین و قطر دودکش‌های ساکشن لعاب ۱ و ۲، ساکشن آماده‌سازی بدنه، ساکشن پرس به ترتیب برابر با ۵ متر و ۱ متر بوده، در حالی که اسپری‌ها تقریباً ۲۱ متر ارتفاع و ۱/۱ متر قطر دارند. در این مطالعه به مدلسازی و ارزیابی خطر دودکش کوره‌ها که باعث تولید آلاینده‌های گازی NO_X، SO_X، O_3 و CO می شود، نخواهیم پرداخت. با این توصیف در این مقاله تنها به آلاینده PM_{10} که نقش بسیار مهمی در ایجاد بیمارهای سرطانی و غیرسرطانی دارد، پرداخته شده است. بدین منظور ارزیابی خطر سلامت

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

مواجهه با PM_{10} دودکش‌ها طی چند مرحله به شرح زیر صورت گرفت:

اندازه‌گیری PM_{10} دودکش‌ها: تمامی نمونه‌برداری‌ها از دودکش توسط دستگاه M9096 Particle) westech Instrument Sampling Train) بر اساس استاندارد ISO-9096 صورت گرفت (۱۵). در این پژوهش جهت سنجش ذرات خروجی از دودکش از روش گراویمتریک استفاده گردید. قبل از نمونه‌برداری برای حذف رطوبت فیلترها به مدت ۲۴ ساعت در آون و دیسکاتور قرار داده شد. پس از آماده‌سازی فیلترها نسبت به توزین فیلتر اقدام گردید. در محل نمونه‌برداری ابتدا سرعت گاز خروجی محاسبه شد و با توجه به سرعت خروجی، قطر نازل و دبی پمپ مشخص گردید. پس از انجام نمونه‌برداری، فیلتر مورد نظر با حفظ شرایط در آزمایشگاه برای حذف رطوبت، در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید و سپس در ژل دیسیکاتور قرار گرفت. سپس فیلتر مجدداً وزن گردید و از اختلاف وزن حاصله میزان ذرات در واحد حجم طبق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$C = \frac{W_2 - W_1}{V} \times 10^6 \qquad (۱)$$

که در آن C غلظت ذرات(میکروگرم بر متر مکعب)، W_1 و W_2 وزن اولیه و ثانویه ذرات (میکروگرم) و V حجم هوای عبوری (متر مکعب) می‌باشد.

مدلسازی پراکندگی و مواجهه محیطی با PM_{10}: جهت ارزیابی پراکندگی و مواجهه محیطی با PM_{10} انتشار یافته از دودکش‌ها، از روش مدلسازی ریاضی بدون انجام نمونه‌برداری مستقیم از PM_{10} استفاده گردید. بدین منظور از مدل پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست و انجمن هواشناسی امریکا به نام AERMOD استفاده شد. AERMOD یک مدل گوسی حالت پایدار بوده که رفتار پلوم حاوی آلاینده‌ها را بر مبنای حل معادلات پخش و پراکنش در حالت دائمی مدلسازی می‌کند. بر اساس معادلات حاکم بر این مدل، توزیع جرم آلاینده در راستای افقی گوسی و در راستای عمودی دو – گوسی و جهت انتقال آلاینده باد محور می باشد (۱۶). AERMOD از یک پیش پردازنده هواشناسی به نام AERMET برای پردازش اطلاعات هواشناسی سطحی و اطلاعات هواشناسی جو بالا تشکیل شده است. اطلاعات هواشناسی سطحی شامل سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی، ابرناکی، فشار ایستگاه و دمای هوای خشک بوده و اطلاعات هواشناسی جو بالا در واقع پروفیل عمودی این پارامترها در ارتفاعات مشخص است. در این مطالعه اطلاعات هواشناسی سطحی از مرکز تحقیقات هواشناسی استان یزد به فرمت اکسل تهیه شد. سپس جهت پردازش در پیش پردازنده AERMET به فرمت sam. تبدیل گردید در نهایت با کنترل کیفی اطلاعات در این پیش پردازنده، دو فایل به فرمت sfc. و pfl. به منظور شبیه‌سازی پارامترهای لایه مرزی جو برای مدل اصلی ARRMOD ایجاد شد.

با توجه به اینکه عوارض زمین بر غلظت آلاینده‌های هوا در هر گیرنده تأثیر دارد بنابراین، پستی و بلندی یکی از عوامل مهم در تعیین توزیع آلودگی است. توپوگرافی از طریق انسداد بادها و محبوس کردن آلاینده‌ها و همچنین جلوگیری از نور خورشید در پراکنش آلاینده‌ها حائز اهمیت است و نقش کلیدی

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

و مهم در پراکنش آلاینده‌ها بازی می‌کند و بر میزان آن می‌افزاید. بدین لحاظ، مدل مذکور از پیش پردازنده دیگری به نام AERMAP تشکیل شده است که اطلاعات پستی و بلندی در محدوده مدلسازی برای پیاده‌سازی منابع و گیرنده‌ها بر روی عوارض در مدل AERMOD فراهم می‌کند. فرمت اطلاعات ورودی به این پیش پردازنده DEM. بوده که با توان تفکیک مختلف به مدل داده می‌شود. در این مطالعه با توجه به مسطح بودن منطقه و عدم وجود عارضه قابل توجه از مدل رقومی ارتفاع با توان تفکیک ۹۰ متر استفاده شد. در نهایت خروجی این پیش پردازنده به فرمت X Y Z به AERMOD داده شد. برای تکمیل فرآیند مدلسازی، شبکه‌ای با ۱۴۴ گیرنده از نوع یکنواخت[1] و همچنین ۶ گیرنده مجزا[2] دیگر با ارتفاع پایه ۱/۵ متر معادل ارتفاع تنفسی انسان تعیین گردید. موقعیت گیرنده‌های مجزا به گونه‌ای تعیین شد که در تماس مستقیم با گرد و غبار کارخانه کاشی سرامیک بودند. اسامی موقعیت مکانی این گیرنده‌ها شامل نگهبانی مستقر در بخش ورودی کارخانه کاشی و سرامیک، پارک شهید پایدار به عنوان یک مرکز تفریحی، سکونتگاه‌های روستای ترک آباد، کارخانه روباز فراوری شن و ماسه، شهرک صنعتی و پلیس راه اردکان نائین بود. سایر اطلاعات تکمیلی برای تعریف در پردازنده اصلی شامل وسعت پهنه مدلسازی با مساحت ۱۰×۸ کیلومتر مربع، موقعیت دودکش‌ها به همراه ویژگی‌های هندسی آن و نرخ انتشار آن‌ها بود. در نهایت خروجی‌های یک ساعته، هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه برای ترسیم نحوه پراکندگی و مواجهه گیرنده‌های خاص در بازه‌های زمانی مذکور گرفته شد. باید توجه نمود مدل AERMOD قادر به تهیه سه نوع خروجی است که در سطر زیر این خروجی‌ها معرفی شده اند:

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

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

۳) جدول تمامی مقادیر غلظت رخ داده در تمامی روزهای دوره آماری، در هر پذیرنده، در هر متوسط زمانی و برای هر گروه از منابع؛

بعد از تهیه خروجی‌ها مقادیر PM_{10} شبیه‌سازی شده با مقادیر ۲۴ ساعته و سالانه استاندارد NAAQS و WHO مورد مقایسه قرار گرفت.

ارزیابی خطر سلامت: بعد از مدلسازی و تخمین مواجهه PM_{10} در شش گروه مورد بررسی، اقدام به ارزیابی خطر سلامت گردید. ارزیابی خطر سلامت فرآیند چند مرحله است که در دو بخش ارزیابی خطرات سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا و بر اساس روش ارزیابی خطر سلامت ارائه شده توسط سازمان محیط زیست آمریکا (USEPA) برای دو طبقه سنی کودک و بزرگسال انجام می‌شود. در این بررسی هر دو نوع خطرات سرطان‌زا و غیرسرطان‌زا، قرارگیری شش گروه مواجهه در معرض PM_{10} از هر سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی مدنظر قرار گرفت و مقادیر جذب روزانه PM_{10} (ADD) در هریک از مسیرها با استفاده از روابط ۲، ۳ و ۴ محاسبه شد (۱۷).

$$ADD_{ing} = \frac{C \times IngR \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \qquad (۲)$$

[1] Uniform Cartesian Grid
[2] Discrete Cartesian Receptors

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

$$ADD_{inh} = \frac{C \times InhR \times EF \times ED}{BW \times AT \times PEF} \quad (۳)$$

$$ADD_{dermal} = \frac{C \times SA \times SL \times ABS \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (۴)$$

در روابط فوق پارامترهای ADD_{ing}، ADD_{inh} و ADD_{dermal} به ترتیب مقدار میانگین جذب روزانه $PM_{۱۰}$ برحسب میکروگرم بر متر مکعب در روز از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی است، c غلظت $PM_{۱۰}$ شبیه‌سازی شده بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب، BW وزن متوسط بدن که برای کودکان ۱۵ کیلوگرم و برای بزرگسالان ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود. R_{Ing} نرخ بلعیدن که برای کودکان برابر با ۲۰۰ و برای بزرگسالان برابر با ۱۰۰ میلی‌گرم در روز است، R_{Inh} نرخ استنشاق که برای کودکان برابر با ۷/۶ و برای بزرگسالان ۲۰ متر مکعب در روز در نظر گرفته می‌شود، PEF بیانگر فاکتور انتشار که برای هر دو طبقه سنی $۱/۳۶\times۱۰^{۹}$ بر حسب متر مکعب بر کیلوگرم است، SA ناحیه‌ای از پوست که در تماس با ذرات هوابرد می‌باشد. مقدار این پارامتر برای کودکان برابر با ۲۸۰۰ سانتی‌متر مربع و برای بزرگسالان ۵۷۰۰ سانتی‌متر مربع است. SL فاکتور چسبندگی پوست است که برای کودکان برابر با ۰/۲ میلی‌گرم بر متر مربع و برای بزرگسالان برابر با ۰/۰۷ میلی‌گرم بر متر مربع می‌باشد. EF بیانگر فراوانی مواجهه و مقدار آن برابر با ۱۸۰ روز در سال برای هر دو طبقه سنی می‌باشد. ED[3] بیانگر زمان مواجهه که برای کودکان برابر با ۶ ساعت و برای بزرگسالان برابر با ۲۴ ساعت، AT برای ریسک‌های سرطانی برابر ۳۶۵×۷۰ روز و برای ریسک‌های غیرسرطانی ED×۳۶۵ روز، برای هر دو طبقه سنی می‌باشد. ABS[4] فاکتور جذب پوستی که برای هر دو طبقه سنی برابر با ۰/۰۰۱ (بدون واحد) در نظر گرفته می‌شود. CF[5] فاکتور تبدیل که مقدار آن برابر ۱×۱۰^{-۶} میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۱۸ و ۱۹). پس از اینکه میانگین جذب روزانه $PM_{۱۰}$ از سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی محاسبه شد، خطر غیرسرطان‌زایی (HQ) بر اساس تقسیم جذب روزانه به یک جذب مرجع خاص (RfD) با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید.

$$HQi=\sum \frac{ADD_i}{RfD_i} \quad (۵)$$

HQ_i خطر غیرسرطان‌زایی در هر مسیر، ADD_i مقادیر جذب روزانه $PM_{۱۰}$ از طریق هر یک از سه مسیر بلع، تنفس و جذب پوستی (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و RfD_i دوز مرجع که برآورد حداکثر خطرپذیری در جمعیت انسانی از طریق قرار گرفتن در معرض روزانه $PM_{۱۰}$ در طول عمر است که مقدار آن برابر با $۱/۱\times۱۰^{-۲}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز در نظر گرفته می‌شود (۲۰). اگر میانگین جذب روزانه کمتر از جذب مرجع باشد هیچ اثر نامطلوبی بر سلامتی نخواهد داشت، در غیر اینصورت اگر مقدار جذب روزانه بالاتر از RfD_i باشد احتمال دارد که باعث اثر نامطلوب بر روی سلامت انسان شود.

اگر $HQ\leq1$ باشد، با سلامت انسان ناسازگار نیست و اگر $HQ\geq1$ باشد، اثرات نامطلوب و نگران کننده‌ای بر سلامت انسان دارد. مقدار شاخص خطر تجمعی

[3] exposure duration
[4] Absorbtion
[5] Conversion factor

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]
[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

غیرسرطان‌زایی (HI) کل مسیرها برای هر دو گروه بزرگسال و کودکان طبق رابطه ۶ به دست آمد.

$$HI = \sum HQ_i \quad (۶)$$

شاخص خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی (HI) نمایانگر شدت اثرات نامطلوب کل مسیرهای مواجهه انسان با $PM_{۱۰}$ است. اگر مقدار $HI \leq 1$ باشد اعتقاد بر این است که هیچ خطر مهمی برای اثرات خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی وجود ندارد و اگر $HI \geq 1$ باشد به این معنی است که شانس زیادی برای اثرات خطر تجمعی غیرسرطان‌زایی و احتمال افزایش با افزایش مقدار HI وجود دارد (۲۱). ارزیابی خطر سرطان‌زایی هریک از مسیرهای سه گانه مواجهه با $PM_{۱۰}$ با استفاده از رابطه ۷ انجام شد.

$$\text{Carcinogenic risk (CR)} = \sum ADD_i \times SF_i \quad (۷)$$

در معادله فوق CR خطر سرطان زایی، ADDi مقادیر جذب روزانه $PM_{۱۰}$ در هریک از مسیرهای مواجهه با $PM_{۱۰}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) و SFi فاکتور احتمال ابتلا به سرطان در هر واحد قرارگیری در معرض $PM_{۱۰}$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) است که مقادیر این فاکتور برای $PM_{۱۰}$ برابر با ۲×۱۰^{-۶} میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد (۲۲).

یافته‌ها

نتایج حاصل از بیشینه‌های غلظت یک ساعته، هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، بیشینه‌های غلظت پیش‌بینی شده در بازه زمانی یک ساعته، هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه به ترتیب برابر با ۳۰۲۰/۷۱، ۶۷۰/۶۶، ۲۷۴/۷۹ و ۴۱ میکروگرم بر متر مکعب است. این مقادیر بیشینه در یک گیرنده به فاصله ۳۰۰ متر از دودکش در پیرامون کارخانه مورد بررسی رخ داده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که متوسط غلظت یک ساعته، هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه $PM_{۱۰}$ در پهنه مورد بررسی به‌ترتیب برابر با ۲۰۲/۶۷، ۳۹/۴۹، ۱۸/۴۶ و ۱/۶۶ میکروگرم بر متر مکعب است. با توجه به اینکه مقادیر استاندارد ۲۴ ساعته و سالانه $PM_{۱۰}$ بر اساس استاندارد NAAQS به‌ترتیب برابر با ۱۵۰ و ۵۰ میکروگرم بر مترمکعب و بر اساس استاندارد WHO به ترتیب برابر با ۵۰ و ۲۰ میکروگرم بر متر مکعب است (۲۲)، با مقایسه مقادیر بیشینه ۲۴ ساعته و سالانه $PM_{۱۰}$ با استانداردهای مذکور نتایج نشان داد مقادیر غلظت‌های بیشینه شبیه‌سازی شده (به استثناء سالانه NAAQS) بالاتر از حدود مجاز استاندارد هستند. بر عکس مقادیر متوسط $PM_{۱۰}$ در پهنه مورد بررسی در اکثر گیرنده‌ها پایین‌تر از حدود مجاز NAAQS و WHO پیش‌بینی شد. به طوری که غلظت پیش‌بینی شده در بازه زمانی ۲۴ ساعته $PM_{۱۰}$ به ترتیب در حدود ۳/۸۸ و ۵/۴۴ درصد و در بازه زمانی سالانه به‌ترتیب صفر و سه درصد گیرنده‌ها بالاتر از مقادیر استاندارد NAAQS و WHO بود.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

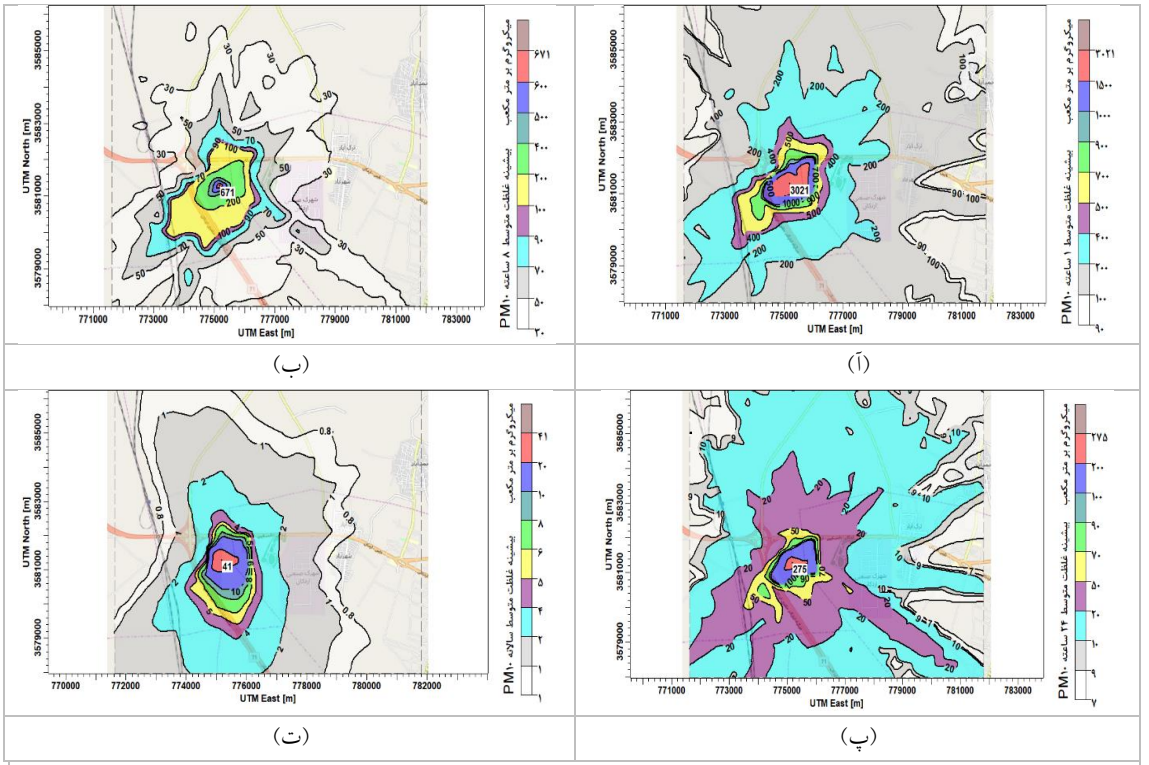
جدول ۱) مشخصات غلظت‌های بیشینه و متوسط PM_{10} انتشار یافته از صنعت کاشی و سرامیک مورد بررسی در بازه زمانی مختلف

متوسط زمانی	روز	ماه	سال	ساعت	ماکسیمم غلظت (میکروگرم/ مترمکعب)	مختصات x (متر)	مختصات y (متر)	متوسط غلظت (میکروگرم/مترمکعب)
یک ساعته	۷	۶	۹۷	۱۵	۳۰۲۰/۷۱	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۱۲۸۴	۲۰۲/۶۷
هشت ساعته	۲۰	۴	۹۷	۸	۶۷۰/۶۶	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۱۲۸۴	۳۹/۴۹
۲۴ ساعته	۱۵	۹	۹۷	۲۴	۲۷۴/۷۹	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۱۲۸۴	۱۸/۴۶
سالانه	-	-	-	-	۴۱	۷۷۵۱۸۲	۳۵۸۱۲۸۴	۱/۶۶

نتایج حاصل از نحوه پراکندگی PM_{10} در ناحیه مدلسازی در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه مسطح می باشد پراکندگی PM_{10} تقریباً در تمامی نواحی به صورت یکنواخت صورت می‌گیرد. به طوری که در بازه زمانی یک ساعته، پراکندگی و غلظت PM_{10} در روستاهای ترک آباد، شهرآباد، شهرک صنعتی اردکان و بخش‌های از روستا احمد آباد به ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب و در پارک شهید پایدار به ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد. در بازه‌های زمانی طولانی‌تر نظیر هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه به علت ترسیب بخش زیادی ذرات، غلظت و پراکندگی PM_{10} کاهش می‌یابد به طوری که تا شعاع ۳۰۰۰ متری از دودکش که برخی نواحی شهرک صنعتی اردکان در برمی‌گیرد، در بازه زمانی هشت ساعته و ۲۴ ساعته و سالانه، غلظت PM_{10} به ترتیب به ۳۰، ۲۰ و ۲ میکروگرم بر متر مکعب می‌رسد. دو پارامتر هواشناسی سرعت و جهت باد نقش عمده‌ای را در پراکندگی و کاهش غلظت آلاینده‌ها ایفا می‌کنند. بدین لحاظ با توجه به اینکه جهت باد غالب منطقه از سمت شمال به سمت جنوب است، پراکنش PM_{10} به سمت نواحی جنوبی منطقه صورت می‌گیرد. این نواحی عمدتاً اراضی بیابانی با پوشش گیاهی فقیر هستند. بنابراین ذرات می‌توانند تا شعاع بسیار دور از منبع آلاینده توسط باد حمل و انتقال یابند.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]



شکل ۱) ترسیم نحوه پراکندگی یک‌ساعته (آ)، هشت ساعته (ب)، ۲۴ ساعته (پ) و سالانه (ت) $PM_{۱۰}$

برای ارزیابی خطر سلامت مواجهه با $PM_{۱۰}$ ابتدا میزان مواجهه با $PM_{۱۰}$ در شش گروه از افراد که در تماس مستقیم با این ذرات بودند شبیه‌سازی گردید و سپس با قرارگیری مقادیر مواجهه در فرمول‌های ارزیابی ریسک سازمان حفاظت محیط زیست امریکا، ارزیابی خطر سلامت صورت گرفت. نتایج میزان تماس افراد با $PM_{۱۰}$ در جدول ۲ ارائه شده است. مطابق نتایج میانگین غلظت یک ساعته، هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه با $PM_{۱۰}$ در شش گروه مواجه به ترتیب برابر با ۴۹۹/۵۹، ۹۰/۳۳، ۳۴/۲۵ و ۳/۸۷ میکروگرم بر متر مکعب می‌باشد. بیشترین مواجهه با $PM_{۱۰}$ در کلیه بازه‌های زمانی مربوط به افراد شاغل در شهرک صنعتی اردکان و کمترین میزان مواجهه مربوط به نگهبانی مستقر در بخش ورودی کارخانه کاشی و سرامیک بود.

جدول ۲) مقادیر غلظت شبیه‌سازی شده، مواجهه محیطی با $PM_{۱۰}$ انتشاریافته از دودکش‌ها در شش گروه مواجه

گروه‌های مواجه/ زمان مواجهه	غلظت (میکروگرم / متر مکعب)			
	مواجهه کوتاه مدت			مواجهه بلند مدت
	یک ساعته	هشت ساعته	۲۴ ساعته	سالانه
نگهبانی کارخانه کاشی و سرامیک	۱۱۱/۵۹	۱۹/۶۰	۸/۰۲	۰/۶۴
پارک شهید پایدار	۱۴۲/۴۳	۲۵/۲۳	۱۲/۴۲	۱/۳۲
مناطق مسکونی ترک آباد	۳۰۷/۹۵	۵۹/۶۰	۲۴/۱۱	۲/۶۸
کارخانه فرآوری شن و ماسه	۱۳۷/۰۳	۲۹/۹۶	۱۶/۴۶	۲/۶۰
شهرک صنعتی اردکان	۱۵۸۰/۷۴	۲۸۷/۰۳	۱۰۱/۱۰	۱۰/۱۳
پلیس راه اردکان – نائین	۷۱۷/۸۳	۱۲۰/۶۱	۴۳/۳۹	۵/۸۷
میانگین غلظت در گروه‌های مواجه	۴۹۹/۵۹	۹۰/۳۳	۳۴/۲۵	۳/۸۷

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

نتایج ارزیابی خطر سلامت مواجهه با PM_{10} در شش گروه مورد بررسی در بازه‌های زمانی یک ساعته، هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه در جداول ۳ تا ۶ ارائه شده است. نتایج این بررسی نشان داد که مواجهه گوارشی با PM_{10} بیشتر از روش‌های مواجهه پوستی و استنشاقی است. مطابق نتایج ریسک‌های غیرسرطانی به علت کوچک بودن شاخص خطر تجمعی کوچک‌تر از یک و ریسک‌های سرطانی به علت کوچکتر بودن مقادیر به دست آمده از عدد 10^{-4} قابل قبول تخمین زده شد.

جدول ۳) مقادیر ریسک سرطانی و شاخص‌های خطر ریسک غیرسرطانی مواجهه کوتاه مدت (یک ساعته) با PM_{10}

گروه مواجه	طبقه سنی	HQ_{ingest}	HQ_{inhal}	HQ_{dermal}	HI	R_{total}
نگهبانی کارخانه کاشی و سرامیک	کودک	$۸/۴۰ \times 10^{-۵}$	$۴/۶۹ \times 10^{-۹}$	$۴/۷۰ \times 10^{-۷}$	$۸/۴۶ \times 10^{-۵}$	$۱/۰۴ \times 10^{-۱۳}$
	بزرگسال	$۱/۴۲ \times 10^{-۵}$	$۱/۰۴ \times 10^{-۹}$	$۲/۸۳ \times 10^{-۸}$	$۱/۴۲ \times 10^{-۵}$	$۱/۰۷ \times 10^{-۱۳}$
پارک شهید پایدار	کودک	$۶/۴۵ \times 10^{-۴}$	$۳/۶۰ \times 10^{-۸}$	$۳/۶۱ \times 10^{-۶}$	$۶/۴۹ \times 10^{-۴}$	$۸/۰۴ \times 10^{-۱۲}$
	بزرگسال	$۱/۸۱ \times 10^{-۵}$	$۱/۳۳ \times 10^{-۹}$	$۳/۶۲ \times 10^{-۸}$	$۱/۸۲ \times 10^{-۵}$	$۱/۳۷ \times 10^{-۱۳}$
مناطق مسکونی ترک آباد	کودک	$۱/۳۹ \times 10^{-۳}$	$۷/۷۹ \times 10^{-۸}$	$۷/۸۱ \times 10^{-۶}$	$۱/۴۰ \times 10^{-۳}$	$۱/۷۴ \times 10^{-۱۳}$
	بزرگسال	$۳/۹۳ \times 10^{-۵}$	$۲/۸۹ \times 10^{-۹}$	$۷/۸۴ \times 10^{-۸}$	$۳/۹۴ \times 10^{-۵}$	$۲/۹۷ \times 10^{-۱۳}$
کارخانه فرآوری شن و ماسه	کودک	$۶/۲۲ \times 10^{-۴}$	$۳/۴۷ \times 10^{-۸}$	$۳/۴۸ \times 10^{-۶}$	$۶/۲۶ \times 10^{-۴}$	$۷/۷۶ \times 10^{-۱۲}$
	بزرگسال	$۱/۷۵ \times 10^{-۵}$	$۱/۲۹ \times 10^{-۹}$	$۳/۵۰ \times 10^{-۸}$	$۱/۷۶ \times 10^{-۵}$	$۱/۳۲ \times 10^{-۱۳}$
شهرک صنعتی اردکان	کودک	$۷/۱۸ \times 10^{-۳}$	$۴/۰۱ \times 10^{-۷}$	$۴/۰۲ \times 10^{-۵}$	$۷/۲۲ \times 10^{-۳}$	$۸/۹۵ \times 10^{-۱۳}$
	بزرگسال	$۲/۰۲ \times 10^{-۴}$	$۱/۴۸ \times 10^{-۸}$	$۴/۰۳ \times 10^{-۷}$	$۲/۰۳ \times 10^{-۴}$	$۱/۵۲ \times 10^{-۱۲}$
پلیس راه اردکان – نائین	کودک	$۳/۲۵ \times 10^{-۳}$	$۱/۸۲ \times 10^{-۷}$	$۱/۸۲ \times 10^{-۵}$	$۳/۲۷ \times 10^{-۳}$	$۴/۰۶ \times 10^{-۱۳}$
	بزرگسال	$۹/۱۸ \times 10^{-۵}$	$۶/۷۵ \times 10^{-۹}$	$۱/۸۳ \times 10^{-۷}$	$۹/۲ \times 10^{-۵}$	$۶/۹۴ \times 10^{-۱۳}$

جدول ۴) مقادیر ریسک سرطانی و شاخص‌های خطر ریسک غیرسرطانی مواجهه کوتاه مدت (هشت ساعته) با PM_{10}

گروه مواجه	طبقه سنی	HQ_{ingest}	HQ_{inhal}	HQ_{dermal}	HI	R_{total}
نگهبانی کارخانه کاشی و سرامیک	کودک	$۱/۴۴ \times 10^{-۵}$	$۸/۰۴ \times 10^{-۱۰}$	$۸/۰۶ \times 10^{-۸}$	$۱/۴۵ \times 10^{-۵}$	$۱/۷۹ \times 10^{-۱۵}$
	بزرگسال	$۲/۴۳ \times 10^{-۶}$	$۱/۷۹ \times 10^{-۱۰}$	$۴/۸۶ \times 10^{-۹}$	$۲/۴۴ \times 10^{-۶}$	$۱/۸۴ \times 10^{-۱۴}$
پارک شهید پایدار	کودک	$۱/۱۴ \times 10^{-۴}$	$۶/۳۵ \times 10^{-۹}$	$۶/۳۶ \times 10^{-۷}$	$۱/۱۴ \times 10^{-۴}$	$۱/۴۲ \times 10^{-۱۴}$
	بزرگسال	$۳/۲۰ \times 10^{-۶}$	$۲/۳۵ \times 10^{-۱۰}$	$۶/۳۹ \times 10^{-۹}$	$۳/۲۱ \times 10^{-۶}$	$۲/۴۲ \times 10^{-۱۴}$
مناطق مسکونی ترک آباد	کودک	$۲/۶۸ \times 10^{-۴}$	$۱/۵۰ \times 10^{-۸}$	$۱/۵۰ \times 10^{-۶}$	$۲/۷ \times 10^{-۴}$	$۳/۳۴ \times 10^{-۱۴}$
	بزرگسال	$۷/۵۶ \times 10^{-۶}$	$۵/۵۶ \times 10^{-۱۰}$	$۱/۵۱ \times 10^{-۸}$	$۷/۵۷ \times 10^{-۶}$	$۵/۷۱ \times 10^{-۱۴}$
کارخانه فرآوری شن و ماسه	کودک	$۱/۳۲ \times 10^{-۴}$	$۷/۳۷ \times 10^{-۹}$	$۷/۳۸ \times 10^{-۷}$	$۱/۳۳ \times 10^{-۴}$	$۱/۶۴ \times 10^{-۱۴}$
	بزرگسال	$۳/۷۱ \times 10^{-۶}$	$۲/۷۳ \times 10^{-۱۰}$	$۷/۴۱ \times 10^{-۹}$	$۳/۷۲ \times 10^{-۶}$	$۲/۸۱ \times 10^{-۱۴}$
شهرک صنعتی اردکان	کودک	$۱/۳۰ \times 10^{-۳}$	$۷/۲۹ \times 10^{-۸}$	$۷/۳۱ \times 10^{-۶}$	$۱/۳۱ \times 10^{-۳}$	$۱/۶۳ \times 10^{-۱۳}$
	بزرگسال	$۳/۶۸ \times 10^{-۵}$	$۲/۷۰ \times 10^{-۹}$	$۷/۳۳ \times 10^{-۸}$	$۳/۶۸ \times 10^{-۵}$	$۲/۷۸ \times 10^{-۱۳}$
پلیس راه اردکان – نائین	کودک	$۵/۴۵ \times 10^{-۴}$	$۳/۰۵ \times 10^{-۸}$	$۳/۰۵ \times 10^{-۶}$	$۵/۴۹ \times 10^{-۴}$	$۶/۸۰ \times 10^{-۱۴}$
	بزرگسال	$۱/۵۴ \times 10^{-۵}$	$۱/۱۳ \times 10^{-۹}$	$۳/۰۷ \times 10^{-۸}$	$۱/۵۴ \times 10^{-۵}$	$۱/۱۶ \times 10^{-۱۳}$

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

جدول ۵) مقادیر ریسک سرطانی و شاخص‌های خطر ریسک غیرسرطانی مواجهه کوتاه مدت (۲۴ ساعته) با $PM_{۱۰}$

گروه مواجه	طبقه سنی	HQ_{ingest}	HQ_{inhal}	HQ_{dermal}	HI	R_{total}
نگهبانی کارخانه کاشی و سرامیک	کودک	۶/۰۶ ×۱۰^-۶	۳/۳۹ ×۱۰^-۱۰	۳/۳۹ ×۱۰^-۸	۶/۰۹ ×۱۰^-۶	۷/۵۶ ×۱۰^-۱۶
	بزرگسال	۱/۰۲ ×۱۰^-۶	۷/۵۳ ×۱۰^-۱۱	۲/۰۴ ×۱۰^-۹	۱/۰۳ ×۱۰^-۶	۷/۷۵ ×۱۰^-۱۵
پارک شهید پایدار	کودک	۵/۴۵ ×۱۰^-۵	۳/۰۵ ×۱۰^-۹	۳/۰۵ ×۱۰^-۷	۵/۴۹ ×۱۰^-۵	۶/۸۰ ×۱۰^-۱۵
	بزرگسال	۱/۵۴ ×۱۰^-۶	۱/۱۳ ×۱۰^-۱۰	۳/۰۷ ×۱۰^-۹	۱/۵۴ ×۱۰^-۶	۱/۱۶ ×۱۰^-۱۴
مناطق مسکونی ترک آباد	کودک	۱/۰۹ ×۱۰^-۴	۶/۱۰ ×۱۰^-۹	۶/۱۱ ×۱۰^-۷	۱/۱۰ ×۱۰^-۴	۱/۳۶ ×۱۰^-۱۴
	بزرگسال	۳/۰۷ ×۱۰^-۶	۲/۲۶ ×۱۰^-۱۰	۶/۱۳ ×۱۰^-۹	۳/۰۸ ×۱۰^-۶	۲/۳۲ ×۱۰^-۱۴
کارخانه فرآوری شن و ماسه	کودک	۷/۲۷ ×۱۰^-۵	۴/۰۶ ×۱۰^-۹	۴/۰۷ ×۱۰^-۷	۷/۳۱ ×۱۰^-۵	۹/۰۷ ×۱۰^-۱۵
	بزرگسال	۲/۰۵ ×۱۰^-۶	۱/۵۱ ×۱۰^-۱۰	۴/۰۹ ×۱۰^-۹	۲/۰۵ ×۱۰^-۶	۱/۵۵ ×۱۰^-۱۴
شهرک صنعتی اردکان	کودک	۴/۵۹ ×۱۰^-۴	۲/۵۷ ×۱۰^-۸	۲/۵۷ ×۱۰^-۶	۴/۶۲ ×۱۰^-۴	۵/۷۲ ×۱۰^-۱۴
	بزرگسال	۱/۲۹ ×۱۰^-۵	۹/۵۱ ×۱۰^-۱۰	۲/۵۸ ×۱۰^-۸	۱/۳۰ ×۱۰^-۵	۹/۷۸ ×۱۰^-۱۴
پلیس راه اردکان – نائین	کودک	۱/۹۵ ×۱۰^-۴	۱/۰۹ ×۱۰^-۸	۱/۰۹ ×۱۰^-۶	۱/۹۷ ×۱۰^-۴	۲/۴۴ ×۱۰^-۱۴
	بزرگسال	۵/۵۱ ×۱۰^-۶	۴/۰۵ ×۱۰^-۱۰	۱/۱۰ ×۱۰^-۸	۵/۵۲ ×۱۰^-۶	۴/۱۶ ×۱۰^-۱۴

جدول ۶) مقادیر ریسک سرطانی و شاخص‌های خطر ریسک غیرسرطانی مواجهه بلند مدت (سالانه) با $PM_{۱۰}$

گروه مواجه	طبقه سنی	HQ_{ingest}	HQ_{inhal}	HQ_{dermal}	HI	R_{total}
نگهبانی کارخانه کاشی و سرامیک	کودک	۴/۸۵ ×۱۰^-۶	۲/۷۱ ×۱۰^-۱۰	۲/۷۲ ×۱۰^-۸	۴/۸۸ ×۱۰^-۶	۶/۰۵ ×۱۰^-۱۶
	بزرگسال	۸/۲۰ ×۱۰^-۷	۶/۰۳ ×۱۰^-۱۱	۱/۶۴ ×۱۰^-۹	۸/۲۱ ×۱۰^-۷	۶/۲۰ ×۱۰^-۱۵
پارک شهید پایدار	کودک	۶/۰۰ ×۱۰^-۶	۳/۳۵ ×۱۰^-۱۰	۳/۳۶ ×۱۰^-۸	۶/۰۳ ×۱۰^-۶	۷/۴۸ ×۱۰^-۱۶
	بزرگسال	۱/۶۹ ×۱۰^-۷	۱/۲۴ ×۱۰^-۱۱	۳/۳۷ ×۱۰^-۱۰	۱/۶۹ ×۱۰^-۷	۱/۲۸ ×۱۰^-۱۵
مناطق مسکونی ترک آباد	کودک	۱/۲۲ ×۱۰^-۵	۶/۸۱ ×۱۰^-۱۰	۶/۸۲ ×۱۰^-۸	۱/۲۳ ×۱۰^-۵	۱/۵۲ ×۱۰^-۱۵
	بزرگسال	۳/۴۳ ×۱۰^-۷	۲/۵۲ ×۱۰^-۱۱	۶/۸۵ ×۱۰^-۱۰	۳/۴۴ ×۱۰^-۷	۲/۵۹ ×۱۰^-۱۵
کارخانه فرآوری شن و ماسه	کودک	۱/۱۸ ×۱۰^-۵	۶/۶۰ ×۱۰^-۱۰	۶/۶۲ ×۱۰^-۸	۱/۱۹ ×۱۰^-۵	۱/۴۷ ×۱۰^-۱۵
	بزرگسال	۳/۳۳ ×۱۰^-۷	۴/۴۵ ×۱۰^-۱۱	۶/۶۴ ×۱۰^-۱۰	۳/۳۴ ×۱۰^-۷	۲/۵۲ ×۱۰^-۱۵
شهرک صنعتی اردکان	کودک	۴/۵۹ ×۱۰^-۵	۲/۵۷ ×۱۰^-۹	۲/۵۷ ×۱۰^-۷	۴/۶۲ ×۱۰^-۵	۵/۷۲ ×۱۰^-۱۵
	بزرگسال	۱/۲۹ ×۱۰^-۶	۹/۵۱ ×۱۰^-۱۱	۲/۵۸ ×۱۰^-۹	۱/۳۰ ×۱۰^-۶	۹/۷۸ ×۱۰^-۱۵
پلیس راه اردکان – نائین	کودک	۲/۶۷ ×۱۰^-۵	۱/۴۹ ×۱۰^-۹	۱/۴۹ ×۱۰^-۷	۲/۶۸ ×۱۰^-۵	۳/۳۳ ×۱۰^-۱۵
	بزرگسال	۷/۵۲ ×۱۰^-۷	۵/۵۳ ×۱۰^-۱۱	۱/۵۰ ×۱۰^-۹	۷/۵۳ ×۱۰^-۷	۵/۶۸ ×۱۰^-۱۵

بحث

در این پژوهش با استفاده از مدل AERMOD به ارزیابی نحوه پراکندگی $PM_{۱۰}$، میزان مواجهه با $PM_{۱۰}$ و ارزیابی خطر سلامت در شش گروه از افراد پیرامون صنعت کاشی و سرامیک مورد بررسی پرداخته شد. نتایج اولیه مدلسازی که در برگیرنده مقادیر بیشینه $PM_{۱۰}$ رخ داده و مقادیر متوسط غلظت $PM_{۱۰}$ در پهنه مورد مطالعه در بازه‌های زمانی یک ساعته، هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه بود نشان داد، مقادیر بیشینه $PM_{۱۰}$ در دوره‌های زمانی یک ساعته، هشت ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه به‌ترتیب برابر با ۳۰۲۰/۷۱، ۶۷۰/۶۶، ۲۷۴/۷۹ و ۴۱ میکروگرم بر متر مکعب و مقادیر متوسط آن به ترتیب برابر با ۲۰۲/۶۷، ۳۹/۴۹، ۱۸/۴۶ و ۱/۶۶ میکروگرم بر متر مکعب است. در این راستا، نورپور و شهابی، با استفاده از مدل AERMOD به ارزیابی نحوه پراکندگی ذرات معلق خروجی از پنج دودکش کارخانه سیمان ایلام که شامل الکتروفیلتر خط یک، گرید کولر خط یک، آسیاب، الکتروفیلتر خط دو و گرید کولر خط دو بود، پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد مقادیر بیشینه یک ساعته، هشت ساعته،

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

۲۴ ساعته و سالانه ذرات معلق محیطی به‌ترتیب برابر با ۷۴/۳۲، ۱۴/۹۳، ۵/۱۰ و ۰/۸۴ میکروگرم بر متر مکعب است. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد، بیشترین غلظت ذرات معلق اندازه‌گیری شده معادل یک میکروگرم بر مترمکعب در فاصله ۸۹۰۰ متری در راستای شرقی و ۵۳۰۰ متری در راستای شمالی کارخانه سیمان ایلام رخ می‌دهد و مناطق سر آبله، ایلام و کوار کمتر تحت تأثیر ذرات معلق قرار دارند. مقادیر بیشینه ۲۴ ساعته و سالانه به‌دست آمده در این مطالعه پایین‌تر از حد مجاز استاندارد NAAQS و WHO پیش‌بینی شده بود (۲۳). در مطالعه حاضر بیشینه غلظت ۲۴ ساعته و سالانه $PM_{۱۰}$ در دو استاندارد NAAQS (به استثناء سالانه) و WHO بالاتر از حد مجاز پیش‌بینی شد که مطابق نتایج نورپور و شهابی نمی‌باشد. بر عکس متوسط‌های غلظت ۲۴ ساعته و سالانه پایین‌تر از حدود استاندارد بود. دجن و فرانسین (Dejene & Francine)، برای شبیه‌سازی پراکندگی ذرات معلق ($PM_{۲/۵}$) و SO_2 انتشار یافته از نیروگاه‌های زغال سنگ در سرزمین تریبال اکلاهما، از مدل AERMOD استفاده نمودند و نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین غلظت شبیه سازی شده $PM_{۲/۵}$ برابر با ۱۰ میکروگرم بر مترمکعب بوده که این غلظت پایین‌تر از حدود استاندارد NAAQS است (۲۴). امیدی خانی‌آبادی و همکاران، به ارزیابی پراکندگی $PM_{۱۰}$ از دودکش‌های کارخانه سیمان درود با استفاده از مدل پلوم گوس پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد، حداکثر و حداقل غلظت $PM_{۱۰}$ پیش‌بینی شده در پیرامون کارخانه درود در فاصله ۱۸۰۰ و ۵۰۰ متری در شرایط پایدار و کمی پایدار به مقدار ۱۱۸/۱۲ و ۵۳/۱۳ میکروگرم بر مترمکعب از منبع انتشار رخ می‌دهد و مقادیر $PM_{۱۰}$ شبیه‌سازی شده پایین‌تر از حدود استاندار NAAQS است (۲۵). علیزاده داخل و همکاران، حداکثر غلظت محیطی $PM_{۱۰}$ انتشار یافته از دودکش‌های کارخانه سیمان ۳۸۰ میکروگرم بر متر مکعب در فاصله ۸۰۰ متری پیش‌بینی نمود که بالاتر از حدود استاندارد NAAQS و نتایج حاضر بود (۲۶). اکبری و برهان دیانی، حداکثر غلظت ذرات گرد و غبار خروجی کارخانه سیمان بهبهان را ۱۵۲ میکروگرم بر متر مکعب پیش‌بینی نمودند که بالاتر از حدود استاندارد EPA بود (۲۷). عوامل مختلفی بر پخش و پراکنش $PM_{۱۰}$ مؤثر است از جمله شاخص توپوگرافی محل مدلسازی؛ تأثیر این شاخص بر پراکندگی و بیشینه غلظت شبیه‌سازی شده توسط مدل، در مطالعه حاضر و مطالعات محققین دیگر منعکس شده است. خبری و همکاران، توانستند تأثیر توپوگرافی بر پیش‌بینی غلظت محیطی آلاینده‌های انتشار یافته از یک صنعت فولاد آلیاژی واقع در استان یزد و نحوه‌ای پراکندگی آن‌ها در اطراف کارخانه توسط مدل AERMOD در دو حالت مسطح (بدون اجرای پیش پردازنده AERMAP) و دارای عارضه (با اجرای پیش پردازنده AERMAP) با به کارگیری مدل رقومی ارتفاع (DEM) مورد بررسی قرار دهند. نتایج آن‌ها نشان داد، در حالت اجرای AERMAP، بیشینه غلظت پیش‌بینی شده آلاینده‌ها بیشتر از حالت عدم اجرای AERMAP است. در حالت اجرای AERMAP پخش آلاینده‌ها در تمام جهات صورت می‌گیرد و بیشینه غلظت رخ داده در جهت باد غالب منطقه است. بر عکس در حالت عدم اجرای AERMAP بیشینه غلظت در خلاف جهت باد غالب منطقه است (۲۸). در مطالعه حاضر، با اینکه پیش پرازنده AERMAP اجرا شد ولی با توجه اینکه پهنه مورد مطالعه مسطح بوده و عارضه چشمگیری در منطقه وجود نداشت، تجمع آلاینده‌ها در ناحیه خاصی از پهنه صورت نگرفت و پراکنش $PM_{۱۰}$ در سراسر پهنه مدلسازی نسبتاً یکنواخت و بیشینه غلظت در خلاف جهت باد بود. شاخص دیگری که بر پراکندگی و بیشینه غلظت محیطی $PM_{۱۰}$ شبیه سازی شده مؤثر است، اثر پارامترهای هواشناسی نظیر سرعت باد و جهت باد، دما و رطوبت نسبی می‌باشد. دما به عنوان یک فاکتور هواشناسی، با افزایش آن در طول روز منجر به افزایش نوسانات جهت باد غالب شده و منجر به تغییر جهت وزش باد می‌شود و پراکندگی آلاینده‌ها تحت تأثیر قرار می‌دهد. سرعت وزش باد بیشتر منجر به کاهش غلظت آلاینده‌ها شده و می‌توان بیشینه‌های غلظت شبیه‌سازی شده تحت تأثیر قرار دهد. در مطالعه حاضر جهت میانگین باد غالب منطقه از

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

سمت شمال به سمت جنوب بوده و ۵۳/۳ درصد بادها دارای سرعتی معادل ۳/۶۰-۲/۱۰ متر بر ثانیه است که در کلاس پایداری B قرار دارند و تنها ۱/۳ درصد آن‌ها آرام و در کلاس پایداری A قرار می‌گیرند. شاخص سوم دیگری که بر پخش و پراکنش $PM_{۱۰}$ تأثیرگذار است؛ ویژگی‌های هندسی منبع انتشار نظیر قطر دودکش و ارتفاع دودکش است. در این مطالعه دودکش‌های اسپری با دارا بودن ارتفاع بسیار زیاد باعث کاهش غلظت $PM_{۱۰}$ پیش‌بینی شده توسط مدل و همچنین باعث اتفاق افتادن بیشینه غلظت در فواصل دورتر از کارخانه شد. در مطالعه عباسی و همکاران، (۲۹) و هال (Hall) و همکاران، (۳۰) افزایش ارتفاع دودکش باعث کاهش غلظت آلاینده‌ها شد و علت آن را افزایش عملکرد فاکتورهای هواشناسی در کاهش غلظت آلاینده‌ها از منبع به گیرنده دانستند. مجموعه فاکتورهای هواشناسی، توپوگرافی و ویژگی هندسی منبع انتشار تشریح شده، منجر به مواجهه گروهی از افراد با غلظت معینی از $PM_{۱۰}$ می‌شود. در این پژوهش مواجهه افراد واقع در شهرک صنعتی اردکان بیشتر از سایر گروه‌ها تخمین زده شد. این گروه از افراد حدود دو کیلومتر از دودکش‌های کارخانه کاشی فاصله دارند و در مواجهه تنگاتنگ با $PM_{۱۰}$ دودکش بودند. همچنین نتایج نشان داد پراکندگی $PM_{۱۰}$ از صنعت کاشی و سرامیک مذکور هیچ گونه خطر سرطانی و غیرسرطانی در شش گروه مواجهه مورد بررسی ایجاد نمی‌کند. در راستای این بحث، مختار و همکاران، مطالعه‌ای با هدف ارزیابی ریسک بهداشتی انتشارات نیروگاه زغال سنگ با استفاده از روش نمونه‌گیری غیرمستقیم به کمک مدل AERMOD انجام دادند و نتایج آن‌ها نشان داد، مواجهه بلندمدت با SO_2 و همچنین مواجهه کوتاه مدت و بلندمدت با جیوه تا شعاع ۱۰ کیلومتری از منبع انتشار، اثرات نامطلوب غیرسرطانی بر سلامت انسان وارد نمی‌سازد. در حالی‌که احتمال بروز سرطان در مواجهه کوتاه مدت با جیوه به علت بزرگ‌تر بودن مقادیر مواجهه بزرگ‌تر از عدد $۱۰^{-۴}$ وجود دارد (۳۱). محمد (Mohammed)، ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی مواجهه با $PM_{۱۰}$ در شهر ماخاه عربستان را قابل قبول محاسبه نمودند که مطابق نتایج مطالعه حاضر است (۲۰). محققانی که در زمینه ارزیابی خطر سلامت فعالیت دارند اغلب علاقه‌مند به اندازه‌گیری میزان مواجهه با آلاینده‌های هوا در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی هستند ولی با توجه به اینکه هزینه‌های نمونه‌برداری از آلاینده‌ها در هر نقطه از پهنه مورد بررسی بسیار زیاد بوده و با محدویت‌های زمانی برای انجام پژوهش رو به رو می‌باشند این مطالعه نشان داد می‌توان با استفاده از مدل‌های پخش و پراکندگی بر این محدودیت غلبه نمود و گامی مؤثر در ارزیابی اثرات توسعه صنایع بر سلامت انسان برداشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد سهم صنعت کاشی و سرامیک مورد بررسی در بروز ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی برای جوامع محلی اطراف در سطوح ایمن است. با توجه به اینکه در پیرامون صنعت مورد بررسی انواع مختلفی از صنایع نظیر شیشه، خاک چینی، فولاد و کاشی و سرامیک دیگر استقرار یافته‌اند؛ اثرات تجمعی این صنایع می‌تواند غلظت $PM_{۱۰}$ را به سطوح بحرانی برساند و منجر به ایجاد ریسک‌های سرطانی و غیرسرطانی در جوامع اطراف شود. بنابراین انجام پژوهش در قالب اثرات تجمعی صنایع استقرار یافته در ناحیه مدل‌سازی پیشنهاد می‌شود.

سپاس و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "مواجهات شغلی با گرد و غبار و ارزیابی ریسک بهداشتی آن در بخش‌های اصلی کارخانه و مدلسازی پهنه‌بندی غبار در اطراف یکی از صنایع کانی‌های غیرفلزی با استفاده از مدل AERMOD" در مقطع کارشناسی ارشد است که با حمایت دانشگاه یزد در سال ۱۳۹۷ اجرا شده است.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

References:

1.Omidi Khaniabadi Y, Rashidi R, Godarzi G, et al. Measurement of Mass Emission Values of Gaseous Pollutants from the Stack of Doroud Cement Plant. J Health Field 2014; 2(2): 36-42. (Persian)
2.Akhbari R, Amadeh H. Application of Pollution Haven Hypothesis in Identifying Dirty Industries Evidence of Iran-China Commercial Relationship. J Environ Sci Tech 2017; 19(2): 15-32. (Persian)
3.Nourmoradi H, Omidi khaniabadi Y, Goudarzi G, et al. Investigation on the Dust Dispersion (PM10 and PM2.5) by Doroud Cement Plant and Study of Its Individual Exposure Rates. J Ilam Univ Med Sci 2016; 24(1): 64-75. (Persian)
4. Noferesti AR, Atabi F, Nouri J, et al. Predicting the Mortality Rate Due to Particulate Matters Using AirQ Software and Health Risk Assessment in the City of Sanandaj. J Environ Sci Tech 2019; 21(2): 211-26. (Persian)
5.Mohseni Bandpi A, Eslami A, Shahsavani A, et al. Watersoluble and Organic Extracts of Ambient PM2. 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.
6.Kermani M, Farzadkia M, Rezaei Kalantari R, et al. Assessment Risk of Heavy Metals in Particulate Matter Smaller than 10 Microns on Tehran's Kahrizak Compost Complex Workers in Winter 2016. Iran Occup Health 2018; 15(2): 165-75. (Persian)
7.Yunesian M, Aghaei M. Exposure Assessment to Environmental Pollutants in Human Health Risk Assessment Studies; Overview on New Approaches. J Health 2019; 10(2): 138-55. (Persian)
8.Marika B, Carl Gustaf E, Lars J. Human Exposure Assessment; an Introduction. World Health Organization, 2001, 196.
9.WHO. Human Risk Assessment Prepared by the Edinburgh Centre for Toxicology. UNEP/IPCS. Training Module No. 3 Section A, 1999, 1-106.
10.Fesahat M, Azimzadeh HR, Nejadkoorki F, et al. Measuring Air Pollutants in the Tile Industry and Providing Pollution Reduction Solutions (Case Study: Tile Factory located in Jahan Abad Meybod Industrial city). Second National Conference on Environmental Health, Health and Environment 2015. (Available from: URL: https://www.civilica.com/Paper-HYGIENE02-HYGIENE02_075.html). (Persian)
11.Tikul N, Srichandr P. Assessing the Environmental Impact of Ceramic Tile Production in Thailand. J Ceram Soc Jpn 2010; 118(1382): 887-94.
12.Fonseca AS, Maragkidou A, Viana M, et al. Process-Generated Nanoparticles from Ceramic Tile Sintering: Emissions, Exposure and Environmental Release. Sci Total Environ 2016; 565: 922-32.
13.De la Campa AM, Jesús D, González-Castanedo Y, et al. High Concentrations of Heavy Metals in PM from Ceramic Factories of Southern Spain. Atmos Res 2010; 96(4): 633-44.
14.Siyahati Ardakani G, Mirsanjari M, Azimzadeh H, et al. Ecological Risk Assessment Of Heavy Metals In Topsoil Around Major Industries Of Ardakan City. J Toloo-e-behdasht 2019; 17(6): 95-110. (Persian)
15.DS/ISO 9096:2017, Stationary Source Emissions – Manual Determination of Mass Concentration of Particulate Matter, 2017. Available from: https://web-store.ansi.org/Standards/DS/DSISO90962017.
16.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

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

Data. Iran J Health Environ 2018; 11(3): 365-76. (Persian)
17.Mohamad N, Latif MT, Khan MF. Source Apportionment and Health Risk Assessment of PM_{10} in a Naturally Ventilated School in a Tropical Environment. Ecotoxicol Environ Safe 2016; 124: 351-62.
18.U S Environmental Protection Agency. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II Ambient Air Quality Monitoring Program, EPA Publication EPA-454/B-13-003, 2013, 744.
19.Xu X, Lu X, Han X, et al. Ecological and Health Risk Assessment of Metal in Resuspended Particles of Urban Street Dust from an Industrial City in China. Curr Sci 2015; 108(1): 72-9.
20.Mohammed AM. Estimation of PM10 Health Impacts on Human within Urban Areas of Makkah city, KSA. [Preprints] 2017; 1-11.
21.Ghanavati N. Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Street Dust in Abadan. Iran J Health & Environ 2018; 11(1): 63-74. (Persian)
22.Mejari M, Shafie Pour M, Pardakhti A. Estimating Air Pollution Concentrations in a City Bus Terminal. Environ Sci 2015; 13(1): 125-30. (Persian)
23.Noorpoor A, Kazemi Shahabi N. Dispersion Modeling of Air Pollutants from the Ilam Cement Factory Stack. J Civ Env Eng 2014; 44.1(74): 107-16. (Persian)
24.Dejene A, Francine H. Gaussian Dispersion Model to Estimate the Dispersion of Particulate Matters (Pm2.5) and Sulfur Dioxide (SO2) Concentrations on Tribal Land, Oklahoma. Am J Environ Sci 2015; 11(6): 440-49.
25.Omidi Khaniabadi Y, Emaeili SH, Goudarzi GH, et al. Assessment of Particulate Matter Dispersion Using Gaussian Plume Model: A Case Study of Doroud Cement Factory. J Knowl Health 2018; 12(4): 16-25. (Persian)
26.Alizadehdakhel A, Ghavidel A, Panahandeh M. CFD Modeling of Particulate Matter Dispersion from Kerman Cement Plant. Iran J Health Environ 2010; 3(1): 67-74. (Persian)
27.Akbari A, Borhandiani S. An Evaluation of Pollutant Gases Outlet Cement Factory Behbahan and Compared with the Standard. 1th National Conference on Planning and Environmental Hamadan Islamic Azad University. 2011; 1: 1-8. (Persian)
28.Khebri Z, Mousavian Nadoushan N, Nezhadkurki F, et al. Effect of Digital Elevation Model in Air Pollution Modeling Using AERMOD. RS GIS Nat Res 2014; 4(4): 25-33. (Persian)
29.Abbasi Chaleshtori L, Nejadkoorki F, Ashrafi KH. Performance of AERMOD Under Different Building Forms and Dimensions. Environ Sci 2015; 13(1): 15-24. (Persian)
30.Hall DJ, Spanton AM, Dunkerley F, et al. An Inter-Comparison of the AERMOD, ADMS and ISC Dispersion Models for Regulatory Applications. 2001 May. 28-31, Belgirate, Italy. Ispra: Joint Research Centre Environment Institute, 2001.
31.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.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]

Iran South Med J 2019; 22(5): 317-332

Original Article

Dispersion and Health Risk Assessment of PM_{10} Emitted from the Stacks of a Ceramic and Tile industry in Ardakan, Yazd, Iran, Using the AERMOD Model

S. Shojaee Barjoee (MSc)[1*], HR. Azimzadeh (PhD)[1], MR.kuchakzadeh (MSc)[2], A. MoslehArani (PhD)[1], H. Sodaiezadeh (PhD)[1]

[1] Department of Environmental pollution, college of Environment, Yazd University, Yazd, Iran
[2] Department of Human Environment, General Office of Environmental Protection of Yazd Province, Yazd, Iran

(Received 10 July, 2019 Accepted 10 Sep, 2019)

Abstract

Background: In developing countries, air pollution caused by industries constitutes a serious threat to public health. The present study was conducted to determine the dispersion patern and assess the health risks of PM_{10} emitted from the stacks of a ceramic and tile factory.

Materials and Methods: The present descriptive-cross sectional study was performed on a tile and ceramic industry in Ardakan, Yazd, Iran. The stacks emission information and meteorological and topographical data were first prepared to run the AERMOD model and draw the disperesion patern and evaluate exposure to PM_{10}. The simulated concentrations were then compared to EPA and WHO standards, and carcinogenic and non-carcinogenic health risks of exposure to PM_{10} were calculated using the formulas proposed by EPA.

Results: The results showed unifrom PM_{10} dispersion in all directions given the flat modeling area. The simulated maximum PM_{10} concentrations were found to be higher than the maxium thresholds stipulated in both the standards for a 24-hour period and higher than the WHO thresholds on an annual basis. In contrast, the average daily and annual concentrations were found to be below the standard limits. The results of assessing both carcinogenic and non-carcinogenic health risks were therefore estimated to be acceptable.

Conclusion: Although the present study calculated the contribution of the study factory's stacks to carcinogenic and non-carcinogenic health risks as acceptable, the cumulative effects of industries in Ardakan can increase these risks in the villages surrounding these industries.

Keywords: Exposure, dispersion, health risk assessment, stack, PM_{10}

©Iran South Med J.All right sreserved

Cite this article as: Shojaee Barjoee S, Azimzadeh HR, kuchakzadeh MR, MoslehArani A, Sodaiezadeh H. 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): 317-332

Copyright © 2019 ***Shojaee Barjoee***, et al This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

[*]Address for correspondence: Department of Environmental pollution, college of Environment, Yazd University, Yazd, Iran.
Email: said.shojaee71@gmail.com
*ORCID: 0000-0001-7560-3154

Website: http://bpums.ac.ir
Journal Address: http://ismj.bpums.ac.ir

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-09-15]

[DOI: 10.29252/ismj.22.5.317]