

## بررسی آستانه فرسایش بادی در پوشش‌های اراضی مختلف و تأثیر خصوصیات خاک بر آن (مطالعه موردی: منطقه نیاتک سیستان)

علیرضا نورافر<sup>۱</sup>، احمد پهلوانروی<sup>۱</sup>، محمد نهتانی<sup>۱</sup> و وحید راهداری<sup>۲\*</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۵)

### چکیده

یکی از مهم‌ترین فرایندهای طبیعی در مناطق خشک و نیمه خشک، فرسایش بادی است. دشت سیستان با اقلیم فراهشک، یکی از مناطق بادخیز کشور بوده که با توجه به خصوصیات خاک منطقه، پدیده فرسایش بادی از شدت زیادی برخوردار است. این پژوهش با هدف بررسی رابطه بین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با مقدار آستانه فرسایش بادی در پوشش‌های مختلف، در قسمتی از ناحیه مرکزی سیستان و در بازه زمانی اردیبهشت و مرداد ۱۳۹۷ انجام شد. به این منظور، با استفاده از نتایج مطالعات میدانی و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه پوشش اراضی منطقه در پنج طبقه تهیه شد. برای بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، در ۵۰ نقطه در عمق ۱۰ سانتی‌متری از خاک نمونه‌برداری و در هر محل آستانه فرسایش بادی، با استفاده از دستگاه تونل باد قابل حمل، تعیین شد. همچنین رابطه میان خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت، رطوبت خاک، وزن مخصوص ظاهری، EC، SAR، ESP، Na<sup>+</sup>، k<sup>+</sup> با میزان سرعت آستانه فرسایش بادی بررسی شد. بر اساس نتایج بدست آمده، بیشترین سرعت آستانه در اراضی با کاربری کشاورزی، برابر ۸/۲ متر بر ثانیه و کمترین آن، در اراضی تپه ماسه‌ای برابر ۳/۸ متر بر ثانیه بود. مقدار سرعت آستانه فرسایش بادی، در اراضی مختلف در مجاورت نواحی ماسه‌ای، کمتر از میانگین آن پوشش است. همچنین، در منطقه مطالعه در سطح ۵ درصد از بین خصوصیات فیزیکی بیشترین اثر معنی‌دار را بافت خاک و از بین خصوصیات شیمیایی بیشترین تأثیر معنی‌دار را EC و SAR بر فرسایش‌پذیری بادی خاک دارد.

واژه‌های کلیدی: پوشش اراضی، تونل باد، طوفان گرد و غبار، تپه‌های ماسه‌ای، تثبیت خاک

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vrahdari@uoz.ac.ir

## مقدمه

فرسایش بادی یکی از جنبه‌های مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که تابع فرسایش‌زایی و فرسایش‌پذیری است (۱۱). وقوع فرسایش بادی باعث رخ‌دادن پدیده گرد و غبار به‌عنوان یک معضل زیست‌محیطی با اثرات زیستی، اقتصادی و اجتماعی مختلف می‌شود و به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی بیابان‌زایی مطرح می‌شود (۲۱ و ۲۳). فرسایش بادی خاک، بخصوص در نواحی جنوبی ایران که وقوع طوفان گرد و غبار به یک مسئله مهم تبدیل شده است دارای اهمیت است (۲۲ و ۲۹). فلات ایران بر روی کمربند خشک نیمکره‌شمالی قرار گرفته است (۳ و ۲۸، ۲۹). در این شرایط به دلیل کمبود بارندگی، بالابودن دما، کم‌بودن تاج پوشش گیاهی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، آستانه فرسایش بادی در این مناطق کم بوده و بنابراین، زمینه برای وقوع فرسایش بادی و وقوع طوفان‌های گرد و غبار فراهم است (۵ و ۱۱). با توجه به اثرات شدید زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی فرسایش بادی خاک و طوفان‌های گرد و غبار، کنترل این پدیده ضروری است (۱۱). مهار و یا کاهش فرسایش بادی خاک زمانی ممکن خواهد بود که اطلاعات کافی در مورد عوامل مؤثر بر آن مانند قدرت فرساینده‌گی باد (فرسایش‌زایی) و پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک در دسترس باشد (۲۸).

تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی از مبانی اساسی کنترل و حفاظت خاک در مناطق بیابانی محسوب می‌شود به‌طوری‌که مبارزه زیستی و مکانیکی با پدیده فرسایش خاک، بر پایه محاسبه این سرعت قرار دارد (۵). تعیین آستانه فرسایش بادی در یک منطقه باعث مشخص‌شدن حساس‌ترین مناطق به فرسایش بادی و تعیین کانون‌های بحرانی فرسایش گردد. این مسئله باعث صرفه‌جویی در هزینه اقدامات لازم برای کاهش پدیده گرد و غبار خواهد شد (۲۴). از طرف دیگر، بررسی دلیل حساس‌بودن خاک یک منطقه به فرسایش بادی و مقایسه آن با مناطق با شدت فرسایش کمتر می‌تواند زمینه ساز انتخاب مؤثرترین روش برای کاهش شدت فرسایش در مناطق مستعد و

شناسایی مناطق با آسیب‌پذیری بالقوه در مورد فرسایش شود (۷). فرسایش‌زایی به فیزیک باد مرتبط است و فرسایش‌پذیری به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مربوط می‌شود (۱، ۵، ۹ و ۲۹). بنابراین، برای بررسی پدیده فرسایش بادی، نه تنها خصوصیات باد، بلکه خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک باید مورد بررسی قرار گیرند (۲۶). فرسایش بادی در مناطق با خاک‌های نرم، با رطوبت کم، صاف، دانه‌بندی ریز و بدون پوشش گیاهی، از شدت بیشتری برخوردار است و در نتیجه ذرات خاک در سرعت‌های کمتر باد جابجا می‌شوند (۴). میری و همکاران (۱۷) در مطالعه‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر طوفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان پرداختند. آنها کمبود رطوبت خاک، از بین‌رفتن پوشش گیاهی و سرعت باد را مهم‌ترین دلایل در تشدید طوفان‌های گرد و غبار در منطقه سیستان بیان کرده‌اند. ارباب و همکاران (۳) در پژوهشی بر روی تغییرات مکانی سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه جزینک دشت سیستان به این نتیجه رسیدند که متغیرهای مرتبط با بافت خاک (درصد رس، سیلت و ماسه)، اسیدیته، شوری، درصد ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد سنگریزه خاک سطحی، سهم عمده‌ای در تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه دارد. محمودآبادی و همکاران (۱۵) اقدام به بررسی تأثیر توزیع اندازه ذرات خاک سطحی بر روی میزان برداشت خاک توسط باد در سرعت‌های مختلف کردند. آنها پس از بررسی توزیع اندازه ذرات خاک، به این نتیجه رسیدند که افزایش قطر ذرات خاک سطحی تأثیر چند برابری بر روی کاهش میزان برداشت خاک و افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی دارند. احمدی و همکاران (۱) در مطالعه عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری ذاتی خاک در مقابل باد در دشت تبریز دریافتند که رابطه معنی‌دار بین اندازه ذرات فرسایش‌پذیر خاک (درصد ذرات کوچکتر از  $0/84$  میلی‌متر) به‌عنوان مهم‌ترین شاخص فرسایش‌پذیری ذاتی خاک و درصد رس، شوری، ماده آلی و شاخص‌های ساختمان خاک وجود دارد. حنیفه پور و مشهدی (۱۰) برای ارزیابی حساسیت اراضی

قابل حمل باد و تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک، برای بررسی معیارهای مؤثر در پدیده فرسایش بادی و تأثیر متقابل پوشش‌های مختلف سطح زمین بر روی آستانه فرسایش بادی، مورد ارزیابی قرار گرفتند.

### مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه در شمال استان سیستان و بلوچستان، در قسمت مرکزی دشت سیستان و شرق شهر زابل در گستره جغرافیایی  $۱۰^{\circ}۳۱'$  تا  $۱۲^{\circ}۳۱'$  عرض شمالی و  $۵۷^{\circ}۶۱'$  تا  $۷۰^{\circ}۶۱'$  طول شرقی با مساحت  $۱۳۱۴۳$  هکتار و در مجاورت رودخانه نیاتک قرار گرفته است. این منطقه از نظر توپوگرافی، با ارتفاع  $۴۳۰$  تا  $۵۹۰$  متر از سطح دریا، مسطح و فاقد پستی و بلندی خاصی است. اقلیم منطقه به روش دومارتن فوق خشک و متوسط بارندگی کمتر از  $۵۰$  میلی‌متر است (۱۸). منطقه مورد مطالعه شامل انواع پوشش‌های جنگل و مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی آیش، تپه‌های ماسه‌ای و شوره‌زارها است که گرد و غبار برخاسته از این منطقه بخش وسیعی از مناطق پایین‌دست را تحت تأثیر قرار می‌دهد. باد غالب منطقه شمال تا شمال غربی با سرعت بین  $۵/۷$  تا  $۸/۸$  (متر بر ثانیه) است (۲ و ۲۰). شکل ۱، محدوده منطقه مطالعه را نشان می‌دهد.

### داده‌های مورد استفاده

برای رسیدن به اهداف این پژوهش تصاویر ماهواره Sentinel 2 مربوط به اواسط اردیبهشت سال ۱۳۹۷ از سایت USGS دانلود شد. همچنین برای انجام این پژوهش، از نتایج تعیین آستانه فرسایش بادی خاک با استقرار دستگاه تونل باد قابل حمل، تعیین کاربری و پوشش اراضی سطح زمین با استفاده از GPS (Global Positioning System) و نمونه‌برداری از خاک منطقه و تحلیل آنها در آزمایشگاه استفاده شد.

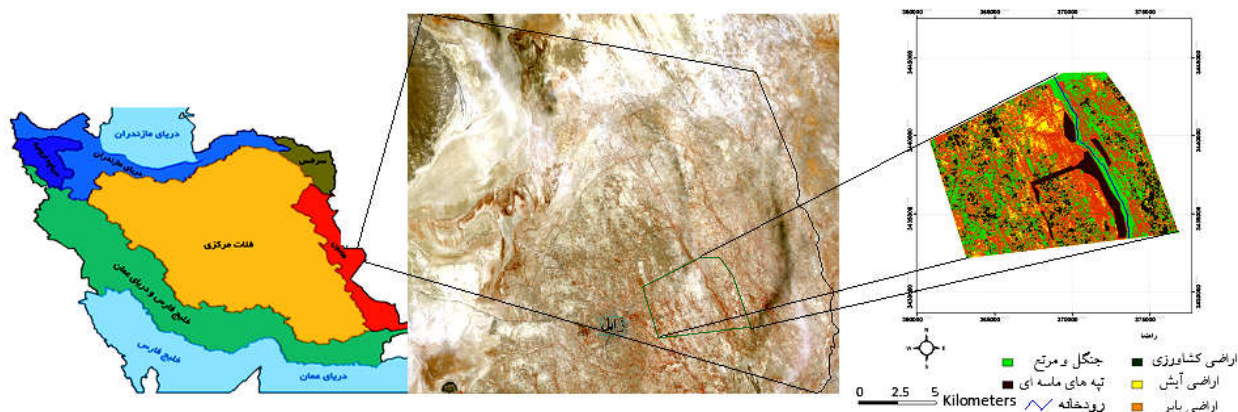
### روش کار

در ابتدا با بررسی نقشه‌های توپوگرافی  $۱/۲۵۰۰۰$  و بازدیدهای میدانی، انواع کاربری و پوشش اراضی موجود در منطقه مطالعه،

کشاورزی به فرسایش بادی، به بررسی تأثیر اندازه ذرات پرداختند و بیان کردند که اراضی با دارا بودن کلوخ‌های سطحی در مقابل فرسایش مقاوم‌تر هستند. سیرجانی و همکاران (۲۴) در پژوهشی در استان فارس بر روی خصوصیات خاکی مرتبط با فرسایش بادی دریافتند که رابطه منفی و معنی‌داری بین مقدار فرسایش خاک و برخی خصوصیات فیزیکی خاک نظیر سنگریزه سطحی، میانگین قطر خاکدانه‌های خاک، رس و میزان رطوبت خاک وجود دارد. همچنین رابطه‌ای غیر خطی (توان دار) بین افزایش ماده آلی خاک و کاهش مقدار فرسایش گزارش کردند. کورنولیس و همکاران (۶) بیان کرده‌اند رطوبت خاک سطحی، اندازه و چگالی ذرات خاک، از جمله عواملی هستند که بر روی فرسایش بادی خاک مؤثر هستند. عظیم‌زاده و اختصاصی (۵) با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، رابطه مستقیم بین مقدار نسیب جذب سدیم (SAR (The Sodium adsorption ratio)، مواد آلی، آهک، شوری، قطر ذرات خاک و رابطه مستقیم بین مقدار یون‌های کلسیم و منیزیم، مقدار آهک و سنگریزه خاک و مقدار سرعت آستانه فرسایش بادی را گزارش کردند.

با توجه به اینکه خاک در نواحی مختلف دارای حساسیت‌های متفاوت به فرسایش بادی است به‌منظور کاهش پدیده گرد و غبار، بایستی حساس‌ترین نواحی به همراه مؤلفه‌های تأثیرگذار بر روی فرسایش بادی را بررسی کرد. در منطقه سیستان، وقوع خشکسالی‌های متوالی سه دهه اخیر، کاهش ورودی آب رودخانه هیرمند و فراه‌رود و وزش بادهای شدید، فرسایش خاک و وقوع طوفان‌های گرد و غبار مشکلات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی متعددی را ایجاد کرده است (۱۸ و ۲۲).

هدف از انجام این مطالعه بررسی حساسیت پوشش‌های مختلف با در نظر گرفتن برخی از مؤلفه‌های تأثیرگذار خاک بر روی فرسایش بادی در منطقه نیاتک به‌عنوان بخشی از دشت سیستان است. در این پژوهش، نتایج حاصل از استقرار تونل



شکل ۱. منطقه مطالعه در دشت سیستان (نیاتک) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

۱۳۹۷ که محصولات کشاورزی برداشت شده بودند استفاده شد. به منظور انجام پردازش بصری، برای هر کدام از تصاویر ماهواره‌ای، تصویر رنگی کاذب تهیه شد. به این ترتیب برای هر کدام از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص گیاهی NDVI (Normalized Difference vegetation index) بر اساس رابطه ۱، تهیه شد (۲).

$$(1) \text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{IR}}{\text{NIR} + \text{IR}}$$

موقعیت اراضی کشاورزی، با اعمال تفریق شاخص گیاهی مربوط به اردیبهشت از مرداد و طبقه‌بندی مجدد نتیجه این تفریق بدست آمد. به این ترتیب که مناطق با مقدار عددی منفی به‌عنوان اراضی کشاورزی در نظر گرفته شدند. سپس نقشه اراضی کشاورزی از تصویر ماهواره‌ای مربوط به اردیبهشت حذف شدند. با استفاده نتایج مطالعات میدانی و نمونه‌برداری‌های تعلیمی از سایر پوشش‌های اراضی، نقشه اراضی بایر، آیش و مراتع با اعمال روش طبقه‌بندی نظارت‌شده Fisher بر روی تصویر اردیبهشت ماه تهیه شدند. با توجه به محدودبودن مناطق تپه ماسه‌ای، نقشه این نواحی به صورت دستی بر روی تصویر ماهواره‌ای رقومی و تهیه شد. در نهایت نقشه پوشش اراضی منطقه در ۵ کلاس با ترکیب مجدد تمامی لایه‌های تهیه شده و به روش ترکیبی (Hybrid) تهیه شد. با مقایسه نقشه تهیه شده با واقعیت میدانی، ماتریس خطا تهیه و دقت نقشه تهیه شده با محاسبه ضریب کاپا و صحت کلی تعیین شد.

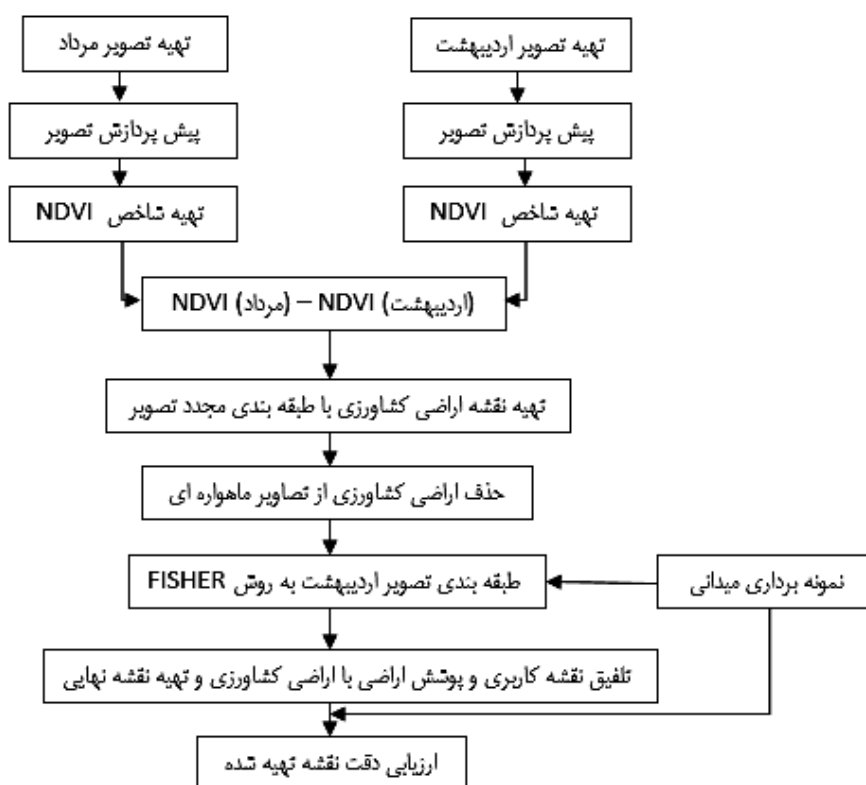
تعیین شد. به این ترتیب پنج نوع پوشش اراضی شامل جنگل و مرتع، اراضی کشاورزی، اراضی آیش، اراضی بایر و تپه‌های ماسه‌ای تعیین و موقعیت آنها با استفاده از GPS ثبت شد. پس از تعیین پوشش‌های اراضی و با توجه به محدودبودن سطح منطقه مطالعه و همگنی کیفی نسبی پوشش‌های یک طبقه در سطح منطقه، ۱۰ نقطه در محدوده هر کدام از پوشش‌ها به صورت سیستماتیک-تصادفی و با پراکنش مناسب تعیین و سرعت‌های آستانه برای هر یک از پوشش‌ها، تعیین و نمونه خاک از هر محل در عمق ۱۰ سانتی‌متری، برداشت شد. برای تعیین سرعت آستانه فرسایش، سرعت باد به تدریج زیاد و پس از مشاهده اولین برداشت ذرات خاک، سرعت باد با استفاده از دستگاه بادسنج تعیین و ثبت شد. شکل ۲، استقرار تونل باد، موقعیت نقاط نمونه‌برداری از خاک و پراکنش آن در سطح منطقه را نشان می‌دهد.

### تهیه نقشه پوشش اراضی

برای تهیه نقشه پوشش اراضی ابتدا تقویم کشت محصولات کشاورزی عمده منطقه شامل گندم و جو تهیه شد. بنابراین، در این مطالعه از تصاویر ماهواره Sentinel 2 مربوط به اواسط اردیبهشت سال ۱۳۹۷ که محصولات کشاورزی در حداکثر مقدار زیست‌توده هستند و نیز تصویر اواسط مرداد



شکل ۲. محل نمونه برداری برای انجام مطالعه



شکل ۳. مراحل تهیه نقشه پوشش اراضی

برداشت شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل شده و مؤلفه‌های مورد نیاز برای انجام این پژوهش محاسبه شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه و مقدار EC خاک با تهیه عصاره اشباع، تعیین شد. میزان کاتیون‌های سدیم  $(Na^+)$  و پتاسیم  $(K^+)$ ، از طریق دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شد. رطوبت خاک با مقایسه

شکل ۳، مراحل تهیه نقشه پوشش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را نشان می‌دهد.

### نمونه برداری و آنالیز خاک

در زمان نمونه برداری، از خاک سطحی، برای محاسبه رطوبت خاک نیز، نمونه خاک درون پلاستیک‌هایی با وزن مشخص

طبقه تهیه شد. برای بررسی دقت نقشه تهیه شده، ماتریس خطا تهیه و شاخص کاپا و صحت کلی محاسبه شد. بر این اساس شاخص کاپا و صحت کلی نقشه به ترتیب ۰/۸۹ و ۹۳٪ و نقشه دارای دقت مناسب ارزیابی شد (۱۳ و ۱۴). لاکشمی و کانتاکومار (۱۳) طبقه‌بندی ترکیبی تصاویر را به دلیل استفاده از شاخص‌ها و روش‌های متناسب با خصوصیات سرزمین یک روش مناسب برای تهیه نقشه پوشش اراضی بیان کرده‌اند.

شکل ۴، نقشه پوشش اراضی منطقه در سال ۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.

بررسی میدانی و شکل ۴ نشان می‌دهد در زمان مطالعه، رودخانه نیاتک فاقد آب می‌باشد. همچنین، مناطق جنگلی و مرتعی، بیشتر به صورت خطی است که به دلیل کشت این نواحی در امتداد رودخانه نیاتک است. تپه‌های ماسه‌ای، به دلیل ترسیب ذرات ماسه توسط درختان و مراتع در مجاورت جنگل‌ها و مراتع قرار گرفته‌اند. در این منطقه، اراضی کشاورزی در سطح منطقه به صورت پراکنده است. با توجه به خشکسالی‌های متوالی سه دهه اخیر، برخی از اراضی کشاورزی رها شده و به همراه اراضی بدون استفاده در طبقه اراضی بایر قرار دارند. جدول ۱، مساحت هر یک از پوشش‌های اراضی منطقه مطالعه را نشان می‌دهد.

بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد اراضی بایر با ۴۷ درصد بیشترین و تپه‌های ماسه‌ای با ۵ درصد کمترین سهم از منطقه مطالعه را دارا است.

#### تعیین آستانه فرسایش بادی

جدول ۲، میانگین سرعت آستانه فرسایش بادی بدست‌آمده از استقرار تونل بادی در هر کدام از کاربری‌ها را نشان می‌دهد. بر این اساس، کمترین سرعت آستانه فرسایش بادی، برابر ۳/۸ متر بر ثانیه مربوط به تپه‌های ماسه‌ای در قسمت مرکزی منطقه مورد مطالعه و بیشترین مقدار آستانه فرسایش بادی مربوط به اراضی کشاورزی برابر ۸/۲ متر بر ثانیه و جنگل و مرتع برابر ۶/۳ متر بر ثانیه است. ایمانی و همکاران (۱۲) بیان کردند جنگل کاری

وزن خاک هنگام برداشت و وزن خاک خشک شده محاسبه شد. برای اندازه‌گیری ماده آلی خاک از روش والکی و بلک (۲۵) استفاده شد. برای اندازه‌گیری کاتیون کلسیم ( $Ca^{2+}$ ) از روش تیتراسیون استفاده شد. میزان SAR با استفاده رابطه شماره ۲، محاسبه شد (۸).

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}} \quad (2)$$

میزان ESP (Exchangeable sodium percentage) روی SAR تعیین می‌شود و با SAR ارتباط مستقیم دارد.

#### تهیه نقشه آستانه فرسایش

برای تهیه نقشه آستانه فرسایش، ابتدا نقشه هر پوشش اراضی از نقشه اصلی پوشش‌های اراضی تهیه شده در مرحله قبل تفکیک شد. سپس بین مقادیر اندازه‌گیری شده از آستانه فرسایش مربوط به هر پوشش، درونیابی انجام و نقشه مقدار آستانه فرسایش برای آن پوشش تهیه شد. سپس لایه‌های تهیه شده از مقدار آستانه فرسایش بادی برای هر یک از پوشش‌های اراضی با یکدیگر ترکیب و نقشه نهایی آستانه فرسایش بادی تهیه شد.

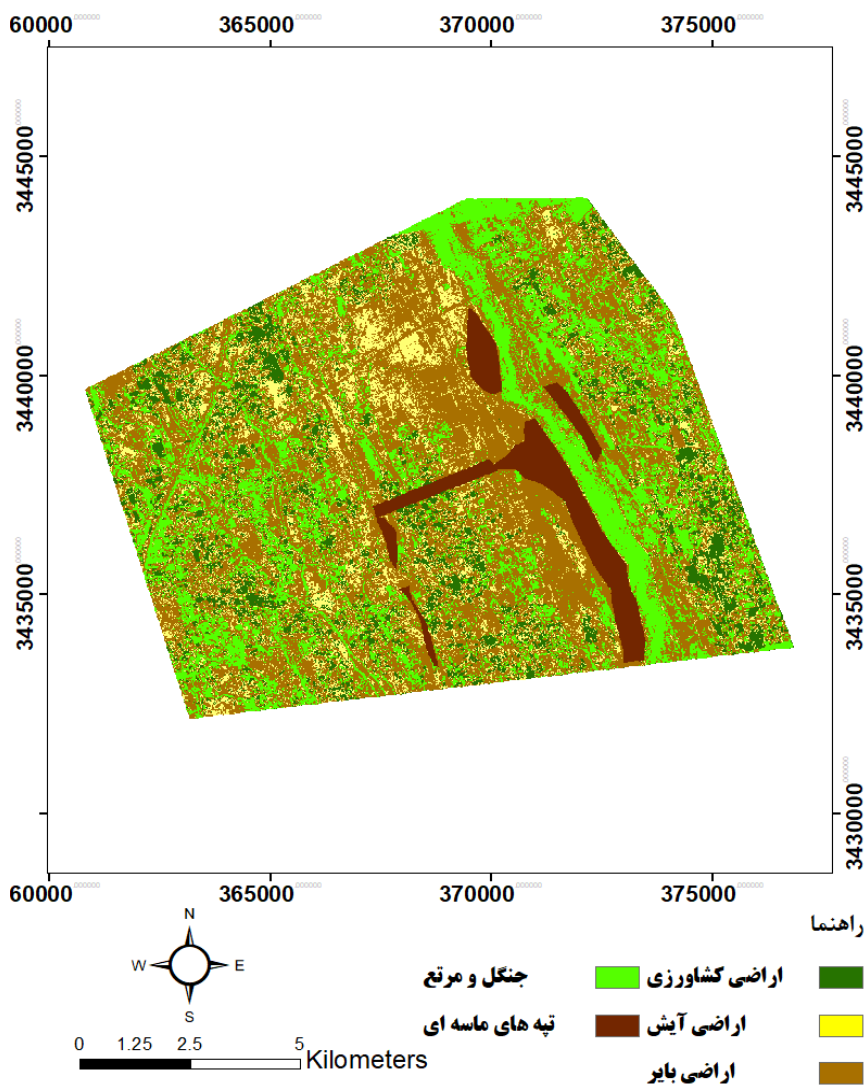
#### آنالیز آماری داده‌ها

برای بررسی نرمال بودن داده‌های برداشت‌شده از سرعت آستانه و نمونه‌های خاک از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. همچنین، برای تشخیص وجود اختلاف بین مقادیر معیارهای مختلف اندازه‌گیری شده در پوشش‌های اراضی، از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه (One way-ANOVA) استفاده شد و نتایج در سطح ۵ درصد مقایسه شدند.

#### نتایج و بحث

##### تهیه نقشه پوشش اراضی

نقشه پوشش اراضی منطقه با توجه به پدیده گرد و غبار در ۵



شکل ۴. نقشه پوشش اراضی در منطقه نیاتک (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۱. مساحت هر یک از طبقات پوشش اراضی بر حسب هکتار

| شماره | پوشش اراضی      | مساحت (هکتار) |
|-------|-----------------|---------------|
| ۱     | اراضی کشاورزی   | ۱۴۳۷          |
| ۲     | اراضی آیش       | ۱۷۴۲          |
| ۳     | اراضی بایر      | ۶۱۹۷          |
| ۴     | جنگل و مرتع     | ۳۰۹۹          |
| ۵     | تپه های ماسه‌ای | ۶۶۸           |

جدول ۲. میانگین سرعت آستانه فرسایش بادی

| نام کاربری      | میانگین سرعت آستانه فرسایش بادی (ثانیه/متر) |
|-----------------|---|
| تپه‌های ماسه‌ای | ۳/۸   |
| جنگل و مرتع     | ۶/۳   |
| اراضی رها شده   | ۴/۵   |
| اراضی کشاورزی   | ۸/۲   |
| اراضی آیش       | ۵   |

اراضی با آستانه فرسایش ۳-۴ متر بر ثانیه، ۵۶۴ هکتار و ۱۰۴ هکتار کمتر است که به دلیل تأثیر اراضی مجاور بر نواحی حاشیه‌ای اراضی تپه ماسه‌ای است. به همین ترتیب، مقداری از اراضی کشاورزی و مرتع در مجاورت تپه‌های ماسه‌ای و نیز اراضی بایر، دارای مقادیر کمتری از آستانه فرسایش بادی است. بررسی آستانه فرسایش اندازه‌گیری شده و جدول‌های ۲ و ۳، نشان می‌دهد که با وجود اینکه کاربری آیش به تنهایی با مساحت ۱۷۴۲ هکتار در طبقه آستانه فرسایش ۶-۷ متر بر ثانیه قرار گرفته است، اما در جدول ۳، همین طبقه آستانه فرسایش دارای ۲۵۰۵ هکتار مساحت است. بررسی و شکل‌های ۲ و ۵ نشان می‌دهد این مقدار اختلاف به دلیل افزایش آستانه فرسایش اراضی بایر در مجاورت اراضی زیر کشت، آیش و جنگل و مرتع است. نمونه بردای میدانی و تحلیل نمونه‌های خاک نشان داد، دلیل آن، افزایش مقدار ذرات رس با اختلاف در سطح ۵ درصد و رطوبت خاک بدون اختلاف در سطح ۵ درصد در نواحی مجاور اراضی کشاورزی است.

#### بررسی معیارهای خاک و ارتباط آنها با آستانه فرسایش باد

##### آستانه فرسایش بادی و مقدار ماسه، سیلت و رس

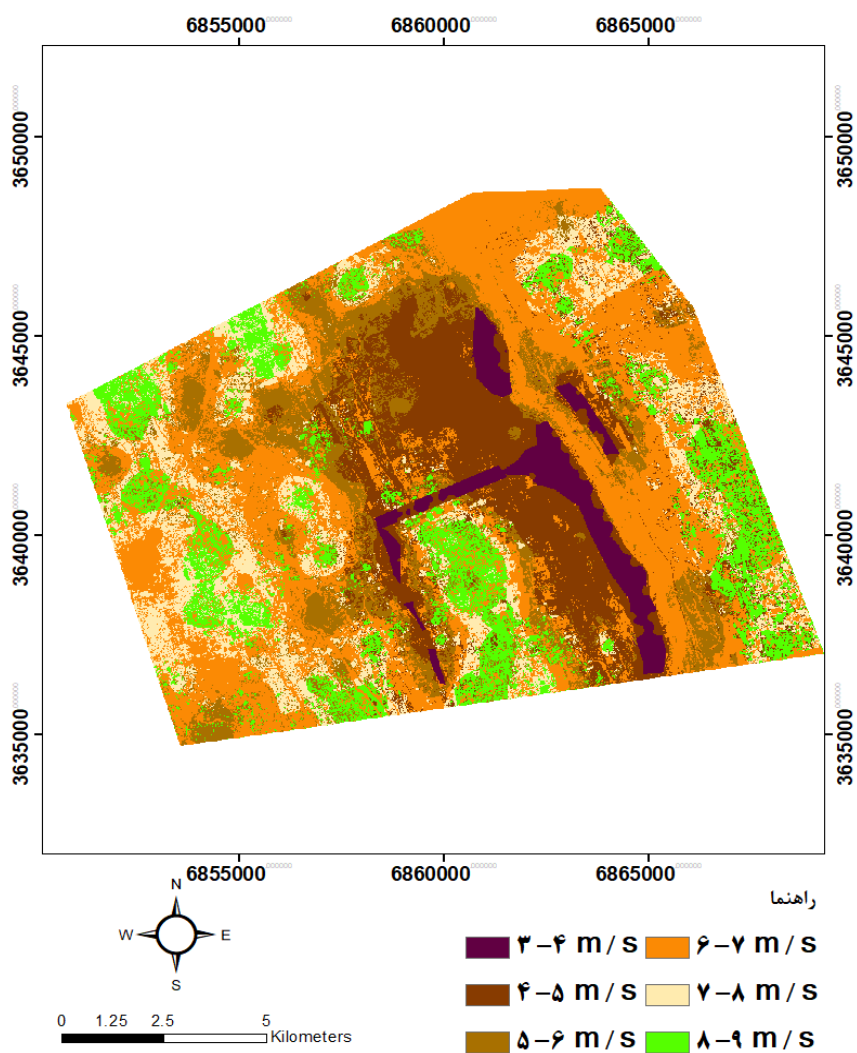
نتایج این پژوهش نشان داد بین سرعت آستانه و میزان ماسه و سیلت رابطه مستقیم و با رس رابطه عکس دارد. نتایج نشان داد بافت خاک منطقه مورد مطالعه به علت کمبود رس دارای چسبندگی کمی بوده و در مقابل افزایش

باعث تغییر بافت خاک از شنی به شنی‌لومی و افزایش میزان سفره، پتاسیم، کربن آلی و نیتروژن خاک در عمق ۵- صفر سانتی‌متر می‌شود که باعث تثبیت خاک و تثبیت تپه‌های ماسه‌ای می‌شود. نورزاده و بهرامی (۱۹) به تأثیر رطوبت خاک بر روی افزایش سرعت آستانه فرسایش بادی اشاره کرده‌اند.

شکل ۵، نقشه آستانه فرسایش بادی منطقه مورد مطالعه را که به روش درون‌یابی تهیه شده است را نشان می‌دهد. بررسی شکل ۵ و مقایسه آن با شکل ۲، نشان می‌دهد که پوشش‌های اراضی مجاور تپه‌های ماسه‌ای دارای مقدار آستانه فرسایش بادی کمتری از میانگین گروه خود با معنی‌داری در سطح ۵ درصد است. بررسی خاک این نقاط نشان داد، با انتقال ذرات ماسه بادی به وسیله باد به آن پوشش، نسبت سیلت و رس در بافت خاک اراضی مجاور تپه‌های ماسه‌ای از مقدار بیشتری در مقایسه با سایر نمونه‌ها برخوردار است. از طرف دیگر، تپه‌های ماسه‌ای که در مجاورت اراضی کشاورزی و جنگل و مرتع قرار گرفته‌اند به دلیل ورود لاشبرگ گیاهان و افزایش رطوبت خاک، دارای مقادیر بیشتری از آستانه فرسایش بادی هستند که در سطح ۵ درصد فاقد معنی‌داری بود.

جدول ۳، سطح هر یک از طبقات آستانه فرسایش بادی خاک را نشان می‌دهد. بررسی جدول ۳ و مقایسه آن با جدول ۱ نشان می‌دهد با وجود اینکه سطح اراضی تپه ماسه‌ای که تنها پوشش اراضی با آستانه فرسایش کمتر از ۴ متر بر ثانیه با مساحت ۶۶۸ هکتار است، اما در جدول ۳،





شکل ۵. نقشه آستانه فرسایش بادی در منطقه نیاتک (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۳. مساحت هر یک از طبقات آستانه فرسایش بادی (هکتار)

| مساحت (هکتار) | طبقه آستانه فرسایش |
|---------------|--------------------|
| ۵۶۴           | ثانیه/متر ۳-۴      |
| ۵۹۲۷          | ثانیه/متر ۴-۵      |
| ۲۴۵۰          | ثانیه/متر ۵-۶      |
| ۲۵۰۵          | ثانیه/متر ۶-۷      |
| ۲۷۹           | ثانیه/متر ۷-۸      |
| ۱۳۹۲          | ثانیه/متر ۸-۹      |

مورد آبیاری قرار می‌گیرند و دارای رطوبت هستند. نتایج این پژوهش نشان داد در منطقه مورد مطالعه بین سرعت آستانه فرسایش بادی و رطوبت، ارتباط معنی‌داری وجود دارد و با افزایش رطوبت، سرعت آستانه نیز افزایش پیدا می‌کند. به همین دلیل و با در نظر گرفتن معیار رطوبت، تپه‌های ماسه‌ای به دلیل کمبود مقدار رطوبت، دارای آستانه فرسایش بادی کم و اراضی کشاورزی به دلیل رطوبت زیاد، دارای آستانه فرسایش بادی زیاد هستند (۱۹). رطوبت بالا و بافت خاک با ذرات بیشتر سیلت و رس یکی از دلایل زیاد بودن آستانه فرسایش بادی در اراضی کشاورزی است. محمودآبادی و رجب پور (۱۵) با بررسی میزان فرسایش بادی اراضی کشاورزی، رطوبت خاک بالا در این نواحی را عامل مهمی در تثبیت خاک بیان کرده‌اند.

#### مقدار ماده آلی خاک

از نظر مواد آلی خاک، بیشترین ماده آلی مربوط به اراضی رها شده با میزان ۱/۲۹ درصد بود که با نواحی جنگلی و مرتع اختلاف معنی‌داری نداشت ولی با سایر مناطق دارای اختلاف معنی‌دار بود. نتایج نشان داد، کمترین مقدار ماده آلی مربوط به اراضی ماسه‌ای با حدود ۰/۱۷۳ درصد است. بر طبق نتایج بدست آمده بین سرعت آستانه و میزان مواد آلی، ارتباط معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ وجود دارد. نصرتی و همکاران (۱۸) تأثیر تاغکاری بر روی خصوصیات خاک را بررسی کردند که نتایج مطالعات آنها، افزایش نسبت رس و سیلت در بافت خاک مناطق تاغکاری شده نسبت به مناطق شاهد را نشان داد. عسگری و سرپرست (۴) در مطالعه‌ای برای بررسی تأثیر تاغکاری روی سرعت آستانه فرسایش بادی بیان کردند که در نواحی با کشت تاغ، با افزایش مقدار ماده آلی خاک، قطر ذرات افزایش و نسبت رس کاهش، و سرعت آستانه افزایش پیدا می‌کند.

احمدی و همکاران (۱) و حنیفه پور و مشهدی (۱۰) وزن حجمی زیاد، رطوبت کم و عدم وجود ذرات چسبنده در بافت خاک باعث کاهش آستانه فرسایش بادی می‌شود

درصد ماسه باعث کاهش سرعت آستانه و در نتیجه افزایش فرسایش پذیری خاک شده و با آن رابطه مستقیم دارد. ژائو و همکاران (۲۸) بیان کردند که در بین نمونه‌های مختلف خاک با شرایط یکسان شیمیایی و فیزیکی و مقدار متفاوت رس، سیلت و ماسه، چسبندگی بیشتر بین ذرات خاک و فرسایش پذیری بادی کمتر در خاک‌های با مقدار بیشتر رس، مشاهده می‌شود.

#### وزن مخصوص ظاهری خاک

بر اساس نتایج، بیشترین وزن مخصوص ظاهری مربوط به اراضی ماسه‌ای بود که با اراضی کشاورزی و جنگل و مرتع در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. از جهت وزن مخصوص ظاهری، ذرات خاک در اراضی ماسه‌ای، این مناطق دارای کمترین سرعت آستانه فرسایش بادی بودند. کمترین وزن مخصوص ظاهری مربوط به اراضی رها شده بوده که با هیچ یک از گروه‌ها در سطح ۵ درصد، ارتباط معنی‌داری ندارد. نصرتی و همکاران (۱۸)، ایمانی و همکاران (۱۲) و میرحسینی و همکاران (۱۶) بیان کرده‌اند که ذرات ماسه در تپه‌های ماسه‌ای، دارای بیشترین وزن مخصوص ظاهری است و با افزایش پوشش گیاهی، وزن و وزن مخصوص ظاهری خاک از طریق تغییر بافت خاک و افزایش میزان رس، باعث کاهش فرسایش پذیری خاک می‌شود.

#### رطوبت خاک

بر اساس داده‌ها در زمان نمونه برداری بیشترین میزان رطوبت مربوط به اراضی آیش و کشاورزی و کمترین آن مربوط به اراضی ماسه‌ای بود که با سایر کاربری‌ها در سطح ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار بود. اراضی ماسه‌ای در اطراف اراضی کشاورزی و آیش دارای مقدار رطوبت بیشتری بودند که فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با نواحی دورتر از آنها بود. در این منطقه، اراضی آیش با وجود اینکه کشت نمی‌شوند اما به دلیل حقایقه‌ای که دارند،

کردند که وزن مخصوص ظاهری با مقادیر EC، Na<sup>+</sup> و ESP دارای رابطه عکس است، به گونه‌ای که ذرات نمک باعث متلاشی شدن خاک و کاهش وزن مخصوص ظاهری شده که این موضوع باعث کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی می‌شود.

#### میزان SAR خاک

بیشترین میزان SAR مربوط به اراضی رها شده بوده که با تمامی گروه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین مقدار آن مربوط به اراضی کشاورزی بود که با اراضی جنگل، مرتع و تپه‌های ماسه‌ای اختلاف معنی‌داری نداشت. مقایسه مقدار SAR خاک با مقدار آستانه فرسایش بادی، نشان‌دهنده ارتباط مستقیم بین این دو است. میرحسینی و همکاران (۱۶) بیان کردند که مقدار فرسایش بادی با SAR دارای رابطه مستقیم است.

#### نتیجه‌گیری

به دلیل وزش بادهای موسمی شدید در دشت سیستان و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک این منطقه، فرسایش بادی و پدیده گرد و غبار همواره در این ناحیه وجود داشته است. خشکسالی‌های متوالی، تناوب و شدت وقوع رخداد گرد و غبار در دشت سیستان را افزایش داده و باعث تأثیرات منفی و شدید اقتصادی و اجتماعی شده است. این مسئله، نشان‌دهنده لزوم بررسی معیارها و روابط مؤثر بر وقوع پدیده فرسایش بادی خاک در این منطقه است. نتایج این مطالعه نشان داد در مناطق جنگلی که بیشتر به صورت دست‌کاشت و در تپه‌های ماسه‌ای ایجاد شده‌اند، علاوه بر تأثیر درخت در کاهش سرعت باد، بافت خاک در مقایسه با تپه‌های ماسه‌ای که خارج از محدوده جنگلکاری هستند از مقدار بیشتر سیلت و رس در ترکیب خود برخوردار است. این مسئله باعث پایداری بیشتر ذرات خاک در مناطق درختکاری شده است. اکثر معیارهای مؤثر بر تثبیت خاک در مناطق کشاورزی، جنگل و مرتع دارای اختلاف معنی‌دار با سایر پوشش‌های اراضی و در جهت تثبیت خاک است. همچنین، در دوره‌هایی که آب کافی در منطقه برای

که منطبق با نتایج بدست آمده از مقدار کم‌سرعت آستانه فرسایش بادی در تپه‌های ماسه‌ای است.

#### میزان هدایت الکتریکی، سدیم و پتاسیم خاک

در بین کاربری‌های مختلف بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به اراضی رها شده است که با تمامی گروه‌ها دارای اختلاف معنی‌دار بود و کمترین آن شامل اراضی کشاورزی است که با اراضی جنگلی اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین میزان سدیم در اراضی با کاربری کشاورزی و جنگل و مرتع مشاهده شد و بیشترین آن مربوط به اراضی رها شده بود که در سطح ۵ درصد با هم دارای اختلاف معنی‌دار بودند. کمبود مقدار هدایت الکتریکی و سدیم خاک در اراضی کشاورزی به دلیل انجام فرایند آبشویی است. از طرف دیگر، بیشترین میزان پتاسیم مربوط به اراضی کشاورزی بوده که در سطح ۵ درصد با سایر گروه‌ها اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین آن در اراضی ماسه‌ای بود که با اراضی آیش، جنگل و مرتع و رها شده در سطح ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به استفاده مکرر از کود شیمیایی در اراضی کشاورزی از مقادیر بیشتری برخوردار بود.

نتایج این پژوهش نشان داد بین سرعت آستانه و میزان کاتیون سدیم ارتباط معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود ندارد اما با افزایش مقدار کاتیون سدیم سرعت آستانه کاهش پیدا می‌کند. به بیان دیگر بین سرعت آستانه و میزان کاتیون سدیم رابطه عکس وجود دارد (۵). بین سرعت آستانه و کاتیون پتاسیم ارتباط معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است و با افزایش کاتیون پتاسیم سرعت آستانه فرسایش نیز افزایش می‌یابد.

#### مقدار ESP خاک

کمترین میزان ESP در اراضی کشاورزی، جنگل و مرتع دیده می‌شود که با دیگر گروه‌ها در سطح ۵ درصد ارتباط معنی‌داری ندارد و بیشترین آنها مربوط به اراضی رها شده است که با اراضی ماسه‌ای، ارتباط معنی‌داری دارد. عظیم‌زاده و اختصاصی (۵) و اختصاصی و همکاران (۸) بیان

نتیجه نهایی مدیریت سرزمین با طرح‌ریزی استفاده بهینه، باعث کاهش فرسایش خاک شود. افزایش سرعت آستانه در مناطق جنگلی دست‌کاشت و تثبیت خاک در منطقه نیاتک اهمیت استفاده از روش‌های بیولوژیک و استفاده از ظرفیت‌های بومی تثبیت خاک با توجه به پتانسیل هر منطقه را نشان می‌دهد.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات دیگر علاوه بر بررسی سرعت آستانه فرسایش بادی، تأثیر خصوصیات خاک بر مقدار خاک فرسایش یافته و خصوصیات آن نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

کشاورزی وجود دارد با کاهش هدایت الکتریکی خاک در فرایند آشنویی، کاهش مقدار سدیم و افزایش مقدار مواد آلی خاک از یک سو و از طرف دیگر، افزایش رطوبت خاک در نواحی زیر کشت، مقدار فرسایش بادی در این مناطق کاهش می‌یابد.

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تأثیر پیچیده و متقابل پوشش‌های اراضی مختلف بر روی مقدار فرسایش‌پذیری بادی بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک هر پوشش اراضی است. با درک این روابط و خصوصیات خاک منطقه، می‌توان مدیریت سرزمین را در یک منطقه به‌گونه‌ای انجام داد تا

### منابع مورد استفاده

- Ahmadi, A., R. Ghorbanian and A. Jafarzadeh. 2017. Factors affecting the inherent erosion of soil against wind (Case study: Tabriz plain). In: 15th Conference of Soil Science, Isfahan, Iran (In Farsi).
- Alavi panah, S. K. 2018. Application of Remote Sensing in the Earth Sciences (soil sciences), Tehran University Press, Tehran, Iran (In Farsi).
- Arbab, M., A. Pahlavanravi and H. Piri. 2018. Accuracy assessment of Geo-Statistics and artificial neural networks methods to estimate threshold wind velocity: A case of Jazinak Region, Sistan plain. *Environmental Erosion Research Journal* 8(3): 87-105 (In Farsi).
- Asgari, H. and M. Sarparast. 2013. The Impact of Haloxylon plantation on some soil erodibility indices on the sandy lands of Taybad. *Environmental Erosion Research Journal* 3(2): 1-12 (In Farsi).
- Azimzadeh, H. and M. R. Ekhtesasi. 2003. Study of the effect of soil physical-chemical properties on soil erosion index and presentation of a model to predict it in Yazd-Ardakan plain. *Natural Resource* 2(57): 1-11 (In Farsi).
- Cornelis, W. M., D. Gabriels and R. Hartmann. 2004. A parameterization for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment. *Geomorphology* 59(1-4): 43-51.
- Du, H., X. Zuo and S. Li. 2019. Wind erosion changes induced by different grazing intensities in the desert steppe, Northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 274: 1- 13.
- Ekhtesasi, M. R., M. Akhavan, H. R. Azimzadeh and M. Emtehani. 2003. Effects of salts on erodibility of soil by wind. *Natural Resource* 54(1,2): 17-30 (In Farsi).
- Ghiesary, F. and S. Ayoubi. 2016. Variability of Some soil physical and chemical properties along a transect under wind erosion processes in Segzi district, Isfahan. *Water and Soil* 30(1):136-148 (In Farsi).
- Haanifehpour, M. and N. Mashhadi. 2013. Investigating the resistance of agricultural lands to wind erosion in the southeast of Damghan. *Journal of Geography and Environmental Studies* 2(6): 100-110.
- Ildoromi, A., M. M. Moradi and M. Ghorbani. 2017. Invest the Effect of the Intensity of Wind Erosion and Desertification on the Destruction of the Habitat of Hamedan Region. *Geography and Environment Planning* 29(1): 21-24 (In Farsi).
- Imani, F., M. Moradi and R. Basiri. 2017. The Effect of Prosopis Juliflora afforestation on soil physicochemical properties in sand dunes (case Study: Magran Shush). *Water and Soil* 21(2): 173-184 (In Farsi).
- Lakshmi, N. and L. N. Kantakumar. 2015. Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* 2(18):182-195.
- Lu, D. and Q. Weng. 2015. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing* 28 (5): 823-870.
- Mahmodabadi, M. and H. Rajabpour. 2017. Study on the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate using a laboratory wind tunnel. *Water and Soil Conservation* 24(2): 167-183 (In Farsi).
- Mirhasani, M., R. Noredein and M. Bazgir. 2018. An investigation of land-use effect on dust concentration and soil loss in desert areas: a case of Ein Khosh-Dehloran, Ilam. *Environmental Erosion Research Journal* 8(1): 1-20. (In Farsi).

17. Miri, A., S. Maleki and N. Middleton. 2020. An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of The Total Environment* 757:1-13.
18. Nosrati, K., K. Hoseinzadeh, S. Zareh and R. Zolfaghari. 2016. Soil quality modeling in Roshtkhar desert region affected by *Holoxylon aphyllum* planting using multivariate statistical analysis. *Arid Regions Geographic Studies* 6(23): 96-108 (In Farsi).
19. Nourzadeh, M. and H. Bahrami. 2016. Investigating the relationship of dust concentration with surface moisture and particle size distribution of soil using a portable wind erosion simulator: A case study of the west regions of Khuzestan province. *Geographical Research on Desert Areas* 3(1): 183-167 (In Farsi).
20. Pahlavan-Rad, M. R. and A. Akbarimoghaddam. 2018. Spatial variability of soil texture fractions and pH in a flood plain (case study from eastern Iran). *Catena* 160: 275-281.
21. Rahimi, H. and H. Ahmadnejad. 2005. Investigation of the effects of leaching in reducing salinity and sodium Part of the lands on the edge of Bajestan desert. *Research and Construction* 1(66): 88-96 (In Farsi).
22. Rashki, A., D. G. Kaskaoutis, P. Francois, P. G. Kosmopoulo and M. Legrand. 2015. Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research* 16: 35-48.
23. Shahriari, M., M. Delbari, P. Afrasiab and M. Pahlavan-Rad. 2019. Predicting regional spatial distribution of soil texture in floodplains using remote sensing data: A case of southeastern Iran. *Catena* 182: 104-149.
24. Sirjani, E., A. Sameni, A. Moosavi and M. Mahmoodabadi. 2019. Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran. *Geoderma* 333: 69-80.
25. Vali, A. and F. Roustaei. 2018. Investigation of the wind erosion trend in central Iran using dust storm index in the last fifty years. *Water and Soil Science* 21(4): 189-200 (In Farsi).
26. Pelt, V., R. S. Baddock, T. M. Zobeck, V. Acosta, A.J. Martinez and M.F. Vigil. 2013. Field wind tunnel testing of two silt loam soil on the North American Central High plains. *Aeolian Research* 10:53-59.
27. Walkley, A. and I. A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38.
28. Zhao, H. L., X. Y. Yi, R. L. Zhou, X. Y. Zhao, T. H. Zhang and S. Drake. 2006. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin sandy farmland, inner Mongolia. *Catena* 65: 71-79.
29. Zohrabi, S., S. Khosravi, T. Mesbahzadeh, M. Jafari and M. Dastorani. 2019. Investigation of wind erosion threshold speed and its impact on soil properties in dust production centers of Alborz province. *Arid Regions Geographic Studies* 10(38):1-13 (In Farsi).

## Investigation of Wind Erosion Threshold in Different Land Cover and the Effect of Soil Properties on It (Case Study: Niatak Region of Sistan)

A. R. Nourafar<sup>1</sup>, A. Pahlavanravi<sup>1</sup>, M. Nohtani<sup>1</sup> and V. Rahdari<sup>2\*</sup>

(Received: May 10-2020; Accepted: May 26-2021)

### Abstract

Wind erosion is one of the most important natural processes in arid and semi-arid regions. Sistan plain has a hyper-arid climate and is one of the windy regions of the country. Due to the soil characteristics of the Sistan plain, wind erosion is very intense in this region. In this study, the relationships between some soil's physical and chemical properties and wind erosion were investigated in different land cover in a part of the central region of Sistan in 2018. A map of land cover in five classes was prepared using the results of field studies and the classification of satellite images. Fifty soil samples at a depth of 10 cm were collected to investigate the physical and chemical soil properties and the wind erosion threshold was determined at each location using a portable wind tunnel device. Also, the relationship between physical and chemical soil properties including soil texture, soil moisture, specific apparent weight, EC, SAR, ESP, Na<sup>+</sup>, k<sup>+</sup>, with the speed of wind erosion threshold was investigated. According to the results, the highest and the lowest threshold speed were 8.2 and 3.8 m s<sup>-1</sup> and occurred in agricultural lands and hilly lands, respectively. The results of this study indicated that the velocity of wind erosion threshold in different lands adjacent to sandy areas is less than the average of that cover. Also, the soil texture, EC, and SAR have the most significant effect on soil wind erodibility at P <0.05 in the study area.

**Keywords:** Land cover, Wind tunnel, Dust storm, Sand dunes, Soil fixation

---

1- Department of Rang and Watershed Management, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran.

2- Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran.

\*: Corresponding author, Email: vrahdari@uoz.ac.ir