



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

۲۷۷-۲۹۰

مقاله پژوهشی

تعیین نرخ انتشار آلاینده PM₁₀ در اراضی مستعد گرد و غبار با استفاده از مدل پخش و پراکندگی CALPUFF

مهسا تمجیدی^۱، یوسف رشیدی^{۲*}، مجید عباسپور طهرانی^۱ و سید علیرضا میرزاحسینی^۱

^۱ گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
^۲ گروه فناوری‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۱۵

تمجیدی، م.، ی. رشیدی، م. عباسپور طهرانی و س.ع. میرزاحسینی. ۱۴۰۱. تعیین نرخ انتشار آلاینده PM₁₀ در اراضی مستعد گرد و غبار با استفاده از مدل پخش و پراکندگی CALPUFF. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۴): ۲۷۷-۲۹۰.

سابقه و هدف: گرد و خاک و غبار از پدیده‌های مهم جوی هستند که در بسیاری از مناطق از جمله ایران و کشورهای همجوار در بهار و تابستان اتفاق می‌افتد و یکی از چالش‌های مهم قرن بیستم و یکم به شمار می‌رود و این پدیده در مقیاس جهانی از مناطق خشک و نیمه خشک و به واسطه تغییر اقلیم، تغییر پوشش گیاهی، فرآیندهای پیش رونده فرسایش خاک و اختلالات ناشی از آنها، حساسیت مناطق را نسبت به فرسایش سریعی که واکنش‌های مهمی بر اقلیم منطقه و بیابانزایی خواهد داشت. اهواز مرکز استان خوزستان یکی از هشت کلان شهر آلوده ایران از منظر آلودگی هوا است. هدف از این پژوهش تعیین میزان شدت نرخ تولید آلاینده‌ی ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون با استفاده از مدل‌سازی و مقایسه نتایج خروجی با داده‌های اندازه‌گیری شده و تغییر میزان شدت نرخ تولید آلاینده‌ی براساس داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه فرمول تعیین میزان نرخ تولید آلاینده‌ی PM₁₀ ناشی از رخدادهای گرد و غبار در شهر اهواز می‌باشد.

مواد و روش‌ها: کلان‌شهر اهواز با در نظر گرفتن توپوگرافی پیچیده در منطقه‌ای خشک و در مجاورت منابع اصلی و ابتدایی گرد و غبار دارای شرایط ویژه‌ای است که در این مطالعه غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون در تاریخ پانزدهم ماه ژوئن سال ۲۰۱۹ میلادی (تیر ماه ۱۳۹۸) مورد بررسی قرار گرفته است. در این تاریخ، بیشینه‌ی غلظت PM₁₀ در شهر اهواز ۱۴۲۲ میکروگرم بر متر مکعب در روز ۱۵ ژوئن اعلام شده است که غلظت این ذرات بیش از ۹ برابر غلظت استاندارد هوای آزاد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۵۰ میکروگرم بر متر مکعب) بوده است. از داده‌های غلظت ایستگاه سنجش سازمان حفاظت محیط زیست و داده‌های هواشناسی سطحی و جو بالا ایستگاه اهواز برای اجرای مدل CALPUFF و خروجی‌های غلظت استفاده شده است.

نتایج و بحث: با استفاده از مطالعه اسناد کتابخانه‌ای فرمول پایه محاسبات تعیین نرخ انتشار آلاینده PM₁₀ برآورد گردیده است و سپس با داده‌های ایستگاه‌های پایش مستقر در کلان شهر اهواز مقایسه گردیده است و با اصلاح فرمول محاسباتی و اجرای مدل پخش و پراکندگی CALPUFF به میزان غلظت واقعی ثبت شده ایستگاه آنلاین پایش سازمان حفاظت محیط زیست رسیده و نهایتاً میزان نرخ انتشار

* Corresponding Author: Email Address. Y_rashidi@sbu.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.48308/envs.2022.1205>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.4.7.2>

الایندگی ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون از کانون‌های اطراف شهر اهواز تعیین گردید.

نتیجه‌گیری: میزان نرخ انتشار آلاینده PM₁₀ با استفاده از فرمول محاسباتی و اجرای مدل پخش و پراکندگی CALPUFF بدست آمده است که این موضوع در پیش‌بینی پدیده گرد و غبار حائز اهمیت بوده و امکان محاسبه میزان تولید و مسیر حرکت ذرات را فراهم کرده در نتیجه می‌توان هشدار و پیش‌آگاهی به هنگام و قابل اعتمادی را در مورد اتخاذ تصمیم‌های لازم برای کاهش خسارت‌های احتمالی ناشی از این پدیده اندیشه کرد. و با استفاده از تلفیق اندازه‌گیری و مدل‌سازی به متدلوژی برای محاسبه انتشار گرد و غبار PM₁₀ از کانون‌های شهر دست یافت.

واژه‌های کلیدی: فرسایش بادی، نرخ تولید آلاینده PM₁₀، مدل هواشناسی.

مقدمه

هواشناسی سطح همراه است (Chakravarty *et al.*, 2021). مدل WRF قادر به ارائه الگوهای هواشناسی واقعی برای مدل‌های کیفیت هوا که به داده‌های هواشناسی سه بعدی با وضوح بالا نیاز دارند، می‌باشد (Turtos Carbonell *et al.*, 2013). به همین دلیل در بیشتر مطالعات برای بررسی میزان انتشار گرد و غبار از این مدل در بخش داده‌های هواشناسی استفاده می‌کنند (Nabavi *et al.*, 2017; Jish Prakash *et al.*, 2015; Alizadeh Choobari *et al.*, 2013; Iraj *et al.*, 2021; Jalali Farahani and Arhami., 2019; Meng *et al.*, 2019). از مدل CALPUFF می‌توان برای شبیه‌سازی اثرات پارامترهای هواشناسی برای انتقال آلاینده‌ها در زمان و مکان استفاده کرد (CALPUFF., 2000). PM از جمله منابع آلاینده هوا هستند که می‌تواند بر کیفیت منابع هوا در مناطق دور از مبدا تاثیر بگذارد (Perez *et al.*, 2015; Tsiouri *et al.*, 2012; *al.*) و یکی از اصلی‌ترین دلایل مطالعه گرد و غبار تاثیراتی است که این آلاینده می‌تواند به دلیل طی مسافت زیاد بر سایر مناطق داشته باشد (Goudie, 2009). بر اساس مطالعات (Kontos *et al.*, 2021) در بررسی گرد و غبار سهم منابع محلی به خصوص زمین‌های بایر باید مورد توجه قرار گیرد زیرا تاثیر قابل توجهی در نرخ انتشار PM₁₀ دارند. و همچنین طی مطالعات (Pulugurtha and James, 2006) که به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی به تخمین انتشار PM₁₀ در اراضی مستعد گرد و غبار Clark County ایالت واشنگتن

طوفانهای گرد و غبار یکی از خطرناک‌ترین پدیده‌های هواشناسی در مناطق خشک است (Iraj *et al.*, 2021; Crosbie *et al.*, 2014) و تاثیرات قابل توجهی بر محیط زیست، اقتصاد و سلامت انسان دارد (Jalali Farahani and Arhami., 2019). کشور ایران با توجه به موقعیت جغرافیایی خود با مشکلات جدی در زمینه پدیده گرد و غبار در مناطق شرقی، غربی و جنوب رو به رو است (Salmabadi *et al.*, 2020; Mohammadpour *et al.*, 2021; Karami *et al.*, 2021; Rashki *et al.*, 2021). شهر اهواز از جمله مناطق خشک غرب ایران است که در معرض طوفان‌های گرد و غبار قرار دارد. از جمله مهم‌ترین پیامدهای طوفان‌های گرد و غبار افزایش بیماری‌های تنفسی و آلودگی هوا می‌باشد (Hojati *et al.*, 2012) به طوریکه افزایش آمار بیماری‌های تنفسی و قلبی - عروقی به عنوان پیامد ظاهری و مستقیم طوفان‌های گرد و غبار است. بر اساس مطالعات صورت گرفته بخش اصلی گرد و غبارهای موجود در منطقه خوزستان منشاء خارجی دارد، ولی اگر نقش تقویت‌کنندگی کانون‌های گرد و غبار محلی نبود هیچ‌گاه جریانات گرد و غبار خارجی تا این حد شرایط بحرانی ایجاد نمی‌کرد (Moradi & Elmizadeh., 2012). رشد خشکی باعث افزایش فرسایش خاک به دلیل تغییرات اقلیمی و منجر به هدررفت منابع خاک و کاهش تنوع زیستی می‌گردد. از بین رفتن تنوع زیستی موجب کاهش حالت ارتجاعی اکوسیستم می‌شود (Ravi *et al.*, 2010). تکامل طوفان با تغییر ناگهانی پارامترهای

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

اهواز مرکز استان خوزستان یکی از هشت کلان شهر ایران است. در شکل شماره ۱ محدوده مطالعاتی نمایش داده شده است. این شهر در بخش مرکزی استان خوزستان قرار دارد اهواز با ارتفاع متوسط ۲۰ متر از سطح دریا و همچنین با جمعیت بالغ بر ۱/۲ میلیون نفر در مرکز استان خوزستان، یکی از کلان شهرهای ایران است. میانگین بارندگی اهواز طی دوره ۳۰ ساله ۲۰۸ میلی‌متر، حداکثر درجه حرارت ۴۷ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه و حداقل ۱- درجه سانتی‌گراد در دی ماه می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی اقلیم به روش دومارتن، شهرستان اهواز دارای اقلیم خشک می‌باشد. این شهرستان به دلیل شرایط اقلیمی، ژئومورفولوژی و همجواری با بیابان‌های کشورهای همسایه در معرض طوفانهای گرد و غبار محلی و منطقه‌ای قرار می‌گیرد.

پرداخته بودند، بیان کردند انتشار PM_{10} تابعی از وسعت زمین‌های خالی، فرسایش‌پذیری سطوح خاک، شدت و فراوانی رویدادهای بادی می‌باشد. هدف از این مطالعه تعیین نرخ انتشار و آلودگی PM_{10} در اراضی مستعد گرد و غبار اطراف شهر اهواز در تاریخ پانزدهم ماه ژوئن سال ۲۰۱۹ میلادی (تیر ماه ۱۳۹۸) که طوفان گرد و غبار اتفاق افتاده به کمک مدل CALPUFF می‌باشد. با توجه به تعداد جمعیت این شهر و اثرات نامطلوبی که این آلاینده بر انسان می‌گذارد نیاز به بررسی این مسئله می‌باشد.

با توجه به اهمیت موضوع، شناسایی کانون‌های گرد و غبار و تعیین میزان نرخ تولید آلاینده‌ی ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون، می‌تواند نقش مهمی در اتخاذ راهکارهای لازم مدیریتی برای کنترل و کاهش رخداد این پدیده ایفا کند که تعیین میزان نرخ تولید آلاینده‌ی ذرات کمتر از ۱۰ میکرون در کشور تاکنون صورت نپذیرفته است و در این مطالعه بررسی و روشی برای محاسبات میزان نرخ تولید آلاینده‌ی PM_{10} برای اولین بار ارائه می‌شود.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه (شهر اهواز)

Fig. 1- Study Area (Ahvaz City)

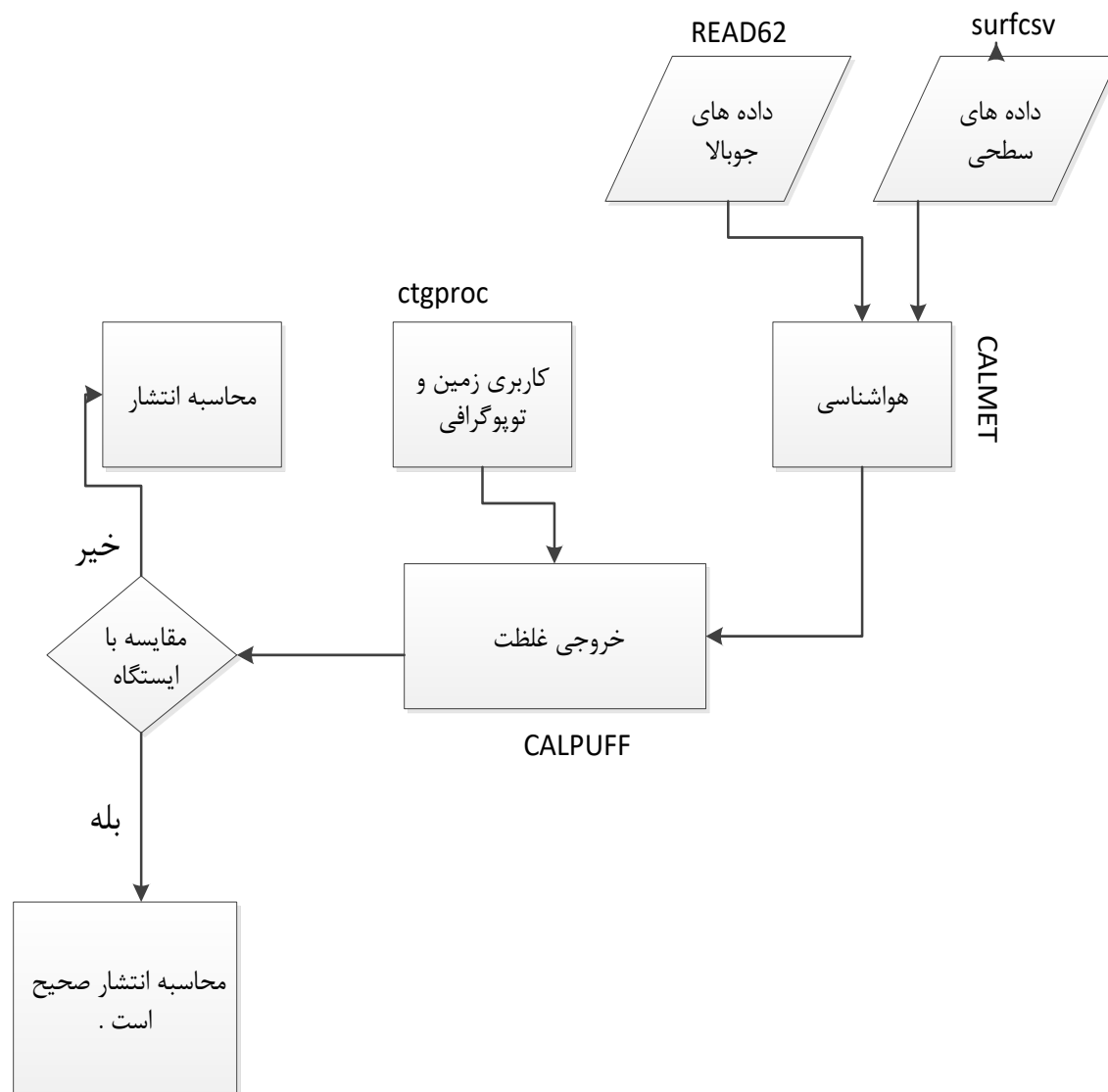
بازه زمانی

با توجه به داده‌های ثبت شده در ایستگاه پایش اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان در تاریخ پانزدهم ماه ژوئن سال ۲۰۱۹ میلادی (۲۵ تیر ماه ۱۳۹۸) میزان غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون به بالاترین میزان خود و رخداد پدیده گرد و غبار ثبت گردیده است این تاریخ در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است.

روش شناسی تحقیق

برای بررسی وضعیت جوی و تحلیل یا پیش‌بینی کیفیت هوا، روش‌های مختلفی چون مدل‌سازی عددی، سنجش و

پایش، روش‌های آزمایشگاهی (اندازه‌گیری) و استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد که در این تحقیق از روش مدل‌سازی و مقایسه با اطلاعات پایش ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا برای بررسی ذرات معلق حاصل از طوفان‌های گرد و غبار استفاده شده است. روش تحقیق (شکل شماره ۲) در این مطالعه استفاده از خروجی‌های غلظت مدل CALPUFF و مقایسه با غلظت‌های ایستگاه پایش مستقر در شهر اهواز انجام شده و پارامتر شاخص که اصلاح می‌گردد مقدار انتشار از اراضی مستعد تولید گرد و غبار محاسبه می‌گردد.



شکل ۲- روش‌شناسی تحقیق
Fig. 2- Research Methodology

داده‌های مورد استفاده

هستند. این داده‌ها در سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران (ایریمو) موجود می‌باشد. پارامترهای سطحی هواشناسی (مانند سرعت باد، جهت باد، دما، فشار، ابرناکی و رطوبت) برای بازه زمانی سال ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفت (<https://www.irimo.ir/far/index>) و پارامترهای جو بالا نیز از (<https://ruc.noaa.gov/raobs/>) در بازه زمانی منطبق با اطلاعات سطحی اخذ گردیده است.

در این مطالعه از داده رخدادهای طوفان‌های گرد و غبار تهیه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران استفاده شده است (<https://www.doe.ir/portal/home/>) پس از بررسی این داده‌ها بیشترین مقدار غلظت PM₁₀ که در تاریخ ۲۵ تیرماه ۱۳۹۸ (۱.۷ برابر مجاز روزانه) در نظر گرفته شده است (جدول ۲). پارامترهای هواشناسی داده‌های ورودی لازم برای اجرای مدل‌های CALMET

جدول ۱- مقایسه آماری وضعیت کیفی کلانشهر اهواز از سال ۹۸ الی ۱۴۰۰ (شاخص PM₁₀)

Table 1. Statistical comparison of the quality status of Ahvaz metropolis from 1998 to 1400 (PM₁₀ Index)

سال Year	تعداد روزهای سالم No. of acceptable days	درصد روزهای سالم در سال Percent of acceptable days	تعداد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس No. of unhealthy days for sensitive groups	درصد روزهای ناسالم برای گروه‌های حساس در سال Percent of unhealthy days for sensitive groups
1398	319	87%	39	11%
2019	308	84%	52	14%
1399	202	85%	32	13%
2020				
1400-				
1401				
2021-				
2022				

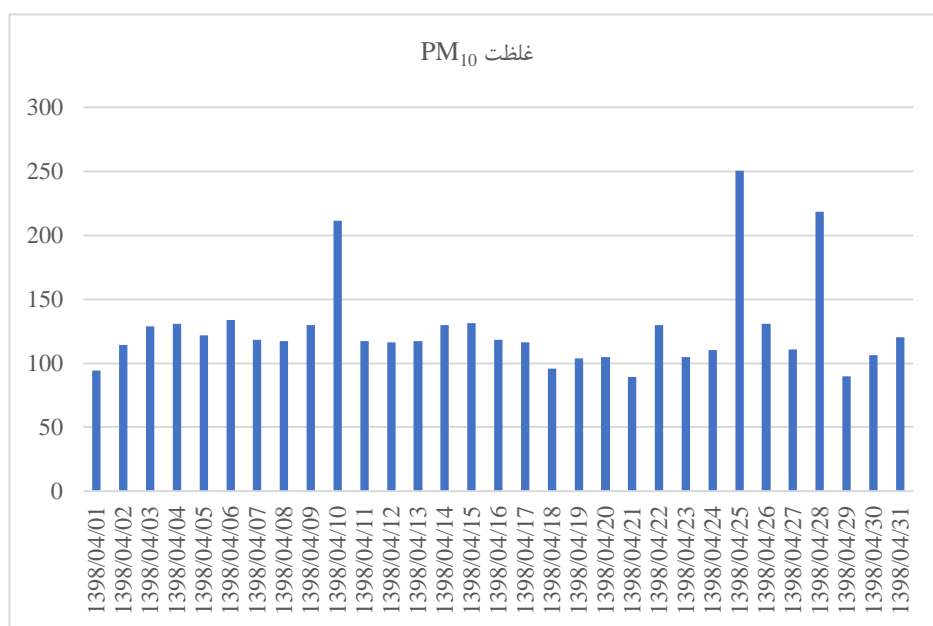
شایان ذکر است که مدت زمان وقوع پدیده گرد و غبار محلی در سال‌های ۹۸ و ۹۹ کوتاه بوده است و همچنین یک روز خطرناک در سال ۱۴۰۰ (۴ فروردین) در ایام تعطیلات نوروز رخ داده است که نیاز به اعلام تعطیلی نبوده است.

جدول ۲- مقایسه روزهای گرد و غباری بر اساس میزان غلظت PM₁₀ (ذرات ۱۰ میکرون) در سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۴۰۰

Table 2. Comparison of dusty days based on the concentration of PM₁₀ (particles of 10 microns) in the years 1395 to 1400

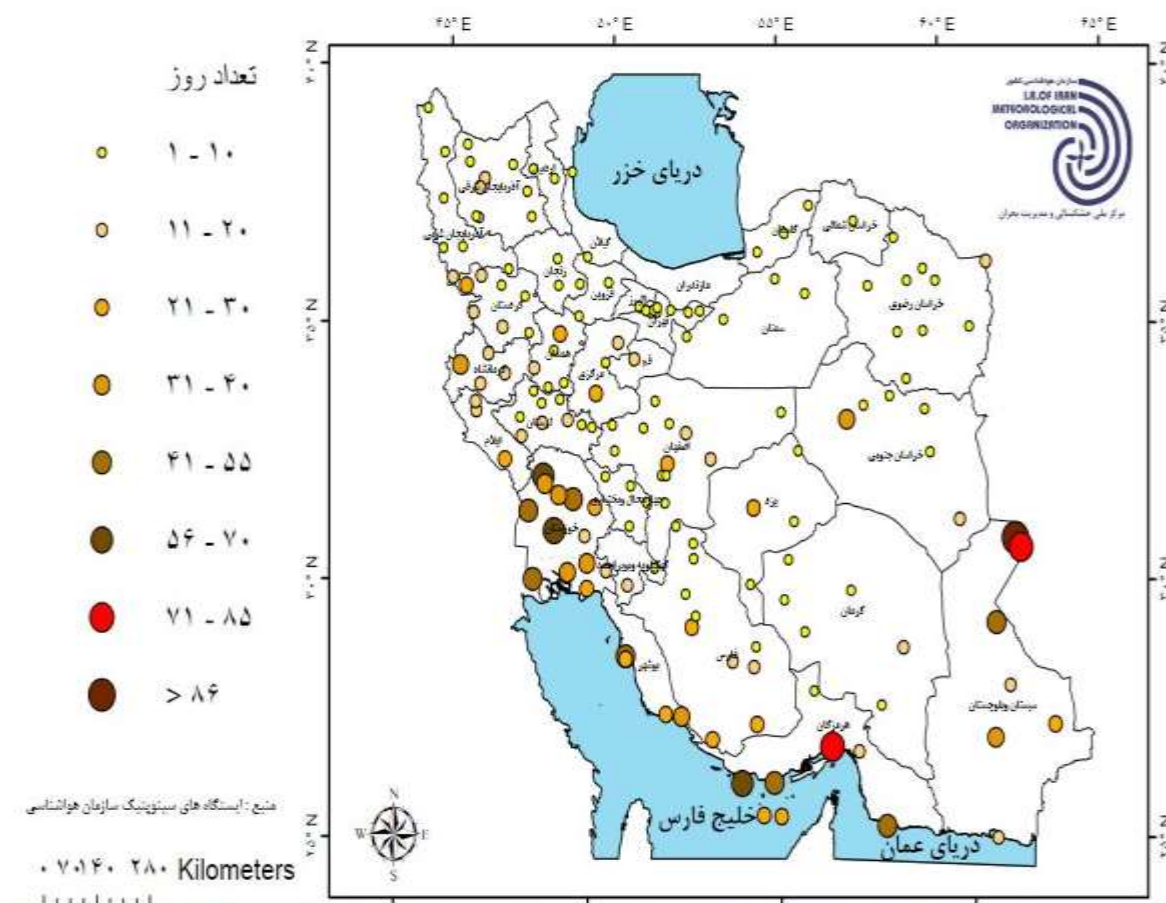
منشاء Source	مقایسه با حد مجاز روزانه Comparison with standard limit	میانگین غلظت روزانه (µg/m ³) Daily average concentration (µg/m ³)	طول زمان وقوع (ساعت) Duration (hr)	حداکثر غلظت (µg/m ³) Maximum concentration (µg/m ³)	تاریخ Date	مجموع تعداد روز بسیار ناسالم و خطرناک No. of unhealthy and dangerous days	سال Year
خارجی Transboundary	1.7 برابر 1.7 times standard	254	4	1422	25 تیرماه July 16	1	1398 2019
خارجی Transboundary	2.5 برابر 2.5 times standard	373	9	1261	12 بهمن‌ماه January 13	2	1399 2020
خارجی Transboundary	2.8 برابر 2.8 times standard	420	8	1589	4 فروردین‌ماه March 24	1	1400 2021

حد مجاز: ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب



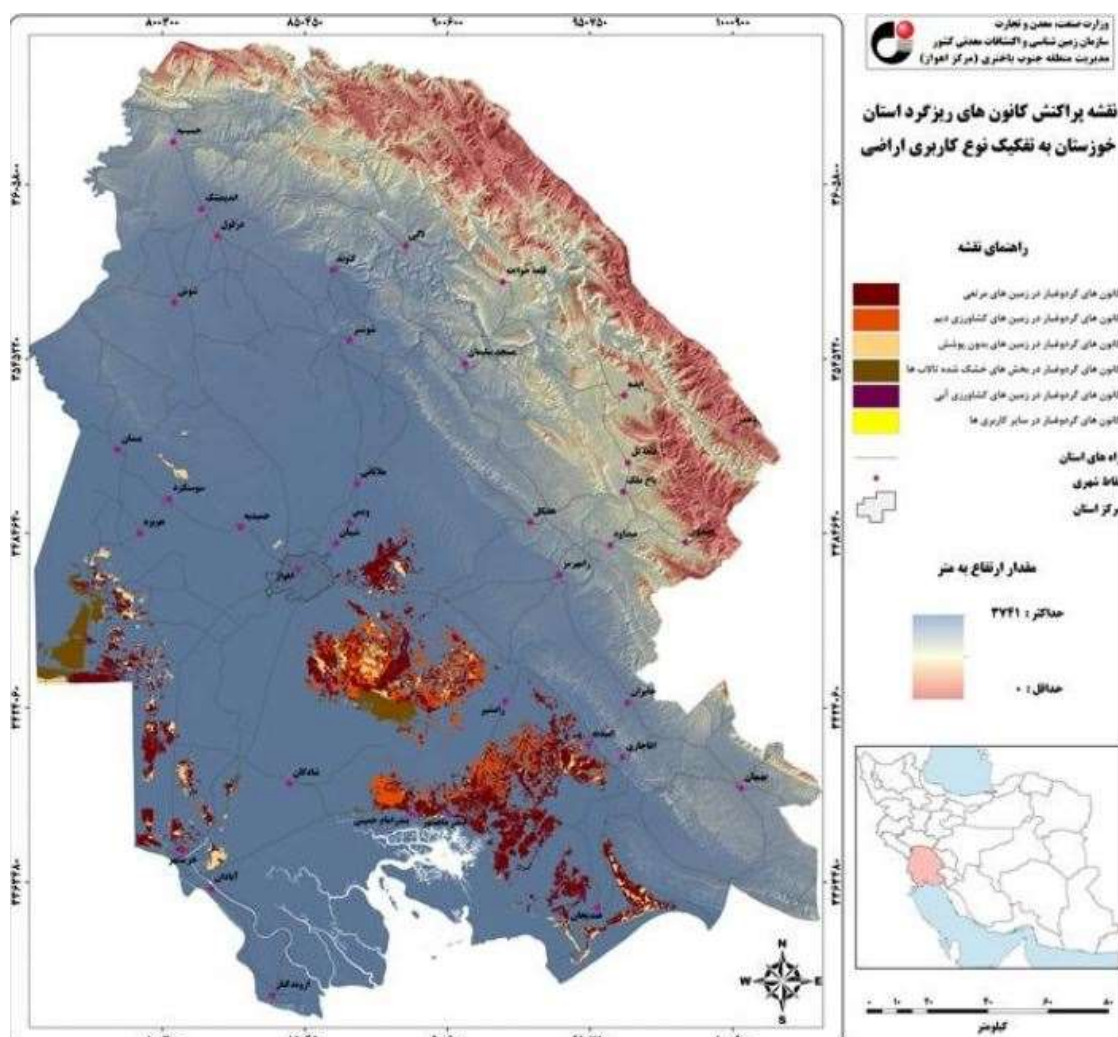
شکل ۳- غلظت ماهانه ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون (سازمان حفاظت محیط زیست)

Fig. 3- Monthly concentration of suspended particles less than 10 microns (Environmental Protection Organization)



شکل ۴- تعداد روزهای مشاهده پدیده گرد و خاک همراه با طوفان یا معلق در هوا در سطح استان های کشور با دید افقی زیر ۵۰۰۰ متر- یک سال کامل در بلند مدت

Fig. 4 The number of days of observing the phenomenon of dust accompanied by storms or suspended in the air in the provinces of the country with horizontal visibility below 5000 meters - a full year in the long term



شکل ۵- نقشه کانون های تولید گرد و غبار به تفکیک نوع کاربری اراضی
Fig. 5 Map of dust production centers by land use type



شکل ۶- نقشه کانون های تولید گردوغبار و مساحت چشمه های گرد و غبار (مرکز ملی گردوغبار)
Fig. 6- The number of dust production centers and the area of dust springs (National Dust Center)

بخش وسیعی از کشور ایران را مناطق خشک و نیمه خشک در بر گرفته که به دلیل شرایط خاص محیطی از جمله کمبود بارندگی، تراکم محدود پوشش گیاهی و گاه عدم وجود پوشش گیاهی، سطح خاک بدون پوشش، زمینه را برای وقوع فرسایش بادی مساعد می‌سازد. هر چند فرسایش بادی به دلیل گستره وسیع فعالیت نسبت به فرسایش آبی از عملکرد تخریبی کمتری برخوردار است، اما به علت تداوم و وسعت فرساینده‌گی در زمان و مکان، بیلان جابجایی توسط این نوع فرسایش در مناطق خشک به مراتب بیشتر از فرسایش آبی می‌باشد و به همین ترتیب خسارات وارده به منابع اقتصادی در این مناطق چشمگیرتر است.

مدل CALPUFF

نرم‌افزار CALPUFF توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا برای پیش‌بینی و مدل‌سازی پخش آلاینده‌های گازی و ذرات معلق در جو به کار برده می‌شوند. سیستم نرم‌افزار CALPUFF جهت پیش‌بینی نحوه پخش آلاینده از مدل توده گوسی استفاده می‌کند. اصطلاح توده به این معنی است که آزاد شدن آلاینده حالت یکنواخت نداشته و به صورت توده‌های مجزایی که با هم فاصله دارند، صورت می‌گیرد. به بیان ساده‌تر در این مدل ستون دود را به صورت مجموعه‌ای از تعداد محدودی توده که پی‌درپی آزاد می‌شوند، در نظر می‌گیرند. این در حالی است که در مدل‌های ستون دود فرض تخلیه مداوم و یکنواخت را از یک چشمه انتشار آلاینده را دارند. این قابلیت به CALPUFF این امکان را می‌دهد که شبیه‌سازی نحوه پخش آلاینده‌ها از منابع انتشار نقطه‌ای و سطحی را دقیق‌تر انجام دهد. مزیت دیگر CALPUFF قابلیت بررسی عوارض پیچیده زمین و همچنین بررسی تبدیلات شیمیایی آلاینده‌ها در طول مسیر انتشار است که این خاصیت نیز به دلیل استفاده از مدل توده گوسی است. مدل CALPUFF، یک مدل چند لایه‌ای است که

برای شرایط ناپایدار و براساس مدل توده گوسی لاگرانژی، طراحی شده است. این مدل اثرات زمانی و فضایی وضعیت آب و هوایی بر روی انتقال، تبدیل و حذف آلاینده‌های جوی را در نظر گرفته و همچنین دارای قابلیت مدل‌سازی همزمان چند آلاینده است.

سیستم مدل‌سازی CALPUFF دارای سه ماژول است که عبارت‌اند از: CALMET (مدل تشخیص سه‌بعدی داده‌های هواشناسی)، CALPUFF (یک مدل پخش و پراکنش جوی) و CALPOST (یک مجموعه پس پردازش) هستند. همان‌طور که گفته شد برای اجرای مدل پخش و پراکنش CALPUFF ابتدا نیاز به داده‌هایی است که این داده‌ها توسط مدل تشخیص سه‌بعدی هواشناسی پردازش شده و با فرمت مناسب در اختیار این مدل قرار می‌گیرد. همچنین برای اجرای مدل هواشناسی نیاز به داده‌هایی می‌باشد (داده‌های توپوگرافی، داده‌های سطحی هواشناسی، داده‌های جو بالا، داده‌های بارش و ...) که این داده‌ها توسط پیش پردازنده‌های مدل CALMET آماده می‌شوند. پارامترهای پخش و پراکنش توده آلاینده در CALPUFF، دارای سه جز است که توسط معادلات زیر محاسبه می‌شوند.

$$\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma_{y,t}^2 + \sigma_{y,s}^2 + \sigma_{y,b}^2 \quad (1)$$

$$\sigma_z^2 = \sigma_{z,t}^2 + \sigma_{z,b}^2 \quad (2)$$

که $\sigma_{z,t}$ و $\sigma_{y,t}$ پارامترهای پخش و پراکنش به علت تلاطم جوی هستند، $\sigma_{y,s}$ بعد توده (پاف) اولیه در حالتی است که منبع آلودگی در مدل‌سازی به صورت منبع ناحیه‌ای باشد. $\sigma_{y,b}$ و $\sigma_{z,b}$ پیشرفت و افزایش پخش و پراکنش ناشی صعود توده خارج شده از منبع آلودگی است. با توجه

به معادله **Error! Reference source not found.** مشخص است که پارامترهای پخش و پراکنش در جهت‌های x و y در مدل CALPUFF، مشابه‌اند. این تنها یک تقریب است، چراکه در واقعیت مقدار پخش و پراکنش در جهت x بزرگ‌تر از مقدار آن در جهت y است و اثر برشی باد باعث کشش قابل توجه توده در جهت x

می‌گردد.

محاسبه بارش در CALMET

در این مدل محاسبات بارش با استفاده از درون‌یابی مقادیر اندازه‌گیری شده ساعتی داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی انجام می‌گردد؛ که این درون‌یابی به شیوه زیر است.

$$R = \frac{\sum_k \frac{R_k \exp(-r_k^2/\sigma^2)}{r_k^2}}{\sum_k \frac{\exp(-r_k^2/\sigma^2)}{r_k^2}} \quad (3)$$

که در آن R_k نرخ بارش در ایستگاه اندازه‌گیری k ام است، r_k فاصله بین نقطه درون شبکه و ایستگاه k است و σ شعاع نفوذ تعریف شده توسط کاربر است.

نتایج و بحث

روش تخمین انتشار گرد و غبار

شناسایی منبع غبار یکی از مهم‌ترین عوامل برای مطالعه طوفان‌های گرد و غبار است. در این راستا، بسیاری از مطالعات بر روی تعیین منبع غبار با استفاده از روش‌های بسیار متفاوت از جمله اندازه‌گیری‌های زمینی (Cao *et al.*, 2015) داده‌های سنجش از دور (Ginoux *et al.*, 2012; Moridnejad *et al.*, 2015; Nabavi *et al.*, 2016; Prospero *et al.*, 2002; Yu *et al.*, 2018) و مدل عددی متمرکز شده‌اند (Gherboudj *et al.*, 2017). تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که مناطق گرد و غبار زیادی با بهره‌وری متفاوت در خاورمیانه وجود دارد که این نواحی عامل اصلی جذب و افزایش گرد و غبار می‌باشند. در مطالعه حاضر، میزان شدت آلاینده‌گی PM_{10} زمین‌های خالی تخمین زده شده، فرسایش‌پذیری سطوح خاک و به شدت و مدت و فراوانی رویدادهای باد فرسایشی بستگی دارد. روش اصلی تخمین از سایر مطالعات قبلی صورت گرفته در این ارتباط استفاده گردیده است.

به دلیل سطح‌های شیب‌دار پروفیل‌های عمودی غلظت PM_{10} ، تعریف شار عمودی غلظت PM_{10} با مفهوم مخلوط

آشفتگی دشوار است (مطابق معادله شماره ۱). بنابراین از مفهوم تعادل جرم در حجم کنترل برای تعیین میزان انتشار PM_{10} استفاده شده است. برای حجم کنترل شش وجهی در تونل باد، تعادل جرم در مرزها توسط انتگرال داده می‌شود.

$$E = \frac{1}{D} \int_0^h (c_e u_e - c_i u_i) dz \quad (4)$$

در رابطه (۱) E میزان نرخ تولید آلاینده‌گی، D فاصله بین خروج و ورود، h ارتفاع کنترل، c غلظت ذرات معلق محلی، u سرعت باد محلی، z تلاطم عمودی، e, i تکرار شونده‌گی ورود و خروج یک معادله تجربی برای پیش‌بینی میزان انتشار PM_{10} ، به عنوان تابعی از پوشش گیاهی و سرعت باد ایجاد شده است.

$$E = Au_{10}(1 - Cv) \exp [B (u_{10} - ut) (1 - Cv)^2] \quad (5)$$

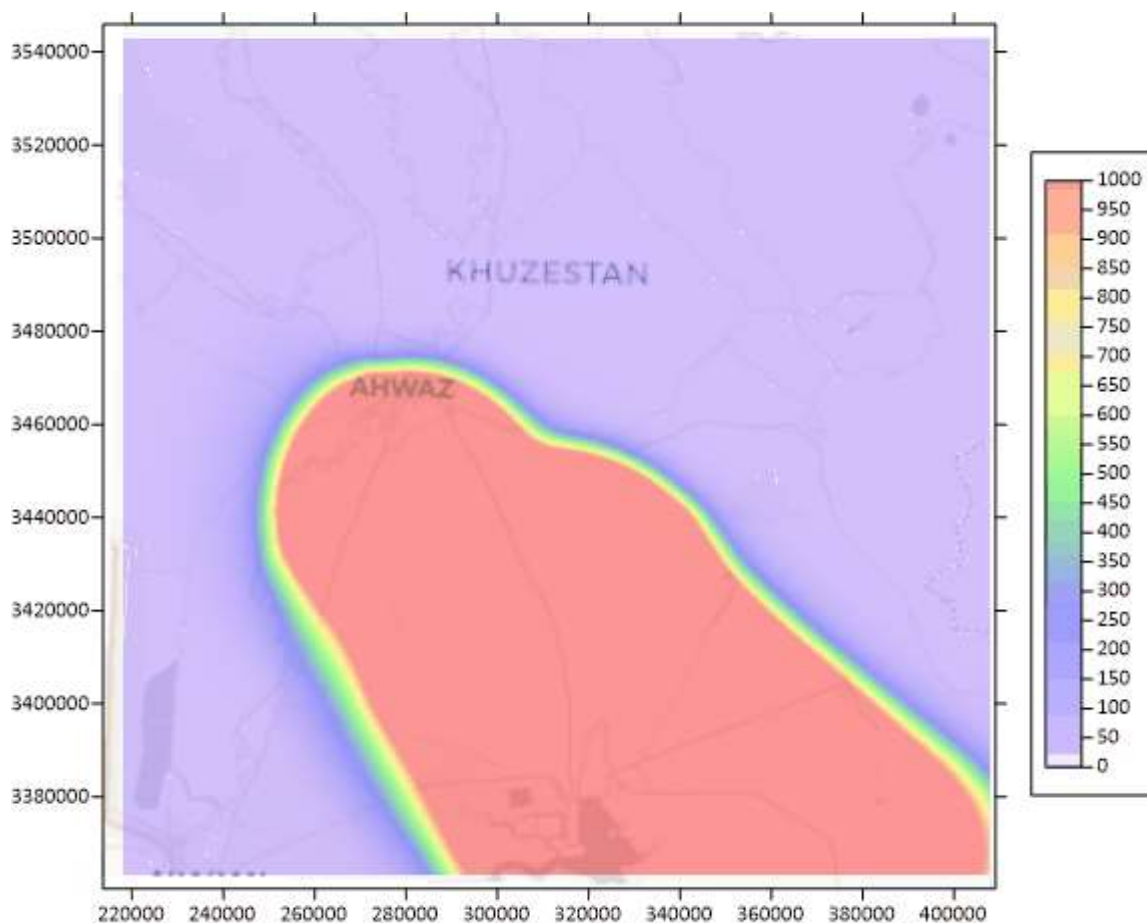
در این معادله نرخ تولید آلودگی PM_{10} برحسب $\mu g m^{-2} s^{-1}$ ، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری برحسب $(m s^{-1})$ و سرعت باد در ارتفاع نامشخص که آستانه انتشار سرعت باد برحسب $(m s^{-1})$ می‌باشد، پارامتر سرعت باد در ارتفاع نامشخص $(11.8 m s^{-1})$

CV : بیانگر پوشش گیاهی منطقه و مولفه‌های A, B که

$$A = 0.27 \mu g m^{-3} \text{ and } B = 0.37 m^{-1} s$$

به ترتیب $A = 0.27 \mu g m^{-3}$ and $B = 0.37 m^{-1} s$ با توجه به اینکه پوشش گیاهی در منطقه وجود ندارد CV در این فرمول برای منطقه مورد مطالعه صفر در نظر گرفته شده است. براساس محاسبات فرمول فوق‌الذکر به صورت تقریبی شدت انتشار از منابع سطحی اطراف زمین‌های خالی اطراف شهر اهواز محاسبه و با اجرای مدل و مقایسه با اندازه‌گیری‌ها (ایستگاه پایش آلاینده در شهر اهواز، عدد اندازه‌گیری شده ۱۴۲۲ میکروگرم بر مترمکعب در ساعت ۶ بعدازظهر) با تغییر مقادیر انتشار به میزان دقیق شدت انتشار آلودگی دست یافته است. میزان نرخ تولید آلودگی 0.0009 گرم بر مترمربع بر ثانیه برای هر دو منبع سطحی در نظر گرفته شده است که عدد اندازه‌گیری شده حاصل شده است.

$$E = Au_{10} \exp B (u_{10} - ut) \quad (6)$$



شکل ۷- غلظت خروجی مدل CALPUFF بر اساس تغییر مقادیر انتشار
 Fig. 7- Output Concentration of CALPUFF model based on change of emission Rate

جدول ۳- غلظت خروجی های مدل سازی
 Table 3. Concentration of modeling outputs

انتشار ۱ (گرم بر مترمربع) Emissions 1 (grams per square meter)	انتشار ۲ (گرم بر مترمربع) Emissions 2 (grams per square meter)	غلظت (میکروگرم بر مترمکعب) Concentration (micrograms per cubic meter)
0.0006	0.0006	1010
0.0008	0.0004	677
0.0009	0.0008	1350
0.0009	0.0009	1520

ضمن اینکه از این فرمول می توان برای پیش بینی تولید گرد و غبار استفاده گردد.

نتیجه گیری

با توجه به غلظت های خروجی مدل و مقایسه با داده های ایستگاه های پایش در این مطالعه می توان نرخ تولید آلاینده ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون را در هر نقطه از کشور که دارای رخ داد گردو غبار می باشد محاسبه نمود.

در روز ۱۵ ژوئن ۲۰۱۹ گرد و غباری در زمین های خالی اطراف شهر اهواز رخ داده است. مدت زمان وقوع پدیده گرد و غبار در سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ کوتاه بوده است پهنه های وقوع گردو غبار مشخص می باشد مدل با توجه به اینکه ساعت به ساعت غلظت آلاینده پیش بینی می کننده داده های سنجش هم ساعتی است با استفاده از مدل پیش بینی گرد و غبار انجام می شود. فرمول موجود اصلاح شده و ضرایب A, B اصلاح گردید.

می گردد نظم و نسخ به داده های غلظت و رخ داد گردو غبار در کل کشور داده شود و برآورد میزان پوشش گیاهی به تفکیک مناطق در کشور برورسانی گردد.

پی نوشت

¹ Weather Research and Forecasting model

Alizadeh-Choobari, O., Zawar-Reza, P., Sturman, A. 2013. Low level jet intensification by mineral dust aerosols. *Ann. Geophys.* 31, 625–632.

Buchani, M.H. and Fazeli, D., 2012. Environmental Challenges and Their Consequences and Its Consequences in Western Iran. *Quarterly Journal of Policy Making.* 2 (3), 125-145.

Bahiraei, H., Ayazi, M. H., Rajaei, M. and Ahmadi, H. 2011. Synoptic Statistical Analysis of Dust Occurrence in Ilam Province. *Journal of New Attitudes in Human Geography.* 4, 47-67.

Crosbie, E., Sorooshian, A., Monfared, N.A., Shingler, T. and Esmaili, O., 2014. A multi-year aerosol characterization for the greater tehran area using satellite, surface, and modeling data. *Atmosphere.* 5(2), 178-197.

Chakravarty, K., Vincent, V., Vellore, R., Srivastava, AK., Rastogi, A. and Soni, VK. (2021). Revisiting Andhi in northern India: A case study of severe dust-storm over the urban megacity of New Delhi. *Urban Climate* 37.

CALPUFF, 2000. Dispersion Model (Version 5) A User's Guide. Earth Tech Inc, Concord, MA, USA.

Cao, Hiu., Amiraslani, F. and Jian Zhou, Na., 2015. Science of the Total Environment Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. 10.1016/j.scitotenv.2014.09.025

به منظور مدیریت کیفیت هوا، به عنوان مثال توسعه استراتژی کنترل و ارزیابی ظرفیت انتقال آلاینده ها و ارائه روش های کنترل کانون های گردو غبار در داخل کشور و مهار کانون های گردو غبار مورد استفاده قرار می گیرد، با توجه به عدم انسجام داده ها در کل کشور و وجود نداشتن پایگاهی معتبر برای ثبت رخداد های گردو غبار پیشنهاد

منابع

Goudie, A., 2009. Dust storms: Recent developments. *Journal of Environmental Management* 90, 89–94.

Goodarzi, M., Hosseini, S. A. and Ahmadi, H. 2018. Investigation of Time Distribution of Days Associated with Dust in West and Southwestern Iran. *Iranian Watershed Management Science.* 11(39), 1-10.

Hojati, S., Khademi, H., Faz Cano, A. and Landi, A., 2012. Characteristics of dust deposited along a transect between central Iran and Zagros Mountains. *Catena.* 88, 27-36.

Iraji, F., Memarian, MH., Joghataei, M. and Ghafarian Malamiri, HR., 2021. Determining the source of dust storms with use of coupling WRF and HYSPLIT models: A case study of Yazd province in central desert of Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans.* 93, 101-197.

Jish Prakash, P., Stenchikov, G., Kalenderski, S., Osipov, S. and Bangalath, H., 2015. The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea. *Atmos. Chem. Phys.* 15, 199–222.

Jalali Farahani, V. and Arhami, M., 2019. Contribution of Iraqi and Syrian dust storms on particulate matter concentration during a dust storm episode in receptor cities: Case study of Tehran. *Atmospheric Environment, AEA* 117163.

Karami, S., Hossein Hamzeh, N., Kaskaoutis, D., Rashki, A., Alam, K. and Ranjbar, A. 2021.

- Numerical simulations of dust storms originated from dried lakes in central and southwest Asia: The case of Aral Sea and Sistan Basin. *Aeolian Research*. 50, 100679.
- Kontos, S., Kakosimos, K., Liora, M., Poupkou, A. and Melas, D., 2021. Towards a regional dust modeling system in the central Middle East: Evaluation, uncertainties and recommendations. *Atmospheric Environment*. 246, 118160.
- Meng, L., Yang, X., Zhao, T., He, Q., Lu, H., Mamtimin, A., Huo, W., Yang, F. and Liu, C. 2019. Modeling study on three-dimensional distribution of dust aerosols during a dust storm over the Tarim Basin, Northwest China. *Atmospheric Research* 218, 285–295.
- Mohammadpour, K., Sciortino, M., Saligheh, M., Raziei, T. and Darvishi Boloorani, A. (2021). Spatiotemporal regionalization of atmospheric dust based on multivariate analysis of MACC model over Iran. *Atmos. Res.* 249, 105322.
- Moradi, P. and Elmizadeh, H., 2012. The phenomenon of dust and its effects on health and the environment, with emphasis on state khozestan. National Conference on Air Flow and Pollution. University of Tehran, 14 ~ 15 November 2012. (In Persian with English abstract).
- Nabavi, S.O., Haimberger, L. and Samimi, C., 2017. Sensitivity of WRF-Chem predictions to dust source function specification in West Asia. *Aeol. Res.* 24, 115–131.
- Perez, L., Tobías, A., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A. and Díaz, J., Sunyer, J. 2012. Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality: a case–crossover study in Barcelona (Spain). *Environ. Int.* 48, 150–155.
- Pulugurtha, S. and James, D., 2006. Estimating windblown PM-10 emissions from vacant urban land using GIS. *Journal of Hazardous Materials* 132, 47–57.
- Rashki, A., Middleton, N.J. and Goudie, A.S., 2021. Dust storms in Iran – Distribution, causes, frequencies and impacts. *Aeol. Res.* 48, 100655.
- Ravi, S. and Breshears, D.D, Huxman, T.E. and D’odorico, P., 2010, “Land Degradation in Drylands: Interactions Among Hydrologic-Aeolian Erosion and Vegetation Dynamics”, *Geomorphology* 116, pp 236-245.
- Salmabadi, H., Khalidy, R. and Saeedi, M. (2020). Transport routes and potential source regions of the Middle Eastern dust over Ahvaz during 2005–2017. *Journal Pre-proof*. 19(3), 14-53.
- Turtos Carbonell, L., Capote Mastrapa, G., Fonseca Rodriguez, Y., Alvarez Escudero, L., Sanchez Gacita, M., Bezanilla Morlot, A. and Borrajero Montejo, M., Meneses Ruiz, E., Pire Rivas, S., 2013. Assessment of the Weather Research and Forecasting model implementation in Cuba addressed to diagnostic air quality modeling. *Atmospheric Pollution Research*. 4 (2013) 64-74.
- Tsiouri, V., Kakosimos, K.E. and Kumar, P., 2015. Concentrations, sources and exposure risks associated with particulate matter in the Middle East Area a review. *Air Quality, Atmosphere & Health* 8, 67–80.
- Zoljoodi M., Didevarasl A. and Ranjbar Saadatabadi A., 2013. Dust Events in the Western Parts of Iran and the Relationship with Drought Expansion over the Dust-Source Areas in Iraq and Syria. *Atmospheric and Climate Sciences*. 3, 321-336.





Environmental Sciences Vol.20 / No.4 / Winter 2023

277-290

Original Article

Determination of PM₁₀ emission rate in Vacant lands using CALPUFF dispersion model

Mahsa Tamjidi,¹ Yousef Rashidi,^{2*} Majid Abbaspour Tehrani¹ and Seyed Alireza Mirzahoseini¹

¹ Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Department of Environmental Technologies, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2022.06.15 Accepted: 2022.07.06

Tamjidi, M., Rashidi, Y., Abbaspour Tehrani, M. and Mirzahoseini, S.A., 2023. Determination of PM₁₀ emission rate in Vacant lands using CALPUFF dispersion model. *Environmental Sciences*. 20(4): 277-290.

Introduction: Dust is one of the most important atmospheric phenomena It happens in spring and summer in many regions, including Iran and neighboring countries And it is one of the important challenges of the 21st century And this phenomenon in the global scale of arid and semi-arid regions and due to climate change, vegetation change, progressive processes of soil erosion and disturbances resulting from them, the sensitivity of the regions to rapid erosion which will have important reactions on the climate of the region and desertification. The purpose of this research is to determine the intensity of the pollution production rate of suspended particles less than 10 microns using modeling and comparing the output results with the measured data. and changing the intensity of the pollution production rate based on the measured data and calculating the formula for determining the PM₁₀ emission rate It is caused by the dust incident in Ahvaz city.

Material and methods: Ahvaz metropolis considering the complex topography In a dry area and in the vicinity of the main and primary sources of dust, it has special conditions In this study, the concentration of suspended particles less than 10 microns was investigated on the 15th of June 2019. On this date, the maximum PM₁₀ concentration in Ahvaz city was 1422 micrograms per cubic meter on June 15. that the concentration of these particles was more than 9 times the standard concentration of free air of the Environmental Protection Organization of Iran (150 micrograms per cubic meter). From the concentration data of the environmental protection organization measurement station and surface meteorological and upper atmosphere data of Ahvaz station have been used to implement CALPUFF model and concentration outputs

* Corresponding Author: *Email Address*. Y_rashidi@sbu.ac.ir

Results and discussion: By studying library documents, the basic calculation formula for determining the emission rate of PM₁₀ pollutant has been estimated, and then it has been compared with the data of the monitoring stations located in the city of Ahvaz, and by modifying the calculation formula and implementing the CALPUFF diffusion and dispersion model, it has been calculated according to the actual concentration recorded by the online station. The monitoring of the Environmental Protection Organization was reached and finally the emission rate of suspended particles less than 10 microns from the centers around the city of Ahvaz was determined.

Conclusion: The emission rate of PM₁₀ pollutant has been obtained using the calculation formula and the implementation of the CALPUFF diffusion and dispersion model, which is important in the prediction of the dust phenomenon and provides the possibility of calculating the amount of production and the movement path of the particles. He thought about taking the necessary decisions to reduce the possible damages caused by this phenomenon. And using the combination of measurement and modeling, he achieved a methodology to calculate PM₁₀ dust emissions from city centers.

Keyword: Wind erosion, PM₁₀ emission rate, Meteorological model.