

دوره‌ی ۳۴، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۳۲، پاییز ۱۴۰۰، صفحه‌های ۱۸۱-۱۶۵
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2021.352562.1371

پژوهش‌های آبخرداری

مقاله‌ی پژوهشی



منشأیابی مکان‌های مستعد فرسایش بادی و گردوغبار با شبیه‌ساز USEPA در منطقه‌ی دلازیان، شهرستان سمنان

داود نامدار خجسته

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران
اسماعیل مرادی
دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: d.namdar@shahed.ac.ir

تاریخ دریافت: ۰۴ آذر ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۲۵ اسفند ۱۳۹۹

چکیده

فرسایش بادی و گردوغبار ناشی از آن از مهم‌ترین چالش‌ها در بسیاری از سرزمین‌های جهان از جمله ایران است. شناسایی منشأ تشکیل گردوغبار اولین مرحله برای مهار این پدیده است. برای منشأیابی فرسایش بادی و گردوغبار روش‌های پرشماری از جمله سنجش‌ازدور، تجزیه‌ی فیزیکی و شیمیایی، و شبیه‌سازهای تجربی هست. هدف از این پژوهش منشأیابی گردوغبار در استان سمنان با شبیه‌ساز سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا است. برای شبیه‌سازی با این روش در سال ۱۳۹۷ ۵۰ مکان در منطقه‌ی دلازیان در استان سمنان شناسایی و به روش تصادفی نمونه‌برداری شد. آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شد. شاخص‌های اقلیمی اندازه‌ی بارندگی، تبخیر و تعرق، سرعت باد، دما، و رطوبت برای دوره‌ی ۹ ساله از سازمان هواشناسی کل کشور گرفته شد. با کاربرد شاخص‌های اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی خاک در شبیه‌سازهای مختلف، اندازه‌ی فرسایش Q_{30} ، Q و Q_{50} جداگانه محاسبه شد. نقشه‌ی ویژگی‌های اقلیمی، بافت، و اندازه‌ی فرسایش خاک با روش‌های زمین‌آماری و درون‌یابی RBF و IDW ترسیم شد. تنها اندازه‌های لای، Q_{30} و Q_{50} در شرایط بهنجار بود، و بنابراین به روش‌های زمین‌آماری درون‌یابی شد. بعد از تلفیق نقشه‌ها، مکان‌های بحرانی و خیلی‌بحرانی مستعد گردوغبار به‌دست آمد. نتیجه نشان داد که منطقه از دیدگاه شاخص خشکی (۱۹/۰۲)، بارندگی (۱۲۷/۹۶ میلی‌متر)، و پستی‌بلندی (دشت) در وضعیت خیلی‌بحرانی، و از دیدگاه بافت خاک (میانگین بیش از ۵۰٪ شن و کم‌تر از ۳۰٪ لای) در وضعیت بحرانی بود. منطقه‌ی دلازیان با اندازه‌ی فرسایش بادی (Q) بین ۵۵-۹ kg/ha/yr در وضعیت هشدار، و با روزهای گردوغباری با میانگین ۲ روز در سال، با میانگین سرعت باد ۱/۹۸ m/s در وضعیت عادی بود. نتیجه‌های کلی نشان داد که اگرچه برخی از شاخص‌ها بحرانی و خیلی‌بحرانی بود، منطقه از دیدگاه منشأ گردوغبار در تراز عادی است.

واژگان کلیدی: اقلیم، شرایط بحرانی، فرسایش بادی، ویژگی‌های فیزیکی

مقدمه

فرسایش بادی و آبی از اصلی‌ترین فرآیندهای تخریب زمین در جاهای مختلف دنیا از جمله ایران است. این پدیده نه تنها باعث تهدید منابع‌های آب و خاک می‌شود (آزموده و همکاران ۲۰۱۰؛ کله‌هوایی و همکاران ۲۰۱۸)، بل که اثر آن بر آب‌گیر سدها (گاونچنگ ۲۰۰۴)، شست‌وشوی سطحی خاک، مواد آلی و حاصل‌خیزی خاک (کلارستانی و همکاران ۲۰۰۹؛ وانگ و همکاران ۲۰۱۱)، سیل‌های مخرب و افت تراز آب‌های زیرزمینی (مصفايي و طالبی ۲۰۱۴)، افزایش روان‌آب و سیلاب (کریمی و همکاران ۲۰۱۵) و سلامت انسان (نامدارخجسته و همکاران ۲۰۲۰) تأثیرگذار است. این عامل طبیعی در تخریب چهره‌ی سیمای طبیعی کره‌ی زمین قدمتی برابر عمر آن داشته است (دیو و همکاران ۲۰۱۸)، اما با افزایش جمعیت، تلاش برای رفع نیازهای بشری از یک سو و دست‌اندازی انسان بر منابع‌های طبیعی به همراه مدیریت‌های ناصولی باعث شده است، که در قرن بیستم پژوهش‌های علمی و عملی بر پویایی و شیوه‌ی اثر فرسایش به‌همراه کنش و اندرکنش‌های میان عامل‌های این پدیده انجام شود (احمدی و همکاران ۲۰۰۷). شدت و سرعت باد، پوشش گیاهی سطح خاک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، کاربری، و پستی‌بلندی منطقه (صدیقی و همکاران ۲۰۲۰) بر فرسایش بادی مؤثر است (بوعلی و همکاران ۲۰۱۷). اندازه‌ی کل فرسایش خاک در جهان ۲۶ میلیارد تن برآورد شده و سهم ایران از آن در حدود ۲ میلیارد تن است (قاسمی ۲۰۱۰). فرسایش بادی در جاهایی با بارندگی کم‌تر از ۱۵۵ mm اهمیت ویژه‌ی دارد. فرسایش بادی به‌دلیل گستردگی معمولاً عمل‌کرد تخریبی خفیف‌تری از فرسایش آبی دارد، ولی به‌علت تداوم فرسایش در زمان و مکان، سرجمع جابه‌جایی با این نوع فرسایش در جاهای خشک به‌مراتب از فرسایش بادی بیش‌تر است (بهلولی ۲۰۰۶). در سال‌های ۱۹۳۴-۱۹۳۰ فرسایش بادی ۳۰۰ میلیون تن بود، و این مقدار خاک فرساییده در شهرها و مکان‌های دیگر ته‌نشین شد (رفاهی ۲۰۰۶). حدود ۲۰ میلیون هکتار از زمین کشور در ۱۴ استان و ۸۲ شهرستان در معرض فرسایش بادی است (بوعلی و همکاران ۲۰۱۷). فرسایش ویژه‌ی کشور بین ۱۶-۲۵ tons/ha و اندازه‌ی رسوب کل ۱۲۹ میلیون تن برآورد شد (مصفايي و طالبی ۲۰۱۴).

حدود ۱۲۵ میلیون هکتار از آب‌خیزهای کشور در تأثیر فرسایش آبی و ۳۳ میلیون هکتار در تأثیر فرسایش بادی است. بنابراین یافتن روش‌هایی برای برآورد علمی و دقیق‌تر اندازه‌ی فرسایش و تولید رسوب در کشور برای مهار آن ضروری است. شبیه‌سازها و روش‌های فرسایش بادی ابزارهای مهمی برای ارزیابی اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک، شناسایی شیوه‌های مدیریت برای مهار فرسایش و گردوغبار است (پی و همکاران ۲۰۱۷).

با ظهور شبیه‌سازهای فرسایش بادی، از شبیه‌سازهای تجربی و فیزیکی تا ریاضی، درک بهتری از سازوکارها و ویژگی‌های تأثیرگذار بر فرسایش بادی به‌وجود آمده، و زمینه‌ی ارزیابی را نه‌تنها برای فرسایش‌پذیری خاک، که مدیریت حفاظت و مهار آن فراهم آورده است. شبیه‌سازهای فرسایش بادی اطلاعات مفیدی به مدیران و سیاست‌گذاران برای پرداختن به موضوع‌های اصلی یعنی منشأیابی و مهار فرسایش بادی می‌دهد (جراح و همکاران ۲۰۲۰). در چند دهه‌ی گذشته تلاش‌های مستمری برای تهیه‌ی شبیه‌سازها، و روش‌هایی از جمله WEPS، IRIFR، WEQ و USEPA برای اندازه‌گیری اندازه‌ی فرسایش بادی و منشأیابی گردوغبار در زمین‌های کشاورزی انجام‌گرفته است (واعظی ۲۰۱۰).

رنجبر و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی منطقه‌ها و کانون‌های تولید گردوغبار با کاربرد شبیه‌ساز USEPA در استان ایلام، بهرام‌آباد (ایلام) و ابوغویر (دهلران) را به‌دلیل مطابقت‌داشتن بیشینه با معیارهای شناسایی کانون گردوغبار، کانون‌های خیلی‌بحرانی منشأ گردوغبار دانستند. نتیجه‌های مائو و همکاران (۲۰۱۴) از بررسی ویژگی‌های فرسایش بادی و رسوب‌گذاری در واحه‌ی بیابانی بوممرز در حاشیه‌ی جنوبی حوزه‌ی تاریخیم چین نشان داد که حجم فرسایش بادی ارتباط نزدیکی با پوشش گیاهی منطقه و پستی‌بلندی دارد. وانگ و همکاران (۲۰۱۵) در شمال چین به این نتیجه رسیدند که فرسایش بادی در زمین بی‌پوشش گیاهی و مرتع‌های تخریب‌شده تأثیر بسیاری بر اندازه‌ی گسترش بیابان‌زایی دارد. شون و همکاران (۲۰۰۴) در شناسایی و توصیف نیوار گردوغبار در شرق آسیا با کاربرد شبیه‌ساز USEPA مشخص کردند که یکی از اولین منطقه‌های منشأ گردوغبار در شرق آسیا بیابان‌های شمال چین و جنوب مغولستان است. اندازه‌ی گردوغبار در مغولستان از شمال به جنوب این کشور افزایش می‌یابد. منشأ گردوغبار در شرق آسیا از دو بخش، گردوغبار فلات مغولی و حوزه‌ی تاریخیم تشکیل شده است. تیلور و همکاران (۲۰۰۲) در منطقه‌ی غرب آسیا با بررسی وضعیت فعلی و فرآیند بیابان‌زایی دریافتند که اولین عامل مهم و مؤثر در بیابان‌زایی منطقه افزایش فرسایش بادی متأثر از چرای شدید است. شون و لیو (۲۰۰۰) در بررسی منشأ گردوغبار مواد معدنی در شمال چین (بزرگ‌ترین منبع گردوغبار در جهان) با شبیه‌ساز USEPA نشان دادند که دو نوع گستره از منبع‌های گردوغبار از جمله بیابان گبی و منطقه‌های خشک در شمال چین است. صحرای گبی بیابانی بزرگ در شرق آسیا است (بخشی از آن در شمال و شمال غرب چین، و بخش دیگر در جنوب مغولستان) و بیش‌ترین گردوغبار را در منطقه ایجاد می‌کند.

یکی از روش‌های جدید برای اندازه‌گیری کمی فرسایش بادی، کاربرد شبیه‌ساز سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا است

کمی می‌کند. برتری دیگر این شبیه‌سازها (USEPA) اندازه‌گیری فرسایش برای ذره‌هایی با اندازه‌ی مختلف (۲/۵، ۳۰ و ۵۰ میکرومتر) است. هدف اصلی این پژوهش اندازه‌گیری هدررفت خاک با شبیه‌ساز USEPA برای ذره‌هایی با اندازه‌ی متفاوت، و هدف فرعی آن منشأیابی اندازه‌ی گردوغبار بر پایه‌ی شاخص‌های اقلیمی (سرعت باد، تعداد روزهای گردوغباری، اندازه‌ی تبخیر و تعرق، اندازه‌ی بارندگی، شاخص خشکی)، خاک (توزیع اندازه‌ی ذره‌های و بافت خاک)، و پستی‌بلندی منطقه است. نوآوری این پژوهش منشأیابی گردوغبار با شاخص‌های اقلیم، خاک و پستی‌بلندی، و نوع شبیه‌ساز به‌کاررفته برای برآورد فرسایش بادی است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی بررسی‌شده با مساحت بیش از ۶۱۰۰۰ هکتار در استان سمنان در شمال‌کویر مرکزی ایران (دشت کویر) و جنوب روستای دلازیان است (شکل ۱). دلیل انتخاب کردن این منطقه بودن گردوغبار محلی و اندازه‌ی فرسایش زیاد در آن بود. اقلیم منطقه بر پایه‌ی داده‌های ۹ ساله (۱۳۹۵-۱۳۸۶) و کاربرد روش آمبرژه خشک و سرد است. پوشش گیاهی در بخش عمده‌ی کویر بسیار ضعیف است و بیش‌تر گیاهان خشکی‌پسند و شورپسند در آن دیده می‌شود. منطقه یک‌دست با تپه‌های فرساییده است، و در جاهایی تل‌ماسه‌های گیاهی دیده می‌شود. در بخش کوچکی از منطقه زمین کشاورزی، زمین تاغ‌کاری‌شده، شورزارهایی با پوشش کم، پهنه‌های ماسه‌یی و دشت ریگی است (مهمین پرست ۲۰۱۵). بعد از بازدید میدانی از منطقه و بررسی‌های آغازینی، نمونه‌برداری تصادفی کارشناسی‌شده از عمق ۳۰-۳۰ سانتی‌متری از ۵۰ جا در جنوب روستای دلازیان انجام شد. پس از کنارزدن لایه‌ی رویی خاک، با بیل گودالی به عمق ۳۰ سانتی‌متر در خاک کنده و از کنار گودال از تراز صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌ی ساده‌ی خاک به وزن تقریبی ۲ kg برداشته می‌شد. آزمایش‌های توزیع اندازه‌ی ذره‌ها، بافت خاک و شوری بر نمونه‌ها انجام شد.

(شون ۱۹۹۹). این شبیه‌ساز که محققان ایرانی در دو سال گذشته به آن توجه کرده‌اند برتری‌هایی به شبیه‌سازهای رایج در ایران از جمله شبیه‌سازهای ایریفر^۱ و فرایند محور دارد. در شبیه‌ساز ایریفر ۹ مؤلفه‌ی مؤثر بر فرسایش بادی تعریف و طبقه‌بندی می‌شود، و پس از امتیازدهی کارشناس به هر عامل، احتمال فرسایش بادی به‌دست می‌آید (کوچمی ساردو و همکاران ۲۰۱۷). نتیجه‌های به‌دست آمده تا حدود زیادی متأثر از تجربه‌ی کارشناس و نحوه‌ی امتیازدهی است. کاربرد شبیه‌سازهای فرایند محور از جمله سامانه‌ی پیش‌بینی فرسایش بادی (WEPS)^۲، شبیه‌ساز فنی تجزیه‌وتحلیل فرسایش بادی (TEAM)^۳، شبیه‌ساز تغییرپذیری فرسایش بادی (WESS)^۴ و معادله‌ی بازنگری‌شده‌ی فرسایش بادی (RWEQ)^۵، بیش‌تر برای آمریکا توسعه یافته است (صادقی روش و همکاران ۲۰۱۲). کاربرد این شبیه‌سازها در کشورهایی مانند ایران به‌دلیل داشتن متغیرهای زیاد و داده‌های متنوع برای برآورد فرسایش بادی، خطای فراوانی دارد و گاهی دقت آن‌ها در حدود ۶۰٪ اندازه‌های واقعی است (عظیم‌زاده ۲۰۰۷). کاربرد عمده‌ی این شبیه‌سازها برای منطقه‌های کوچک است، و برای برآورد فرسایش بادی در منطقه‌های وسیع محدودیت‌هایی دارد (وب و همکاران ۲۰۰۹). بیش‌ترین اندازه‌ی فرسایش بادی و گردوغبار در ایران در منطقه‌های خشک و بی‌کشاورزی اتفاق می‌افتد (زهتابیان و همکاران ۲۰۰۲). از آن‌جا که شبیه‌سازها بیش‌تر برای زمین‌های کشاورزی ساخته شده‌است در ایران کارایی چندانی ندارد. از سوی دیگر، برآورد فرسایش بادی با این شبیه‌سازها مستلزم انجام پژوهش‌های جدید در هر منطقه برای به‌دست آوردن ضریب‌های هر شبیه‌ساز است، و واسنجی آن‌ها باید با نگاه به شرایط هر منطقه باشد (کوچمی ساردو و همکاران ۲۰۱۷).

شبیه‌سازهای کاربردی در این پژوهش کمبودهای شبیه‌سازهای قبلی را ندارد و اندازه‌ی هدررفت خاک را بر پایه‌ی ویژگی‌های خاک (مخصوصاً اندازه‌ی ذره‌ها)، سرعت باد، اندازه‌ی تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی و ویژگی‌های پستی‌بلندی منطقه محاسبه‌ی

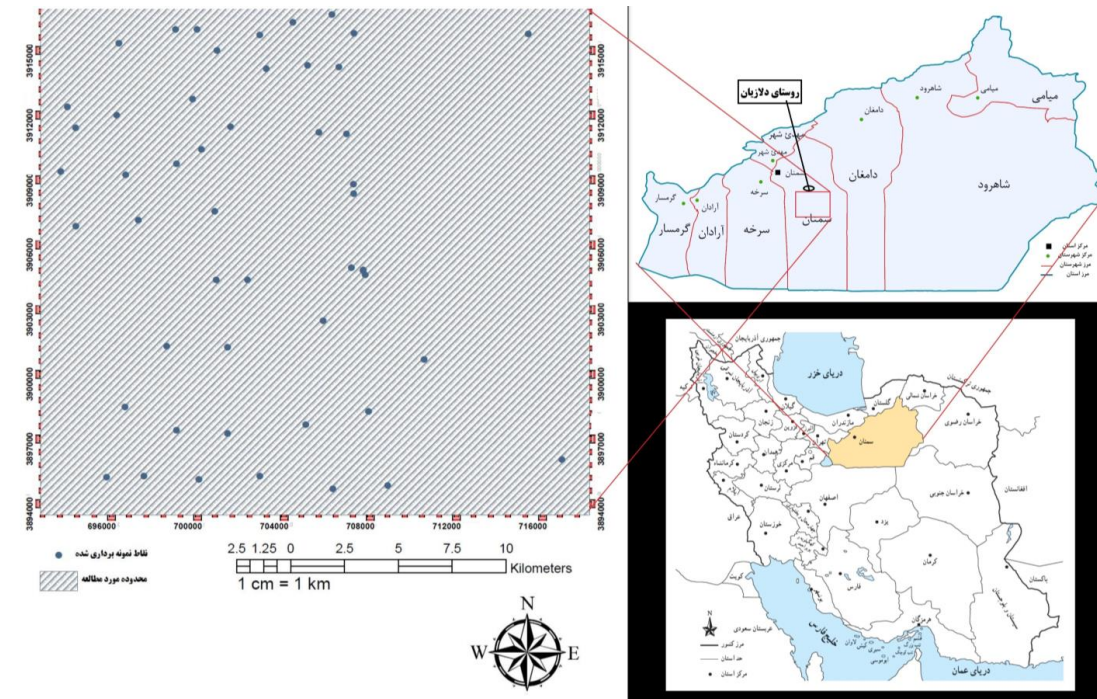
1 - IRIFER

2 - Wind Erosion Prediction System

3 - Tech Erosion Analysis Model

4 - Wind Erosion Stochastic Simulator

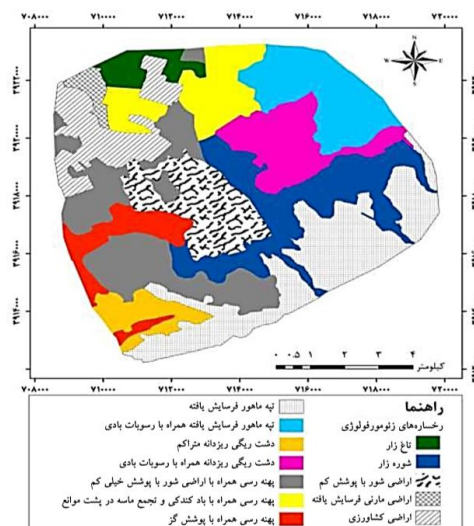
5 - Revised Wind Erosion Equation



شکل ۱- نقشه‌ی منطقه‌ی بررسی شده.

خشک به دلیل نبود مانع برای کاهش دادن سرعت باد، و کم بودن پوشش گیاهی مستعد فرسایش بادی است (میهن پرست ۲۰۱۵). منطقه از دیدگاه این شاخص در وضعیت فوق بحرانی است (جدول ۱).

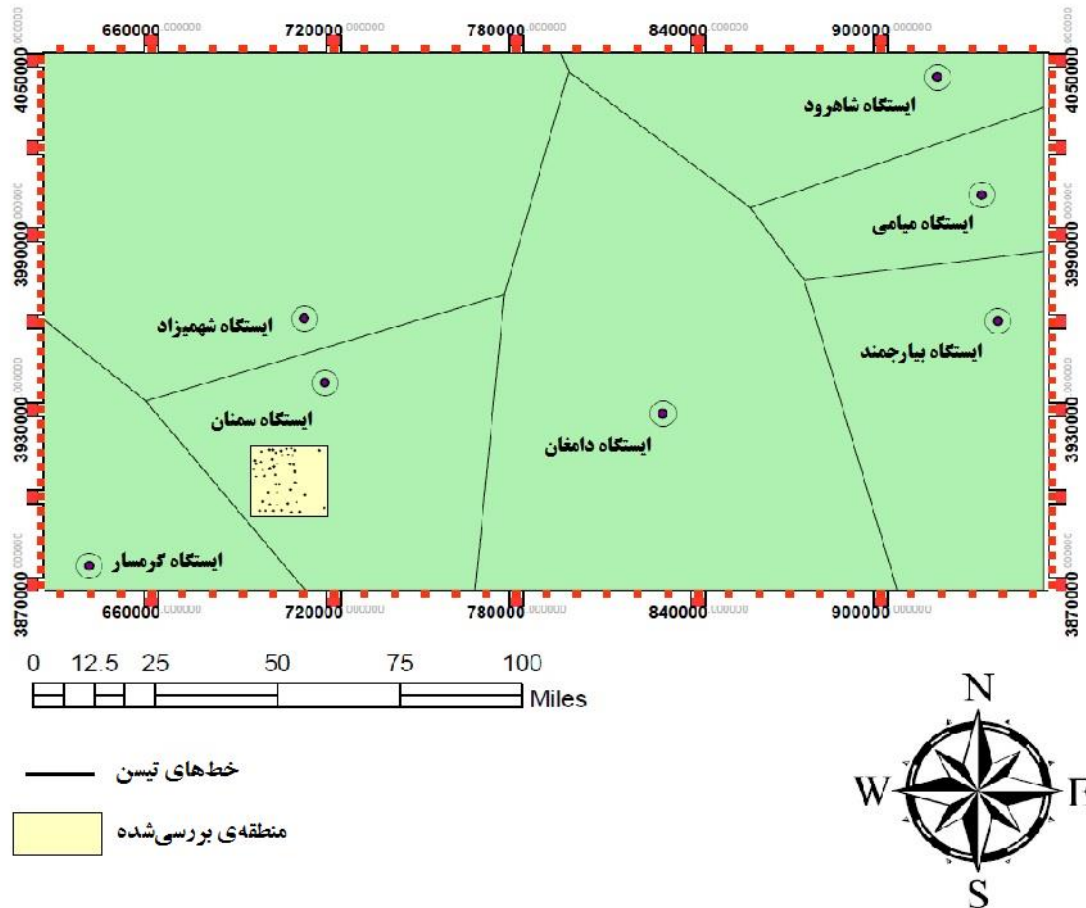
شرایط پستی بلندی و زمین ریخت شناسی تأثیر زیادی در حساسیت زمین به فرسایش بادی دارد (لیو و همکاران ۲۰۲۰). بازدید صحرایی و نقشه‌ی رخساره‌های زمین ریخت شناسی (شکل ۲) نشان داد که منطقه از دیدگاه زمین ریخت شناسی در واحد کاری دشت است. واحد کاری دشت در منطقه‌های



شکل ۲- رخساره‌های زمین ریخت شناسی در منطقه‌ی دلازیان، شهرستان سمنان (میهن پرست ۲۰۱۵).

باقی‌مانده روی الک‌ها وزن کرده، و درصد ذره‌های کوچک‌تر از ۰/۰۷۵ و ۰/۰۶۳ میلی‌متر برای محاسبه‌ی اندازه‌ی هدررفت خاک در شبیه‌سازهای مربوط به کار برده‌شد (کلوت ۱۹۸۸). داده‌های آب‌وهوایی از جمله تبخیر، سرعت باد، بارندگی، و تعداد روزهای گردوغباری از منبع محلی گرفته شد (اداره‌ی کل هواشناسی استان سمنان ۱۳۹۸) (شکل ۳).

برای اندازه‌گیری ذره‌های اولیه از جمله اندازه‌ی شن، لای و رس، بافت خاک به روش آب‌سنجی (بلک ۱۹۶۵)، و برای اندازه‌گیری میانگین قطر خاک‌دانه دستگاه الک خشک به کار برده شد. از هر نمونه‌ی خاک ۱۰۰ گرم وزن کرده و در دستگاه الک‌تر با ترتیب الک‌های از بالا به پایین (الک ۴، ۲، ۱، ۰/۰۷۵، ۰/۰۶۳ میلی‌متر) گذاشته شد. بعد از ۱۵ دقیقه، خاک



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی.

U: میانگین سرعت سالانه‌ی باد (متر بر ثانیه)، PE: شاخص بارش-تبخیر. مقدار PE با معادله‌ی ۳ به دست آمد. پویان و همکاران (۲۰۱۵) مقدار عامل اقلیمی (C) را برای تخمین اندازه‌ی فرسایش بادی بررسی کردند، و نشان دادند که سنجه‌ی اقلیمی (C) علاوه بر سرعت باد در تأثیر شاخص‌های دیگر نیز است.

$$PE = 300 \frac{P}{E} \quad ۳$$

P: میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر)، E: میانگین تبخیر از تشتک سالانه.

برای اندازه‌گیری و محاسبه‌ی گردوغبار معادله‌ی ۱ سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (شون ۱۹۹۹) به کار برده شد.

$$Q = ceKCLVA \quad ۱$$

Q: مقدار فرسایش در سطح A هکتار (تن بر هکتار در سال)، C: مقدار کل ذره‌های معلق، e: شاخص فرسایش‌پذیری خاک، V: ضریب پوشش گیاهی، L: عامل عرض، K: ضریب زبری سطح، و C: عامل‌های اقلیمی که از معادله‌ی ۲ به دست آمد.

$$C = \frac{0.504U^3}{PE^2} \quad ۲$$

میانگین سالانه‌ی شاخص خشکی معادله‌ی ۶ به‌کاربرده شد (شون و همکاران ۲۰۰۴).

$$R = \frac{e}{p} \quad 6$$

R: شاخص خشکی، e: بیشینه‌ی احتمال تبخیر و تعرق، p: اندازه‌ی بارندگی

منطقه‌هایی با اندازه‌ی رس کم و شن زیاد مکان‌های مستعد گردوغبار است. به‌طور کلی باید اندازه‌ی رس کم‌تر از ۵٪ یا اندازه‌ی شن بیش‌تر از ۵۰٪ باشد تا شرایط برای گردوغباری بودن منطقه آماده باشد (شون ۱۹۹۹).

پس از محاسبه‌ی مقدار Q با کاربرد شاخص‌های فراوانی وقوع گردوغبار، میانگین سالانه‌ی سرعت باد، شاخص خشکی، بافت سطحی، و پستی‌بلندی منشأ تولید غبار در چهار تراز خیلی‌بحرانی، بحرانی، هشدار و عادی به‌دست آمد (جدول ۱). این جدول معیارهای شناسایی مکان‌های مستعد گردوغبار بر پایه‌ی موقعیت گیتاشناسی و خاک را نشان می‌دهد. نقشه‌ی کانون‌های مستعد گردوغبار با کاربرد روش‌های زمین‌آماری و نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس ۱۰٫۲ ترسیم شد. همه‌ی لایه‌ها با کد نویسی در آرک جی‌آی‌اس روی هم گذاشته‌شد. منطقه به چهار وضعیت خیلی‌بحرانی، بحرانی، هشدار (مکان‌های مستعد گردوغبار) و عادی (مکان‌هایی که منشأ گردوغبار نیست) تقسیم شد (جدول ۱).

برای اندازه‌گیری، فرسایش ذره‌های PM_{30} (tons/ha/yr) و فرسایش ذره‌های PM_{50} (tons/ha/yr) معادله‌های ۴ و ۵ به‌کاربرده شد.

$$Q_{30} = 0.2058 e c_{75} f P E^{-2} \quad 4$$

$$Q_{50} = e c_{50} K C L V A \quad 5$$

c_{50} و c_{75} به‌ترتیب درصد وزنی ذره‌های کوچک‌تر از ۷۵ و ۵۰ میکرومتر، f نسبت سرعت آستانه‌ی سرعت باد (نسبت به سرعت باد بیش‌تر از ۵/۴ متر بر ثانیه).

بنابراین می‌توان گفت که فرسایش بادی (عمدتاً گردوغبار) عمدتاً بر ذره‌هایی عمل می‌کند که قطر آن‌ها کم‌تر از میکرومتر ۵۰ یا میلی‌متر ۰/۰۵ باشد (شون و لیو ۲۰۰۰).

برای شناسایی منطقه‌های مستعد منشأ گردوغبار به ویژگی‌های جغرافیایی، خاک‌شناسی و اقلیمی نیاز است (شون ۱۹۹۹). برای گزینش مکان نقطه‌ی فوق بحرانی، بحرانی و هشدار باید شرایطی در نظر گرفته شود. اگر اندازه‌ی Q بیش‌تر از ۰/۰۰۱، میانگین سالانه‌ی فراوانی توفان گردوغبار بیش‌تر از ۵ روز در سال با دید کم‌تر از ۱ km، میانگین سالانه‌ی سرعت باد یا آستانه‌ی میانگین سرعت باد بیش‌تر از ۵/۴ m/s در سال، میانگین سالانه‌ی شاخص خشکی بیش از ۲/۵، و اندازه‌ی بارندگی سالانه کم‌تر از ۴۰۰ mm/yr باشد، می‌توان آن منطقه را منشأ گردوغبار در وضعیت هشدار دانست (شون ۱۹۹۹). برای به‌دست آوردن

جدول ۱- طبقه بندی شناسایی مکان‌های مستعد گردوغبار (شون ۱۹۹۹).

وضعیت	Q (ton/ha.yr)	فراوانی وقوع گردوغبار (d/yr)	میانگین سالانه‌ی سرعت باد (m/s)	معیارهای شناسایی منشأ گردوغبار			پستی‌بلندی
				شاخص خشکی	میانگین سالانه‌ی بارندگی (mm)	بافت سطحی	
خیلی‌بحرانی	>۱۲	>۲۰	>۱۲/۸	>۱۰	<۲۰۰	شن >۵۰٪ لای >۳۲٪	دشت
بحرانی	>۱۲، <۳	>۱۰، <۲۰	>۵/۴، >۱۲/۸	>۵، <۱۰	<۲۰۰	شن >۵۰٪ لای <۳۲٪	تپه‌ماهوری
هشدار	>۰/۰۰۱	>۵	>۵/۴	>۲/۵	۳۰۰-۴۰۰	شن >۵۰٪	نیمه‌کوهستانی
عادی	<۰/۰۰۱	<۵	<۵/۴	>۲/۵	>۴۰۰	شن <۵۰٪	کوهستانی

بافت‌های شنی، شنی میانه‌بافت، و میانه‌بافت شنی به‌ترتیب در ۴۰، ۳۲ و ۲۰٪ از منطقه بود (شکل ۳).

نتایج و بحث

میانگین ذره‌های شن، لای و رس به‌ترتیب ۷۶/۲، ۱۸/۱ و ۵/۶٪ بود (جدول ۲). نتایج طبقه‌های بافت خاک نشان داد که

جدول ۲- توزیع فراوانی بافت خاک.

نمونه	شن (%)	لای (%)	رس (%)
میانگین	۷۶/۳	۱۸/۱	۵/۶
خطای میانگین	۲/۳	۱/۷	۰/۸
ضریب تغییر	۱۶/۱	۱۲/۴	۶/۲
پراش	۲۶۰/۱	۱۵۴/۷	۳۸/۸
کم‌ترین	۴۱	۱	۲
بیش‌ترین	۹۷	۵۴	۳۱

و با در نظر گرفتن ساختار فضایی (C/C+C₀)، هر یک از شبیه‌سازهای برازش داده شده، شبیه‌ساز مناسب برای برازش روی نمودار پیوستگی تجربی انتخاب شد. پس از شبیه‌سازی نمودار پیوستگی، تغییر مکانی با روش‌های مختلف پیش‌بینی شد. برای ارزیابی روش‌ها شاخص‌های MAE و RMSE به کار برده شد. نتیجه نشان داد که برای شن و رس روش معکوس فاصله با RMSE به ترتیب ۳/۰۴ و ۸/۱۷، و برای لای روش تابع شعاعی با RMSE ۷/۰۳ بهترین شبیه‌ساز برای درون‌یابی بود.

جدول ۳ نتیجه‌ی ارزیابی شبیه‌سازهای درون‌یابی ذره‌های رس، لای، و شن را نشان می‌دهد. ابتدا بهنجار بودن داده‌ها با روش‌های کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک مشخص شد، و بر پایه‌ی نتیجه‌های اولیه‌ی داده‌ها (بهنجار بودن یا نبودن)، مناسب‌ترین روش بین روش‌های درون‌یابی زمین‌آماري و قطعی از جمله کریجینگ (معمولی، عام، ساده)، روش معکوس فاصله (IDW) روش تابع شعاعی (RBF) و چند جمله‌یی محلی (LPI) انتخاب شد. ساختار مکانی بین داده‌ها با تجزیه‌ی نمودار پیوستگی (واریوگرام) بررسی شد و بعد از آزمون شبیه‌سازهای مختلف با کاربرد RSS، R²

جدول ۳- نتیجه‌های درون‌یابی با روش‌های مختلف.

شاخص‌های آماری	متغیر	شبیه‌ساز درون-یابی		نوع درون‌یابی
		MAE	RMSE	
۵/۶۸	۷/۷۵	لای	کریجینگ معمولی	زمین آماری
۵/۴۹	۷/۷۵	لای	کریجینگ عام	
۲/۲۳	۳/۰۴	شن	معکوس فاصله	
۴/۷۲	۷/۸۱	لای	تابع شعاعی	شبیه‌سازهای قطعی
۴/۱۴	۸/۱۷	رس		
۲/۸۹	۳/۳۰	شن		
۴/۲۳	۷/۰۳	لای	چندجمله‌یی محلی	
۸/۱۶	۸/۴۷	رس		
۲/۷۲	۳/۱۰	شن		
۶/۵۷	۷/۳۸	لای	رس	
۶/۳۷	۸/۲۴	رس		

بین بازه‌ی ۰ تا ۳۰٪ بود. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار لای ۱ و ۵۴٪ بود. ذره‌های لای بیش‌ترین ظرفیت برای ایجاد گردوغبار در منطقه دارند. از بافت خاک تقریباً ۴۰٪ شنی، ۳۲٪ شنی میانه‌بافت، ۲۰٪ میانه‌بافت شنی، ۴٪ لایی میانه‌بافت، ۲٪ میانه‌بافت و ۲٪ رسی میانه‌بافت بود. منطقه بیش‌تر شنی و بافت خاک منطقه سبک است. بافت سطحی به دلیل داشتن میانگین شن بیش از ۵۰٪ و میانگین لای کم‌تر از ۳۰٪ در وضعیت بحرانی است. هر چه خاک منطقه سبک‌تر باشد (شن بیش‌تر از ۵۰٪ و لای و رس کم‌تر از ۵۰٪) می‌توان آن را از

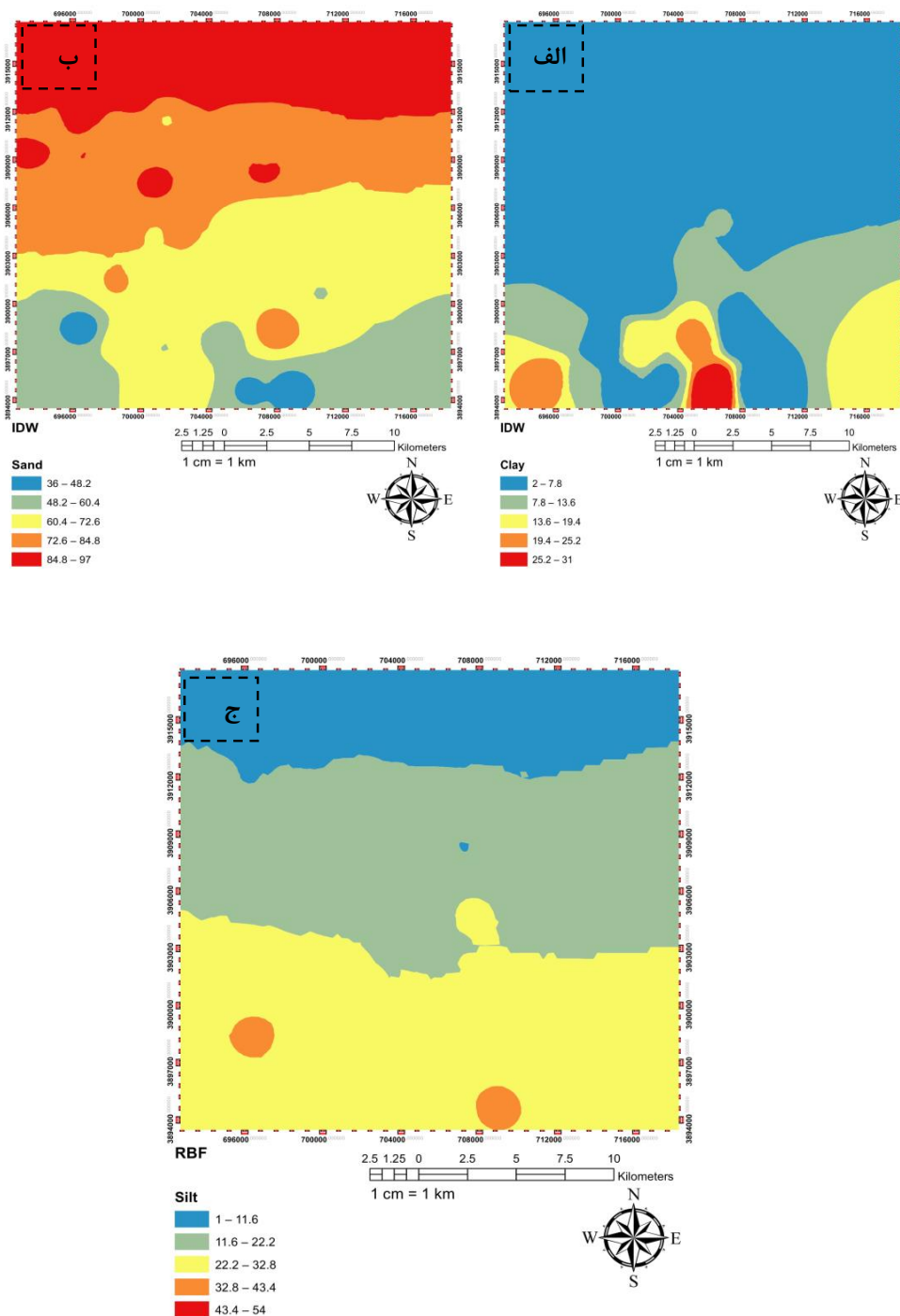
شکل ۴- الف و ب نقشه‌ی پراکنش شن و رس منطقه را بر پایه‌ی روش معکوس فاصله نشان می‌دهد. اندازه‌ی شن در بیش از ۷۰٪ از منطقه بیش از ۶۵٪ بود. میانگین داده‌های شن منطقه ۷۶/۳٪ بود، که نشان‌دهنده‌ی ذره‌های شن زیاد در خاک منطقه است. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شن در منطقه ۴۱٪ و ۹۷٪ بود.

شکل ۴- ج نقشه‌ی لای را بر پایه‌ی روش تابع شعاعی نشان می‌دهد. میانگین قطر ذره‌های لای کم‌تر از ۳۰٪ بود. توزیع فراوانی میانگین متوسط داده‌های لای ۱۸/۱۴ بود، و ۹۰٪ آن

منشأابی مکان‌های مستعد فرسایش بادی و گردوغبار...

در اهواز است. کریمیان و همکاران (۲۰۱۵) به این نتیجه رسیدند که ذره‌های لای عامل اصلی ایجاد گردوغبار در اهواز است.

شرایط ایجاد گردوغبار در منطقه دانست (جدول ۱). قربانی و کردوانی (۲۰۱۴) به این نتیجه رسیدند که وجود ذره‌های با قطر کم‌تر از ۱۶/۶ میکرومتر از عامل‌های اصلی ایجاد گردوغبار



شکل ۴- الف: نقشه‌ی رس با روش IDW، ب: نقشه‌ی شن با روش IDW، ج: نقشه‌ی لای با روش RBF

دقیق ذره‌ها نیز در دقت اندازه‌ی برآورد فرسایش با کاربرد این شبیه‌ساز بسیار مهم است. محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۰) به این نتیجه رسیدند که با افزایش سرعت باد، سرعت فرسایش افزایش می‌یابد و اندازه‌ی آن بستگی به توزیع اندازه‌ی ذره‌ها دارد. حیدریان و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که ذره‌های بسیار ریز با قطر ۰/۰۵ تا ۰/۱ میلی‌متر باعث به‌وجود آمدن گردوغبار در منطقه می‌شود.

تجزیه‌ی آماری توزیع اندازه‌ی خاک‌دانه (ذره‌های ثانویه) در جدول ۴ نشان داد که میانگین ذره‌های ۰/۰۶۳ میلی‌متر با مقدار ۱۴/۸۸ و ذره‌های ۴ میلی‌متر با میانگین صفر بیش‌ترین و کم‌ترین اندازه در خاک بود. بیش‌ترین پراش داده در ذره‌های ۰/۰۶۳ با مقدار ۱۱۷/۷۸ گرم بود. توزیع اندازه‌ی خاک‌دانه برای تعیین اندازه‌ی فرسایش خاک و نوع فرسایش بسیار مهم است. در شبیه‌ساز USEPA توزیع اندازه‌ی خاک‌دانه برای تعیین اندازه‌ی فرسایش Q_{30} و Q_{50} به‌کاربرده می‌شود. اندازه‌گیری

جدول ۴- ویژگی‌های آماری توزیع اندازه‌ی ذره‌های خاک.

اندازه‌ی الک (mm)	۴	۲	۱	۰/۰۷۵	۰/۰۶۳	$> ۰/۰۶۳$
میانگین	۰	۰/۶۵۲	۹/۲۴۲	۰/۴۰۳	۱۴/۸۸۵	۰/۹۸۳
خطای میانگین	۰	۰/۹۱۳	۰/۶۹۴	۰/۰۰۲	۱/۵۳۴	۰/۰۸۰
ضریب تغییر	۰	۰/۶۴۵	۴/۹۱	۰/۰۱۵	۱۰/۸۵۳	۰/۵۶۷
پراش	۰	۰/۴۱۷	۲۴/۱۱	۰/۰۰۱	۱۱۷/۷۹۱	۰/۳۲۲
کم‌ترین	۰	۰/۰۰	۱/۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۶۷	۰/۰۲۱
بیش‌ترین	۰	۳	۲۳/۷۹	۰/۵۵۰	۳۸/۰۶۳	۲/۶۹۴

زیاد است، که نشان‌دهنده‌ی خشکی زیاد و خیلی‌بحرانی بودن آن است.

نتیجه‌های اقلیم نشان داد که متوسط روزهای گردوغباری در این دوره‌ی زمانی تقریباً ۲ روز در سال است، بنابراین روزهای گردوغبار در منطقه بسیار کم و نشان‌دهنده‌ی محلی بودن گردوغبار است. آروسون و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که تشکیل گردوغبار در تأثیر شرایط اقلیمی و کاربری منطقه است، و در سال‌های اخیر، اندازه‌ی آن با تغییر کاربری و اقلیم به‌طور محسوسی تغییر کرده است. تحقیقات گائو و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان داد که انتشار ذره‌های معلق در هوا (PM_{10}) با افزایش سرعت باد و ارتفاع به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. لیو و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی عامل‌های ایجاد گردوغبار به این نتیجه رسیدند که اندازه‌ی رطوبت خاک، پوشش گیاهی و بادهای شدید تأثیر زیادی در اندازه‌ی گردوغبار دارد. بادهای شدید و شرایط پوشش گیاهی سطح زمین عامل اصلی وقوع گردوغبار در بهار، و رطوبت خاک از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در زمستان است.

میانگین سالانه‌ی سرعت باد در دوره‌ی زمانی برای منطقه $1/98$ تا $3/6$ m/s بود. جهت وزش باد غالب از شمال غربی و شمال است (مهین‌پرست و همکاران ۲۰۱۵). میانگین سرعت باد برای دوره‌ی ۹ ساله در شهرستان سمنان $1/98$ m/s بود (جدول ۵). سرعت سالانه‌ی باد منطقه کم‌تر از $5/4$ m/s بود. به همین دلیل منطقه از دیدگاه سرعت باد در وضعیت عادی است (جدول ۵). میانگین ۹ ساله‌ی آمار بارندگی در شهرستان سمنان $127/96$ mm بود. بیش‌ترین بارندگی با اندازه‌ی $241/17$ mm در سال در 1386 و کم‌ترین آن در 1387 با اندازه‌ی $50/07$ بود. برخی نتیجه‌های پیشین نشان می‌دهد که بارندگی کم و خشک‌سالی در برخی منطقه‌ها از عامل‌های مهم در ایجاد گردوغبار است (طائی سمیرمی و همکاران ۲۰۱۳). شون (۱۹۹۹) نشان داد که هنگامی که بارندگی منطقه کم‌تر از 300 mm و ضریب خشکی بیش‌تر از $2/5$ باشد، مستعد ایجاد گردوغبار است. بیش‌ترین شاخص خشکی در ایستگاه گرمسار $23/14$ و کم‌ترین آن در ایستگاه شه‌میریزاد با $8/94$ بود. شاخص خشکی منطقه $19/02$ بود. اندازه‌ی شاخص در منطقه

جدول ۵- شاخص‌های اقلیمی در چند ایستگاه هم‌دید استان سمنان در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۵ - ۱۳۸۶.

ایستگاه	سرعت باد (m/s)	متوسط تبخیر و تعرق سالانه (mm)	متوسط بارش روزهای سالانه (mm)	روزهای بارش (d/yr)	شاخص (R)
سمنان	۱/۹۸	۲۴۵۷	۱۲۷/۹	۲	۱۹/۰۲
گرمسار	۳/۵۷	۲۷۴۸	۹۴/۹	۲	۲۳/۱۴
دامغان	۳/۶۰	۲۶۰۶	۱۰۵/۶	۱	۲۸/۹۲

شاخص‌های این شبیه‌ساز (C, PE, c) و محاسبه و در معادله‌ها گذاشته شد. برای شاخص K عددهای ۰/۵ یا ۱ به ترتیب برای منطقه‌های زیر و صاف، برای شاخص L عددهای ۰/۷ یا ۱ به ترتیب برای منطقه‌های با عرض کم‌تر از ۳۰۰ و بزرگ‌تر از ۶۰۰ متر، و برای منطقه‌های بی پوشش عدد ۱ برای شاخص V در نظر گرفته شد (شون و همکاران ۱۹۹۹، ۲۰۰۴). جدول ۶ اندازه‌ی شاخص PE را برای هفت ایستگاه نشان می‌دهد. بیش‌ترین و کم‌ترین آن به ترتیب در شهرستان‌های شهمیرزاد و گرمسار با اندازه‌های ۳۳/۵۵ و ۱۰/۳۷ است. مقدار این شاخص برای منطقه‌ی بررسی‌شده ۱۵/۶۳ به دست آمد. حنیفه‌پور و جباری (۲۰۱۳) نشان دادند که هر چه اندازه‌ی شاخص PE افزایش یابد اندازه‌ی فرسایش بادی به دلیل افزایش بارندگی و کاهش تبخیر و تعرق کم‌تر می‌شود. میرزایی و معاضد (۲۰۰۵) نتیجه گرفتند که در منطقه‌هایی با تبخیر و تعرق زیاد به دلیل کاهش رطوبت خاک و جدا شدن ذره‌های خاک، فرسایش بادی بیش‌تر است. برای ایستگاه‌های بررسی‌شده در بازه‌ی زمانی ۵ تا ۱۰ ساله، بیش‌ترین مقدار C در ایستگاه گرمسار (۰/۲۱۴) و کم‌ترین مقدار در ایستگاه شهمیرزاد (۰/۱۴) بود. مقدار C برای شهرستان سمنان ۰/۱۶ بود، که بعد از شهمیرزاد کم‌ترین مقدار است.

برای درون‌یابی شاخص‌های اقلیمی بررسی‌شده در این پژوهش، به دلیل کم بودن تعداد مکان‌ها، روش چندضلعی تیسن به کار برده شد. در این روش ارزش موقعیت‌های نمونه‌برداری نشده با ارزش مکان‌های همسایه‌ی نمونه‌برداری شده مساوی است. مرز چندضلعی از مکان‌های همسایه فاصله‌ی یکسانی دارد. این روش تفاوت اساسی با سایر روش‌های درون‌یابی مانند وزن‌دهی معکوس فاصله، چندجمله‌ی و کریجینگ دارد. در این روش چندضلعی سطحی که به اندازه‌ها نسبت داده می‌شود سطح وسیعی است که از پیرامون تأثیر می‌گیرد. در حالی که شدت پراکندگی پدیده بیش از گستره‌ی همسایگی است. در روش وزن‌دهی معکوس فاصله و کریجینگ ساختار فضایی مکان‌های نمونه‌برداری با تنظیم شعاع تأثیر در معادله‌ها مهار کردنی است. نتیجه‌ی روش تیسن در جاهایی که شبکه‌ی نمونه‌برداری مکان‌ها نامنظم و با فاصله‌ی زیاد است مناسب است (صادقی و همکاران ۲۰۰۸). برای محاسبه‌ی اندازه‌ی دقت، روش مجذور میانگین مربع‌ها (RMSE) به کار برده شد. منطقه‌ی بررسی‌شده در یکی از چندضلعی‌ها است، بنابراین نقشه‌ی اندازه‌ی بارندگی، شاخص خشکی، و تعداد روزهای گردوغبار به دلیل کوچک بودن منطقه با یک اندازه نشان داده شده است. برای اندازه‌گیری اندازه‌ی فرسایش با شبیه‌ساز USEPA

جدول ۶- عامل‌های اقلیمی شاخص‌های C و PE در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۵ - ۱۳۸۶.

ایستگاه	سرعت متوسط باد	PE	U به توان ۳	PE به توان ۲	C
سمنان	۱/۹۸	۱۵/۶۲	۷/۷۹	۲۴۴/۲۰	۰/۱۶
گرمسار	۳/۵۷	۱۰/۳۷	۴۵/۷۱	۱۰۷/۵۳	۰/۲۱۴
دامغان	۳/۶۰	۱۲/۱۶	۴۶/۶۶	۱۴۷/۹۸	۰/۱۵۸

و لای رسی بود. یکی از عامل‌های مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک، توزیع اندازه‌ی ذره‌ها و خاک‌دانه‌های سطح است (کولاز و بوس‌چیازو ۲۰۱۰). بین توزیع اندازه‌ی ذره‌های رسوب، بافت خاک و فرآیند برده‌شدن ذره‌ها ارتباط نزدیکی هست (گوسنز ۲۰۰۷).

جدول ۷ اندازه‌ی شاخص‌های e و c را بر پایه‌ی بافت خاک نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار e در جایی بود که بافت خاک منطقه لای است، و کم‌ترین آن در بافت‌های لای میانه‌بافت و رسی میانه‌بافت بود. بیش‌ترین مقدار C در خاک میانه‌بافت و شنی رسی میانه‌بافت، و کم‌ترین آن در بافت لای، رسی

جدول ۷- شاخص‌های فرسایش‌پذیری خاک (شون ۱۹۹۹).

بافت خاک	e (tons/ha/yr)	c
شنی	۵۴۴	۰/۰۰۹
میانه‌بافت شنی	۳۳۱	۰/۰۱۰
شنی میانه‌بافت	۲۱۳	۰/۰۲۱
رسی	۲۱۳	۰/۰۰۸
لای رسی	۲۱۳	۰/۰۰۸
میانه‌بافت	۱۳۸	۰/۰۶۶
شنی رسی میانه‌بافت	۱۳۸	۰/۰۶۶
شنی رسی	۱۳۸	۰/۰۱۰
لای میانه‌بافت	۱۱۶	۰/۰۴۱
رسی میانه‌بافت	۱۱۶	۰/۰۲۵
لای رسی میانه‌بافت	۹۴	۰/۰۴۱
لای	۹۹۴	۰/۰۰۸

شاخص‌های Q و Q_{50} همبستگی مثبت معناداری در تراز ۱٪ بود. این همبستگی نشان داد که با افزایش فرسایش ذره‌های ۵۰ میکرومتری در خاک، اندازه‌ی فرسایش ذره‌های ریزتر مستعد گردوغبار نیز بیش‌تر می‌شود. از آن‌جا که در این پژوهش اندازه‌ی Q خواسته شده بود، منطقه‌ی بررسی شده بر پایه‌ی این شاخص در وضعیت هشدار ($0/0001$ تا 3 tons/ha/yr) بود.

جدول ۸ نتیجه‌های اندازه‌ی فرسایش Q ، Q_{30} و Q_{50} را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار فرسایش در شاخص Q_{50} بود، به‌طوری‌که کم‌ترین و بیش‌ترین اندازه‌ی فرسایش در آن $0/067$ و $38/06 \text{ tons/ha/yr}$ بود. کم‌ترین و بیش‌ترین اندازه‌ی فرسایش ذره‌ها در شاخص Q_{30} به ترتیب $0/060$ و $2/694$ و در شاخص Q کم‌ترین فرسایش $0/009$ و بیش‌ترین آن $0/055 \text{ ha/yr}$ به‌دست آمد. بین شاخص‌های Q_{50} با Q_{30}

جدول ۸- توزیع فراوانی اندازه‌ی فرسایش ذره‌های Q ، Q_{50} ، Q_{30} .

شاخص‌ها	Q	Q_{50}	Q_{30}
میانگین	۰/۰۴۰	۱۴/۸۸	۰/۹۸۳
خطای میانگین	۰/۰۰۲	۱/۵۳۰	۰/۰۸۰
ضریب تغییر	۰/۰۱۵	۱۰/۸۵	۰/۵۶۷
پراش	۰/۰۰۱	۱۱۷/۸	۰/۳۲۲
کم‌ترین	۰/۰۰۹	۰/۰۶۷	۰/۰۶۰
بیش‌ترین	۰/۰۵۵	۳۸/۰۶	۲/۶۹۴

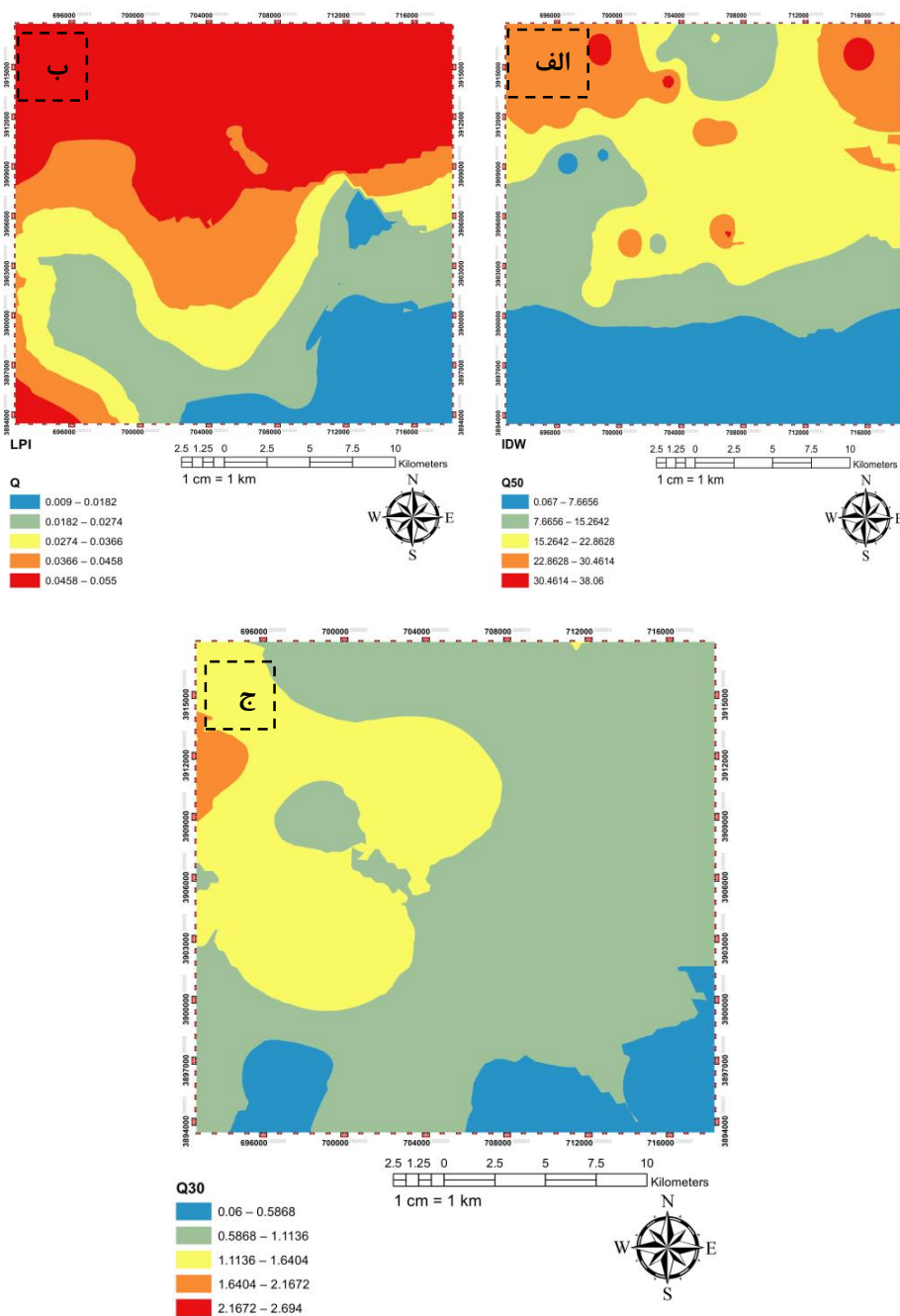
Q_{50} - درصد ذره‌های کوچک‌تر از $0/063 \text{ mm}$ و Q_{30} - درصد ذره‌های کم‌تر از $0/075 \text{ mm}$

مختلف پیش‌بینی شد. برای ارزیابی روش‌ها شاخص‌های $RMSE$ و MAE به کار برده شد. نتیجه‌ی درون‌یابی نشان داد که برای شاخص Q روش چندجمله‌یی محلی (LPI) با $RMSE$ و MAE به ترتیب $0/0086$ و $0/0021$ بهترین روش برای درون‌یابی است. برای شاخص Q_{30} روش کریجینگ عام با $RMSE$ و MAE به ترتیب $0/505$ و $0/123$ و برای شاخص Q_{50} روش معکوس فاصله (IDW) با $RMSE$ و MAE به ترتیب $3/94$ و $1/89$ بهترین شبیه‌ساز برای درون‌یابی انتخاب شد (شکل ۵).

جدول ۹ نتیجه‌ی ارزیابی شبیه‌سازهای درون‌یابی شاخص‌های فرسایش Q ، Q_{30} و Q_{50} را نشان می‌دهد. برای این شاخص‌ها مانند بافت خاک، ابتدا بهنجار بودن داده‌ها با روش‌های کولموگروف-اسمیرنوف و شاپیرو-ویلک مشخص شد، و بر پایه‌ی نتیجه‌های اولیه‌ی داده‌ها (بهنجار بودن یا نبودن)، مناسب‌ترین روش انتخاب شد. ساختار مکانی بین داده‌ها با تجزیه‌ی نمودار پیوستگی بررسی شد، و بعد از آزمون شبیه‌سازهای مختلف با کاربرد R^2 ، RSS و با در نظر گرفتن ساختار فضایی ($C/C+C_0$) شبیه‌سازهای برازش داده‌شده، شبیه‌ساز مناسب برای برازش روی نمودار پیوستگی تجربی انتخاب شد. تغییر مکانی با روش‌های

جدول ۹- توزیع فراوانی اندازه‌ی فرسایش ذره‌های Q ، Q_{50} ، Q_{30} .

شاخص‌های آماری	متغیر	شبه‌ساز درون‌یابی	نوع درون‌یابی	
			MAE	$RMSE$
۳/۳۵۷	۶/۰۱۶	Q_{50}	کریجینگ	شبه‌سازهای زمین‌آماری
۰/۴۴۶	۰/۵۵۷	Q_{30}	معمولی	شبه‌سازهای زمین‌آماری
۲/۲۸۶	۶/۱۵	Q_{50}	کریجینگ عام	شبه‌سازهای زمین‌آماری
۰/۱۳۲	۰/۵۰۵	Q_{30}	کریجینگ عام	شبه‌سازهای زمین‌آماری
۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۹۴	Q	کریجینگ	شبه‌سازهای زمین‌آماری
۰/۱۳۵	۰/۵۴۰	Q_{30}	معکوس فاصله	شبه‌سازهای زمین‌آماری
۱/۸۹۷	۳/۹۴	Q_{50}	معکوس فاصله	شبه‌سازهای زمین‌آماری
۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۹	Q	کریجینگ	شبه‌سازهای زمین‌آماری
۰/۵۱۰	۰/۵۴	Q_{30}	تابع شعاعی	شبه‌سازهای قطعی
۲/۵۶۷	۵/۹۶	Q_{50}	تابع شعاعی	شبه‌سازهای قطعی
۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۸۶	Q	چندجمله‌یی محلی	شبه‌سازهای محلی
۰/۲۹۶	۰/۵۱۹	Q_{30}	چندجمله‌یی محلی	شبه‌سازهای محلی
۲/۱۵۸	۵/۳۸	Q_{50}	چندجمله‌یی محلی	شبه‌سازهای محلی



شکل ۵- الف: نقشه‌ی Q با روش LPI، ب: نقشه‌ی Q₅₀ با روش IDW، ج: نقشه‌ی Q₃₀ با روش کریجینگ.

نتیجه‌ها نشان داد که منطقه از دیدگاه بافت خاک در شرایط خیلی بحرانی، بحرانی، هشدار و عادی است، اما به‌طور متوسط به‌دلیل داشتن میانگین شن بیش از ۵۰٪ و میانگین لای کم‌تر از ۳۲٪ در وضعیت بحرانی گذاشته شد. از آن‌جا که متوسط سرعت باد ۱/۹۸ متر بر ثانیه بود، منطقه در وضعیت عادی بود. اندازه‌ی بارندگی استان در بازه‌ی

نقشه‌های بافت، سرعت باد، شاخص خشکی، بارندگی، روزهای گردوغباری و شاخص Q با کاربرد نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس و به‌روش معادله نویسی به‌ترتیب روی هم گذاشته شد. برای منشأیی با کاربرد روش سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا لازم است منطقه همه‌ی شاخص‌های لازم برای هر طبقه‌ی عادی، هشدار، بحرانی و خیلی بحرانی را داشته باشد.

کاربرد این پژوهش در منطقه‌ها و استان‌های دیگر (به‌ویژه استان‌های درگیر فرسایش بادی و گردوغبار) به‌کار برده شود.

نتیجه‌گیری

منطقه‌ی بررسی‌شده از نظر منشأ تولید گردوغبار با دیدگاه شاخص Q (کم‌ترین و بیش‌ترین فرسایش $0/009$ و $0/055$ تن در هکتار) در وضعیت هشدار، با متوسط شن (بیش از 50% و لای کم‌تر از 30%) در وضعیت بحرانی، متوسط سرعت باد ($1/98$ m/s) در وضعیت عادی، شاخص خشکی ($0/02$) و 9 اندازه‌ی بارندگی ($127/96$ mm) در وضعیت خیلی بحرانی، پستی‌بلندی دشت در وضعیت خیلی بحرانی، و متوسط روزهای گردوغباری (۲ روز در سال) در وضعیت عادی بود. این پژوهش نشان داد که اگرچه این منطقه از دیدگاه منشأ فرسایش بادی و برخی شاخص‌ها در تراز بحرانی و هشدار است، به‌دلیل بحرانی نبودن سایر شاخص‌های تأثیرگذار بر فرسایش مانند سرعت باد، منشأ گردوغبار نیست.

سیاس‌گذاری

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از اداره‌ی کل هواشناسی استان سمنان برای تهیه‌ی داده‌های هواشناسی، و از دانشگاه سمنان برای همکاری در نمونه‌برداری تشکر کنند. از حمایت مالی دانشگاه شاهد برای انجام این پژوهش بسیار سپاس‌گزار ایم.

$214-94$ mm و در منطقه‌ی بررسی‌شده $127/96$ mm، و شاخص خشکی $19/02$ بود، که نشان می‌دهد در وضعیت خیلی بحرانی است. اندازه‌ی فرسایش خاک $0/009$ تا $0/055$ tons/ha/yr و در وضعیت هشدار بود. از آن‌جا که منطقه‌ی بررسی‌شده دشت است، پستی‌بلندی در وضعیت خیلی بحرانی بود. تعداد روزهای گردوغبار کم‌تر از 5 بود، و از این دیدگاه منطقه در وضعیت عادی بود. پس از تلفیق نقشه‌ها، منطقه‌ی بررسی‌شده از دیدگاه تولید گردوغبار در وضعیت عادی تشخیص داده شد. رنجبر و همکاران (2019) در بررسی منطقه‌های مستعد گردوغبار با این روش در استان ایلام نشان دادند که کانون بحرانی و خیلی بحرانی گردوغبار فقط در منطقه‌ی بهرام‌آباد با اندازه‌ی فرسایش 42 tons/ha/yr است.

نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که برای منشأیابی محل گردوغبار نه‌تنها اندازه‌ی فرسایش بادی، بل که سرعت باد، تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی، اندازه‌ی بارندگی، شاخص خشکی و بافت خاک نیز اهمیت زیادی دارد. با بررسی تنها یک یا دو عامل مؤثر در فرسایش بادی نمی‌توان از منشأ بودن محل گردوغبار در منطقه مطمئن شد. روش به‌کاررفته در این پژوهش برای اندازه‌گیری فرسایش با شاخص‌های Q_{30} و Q_{50} ممکن است اطلاعات ارزشمندی برای مدیران و سیاست‌گذاران در مهار کردن منشأ اصلی فرسایش بادی و گردوغبار فراهم آورد. پیشنهاد می‌شود روش و شبیه‌ساز

- Aarons S, Blakowski M, Aciego I, Stevenson W, Sims S, Scott R, Aarons C. 2017. Geochemical characterization of critical dust source regions in the American West. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 215 (1):141–161.
- Ahmadi H, Jafari M, Golkarian A, Sadat Abrisham A, Lafflen J. 2007. Estimating water erosion and sediment using WEPS Model: A case study of Bar-Eried watershed, Neyshbur. *Journal of Pajouhesh-va-Sazandegi*. 20 (2): 161–172. (In Persian).
- Azimzadeh HR. 2007. Study on application of wind erosion models of WEPS and IRIFR2 in Ardakan lands, Yazd. Ph.D. Faculty of agriculture, University of Tehran. (In Persian).
- Azmoodeh A, Kavian A, Solaimani K, Vahabzadeh Gh. 2010. Comparing runoff and soil erosion in forest, dry farming and garden land uses soils using rainfall simulator. *Journal of Water and Soil*. 24(3): 490–500. (In Persian).
- Behloli M. 2006 Evaluation of wind erosion in selected farms of Yazd plain using web and IRIFR model, M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 215 p. (In Persian).
- Black CA .1965. Methods of soil analysis. Part I, American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 1572 p.
- Boali A, Jafari R, Bashari H. 2017. Wind erosion estimation and assessment using Bayesian belief networks in eastern Isfahan township. *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 6(14): 47–57.
- Colazo JC, Buschiazzo D. 2010. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*. 159(1–2): 228–236.
- Du H, Wang T, Xue X, Li S. 2018. Modelling of sand/dust emission in northern China from 2001 to 2014. *Geoderma*. 330 (1):162–176.
- Gao S, Wang Y, Shan M, Teng Y, Hong N, Sun Y, Mao J, Ma Z, Xiao J, Azzi M. 2020. Wind-tunnel and modelled PM10 emissions and dust concentrations from agriculture soils in Tianjin, northern China. *Aeolian Research*. 42:100–562.
- Ghorbani J, Kardvani P. 2014. Study of Ahvaz dust textures with X-ray analysis method and the relationship between storms exacerbated by destruction of Hoorolazim wetlands. *Journal of Wetland Ecobiology*. 6(20): 91–102. (In Persian).
- Goossens D. 2007. Bias in grain size distribution of deposited atmospheric dust due to the collection of particles in sediment catchers. *Catena*, 70(1): 16–24.
- Gvancheng H. 2004. Consideration on the integrated watershed management in the western China. In: *The Proceeding of Symposium on Hydropower and Sustainable Development*. Beijing, China. pp. 24–27.
- Hanifehpour M, Jabbari B. 2013. Effect of drought intensity and duration on wind condition and wind Erosion (case study: Tehran province). 3rd Conference on Wind Erosion and Dust Storms - Yazd University. pp.10–12. (In Persian).
- Heydarian P, Azhdari A, Joudaki M, Darvish Khatooni J, Shahbazi R. 2015. Identify interior source of dust storms using remote sensing, GIS and geology. *Scientific Quarterly Journal*. 27 (105): 33–46. (In Persian).
- Jarrah M, Maye S, Tatarko J, Funk R, Kuka K. 2020. A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity. *Catena*. 187: 104–388
- Kalehhouei M, Kavian A, Gholami L, Jafarian Z. 2018. Protective impact of colza straw (*Brassica napus* L.) on runoff and soil loss control using rainfall simulation. *Watershed Management Research*. 31(118):73–82. (In Persian).
- Karimi Z, Sadeghi SH, Bahrami HA. 2015.

- Variations of runoff generation during rainfall event when different levels of polyacrylamide in its powder vs liquid form applied. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 46(3): 443–453. (In Persian).
- Karimian B, Landi A, Hojati S, Ahadian J. 2015. Physicochemical and mineralogical characteristics of dust particles deposited in Ahvaz city, *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 47 (1): 159–173. (In Persian).
- Kelarestaghi A, Ahmadi H, Esmali A, Jafari M, Ghodosi J. 2009. Comparison of runoff and sediment yield from different agricultural treatments. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*. 2(5): 41–52. (In Persian).
- Klute A. 1988. *Methods of soil analysis, part 1, physical and mineralogical methods* (2nd edition), Madison, Wisconsin, 1188 p.
- Kouchami S, Besalatpour A, Bashari H, Shirani H, Esfandiarpour Broujeni I. 2017. Assessment of IRIFR model capability in simulation of soil loss in different wind geomorphology landforms using wind erosion meter. *Arid Biome Scientific and Research Journal*. 7(1): 13–25. (In Persian).
- Liu X, Song H, Lei T, Liu P, Xu C, Wan D, Yang Z, Xia H, Wang T, Zhao H. 2021. Effects of natural and anthropogenic factors and their interactions on dust events in Northern China. *Catena*. 196:104919.
- Liu Y, Wang G, Hu Z, Shi P, Lyu Y, Zhang G, Gu Y, Liu Y, Hong C, Guo L. 2020. Dust storm susceptibility on different land surface types in arid and semiarid regions of northern China. *Atmospheric Research*. 243: 105031.
- Mahmoodabadi M, Dehghani F, Azimzadeh HR. 2011. Effect of soil particle size distribution on wind erosion rate. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 1(1): 81–97.
- Mao D, Lei J, Zeng F, Rahmutulla Z, Wang C, Zhou J. 2014. Characteristics of wind erosion and deposition in oasis-desert ecotone in southern margin of Tarim Basin, China. *Chinese Geographical Science*. 24(6): 658–673.
- Mihanprašt S, Nekouei S, Torabi A, Rahimi M. 2015. Evaluation of wind erosion intensity using IRIFR method and determination of transport and sedimentation areas (Case study: south of Semnan). Semnan University, Faculty of Agriculture. 200 p. (In Persian).
- Mirzaei H, Moazed H. 2005. Comparisons of different potential evatranspiration methods. National Conference on Irrigation and Drainage Management, Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Science Engineering. (In Persian).
- Mosaffaie J, Talebi A. 2014. A statistical view to the water erosion in Iran. *Journal of Extension and Development of Watershed Management*. 2(5): 9–17. (In Persian).
- Namdar Khojasteh D, Goudarzi GR, Taghizadeh-Mehrjardi R, Asumadu-Sakyi A, Fehrest-Sani M. 2020. Long-term effects of outdoor air pollution on mortality and morbidity–prediction using nonlinear autoregressive and artificial neural networks models. *Atmospheric Pollution Research*. 12(2): 46–56.
- Pi H, Sharratt B, Feng G, Lei J. 2017. Evaluation of two empirical wind erosion models in arid and semi-arid regions of China and the USA. *Environmental Modelling & Software*. 91: 28–46.
- Pouyan S, Mirakbari M, Afzali F. 2015. Estimating the wind erosion climatic factor using regional distribution function. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*. 5 (1): 201–214. (In Persian).
- Qasemi M. 2010. Erosion modeling of surface formations and sediment performance in Hana dam watershed using MPSIAC Information System (GIS) modified method and geography, M.Sc. Mohaghegh Ardabili Uni-

- versity, Ardabil. 220 p. (In Persian).
- Ranjbar H, Bazgir M, Namdar Khojasteh D, Rostami Nia M. 2019. Identification of dust sources in Ilam province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 26(3): 675–688. (In Persian).
- Refahi H. 2006. Wind erosion and its control. Institute of printing and publishing of Tehran University. (In Persian).
- Sadeghi Ravesh M, Reyahi Khoram M, Khosravi H. 2012. Zoning wind erosion potential risk in central Iran using modified numerical taxonomy model. *Journal of Agriculture and Environment*. 12(1): 91–99.
- Sadeghi S, Azari M, Ghaderi B. 2008. Field evaluation of the hillslope erosion model (HEM) in Iran. *Biosystems Engineering*. 99(2): 304–311.
- Sedighi F, Khaledi Darvishan A, Zare MR. 2020. Assessment of the slope gradient on the estimated erosion and sediment delivery ratio by using ¹³⁷Cs in the Khamsan representative watershed. *Watershed Management Research*. 33(3):2–19. (In Persian).
- Semnan Department of Meteorology. 2020. Data-sheet 2007-2016.
- Tai Samiromi S, Reza Moradi HR, Khodaghli M, and Maryam Ahmadi M. 2013. Recognition and study of factors affecting the phenomenon of dust in western Iran. *Journal of Human and environment*. 27 (1):1–12.
- Taylor D. 2002. Dust in the Wind. 110(2): A80–A87.
- Waezi A. 2010. How to predict the wind erosion using WEQ and RWEQ models, 2th national conference on wind erosion and dust storms, Yazd University.
- Wang A, Li F, Yang S. 2011. Effect of polyacrylamide application on runoff, erosion, and soil nutrient loss under simulated rainfall. *Pedosphere*. 21(5): 628–638.
- Wang X, Pu W, Shi J, Bi J, Zhou T, Zhang X, Ren Y. 2015. A comparison of the physical and optical properties of anthropogenic air pollutants and mineral dust over Northwest China. *Journal of Meteorological Research*. 29(2): 180–200.
- Webb N, McGowan HA, Phinn SA, leys J, McTainsh G. 2009. A model to predict land susceptibility to wind erosion western queen's land Australia. *Journal of Environmental Modeling and Software*. 2 (24): 214–227.
- Xuan J, Liu G, Du K. 2000. Dust emission inventory in northern China. *Atmospheric Environment*. 34(26): 4565-4570.
- Xuan J, Sokolik IN, Hao J, Guo F, Mao H, Yang G. 2004. Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmospheric Environment*. 38(36) :6239–6252.
- Xuan J. 1999. Dust emission factors for environment of Northern China. *Atmospheric Environment*. 33(11): 1767–1776.
- Zehtabian G, Ahmadi H, Ekhtesasi MR, Jafari R. 2002. Intensity determination of wind erosion in Kashan area by the desertification model. *Iranian Journal of Natural Resources*. 55 (2): 145–157. (In Persian).



The Application of USEPA Model for Identification of Dust Sources in the Delazan District, Semnan County

Davood Namdar Khojasteh

(Corresponding Author)* Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahed University, Iran

Esmail Moradi

Graduated M.Sc. of Soil Science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahed University, Iran

Corresponding Author E-mail: d.namdar@shahed.ac.ir

Received: 24 November 2020

Accepted: 15 March 2021

Abstract

Wind erosion and dust generation is a great challenge worldwide, especially in Iran. Identification of the dust source is the first step in mitigating this occurrence. There are various approaches to detect wind erosion and dust sources including remote sensing, physical and chemical analyses, experimental models. The purpose of this study was to use the US Environmental Protection Agency (USEPA) model to identify sources of dust in the Semnan Municipality. Samples were collected randomly from 50 study points in the Municipality of Semnan (2018), and physical and chemical experiments were performed on the samples. Climate indicators, namely: rainfall, evapotranspiration and wind speed, temperature, and relative humidity for a period of 9 years were also been collected from the Meteorological Organization of Iran. The dust emission rates of Q, Q30, and Q50 were measured separately using climatic parameters and physical characteristics of the soils in different models. Geostatistic and interpolation techniques, including RBF and IDW, were also used to plot the map of climatic parameters, texture, and dust emission rates. According to the statistical tests, only the values of silt, Q30 and Q50 were normal; therefore, an interpolation of these indicators was performed using the geostatistical methods. The critical and supercritical points of sources of dust were then determined after the maps were combined. The findings indicated that the study area was super-critical in drought (19.02), rainfall (177.96 mm), and region topography (plain) indicators, and in a critical condition for soil texture with an average of more than 50 percent sand and less than 30 percent silt. The dust emission rate (Q) ranged from 9- 55 kg/ha/y pointed into the warning condition for, the regional average of dusty days (2 days/y). However, the days with a wind speed of 1.98 m/s were considered as a normal condition. In a nutshell, the results indicated that the study area was not a dust source, despite the critical and supercritical conditions for some of the indicators.

■ **Keywords: Climate, critical condition, physical properties, wind erosion** ■