

شبیه سازی پتانسیل غبارخیزی از سطوح معدنی (مطالعه موردی: معدن سرب و روی مهدی آباد، شهرستان مهریز، استان یزد)

علی محسنی نسب^۱، محمدعلی صارمی^{۱*}، سعید شجاعی برجوئی^۲

۱- گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۲- گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

*ایمیل نویسنده مسئول: saremi.naeini@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۹

چکیده

معدنکاری به عنوان یکی از فعالیتهایی بیابانزایی، نقش حیاتی در بسیاری از کشورها دارد به گونه‌ای که بهره‌برداری از مواد معدنی فلزی و غیرفلزی آنها بخش عمده درآمد و اشتغالزایی این کشورها را تشکیل می‌دهد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی پتانسیل غبارخیزی، انتشار و پراکندگی PM₁₀ از سطوح باطله‌های معدن سرب و روی مهدی آباد استان یزد در روزهای رخداد فرسایش بادی است. بدین منظور، با بازدیدهای میدانی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، اطلاعات مورد نیاز مدل فرسایش بادی SWEEP و مدل AERMOD تهیه گردید. نتایج نشان داد، بیشترین میزان تلفات خاک، خزش و جهش ذرات، تعلیق و انتشار PM₁₀ در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳ به ترتیب از سطوح باطله دولومیت دو (۱/۹۶)، اکسید (۰/۳۲)، دولومیت دو (۱/۶۵) و اکسید (۰/۰۸۸ kg) بود. در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹ ترتیب این پارامترها برای باطله‌های دولومیت یک (۲/۶۶)، دولومیت دو (۰/۱۴۹)، دولومیت یک (۲/۲۶) و دولومیت یک (۰/۱۲۸ kg) است. نتایج پراکندگی ذرات نشان داد، بیشینه‌های غلظت PM₁₀ شبیه‌سازی شده در بازدهای زمانی ۱، ۸ و ۲۴ ساعته در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳ به ترتیب برابر با ۶۲۱۹، ۱۵۴۲ و ۶۲۰ میکروگرم بر متر مکعب و در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹ به ترتیب برابر با ۱۱۶۹، ۳۹۴ و ۱۴۱ میکروگرم بر متر مکعب است.

کلمات کلیدی

"رخداده فرسایش بادی"، "SWEEP"، "AERMOD"، "PM₁₀"، "سد باطله"

Simulation of dust emission potential from mineral surfaces (Case study: Mehdiabad Pb/Zn mine, Mehriz, Yazd province)

Ali Mohseni Nasab¹, Mohammad Ali Saremi^{1,*}, Saeed Shojaee Barjoei²

1. MSc student, Department of Arid and Desert Regions Management, Yazd University, Yazd, Iran

2*. Assistant Professor, Department of Arid and Desert Regions Management, Yazd University, Yazd, Iran

1. MSc, Department of Environment, Yazd University, Yazd, Iran

*Email Address: saremi.naeini@yazd.ac.ir

Abstract

Mining, as one of the desertification activities, plays a vital role in many countries, so that the exploitation of metallic and non-metallic minerals is a major part of income and employment in these countries. The aim of the present study was to investigate the dusting potential, emission and dispersion of PM₁₀ from the tailings surfaces of Mehdiabad lead and zinc mine in Yazd province on the days of wind erosion. For this purpose, with field visits and laboratory measurements, the required information of SWEEP wind erosion model and AERMOD model were prepared. The results showed that the highest rate of soil loss, creption and saltation, PM₁₀ in the 3/1/2020 were from dolomite 1 (1.96), oxide (0.32), dolomite 2 (1.65), and oxide (0.088 kg) tailings, respectively. On 11/9/1397, the order of these parameters is for tailings of dolomite one (2.66), dolomite two (0.149), dolomite one (2.26) and dolomite one (0.128 kg). On 29/1/2019, the order of these parameters is for tailings of dolomite 1 (2.66), dolomite 2 (0.149), dolomite 1 (2.26) and dolomite 1 (0.128 kg). The results of particle dispersion showed that the maximum concentrations of PM₁₀ simulated at 1, 8 and 24 hour on 3/1/2020 were 6219, 1542 and 620 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and on day 29/1/2019 were 1169, 394 and 141 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively.

Keywords

"Wind erosion event", "SWEEP", "AERMOD", "PM₁₀", "Tailing dam"

۱- مقدمه

محیط زیست از ارکان توسعه پایدار در هر کشوری است. بدون توجه به مسئله محیط زیست، منابع طبیعی و انسانی دچار نقصان شده و پیامدهای ناگواری را بر کره خاکی و حتی جوامع انسانی خواهد گذاشت. معدن کاری مواد لازم برای حیات و پیشرفت بشر را فراهم می کند و از طرفی با افزایش آلودگی ها امکان حیات و استفاده از محیط زیست سالم را از بشر سلب می کند (آزادبخت، ۱۳۸۷). به همین جهت در بسیاری از کشورها، تأثیرات محیط زیستی عملیات معدنکاری مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت استانداردهایی در این زمینه برای فعالیت های معدنی و حدود آلودگی های مختلف حاصل از این صنعت در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه ایران یک کشور در حال توسعه است و برای پیشرفت خود ناچار به توسعه معادن است، بنابراین برای توسعه پایدار صنعت معدن کشور لازم است تا جنبه های محیط زیستی صنایع معدنی کشور (با توجه به اقلیم کشور) مورد شناسایی قرار گیرد. بررسی اثر زیست محیطی استخراج و فرآوری منابع معدنی، امروزه به عنوان بخش جدایی ناپذیر امکان یابی طرح های معدنی و صنعتی در کشورهای توسعه یافته است (امیری، ۱۳۸۶). در سال های اخیر افزایش فعالیت های استخراج و فرآوری فلزات زمینه تشدید آلودگی های محیطی را فراهم ساخته است. نخستین گام در راستای چاره اندیشی و نیز پیشگیری از گسترش این مشکل آگاهی از میزان و وضعیت آلودگی است. آلودگی های محیط زیست به عنوان یکی از شاخص ها و معیارهای بیابان زایی و از مهمترین چالش های جوامع صنعتی و در حال توسعه است. خاک و آب، دریافت کننده هزاران نوع زباله و مواد شیمیایی مصرف شده در جامعه امروزی هست. همه ساله میلیون ها تن از فرآورده ها یا بقایای مختلف صنعتی به درون خاک ها راه یافته و به محض ورود، به بخشی از چرخه زیستی که در تمام شکل های حیات موثر است تبدیل می شوند. هر چند که خاک ها بنا بر طبیعت خود می توانند بخشی از این مواد را جذب و نگهداری کنند، تا از انتقال آنها به لایه های زیرین و در نهایت آبهای زیرزمینی جلوگیری شود، ولی توان خاک در این رابطه محدود بوده و با افزایش حجم آلاینده ها خطر بیابان زایی حتمی خواهد بود (رضایی پورباغدر، ۱۳۹۵). دخالت انسان در طبیعت و شرایط ویژه زمین شناسی در برخی مناطق، موجب شده است که آلودگی های خاک و محیط های آبی با فلزات به یک مشکل جدی تبدیل شود. ورود فلزات سمی از طریق فعالیت های انسانی باعث آلودگی خاک و در نتیجه آب های زیرزمینی شده است، به طوری که میزان غلظت این عناصر، در خاک و آب زیرزمینی، در بسیاری از نقاط صنعتی بیش از حد مجاز است و یا به زودی به بیش از حد مجاز خواهد رسید (پور احمد، ۱۳۹۵).

• اثرات معادن و فعالیت های معدنی

- تغییر در کاربری منطقه

امروزه، یکی از مهمترین اقدامات کنترلی برای جلوگیری از انتشار گسترده مواد باطله و آلاینده حاصل از فعالیت های معدنکاری، بالاخص در معادن روباز، احداث سدهای باطله می باشد. از آنجا که در حین عملیات کارخانه تغلیظ، پسابهای آلاینده های حاوی انواع مواد شیمیایی، یونهای فلزات سنگین سمی و ذرات ریز معلق تولید می

شوند، لذا طراحی سدهای باطله، به منظور کنترل آلودگی ناشی از باطله ها و حفاظت از متابولیسم طبیعی، امری حیاتی می باشد.

- تداخل با آبهای زیرزمینی

بر اساس فرآیندهای هیدرونیامیکی و شرایط زیست محیطی pH، (شوری و دما)، رسوبات معدنی به عنوان منشأ مهم فلزات سنگین در سامانه های آبی شناخته شده اند، ولی با تغییر در شیمی رسوبات، می تواند فلزات و آلاینده ها را به آب روی رسوب خود انتقال داده و با تحرک دوباره آلاینده ها در بوم سامانه، به عنوان منبع آلودگی عمل کند.

- پسابهای خروجی از کارخانه فرآوری

کاهش کمیت منابع آب، انتشار پساب های معدنی نیز از عوامل دیگر تهدیدکننده منابع محدود آب در کشور محسوب می شود. سازمان بهداشت جهانی پس از بیماریهای واگیردار، آب آشامیدنی سالم را در درجه دوم اهمیت قرار داده است. پساب های معدنی یکی از مهم ترین آلاینده های زیست محیطی می باشند. در مناطق معدنی مشکلاتی از قبیل پساب های اسیدی معدن و آلودگی توسط فلزات سنگین به عنوان مشکلات عمده آلودگی آنها شناخته شده است. چنین پسابهای اسیدی با pH کم، حاوی غلظتهای بالا از یونهای آهن، منگنز، سولفات و دیگر اجزای آلاینده می باشد و زمانی که در آبهای غیر آلوده منطقه تخلیه شود روی کیفیت آنها تاثیر به سزایی می گذارد.

- انتشار گرد و غبار

انفجار و حفاری از جمله فعالیت های معدن کاران جهت استخراج مواد معدنی می باشد. تمامی فعالیت های معدن کاری به نوعی باعث انتشار غبار می گردد. علاوه بر مواجهات شغلی کارگران با گرد و غبار حاصل از حفاری، مواجهات غیر شغلی با گرد و غبار معدن در ساکنین اطراف معدن مشاهده می شود. گرد و غبار با هر تر کیب شیمیایی باعث بروز انواعی از بیماری ها در انسان به ویژه بیماری های تنفسی می گردد.

- انتشار آلاینده های سمی در هوا

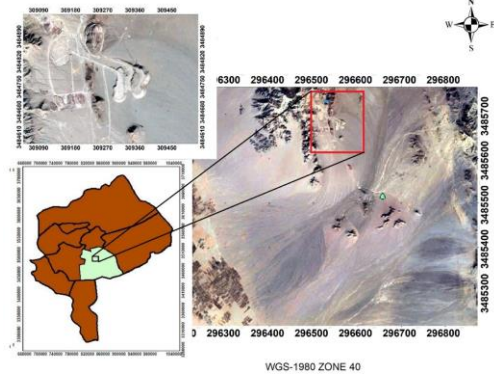
فلزات سنگین موجود در رسوبات معدنی دارای دو منشأ طبیعی و انسان ساز هستند و انباشتگی و توزیع آنها در رسوبات، تحت تاثیر عواملی چون بافت رسوبات، ترکیب کانی شناسی فرآیندهای جذب و پس دهی و همچنین این نقل و انتقال فیزیکی می باشد. کاهش پایداری و مقاومت سنگها، باعث حضور طبیعی فلزات سنگین در رسوبات معدنی می شوند، دگرسانی و هوازدگی هستند. انواع فعالیتهای معدنکاری، فرایندهای ذوب و تغلیظ نیز از عوامل انسان ساز حضور فلزات سنگین در رسوبات معدنی محسوب می شوند که به مراتب نقش موثرتری در آلودگی این رسوبات نسبت به عوامل طبیعی بازی می کنند.

- مواد موجود در باطله

تحقیقات زیادی در زمینه آلودگی خاک و رسوبات باطله به فلزات انجام شده که به برخی موارد اشاره میگردد. نتایج بررسی خصوصیات شیمیایی خاک و آب زیرزمینی دشت ابرفتی عسلویه با تاکید بر فلزات سنگین نشان داد که غلظت برخی فلزات در نمونه های آب و خاک زیاد بوده و همچنین عناصر F و B در آب زیرزمینی و Ni, Mn, Pb, Sr در برخی نمونه های خاک دارای غلظتی بیش از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی است.

- ناپایداری فضاهای ایجاد شده

محصولات (اکسید روی، کالامین و باریت) توسط مجتمع در حال انجام است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

• نمونه برداری

برای اجرای تحقیق ۴ سد باطله سنگی دولومیت یک، دولومیت دو، اکسید و آبرفت انتخاب شد. نمونه برداری از سدهای باطله به صورت کاملاً تصادفی از نقاط مختلف هریک از دپو ها بود. در این مرحله برداشت نمونه های خاک از لایه ۰-۱۰ میلی متر باطله های معدن مورد بررسی با ابزار کاردک لبه پهن و قلم مو صورت گرفت. برای تعیین زبری تصادفی المارس از زبری سنج میله ای یا پین متر استفاده شد.

• مدلسازی پتانسیل غبارخیزی و پراکندگی در AERMOD و SWEEP

به منظور تخمین غلظت ذرات معلق انتشار یافته از سطوح سدهای باطله در محدوده مورد مطالعه از مدل تک رخداد SWEEP استفاده شد. اطلاعات ورودی مورد نیاز برای این نرم افزار را میتوان در پنج بخش تقسیم بندی نمود:

- مشخصات سدهای باطله و بادشکن های اطراف آن

این اطلاعات شامل ابعاد دپوهای مورد بررسی بر محورهای X و Y، جهت یا زاویه استقرار دپو به صورت آزیموت، تعداد بادشکن های اطراف دپوها و مشخصات استقرار آن ها، تخلخل^۱ و عرض باد شکن ها می- باشد. مشخصات دپوهای مورد مطالعه در این پژوهش در جدول ۱، نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ابعاد دپوهای مورد بررسی

نام دپو	مساحت (کیلومتر مربع)	زاویه (درجه)	تعداد بادشکن	ارتفاع بادشکن (متر)	تخلخل بادشکن	طول بادشکن (متر)
باطله آبرفتی	۱/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰
باطله اکسیدی	۰/۰۱۶	۰	۰	۰	۰	۰
باطله سنگی ۱	۰/۰۸۲	۰	۰	۰	۰	۰
باطله سنگی ۲	۰/۰۵۶۹	۰	۰	۰	۰	۰

- بیوماس

متوسط ارتفاع بقایای ایستا، شاخص سطح ساقه بقایا، پوشش بقایای خوابیده، متوسط ارتفاع محصولات، شاخص سطح ساقه محصولات، شاخص سطح برگ، فاصله ردیف های کشت، موقعیت استقرار بذر روی

فعالیت های معدنی با وجود همه سودمندی ها در راستای توسعه و شکوفایی اقتصادی کشور در نهایت باعث ایجاد گودال در سطح زمین و تخریب سیمای سرزمین می شوند. سد باطله ناشی از فعالیت های معدنی باعث کاهش زیبایی منظر می گردد. به عبارتی دیگر، فرسایش باطله ها باعث انتقال ذرات به اطراف شده و ظاهر منطقه را تغییر خواهند داد. با به پایان رسیدن ذخایر معدنی گودال بزرگی در منطقه باقی خواهد ماند که پس از رهاسازی باعث ایجاد ناهمگنی در سیمای سرزمین منطقه خواهد شد. معدنکاری در تاریخ بشر سابقه طولانی دارد. انسان از گذشته های دور نیازهای خود را به روش های مختلف از زمین تامین می نموده است و معدنکاری نیز همراه با توسعه جوامع بشری به تکامل رسیده است. معدن کاری امروز یک دانش پیشرفته است و میزان مواد برداشت شده از زمین در هر سال از حجم کل رسوباتی که توسط رودخانه ها حمل می شود بیشتر است. برداشت این حجم عظیم مواد پیامدهای متعددی در محیط زیست داشته و اگر تمهیدات دقیقی صورت نگیرد معضلاتی را ایجاد می نماید. با توجه به اینکه مواد معدنی برای بقای بشر ضروری هستند، ولی تهدید اثرات منفی ناشی از سرعت بی سابقه ای که در استخراج پدیده آمده رفته رفته از فواید آنها می کاهد. معدن سرب و روی مهدی آباد با تولید مواد باطله، انفجارات، ایجاد گودال های وسیع، راه سازی، رفت آمد ماشین آلات معدنی باعث تولید گرد و غبار در منطقه می گردد. از همه مهمتر وقوع باد با سرعت بیش از ۸ متر بر ثانیه باعث فرسایش مواد باطله بو در نتیجه انتقال عناصر سمی به نواحی دوردست می گردد. بنابراین تخمین فرسایش پذیری باطله و شبیه سازی نحوه پراکندگی PM₁₀ به نواحی اطراف جهت مدیریت و اقدامات کنترلی امری ضروری است.

۲- روش انجام تحقیق

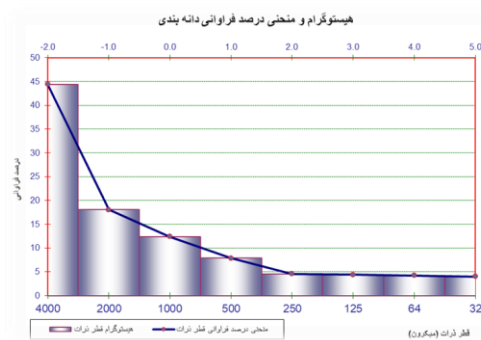
• محدوده مورد مطالعه

مکان اجرای پروژه در طول جغرافیایی ۲۴°، ۵۷'، ۵۴° شرقی و عرض جغرافیایی ۲۶°، ۵۶'، ۳۱° شمالی در استان یزد، شهرستان مهریز و در فاصله ۱۷ کیلومتری روستای مهدی آباد در منطقه مهدی آباد واقع شده است. این منطقه از شمال به کوههای کانسار و از جنوب به دشت مهدی آباد و از شرق و غرب به ارتفاعات موجود در منطقه محدود می گردد. دسترسی به سایت معدن از کیلومتر ۸۳ جاده اصلی یزد - کرمان در محل مسجد ابوالفضل منشعب می شود و پس از طی مسافت ۲۳ کیلومتر با گذشتن از روستای های بهادران و مهدی آباد از طریق جاده خاکی مهدی آباد به سمت شمال شرق به دامنه جنوب شرقی ارتفاعات منفرد به رشته کوه های زاگرس (محل کانسار) می رسد. نزدیک ترین مناطق روستایی به محل سایت پروژه همان روستای مهدی آباد می باشد. محل سایت معدن در داخل منطقه حفاظت شده کالمند واقع شده است. مجتمع معدنی سرب و روی و باریت مهدی آباد با دارا بودن ذخائر قابل توجه، یکی از بزرگترین معادن جهان است که مطابق قانون معادن به عنوان معدن بزرگ شناخته شده و پروانه بهره برداری آن به نام سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) می باشد. بر این اساس و مطابق برنامه ریزی های صورت گرفته احداث کارخانجات فرآوری کنسانتره روی همراه با محصولات جانبی (کنسانتره سرب و نقره) و همچنین تجهیز و باطله برداری معدن در دستور کار قرار دارد. هم اکنون نیز به موازات اقدامات فوق، استخراج مواد معدنی و فروش

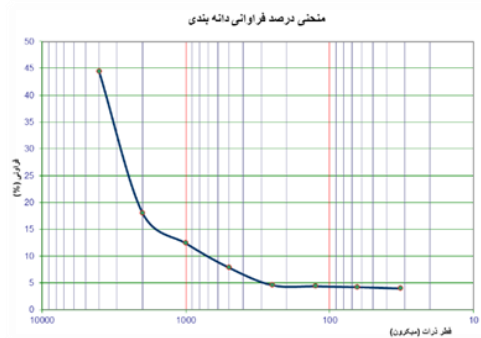
پشته‌ها یا کف فارو از جمله پارامترهای مورد نیاز مدل به منظور اجرا است. از آن جا که تحقیق حاضر در منطقه‌ای صورت گرفته که پوشش گیاهی در آن بسیار فقیر است لذا بررسی پارامترهای این بخش مورد نیاز نبوده است.

– ویژگی‌ها و مشخصات لایه‌های خاک

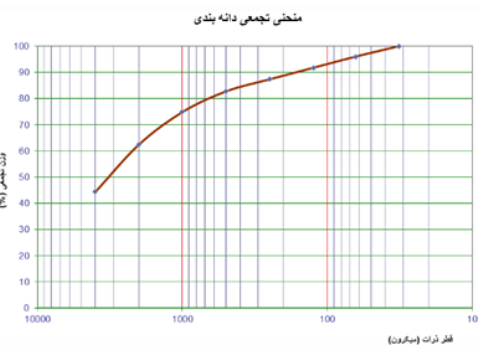
ویژگی‌ها و مشخصات لایه‌های خاک به تفکیک شامل تعداد لایه‌های خاک، ضخامت هر لایه، مقدار نسبی شن، شن خیلی ریز، سیلت، رس، مقدار نسبی سنگریزه به صورت حجمی، وزن مخصوص ظاهری خاکدانه، پایداری متوسط خاکدانه‌ها در حالت خشک، میانگین هندسی خاکدانه‌های خشک، حداقل اندازه خاکدانه‌ها، حداکثر اندازه خاکدانه‌ها از جمله پارامترهای مورد نیاز مدل می‌باشند.



هیستوگرام و منحنی درصد فراوانی دانه بندی

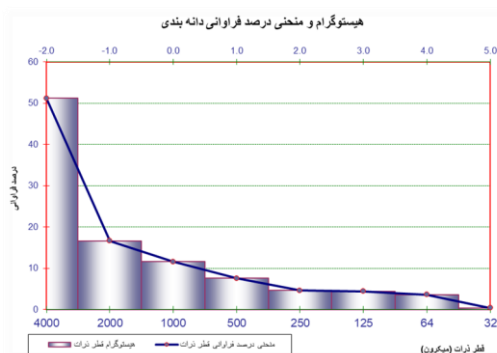


منحنی درصد فراوانی دانه بندی

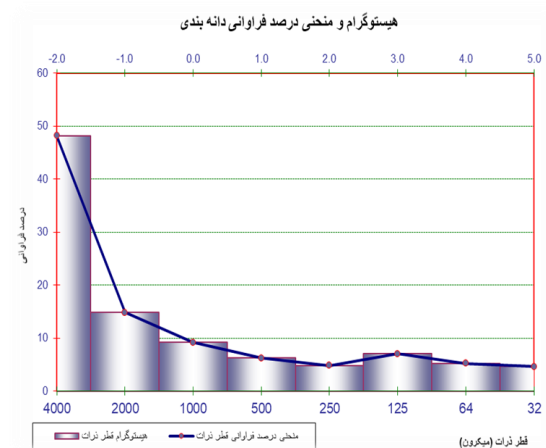
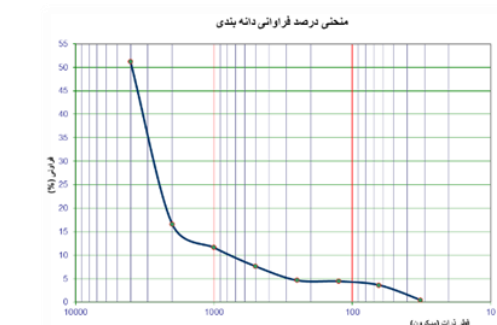


منحنی تجمعی دانه بندی

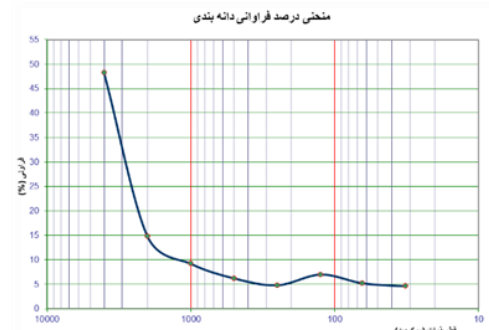
شکل ۳- درصد فراوانی دانه بندی ذرات باطله اکسید



هیستوگرام و منحنی درصد فراوانی دانه بندی



هیستوگرام و منحنی درصد فراوانی دانه بندی



منحنی تجمعی دانه بندی



منحنی تجمعی دانه بندی

شکل ۲- درصد فراوانی دانه بندی ذرات باطله آبرفتی

شکل ۶- نتایج اندازه گیری وزن مخصوص ظاهری باطله ها
جدول ۲: نتایج اندازه گیری درصد سیلت، رس و شن به روش

هیدرومتری

شن	رس	سیلت	درصد ذرات
			باطله
۸۲	۱۰	۸	باطله آبرفتی
۸۸	۶	۶	باطله اکسیدی
۸۶	۶	۸	باطله دولومیت یک
۷۶	۱۲	۱۲	باطله دولومیت دو

-مشخصات سطح خاک

مشخصات سطح خاک در این پژوهش شامل زبری تصادفی المارس است.

-اطلاعات اقلیمی

وزن مخصوص هوا، جهت باد، تعداد گام‌های زمانی در روز، ارتفاع استقرار بادنگار، زبری آنروینامیکی، جداول سرعت باد در هر گام زمانی یک عدد از جمله پارامترهای مورد نیاز مدل است. در این پژوهش اطلاعات حداکثر سرعت، جهت باد، میانگین دمای روزانه و نام قطاع برای روزهای که سرعت باد بیش‌تر از مقادیر آستانه می‌باشد استخراج گردید (جدول ۳).

جدول ۳- اطلاعات هواشناسی مربوط به رخدادهای فرسایش بادی

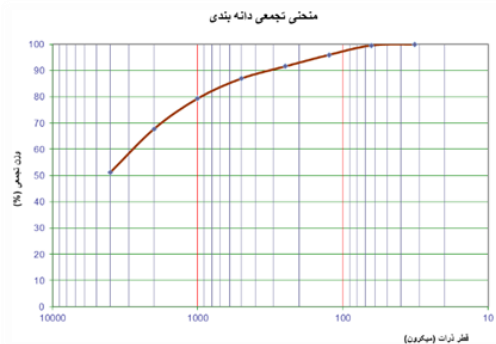
تاریخ رخداد فرسایش بادی	جهت وزش باد بیشینه (بر حسب درجه)	حداکثر سرعت باد یک ساعته در ارتفاع ۱۰ متری	میانگین دمای روزانه (درجه سانتی گراد)
۱۳۹۷/۱۰/۱۳	۲۴۰	۱۳	۱۳/۷۴
۱۳۹۷/۱۱/۹	۲۲۰	۱۱	۹/۴۵
۱۳۹۸/۱/۱۲	۱۴۰	۹	۱۸/۷۳
۱۳۹۹/۱/۴	۳۳۰	۱۰	۹/۸۸

با ورود اطلاعات فوق به نرم افزار تک رخداد فرسایش بادی SWEEP مقادیر ذرات انتشار یافته از سطوح طبیعی و انسان ساخت بر حسب کیلوگرم بر متر مربع تخمین زده شد. اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل AERMOD به شرح زیر وارد گردید:

-آماده‌سازی اطلاعات هواشناسی در نرم افزار AERMET

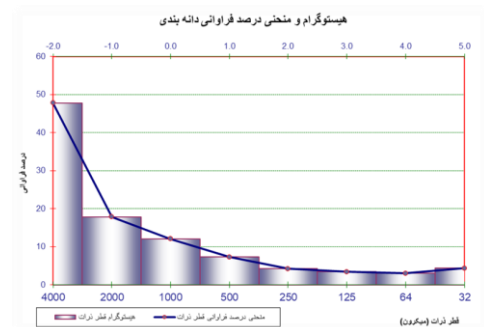
همان طور که در بخش قبل ذکر گردید، برای اجرای این پیش‌پردازنده اطلاعات هواشناسی یک ساله مربوط به سال ۹۹-۱۳۹۸ که شامل سرعت باد، جهت باد، ابرناکی، رطوبت نسبی، فشار ایستگاه و دمای هوای خشک به فرمت Xls. از اداره کل هواشناسی یزد تهیه گردید. پس از آن اطلاعات هواشناسی یکساله (برای اجرای منابع آلاینده نقطه ای و خطی) و ۲۴ ساعته مربوط به روزهای رخداد فرسایش بادی (برای اجرای منابع آلاینده سطحی) برای اجرای پیش‌پردازنده AERMET ابتدا به فرمت Samson. تبدیل گردید. با توجه به عدم دسترسی به اطلاعات هواشناسی جو بالا از گزینه پیش‌فرض نرم افزار برای تخمین این اطلاعات استفاده شد. با استخراج اطلاعات مورد نیاز و کنترل کیفی داده‌ها توسط نرم‌افزار و با اعمال مشخصات سطحی اطراف منابع آلاینده مورد بررسی نظیر آلایدو، نسبت بوآن و زبری سطح به صورت فصلی تا شعاع سه کیلومتری برای سه کاربری زراعت،

منحنی درصد فراوانی دانه بندی

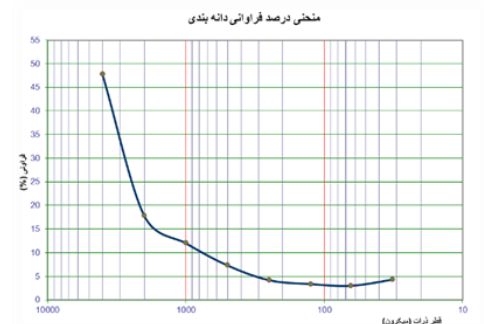


منحنی تجمعی دانه بندی

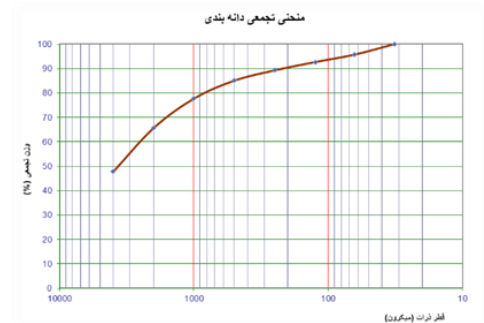
شکل ۴- درصد فراوانی دانه بندی ذرات باطله دولومیت یک



هیستوگرام و منحنی درصد فراوانی دانه بندی

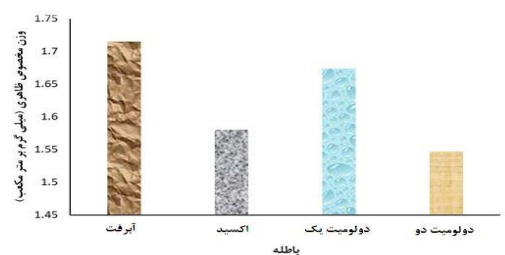


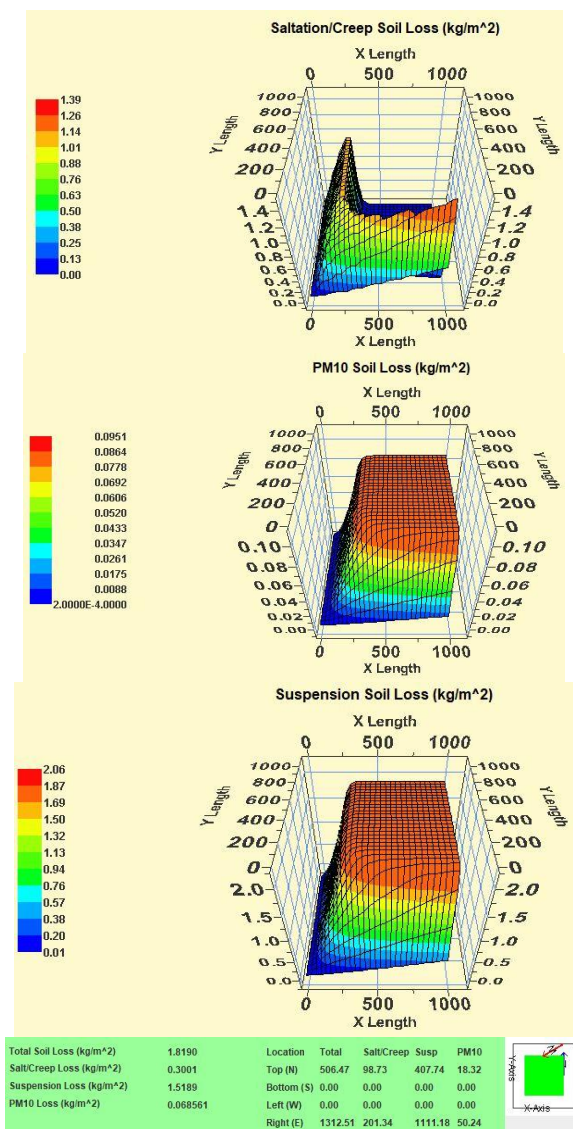
منحنی درصد فراوانی دانه بندی



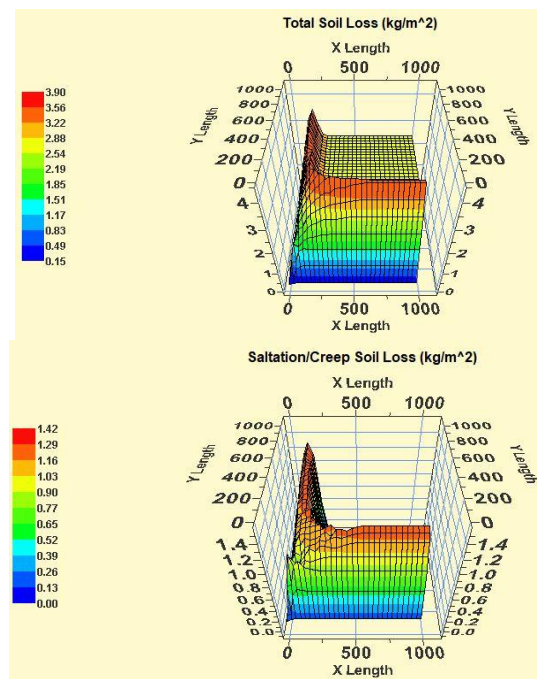
منحنی تجمعی دانه بندی

شکل ۵- درصد فراوانی دانه بندی ذرات باطله دولومیت دو





شکل ۷- تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش ذرات، معلق بودن و PM_{10} در سد باطله آبرفت در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳



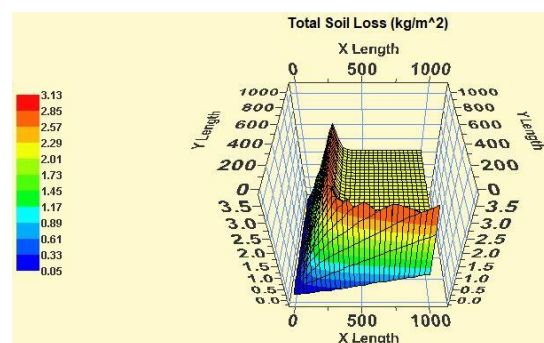
شهر و بیابان که در جهت عقربه ساعت به قطاع‌های مناسب تقسیم شده بودند به نرم‌افزار AERMET داده شد و در نهایت دو فایل به فرمت مناسب نرم‌افزار AERMOD شامل SFC و PFL تولید گردید.

ورود اطلاعات توپوگرافی در پیش‌پردازنده AERMAP
با توجه به مسطح بودن منطقه و عدم وجود عوارض ارتفاعی و مخلوط در محدوده مدل‌سازی از اطلاعات توپوگرافی SRTM^۱ به فرمت DEM، با قدرت تفکیک ۹۰ متر، از سایت NASA^۲ استفاده شد.
تکمیل سایر اطلاعات و پردازش اطلاعات هواشناسی، توپوگرافی و منابع آلاینده در پردازنده اصلی AERMOD
پس از ورود اطلاعات هواشناسی و توپوگرافی با فرمت مناسب در نرم‌افزار AERMOD، گیرنده‌های شبکه‌ای یکنواخت^۳ به منظور بررسی نحوه پراکندگی ذرات در مختصات کارترین تعیین گردید.
پس از تکمیل اطلاعات، خروجی‌ها به‌شینه غلظت متوسط یک ساعته، ۸ ساعته، ۲۴ ساعته و سالانه PM_{10} و همچنین غلظت متوسط یک ساعته، ۲۴ ساعته از نرم‌افزار گرفته شد.

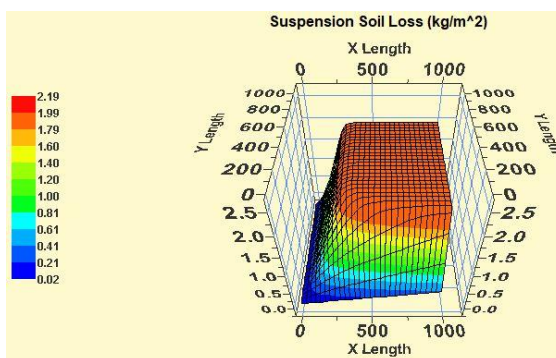
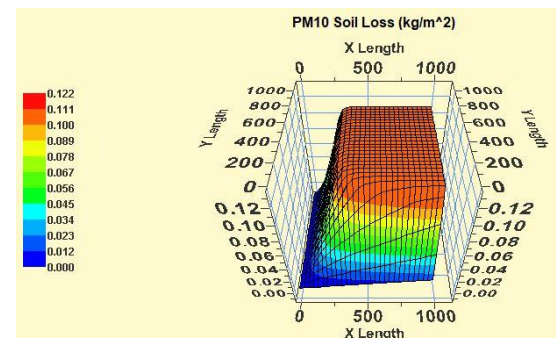
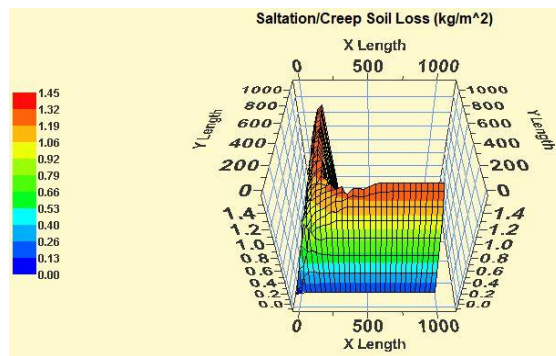
۳- نتایج

نتایج کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM_{10} مربوط به سد باطله آبرفت در روزهای رخداد فرسایش بادی

نتایج شبیه‌سازی مدل SWEEP جهت تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش، معلق بودن و PM_{10} برای سد باطله آبرفت در روزهای رخداد فرسایش بادی در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. مطابق نتایج به دست آمده در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳، میزان کل تلفات خاک، خزش و جهش ذرات، تعلیق و انتشار ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون به ترتیب برابر با ۱/۸۱۹، ۰/۳۰۰، ۱/۵۱۸ و ۰/۰۶۸ کیلوگرم بر متر مربع است. در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹ مقادیر این پارامترها به ترتیب برابر با ۲/۵۴، ۰/۴۰۵، ۲/۱۴۱ و ۰/۰۹۸ کیلوگرم بر متر مربع تخمین زده شد. نتایج دیگر مدل SWEEP نشان داد، در روزهای ۱۳۹۸/۱/۱۲ و ۱۳۹۹/۱/۴ میزان کل تلفات خاک، خزش و جهش ذرات، تعلیق و انتشار ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون از سد باطله آبرفت بسیار ناچیز است به طوری که مقادیر ویژه‌ای از نرخ این پارامترها در مدل SWEEP محاسبه نگردیده است.

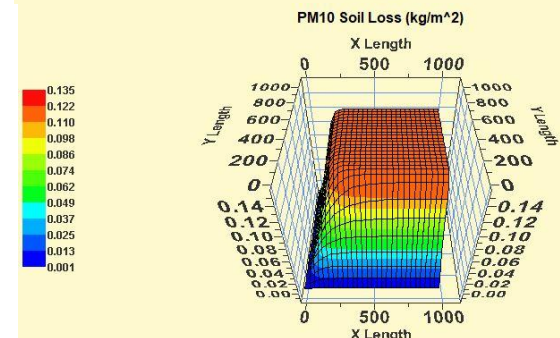
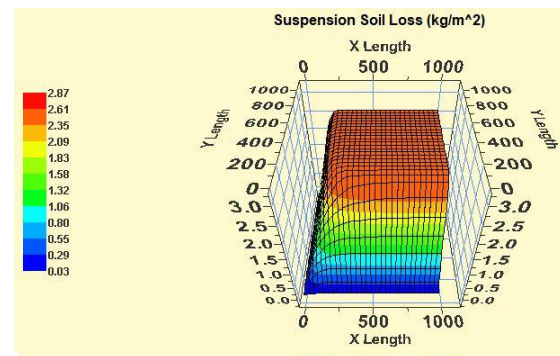
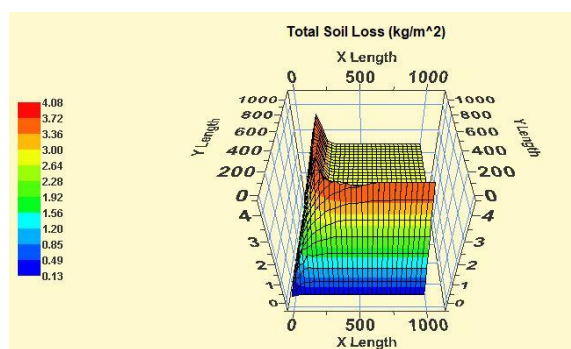


1. Shuttle Radar Topography Mission
2. National Aeronautics and Space Administration
3. Uniform Cartesian Grid



Total Soil Loss (kg/m ²)	1.9449	Location	Total	Salt/Creep	Susp	PM10
Salt/Creep Loss (kg/m ²)	0.3214	Top (N)	547.05	106.51	440.55	23.79
Suspension Loss (kg/m ²)	1.6235	Bottom (S)	0.00	0.00	0.00	0.00
PM10 Loss (kg/m ²)	0.088230	Left (W)	0.00	0.00	0.00	0.00
		Right (E)	1397.84	214.85	1182.99	64.44

شکل ۹- تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش ذرات، معلق بودن و در سد باطله اکسید در روز ۱۳/۱۰/۱۳۹۷ PM10

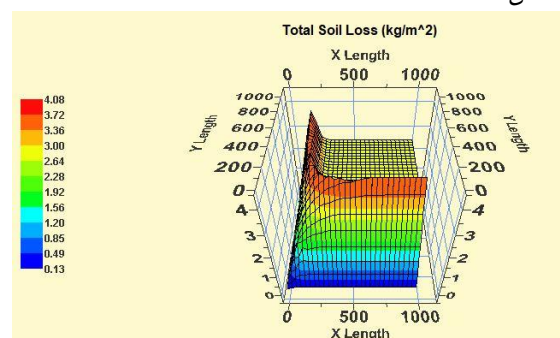


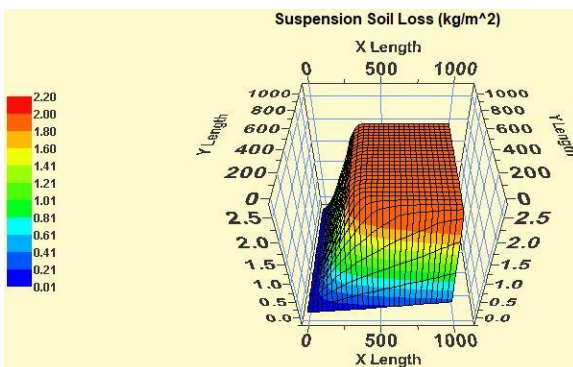
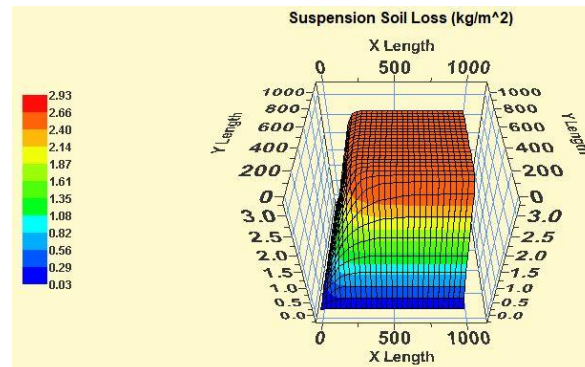
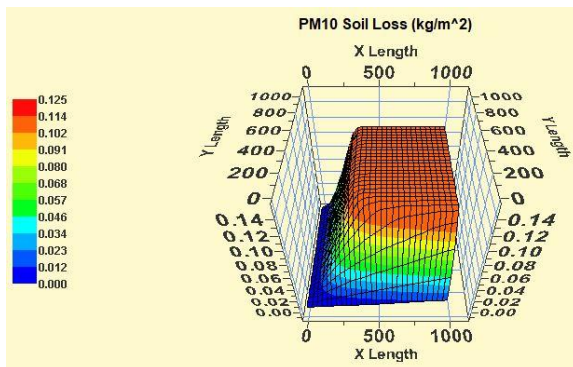
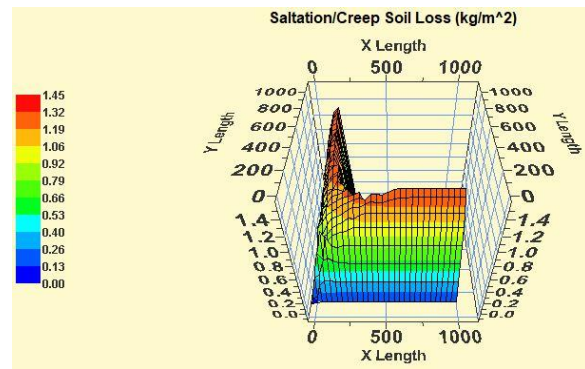
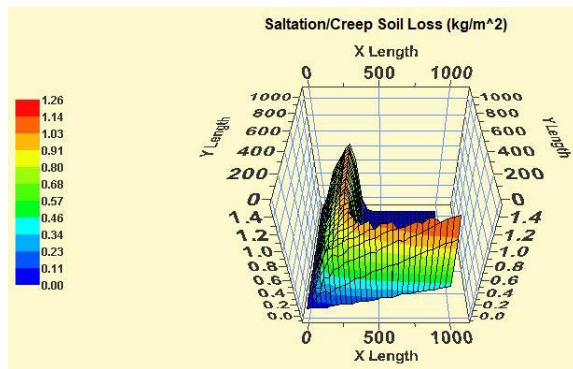
Total Soil Loss (kg/m ²)	2.5468	Location	Total	Salt/Creep	Susp	PM10
Salt/Creep Loss (kg/m ²)	0.4058	Top (N)	1461.65	223.92	1237.73	56.99
Suspension Loss (kg/m ²)	2.1410	Bottom (S)	0.00	0.00	0.00	0.00
PM10 Loss (kg/m ²)	0.098515	Left (W)	0.00	0.00	0.00	0.00
		Right (E)	1085.14	181.84	903.30	41.53

شکل ۸- تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش ذرات، معلق بودن و در سد باطله آبرفت در روز ۹/۱۱/۱۳۹۷ PM10

نتایج کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM10 مربوط به سد باطله اکسید در روز های خرداد فرسایش بادی

نتایج تخمین میزان کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM10 مربوط به سد باطله اکسید در روز های ۱۳/۱۰/۱۳۹۷ و ۹/۱۱/۱۳۹۷ در شکل های ۸ و ۹ ارائه شده است. مطابق نتایج شبیه سازی SWEEP، میزان کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM10 از سد باطله اکسید در روز ۱۳/۱۰/۱۳۹۷، به ترتیب برابر با ۰/۳۲۱، ۰/۶۲۳ و ۰/۸۸ کیلوگرم بر متر مربع است. در روز ۹/۱۱/۱۳۹۷، میزان کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM10 از سد باطله اکسید به ترتیب برابر با ۰/۴۱۳، ۰/۱۲۱ و ۰/۱۱۷ کیلوگرم بر متر مربع است. نتایج شبیه سازی مدل SWEEP در روزهای ۱۲/۱/۱۳۹۸ و ۴/۱/۱۳۹۹ نشان داد میزان تولید غبار، خزش و جهش ذرات و به طور کلی میزان تلفات خاک بسیار ناچیز بوده که از ارائه مقادیر آن توسط مدل قابل اغماض است.





Total Soil Loss (kg/m ²)	2.5350	Location	Total	Salt/Creep	Susp	PM10
Salt/Creep Loss (kg/m ²)	0.4135	Top (N)	1467.44	230.01	1237.44	68.87
Suspension Loss (kg/m ²)	2.1215	Bottom (S)	0.00	0.00	0.00	0.00
PM10 Loss (kg/m ²)	0.117929	Left (W)	0.00	0.00	0.00	0.00
		Right (E)	1067.50	183.48	884.03	49.06

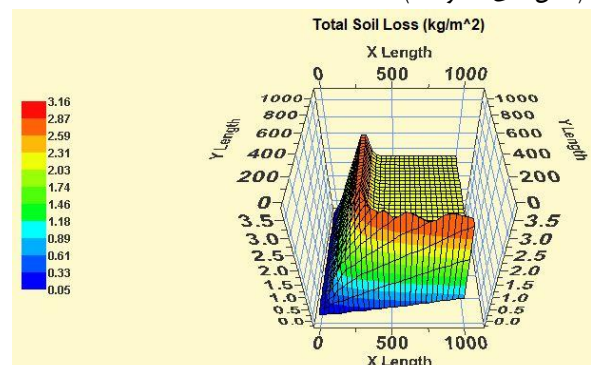
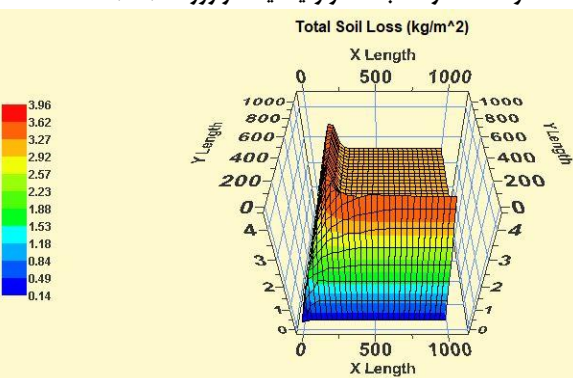
شکل ۱۰- تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش ذرات، معلق بودن و PM₁₀ در سد باطله اکسید در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹

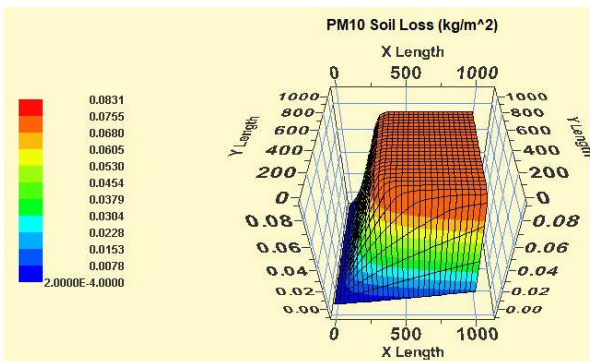
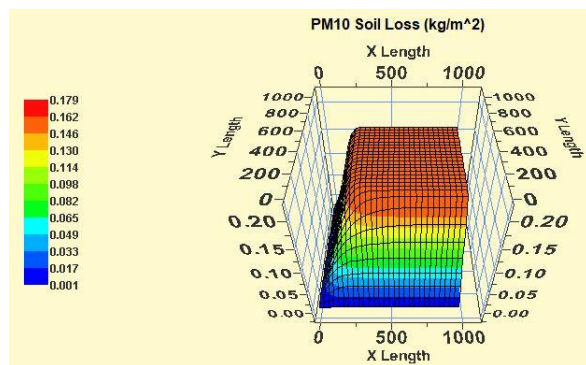
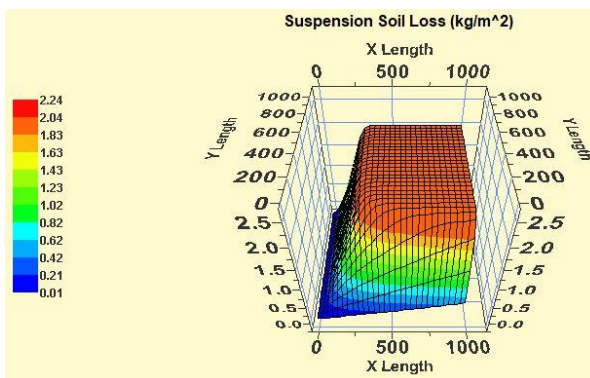
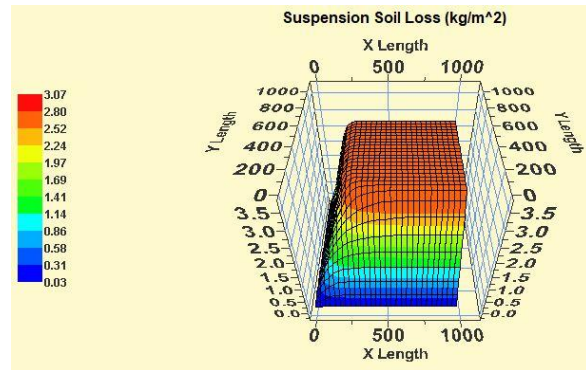
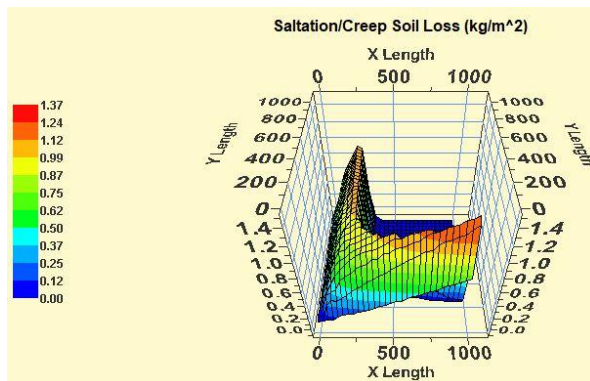
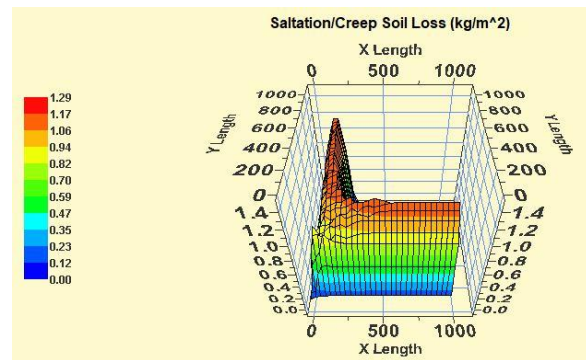
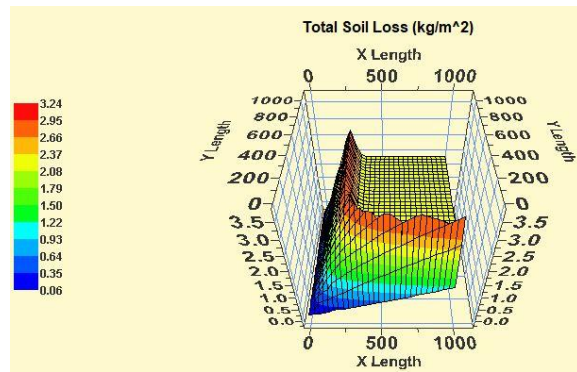
نتایج کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM₁₀ مربوط به سد باطله دولومیت یک در روزهای رخداد فرسایش بادی

به طور کلی نتایج حاصل از تخمین پارامترهای کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM₁₀ از سطوح باطله دولومیت یک توسط مدل SWEEP نشان داد، مقادیر این پارامترها در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳ به ترتیب برابر با ۰/۲۹۹، ۰/۵۹۰ و ۰/۸۷ کیلوگرم بر متر مربع است. در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹ مقادیر این پارامترها توسط مدل به ترتیب ۰/۴۰۳، ۰/۲۶۱ و ۰/۱۲۸ کیلوگرم بر متر مربع تخمین زده شد. نتایج دیگر مدل سازی SWEEP نشان داد، در روزهای ۱۳۹۷/۱/۴ و ۱۳۹۸/۱/۱۲ میزان تخمین این پارامترها بسیار ناچیز بوده که توسط مدل مقادیری برای آن ها گزارش نشده است (شکل های ۱۰ و ۱۱).

Total Soil Loss (kg/m ²)	1.8895	Location	Total	Salt/Creep	Susp	PM10
Salt/Creep Loss (kg/m ²)	0.2991	Top (N)	524.46	98.13	426.34	23.44
Suspension Loss (kg/m ²)	1.5904	Bottom (S)	0.00	0.00	0.00	0.00
PM10 Loss (kg/m ²)	0.087943	Left (W)	0.00	0.00	0.00	0.00
		Right (E)	1365.03	200.97	1164.06	64.50

شکل ۱۱- تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش ذرات، معلق بودن و PM₁₀ در سد باطله دولومیت یک در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳





Total Soil Loss (kg/m²)	2.6649	Location	Total	Salt/Creep	Susp	PM10
Salt/Creep Loss (kg/m²)	0.4030	Top (N)	1526.68	221.89	1304.79	74.07
Suspension Loss (kg/m²)	2.2618	Bottom (S)	0.00	0.00	0.00	0.00
PM10 Loss (kg/m²)	0.128287	Left (W)	0.00	0.00	0.00	0.00
		Right (E)	1138.16	181.11	957.04	54.21

شکل ۱۲- تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش ذرات، معلق بودن و PM_{10} در سد باطله دولومیت یک در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹

- نتایج کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM_{10} مربوط به سد باطله دولومیت دو در روزهای رخداد فرسایش بادی

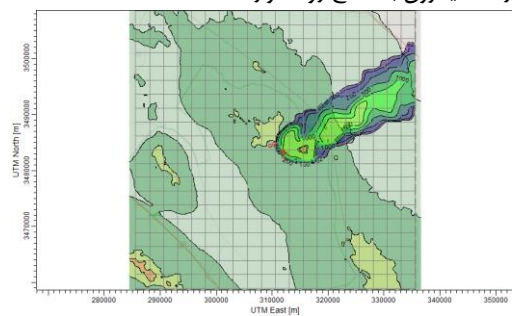
نتایج حاصل از تخمین کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM_{10} مربوط به سد باطله دولومیت دو در روزهای ۱۳۹۷/۱۰/۱۳ و ۱۳۹۷/۱۱/۹ در شکل های ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است. مطابق نتایج به دست آمده، میزان کل تلفات خاک، خزش و جهش، معلق بودن و انتشار PM_{10} مربوط به سد باطله دولومیت دو در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳ به ترتیب برابر با ۱/۹۶۹، ۰/۳۱۸، ۱/۶۵۰ و ۰/۰۶۰ کیلوگرم بر متر مربع است. در حالی که در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹ مقادیر این پارامترها به ترتیب برابر با ۲/۶۴۲، ۰/۴۱۹، ۲/۲۲۳ و ۰/۰۶۲ کیلوگرم بر متر مربع بوده است. مطابق نتایج قبلی، مقادیر پارامترهای نامبرده در روزهای ۱۳۹۸/۱/۱۲ و ۱۳۹۹/۱/۴ بسیار ناچیز است و مدل SWEEP برای آن ها مقادیری در نظر نگرفته است.

شکل ۱۳- تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش ذرات، معلق بودن و PM_{10} در سد باطله دولومیت دو در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳

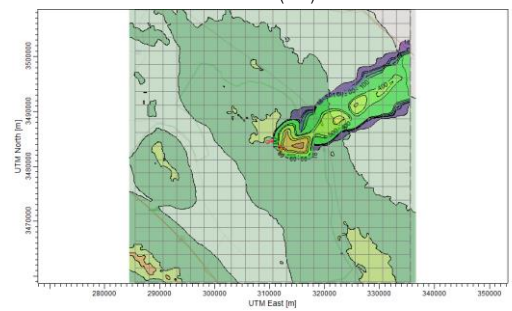
Total Soil Loss (kg/m²)	1.9692	Location	Total	Salt/Creep	Susp	PM10
Salt/Creep Loss (kg/m²)	0.3183	Top (N)	549.45	104.90	444.55	16.18
Suspension Loss (kg/m²)	1.6509	Bottom (S)	0.00	0.00	0.00	0.00
PM10 Loss (kg/m²)	0.060320	Left (W)	0.00	0.00	0.00	0.00
		Right (E)	1419.77	213.37	1206.41	44.14

- نتایج پراکندگی PM_{10} از سطوح سد باطله ها در روزهای رخداد فرسایش بادی
- نتایج پراکندگی PM_{10} از سطوح سد باطله ها در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳

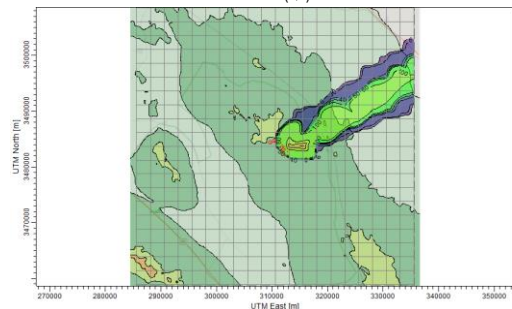
نتایج شبیه سازی پراکندگی ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون از سطوح باطله های مورد بررسی توسط مدل AERMOD در بازده های زمانی یک ساعته، هشت ساعته و ۲۴ ساعته در شکل ۱۵، بخش های (الف)، (ب) و (پ) نشان داده شده است. همچنین در این شکل گلباد مربوط به روز رخداد فرسایش بادی (ت) نشان داده شده است. مطابق نتایج پراکندگی ذرات در بازده های زمانی یک ساعته، ۸ ساعته و ۲۴ ساعته به سمت شمال شرق است. چراکه با توجه به گلباد مربوطه جهت وزش باد در این روز از سمت جنوب غرب به سمت شمال شرق بوده است. بیشترین ماکسیمم غلظت برای ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون در بازده های زمانی یک، هشت و ۲۴ ساعته به ترتیب برابر با ۶۲۱۹، ۱۵۴۲ و ۶۲۰ میکروگرم بر متر مکعب تخمین زده شده است. همچنین نتایج نشان می دهد ماکسیمم غلظت PM_{10} در فاصله یک کیلومتری در نواحی شرقی معدن به وقوع می پیوندد. پراکندگی ذرات در روز رخداد فرسایش بادی مربوطه خوشبختانه به گونه ای است که ذرات با قطر کوچکتر از ۱۰ میکرون به سطح روستا وارد نشده اند.



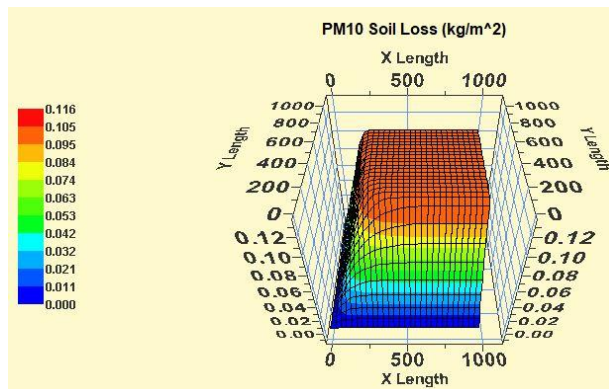
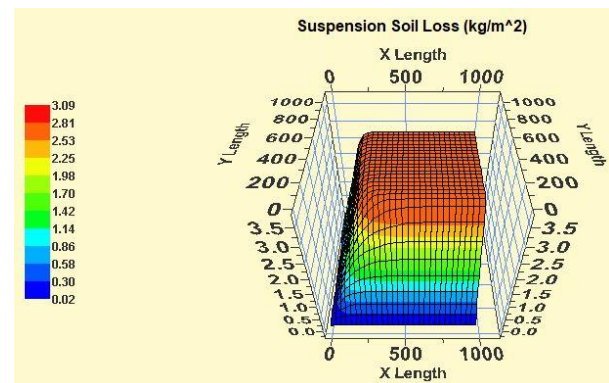
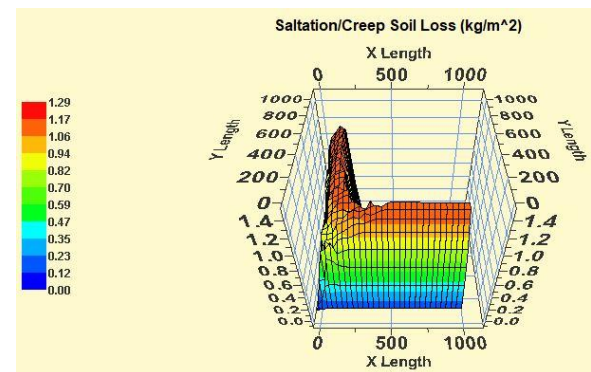
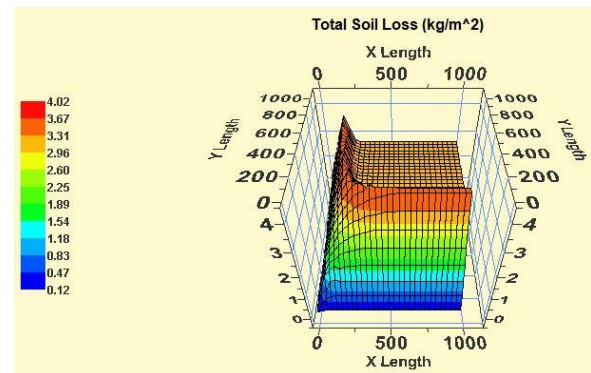
(الف)



(ب)

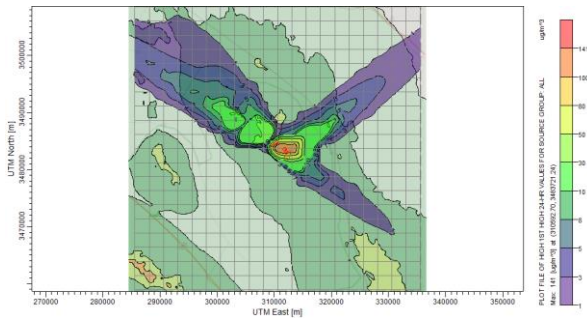


(پ)

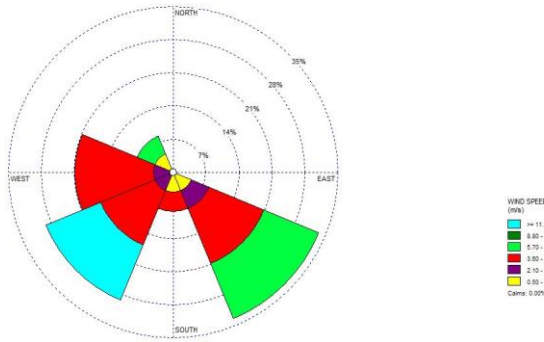


Total Soil Loss (kg/m ²)	2.6425	Location	Total
Salt/Creep Loss (kg/m ²)	0.4195	Top (N)	1541.5
Suspension Loss (kg/m ²)	2.2230	Bottom (S)	0.00
PM10 Loss (kg/m ²)	0.082157	Left (W)	0.00
		Right (E)	1100.9

شکل ۱۴- تخمین میزان تلفات خاک، جهش و خزش ذرات، معلق بودن و PM_{10} در سد باطله دولومیت دو در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹



(ج)

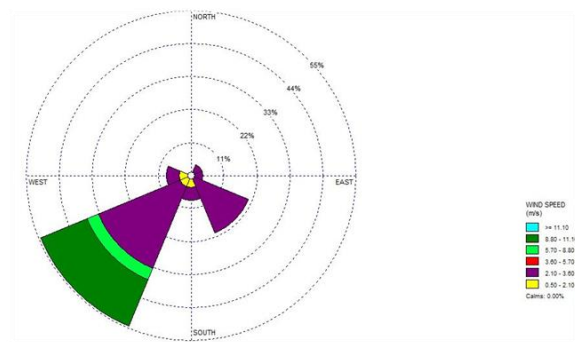


(ت)

شکل ۱۶- شبیه سازی پراکندگی PM_{10} در بازه های زمانی ۱ ساعته (الف)، ۸ ساعته (ب)، ۲۴ ساعته (پ) و گلباد (ت) در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹

۴- نتیجه گیری

نتایج شبیه سازی مدل AERMOD نشان داد، در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳ در بازه زمانی یک ساعته، ۸ ساعته و ۲۴ ساعته بیشینه غلظت ذرات به ترتیب برابر با ۱۵۴۲، ۶۲۱۹ و ۶۲۰ میکروگرم بر متر مکعب می رسد. در حالی که در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹ بیشینه غلظت ذرات در بازه های زمانی یک، هشت و ۲۴ ساعت به ترتیب برابر با ۱۱۶۹، ۳۹۴ و ۱۴۱ میکروگرم بر متر مکعب است. پراکندگی ذرات در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳ با توجه به گلبادهای مربوطه شمال شرقی و در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹ شمال غربی است. پراکندگی ذرات در روزهای رخداد فرسایش بادی مورد بررسی به گونه ای است که آن ها به سمت مناطق کوهستانی ترسیب شده است و به سطح شهر نرسیده است. اما باید توجه داشت که بیشینه های غلظت ذرات معلق در خود معدن رخ داده است و کیفیت هوای معدن برای کارکنان تحت تاثیر قرار گرفته است. بر طبق استاندارد هوای پاک پیشنهادی در ایران توسط پژوهشکده محیط زیست و انجمن بهداشت محیط ایران در سال ۱۳۹۵، حداکثر غلظت PM_{10} ، ۲۴ ساعته برابر با ۱۵۰ میکروگرم بر متر مکعب است. بنابراین می توان اذعان نمود، غلظت PM_{10} شبیه سازی شده در بازه زمانی ۲۴ ساعته در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳ بالاتر از حد مجاز است. در حالی که غلظت ۲۴ ساعته PM_{10} در تاریخ ۱۳۹۷/۱۱/۹ پایین تر از حدود استاندارد پیشنهادی است. به طور کلی پخش و پراکندگی ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون (PM_{10}) انتشار یافته در هوا تحت دو عامل هواشناسی و توپوگرافی قرار می گیرد. در میان پارامترهای هواشناسی نظیر سرعت باد، جهت باد، ابرناکی، رطوبت نسبی و فشار بیشترین تاثیر را در پراکندگی ذرات دارند. غبار بر خواسته از دپو باطله ها با توجه سرعت باد و جهت باد در روز های رخداد فرسایش بادی، توانسته تا شعاع ۲۴ کیلومتری به سمت نواحی شمالی معدن انتقال یابد. با توجه به اینکه

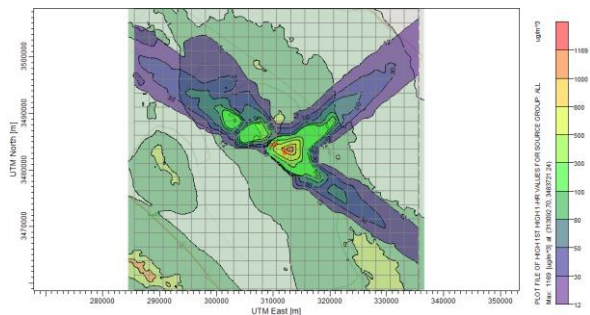


(ت)

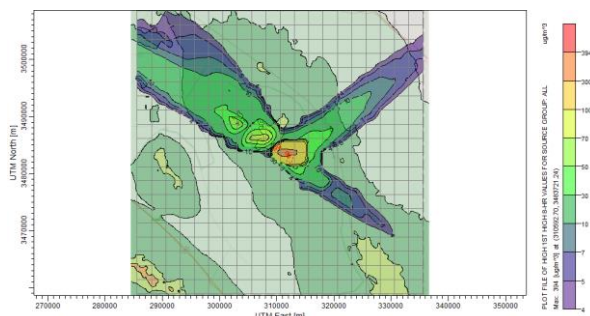
شکل ۱۵- شبیه سازی پراکندگی PM_{10} در بازه های زمانی ۱ ساعته (الف)، ۸ ساعته (ب)، ۲۴ ساعته (پ) و گلباد (ت) در روز ۱۳۹۷/۱۰/۱۳

نتایج پراکندگی PM_{10} از سطوح سد باطله ها در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹

در روز ۱۳۹۷/۱۱/۹ پراکندگی ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون با توجه به گلباد مربوطه در سه جهت شمال غرب، شمال شرق و جنوب شرق صورت می گیرد. حداکثر ماکسیمم های غلظت رخ داده در بازه های زمانی یک، هشت و ۲۴ ساعته به ترتیب ۱۱۶۹، ۳۹۴ و ۱۴۱ میکروگرم بر متر مکعب است که در فاصله ۵۰۰ متری از مکان استقرار باطله ها می باشد. نتایج نشان می دهد که در روز رخداد فرسایش بادی پراکندگی ذرات به گونه ای است که ذرات در سطح شهر وارد نخواهند شد بنابراین خطرات ورود عوامل زیان آور شیمیایی ناشی از فعالیت های معدن کاری سرب و روی مهدی آباد در سطوح ایمن قرار دارد (شکل ۱۶ بخش های الف، ب و پ).



(الف)



(ب)

پراکندگی ذرات در تمامی جهات جغرافیایی صورت می گیرد. در واقع با کاربرد مدل رقومی ارتفاع در مدل AERMOD می تواند جهت افزایش دقت مدلسازی موثر باشد. با طراحی شبکه گیرنده در مدل AERMOD و وارد نمودن مدل رقومی ارتفاع در نرم افزار و همچنین با پیاده سازی گیرنده ها بر روی نقشه DEM غلظت ذرات معلق در هر نقطه ارتفاعی تخمین زده می شود. در مطالعه خبری و همکاران (۱۳۹۲) تاثیر مدل رقومی ارتفاع بر پخش و پراکندگی آلاینده ها مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه جهت بررسی تاثیر مدل رقومی ارتفاع بر مقادیر شبیه سازی شده فرمت مدل رقومی ارتفاعی (DEM) مورد نیاز مدل با دقت-های متفاوت ۳۰، ۵۰ و ۹۰ متر نیز از طریق نرم-افزار Global Mapper 13 تهیه گردید. سپس از مدل در دو حالت مسطح بودن منطقه و حالت اعمال توپوگرافی اجرا گرفته و در نهایت نتایج با یکدیگر مقایسه شد. نتایج حاکی از آن بود که با اعمال توپوگرافی، میانگین غلظت-ها $0.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ نسبت به حالت عدم اعمال توپوگرافی بیشتر است. همچنین نتایج نشان داد که ماکزیمم غلظت در حالت عدم اجرای اثرمپی، $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، در خلاف جهت باد غالب، سمت غرب دودکش است و در حالت اجرای AERMAP، ماکزیمم غلظت برابر با $17/35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در جهت باد غالب و سمت شرق و جنوب شرق دودکش می-باشد. نتیجه این مطالعه نشان می-دهد که بدون اجرای AERMAP پیش-بینی از دقت کافی برخوردار نخواهد بود. همچنین نتایج آن ها نشان داد، با $DEM \sim 90$ متر نیز می توان AERMAP را اجرا و مدلسازی را انجام داد. در کل نتایج مطالعه حاضر نشان می دهد، با رخداد فرسایش بادی پراکندگی ذرات به سوی مراکز جمعیتی حساس نمی باشد. در واقع با اجرای مدلسازی پراکندگی ذرات، معدن سرب و روی مهدی آباد مشکل خاصی برای ساکنین ایجاد نمی نماید. عامل بسیار مهم در ایجاد سطوح ایمن ساکنین می توان به جهت باد غالب منطقه و نیز سرعت باد در منطقه نسبت داد.

ارتفاع دیو از سطح زمین تا ۱۴ متر می رسد، پراکندگی ذرات حین انتقال به سمت نواحی دوردست تحت تاثیر پارامترهای هواشناسی مذکور تحت تاثیر قرار گرفته و در نواحی مختلف شاهد غلظت های مختلفی از ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون می باشیم. 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 می شود و پراکندگی آلاینده ها تحت تاثیر قرار می دهد. سرعت وزش باد بیشتر منجر به کاهش غلظت آلاینده ها شده و میتواند بیشینه های غلظت شبیه سازی شده تحت تاثیر قرار دهد. در این پژوهش ماکسیمم های غلظت پراکندگی ذرات در فاصله های نزدیک به معدن در فاصله ۵۰۰ متر تا یک کیلومتری اتفاق می افتد. با افزایش فاصله از معدن غلظت ذرات در بازه های زمانی یک ساعته، هشت ساعته و ۲۴ ساعته کاهش می یابد که علت آن احتمالاً به علت ترسیب ذرات با افزایش فاصله از منبع انتشار در مقیاس های زمانی مختلف باشد. دستاورهای تحقیق حاضر مطابق مطالعه معین و همکاران (۱۳۹۷) است که ماکسیمم های غلظت آلاینده ها در نواحی نزدیک منبع انتشار تخمین زدند. در مطالعه شمسی پور و همکاران با هدف مدلسازی الگوی پراکنش ذرات معلق در منطقه جنوب تهران (مطالعه موردی: کارخانه سیمان تهران) با مدل AERMOD توانستند پراکندگی ذرات را تا شعاع یک تا پنج کیلومتر در مقیاس های زمانی مختلف تخمین زنند. همچنین در این مطالعه بیان گردید که ماکسیمم های غلظت ذرات معلق در نواحی نزدیک منبع انتشار ذرات اتفاق افتاده است. در این مطالعه ماکسیمم های غلظت PM_{10} در بازه های زمانی ۱ ساعته بیشتر از ۸ ساعته و ۲۴ ساعته بود. بر عکس ماکسیمم های غلظت ۲۴ ساعته نسبت به ماکسیمم های غلظت ۱ و ۸ ساعته از کمترین مقدار برخوردار گردید که مطابق نتایج زو و همکاران (۲۰۱۰) و نورپور و شهبابی (۱۳۹۳) است. اثر عوامل پستی و بلندی (توپوگرافی) محل مدلسازی بر پخش و پراکندگی ذرات بسیار موثر است. تاثیر این عامل در مطالعات مختلفی نظیر شجاعی برجونی و همکاران (۱۳۹۸) و خبری و همکاران (۱۳۹۲) منعکس شده است. در مطالعه شجاعی برجونی و همکاران (۱۳۹۸) اجرای مدل AERMOD در نواحی مسطح اجرا گردید و نتایج آن ها نشان داد،

منابع

- آزادبخت، ب. ۱۳۸۷. پیامد های تحولات زیست محیطی در امنیت انسانی، چهارمین همایش زمین شناسی و محیط زیست، اسلام شهر
- امیری، ع. ۱۳۸۶. بررسی اثرات زیست محیطی معادن متروک، اولین همایش زمین شناسی زیست محیطی و پزشکی، تهران.
- رضایی پورباغدر، ع.، وقارفر، ح.، عظیم زاده، ح.، غلامی، ح.، اسماعیل پور یحیی. ۱۳۹۵. کاربرد شاخص های IPI، PI و MCd در ارزیابی وضعیت آلودگی برخی فلزات در رسوبات باطله ناشی از فرآوری سنگ آهن در مجتمع معدنی چغارت بافق، خشکبوم، جلد ۶، شماره ۱، ص ۱-۱۲.
- پور احمد، ا.، حیدری، ر. ۱۳۹۵. بررسی آلودگی های زیست محیطی در کشورهای جهان اسلام. فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهش های سیاسی جهان اسلام، جلد ۶، شماره ۱، ص ۱۴۳-۱۷۰.
- احمدی، ع.، غلامی، د.، ۱۳۹۱. مدلسازی انتشار غبار خروجی دودکش کارخانه سیمان، مجله مهندسی محیط زیست، سال ۹، شماره ۲۹، ص ۱۳۲-۱۴۱.
- نورپور، ع.، ر. و کاظمی، شهبابی. ۱۳۹۳. مدلسازی پراکنش آلاینده های هوا خروجی از دودکش کارخانه سیمان ایلام، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۴، شماره ۱.
- شجاعی برجونی، س.، عظیم زاده، ح.، کوچکزاده، م.، ر.، مصلح آرائی، ا.، سودانی زاده، ح. مدلسازی نحوه پراکنش و ارزیابی خطر سلامت مواجهه با PM_{10} انتشار یافته از دودکش های یکی از صنایع کاشی و سرامیک شهرستان اردکان با استفاده از مدل AERMOD. طب جنوب، ۱۳۹۸، جلد ۲۲، شماره ۵، ص ۳۱۷-۳۳۲.

- شجاعی برجویی، س.، عظیم زاده ح.ر.، مصلح آرائی ا. کاربرد مدل‌های SWEEP و AERMOD در شبیه‌سازی ریسک انتشار PM_{۱۰} از دیو مواد اولیه و پسماندهای صنایع کاشی سرامیک، خاک چینی و شیشه شهرستان اردکان یزد در سال ۱۳۹۷. مجله مهندسی بهداشت محیط. ۱۳۹۹، جلد ۷، شماره ۲، ص ۱۴۰۱-۱۴۲۶.
- خبری، ز.، موسویان ندوشن، نرجس ا.، نژادکورکی، ف.، منصوری، نبی ا. ۱۳۹۲. تأثیر مدل رقومی ارتفاعی در مدلسازی آلودگی هوا با استفاده از اثرمود (AERMOD). سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، جلد ۴، شماره ۴، ص ۲۵-۳۳.
- معین، م.، شمسایی، س.، خبری، ز. ۱۳۹۷. آنالیز حساسیت مدل AERMOD نسبت به فاکتورهای فیزیکی دودکش. مجله پژوهش در بهداشت محیط، جلد ۴، شماره ۳، ص ۱۸۵-۱۹۳.
- Zou, B., Zhan, F. B., Wilson, J. G., & Zeng, Y. (2010). Performance of AERMOD at different time scales. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(5), 612-623.