

# مدل‌سازی پراکنش ذرات معلق ( $PM_{2.5}$ , $PM_{10}$ ) خروجی از کارخانه‌های آسفالت در منطقه جنوب غرب تهران

یاسر زهتاب یزدی<sup>۱</sup>، نبی اله منصوری<sup>۲\*</sup>، فریده عتایی<sup>۳</sup>، حسین آقا محمدی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی محیط‌زیست گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

<sup>۳</sup> دانشیار، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

<sup>۴</sup> استادیار، گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵

## چکیده

زمینه و هدف: آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی بوده و کارخانه‌های آسفالت یکی از منابع تولید آلاینده‌های هوا به‌ویژه ذرات معلق می‌باشند. هدف از این تحقیق بررسی میزان انتشار ذرات  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  خروجی از دودکش‌های کارخانه‌های آسفالت یک مجتمع معدنی و بررسی نحوه پراکنش آن‌ها بر روی مناطق اطراف و تهران می‌باشد. مواد و روش‌ها: این مطالعه به‌صورت توصیفی-مقطعی در صنایع آسفالت یک مجتمع معدنی در جنوب غرب تهران انجام شد. در این تحقیق ابتدا میزان انتشار ذرات  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  خروجی از دودکش‌های کارخانه‌های آسفالت با استفاده از ضرایب نشر پیشنهادی EPA محاسبه گردید. سپس نحوه پراکنش آن‌ها با استفاده از مدل AERMOD برای متوسط زمانی ۲۴ ساعته و یک‌ساله تا شعاع ۵۰ کیلومتری از مجتمع با استفاده از اطلاعات انتشار دودکش‌ها، داده‌های هواشناسی و توپوگرافی محدوده مدل‌سازی ترسیم گردید. سپس مقادیر غلظت‌های شبیه‌سازی‌شده با دو استاندارد EPA و WHO مقایسه گردید. یافته‌ها: نتایج نشان داد بیشترین میزان غلظت ذرات معلق در داخل مجتمع معدنی بوده که بافاصله گرفتن از مجتمع از میزان آن‌ها به‌تدریج کاسته می‌شود. پراکنندگی ذرات در جهت بادهای غالب به‌صورت یکنواخت بوده و بیشینه غلظت‌های  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در بازه زمانی ۲۴ ساعته به ترتیب در شهر قدس  $1 \mu g/m^3$  و  $2 \mu g/m^3$ ، شهریار  $1 \mu g/m^3$  و  $2 \mu g/m^3$ ، اندیشه  $0.6 \mu g/m^3$  و  $1 \mu g/m^3$  و مرکز تهران  $0.2 \mu g/m^3$  و  $0.7 \mu g/m^3$  بوده است. پراکنش ذرات به سمت شهر تهران تا مناطق شرقی آن ادامه داشته است. پراکنندگی ذرات در دوره متوسط سالیانه در پهنه مدل‌سازی چندان چشمگیر نبوده و حداکثر تا مناطقی در غرب و جنوب غرب تهران رسیده است. نتیجه‌گیری: اگرچه میزان انتشار ذرات ناشی از کارخانه‌های آسفالت جنوب غرب شهر تهران قابل قبول است، اما باعث تأثیرگذاری بر روی کیفیت هوای مناطق اطراف مجتمع معدنی و تا حدودی شهر تهران می‌گردد. اثرات تجمعی صنایع مختلف منطقه می‌تواند باعث کاهش کیفیت هوا و افزایش احتمالی خطرات بهداشتی در جوامع اطراف مجتمع گردد.

کلمات کلیدی: گردوغبار، آسفالت، آلودگی هوا، تهران

## مقدمه

ذرات معلق که به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده هوا می‌باشند؛ اصطلاحی است که به گردوغبار موجود در هوا که عمدتاً ناشی از فعالیت صنایع هستند، گفته می‌شود.<sup>۱</sup> ذرات معلق با توجه به اندازه قطر آئرودینامیکی خود به دودسته مهم ذرات با قطر کمتر از  $2/5$  میکرون ( $PM_{2.5}$ ) و ذرات با قطر کمتر از  $10$  میکرون ( $PM_{10}$ ) تقسیم می‌شوند.<sup>۲</sup> شواهد اپیدمیولوژیک نشان داده است قرار گرفتن طولانی مدت در معرض  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  باعث ایجاد اثرات سوء بهداشتی در انسان گردیده<sup>۳</sup> و باعث به وجود آمدن بیماری‌های قلبی-عروقی، تنفسی و عروق مغزی می‌شود.<sup>۴</sup> از دیگر اثرات ذرات می‌توان به اثر بر عملکرد شش‌ها، افزایش فشارخون، نارس زایی، کاهش وزن نوزادان و مرگ‌ومیر کودکان اشاره کرد.<sup>۵</sup> یافته‌های تحقیقاتی رضا بیات و همکاران در سال ۱۳۹۸ حاکی از  $7377$  و  $6418$  مرگ به ترتیب در سال‌های  $1396$  و  $1397$  در افراد بالای  $25$  سال سن به دلیل مواجهه با  $PM_{2.5}$  بوده است.<sup>۶</sup> یافته‌های هگر و صراف (Sarraf & Heger) در سال  $2018$  نشان داده است که  $PM_{2.5}$  محیط عامل  $4000$  مرگ زودرس سالیانه در تهران است؛ رقمی که پایش و نظارت دقیق مواجهه افراد با  $PM_{2.5}$  را در این کلان‌شهر مطالبه می‌کند.<sup>۷</sup> یکی از صنایعی که آلاینده‌های منتشره از آن تأثیرات کوتاه‌مدت و میان‌مدت خطرناکی بر محیط‌زیست و سلامت انسان دارد، کارخانه‌های آسفالت گرم می‌باشند.<sup>۸</sup> آسفالت گرم مخلوطی از مصالح سنگی خردشده و  $4$  تا  $5$  درصد قیر گرم هست که برحسب نوع دانه‌بندی و قیر مصرفی در دمای حداقل  $105$  تا  $163$  درجه سانتی‌گراد تولید می‌شود.<sup>۹</sup> تولید آسفالت مانند هر فرآیند دیگری که در آن مواد، گرم و یا سوزانده می‌شوند؛ طیف وسیعی از آلاینده‌ها را که یکی از مهم‌ترین آن‌ها ذرات معلق می‌باشند را وارد اتمسفر می‌کنند که در صورت عدم استفاده از روش‌های کنترلی به هنگام تولید محصول می‌تواند باعث وارد آمدن آسیب‌های جدی بر سلامت فرد و

محیط‌زیست گردد.<sup>۱۰</sup> بیشترین میزان تولید ذرات آلاینده در کارخانه‌های آسفالت، حاصل فرآیندهای خشک‌کن، جداساز و مخلوط‌کن است. از دیگر منابع تولید می‌توان به مصرف سوخت در گرم‌کن‌ها، پر شدن سیلوهای ذخیره و بارگیری آسفالت به‌منظور حمل به محل پروژه اشاره کرد. ذرات حاصل از خشک‌کن، جداسازها و مخلوط‌کن‌ها از طریق دودکش‌ها که منابعی نقطه‌ای هستند وارد اتمسفر می‌شوند، در صورتی که ذرات حاصل از مصرف سوخت در گرم‌کن‌ها، پر کردن سیلوها و بارگیری و حمل آسفالت تولیدی به‌صورت یکنواخت از محوطه کارخانه‌ها و به‌صورت سطحی وارد هوا می‌گردند.<sup>۹</sup> قمی و شعبانی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به بررسی آلودگی‌های زیست‌محیطی کارخانه سیمان ره گستر ارجمند پرداخته و میزان غلظت آلاینده‌های تولیدی را با استانداردهای زیست‌محیطی مقایسه نمودند.<sup>۱۱</sup> چیت‌سازان و روزبهرانی محمدی (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای آلاینده‌های زیست‌محیطی کارخانه آسفالت تهران-پردیس را اندازه‌گیری کرده و با استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست مورد مقایسه قراردادند.<sup>۱۲</sup> در مطالعه‌ای دیگر سید صفویان و همکاران (۱۳۹۱) انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی از کارخانه آسفالت آستارا را موردبررسی قرار داده و نتایج را با استانداردهای زیست‌محیطی مقایسه کردند.<sup>۱۳</sup> منصوری و علی نژاد (۱۳۸۷) نیز در مطالعه‌ای میزان انتشار ذرات معلق از کارخانه‌های آسفالت شهر مشهد را تخمین زده و سپس به بررسی کارایی سیستم‌های کنترل‌کننده ذرات در آن‌ها پرداختند.<sup>۱۴</sup> مواجهه انسان با ذرات معلق و تخمین میزان آن، یکی از مهم‌ترین معضلاتی است که پیش روی محققین و مسئولین جامعه قرار دارد.<sup>۱۵</sup> اغلب پژوهشگرانی که در زمینه آلاینده‌های ناشی از صنایع مشغول به کار هستند نیازمند اندازه‌گیری میزان غلظت آلاینده‌ها در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی هستند اما با توجه به محدودیت‌هایی که با آن‌ها مواجه می‌شوند از جمله هزینه‌های بسیار بالای نمونه‌برداری در هر نقطه از محدوده

مورد مطالعه و همچنین عدم زمان کافی، نیازمند به کارگیری روش‌هایی دیگر برای برآورد میزان غلظت‌ها از جمله استفاده از مدل‌های کیفیت هوا می‌باشند. یکی از مدل‌های کیفیت هوا مدل پراکنش AERMOD است. این مدل یک مدل پراکنش حالت دائمی است و توانایی تعیین غلظت آلاینده‌های خروجی از منابع نقطه‌ای، سطحی و حجمی در مناطق شهری، روستایی، صاف و ناهموار از منبع انتشار تا دریافت‌کننده را دارد و برای فواصل حداکثر انتشار ۵۰ کیلومتری بکار می‌رود. این مدل به خوبی قادر به لحاظ کردن تأثیرات غلظت‌های زمینه آلاینده‌ها، آلاینده‌های ثانویه و تغییرات توپوگرافی در ناحیه شبیه‌سازی می‌باشد<sup>۱۶</sup>. در این مطالعه برای شبیه‌سازی الگوی پراکنش از این مدل استفاده شده است. در این زمینه می‌توان به مطالعه اشرفی و همکاران در سال ۱۳۹۲ که نحوه پراکنش آلاینده‌های منتشره از کارخانه آسفالت و دستگاه سنگ‌شکن پروژه‌های راه‌سازی را با استفاده از این مدل در دوره‌های آماری ۱۲ و ۱ ماهه در دو مقیاس منطقه‌ای و محلی مدل‌سازی کرده و نتایج را با استاندارد هوای پاک کشور مقایسه نمودند، اشاره کرد.<sup>۱۷</sup> شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) نیز با استفاده از این مدل پراکنش ذرات معلق خروجی از کارخانه سیمان در منطقه جنوب تهران را مدل‌سازی نموده و الگوی پراکنش و غلظت آلاینده ذرات را برای متوسط ماهانه و فصلی تابستانه و زمستانه نشان دادند<sup>۱۸</sup>. شجاعی و همکاران در سال ۱۳۹۹ نیز با به کارگیری مدل AERMOD نحوه پراکنش و ارزیابی خطر سلامت مواجهه با PM<sub>10</sub> انتشار یافته از دودکش‌های یکی از صنایع کاشی و سرامیک شهرستان اردکان را مورد ارزیابی قرار داده و نتایج مدل‌سازی را با استانداردهای EPA و WHO مقایسه کردند.<sup>۱۹</sup> همچنین می‌توان به مطالعه‌ای که توسط پری (Perry) و همکاران در سال ۲۰۰۵ انجام شده است، اشاره کرد. آن‌ها در این تحقیق کاربردهای مدل AERMOD را به عنوان یک مدل پراکنش برای منابع صنعتی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این مدل در مقایسه با

دیگر مدل‌های پراکنش، مدل بالاتر و بهتری می‌باشد<sup>۲۰</sup>. هکل و لی مستر (Heckel and Le Masters) نیز برای مدل‌سازی پراکنش غلظت فلز جیوه در مناطق مسکونی از مدل AERMOD استفاده کردند، نتایج آن‌ها نشان داد مشخصه‌های هواشناسی، ارتفاع دودکش و توپوگرافی منطقه اثرات زیادی بر توزیع آلودگی هوا دارد، و بین غلظت فلز جیوه و ارتفاع دودکش رابطه عکس وجود دارد و جوامع مسکونی که در زمین‌های مرتفع نزدیک به منابع صنعتی قرار دارند نسبت به مناطق مسطح بیش‌تر در معرض آلودگی هوا قرار دارند<sup>۲۱</sup>. شهر تهران به عنوان پرجمعیت‌ترین شهر و پایتخت ایران در ۵۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد بین ۱۸۰۰ متر در شمال تا ۱۲۰۰ متر در مرکز و ۱۰۵۰ متر در جنوب متغیر است. این شهر ۷۳۰ کیلومترمربع وسعت و دارای جمعیتی معادل ۸/۷ میلیون نفر هست<sup>۲۲</sup>. احاطه شهر از سمت شمال و شمال شرق با ارتفاعات مانع عبور بادهایی که از سمت جنوب و غرب می‌وزند، شده و باعث انباشتگی آلاینده‌ها به سطح شهر می‌شود و پتانسیل آلودگی هوا در مرکز شهر را افزایش می‌دهد. آلودگی هوای شهر تهران به خاطر افزایش جمعیت، وسایل نقلیه و کاربری‌های صنعتی در اطراف شهر افزایش یافته و نتایج نامطلوبی را به بار آورده است<sup>۲۳</sup>. طی سالیان گذشته انواع صنایع معدنی مختلف از جمله کارخانه‌های آسفالت و کارگاه‌های تولید شن و ماسه در حاشیه‌های شهر تهران ایجاد گردیده که سبب ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی از جمله آلودگی هوا بر روی مناطق اطراف و نیز شهر تهران گردیده‌اند. یکی از این صنایع کارخانه‌های آسفالت سازی واقع در یک مجتمع معدنی در جنوب غرب شهر تهران می‌باشند. از آنجایی که کارخانه‌های آسفالت از جمله صنایع ایجادکننده آلودگی هوا بوده و نقش مهمی در انتشار آلاینده‌ها به خصوص ذرات معلق ایفا می‌کنند لذا انتشار آن‌ها نیاز به

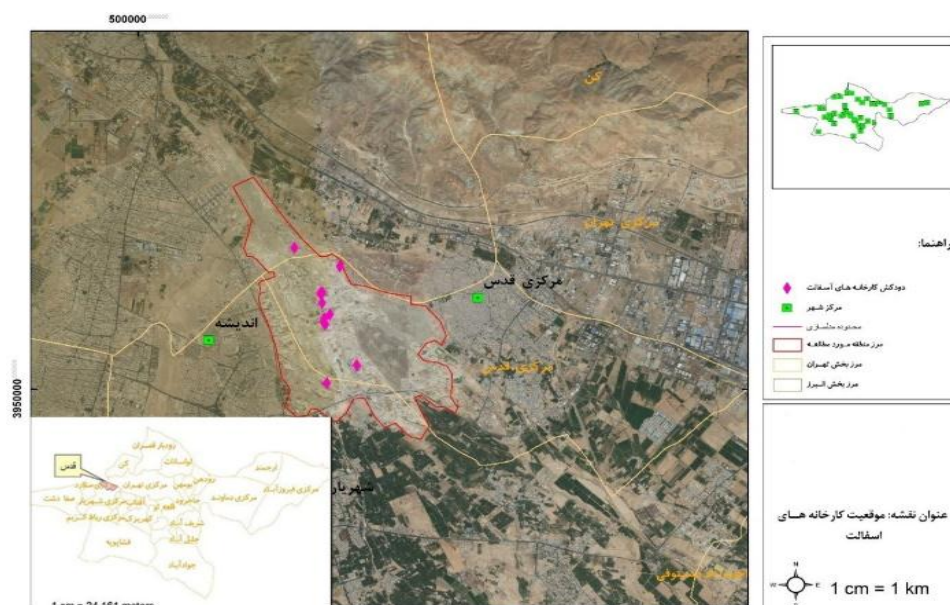
شن و ماسه و تولیدی قطعات است. این مجتمع بخش وسیعی از مناطق شمال، غرب و جنوب شهرستان قدس، بخش کوچکی از شمال شهرستان شهریار و بخش ناچیزی از جنوب شهرستان کرج در استان البرز را در بر گرفته و از سمت شرق در مجاورت شهر قدس، از سمت جنوب در مجاورت شهریار و از سمت غرب در مجاورت شهر اندیشه قرار دارد. مجموع روزهای کاری این مجتمع به طور متوسط ۲۳۰ روز در سال و روزی ۸ ساعت است. کارخانه‌های آسفالت مجهز به سیستم بگ فیلتر بوده و سوخت مورد استفاده آن‌ها گاز طبیعی است. میزان کل ظرفیت اسمی تولید کارخانه‌های آسفالت ۲/۳۱ میلیون تن در سال بوده است، اما به خاطر افزایش قیمت مواد اولیه از جمله قیر، کاهش فعالیت‌های عمرانی، عدم تقاضا و دیگر مشکلات، کارخانه‌ها در بسیاری از ساعات روز تعطیل و یا نیمه تعطیل بوده و میزان تولید آن‌ها به حدود ۰.۴۵٪ ظرفیت تولید اسمی خود کاهش یافته و به رقمی حدود ۱/۰۴ میلیون تن در سال رسیده است. موقعیت جغرافیایی مجتمع و کارخانه آسفالت در شکل ۱ نشان داده شده است.

بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تری دارد. با توجه به اینکه تاکنون در خصوص میزان انتشار آلاینده‌های کارخانه‌های آسفالت مجتمع معدنی واقع در جنوب غرب تهران مطالعه‌ای انجام نشده است؛ هدف از انجام این مطالعه برآورد میزان انتشار ذرات خروجی از دودکش‌های کارخانه‌های آسفالت واقع در این مجتمع و بررسی چگونگی پراکنش آن‌ها با استفاده از مدل AERMOD بوده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در کارخانه‌های آسفالت یک مجتمع معدنی واقع در جنوب غرب تهران انجام شده است. این مجتمع با وسعتی حدود ۲۵۰۰ هکتار در ۵۱ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته و دارای ۱۳ کارخانه آسفالت و صنایعی دیگر از جمله کارگاه‌های تولید



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی مجتمع معدنی و کارخانه‌های آسفالت واقع در آن

## جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها

در این پژوهش داده‌های پایه که شامل مختصات جغرافیایی، قطر و ارتفاع دودکش‌ها و نیز درجه حرارت و سرعت خروجی آلاینده‌ها از دودکش‌ها می‌باشد از طریق گزارش‌های فنی و خود اظهاری کارخانه‌ها به دست آمد. جهت محاسبه میزان انتشارات ذرات نیز از ضرایب انتشار ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) که در مجموعه‌ای به نام AP-42 انتشاریافته، استفاده‌شده است. آخرین نسخه این ضرایب در وب‌سایت EPA در دسترس است<sup>۲۴</sup>. داده‌های هواشناسی نیز از سازمان هواشناسی کشور و برای یک دوره زمانی ۵ ساله (۲۰۱۹ - ۲۰۱۵) استخراج شد. سپس با ورود داده‌های مربوط به کارخانه‌ها به مدل، نحوه پراکنش ذرات برای متوسط زمانی ۲۴ ساعته و سالیانه ترسیم گردید. برای تحلیل پراکنش ذرات از مدل AERMOD (نسخه ۸/۹) استفاده شد.

آلاینده‌های تولیدی بر واحد زمان انجام فعالیت و یا مسافت طی شده توسط منابع متحرک آلاینده می‌باشد که به صورت جرم آلاینده در واحد زمان، حجم، فاصله و یا مدت‌زمان انجام فعالیت بیان می‌شود. به‌طورکلی رابطه تخمین میزان انتشار

$$E = A \times EF \times (1 - ER/100) \quad (1)$$

ارائه‌شده توسط USEPA به صورت ذیل می‌باشد<sup>۲۵</sup>:

E: میزان انتشار آلاینده

A: میزان فعالیت

EF: فاکتور انتشار برحسب فعالیت

ER: بازده کاهش انتشار برحسب درصد (%)

جدول شماره ۱ میزان EF ذرات معلق ناشی از فعالیت‌های خشک‌کن، جداساز و مخلوط‌کن که از طریق دودکش کارخانه‌های آسفالت وارد جو می‌شوند را نشان می‌دهد.

### مدل AERMOD

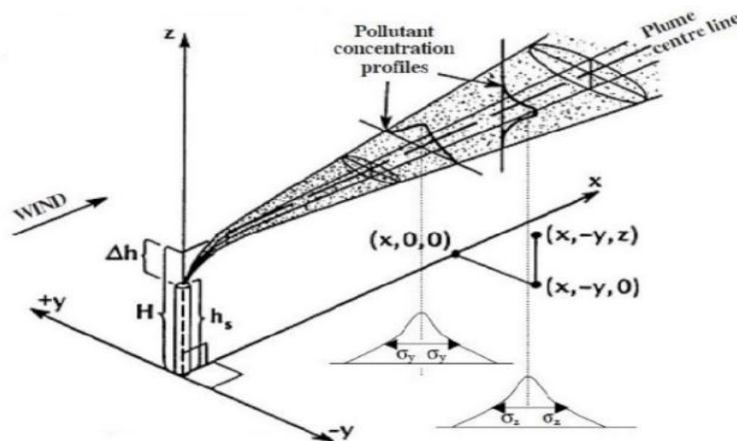
مدل‌های گوسی رایج‌ترین مدل‌های ریاضی هستند که برای پراکنش آلاینده‌های هوا بکار می‌روند. این مدل‌ها بر اساس این فرض که آلاینده‌ها با توجه به توزیع نرمال آماری پراکنده می‌شوند، بناشده‌اند. شکل ۲ مدل پلوم گوسی در سیستم مختصات باد محور را نشان می‌دهد.

### تخمین میزان انتشار

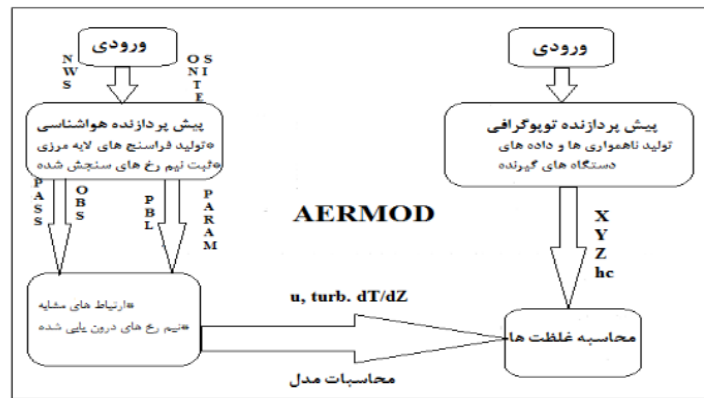
در این تحقیق جهت تخمین میزان انتشار آلاینده‌ها از منابع، از شاخص ضریب انتشار (Emission Factor) استفاده گردید. ضریب انتشار بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های منبع که در واحدهای مختلف صنعت صورت گرفته؛ حاصل شده است. ضریب انتشار میزان تولید آلاینده‌های وارده به اتمسفر را در یک فرآیند مشخص به ازای مشخصه‌ای از فرآیند تعیین می‌نماید. این ضریب جرم و یا حجم

جدول ۱: EF ذرات معلق ناشی از فرآیندهای خشک‌کن، جداساز و مخلوط‌کن در کارخانه آسفالت ۹

فعالیت	فاکتور انتشار		واحد
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	
خشک‌کن/جداساز/مخلوط‌کن	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۴۱۵	کیلوگرم بر تن محصول تولیدی



شکل ۲: پلوم گوسی در سیستم مختصات باد محور ۲۶



شکل ۳: ساختار کلی مدل AERMOD

پخش در جهت‌های  $y$  و  $z$  به متر،  $H$ : ارتفاع مؤثر دودکش به متر

مدل AERMOD یک مدل گوسی حالت پایدار بوده و رفتار پلوم را که آلاینده‌ها را در بردارد، بر مبنای معادلات پراکنش در حالت دائمی مدل‌سازی می‌کند. بر اساس معادلات این مدل، توزیع جرم آلاینده در راستای افقی گوسی و در راستای عمودی دو گوسی و جهت انتقال آلاینده باد محور می‌باشد<sup>۲۸</sup>. این مدل دارای یک پردازشگر اصلی و دو پیش پردازنده به نامهای AERMET (پیش پردازنده هواشناسی)

معادله گوسی که برای آلاینده‌های منتشره از منابع نقطه‌ای

به کار می‌رود به صورت زیر بیان می‌شود<sup>۲۷</sup>:

$$(۲) \quad C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{1}{2}\frac{y^2}{\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(z-H)^2}{\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\frac{(z+H)^2}{\sigma_z^2}\right] \right\}$$

$C$ : میزان غلظت برحسب گرم یا میکروگرم در مترمکعب،  $Q$ : میزان انتشار آلاینده از منبع برحسب گرم در ثانیه،  $U$ : میانگین سرعت باد در ارتفاع رهاسازی برحسب متر،  $\sigma_y$ ،  $\sigma_z$ : ضریب

میانگین سرعت باد در این مدت  $3/12 \text{ m/s}$  بوده است. (شکل ۴).

همچنین پیش پردازنده AERMET جهت انجام محاسبات به سه پارامتر سطحی نسبت بوان (شاخص تعیین رطوبت سطح)، ضریب آلبدو (کسری از تشعشعات خورشیدی که بدون جذب شدن توسط سطح به فضا بازتاب می‌شود) و ضریب زبری سطح (ارتفاعی که متوسط سرسخت افقی باد در آن صفر می‌شود) نیاز دارد. در این پژوهش از مقادیر ارائه شده در جدول شماره ۲ جهت این پارامترها استفاده شده است.

توپوگرافی زمین نیز یکی از عوامل تأثیرگذار بر میزان غلظت آلاینده‌ها در گیرنده‌ها و پراکنش آلاینده‌ها می‌باشد. پیش پردازنده AERMAP که اطلاعات توپوگرافی محدوده مدل‌سازی را جهت اجرا در مدل فراهم می‌کند، به فایل ورودی با فرمت DEM از توپوگرافی منطقه نیاز دارد که آن را می‌توان با دقت‌های مختلف وارد مدل کرد. در مدل رقومی ارتفاع دوبعدی محدوده مدل‌سازی ( $50 \times 50$  کیلومتر) که در شکل ۵ نشان داده شده است؛ مجتمع معدنی در طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر (۱۲۰۰ متر) قرار دارد که به صورت خطوط نقطه‌چین مشخص شده است. در بخش شمال و شمال شرقی این مجتمع و بافاصله ۳ کیلومتری توپوگرافی نسبتاً پیچیده‌ای وجود دارد؛ اما در سایر جهات منطقه، توپوگرافی نسبتاً صاف می‌باشد. در این پژوهش با توجه به توپوگرافی منطقه از مدل رقومی ارتفاع با دقت ۹۰ متر استفاده شده است.

میزان انتشار آلاینده‌ها از مهم‌ترین پارامترهای ورودی به مدل می‌باشند. که در این مطالعه با توجه به میزان تولید سالیانه هر یک از کارخانه‌های آسفالت و با استفاده از فاکتور انتشار میزان انتشار ذرات محاسبه گردید. از دیگر مواردی که می‌بایست وارد مدل گردد قطر و ارتفاع دودکش‌ها، درجه حرارت و سرعت خروجی آلاینده می‌باشد. مشخصات دودکش‌های ۱۳ کارخانه‌ها که شامل مختصات جغرافیایی، ارتفاع آزادسازی ذرات از سطح زمین، قطر داخلی دودکش،

و AERMAP (پیش پردازنده زمین‌شناسی) می‌باشد. داده‌های هواشناسی توسط پیش پردازنده AERMET پردازش می‌شوند و این پردازنده پارامترهای لایه‌مرزی جو را تخمین می‌زند تا قابل استفاده در مدل باشد. AERMAP نیز داده‌های توپوگرافی منطقه را تجزیه و تحلیل می‌کند. در انتها نیز پردازشگر اصلی مدل با استفاده از نتایج این دو پیش پردازنده و دیگر اطلاعات موردنیاز در مورد منابع انتشار و شبکه‌های پذیرنده محاسبات را انجام داده و نتایج را ارائه می‌دهد<sup>۱۶</sup>. این مدل توانایی تعیین غلظت آلاینده‌های مختلف در مناطق شهری و روستایی، صاف و ناهموار، انتشارات سطحی و در ارتفاع و از منابع نقطه‌ای، سطحی و حجمی را دارد و برای تعیین غلظت‌ها تا فاصله ۵۰ کیلومتری به کار می‌رود<sup>۲۹</sup>. شکل ۳ ساختار کلی مدل AERMOD را نشان می‌دهد<sup>۳۰</sup>.

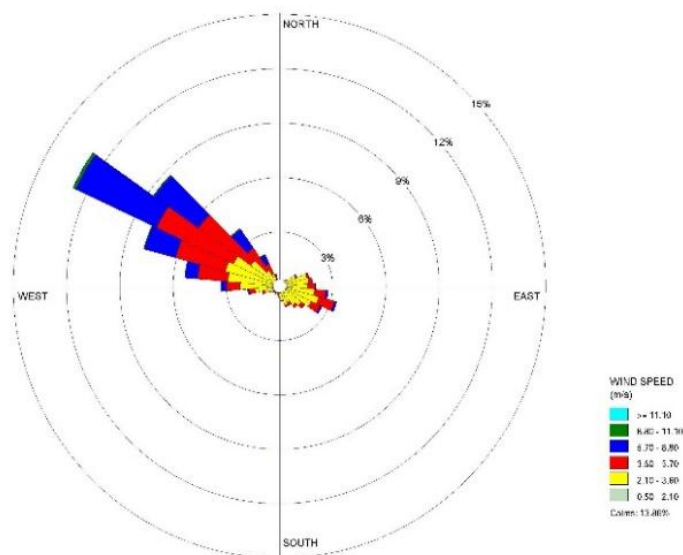
## ورودی‌های مدل AERMOD

داده‌های هواشناسی موردنیاز این مطالعه از ایستگاه سینوپتیک شهریار که نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به مجتمع بوده و در فاصله ۳/۵ کیلومتری جنوب غرب آن و در  $51/01N$  طول جغرافیایی و  $35/60E$  عرض جغرافیایی قرار داشت؛ طی دوره زمانی ۵ ساله (۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹) استخراج گردید. داده‌ها شامل سرعت و جهت باد، دما، فشار، رطوبت نسبی، میزان بارش و پوشش ابر بودند که به صورت فرمت اکسل تهیه گردیدند. از آنجایی که این داده‌ها سه‌ساعتی بودند با استفاده از درونیابی وزنی اطلاعات آن‌ها با استفاده از عملکردهای فرمولی اکسل به داده‌های ساعتی تبدیل شدند. سپس این داده‌ها جهت پردازش در پیش پردازنده AERMET به فرمت sam تبدیل گردیدند و در انتها توسط این پیش پردازنده دو فایل با فرمت‌های pfl و sfc برای ورود به مدل اصلی AERMOD جهت شبیه‌سازی ایجاد گردید. با استفاده از داده‌های هواشناسی گلباد منطقه رسم گردید. جهت باد غالب ۵ ساله از سمت شمال غرب به سمت جنوب شرق و

غلظت ذرات رسیده به مناطق اطراف و نیز شهر تهران مورد بحث و بررسی قرار گرفت و با مقادیر ۲۴ ساعته و سالیانه استاندارد EPA و سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه گردید.

دمای خروجی و نرخ انتشار می‌باشند که در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

در نهایت مدل برای شبکه‌ای با فاصله گیرنده ۵۰۰ متر و ارتفاع گیرنده ۱/۵ متر (ارتفاع تنفس) با شعاع ۵۰ کیلومتری از مجتمع معدنی، اجرا گردید. بعد از تهیه خروجی‌ها میزان



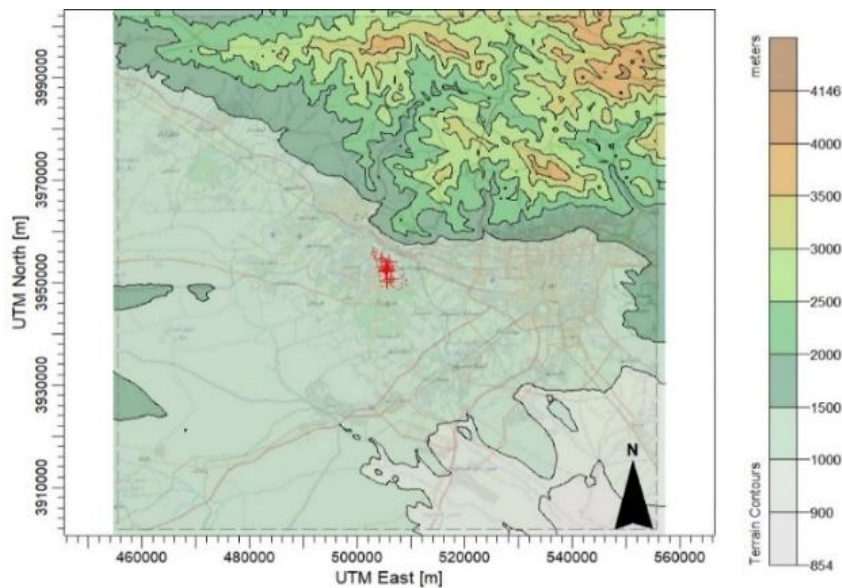
شکل ۴: گلباد منطقه مطالعه (۲۰۱۹-۲۰۱۵)

جدول ۲: ضریب آلوده، نسبت بوان و طول زبری انواع پوشش‌های سطحی ۳۱

سطح	زمستان	پاییز	تابستان	بهار	
شهری	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۴	ضریب آلوده
زمین زراعی	۰/۶	۰/۱۸	۰/۲	۰/۱۴	
بوته‌زار بیابانی	۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳	
شهری	۱/۵	۲	۲	۱	نسبت بوان
زمین زراعی	۱/۵	۰/۷	۰/۵	۰/۳	
بوته‌زار بیابانی	۶	۶	۴	۳	
شهری	۱	۱	۱	۱	ضریب زبری
زمین زراعی	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۳	
بوته‌زار بیابانی	۰/۱۵	۰/۳	۰/۳	۰/۳	

جدول ۳: مشخصات دودکش‌های کارخانه‌های آسفالت منطقه

شماره	موقعیت جغرافیایی	ارتفاع (m)	قطر (m)	درجه حرارت (K)	سرعت خروجی (m/s)	میزان انتشار ذرات				
						PM <sub>2.5</sub> kg/yr	g/s	PM <sub>10</sub> kg/yr	g/s	
۱	۳۵° ۴۱' ۴۴/۲۰"N	۵۱° ۰۳' ۳۶/۷۰"E	۶/۵	۰/۷	۳۷۱/۶۶	۱۸/۱	۱۱۲۰/۵	۰/۱۶۹	۳۶۴۵	۰/۵۵۰
۲	۳۵° ۴۲' ۴۶/۴۰"N	۵۱° ۰۳' ۳۴/۷۰"E	۲/۵	۰/۹	۳۷۱	۱۲/۱	۷۴/۷	۰/۰۱۱	۲۴۳	۰/۰۳۷
۳	۳۵° ۴۲' ۵۲/۸۰"N	۵۱° ۰۳' ۳۳/۸۰"E	۴/۸	۱/۲	۳۴۳	۱۱/۲	۲۸۰/۱۲	۰/۰۴۲	۹۱۱/۲۵	۰/۱۳۷
۴	۳۵° ۴۲' ۴۹/۲۰"N	۵۱° ۰۳' ۳۲/۶۰"E	۴/۸	۰/۹	۳۳۱	۱۳/۷	۲۷۸/۲۵	۰/۰۴۲	۹۰۵/۱۷	۰/۱۳۷
۵	۳۵° ۴۴' ۰۷/۶۰"N	۵۱° ۰۲' ۵۹/۶۰"E	۷	۰/۷	۳۵۴	۱۹/۶	۲۴۲/۷۷	۰/۰۳۷	۷۸۹/۷۵	۰/۱۱۹
۶	۳۵° ۴۲' ۰۳/۲۰"N	۵۱° ۰۴' ۱۰/۹۰"E	۳	۱	۳۷۰/۵	۱۳/۵	۵۲۲/۹	۰/۰۷۹	۱۷۰۱	۰/۲۵۷
۷	۳۵° ۴۲' ۰۲/۹۲"N	۵۱° ۰۴' ۱۱/۲۲"E	۴/۸	۰/۹	۳۵۹/۵	۱۴/۷	۲۳۹/۰۴	۰/۰۳۶	۷۷۷/۶	۰/۱۱۷
۸	۳۵° ۴۳' ۰۹/۳۰"N	۵۱° ۰۳' ۳۱/۲۰"E	۹	۱	۳۵۵/۸	۱۴/۹	۱۷۹/۲۸	۰/۰۲۷	۵۸۳/۲	۰/۰۸۸
۹	۳۵° ۴۳' ۱۹/۴۵"N	۵۱° ۰۳' ۲۹/۰۲"E	۷	۰/۵	۳۵۴/۳	۱۳/۹	۲۴۲/۷۷	۰/۰۳۷	۷۸۹/۷۵	۰/۱۱۹
۱۰	۳۵° ۴۳' ۲۰/۶۹"N	۵۱° ۰۳' ۵۲/۰۰"E	۴/۸	۰/۹	۳۵۸/۶	۱۱/۹	۳۷۳/۵	۰/۰۵۶	۱۲۱۵	۰/۱۸۳
۱۱	۳۵° ۴۳' ۴۸/۰۰"N	۵۱° ۰۳' ۲۵/۰۰"E	۷	۰/۸	۳۴۲	۹/۱	۶۷/۲۳	۰/۰۱۰	۲۱۸/۷	۰/۰۳۳
۱۲	۳۵° ۴۲' ۵۷/۰۰"N	۵۱° ۰۳' ۴۰/۰۳"E	۳	۰/۹	۳۹۳	۱۳/۸	۲۳۹/۰۴	۰/۰۳۶	۷۷۷/۶	۰/۱۱۷
۱۳	۳۵° ۴۲' ۴۶/۶۱"N	۵۱° ۰۳' ۳۴/۷۰"E	۴/۸	۰/۹	۳۶۰/۴	۱۵/۵	۵۱۸/۷۵	۰/۰۷۸	۱۶۸۷/۵	۰/۲۵۵



شکل ۵: نقشه عوارض زمین محدوده ۵۰×۵۰ کیلومتر

به ترتیب برابر با ۴/۵ و ۱/۲۳ میکروگرم در مترمکعب و بیشینه غلظت PM<sub>10</sub> پیش‌بینی شده در بازه زمانی ۲۴ ساعته و سالانه به ترتیب برابر با ۴/۹۹ و ۱/۶ میکروگرم در مترمکعب است که در گیرنده‌هایی در داخل مجتمع معدنی رخ داده است.

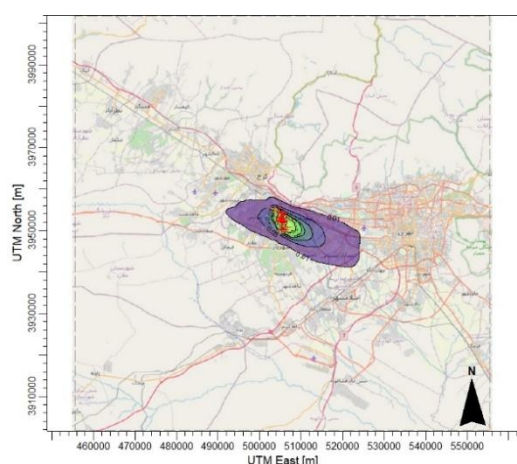
## یافته‌ها

نتایج حاصل از بیشینه غلظت ذرات ۲۴ ساعته و سالانه در جدول ۴ آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، بیشینه غلظت PM<sub>2.5</sub> پیش‌بینی شده در بازه زمانی ۲۴ ساعته و سالانه

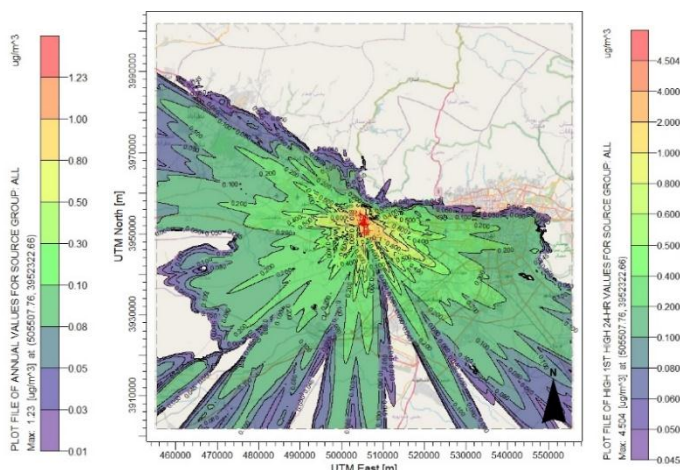
به ترتیب  $0.08$ ،  $0.03$ ،  $0.08$  میکروگرم در مترمکعب بوده است. با توجه به اینکه مقادیر استاندارد کیفیت هوای EPA برای  $PM_{2.5}$  در ۲۴ ساعت و سالانه به ترتیب ۳۵ و ۱۲ میکروگرم در مترمکعب و برای  $PM_{10}$  در ۲۴ ساعت ۱۵۰ میکروگرم در مترمکعب و مقادیر استاندارد WHO برای  $PM_{2.5}$  در ۲۴ ساعت و سالانه به ترتیب برابر ۲۵ و ۱۰ میکروگرم در مترمکعب و برای  $PM_{10}$  در ۲۴ ساعت ۵۰ و ۲۰ سالیانه میکروگرم در مترمکعب می‌باشد<sup>۳۳</sup>، با مقایسه مقادیر بیشینه ۲۴ ساعته و سالانه ذرات  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  با استانداردهای مذکور، نتایج نشان داد مقادیر غلظت‌های شبیه‌سازی‌شده از حد استانداردهای EPA و WHO پایین‌تر است.

اشکال ۶ و ۷ نیز نتایج حاصل از نحوه پراکنش ذرات در ناحیه مدل‌سازی را به صورت نمودارهای هم‌غلظت تا شعاع ۵۰ کیلومتری نشان می‌دهند.

در بازه زمانی ۲۴ ساعته، بیشینه غلظت  $PM_{2.5}$  در مراکز شهرهای قدس، شهریار، اندیشه و تهران به ترتیب به ۱، ۱، ۰/۶ و ۰/۲ میکروگرم در مترمکعب و حداکثر غلظت  $PM_{10}$  در مراکز شهرهای فوق‌الذکر به ترتیب ۲، ۲، ۱ و ۰/۴ میکروگرم در مترمکعب بوده است. میزان غلظت ذرات در دوره متوسط سالیانه در مراکز شهرهای اطراف چشمگیر نبوده است بطوریکه بیشینه غلظت سالانه  $PM_{2.5}$  در مراکز شهرهای قدس، شهریار، اندیشه به ترتیب به ۰/۰۵، ۰/۰۳، ۰/۰۵ میکروگرم در مترمکعب و بیشینه غلظت  $PM_{10}$  در مراکز شهرهای فوق‌الذکر



(ب)

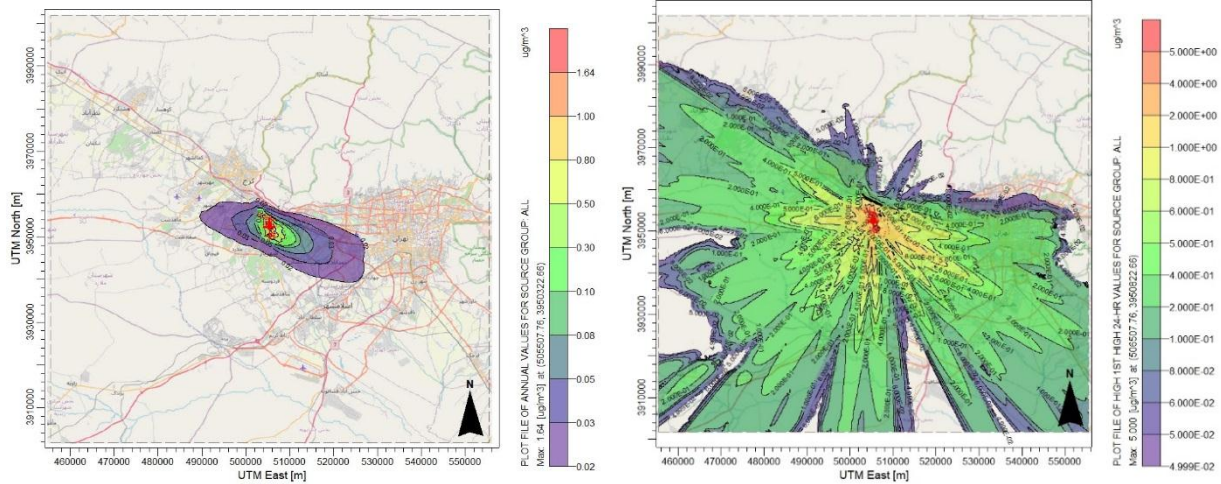


(الف)

شکل ۶: پراکنش  $PM_{2.5}$  ناشی از دودکش‌های کارخانه‌ها (الف) میانگین ۲۴ ساعته (ب) میانگین سالیانه

جدول ۴: غلظت‌های بیشینه ذرات انتشاریافته از دودکش‌های کارخانه‌ها

آلاینده	متوسط زمانی	ماکسیمم غلظت (میکروگرم بر مترمکعب)	مختصات	
			X	Y
$PM_{2.5}$	۲۴ ساعته	۴/۵۰	۵۰۵۵۰۷/۷۶	۳۹۵۲۳۲/۶۶
	سالیانه	۱/۲۳	۵۰۵۵۰۷/۷۶	۳۹۵۲۳۲/۶۶
$PM_{10}$	۲۴ ساعته	۴/۹۹	۵۰۶۵۰۷/۷۶	۳۹۵۰۸۲۲/۶۶
	سالیانه	۱/۶	۵۰۶۵۰۷/۷۶	۳۹۵۰۸۲۲/۶۶



(ب)

(الف)

شکل ۷: پراکنش PM<sub>10</sub> ناشی از دودکش‌های کارخانه‌ها

(الف) میانگین ۲۴ ساعته (ب) میانگین سالیانه

## بحث

فوق‌الذکر برابر با ۴/۹۹ و ۱/۶ میکروگرم بر مترمکعب بوده که از حد مجاز دو استاندارد EPA و WHO پایین‌تر است و با توجه به جهت باد غالب منطقه، پراکنش آلاینده‌ها به سمت شهر قدس، شهریار، و تهران بوده که با نتایج مطالعه قمی اوپلی و شعبانی کاکرودی (۱۳۹۷) هم‌راستاست. نتایج مطالعه قمی اوپلی و شعبانی کاکرودی نشان داد کارخانه ره گستر ارجمنند از لحاظ رعایت استانداردهای زیست‌محیطی از وضعیت مطلوبی برخوردار است که با نتایج پژوهش حاضر انطباق دارد.<sup>۱۱</sup> نتایج پژوهش سید صفویان و همکاران بیانگر این مطلب بود که آلاینده‌های کارخانه آسفالت آستارا بالاتر از حد استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست است که مطابق نتایج تحقیق حاضر نمی‌باشد.<sup>۱۳</sup> همچنین نور پور و شهابی پراکنش ذرات معلق خروجی از دودکش‌های کارخانه سیمان ایلام را با استفاده از مدل AERMOD بررسی نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مقادیر بیشینه ۲۴ ساعته و سالیانه ذرات معلق به ترتیب برابر با ۵/۱۰ و ۰/۸۴ میکروگرم بر مترمکعب و پایین‌تر از حد مجاز EPA و WHO بوده است.<sup>۳۴</sup>

کارخانه‌های آسفالت از منابع مهم تولید آلودگی هوا می‌باشند که نقش مهمی در انتشار ذرات دارند. میزان غلظت آلاینده‌ها متناسب با میزان انتشار، ارتفاع دودکش، سرعت و جهت باد، تلاطم اتمسفری و جهت پخش افقی است. و میزان غلظت آلاینده علاوه بر جریان افقی تحت تأثیر جریان عمودی باد نیز قرار می‌گیرند. در این پژوهش با استفاده از فاکتور انتشار میزان انتشار ذرات خروجی از دودکش‌های کارخانه‌های آسفالت برآورد گردید و سپس با استفاده از مدل AERMOD به ارزیابی نحوه پراکنش ذرات معلق صنایع آسفالت جنوب غرب تهران پرداخته شد. نتایج نشان داد میزان آلاینده‌های PM<sub>2.5</sub> و PM<sub>10</sub> خروجی از دودکش‌های ۱۳ کارخانه آسفالت که وارد اتمسفر می‌شوند به ترتیب برابر با ۴/۳۷۸ و ۱۴/۲۴۴ تن در سال بوده است. مقادیر بیشینه PM<sub>2.5</sub> در دوره‌های زمانی ۲۴ ساعته و سالیانه برابر با ۴/۵ و ۱/۲۳ میکروگرم بر مترمکعب و مقادیر بیشینه PM<sub>10</sub> در دوره‌های

که مطابق پروژه حاضر می‌باشد. آلمایهو و هکت (Alemayehu & Hackett) نیز در سال ۲۰۱۵ برای پراکنش انتشار  $PM_{2.5}$  و  $SO_2$  ناشی از نیروگاه زغال‌سنگ در اوکلاهاما از مدل AERMOD استفاده نمودند. نتایج این مدل‌سازی نشان داد حداقل ۱۹-۲۶٪  $PM_{2.5}$  و  $SO_2$  ناشی از دودکش‌های نیروگاه به جزیره‌تری بال (Tribal) می‌رسند و کمتر از  $12 \mu g/m^3$  آلاینده‌ها در داخل منطقه سقوط می‌کنند. همچنین بیشترین غلظت شبیه‌سازی شده  $PM_{2.5}$  برابر با  $10$  میکروگرم بر مترمکعب بوده که این غلظت نیز پایین‌تر از حدود استاندارد EPA بوده است.<sup>۳۵</sup>

با توجه به توپوگرافی پهنه مدل‌سازی، به‌غیر از مناطقی در سمت شمال و شمال شرق مجتمع که دارای توپوگرافی پیچیده می‌باشند، دیگر مناطق مسطح بوده و تجمع ذرات در نقاط خاصی از پهنه صورت نگرفته و پراکندگی ذرات به‌صورت یکنواخت و بیشینه غلظت‌ها در خارج از مجتمع در جهت بادهای غالب بوده است. از دیگر عوامل تأثیرگذار بر نحوه پراکنش آلاینده‌ها سرعت باد، دما، رطوبت نسبی و ویژگی‌های منابع انتشار نظیر ارتفاع و قطر داخلی دودکش‌ها می‌باشد. چنانچه هال (Hall) و همکاران (۲۰۰۱) در مطالعه خود نشان دادند با افزایش ارتفاع دودکش غلظت آلاینده‌ها کاهش می‌یابد که علت آن افزایش عملکرد پارامترهای هواشناسی ذکر شده است.<sup>۳۶</sup> سرعت وزش باد باعث تغییر غلظت آلاینده‌ها می‌شود. بیشتر بادهای منطقه دارای سرعتی معادل  $2/10-3/60$  متر بر ثانیه بوده که  $31/8$  درصد بادهای خود اختصاص داده است، همچنین  $13/9$  درصد بادهای نیز آرام بوده‌اند. ارتفاع و قطر دودکش‌های کارخانه‌های آسفالت به ترتیب بین  $2/5-9$  و  $0/9-2/2$  متر با میزان انتشار  $0/550$  -  $0/33$  گرم در ثانیه و دمای خروجی آلاینده‌ها نیز بین  $371/66$  -  $331$  درجه کلونین بوده است. بیشترین غلظت  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  در دوره‌های زمانی مختلف (۲۴ ساعته و سالیانه) در داخل مجتمع معدنی رخ داده است که با دور شدن

از مجتمع به تدریج از میزان غلظت کاسته می‌شود که با نتایج مطالعه اشرفی و همکاران (۱۳۹۲) هم‌راستا است. نتایج مطالعه اشرفی و همکاران نشان داد که غلظت آلاینده‌ها در مجاورت صنایع تولید آسفالت بیشتر بوده و هرچه از منابع تولید دورتر می‌شویم میزان غلظت آلاینده‌ها کاهش پیدا می‌کند.<sup>۱۷</sup> در خارج از مجتمع نیز بیشترین غلظت  $PM_{2.5}$  در نواحی شرق، جنوب شرقی و غرب مجتمع بوده و مناطقی چون شهر قدس از سمت شرق، شهریار از جنوب و اندیشه از غرب را در بر گرفته است. حداکثر غلظت رسیده به شهرهای اطراف مجتمع که شامل شهر قدس، شهریار، اندیشه می‌باشند و تقریباً در مجاورت مجتمع قرار دارند، به ترتیب برابر با  $1$ ،  $1$  و  $0/6$  میکروگرم بر مترمکعب است. در مورد شهر تهران نیز حداکثر غلظت رسیده به منطقه وردآورد که در غربی‌ترین نقطه شهر تهران قرار گرفته و دروازه ورود به کلان‌شهر تهران بوده و در فاصله  $6$  کیلومتری از مجتمع قرار دارد،  $0/8$  میکروگرم بر مترمکعب است؛ که رفته‌رفته از میزان غلظت آن به سمت شرق کاسته شده بطوریکه در مرکز شهر تهران در فاصله  $28$  کیلومتری از مجتمع حداکثر غلظت به  $0/2$  میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد و سپس با کم شدن آن به سمت شرق در محله‌ای به نام حکیمیه که در شرقی‌ترین نقطه تهران و در فاصله‌ای حدوداً  $47$  کیلومتری از مجتمع قرار دارد این میزان بسیار ناچیز و نزدیک به صفر می‌گردد (شکل ۶a). بیشترین غلظت  $PM_{10}$  نیز در دوره متوسط  $24$  ساعته در خارج از مجتمع معدنی در نواحی شرق و جنوب شرقی، جنوب و غرب محدوده معدنی رخ داده است و مناطقی چون شهر قدس از شرق، اسلامشهر از جنوب شرق، شهریار از جنوب و اندیشه از غرب را شامل می‌شود. حداکثر غلظت رسیده به مرکز شهر قدس  $2$  میکروگرم بر مترمکعب، اسلامشهر  $0/6$  میکروگرم بر مترمکعب، شهریار  $2$  میکروگرم بر مترمکعب و اندیشه  $1$  میکروگرم بر مترمکعب است. در مورد شهر تهران نیز حداکثر غلظت رسیده به وردآورد تهران  $0/8$  میکروگرم بر

زیست‌محیطی و نیز اختصاص حداقل چند درصد از فضای کارخانه‌ها به سبزی می‌تواند در کاهش میزان آلاینده‌ها مؤثر واقع شود.

### نتیجه‌گیری

عمده‌ترین آلودگی صنعت آسفالت گردوغبار است. حداکثر میزان غلظت ذرات تولیدی توسط کارخانه‌های آسفالت جنوب غرب تهران در داخل محدوده معدنی رخ داده که بافاصله گرفتن از مجتمع معدنی به علت پراکنش ذرات به اطراف از میزان غلظت آن‌ها به تدریج کاسته شده است. بیشترین نوسانات غلظت ذرات در متوسط زمانی ۲۴ ساعته بوده که در مناطق اطراف مجتمع معدنی و در جهات جنوب شرق، جنوب تمرکز بیشتری داشته که با بزرگ شدن مقیاس زمانی به سالیانه، پراکنش و میزان غلظت ذرات در جهت جنوب شرق متمرکز شده است. این تحقیق نشان داد با استفاده از مدل‌های پراکنش می‌توان قدم‌های مؤثری در ارزیابی اثرات زیان‌بار آلاینده‌های خروجی از صنایع بر سلامت انسان و محیط‌زیست برداشت. نتایج این مطالعه حداکثر میزان سهم کارخانه‌های آسفالت جنوب غرب تهران از آلودگی هوای مناطق اطراف و نیز شهر تهران را برآورد نمود و نشان داد با توجه به میزان انتشار ذرات از کارخانه‌های آسفالت و نیز جهت باد غالب منطقه، فعالیت این کارخانه‌ها در میزان آلودگی هوای مناطق اطراف و نیز شهر تهران تأثیرگذار می‌باشند. همچنین با توجه به استقرار صنایع مختلف دیگری از جمله کارگاه‌های تولید شن و ماسه، کارگاه‌های بتون‌سازی و تولید قطعات در داخل و اطراف این مجتمع، اثرات تجمعی این صنایع می‌تواند باعث افزایش غلظت ذرات معلق در هوا گردیده که این امر می‌تواند منجر به افزایش میزان آلودگی هوا و نیز افزایش ریسک خطر ابتلا به بیماری‌های مرتبط با ذرات در جوامع در معرض گردد. لذا انجام مطالعه‌ای در مورد بررسی

مترمکعب است که به تدریج از میزان غلظت آن به سمت شرق کاسته شده و در مرکز شهر تهران حداکثر غلظت به میزان ۰/۴ میکروگرم در مترمکعب و در محله جوادیه تهران پارس که در شرق تهران و در فاصله‌ای حدوداً ۴۵ کیلومتری از مجتمع قرار دارد این میزان بسیار ناچیز و نزدیک به صفر می‌گردد (شکل ۶b). در بازه زمانی سالانه به علت نشست بخش زیادی از ذرات، غلظت  $PM_{2.5}$  و  $PM_{10}$  برآورد شده کاهش چشمگیری داشته است به طوری که پراکندگی  $PM_{2.5}$  از سمت شرق و جنوب شرق حداکثر تا فرودگاه مهرآباد و روستای احمدآباد مستوفی و از سمت غرب تا منطقه فردیس (شکل ۷a) و پراکندگی  $PM_{10}$  از سمت شرق و جنوب شرق تا فرودگاه مهرآباد و محله چهاردانگه و از سمت غرب تا محمد شهر می‌باشد (شکل ۷b).

با توجه به اینکه کارخانه‌های آسفالت از منابع مهم تولید آلودگی هوا می‌باشند، انجام اقدامات مناسب برای به حداقل رساندن میزان تولید این آلاینده‌ها در این صنعت ضروری می‌باشد. به منظور کنترل آلاینده‌های ناشی از کارخانه‌های آسفالت می‌توان از تجهیزات مختلف و متنوعی که جهت کنترل و پالایش آلودگی هوا و بهسازی محیط در این صنعت بکار می‌روند، استفاده کرد. انتخاب نوع دستگاه‌ها به شرایط کارکرد آن‌ها بستگی داشته و به کارگیری آن‌ها متناسب با نوع، میزان و مشخصات آلودگی موردنظر می‌باشد. با استفاده از مواد اولیه مرغوب و انجام دقت لازم در بهره‌برداری مناسب از آن‌ها در کارخانه، الزام کارخانه‌های تولید آسفالت به استفاده از سوخت‌های مناسب، تعمیر به موقع ماشین‌آلات خط تولید و سرویس ماهانه آن‌ها و جایگزینی ماشین‌آلات قدیمی با دستگاه‌های جدید، سنجش میزان خروجی آلاینده‌ها به صورت ماهانه توسط خودواحد‌های تولید جهت آگاهی از میزان کارایی تجهیزات کنترل آلودگی و رفع نقص احتمالی آن، نصب تجهیزات مناسب کنترل آلاینده‌های هوا و نگهداری مستمر آن زیر نظر متخصصین، استقرار نظام مدیریت

تهران به دلیل در اختیار گذاشتن داده‌های موردنیاز و انجام همکاری‌های لازم تشکر و قدردانی می‌گردد. این مطالعه حاصل بخشی از پایان‌نامه دوره دکتری تخصصی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات در رشته مهندسی محیط‌زیست می‌باشد.

میزان پراکنش تجمعی آلاینده‌های صنایع مختلف منطقه بر روی جوامع اطراف پیشنهاد می‌گردد.

## تشکر و قدردانی

بدین وسیله از اداره محیط‌زیست شهرستان قدس و همچنین انجمن صنفی تولیدکنندگان شن و ماسه کل استان

## References

1. Nourmoradi H, Omid Khaniabadi Y, Goudarzi G, et al. Investigation on the Dust Dispersion ( $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$ ) by Doroud Cement Plant and Study of Its Individual Exposure Rates. *Ilam Univ Med Sci* 2016;24(1): 64-75 [In Persian].
2. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Particulate Matter (PM) Basics 2019 [cited 2021 April 13]. Available from: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>.
3. Rai P. Multifaceted Health impacts of Particulate Matter (PM) and its management: An overview. *Environ Skep Crit* 2015;4(1): 1-26.
4. Canova C, Minelli C, Dunster C, et al.  $PM_{10}$  oxidative properties and asthma and COPD. *Epidemiol* 2014;23(3): 467-8.
5. Ruckerl R, Schneider A, Breitner S, et al. Health effects of particulate air pollution: a review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol* 2011;23(10): 555-92.
6. Bayat R, Ashrafi K, Shafiepour Motlagh M, et al. Estimation of Tehran's particulate matter 2.5 micrometers or less in diameter ( $PM_{2.5}$ ) health effects, using BenMAP-CE. *IJHE* 2019;12(3): 365-82 [In Persian].
7. Heger M, Sarraf M. Air pollution in Tehran: health costs, sources, and policies: World Bank Group; 2018 [cited 2021 March/10]. Available from: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/29909/126402-NWP-PUBLIC-Tehran-WEB-updated.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
8. Amini A, Nabi Bidhendi G, Givchchi S, et al. Location of Asphalt Plant for Road Construction Projects (Case Study: Hamedan Bypass). 6th Environmental Engineering Conference; University of Tehran, Tehran, Iran. [in Persian]. 2012.
9. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Emissions factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant emission factors. Volume 1: stationary point and Area Sources. Chapter 11: Mineral Products Industry, 11.1 Hot Mix Asphalt Plants. 2004 [cited 2019 March 15]. Fifth [Available from: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch11/final/c11s01.pdf>].
10. Center for Health EJ. Asphalt Plants 2019 [cited 2019 March 21]. Available from: <http://chej.org/wp-content/uploads/Asphalt-Plants-20191.pdf>.
11. Gomi F, Shabani M. Investigation of environmental pollution of Rahgostar asphalt plant. International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Management in Iran; 18 August Tehran, Iran 2018.
12. Chitsazan A, Roozbahani M. Investigation of environmental pollution of Tehran-Pardis asphalt factory. The first national conference planning, conservation, environmental protection, sustainable development; 20 February Hamedan, Iran 2014.
13. Seyyed Safavian S, Kanzadeh N, Fataei E, Ghasempur A. Investigation of environmental pollution of Astara asphalt plant. First National Conference on Sustainable Agricultural Development and Healthy Environment; 26 February 2013.
14. Mansouri N, Alinejad J. Investigation on dust control systems and determination of emission rate in Mashhad asphalt plants. *JEST* 2009;11(1): 1-10 [In Persian].
15. Kermani M, Farzadkia M, Rezaei Kalantari R, Bahmani Z. Assessment risk of heavy metals in particulate matter smaller than 10 microns on Tehran's Kahrizak compost Complex worker in winter 2016. *IOH* 2018;15(2): 164-75 [In Persian].
16. Cimorelli A, Perry S, Venkatram A, et al. AERMOD: Description of model formulation. North California: US. Environmental Protection Agency. 2004.

17. Ashrafi K, Salimian M, Momeni M, Karami H. Modeling of Pollutants Emission from Asphalt Plant and Crusher Devices of Road Construction Projects (Case study: Sarab – Bostanabad Road). *J Transp Eng* 2013;4(4): 313-32 [In Persian].
18. Shamsipour A, Ashrafi E, Alikhah asl M, 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). *JES* 2016;41(4): 799-814 [In Persian].
19. 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. *ISMJ* 2019;22(5): 317-32 [In Persian].
20. Perry S, Cimorelli A, Paine R, et al. AERMOD: A dispersion model for industrial source applications. Part II: Model performance against 17 field study databases. *AMS* 2005;44(5): 694-708.
21. Heckel PF, LeMasters GK. The Use of AERMOD Air Pollution Dispersion Models to Estimate Residential Ambient Concentrations of Elemental Mercury. *Water, Air, Soil Pollut* 2011;219(1): 377-88.
22. Statistical Center of Iran. Results of the 2016 National Population and Housing Census: Statistical center of Iran; 2016 [cited 2021 June 3]. Available from: <https://www.amar.org.ir/english/Population-and-Housing-Censuses>
23. F. S, A. MH. Investigation of pollutants affecting air pollution in Tehran and control strategies according to AQI quality index. *JR\_GEOIAU* 2020;10(4): 55-73 [In Persian].
24. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Air Emissions Factors and Quantification, AP-42: Compilation of Air Emissions Factors [cited 2021 March 20 ]. Available from: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors#Proposed/>.
25. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Emissions factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant emission factors. Volume 1: stationary point and Area Sources. Introduction to AP-42 1995 [cited 2019 March 22]. fifth:[Available from: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/c00s00.pdf>.
26. Tiwary A, Colls J. Air pollution: measurement, modelling and mitigation. Third ed: Taylor & Francis e-library; 2009.
27. Owen Harrop D. Air Quality Assessment and Management A Practical Guide: Taylor & Francis e-Library; 2005.
28. 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].
29. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Users guide for the AMSEPA regulatory model-AERMOD: Office of Air Quality Planning and standard, Emissions Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Park, North California, EPA-454/B-03-001.216P.; 2004.
30. United States Environmental Protection Agency (USEPA). APPENDIX B Local-Scale Assessment of Primary PM2.5 for Five Urban Areas [cited 2019 March 20]. Available from: <https://www3.epa.gov/ttnecas1/regdata/RIAs/Appendix%20B--AERMOD%20Analysis.pdf>.
31. United States Environmental Protection Agency (USEPA). User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET): Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division Research Triangle Park, NC; 2019.
32. United States Environmental Protection Agency (USEPA). National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) for PM 2020 [cited 2021 April 10]. Available from: <https://www.epa.gov/pm-pollution/national-ambient-air-quality-standards-naaqs-pm>.
33. World Health Organization (WHO). Air Quality Guidelines, Global Update 2005 2006 [cited 2021 April 13]. Available from: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/78638/E90038.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf).
34. Noorpoor A, Kazemi Shahabi N. Dispersion Modeling of Air Pollutants from the Ilam Cement Factory Stack. *J Civil Env Eng* 2014;44.1(74): 107-16 [In Persian].
35. Alemayehu D, Hackett F. 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(4): 440-9.
36. Hall DJ, Spanton AM, Dunkerley F, et al. An Inter-comparison of the AERMOD, ADMS and ISC Dispersion Models for Regulatory Applications. BRE Ltd, Bucknalls Lane, Garston, Watford, 2000 October. Report No.: R&D Technical Report P362.

## Dispersion Modeling of Particulate Matters (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) from Asphalt Plants in the Southwest of Tehran

Yaser Zehtab Yazdi<sup>1</sup>, Nabiollah Mansouri<sup>2\*</sup>, Farideh Atabi<sup>3</sup>, Hossein Aghamohammadi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD Candidate in Environment Engineering, Department of Environment Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Professor, Department of Environment Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

<sup>3</sup>Associate Professor, Department of Environment Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

<sup>4</sup>Assistant Professor, Department of Remote Sensing and Geographical Information System (GIS), Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Email: nmansourin@gmail.com

Received: 21 April 2021; Accepted: 26 June 2021

### ABSTRACT

**Background and Objective:** Air pollution is one of the most important environmental problems. Asphalt plants are the sources of air pollutants, especially particulate matters. The purpose of this study is to investigate the emission rate of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> emitted from asphalt plants in the southwest of city of Tehran, also the present study was conducted to estimate the dispersion of particulate matters concentrations on surrounding areas of a mining complex and city of Tehran.

**Methods:** This descriptive-cross sectional study was performed on the asphalt plants in a mining complex in the southwest of Tehran. In this study, at first the concentrations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> emitted from asphalt plants located in the southwest of Tehran were calculated using emission factors suggested by the US Environmental Protection Agency. Then, the dispersion of particulate matters concentrations was estimated on the surrounding areas of the mining complex with a radius of 50 km using the AERMOD model for the average times of 24 hours and annually using emission rate, meteorology and topography data. At last, the simulated concentrations were compared to EPA and WHO standards.

**Results:** The maximum particulate matter concentrations are in the mining complex, and is gradually reduced by moving away from it. Dispersion of particles in the directions of dominant winds has been uniform. The maximum PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> concentrations have been estimated about 1 µg/m<sup>3</sup> and 2 µg/m<sup>3</sup> in Qods, 1 µg/m<sup>3</sup> and 2 µg/m<sup>3</sup> in Shahriyar, 0.6 µg/m<sup>3</sup> and 1 µg/m<sup>3</sup> in Andisheh and 0.2 µg/m<sup>3</sup> and 0.4 µg/m<sup>3</sup> in Tehran respectively in a 24-hour period. The amount of PMs that reached the west of Tehran continues to the eastern regions of the city. PMs concentrations were not significant in the average annual period.

**Conclusion:** Although dust emission rate from asphalt plants in the southwest of Tehran is acceptable, but it affects on the air quality in the surrounding areas of the mining complex and to some extent in Tehran. The cumulative effects of different industries can increase the potential health risks in the communities vicinity of this mining complex.

**Keywords:** Dust, Asphalt, Air pollution, Tehran