

بررسی پراکنش ذرات کنسانتره آهن از محل دپو کنسانتره آهن با استفاده از مدل AERMOD در شرکت سنگ آهن گهرزمین سیرجان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۴

کد مقاله: ۵۰۶۹۲

سعید متصدی زرنندی^۱، بهاره کریمی^{۲*}، خسرو اشرفی^۳،
سهیلا خداکریم^۴، یوسف رشیدی^۵، ساره یعقوبی پور^۶

چکیده

معدنکاری و صنایع وابسته به مواد معدنی در ارتباط نزدیک با محیط زیست قرار دارند. تأثیرات محیط زیستی این صنایع باید به نوعی کنترل و مدیریت شوند که کمترین اثرات منفی را بر روی محیط زیست و انسان داشته باشند. آلودگی هوا یکی از چالش‌های عمده و ناشی از حضور مواد نامطلوب در هوا است که اثرات زیان‌باری بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده خواهد داشت. با توجه به اینکه اندازه‌گیری در هر زمان و مکان امکان‌پذیر نیست، مدل‌های پخش آلودگی هوا ابزار توانمندی برای تخمین میزان آلاینده‌های هوا جهت مدیریت منابع و تصمیم‌گیری در مورد استراتژی‌های کاهش آلودگی در این نقاط هستند. مدل AERMOD یکی از مدل‌های ارجح و پیشنهادی سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا بوده است و امروزه کاربرد وسیعی در مدل‌سازی پخش آلودگی هوا دارد. در این پژوهش، پراکنش ذرات کنسانتره آهن ناشی از انباشت کنسانتره آهن در معدن گهرزمین سیرجان شبیه‌سازی شده است. این شبیه‌سازی با استفاده از مدل AERMOD در منطقه‌ای به مساحت ۱۰×۱۰ کیلومترمربع در هر یک از دو جهت X و Y در دوره آماری یک ساله ۲۰۱۹ برای متوسط‌های زمانی ۲۴ ساعته و یک ساله بررسی گردید. سپس غلظت‌های شبیه‌سازی شده با استاندارد سازمان محیط زیست آمریکا EPA مقایسه شدند.

واژگان کلیدی: غلظت ذرات کنسانتره آهن، معدن سنگ آهن گهر زمین سیرجان، مدل‌سازی AERMOD، مدل DEMATEL, ANP

- ۱- دانشیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، (نویسنده مسئول) baharekarimi328@gmail.com
- ۳- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران
- ۴- دانشیار گروه اپیدمیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
- ۵- استادیار گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی
- ۶- رییس واحد بهداشت محیط و محیط زیست شرکت سنگ آهن گهرزمین سیرجان

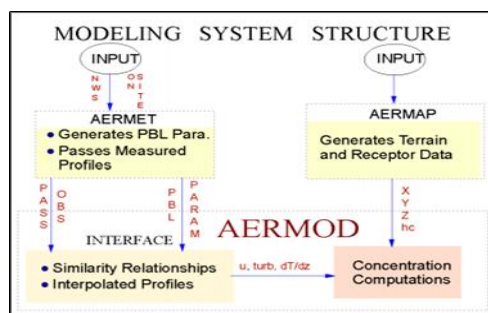
معدن کاری سهم قابل توجهی در تمدن جهان دارد ولی عملیات و فرایندهای آن در صورت نبود مدیریت صحیح، آثار نامطلوبی بر محیط زیست خواهد داشت. این آثار و پیامدها غالباً جبران‌ناپذیرند که این نیز باعث کاهش میزان خودپالایی نظام طبیعی می‌شوند. در حال حاضر یکی از مشکلات چالش‌برانگیز و عمده جهان، آلودگی هواست و به دلیل اثرات زیان باری که بر محیط زیست و سلامت انسان دارد توجهات زیادی را به خود معطوف کرده است (Khalil A, et.al., 2018). آلودگی هوا می‌تواند ناشی از پراکنش ذرات گرد و غبار تحت عنوان "Fugitive Dust"، از منابع باز مناطق صنعتی باشد. اندازه گیری این نوع از آلاینده‌ها یک چالش است زیرا این آلاینده‌ها بر روی یک منطقه گسترده پخش می‌شوند و به یک نقطه انتشار خاص محدود نمی‌شوند. این آلاینده‌ها می‌تواند از منابعی از جمله جاده‌های آسفالت‌نشده، محل‌های دپو مواد و عملیات ساخت و ساز منتشر شوند. تعیین میزان پخش و پراکنش این ذرات گرد و غبار برای مدیران به منظور تدوین برنامه‌های کنترلی حائز اهمیت می‌باشد (Mueller SF, et.al., 2013). محل‌های دپو کنسانتره آهن این نوع ذرات گرد و غبار را انتشار می‌کنند که می‌تواند اثرات نامطلوبی بر روی سلامت کارگران معدن (مانند پنوموکونیوز، سیدروزیس) و محیط زیست اطراف خود داشته باشند. بنابراین در تدوین استراتژی‌های مدیریت کیفیت هوا، به حداقل رساندن اثرات حاد آلاینده‌های هوا و تعیین نوع آلاینده‌ها از منابع مختلف و مطالعه اثرات آن‌ها بسیار مهم است (Bhanarkar AD, et.al., 2005). با توجه به اینکه اندازه‌گیری مستقیم میزان غلظت آلاینده‌ها در هر مکان و هر نقطه امکان پذیر نیست، مدل‌های پخش آلودگی هوا می‌توانند ساده‌ترین و مفیدترین راه برای پایش و بررسی پخش و پراکنش آلاینده‌ها و تاثیر هر منبع بر کیفیت هوای منطقه معدنی باشد و همچنین در اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی مناسب برای پیشگیری و کاهش آلاینده‌های هوا مورد استفاده قرار گیرند. AERMOD یکی از ابزارهای مدل‌سازی مفید در پیش بینی غلظت آلاینده‌های هوا از منابع صنعتی و تعیین تاثیر آن‌ها بر محیط اطراف است (Tunlathorntham S, et.al. 2017 and Huertas JI, et.al., 2011). خروجی AERMOD را می‌توان به نقشه‌های google earth و GIS تبدیل کرد تا دید بهتری به پراکندگی آلاینده‌ها ایجاد شود (Tripathy DP, et.al., 2015).

تا به امروز مطالعات کمی در مورد تخمین انتشار ذرات کنسانتره آهن از محل‌های دپو کنسانتره آهن با استفاده از AERMOD صورت گرفته است. بنابراین، در اینجا نتایج مطالعات انجام شده با منابع مناطق دیگر بحث خواهد شد. Sivacoumar et al. از مدل‌های ISC3، FDM و AERMOD برای تخمین میزان ذرات گرد و غبار ناشی از سنگ شکن‌ها در هند بررسی نمود. Huertas و همکاران در سال ۲۰۱۲، اثرات کیفیت هوای ناشی از چندین معدن زغال سنگ روباز در کلمبیای شمالی را ارزیابی کردند. آن‌ها پراکندگی ذرات معلق کل (TSP) و ذرات معلق کوچک‌تر از $10 \mu m$ را توسط دو مدل ISC3 و AERMOD شبیه‌سازی کردند (Huertas JI, et.al., 2012). Abu-allaban و همکاران در سال ۲۰۱۱، مطالعه‌ای بر روی اثرات زیست‌محیطی کیفیت هوای آزاد توسط صنعت سیمان در اردن با استفاده از مدل AERMOD انجام دادند و پراکنش گردوغبار، SO_2 ، NO_x و CO ناشی از پروژه‌های ساخت کارخانه‌های سیمان در اردن در جنوب شرقی عمان پیش‌بینی کردند و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که غلظت آلاینده‌های هوا از استانداردهای کیفیت هوای اردن پایین‌تر است و بنابراین ساخت کارخانه‌های سیمان اثرات منفی چشمگیری روی هوا نمی‌گذارد. اگرچه، غلظت TSP در معدن سنگ‌آهک که مواد خام اصلی کارخانه را فراهم می‌کند، انتظار می‌رود بالا باشد چراکه گردوغبار زیادی ناشی از سنگ معدن و خرد کردن آن ایجاد می‌شود (Abu-allaban M, 2011). Yateem و همکاران در سال ۲۰۱۱ به پیش‌بینی غلظت آلاینده‌های SO_2 و PM ناشی از واحد کرکینگ (واحد‌های تبدیل محصولات سنگین نفتی به محصولات سبک) در سطح زمین پرداختند که برای انجام این عمل از مدل AERMOD استفاده نمودند (Yateem WH, et.al., 2011). در این مطالعه از نرم‌افزار AERMOD View version 8.9 برای تخمین پراکنش ذرات کنسانتره آهن به عنوان ذرات PM_{10} و $PM_{2.5}$ از محل دپو کنسانتره آهن معدن سنگ آهن گهرزمین سیرجان که بزرگترین تولید کننده کنسانتره آهن است، استفاده گردید.

۲- AERMOD

مدل AERMOD در فوریه سال ۱۹۹۱ توسط سازمان هواشناسی آمریکا و آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا در یک همکاری مشترک توسعه یافته است (Cimorelli, A.J., et.al., 2005) و این مدل یک مدل پلوم گوسی است که برای مدل‌سازی پخش آلاینده‌های مختلف هوا از منابع صنعتی مختلف (به عنوان مثال منابع نقطه‌ای، سطحی و حجمی) در طول فواصل کوتاه (کمتر از 50 km) به کار برده می‌شود (Igri PM, et.al., 2011). علاوه بر این، از این مدل می‌توان برای زمین‌های مسطح یا پیچیده، مناطق روستایی و شهری به کار برد. مدل AERMOD قادر به نمایش پراکندگی در لایه مرزی (PBL) است که باعث منحصر به فرد بودن این مدل نسبت به سایر مدل‌ها شده است. این مدل در واقع از مدل ISC3 توسعه یافته است (PERRY SG, et.al., 2005) و دارای دو پیش‌پردازنده اصلی، یک پیش‌پردازنده هواشناسی به نام AERMET و یک پیش‌پردازنده زمین‌شناسی به نام AERMAP است (Cimorelli, AJ, et.al., 2004). AERMET از داده‌های هواشناسی سطحی و پروفایلی که از ایستگاه‌های هواشناسی قابل دریافت است، استفاده می‌کند و می‌تواند پروفایل باد را از داده‌های سطحی تخمین

بزند (U.S. Environmental Protection Agency, 2004, a). داده‌های عوارضی ناحیه‌ای توسط AERMAP جهت محاسبه مقیاس ارتفاع زمین استفاده می‌شود. مقیاس ارتفاع زمین برای هر یک از مکان‌های پذیرنده منحصر به فرد تعریف شده است. فایل‌های دیجیتالی ارتفاع ناهمواری DEM به عنوان ورودی پیش پردازنده AERMAP استفاده می‌شوند. برای هر پذیرنده، AERMAP اطلاعات زیر را به AERMOD منتقل می‌کند: موقعیت گیرنده، ارتفاع از سطح دریا و مقیاس ارتفاع ناهمواری پذیرنده (U.S. Environmental Protection Agency, 2004, b). مدل‌های پخش و پراکنش به طور کلی نیاز به سه نوع داده ورودی دارند: داده‌های هواشناسی، توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و میزان نرخ انتشار منبع. خروجی این مدل‌ها شامل غلظت آلاینده هوا برای یک دوره زمانی خاص و در مکان‌های مختلف است (U.S. Environmental Protection Agency, 2004, c). ساختار کلی سیستم مدل‌سازی AERMOD در شکل ۱ نشان داده شده است.

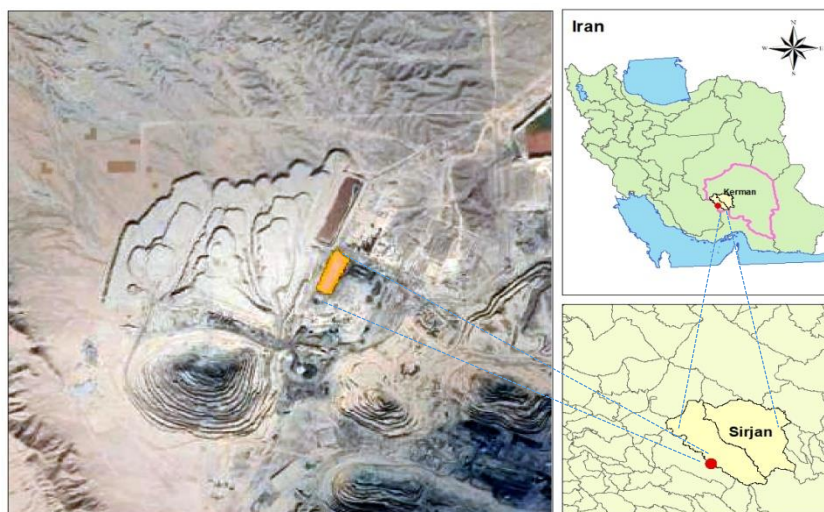


شکل ۱ ساختار کلی سیستم مدل‌سازی AERMOD (USEPA, 2004)

۳- مواد و روش

۳-۱ معرفی منطقه مورد مطالعه

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، شرکت سنگ‌آهن گهرزمن در سال ۱۳۸۳ به منظور بهره‌برداری از آنومالی شماره ۳ منطقه گل‌گهر به عنوان بزرگ‌ترین آنومالی با ذخیره ۶۴۳ میلیون تن در ۵۰ کیلومتری شهرستان سیرجان تأسیس شد. این شرکت در بخش جنوبی مجموعه گل‌گهر و در بخش مرکزی شهرستان سیرجان قرار دارد. شرکت در سال ۱۳۹۵ واحد سنگ‌شکن با ظرفیت ۱۵ میلیون تن و دو خط کنسانتره با ظرفیت ۴ میلیون تن را راه‌اندازی کرده است. اقلیم سیرجان نیمه بیابانی است. رطوبت متوسط آن ۳۶٪ و متوسط بارندگی سالانه ۱۶۰ میلی‌متر است.



شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۳-۲ AERMET

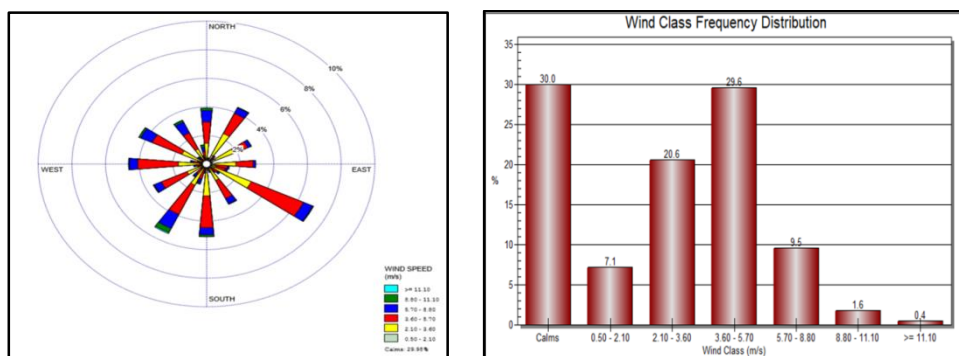
داده‌های هواشناسی ۱۰ ساله ثبت‌شده (شامل سرعت و جهت باد، دما، رطوبت نسبی، متوسط بارش و ابرناکی) در ایستگاه سینوپتیک شهرستان سیرجان (نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به اراضی طرح) در موقعیت جغرافیایی ۵۵ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی، از سازمان هواشناسی استان کرمان دریافت و به عنوان ورودی پیش پردازنده AERMET برای محاسبه پارامترهای لایه مرزی وارد شدند.

از دیگر مشخصه‌های لازم برای این پیش پردازنده، پارامترهای سطحی شامل زبری سطح، نسبت بوان و ضریب آلوده منطقه مورد مطالعه است. برای تعیین این پارامترها، منطقه مورد مطالعه برحسب نوع کاربری زمین‌های اطراف و پوشش گیاهی آن‌ها، در جهت عقربه‌های ساعت به قطاع‌های مساوی تقسیم شد. بر اساس طبقه‌بندی منطقه مورد مطالعه که از نوع بیابانی است، این پارامترها طبق جدول ۱ از AERMET به دست آمد.

جدول ۱ پارامترهای سطحی منطقه مورد مطالعه

زبری سطح	نسبت بوان	ضریب آلوده
۰/۳	۵	۰/۳
۰/۳	۵	۰/۲۸
۰/۳	۶	۰/۲۸
۰/۱۵	۱۰	۰/۴۵

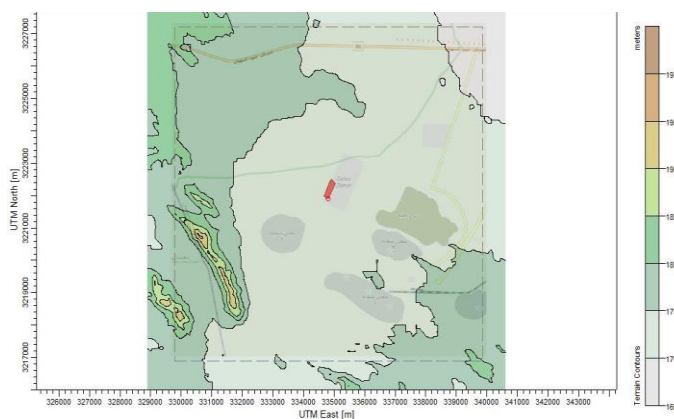
دو فایل پارامترهای سطحی لایه‌مرزی (با پسوند SFC) و نیم‌رخ داده‌های جو بالا (PFL) به وسیله این پیش پردازنده تهیه گردید. این فایل‌ها از ورودی‌های مدل AERMOD می‌باشند که داده‌های هواشناسی مورد نیاز مدل را فراهم می‌کنند. بر اساس این اطلاعات نیز گلباد منطقه و تقسیم بندی فراوانی طبقه‌بندی بادها ترسیم شد (شکل ۳).



شکل ۳ گلباد و تقسیم بندی فراوانی طبقه بندی بادهای منطقه مورد مطالعه

۳-۳ AERMAP

فایل‌های DEM در محدوده ۱۰ در ۱۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردید. فایل‌های توپوگرافی دریافتی از سازمان نقشه‌برداری کشور به فرمت قابل قبول (xyz) پیش پردازنده AERMAP درآمده و وارد مدل AERMOD شده است. خروجی این پیش پردازنده شامل مختصات هر گیرنده و ارتفاع آن از سطح دریا و ارتفاع ناهمواری در محل گیرنده و مختصات جغرافیایی منبع است. شکل زیر نمایی از توپوگرافی اعمال شده در مدل AERMOD را نشان می‌دهد.



شکل ۴ توپوگرافی محدوده مطالعاتی اعمال شده در AERMOD

۳-۴ پذیرنده‌ها

جهت مرکزیت دادن به منبع موردنظر، پذیرنده‌ها در سیستم شبکه‌ای به مدل معرفی شده‌اند. پذیرنده‌های شبکه‌ای در مختصات جغرافیایی و در محدوده‌ای با مساحت $10 \times 10 \text{ km}^2$ با فاصله شبکه‌ای ۲۰۰ متر (۲۶۰۱ گزید) در هر دو جهت X و Y و به صورت uniform Cartesian grid تعریف گردید.

۳-۵ نرخ انتشار

یکی از مهم‌ترین داده‌های ورودی مدل AERMOD نرخ انتشار ذرات کنسانتره آهن از محل انباشت کنسانتره آهن است. برای محاسبه آن با توجه به راهنمایی که EPA در کتابچه راهنمای خود آورده است، قبل از محاسبه نرخ انتشار آلاینده از فاکتورهای انتشار ارائه شده توسط EPA در قالب کتابچه‌های AP-۴۲ استفاده و محاسبه می‌شود. AP-۴۲، درواقع تألیف و گردآوری فاکتورهای انتشار آلاینده‌های هوا، از سال ۱۹۷۲ به صورت کتابچه منتشر شده است. این کتابچه شامل فاکتورهای انتشار و اطلاعاتی برای بیش از ۲۰۰ گروه از منابع آلودگی هواست. برای محاسبه نرخ انتشار ذرات نیاز به تعیین پارامترهایی از قبیل میزان رطوبت کنسانتره آهن انباشت شده، متوسط وزن وسایل نقلیه سنگین، میزان سیلت مواد در مسیر عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین، میزان بارگیری و بارگذاری مواد، متوسط سرعت باد، مسافت روزانه طی شده، تعداد روزها با بارش بیش از 0.25 mm/year ، درصد زمانی با سرعت باد بیش از $5/4 \text{ m/s}$ می‌باشد. نمونه‌برداری‌های میدانی در محل انباشت جهت تعیین رطوبت و سیلت مواد انجام گرفت و نمونه‌ها جهت آنالیز به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌طور کلی معادله تخمین انتشار به شرح زیر است:

$$E = EF \times A \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (۱)$$

E: میزان انتشار آلاینده (مقدار جرم آلاینده)

A: نرخ فعالیت (میزان تولید واحد صنعتی)

EF: فاکتور انتشار (مقدار جرم آلاینده منتشره به ازای میزان محصول تولیدی یا نرخ فعالیت)

ER: درصد کلی کاهش انتشار بوده و در صورت عدم استفاده از سیستم کاهش آلاینده این مقدار صفر است (U.S. Environmental Protection Agency, 2014)

ولی با توجه به تفاوت بودن نرخ انتشار از عملیات مختلف در محل انباشت کنسانتره آهن، برای محاسبه میزان نرخ انتشار برای هر فعالیت (بارگذاری و بارگیری مواد، فرسایش باد، عبور و مرور) به‌طور جداگانه از فرمول‌های ارائه شده توسط EPA استفاده گردید (USEPA. Aggregate Handling and Storage Piles, 2006)

بارگذاری و بارگیری مواد

$$EF = K(0.0016) \frac{\left(\frac{U}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} \quad (۲)$$

EF: فاکتور انتشار (kg/ton)

U: متوسط سرعت باد (m/s)

M: میزان رطوبت (%)

K: ضریب اندازه ذرات (بدون بعد)

$$ER = EF \times M_h \times \left(1 - \frac{CE}{100}\right) \times UC \quad (۳)$$

ER: نرخ انتشار (ton/day)

EF: فاکتور انتشار (kg/ton)

CE: راندمان کنترل (کاهش) انتشار

UC: ضریب تبدیل واحد ($\frac{1 \text{ tonne}}{1000 \text{ kg}}$)

Mh: مقدار مواد (ton/day)

عبور و مرور

$$EF = K \left(\frac{S}{12}\right)^a \left(\frac{W}{3}\right)^b \quad (۵-۳)$$

EF: فاکتور انتشار برحسب lb/VMT

S: مقدار سیلت مواد سطحی (%)

W: متوسط وزن ماشین (tons)

k, b: مقادیر ثابت

$$ER = EF \times VKT \times UC \times \left(1 - \frac{c}{100}\right) \quad (4)$$

ER: نرخ انتشار (ton/day)

VKT: مسافت روزانه طی شده (km/day)

EF: فاکتور انتشار (lb/VKT)

UC: فاکتور تبدیل واحد $\left(\frac{1 \text{ tonne}}{10^6 \text{ gr}}\right)$

اعداد ثابت k ، α و b به اندازه ذرات مورد مطالعه بستگی دارند که جدول ذیل این اعداد ثابت را با توجه به اندازه ذرات نشان می‌دهد (USEPA, Unpaved Road, 2006)

جدول ۲ ضرایب ثابت با توجه به اندازه ذرات برای فعالیت عبور و مرور

Constant	PM ₁₀	PM _{2.5}
K	۱/۵	۰/۱۵
α	۰/۹	۰/۹
b	۰/۴۵	۰/۴۵

فرسایش باد

$$ER_{TSP} = 1.9 \left(\frac{s}{1.5}\right) \times \left(\frac{365-P}{235}\right) \times \left(\frac{f}{15}\right) \quad (5)$$

ER: نرخ انتشار ذرات معلق برحسب (kg/day.ha)

S: مقدار سیلت (%)

P: تعداد روزهایی با بارش بیش از ۰/۲۵ میلی‌متر در سال

F: درصد زمانی که سرعت باد بیش از ۵/۴ m/s باشد.

نسبت PM_{2.5} به TSP برابر ۷/۵ می‌باشد (USEPA, 1988).

۴- نتایج و بحث

۴-۱ نتایج AERMAP و AERMET

همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، باد غالب از جهت جنوب شرقی به شمال غربی می‌وزد. بیش‌ترین سرعت باد مشاهده شده در این مدت ۴۰ m/s در زاویه ۴۰ درجه و میزان باد آرام برابر ۲۹/۹۸٪ بوده است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، ارتفاعات بیش‌تر در جهت غرب و جنوب غربی اراضی و سایت واقع شده‌اند. لازم به ذکر است که در محدوده مدل‌سازی بیش‌ترین ارتفاع حدود ۱۹۷۰ متر می‌باشد.

۴-۲ نرخ انتشار

انتشار ذرات کنسانتره آهن ناشی از فعالیت‌هایی نظیر فرسایش باد، بارگیری و بارگذاری و عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین در محل دیو کنسانتره با استفاده از فرمول‌های ارائه شده توسط EPA محاسبه گردید. نتایج حاصله نشان داد که میزان نرخ انتشار ذرات PM₁₀ و PM_{2.5} در دوره زمانی ۲۰۱۹ به ترتیب برابر ۳/۲۶ و ۲۳/۱۳ گرم بر ثانیه است. که از این مقدار، ۰/۱۹٪، ۰/۱۳٪، ۶٪ و ۹۳/۶۸٪ به ترتیب مربوط به فعالیت‌های بارگذاری، بارگیری، فرسایش باد و عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین می‌باشد.

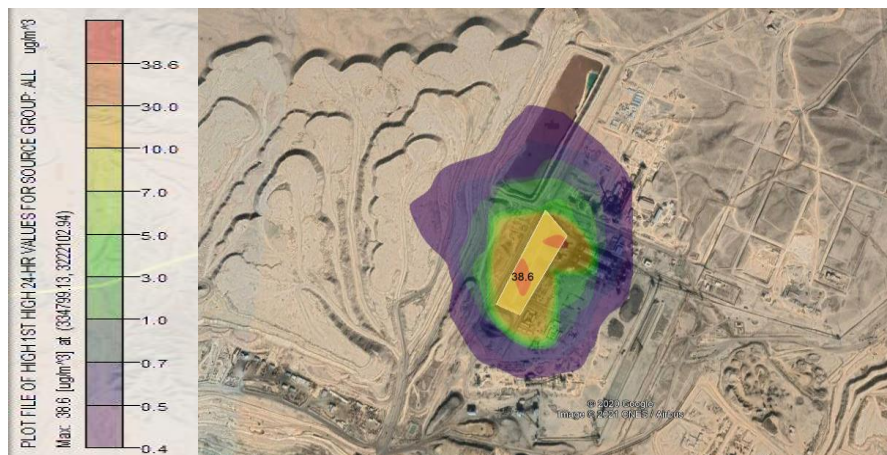
جدول ۳ نرخ انتشار ذرات کنسانتره توسط فرسایش باد، بارگیری و بارگذاری و عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین

نرخ انتشار		نوع فعالیت	منبع
PM ₁₀ Kg/d	PM _{2.5} Kg/d		
۳/۶۴	۰/۵۵	بارگذاری	دیو کنسانتره آهن
۲/۶۳۷	۰/۳۹۸	بارگیری	
۱۸۷۲	۲۶۳	عبور و مرور وسایل نقلیه سنگین	
۱۲۰/۶۱	۱۸/۰۷	فرسایش باد	

۳-۴ نتایج AERMOD

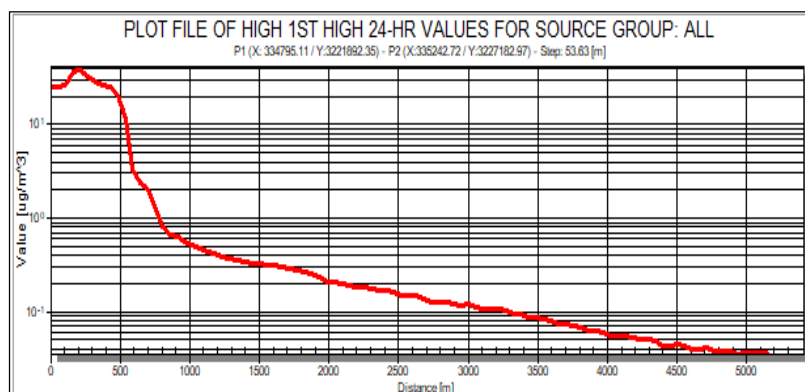
پس از اجرای مدل و به دست آوردن خروجی‌های موردنظر، اطلاعات به دست آمده به نقشه‌های تعیین پراکندگی غلظت تبدیل می‌شوند تا نحوه پراکندگی و پخش آلاینده‌ها در منطقه موردنظر نمایش داده شود. اندازه هر شبکه در این پروژه ۲۰۰ متر در نظر گرفته شده و در شعاع ۱۰ کیلومتری از محل دپو کنسانتره برآورد غلظت صورت گرفته است. در این قسمت نقشه‌های پراکنش کنسانتره آهن (ذرات PM2.5 و PM10) در دوره‌های زمانی ۲۴ ساعته (با توجه به استانداردهای موجود) و یک ساله (سال ۲۰۱۹) تجزیه و تحلیل شده است.

در شکل‌های ذیل پراکنش ذرات کنسانتره آهن کمتر از ۲/۵ میکرون انتشار یافته از محل دپو کنسانتره آهن معدن گهرزمین سیرجان در متوسط زمانی ۲۴ ساعته نشان می‌دهد که بیشترین مقدار غلظت ذرات کنسانتره آهن PM2.5 برابر ۳۸/۶ میکروگرم بر مترمکعب و در رتبه بعد ۳۸/۲ ug/m3 می‌باشد.



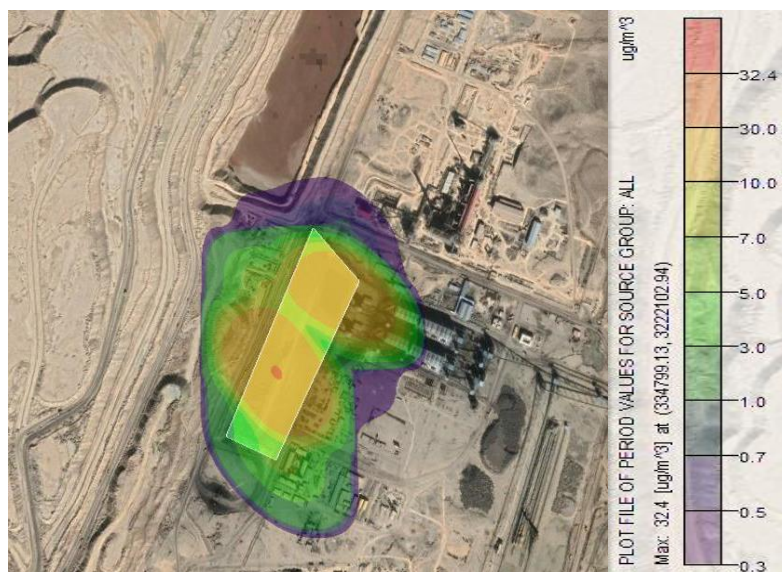
شکل ۵ نقشه مدل‌سازی وضعیت پراکندگی ذرات کنسانتره آهن (PM2.5) ناشی از دپو کنسانتره آهن با استفاده از مدل AERMOD در دوره زمانی ۲۴ ساعته

در شکل ۶ میانگین غلظت آلاینده نسبت به فاصله از منبع انتشار آلاینده‌گی (دپو کنسانتره آهن) را بررسی می‌کند. این نمودار، تغییرات غلظت را نسبت به فاصله از محل دپو کنسانتره مشخص می‌کند تا سهم آلاینده‌گی دپو کنسانتره را در سطح مجتمع گهرزمین نشان دهد. در این نمودار نقطه صفر محور افقی برابر با یکی از گوشه‌های محل دپو کنسانتره در محدوده مدل‌سازی می‌باشد. با توجه به نمودار بیشترین مقدار در نزدیکی محل دپو و با افزایش فاصله از منبع از میزان آن کاسته می‌شود.



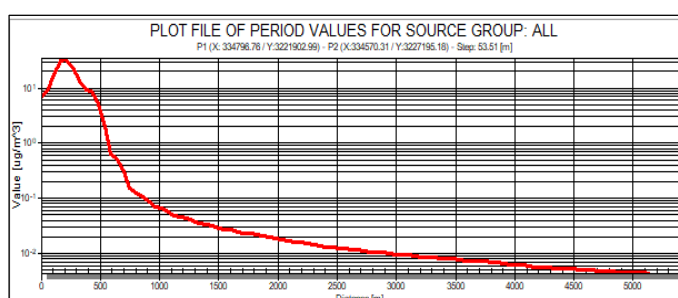
شکل ۶ میانگین غلظت ۲۴ ساعته ذرات کنسانتره آهن (PM2.5) در فواصل مختلف از محل دپو

در شکل‌های ذیل پراکنش ذرات کنسانتره آهن کمتر از ۲/۵ میکرون انتشار یافته از محل دپو کنسانتره آهن معدن گهرزمین سیرجان را در دوره زمانی یک ساله نشان می‌دهد که بیشترین مقدار غلظت ذرات کنسانتره آهن PM2.5 برابر ۳۲/۴ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد.



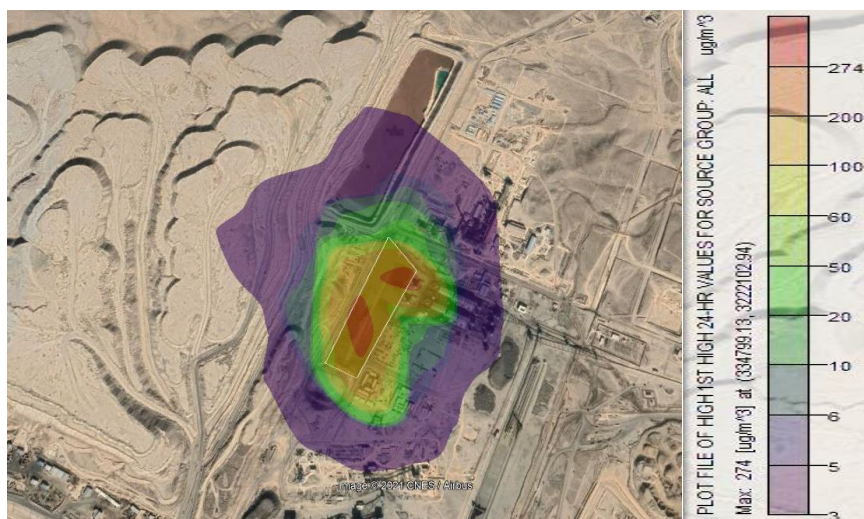
شکل ۷ نقشه مدل سازی وضعیت پراکندگی ذرات کنسانتره آهن ($PM_{2.5}$) ناشی از دپو کنسانتره آهن با استفاده از مدل AERMOD در دوره زمانی یک ساله

در شکل ۸ میانگین غلظت آلاینده نسبت به فاصله از منبع انتشار آلاینده (دپو کنسانتره آهن) را بررسی می کند. این نمودار، تغییرات غلظت را نسبت به فاصله از محل دپو کنسانتره مشخص می کند تا سهم آلاینده دپو کنسانتره را در سطح مجتمع گهرزمین نشان دهد. در این نمودار نقطه صفر محور افقی برابر با یکی از گوشه های محل دپو کنسانتره آهن در محدوده مدل سازی می باشد. با توجه به نمودار بیشترین مقدار در نزدیکی محل دپو و با افزایش فاصله از میزان آن کاسته می شود.



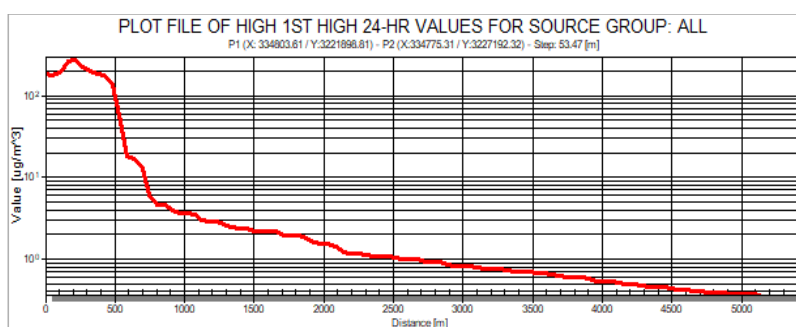
شکل ۸ میانگین غلظت ذرات کنسانتره آهن ($PM_{2.5}$) در دوره زمانی یک ساله در فواصل مختلف از محل دپو کنسانتره آهن گهرزمین سیرجان

در شکل های ذیل پراکنش ذرات کنسانتره آهن کمتر از ۱۰ میکرون انتشار یافته از محل دپو کنسانتره آهن معدن گهرزمین سیرجان را در متوسط زمانی ۲۴ ساعته نشان می دهد که بیشترین مقدار این غلظت ۲۷۴ میکروگرم است.



شکل ۹ نقشه مدل سازی وضعیت پراکندگی ذرات کنسانتره آهن (PM₁₀) ناشی از دیو کنسانتره آهن با استفاده از مدل AERMOD در دوره زمانی ۲۴ ساعته

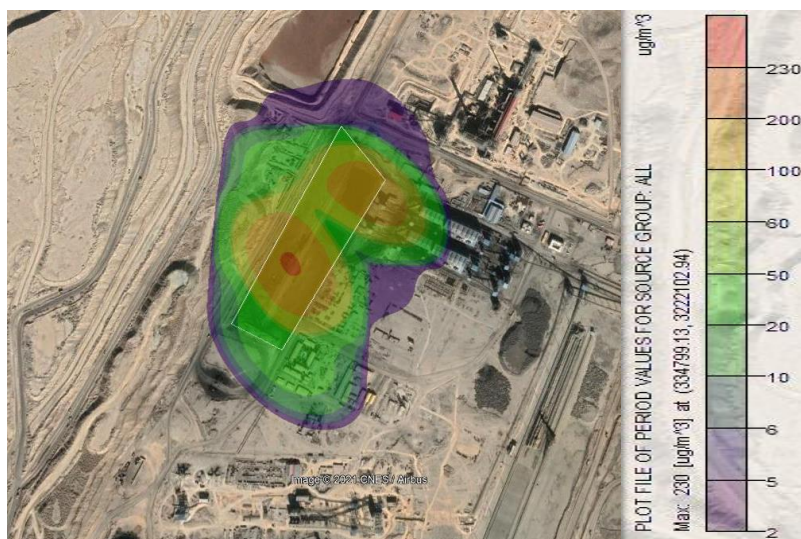
در شکل ۱۰ میانگین غلظت آلاینده نسبت به فاصله از منبع انتشار آلاینده (دیو کنسانتره آهن) را بررسی می کند. این نمودار، تغییرات غلظت را نسبت به فاصله از محل دیو کنسانتره مشخص می کند تا سهم آلاینده دیو کنسانتره را در سطح مجتمع گهرزمین نشان دهد. در این نمودار نقطه صفر محور افقی برابر با موقعیت دیو کنسانتره و محدوده مدل سازی می باشد. با توجه به نمودار بیشترین مقدار در نزدیکی محل دیو و با افزایش فاصله از میزان آن کاسته می شود.



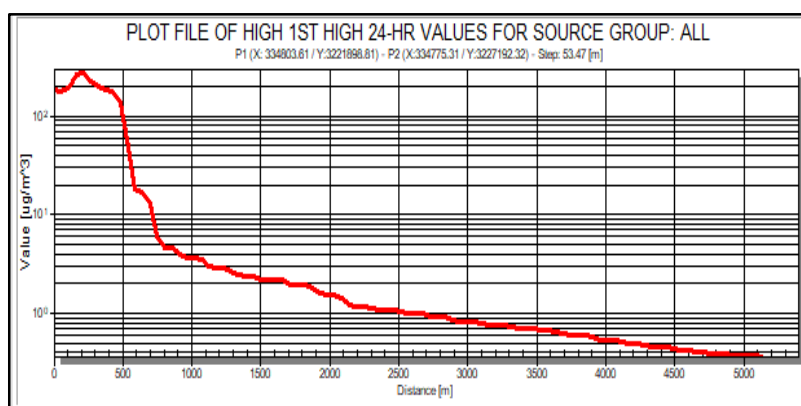
شکل ۱۰ میانگین غلظت ۲۴ ساعته ذرات کنسانتره آهن (PM₁₀) در فواصل مختلف از محل دیو

در شکل ۱۱ پراکنش ذرات کنسانتره آهن کمتر از ۱۰ میکرون انتشار یافته از محل دیو کنسانتره آهن معدن گهرزمین سیرجان را در دوره زمانی یک ساله نشان می دهد که بیشترین مقدار این غلظت ۲۳۰ میکروگرم بر مترمکعب می باشد.

در شکل ۱۲ میانگین غلظت آلاینده نسبت به فاصله از منبع انتشار آلاینده (دیو کنسانتره آهن) را بررسی می کند. این نمودار، تغییرات غلظت را نسبت به فاصله از محل دیو کنسانتره مشخص می کند تا سهم آلاینده دیو کنسانتره را در سطح مجتمع گهرزمین نشان دهد. در این نمودار نقطه صفر محور افقی برابر با یکی از گوشه های محل دیو کنسانتره آهن و فاصله ۵ کیلومتری محدوده مدل سازی می باشد. با توجه به نمودار بیشترین مقدار انتشار در محل دیو کنسانتره می باشد و نیز همچنین با افزایش فاصله از میزان آن کاسته می شود.



شکل ۱۱ نقشه مدل سازی وضعیت پراکندگی ذرات کنسانتره آهن (PM₁₀) ناشی از دیو کنسانتره با استفاده از مدل AERMOD در بازه زمانی یک ساله



شکل ۱۲ میانگین غلظت ذرات کنسانتره آهن (PM₁₀) در دوره زمانی یک ساله در فواصل مختلف از محل دیو

۴-۴ مقایسه غلظت های بیشینه ذرات کنسانتره آهن با استاندارد EPA

مقایسه غلظت های بیشینه محیطی ذرات کنسانتره آهن با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون با استاندارد EPA برای هوای پاک جدول ۴ برای متوسط زمانی ۲۴ ساعته (۳۸/۲ µg/m³ در مقایسه با استاندارد ۳۵ µg/m³) نشان می دهد که غلظت این ماده در بازه زمانی ذکر شده بیشتر از حد مجاز است و نیز مقایسه غلظت های بیشینه محیطی ذرات کنسانتره آهن با قطر کمتر از ۱۰ میکرون با استاندارد EPA برای هوای پاک جدول ۴ برای متوسط زمانی ۲۴ ساعته (۲۷۴ µg/m³ در مقایسه با استاندارد ۱۵۰ µg/m³) نشان می دهد که غلظت این ماده در بازه های زمانی ذکر شده ۱/۸۲۶ برابر بیشتر از حد مجاز است.

جدول ۴ استاندارد EPA برای هوای پاک

نوع آلاینده	بازه زمانی	استاندارد EPA (µg/m ³)
ذرات PM _{2.5}	حداکثر ۲۴ ساعته	۳۵
ذرات PM ₁₀	حداکثر ۲۴ ساعته	۱۵۰

۵-۴ بحث

توسعه معادن و تولید مواد یکی از نیازهای مهم جوامع می باشد. اما باید به این نکته توجه داشت که فرایندهای مختلف در این صنایع بر روی سلامت افراد و نیز محیط زیست آسیبی وارد ننماید. در حال حاضر یکی از مهم ترین مشکلات دیو و انباشت مواد به صورت آزاد از جمله دیو کنسانتره آهن معدن سنگ آهن گهر زمین سیرجان، آلودگی هوای محیط اطراف به ذرات کنسانتره آهن با

قطر کمتر از ۲/۵ میکرون و ۱۰ میکرون می باشد که این ذرات منتشره از محل های دپو مواد تحت عنوان "fugitive dust" بیان می شوند. این ذرات باعث اثرات زیان بار بر انسان، جانوران، گیاهان می شود. بنابراین دانستن غلظت و نحوه پراکنش ذرات کنسانتره آهن ناشی از انباشت کنسانتره آهن در محیط اهمیت ویژه ای دارد. سازمان حفاظت از محیط زیست ایران برای به حداقل رساندن آثار منفی ناشی از آلاینده ها بر محیط اطراف و انسان استانداردهای EPA را هدف خود قرار داده است و کلیه واحدهای صنعتی را موظف به رعایت آن نموده است. در این پروژه برای تعیین سهم آلاینده های دپو کنسانتره آهن در معدن گهرزمین سیرجان، میزان و نحوه پراکنش ذرات کنسانتره آهن توسط مدل AERMOD شبیه سازی شد. مدل AERMOD یکی از مدل های انتشار سری گوسین مورد تایید EPA است. داده های مورد نیاز مدل AERMOD شامل داده های هواشناسی منطقه، اطلاعات مربوط به منبع انتشار آلاینده، مختصات و موقعیت منبع و اطلاعات مربوط به سطح زمین (خصوصیات توپوگرافی منطقه) می باشد و نیز اطلاعات مورد نیاز برای منبع انتشار شامل نرخ انتشار آلاینده، دانه بندی و اندازه ذرات کنسانتره آهن است که در این تحقیق تمامی اطلاعات مورد نیاز وارد و سپس مدل اجرا شد. محدوده مطالعاتی ۱۰ کیلومتر با اندازه گرید ۲۰۰ متر و دوره زمانی یک ساله (سال ۲۰۱۹) در نظر گرفته شده است. در این پژوهش شبیه سازی برای ارتفاع ۲ متر یا سطح تنفس انجام گرفت. از داده های هواشناسی مربوط به سال های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ میلادی در پیش پردازنده AERMET استفاده گردید. داده های جوی استفاده شده گویای حداکثر شدت باد حدود ۴۰ متر بر ثانیه بود. جهت باد غالب از سمت جنوب شرقی به شمال غربی است. در نهایت با استفاده از اطلاعات خروجی نرم افزار AERMOD، نحوه پراکندگی و میزان غلظت آلاینده در منطقه مشخص گردید. پس از ترسیم نقشه های پراکنش غلظت آلاینده در متوسط زمانی مورد نظر، به تجزیه و تحلیل نتایج آن پرداخته و در ادامه مقدار این آلاینده ها با استاندارد هوای پاک EPA مقایسه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت ذرات کنسانتره آهن کمتر از ۲/۵ میکرون در محیط اطراف بیشتر از حد استاندارد EPA است. حداکثر غلظت ۲۴ ساعته PM_{2.5} و PM₁₀ ناشی از دپو کنسانتره آهن در محیط اطراف در حدود ۳۸/۶ و ۲۷۴ میکروگرم در مترمکعب محاسبه گردید. محل وقوع حداکثر غلظت آلاینده در نزدیکی و محل دپو می باشد و میزان بادی بردگی ذرات کنسانتره آهن کمتر از ۲/۵ میکرون و ۱۰ میکرون ۲۴ ساعته به ترتیب تا فاصله ۱۲۰۰ و ۱۰۰۰ متری گسترش دارد. در مدل سازی حداکثر غلظت یک ساله PM_{2.5} و PM₁₀ ناشی از دپو کنسانتره آهن در محیط اطراف نیز به ترتیب ۳۲/۴ و ۲۴۶ میکروگرم بر مترمکعب در فاصله های به ترتیب ۱۰۰ و ۲۰۰ متری از مرکز دپو مشاهده شد. میزان بادی بردگی ذرات PM_{2.5} و PM₁₀ یک ساله به ترتیب تا فاصله ۴۵۰ و ۴۴۰ متری گسترش و ادامه دارد.

۶- نتیجه گیری

محل دپو کنسانتره آهن سنگ آهن گهرزمین سیرجان می تواند باعث پراکنش ذرات کنسانتره آهن به محیط اطراف و آلودگی هوا شود که بر روی سلامت عمومی منطقه تاثیرگذار خواهد بود. میزان پراکندگی و بادی بردگی ذرات کنسانتره آهن به عواملی چون اندازه ذرات، سرعت باد، رطوبت نسبی و سایر پارامترها بستگی دارد. در این مطالعه از مدل مورد تایید EPA، AERMOD استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که براساس پیش بینی مدل AERMOD، مقادیر فراوانی از ذرات کنسانتره آهن از محل دپو کنسانتره معدن گهرزمین سیرجان به اتمسفر رها می شود که حداکثر غلظت PM_{2.5} و PM₁₀ ۲۴ ساعته به ترتیب برابر ۳۸/۶ و ۲۷۴ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد که این مقادیر بالاتر از حد مجاز EPA می باشند و در نتیجه تمرکز بر روی مدیریت صحیح محل دپو کنسانتره آهن معدن سنگ آهن گهرزمین سیرجان از دیدگاه بهداشتی و زیست محیطی و اقتصادی حائز اهمیت است.

تشکر و قدردانی

از همکاری و راهنمایی های مدیران و کارشناسان شرکت گهر زمین سیرجان از جمله جناب آقای سیدشجاع الدین گل سرخی مدیر محترم مجتمع شرکت سنگ آهن گهرزمین و سرکارخانم مهندس یعقوبی رییس محترم واحد بهداشت محیط و محیط زیست و سایر کارشناسان در شرکت سنگ آهن گهرزمین تقدیر و تشکر نمایم. همچنین لازم به ذکر است هزینه پروژه انجام شده توسط شرکت سنگ آهن گهرزمین سیرجان تامین شده است.

منابع

1. Abu-allaban M, Abu-qudais H. Impact Assessment of Ambient Air Quality by Cement Industry : A Case Study in Jordan. 2011;802-10.
2. Bhanarkar ADĀ, Goyal SK, Sivacoumar R, Rao CVC. Assessment of contribution of SO₂ and NO₂ from different sources in Jamshepur region , India. 2005;39(2):7745-60.
3. Cimorelli, A.J., S.G.Perry, A.Venkatram, J.C.Weil, R.J.Paine, R.B.Wilson, R.F. Lee, W.D. Peters and RWB 2005. A a dispersion model for industrial source applications. PIG model formulation and boundary layer characterization. JAM 44:682-693. AERMOD : A

- Dispersion Model for Industrial Source Applications . Part I: General Model Formulation and Boundary Layer Characterization. 2005;682–93.
4. Cimorelli, AJ, Perry SG, Venkatran A, Weil JC, Paine RJ, Wilson RB, Lee RF, Peters RW, Brode, RW and Pavimer J. AERMOD: Description of model formulation version 02222. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina; 2004.
 5. Huertas JI, Camacho DA, Huertas ME. Standardized emissions inventory methodology for open-pit mining areas. *Environ Sci Pollut Res*. 2012;(2000):2784–94.
 6. Huertas JI, Huertas ME, Izquierdo S, González ED. Air quality impact assessment of multiple open pit coal mines in northern Colombia. *Journal of Environmental Management* [Internet]. 2012 Jan;93(1):121–129. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.08.007>
 7. Igri PM, Vondou DA, Kamga M. Case Study of Pollutants Concentration Sensitivity to Meteorological Fields and Land Use Parameters over Douala (Cameroon) Using AERMOD Dispersion Model. 2011;715–41.
 8. Khalil A, Hanich L, Bannari A, Zouhri L, Pourret O, Hakkou R. Assessment of soil contamination around an abandoned mine in a semi-arid environment using geochemistry and geostatistics , Pre-work of geochemical process modeling with numerical models. *Journal of Geochemical Exploration* [Internet]. 2018;125(February):117–29. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.11.018>.
 9. Mueller SF, Mallard JW, Mao Q, Shaw SL, Mueller SF, Mallard JW, et al. Fugitive particulate emission factors for dry fly ash disposal. *Journal of the Air & Waste Management Association* ISSN: 2013;2247.
 10. PERRY SG, CIMORELLI AJ, PAINE RJ, BRODE RW, WEIL JC, VENKATRAM A, et al. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications . Part II: Model Performance against 17 Field Study Databases. 2005;694–708.
 11. Tripathy DP, Dash TR, Badu A, Kanungo R. ASSESSMENT AND MODELLING OF DUST CONCENTRATION IN AN OPENCAST COAL MINE IN INDIA. 2015;17(4):825–34.
 12. Tunlathorntham S, Thepanondh S. Prediction of Ambient Nitrogen Dioxide Concentrations in the Vicinity of Industrial Complex Area , Thailand. 2017;10:1–11.
 13. U.S. Environmental Protection Agency. Emissions Factors Emissions Factors & AP 42 , Compilation of Air Pollutant Emission Factors. 2014;1:23–5. Available from: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors>
 14. U.S. Environmental Protection Agency. USER ' S GUIDE FOR THE AERMOD METEOROLOGICAL PREPROCESSOR USER ' S GUIDE FOR THE AERMOD METEOROLOGICAL PREPROCESSOR. North Carolina: Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division Research Triangle Park; 2004. p. 252.
 15. U.S. Environmental Protection Agency. User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model- AERMOD. 2004;(September).
 16. U.S. Environmental Protection Agency. USERS GUIDE FOR THE AERMOD TERRAIN PREPROCESSOR (AERMAP). North Carolina: Office of Air Quality Planning 16 and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division Research Triangle Park; 2004. p. 106.
 17. USEPA. , fifth edition compilation of air pollutant emission factors: chapter 13.2.5 industrial wind erosion. 1988;7(July).
 18. USEPA. AERMOD: Description of model formulation. Washington, DC: US Environmental Protection Agency. 2004.
 19. USEPA. Aggregate Handling and Storage Piles. In: AP 42- Compilation of Air Pollutants Emission Factors. Fifth edit. 2006.
 20. USEPA. Unpaved Road. In: AP 42-Compilation of Air Pollutants Emission Factors. 2006.
 21. Yateem WH, Nassehi V. Fluid Catalytic Cracking Unit Emissions and Their Impact. *Water Air Soil Pollut*. 2011;37–47.