

تعیین حساسیت اراضی به فرسایش بادی در کانون گردوغبار سجزی اصفهان

سید مرتضی ابطحی^{۱*}، حمیدرضا عباسی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶

چکیده

فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار به یکی از اساسی‌ترین چالش‌های کشور و استان اصفهان تبدیل شده است. بدین منظور، ویژگی‌های بادهای فرساینده و حساسیت اراضی به فرسایش بادی در منطقه سجزی واقع در شرق اصفهان مورد مطالعه قرار گرفت. با استفاده از آمار سرعت و جهت باد ساعتی چهار ایستگاه هواشناسی، جهت، شدت و انرژی بادهای فرساینده محاسبه شد. محدوده کانون گردوغبار سجزی، به کمک تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی مشخص گردید. برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و محاسبه سرعت آستانه باد و فرسایش‌پذیری خاک، به ترتیب ۹ و ۶ نمونه برداشت شد. میزان فرسایش در سرعت‌های مختلف باد در تونل باد اندازه‌گیری و سرعت آستانه باد به دو روش مشاهداتی و محاسباتی تعیین گردید. مقاومت فشاری و برشی خاک در عرصه به کمک دستگاه پترومتر و توروین اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که انرژی بادهای فرساینده براساس شاخص پتانسیل حمل ماسه در ایستگاه شرق اصفهان در کلاس زیاد است. جهت باد غالب فرساینده از شرق به غرب، یعنی از دشت سجزی به سمت شهر اصفهان است. آستانه فرسایش بادی از ۶/۵ تا ۱۲ متر بر ثانیه متغیر است و مقاومت برشی خاک سطحی از ۱ تا ۲/۰۶ و مقاومت فشاری از ۱/۱ تا ۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند. با توجه به نتایج، حساسیت خاک منطقه سجزی به فرسایش بادی، بسیار بالاست. جنگل‌کاری و بوته‌کاری با گونه‌های بومی و مقاوم و استفاده از مالچ‌های سازگار با محیط‌زیست در نقاط حساس‌تر به همراه مدیریت بهره‌برداری از سرزمین و معادن پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اصفهان، بیابان، دشت سجزی، فرسایش بادی، کانون گردوغبار.

۱. دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کاشان، ایران. نویسنده مسئول، Morabtahi70@gmail.com
۲. استادیار پژوهشی، گروه بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، abbasi.hamidreza@ymail.com

مقدمه

بارندگی در ایران یک‌سوم میانگین بارندگی جهان است، درحالی‌که به‌دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند خشکی جهان، تبخیر آب سه برابر میانگین جهانی است. تخمین زده می‌شود که ۲۰ تا ۲۵ درصد طوفان‌های گردوغبار، ناشی از فعالیت‌های مخرب انسانی است و همین میزان کافی است تا بسیاری از کشورها از جمله ایران را با مشکلات اساسی زیست‌محیطی و میلیاردها دلار خسارت سالانه مواجه کند (پورهاشمی و همکاران، ۲۰۱۶). طوفان گردوغبار باعث مصائب قابل توجهی در زمینه ارتباطات، حمل‌ونقل زمینی و هوایی، کاهش درآمد ملی و درنهایت سلامت انسان و دام شده است (شیرازی و همکاران، ۲۰۱۹). دو عامل اقلیم و حساسیت اراضی در تولید ریزگرد نقش اساسی دارند. مهم‌ترین پارامتر اقلیمی، باد است. درجه فرساینده‌گی باد وابسته به انرژی آن است؛ هرچه میزان انرژی باد بیشتر باشد، مقدار بادبردگی بیشتر می‌گردد. همچنین رژیم بادی بر شکل و اندازه تپه‌های ماسه‌ای و توسعه ریزگرارها مؤثر است (برید و گرو،^۱ ۱۹۷۹؛ فرایبرگر و دین،^۲ ۱۹۷۹؛ لنکاستر،^۳ ۱۹۹۴؛ لنکاستر و باس،^۴ ۱۹۹۸؛ لیوینگستون و وارن،^۵ ۱۹۹۶؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۲۰).

حداقل ده سال است که مردم ایران به‌ویژه در جنوب کشور از شرقی‌ترین مناطق تا مرزهای غربی با مشکل طوفان‌های متعدد گردوغبار دست‌وپنجه نرم می‌کنند. بیابان‌های طبیعی خود به‌ندرت منشأ گردوغبار هستند، زیرا جدایش‌پذیری ذرات و حمل آن‌ها در درون بیابان صورت می‌گیرد. معمولاً حواشی و اطراف بیابان‌ها منشأ اصلی تولید گردوغبارند. در حال حاضر، سازوکار حمل گردوغبار به‌وسیله باد، به‌خوبی مطالعه و شناخته شده است. از این‌رو چالش اصلی این است که باید شرایط و اقداماتی روی بستر خاک و یا سرزمین صورت گیرد که احتمال جدا شدن ذرات و حمل آن‌ها توسط باد امکان‌پذیر نباشد. کاهش پوشش گیاهی نیز یک عامل خطر مهم، برای فرسایش باد است (نوروزی و خادمی، ۲۰۱۵). فعالیت‌های بی‌رویه در

سطح خاک مانند چرای دام، استفاده از وسایل نقلیه بزرگ‌راهی، آتش‌سوزی در مراتع و جنگل‌ها و اکتشاف و توسعه انرژی باعث افزایش فرسایش باد و تولید گردوغبار می‌شود. فرسایش توسط باد یکی از فرایندهای اصلی مرتبط با تخریب زمین در مناطق خشک است و نگرانی قابل توجهی برای مدیران و سیاست‌گذاران سرزمین در سطح جهان است (دانوی و همکاران، ۲۰۱۹).

عباسی و همکاران (۲۰۱۳) پراکنش رسوبات بادی کشور را به کمک عکس‌های هوایی (۱۳۷۲-۱۳۸۲) و تصاویر ماهواره‌ای (TM, 2002) و تصاویر گوگل ارث و عملیات میدانی، در قلمرو ۲۰ استان کشور مشخص کردند که به رقم ۴/۸ میلیون هکتار رسیدند. از آنجا که منابع تولید ریزگرد بیشتر (شاید بیش از ۸۰ درصد) منطبق بر مناطق برداشت فرسایش بادی هستند، نتایج طرح ملی مذکور در شناسایی منابع تولید ریزگرد بسیار مؤثر است. شیرازی و همکاران (۲۰۱۹)، داده‌های طیفی سنجنده OLI لندست را در تخمین شاخص ضخامت نوری ریزگردهای مناطق بیابانی (AOT) دشت یزد ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که روش این تحقیق برای برآورد ضخامت نوری ریزگرد در طول موج ۰/۶۵ میکرومتر دارای دقت کافی بوده و برای اندازه‌گیری ضخامت نوری ریزگرد در طول موج ۰/۴۷ میکرومتر مناسب نیست. کیمورا و موریاما^۷ (۲۰۱۴) شاخص خشکسالی براساس داده‌های ماهواره‌ای را برای تعیین کانون‌های ریزگرد در شمال شرقی آسیا استفاده کردند. آن‌ها دریافتند موقعی که شاخص خشکی دما-پوشش گیاهی ۰/۸ است، شاخص خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای به ۰/۳ می‌رسد که آستانه ایجاد گردوغبار است. حیدریان و همکاران (۲۰۱۷)، منشأهای داخلی طوفان‌های گردوغبار استان خوزستان را با استفاده از سنجش از دور و زمین‌شناسی شناسایی کردند و نتیجه گرفتند که ۹ درصد از مساحت دشت خوزستان منشأ تولید گردوغبار است. کانون‌های گردوغبار بر پایه نوع کاربری و مساحت، به ترتیب شامل مراتع تخریب‌شده، زمین‌های کشاورزی دیم رها شده، زمین‌های بدون پوشش، تالاب‌ها و آبگیرهای خشک‌شده و زمین‌های کشاورزی آبی هستند. عباسی

1. Breed & Grow
2. Fryberger & Dean
3. Lancaster
4. Lancaster & Baas
5. Livingstone & Warren

6. Duniway
7. Kimura & Moriyama

دمای حداکثر بیشترین تأثیر را در روند تغییرات شاخص طوفان گردوغبار دارند.

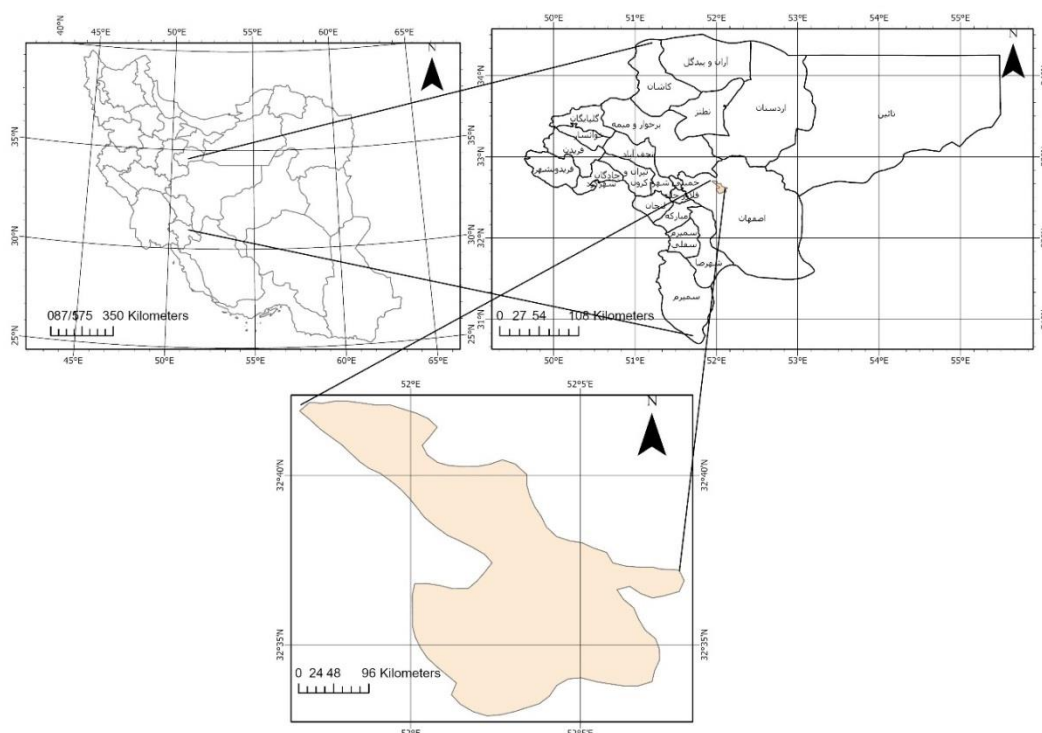
تاکنون درخصوص حساسیت اراضی منطقه سجزی اصفهان به فرسایش بادی به صورت کمی و با اعداد و ارقام مشخص مطالعاتی انجام نشده و مدیریت علمی و پایدار این منطقه با در نظر گرفتن این محاسبات امکان پذیر است. لذا در این تحقیق، میزان حساسیت به فرسایش بادی و ایجاد گردوغبار مناطق شرقی شهر اصفهان و همچنین بررسی پتانسیل های ایجاد ریزگرد با مطالعه شدت باد، خصوصیات خاک و محاسبه سرعت آستانه مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

دشت سجزی با مساحت ۴۳۰۰۰ هکتار در ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان در شهرستان کوهپایه در محدوده طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۶ دقیقه و ۲۹ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه و عرض ۳۲ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۰ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۵۵ دقیقه و ۱۸ ثانیه واقع شده است (شکل ۱). این دشت از شمال به روستای ورطون، علی آبادچی، از جنوب به روستای فساران و قلعه عبدالله، از شرق به روستای مزرعه شور و راه آهن و از غرب به روستای محمودآباد و فرودگاه و منطقه هوایی شهید بابایی محدود است. حداکثر ارتفاع این منطقه ۱۶۴۰ و حداقل ۱۵۱۰ متر از سطح دریاست که اختلاف ارتفاع ۱۳۰ متر و شیب بین صفر تا ۲ درصد بیانگر صاف و هموار بودن این دشت است. طبق آمار ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان، متوسط بارش سالانه منطقه، ۱۰۶ میلی متر است. براساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه از نوع خشک و براساس طبقه بندی آمبرژه از نوع خشک سرد است.

و همکاران (۲۰۲۲)، حساسیت اراضی به فرسایش بادی و طوفان های گردوغبار را با استفاده از داده های میدانی در هامون برینگک سیستم تعیین کردند. در این مطالعه از شاخص پوشش گیاهی تصاویر ماهواره ای، مقاومت برشی خاک سطحی (به کمک توروین) و پیکه های مدرج استفاده و در نهایت نقشه پهنه بندی حساسیت خاک تهیه شد. بهروان و همکاران (۲۰۲۳)، منابع گردوغبار و ماسه های روان را در استان آذربایجان شرقی پایش و شناسایی کردند. آن ها از شاخص RDD و سرعت آستانه به دست آمده در تونل بادی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که کانون تولید ریزگرد حاشیه شرقی دریاچه ارومیه فعال ترین کانون در استان است. خوارزمی و همکاران (۲۰۲۳)، کانون های فعال گردوغبار با روش های میدانی و دورسنجی تعیین و سرعت آستانه فرسایش بادی را در شرق استان کرمان محاسبه کردند. سرعت آستانه در تونل باد اندازه گیری شد و بادهای فرساینده و رژیم باد غالب بر مبنای داده های ایستگاه هواشناسی مشخص کرد که ایستگاه های ریگان و نصرت آباد به ترتیب با ۵۶۱ و ۱۱۹۹ قابلیت حمل ماسه برحسب واحد برداری و بادهای با سرعت ۴۰ نات، جزو مناطق با انرژی باد زیاد هستند. نتایج تعیین فرسایش پذیری خاک ها نشان داد که بخش های جنوبی دارای کمترین میزان سرعت آستانه فرسایش بادی (بین ۶ تا ۸ متر بر ثانیه) هستند. شهریاری و همکاران (۲۰۲۵)، پراکنش مکانی شاخص های فرسایش پذیری خاک با استفاده از روش های زمین آماری را در دشت سیستم بررسی کردند. آن ها دریافتند که بین نحوه پراکنش شاخص های فرسایش پذیری با نحوه پراکنش ذرات خاک در منطقه تطابق بالایی وجود دارد. نصری و همکاران (۲۰۲۵) رابطه بین فراوانی وقوع طوفان های گردوغبار با متغیرهای دمایی در جنوب شرقی ایران را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که دمای سطح زمین و



شکل (۱): موقعیت منطقه در ایران و استان اصفهان

Figure (1): Location of the study area in Iran and Isfahan Province

روش تحقیق

۲-۱. شناسایی منبع تولید ریزگرد

با در نظر گرفتن ژئومورفولوژی منطقه و با استفاده از تصاویر گوگل ارث و همچنین اطلاعات موجود (تحقیق دفتر گردوغبار سازمان محیط زیست و سازمان زمین شناسی کشور) و نقشه های شاخص های پوشش گیاهی مانند SAVI^۵ و NDVI^۶، حد و حدود منابع ریزگرد در محیط گوگل ارث مشخص شد. تدقیق حدود منابع با بررسی میدانی و بررسی آثار و علائم فرسایشی سطح خاک در بازدیدهای میدانی صورت گرفت.

۲. تعیین ویژگی های عمومی منبع تولید ریزگرد

ویژگی های عمومی منابع تولید ریزگرد کمک شایانی به انتخاب روش های مناسب تثبیت خواهد نمود. این ویژگی ها با بررسی های میدانی، نمونه گیری زمینی و سنجش از راه دور تهیه شد که عبارت اند از:

۲-۱. شناسایی مرفولوژی و شکل شناسی منابع اراضی منطقه تولید ریزگرد: براساس روش منابع اراضی منابع ریزگرد تا سرحد اجزا واحد اراضی تفکیک شد.

در ایجاد گردوغبار دو مؤلفه باد و خاک نقش اساسی دارند. لذا در این مطالعه با بررسی این دو پارامتر به صورت کمی، پتانسیل ایجاد گردوغبار دشت سجزی مشخص شده است. مراحل اجرای تحقیق طی سه مرحله به شرح ذیل است:

۱. شناسایی منابع تولید ریزگرد

۱-۱. تجزیه و تحلیل داده های باد

با استفاده از آمار و داده های باد (سمت و سرعت ساعتی) ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک پیرامون منطقه و محاسبه شاخص های DP^1 ، RDP^2 و RDD^3 (پتانسیل حمل ماسه، جهت حمل نهایی رسوبات بادی) با استفاده از روش فرایبرگر-دین (۱۹۷۹)، مشخصات بادهای فرساینده مشخص شد. نسبت RDP به DP را UDI^4 گویند. اگر این نسبت بیش از ۰/۸ باشد باد منطقه یک جهته، اگر بین ۰/۸ تا ۰/۳ باشد باد دوجته و اگر کمتر از ۰/۳ باشد، باد چندجهته است.

1. Drift Potential
2. Resultant Drift Potential
3. Resultant Drift Direction
4. Uni Direction Index

5. Soil Adjusted Vegetation Index
6. Normalized Difference Vegetation Index

بادبردگی در سرعت‌های مختلف، با استفاده از معادله خط بادبردگی در مقابل سرعت باد، هنگامی که میزان بادبردگی به صفر نزدیک شود، سرعت آستانه مشخص می‌گردد. در واقع به کمک معادله خط به دست آمده و قرار دادن مقدار Y برابر صفر می‌توان سرعت آستانه فرسایش را به روش ریاضی محاسبه کرد. پس از تعیین سرعت آستانه مربوط به هریک از نمونه‌ها، برای اندازه‌گیری فرسایش‌پذیری بادی خاک، هر نمونه به مدت ۲ دقیقه در معرض سرعت‌های مختلف باد که بیشتر از سرعت آستانه فرسایش بادی مربوط به هر نمونه بوده قرار داده شد. پس از زمان مذکور مجدد نمونه خاک وزن شده و اختلاف وزن حاصل که بیانگر میزان فرسایش ($1 \text{ kg m}^{-2} \text{ min}^{-1}$) است تحت هریک از سرعت‌های باد اندازه‌گیری شد؛ در نتیجه میزان فرسایش‌پذیری بادی هریک از نمونه‌ها از روش محاسبه شیب خط نمودار میزان فرسایش در برابر سرعت باد تعیین شد.

نتایج

تجزیه و تحلیل بادهای فرساینده

به کمک داده‌های ساعتی سرعت و جهت باد ایستگاه‌های منتخب، گلباد آن‌ها در نرم‌افزار (WRPLOT 8.0.2 Lakes Environmental, ۱۹۹۸) ترسیم گردید. گلباد ایستگاه سینوپتیک اصفهان به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه در شکل (۲) نشان داده شده است. با نتایج حاصل از فراوانی سرعت‌های مختلف باد، پتانسیل حمل ماسه (DP) برای هر ایستگاه محاسبه (جدول ۱) گردید. اگر پتانسیل جابه‌جایی کمتر از ۲۰۰ باشد انرژی باد محیط کم، بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ انرژی متوسط و بالاتر از ۴۰۰، انرژی بالاست. بدین ترتیب ایستگاه شرق اصفهان با پتانسیل ۴۰۶/۷۶ دارای بالاترین انرژی باد است. نسبت UDP در ایستگاه‌های مورد مطالعه بین ۰/۸ تا ۰/۳ قرار می‌گیرد و نشان‌دهنده غلبه باد دوجبهه است.

۲-۲. تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه تولید ریزگرد: نمونه‌گیری با استفاده از روش استاندارد خاک‌شناسی و ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

۳-۲. تکمیل فرم‌های مربوط به هر نقطه نمونه‌برداری، شامل وضعیت ظاهری خاک، توپوگرافی، فراوانی نبکا، پف‌کردگی، نوع پوشش گیاهی، اثرات شوری، میزان حساسیت، میزان فرسایش، شکل و میزان سله خاک و همچنین تعیین مقاومت برشی و مقاومت فشاری.

۳. اندازه‌گیری پتانسیل تولید گردوغبار

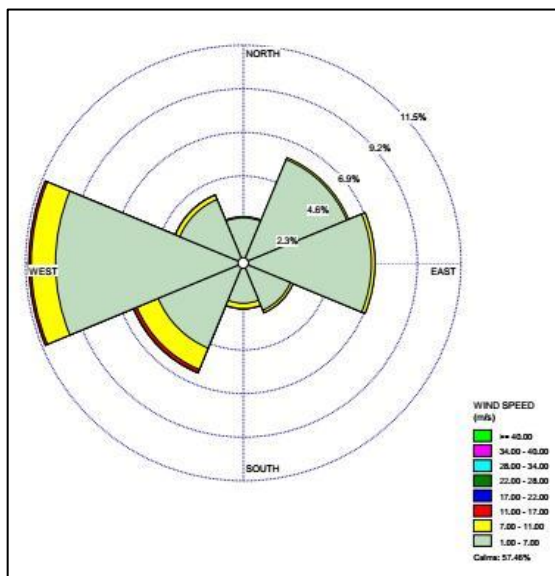
۳-۱. مقاومت لایه سطحی خاک به وسیله پترومتر و توروین به ترتیب برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری و مقاومت برشی بررسی شد. بدین منظور مقاومت فشاری و برشی ۱۰ نقطه در هر واحد اندازه‌گیری و میانگین آن محاسبه شد. اعداد بالاتر در این اندازه‌گیری بیانگر مقاومت بیشتر خاک نسبت به فرسایش بادی است.

۳-۲. آستانه فرسایش بادی به وسیله تونل باد مستقر در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور در نمونه‌های دست‌نخورده به ابعاد $30 \times 50 \times 5$ سانتی‌متر اندازه‌گیری و مقدار رسوبات بادی تولیدشده برای هر نمونه با استفاده از رسوب‌گیرهای ساخته‌شده در سرعت‌های باد ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ متر بر ثانیه محاسبه شد. سرعت آستانه فرسایش در این پژوهش به دو روش مشاهداتی و محاسباتی مشخص شد. در این مطالعه بیشتر روش مشاهداتی مد نظر بوده است و برای اطمینان و تأیید، روش محاسباتی هم بررسی شد. آستانه فرسایش در روش مشاهداتی هنگامی ثبت شد که از سطح نمونه، ذرات قابل توجهی شروع به حرکت کردند. این شاخص با تکرار اندازه‌گیری و تغییر سرعت باد در تونل باد به صورت تجربی مشخص شد. در روش محاسباتی با اندازه‌گیری مقدار

جدول (۱): شاخص‌های مختلف بادسنجی ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان

Table (1): Anemometric indices of meteorological stations in Isfahan province

ردیف	ایستگاه	دوره آماری	باد آرام	DP	RDD	RDP	RDP/DP	M SPEED
۱	اصفهان	۱۹۹۲-۲۰۲۰	۵۷/۴۶	۹۴/۷۶	۶۰/۵۶	۶۹/۲۷	۰/۷۳	۳/۰۸
۲	شرق اصفهان	۱۹۷۶-۲۰۲۰	۳۰/۹۴	۴۰۶/۷۶	۵۴/۵۷	۲۶۰/۴۱	۰/۶۴	۵/۶۱
۳	کبوترآباد	۱۹۹۲-۲۰۲۰	۴۴/۱۵	۲۳۱/۰۷	۸۱/۸۶	۱۷۹/۷۱	۰/۷۸	۲/۹۱
۴	مورچه‌خورت	۲۰۲۰-۲۰۰۷	۱۶/۵۱	۲۸۵/۲۱	۴۴/۰۴	۱۵۳/۶۴	۰/۵۴	۶/۵۷

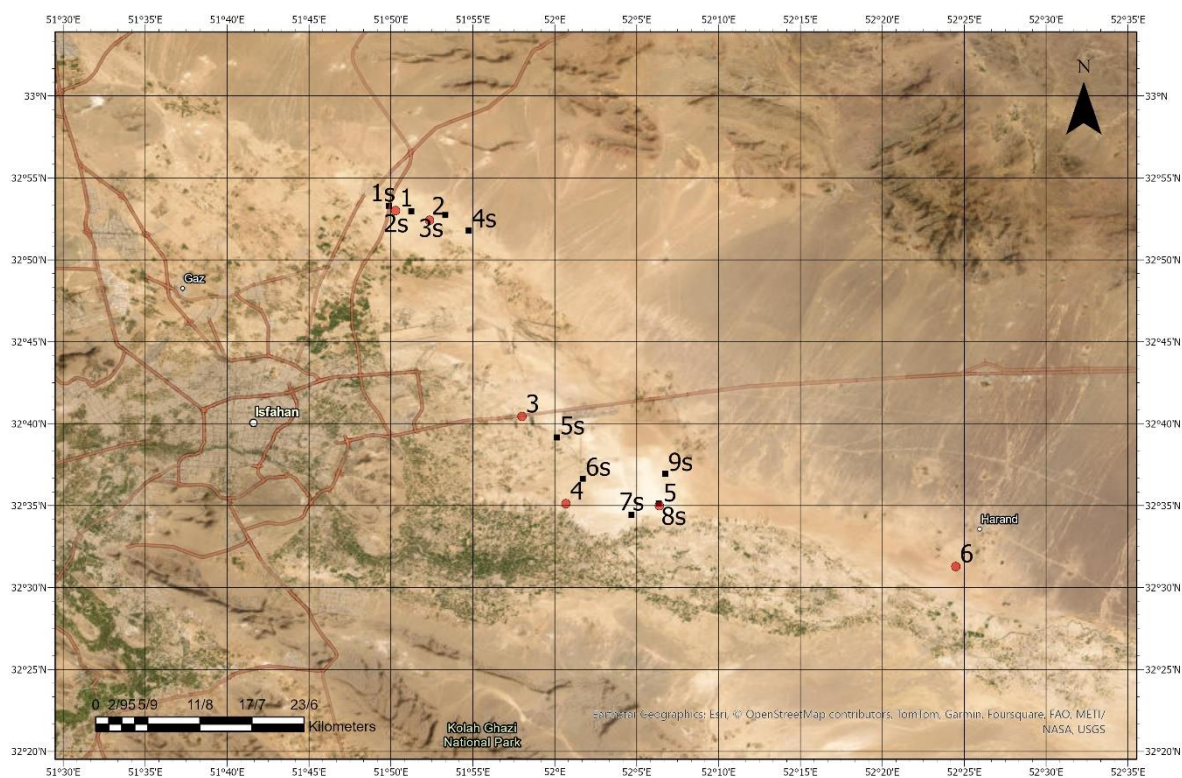


شکل (۲): گلاباد ایستگاه هواشناسی اصفهان

Figure (2): Wind rose of Isfahan meteorological station

اندازه‌گیری پتانسیل تولید گردوغبار

با توجه به شرایط محیطی و امکان دسترسی، ۹ نمونه خاک (شکل ۳) به منظور آزمایش فیزیکوشیمیایی برداشت گردید. نتایج حاصل از آزمایش فیزیکوشیمیایی در جدول (۲) نشان داده شده است. برای بررسی پتانسیل تولید گردوغبار و تعیین سرعت آستانه فرسایش در تونل باد، نمونه‌های سطحی در ۶ نقطه (شکل ۳) برداشت شد. نتایج سرعت آستانه به صورت مشاهده‌ای و محاسبه‌ای در جدول (۳) و شکل (۴) نشان داده شده است. به کمک پترومتر و توربین به ترتیب مقاومت فشاری و برشی در تکرارهای کافی و معدل‌گیری از سطح خاک اندازه‌گیری که نتایج آن در جدول (۴) ارائه شده است.



شکل (۳): نقاط نمونه‌برداری خاک سطحی دست‌نخورده دشت سجزی

Figure (3): Sampling points of undisturbed surface soil in the Sejzi Plain

جدول (۲): مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک دشت سجزی

Table (2): Physical and chemical properties of soil samples from the Sejzi Plain

نمونه	مختصات		pH	EC (dS/m)	گج %	%OC	T.N.V %	Clay %	Silt %	Sand %	بافت خاک
	عرض	طول									
۱	۵۷۷۷۴۵	۳۶۳۹۲۰۸	۸	۴۱/۳	۹/۸	۰/۳۰	۴۳/۶	۳۱/۶	۴۶	۲۲/۴	C.L
۲	۵۷۹۸۹۰	۳۶۳۸۶۳۰	۸/۴	۷۵	۲/۷	۰/۲۸	۳۳/۴	۴۷/۶	۴۰	۱۲/۴	Si.C
۳	۵۸۳۱۲۴	۳۶۳۸۲۲۵	۸/۵	۱۰۵/۷	۲/۷	۰/۴۸	۲۰/۱	۵۹/۶	۲۸	۱۲/۴	C
۴	۵۸۵۳۷۱	۳۶۳۶۵۰۶	۸	۵۴/۳	۳/۴	۰/۴۰	۲۲/۴	۴۷/۶	۳۴	۱۸/۴	C
۵	۵۹۳۹۸۳	۳۶۱۳۳۳۲	۸/۸	۸۸/۱	۱/۱	۰/۳۰	۵/۶	۱۷/۶	۱۶	۶۶/۴	S.L
۶	۵۹۶۵۰۲	۳۶۰۸۵۹۷	۸/۱	۱۶/۱۷	۵/۲	۰/۸۵	۲۰/۴	۳۷/۶	۵۰	۱۲/۴	Si.C.L
۷	۶۰۱۱۹۱	۳۶۰۴۵۷۱	۸/۳	۱۵۷/۱	۵۸/۶	۰/۶۵	۵/۶	۲۱/۶	۲۰	۵۸/۴	S.C.L
۸	۶۰۳۷۸۵	۳۶۰۵۸۷۹	۸/۵	۴۵/۱	۶۸/۹	۰/۲۴	۱/۱	۷/۶	۱۰	۸۲/۴	S.L
۹	۶۰۴۳۵۵	۳۶۰۹۲۳۳	۷/۹	۴۸/۳	۹/۲	۰/۳۰	۱۶/۹	۲۱/۶	۵۰	۲۸/۴	Si.L

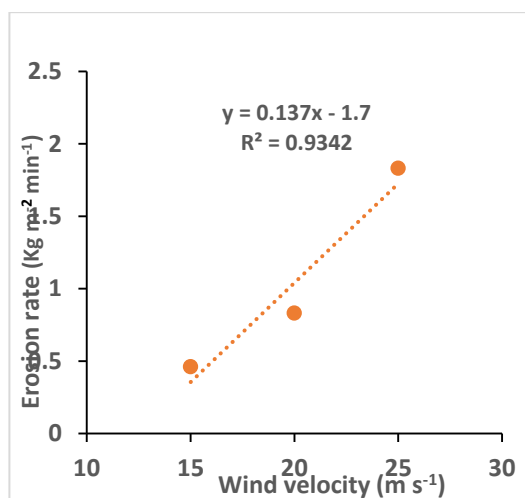
جدول (۳): نتایج آزمایش خاک در تونل باد منطقه سجزی

Table (3): Soil test results in the wind tunnel of the Sejzi region

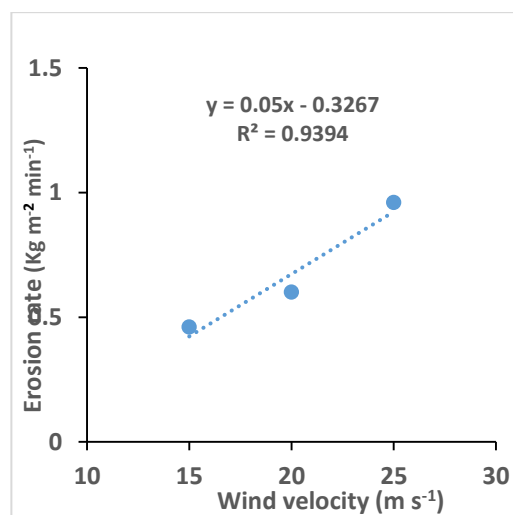
نمونه	مختصات		سرعت آستانه مشاهداتی (m/s)	سرعت آستانه محاسباتی (m/s)	سرعت باد (m/s)	میزان فرسایش (کیلوگرم بر متر مربع در دقیقه)	جمع بادبردگی (کیلوگرم بر متر مربع در دقیقه)
	عرض	طول					
۱	۵۷۸۳۸۶	۳۶۳۸۶۷۹	۱۰	۶/۵۳	۱۵	۰/۴۶	۲/۰۲
					۲۰	۰/۶	
					۲۵	۰/۹۶	
۲	۵۸۱۶۳۹	۳۶۳۷۶۲۳	۱۰	۱۲/۴	۱۵	۰/۴۶	۳/۱۲
					۲۰	۰/۸۳	
					۲۵	۱/۸۳	
۳	۵۹۰۶۲۲	۳۶۱۵۵۵۲	۸	۶/۲۵	۱۵	۲	۹/۹
					۲۰	۳/۵	
					۲۵	۴/۴	
۴	۵۹۴۹۲۸	۳۶۰۵۷۶۰	۸	۹/۵۸	۱۵	۲/۷	۱۴/۰۶
					۲۰	۴/۱۶	
					۲۵	۷/۲	
۵	۶۰۳۸۳۳	۳۶۰۵۶۳۸	۱۰	۱۰/۷۹	۱۵	۱/۳	۸/۵۶
					۲۰	۲/۸۶	
					۲۵	۴/۴	
۶	۶۳۲۲۵۶	۳۵۹۹۱۰۱	۱۰	۹/۹	۱۵	۱/۶۳	۹/۶۹
					۲۰	۳/۲۳	
					۲۵	۴/۸۳	

جدول (۴): مقاومت برشی و فشاری (Kg/cm²)Table (4): Shear and compressive strength (Kg/cm²)

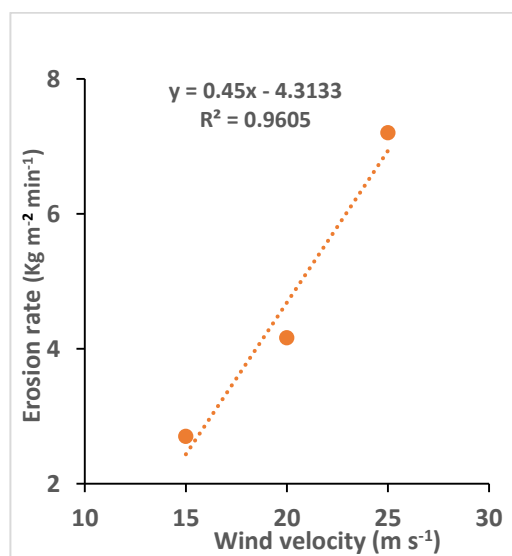
نمونه	مقاومت برشی (Kg/cm ²)	مقاومت فشاری (Kg/cm ²)
۱	۲/۰۴	۲/۳
۲	۱/۱۲	۱/۴
۳	۱/۲۵	۱/۱
۴	۲/۶	۱/۵
۵	۱	۲
۶	۰	۰/۵



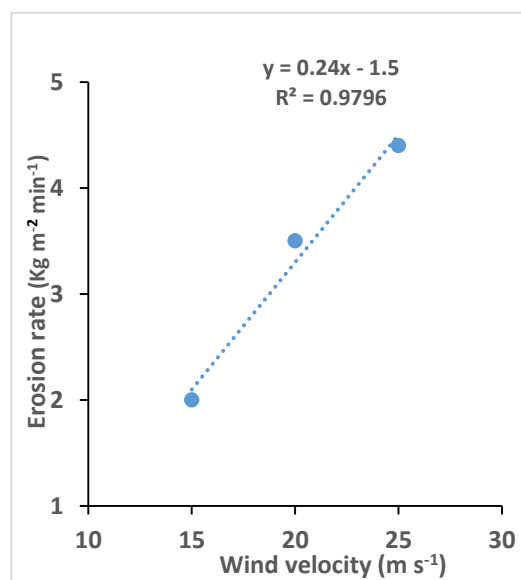
نمونه ۲



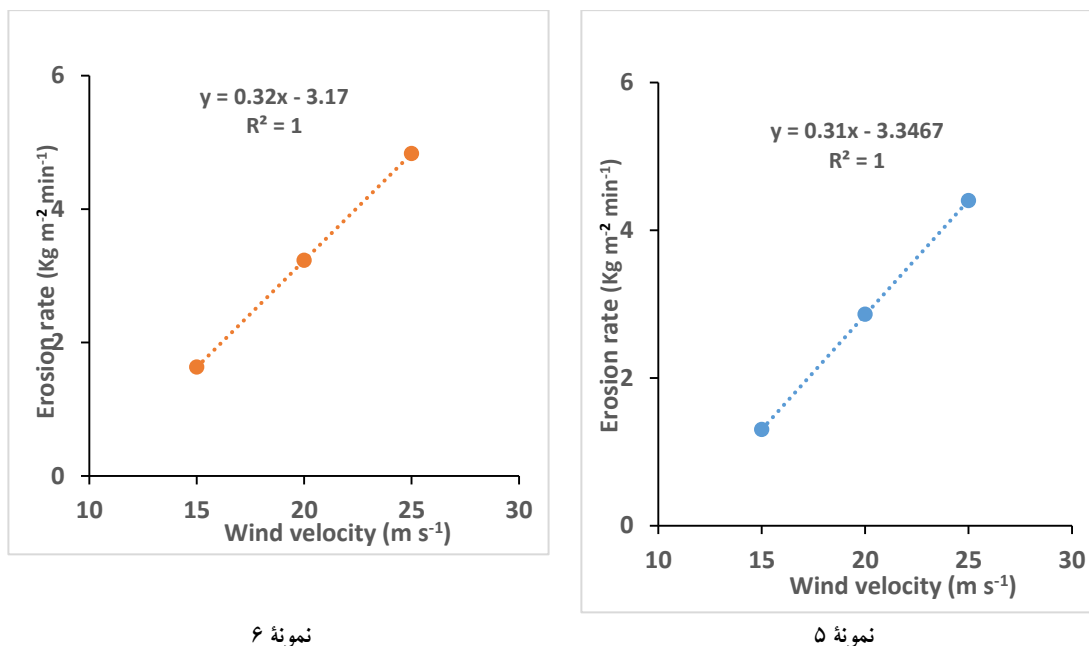
نمونه ۱



نمونه ۴



نمونه ۳



نمونه ۶

نمونه ۵

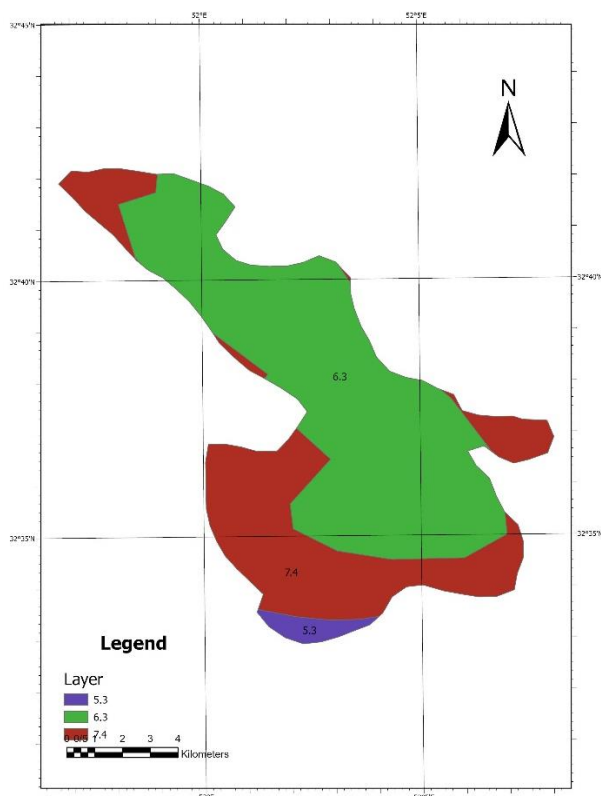
شکل (۴): نمودار میزان فرسایش پذیری خاک سطحی در سرعت‌های مختلف باد در تونل باد

Figure (4): Surface soil erodibility at different wind speeds in the wind tunnel

پست و شور ۶۲ درصد این کانون را پوشش داده است (شکل ۵، جدول ۵). نقشه کاربری اراضی این کانون، چهار نوع کاربری را نشان می‌دهد که کاربری اراضی شور، ۷۱ درصد منطقه را در بر می‌گیرد (شکل ۶، جدول ۶).

شناسایی مورفولوژی و شکل‌شناسی منابع اراضی منطقه تولید ریزگرد

کانون سجزی دارای ۳ تیپ اراضی دشت رسوبی (۵)، اراضی پست و شور (۶) و دشت سیلابی (۷) است که تیپ اراضی



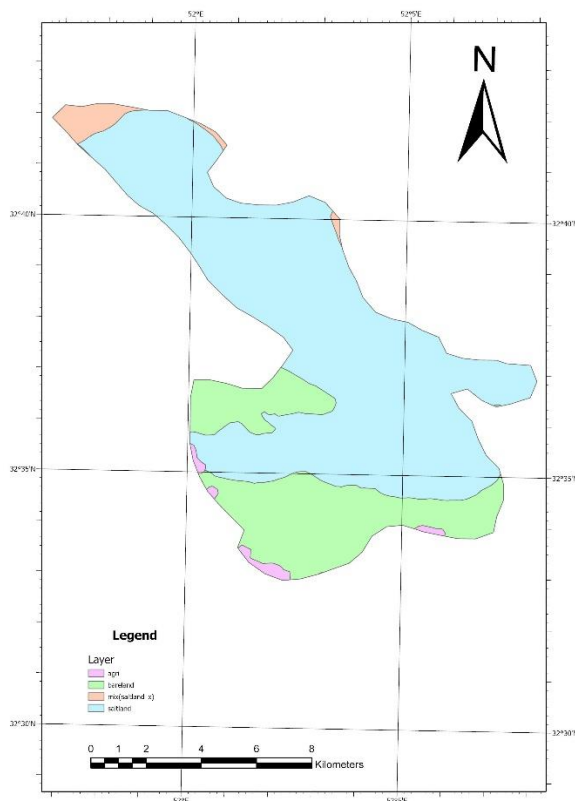
شکل (۵): نقشه تیپ اراضی کانون سجزی

Figure (5): Land type map of the Sejzi dust source

جدول (۵): مساحت تیپ اراضی سجزی

Table (5): Area of land types in Sejzi

ردیف	تیپ اراضی	نام تیپ اراضی	مساحت (متر مربع)	درصد
۱	۶	اراضی پست و شور	۷۳۵۶۲۲۶۲	۶۲/۳
۲	۷	دشت سیلابی	۴۱۸۶۰۱۴۳	۳۵/۵
۳	۵	دشت رسوبی	۲۶۳۴۲۶۲	۲/۲
		مجموع	۱۱۷۸۰۶۵۷۵	۱۰۰



شکل (۶): نقشه کاربری اراضی کانون سجزی

Figure (6): Land use map of the Sejzi dust source

جدول (۶): مساحت کاربری اراضی سجزی

Table (6): Area of land use in Sejzi

ردیف	کاربری اراضی	مساحت (متر مربع)	درصد
۱	اراضی شور	۸۴۲۲۶۸۹۵	۷۱/۵
۲	بایر	۲۹۴۶۰۷۵۲	۲۵
۳	ترکیب اراضی شور و مخلوط	۲۸۴۸۲۴۱	۲/۴
۴	کشاورزی	۱۲۷۰۶۸۷	۱/۱
	مجموع	۱۱۷۸۰۶۵۷۵	۱۰۰

بحث و نتیجه گیری

کوره های گچ پزی و تشدید فرسایش اراضی گچی، باعث تبدیل منطقه سجزی به یک کانون تولید گردوغبار شده است. طوفان های شن و گردوغبار معلق در هوا که تقریباً در تمام فصل سال در منطقه به وقوع می پیوندد، با ورود به سیستم های

بهره برداری غیراصولی از اراضی گچی و رهاسازی معادن، از بین رفتن سنگفرش حفاظتی سطح خاک ناشی از فعالیت های معادن و رفت و آمد وسایل نقلیه سنگین، گسترش فعالیت

خاک سطحی و پفکی شدن آن می‌شود که در شرایط خشکسالی و رطوبت پایین و همچنین عدم استقرار پوشش گیاهی، موجبات ایجاد یک کانون بحرانی گردوغبار فراهم می‌گردد. بررسی مقاومت برشی و فشاری خاک‌های منطقه سگری گویای پایین بودن مقاومت این خاک‌هاست و بیشتر در محدوده مقاومتی ۱ تا ۲ قرار گرفته است. آزمایش نمونه‌های دست‌نخورده سطحی خاک این منطقه در تونل باد نشان داد که سرعت آستانه باد بین ۶/۲۵ تا ۱۲/۴ متر بر ثانیه قرار دارد که با توجه با جدول فراوانی سرعت‌های مختلف باد، خیزش ذرات خاک و ایجاد بحران ریزگرد قطعی است.

بررسی نقشه‌های منابع و کاربری اراضی گویای حاکمیت اراضی شور و بایر در منطقه است که با نقشه‌های شاخص گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای هم‌خوانی دارد. این شاخص‌ها به‌طور کامل منفی و مؤید عدم پوشش گیاهی است. پورهایشی و همکاران (۲۰۱۶) با تحلیل ارتباط پوشش گیاهی با وقوع تعداد گردوغبار نتیجه گرفتند که با کاهش پوشش گیاهی بر تعداد وقوع گردوغبار افزوده می‌شود. نوروزی و خادمی (۲۰۱۵) تغییرات مکانی و زمانی نرخ فرونشست گردوغبار در شهر اصفهان را بررسی کردند و دریافتند که منشأ گردوغبار شهر اصفهان مناطق بیابانی شرق اصفهان با حاکمیت بادهای شرقی در فصل تابستان است.

درمجموع تراکم پایین پوشش گیاهی، سرعت بالای باد، جهت غالب باد از دشت سجزی به شهر اصفهان، بهره‌برداری بی‌رویه از معادن گچ و تردد کامیون‌های سنگین، همگی موجبات ایجاد شرایط بحرانی در دشت سجزی را فراهم کرده است. تهیه نقشه دقیق فرسایش‌پذیری خاک با مقیاس تفصیلی-اجرایی می‌تواند کلید اصلی تدوین برنامه‌های کنترل گردوغبار در آینده باشد. اولویت‌بندی عملیات حفاظتی از واحدهای اراضی که سرعت آستانه کمتری دارند، به‌همراه اجرای عملیات تثبیت بیولوژیک در اراضی با شوری کمتر از ۶۰ دسی زیمنس بر متر پیشنهاد می‌گردد. جاده‌های خاکی در این محدوده یکی از مهم‌ترین منابع تولید گردوغبارند که تهیه یک طرح مناسب از جاده‌های دسترسی به‌همراه ایجاد بادشکن زنده یا غیرزنده در حاشیه و تدوین برنامه زیرسازی و ترافیکی توسط معادن بخش

الکترونیکی کارخانه‌ها، موتور هواپیما و سیستم‌های حساس آن‌ها، نه‌تنها خسارات چندمیلیاردی را سالانه به تأسیسات منطقه وارد می‌سازد، بلکه هرگونه سرمایه‌گذاری جدید در منطقه را غیرممکن ساخته است.

بررسی آمار سرعت و جهت باد ایستگاه‌های نزدیک به منطقه سجزی از جمله اصفهان، شرق اصفهان، کبوترآباد و مورچه‌خورت و ترسیم گلباد آن‌ها حاکی از غلبه باد غربی و شرقی در این منطقه است که با فرسایش رسوبات دشت سجزی در شرق اصفهان، موجبات آلودگی هوای اصفهان را فراهم می‌کند. محاسبه پتانسیل جابجایی (DP) باد این ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که ایستگاه شرق اصفهان با ۴۰۶ واحد در گروه بادهای با انرژی بالا، ایستگاه‌های مورچه‌خورت و کبوترآباد به‌ترتیب با ۲۸۵ و ۲۳۱ واحد در گروه انرژی متوسط و ایستگاه اصفهان با ۹۴ واحد در طبقه انرژی پایین باد قرار دارد. این اعداد بیانگر مهیا بودن شرایط برای فرسایش بادی به‌لحاظ سرعت و انرژی باد است. بردار برآیند توان حمل ماسه (RDP) ایستگاه شرق اصفهان با برآیند ۲۶۰، جهتی غربی داشته و موجب جابه‌جایی رسوبات منطقه سجزی از شرق به غرب که همان شهر اصفهان است می‌گردد. با بررسی شاخص جهت که از نسبت RDP به DP به دست می‌آید، مشخص می‌شود که بادهای غالب منطقه بین ۰/۳ تا ۰/۸ است که دوجته بودن غربی و شرقی باد در منطقه را تأیید می‌کند. این نتایج هم‌راستا با نتایج تحقیقات پارسامهر و خسروانی (۲۰۱۷) در تحلیل بادهای فرساینده و بررسی توان حمل رسوبات بادی در مناطق بیابانی استان اصفهان است. جعفری و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعات خود تحت عنوان واکاوی آماری پدیده گردوغبار اصفهان نتیجه گرفتند که کانال باد در مسیر غربی-شرقی است. با آغاز دوره سرد سال، وزش بادهای همراه گردوغبار از نیمه غربی به‌سمت اصفهان شدت می‌گیرد و با شروع فصل گرما به‌ویژه فصل تابستان وزش باد شرقی از سمت سجزی به اصفهان غلبه دارد. بررسی آزمایش خاک نمونه‌های برداشت‌شده از دشت سجزی گویای غلبه خاک شور با EC بین ۱۶ تا ۱۵۷ دسی زیمنس بر متر است. اسیدیته خاک قلیایی و در بیشتر نمونه‌ها بالای ۸ است. سدیمی بودن خاک موجب پراکندگی ذرات

در بحث مبارزه با ریزگرد استان اصفهان هم کانون‌های داخل استانی و هم خارج استان و کشور باید مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا احداث ایستگاه‌های پایش ریزگرد در اقصی نقاط کشور به‌خصوص در فلات مرکزی ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

خصوصی باید صورت گیرد. لذا باید دخالت‌ها و بهره‌برداری‌های بی‌رویه انسان در این منطقه کاهش یابد و مناطق بحرانی به کمک مالچ‌های سازگار با محیط‌زیست مانند مالچ رسی (جاويز و همکاران، ۲۰۲۳) تثبیت و مقدمات احیای بیولوژیک فراهم گردد.

منابع

- Abbasi, H., Gohardoust, A., khaksarian, F., & Baranizadeh, M. (2022). Identification of land sensitivity to wind erosion using field data in Hamoun-e Baringak, Sistan. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(33), 121-134.
- Abbasi, H., Ruhipour, H., Khosrowshahi, M., Kashki, M., Dashtakian, K., Qurbanian, D., & Rudgarmi, P. (2013). The distribution of wind deposits in the country based on aerial photographs (1372-1382) (report on the progress of the country's sand dunes digital data bank). *The third national conference on wind erosion and dust storms - Yazd University*.
- Behrawan, H., Yarahmadi, J., & Abbasi, H. (2023). Identification and Monitoring of Sand and Dust Storms Sources (SDSS) in East Azarbaijan Province. *Geographic Research*, 38(3), 319-329.
- Breed, C.S., & Grow, T. (1979). Morphology and distribution of dunes in sand seas observed by remote sensing a study of global sand seas: US Government Printing Office Washington, DC. 1052, 253-302.
- Duniway, M., Alix, C., Pfennigwerth, A., Stephen, E. Fick, Travis, W., and Barger, N. (2019). Wind Erosion and Dust from US Drylands: A Review of Causes, Consequences, and Solutions in a Changing World. *Ecosphere*, 10, 3. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2650>.
- Fryberger, S.G., & Dean, G. (1979). Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*, U.S. Geological Survey, Washington, Professional Paper, 1052, 137-169.
- Heidarian, P., Azhdari, A., Jodaki, M., Darvishi Khatooni, H., & Shahbazi, R. (2017). Identifying interior sources of dust storms using remote sensing, GIS and geology (case study: Khuzestan province). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 27(105), 33-46.
- Jafari, M., Zehtabian, Gh.R., & Mesbahzadeh, T. (2019). Statistical analysis of the dust storm phenomenon (case study: Isfahan). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 25(4), 863-876.
- Javiz E., Jalalian, A., Mosaddeghi, M., Chavoshi, E., & Honarjoo, N. (2023). The Effect of Clay Mulch based on Bentonite Clay in the Dust Storm Stabilization in the Sajzi Critical Region (East of Isfahan). *Journal of Water and Soil Science*, 26(4), 217-232.
- Kharazmi, R., Abbasi, H., Moradi sani, S., & Khaksarian, F. (2023). Identification of Active Dust Source Areas Using Field and Remote Sensing Methods for Determining Wind Erosion Threshold Velocity (Case Study: Eastern Kerman Province). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 21(1), 55-75.
- Kimura, R., & Moriyama, M. (2014). Application of a satellite- based aridity index in dust source regions of northeast Asia. *Journal of Arid Environments*, 109, 31-38.
- Lancaster, N. (1994). *Dune morphology and dynamics Geomorphology of desert environments*: Springer, 474-505.
- Lancaster, N., & Baas, A. (1998). Influence of vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23(1), 69-82.
- Livingstone, I., & Warren, A. (1996). *Aeolian geomorphology: an introduction*, Longman. <https://www.mehrnews.com/news/5504313/>.
- Nasry, M., Rahimi, M., Jalili, H., Tarighat, F., & Damavandi, A. (2025). An examination of the correlation between the occurrence of dust storms and temperature variations in southeastern Iran (case study: Sistan-Baluchistan Province). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 23(1), doi:10.22092/ijfrpr.2025.368227.1657
- Norouzi S., & Khademi, H. (2015). Spatial and Temporal Variation in Dust Deposition Rate in Isfahan and its Relationship with Selected Climatic Parameters. *Journal of Water and Soil Science*, 19(72), 149-162.
- Parsamehr, A.H., & Khosravani, Z. (2017). Analysis of erosive winds and depositions drift potential in desert regions of Esfahan Province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 23(4), 832-842.
- Pourhashemi, S., Boroghani, M., Zangane Asadi, M. A., & Amir Ahmadi, A. (2016). Analysis relation of vegetation cover on the number of dust event in Khorasan Razavi using geographic information system and remote sensing. *RS & GIS for Natural Resources*, 6(4), 33-45.
- Shahriari, A., Mohammadi, S. M., Shirmohammadi, E., Fatemi Ghomesheh, A., & Galavi, H. (2025). Investigating the spatial distribution of soil wind-

- erodible indices using geostatistical methods in the Sistan plain. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14(43), 111-132. doi: 10.22111/jneh.2024.49372.2060
20. Shirazi, M., Akhavan Ghalibaf, M., Matinfar, H.R., & Nakhkesh, M. (2019). Evaluation of Landsat OLI data for estimating Aerosol Optical Thickness over deserts. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26(4), 855-867.
21. Soleimani, Z., Teymouri, P., Darvishi Boloorani, A., Mesdaghinia, A.R., Middleton, N., & Griffin, D.W. (2020). An Overview of Bioaerosol Load and Health Impacts Associated with Dust Storms: A Focus on the Middle East. *Atmospheric Environment*, 223, 117187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117187>.

Assessing Land Susceptibility to Wind Erosion in the Sejzi Dust Source, Isfahan

Seyyed Mortaza Abtahi,^{1*} Hamidreza Abbasi²

Received: 11/05/2025

Accepted: 17/11/2025

Extended Abstract

Introduction: Dust storms are a severe environmental phenomenon prevalent in arid and semi-arid regions worldwide. They inflict substantial socioeconomic damage by disrupting communication systems, land and air transportation, and reducing national income. Furthermore, they pose critical risks to human and animal health, sometimes resulting in fatalities. This research aims to address this issue in the dust source areas of eastern Isfahan. The study is designed to identify zones sensitive to wind erosion and dust generation, and to investigate the dynamics of dust storms through an analysis of wind intensity and the calculation of threshold velocities across the study area.

Materials and Methods: This study was conducted to characterize erosive winds, delineate dust sources, and assess land susceptibility to wind erosion in the Sejzi region of Isfahan. Hourly wind speed and direction data from four meteorological stations—Isfahan, East Isfahan, Murcheh Khort, and Kabutarabad—were analyzed to determine the direction, intensity, and energy of erosive winds.

Potential dust source areas were first identified through the interpretation of satellite imagery and subsequent field surveys. Following the confirmation of dust sources, land units were delineated on a map. A total of nine soil samples were collected for the analysis of physical and chemical properties, and an additional six samples were dedicated to determining wind threshold velocity and soil erodibility.

The erosion potential of the soils was quantified using a wind tunnel, where sediment removal rates were measured at various wind speeds to determine the threshold wind velocity through both observational and computational methods. Furthermore, the shear and compressive strengths of the terrain were evaluated, and the physical and chemical properties of the soil samples were analyzed in the laboratory.

Results: The analysis of wind data revealed that the energy of erosive winds, quantified by the Sand Transport Potential (STP) index, is classified as **high** at the East Isfahan station and **medium to low** at the other stations (Isfahan, Murcheh Khort, and Kabutarabad). The prevailing direction of these erosive winds is predominantly from the **east to west**, extending from the Sejzi Plain towards the city of Isfahan.

Laboratory and field measurements of soil properties showed a threshold wind velocity for particle entrainment ranging from **6.5 to 12 m/s**. Furthermore, the geotechnical analysis indicated that the shear strength of the topsoil varies between **1.0 and 2.06 kg/cm²**, while the compressive strength ranges from **1.1 to 2.0 kg/cm²**.

Discussion and conclusion: The findings of this study demonstrate that the Sejzi region poses a significant environmental threat to Isfahan, primarily due to its potent combination of high-energy easterly winds and erodible surface soils. The determined threshold wind velocities (6.5-12 m/s) are frequently exceeded, as evidenced by the wind energy analysis, confirming the high potential for dust emission and transport directly toward the city. Therefore, given this region's critical role as a dust source, the implementation of targeted restoration strategies is not just beneficial but imperative. Any such strategies must be fundamentally informed by the soil's specific physical and chemical properties—such as its low shear strength and specific texture—to ensure effectiveness and long-term sustainability. Mitigation measures could include the stabilization of highly erodible units identified in this study through mechanical methods (such as checkerboards) or biological approaches (using native, drought-resistant vegetation), tailored to the distinct conditions of each mapped land unit.

Keywords: Desert, Dust source, Isfahan, Sajzi plain, Wind Erosion.

1. Associate prof., Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Kashan, Iran, Corresponding author; Email: Morabtahi70@gmail.com

2. Assistant prof., Research Division of Desert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Iran; Email: abbasi.hamidreza@ymail.com