

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۳، پیاپی ۱، بهار ۱۴۰۴

بررسی پراکنش مکانی شاخص‌های فرسایش‌پذیری بادی خاک با استفاده از

روش‌های زمین‌آماری در دشت سیستان

علی شهریاری^{۱*}، سید مرتضی محمدی^۲، ابراهیم شیرمحمدی^۳، اکرم فاطمی قمشه^۴، هادی گلوی^۵

۱. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل (نویسنده مسئول)

۲. استادیار گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل

۳. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل

۴. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی

۵. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل

اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

مطالعه فرسایش‌پذیری اراضی و مدل‌سازی مکانی آن از جمله اطلاعات اصلی و کلیدی برای مدیریت پایدار اراضی می‌باشد. فرسایش بادی یکی از مخاطرات اصلی محیطی در منطقه سیستان به‌شمار می‌آید. از این رو، این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی و مدل‌سازی شاخص‌های فرسایش‌پذیری بادی در دشت سیستان انجام شد. بدین منظور ۱۸۱ نقطه مطالعاتی در اراضی دشت سیستان انتخاب و از خاک سطحی آنها نمونه‌برداری شد. شاخص‌های مورد مطالعه شامل بخش فرسایش‌پذیر بادی آزمایشگاهی (EF)، بخش فرسایش‌پذیر بادی بر اساس فرمول فرایر (EFF)، لویز (EFL)، بواجیلا (EFB)، فاکتور سله خاک (SCF)، پایداری خاکدانه خشک (DAS) و میزان تخمینی فرسایش خاک بود. همچنین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در نمونه‌های خاک با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ به‌عنوان روش‌های آنالیزهای زمین‌آماری مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین مدل تغییرنا برای EFB، SCF، EFF و DAS مدل کروی و برای EFL، EFB و فرسایش خاک مدل نمایی بود و تناسب مکانی برای کلیه شاخص‌ها در کلاس تناسب مکانی متوسط قرار گرفت. روش کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی شن برای $RMSE=724/5=EFF$ و فرسایش خاک $(RMSE=85/576)$ ، با متغیر کمکی رس برای $RMSE=950/2=EFB$ و $RMSE=481/14=DAS$ و با متغیر کمکی نسبت شن بر رس برای $RMSE=966/17=EF$ و روش کوکریجینگ معمولی برای $RMSE=163/0=SCF$ و $RMSE=312/36=EF$ با متغیر کمکی نسبت شن بر رس، به‌عنوان بهترین روش‌های پیش‌بینی انتخاب شدند. مقادیر میانگین EFF برابر ۲۹/۱۳ درصد، SCF برابر ۰/۴۵، EFL برابر ۷۵/۲۵ درصد، EFB برابر ۸۳/۰۹ درصد، EF برابر ۵۴/۹۷ درصد، DAS برابر ۷۲/۱۸ درصد و فرسایش خاک برابر ۱۲۱/۶۷ مگاگرم در هکتار در سال بود. در قسمت‌های جنوبی دشت سیستان بیشترین مقادیر شاخص‌های فرسایش‌پذیر بادی و در قسمت‌های شمالی و غربی کمترین مقادیر مشاهده شد. اما بیشترین مقدار DAS در قسمت شمالی و غربی و کمترین آن در قسمت جنوبی دشت مشاهده شد. تطابق بالایی بین نحوه پراکنش شاخص‌های فرسایش‌پذیری با نحوه پراکنش ذرات خاک در منطقه وجود داشت. تغییرات ذرات معدنی خاک در منطقه وابسته به ماهیت ژئومورفیک منطقه و هم‌راستا با تغییرات رژیم رسوب‌گذاری رودخانه هیرمند و شاخه‌های آن و همچنین فرایندهای فرسایش بادی و رسوب‌گذاری آن در دشت سیستان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

خاک‌های دلتایی،

کوکریجینگ، فعالیت‌های

آبرفتی، فعالیت‌های بادرفتی.

استناد: شهریاری، علی، محمدی، سید مرتضی، شیرمحمدی، ابراهیم، فاطمی قمشه، اکرم، گلوی، هادی. (۱۴۰۴). بررسی پراکنش مکانی شاخص‌های فرسایش‌پذیری بادی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماری در دشت سیستان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۳)، ۴۰-۳۵.

DOI: 10.22111/jneh.2024.49372.2060

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان © علی شهریاری^{*}، سید مرتضی محمدی، ابراهیم شیرمحمدی، اکرم فاطمی قمشه، هادی گلوی

مقدمه

یکی از مخاطرات مهم مناطق خشک و بیابانی در دنیا فرسایش بادی و در نتیجه آن طوفان‌های گرد و غبار است. از این رو مطالعه فرسایش‌پذیری اراضی و مدلسازی مکانی آن از جمله اطلاعات اصلی و کلیدی برای مدیریت پایدار اراضی می‌باشد. یکی از روش‌های نوین مدلسازی مکانی خصوصیات خاک، نقشه‌برداری رقومی خاک است که با بکارگیری مدل‌های پیچیده اقدام به این کار می‌کند. یکی از این روش‌ها که دهه‌ها مورد استفاده محققین قرار گرفته است زمین آمار می‌باشد. به علت اقلیم فوق خشک و وزش بادهای دائمی و شدید موسوم به بادهای ۱۲۰ روزه، فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار یکی از مخاطرات اصلی محیطی در منطقه سیستان به‌شمار می‌آید. لذا این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی و مدلسازی شاخص‌های فرسایش‌پذیری بادی در دشت سیستان با استفاده از روش‌های زمین آماری انجام شد.

داده‌ها و روش‌ها

به منظور مدلسازی مکانی شاخص‌های فرسایش‌پذیری بادی ۱۸۱ نقطه مطالعاتی در اراضی دشت سیستان، انتخاب و از خاک سطحی آنها نمونه‌برداری شد. شاخص‌های مورد مطالعه شامل بخش فرسایش‌پذیر بادی آزمایشگاهی (EF)، بخش فرسایش‌پذیر بادی بر اساس فرمول فرایر (EFF)، لویز (EFL)، بواجیلا (EFB)، فاکتور سله خاک (SCF)، پایداری خاکدانه خشک (DAS) و میزان تخمینی فرسایش خاک بود. همچنین ۱۳ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی (خصوصیات مرتبط با حاصلخیزی و شوری و قلیات خاک) شامل درصد رس (Clay)، سیلت (Silt)، شن (Sand) (همچنین نسبت شن به رس)، درصد رطوبت اشباع (SP)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (EC)، واکنش خاک در گل اشباع (pH)، درصد ماده آلی (OM)، کربنات کلسیم معادل خاک (CCE)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، میزان فسفر (P) و پتاسیم (K) در دسترس در نمونه‌های خاک با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. روش وزن دهی معکوس فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ به عنوان روش‌های آنالیزهای زمین‌آماري مورد استفاده قرار گرفت. برای هر روش زمین آمار دو حالت ساده (simple) و معمولی (ordinary) در نظر گرفته شد و همچنین کلیه خصوصیات خاکی اندازه‌گیری شده به عنوان متغیر کمکی و به صورت جداگانه در روش کوکریجینگ مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور ارزیابی دقت مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل ضریب تبیین (R^2)، میانگین خطا (ME) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که در مجموع می‌توان اظهار داشت که خاک‌های دشت سیستان دارای بافتی متوسط تا درشت با غالبیت ذرات شن و سیلت بودند و حاصلخیزی کمی داشتند و جزء خاک‌های شور و سدیک بودند. همچنین نتایج نشان داد که بهترین مدل تغییرنا برای SCF, EFF, EFB و DAS مدل کروی و برای EFL, EF و فرسایش خاک مدل نمایی بود و تناسب مکانی برای کلیه شاخص‌ها در کلاس تناسب مکانی متوسط قرار گرفت. روش کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی شن برای EFF ($RMSE=5/724$) و فرسایش خاک ($RMSE=85/576$)، با متغیر کمکی رس

برای EFB (RMSE=۲/۹۵۰) و DAS (RMSE=۱۴/۴۸۱) و با متغیر کمکی نسبت شن بر رس برای EF (RMSE=۱۷/۹۶۶) و روش کوکریجینگ معمولی برای SCF (RMSE=۰/۱۶۳) و EFL (RMSE=۳۶/۳۱۲) با متغیر کمکی نسبت شن بر رس، به‌عنوان بهترین روش‌های پیش‌بینی انتخاب شدند. مقادیر میانگین EFB برابر ۲۹/۱۳ درصد، SCF برابر ۰/۴۵، EFL برابر ۷۵/۲۵ درصد، EFB برابر ۸۳/۰۹ درصد، EF برابر ۵۴/۹۷ درصد، DAS برابر ۷۲/۱۸ درصد و فرسایش خاک برابر ۱۲۱/۶۷ مگاگرم در هکتار در سال بود. در قسمت‌های جنوبی دشت سیستان بیشترین مقادیر شاخص‌های فرسایش‌پذیر بادی و در قسمت‌های شمالی و غربی کمترین مقادیر مشاهده شد. اما بیشترین مقدار DAS در قسمت شمالی و غربی و کمترین آن در قسمت جنوبی دشت مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

در مناطق خشک با فعالیت بادی قابل توجه، شاخص‌های فرسایش‌پذیری بادی خاک از پارامترهای محیطی بسیار مهم هستند که می‌توانند برای تصمیم‌گیری و مدیریت اراضی بکارگرفته شوند. نتایج همبستگی بین شاخص‌های فرسایش‌پذیری بادی مورد مطالعه نشان از همبستگی بالای این شاخص‌ها با یکدیگر داشت که نشان می‌دهد که انتخاب این شاخص‌ها به دلیل همبستگی بالا در خصوص فرسایش‌پذیری بادی خاک می‌باشد. همبستگی بالای بین EF، DAS و میزان تخمینی فرسایش خاک نشان دهنده اهمیت شاخص‌های آزمایشگاهی در برآورد فرسایش‌پذیری و تطبیق آنها با محیط طبیعی است. نتایج نشان داد که بکارگیری متغیرهای محیطی با روش کوکریجینگ برای تهیه نقشه شاخص‌های فرسایش‌پذیری بادی خاک و مدلسازی مکانی آنها کارایی خوبی دارد. همچنین تطابق بالایی بین نحوه پراکنش شاخص‌های فرسایش‌پذیری با نحوه پراکنش اندازه ذرات خاک (شن، سیلت و رس) در منطقه وجود داشت. تغییرات ذرات معدنی خاک در منطقه وابسته به ماهیت ژئومورفیک منطقه و همراستا با تغییرات رژیم رسوبگذاری رودخانه هیرمند و شاخه‌های آن و همچنین فرایندهای فرسایش بادی و رسوبگذاری آن در دشت سیستان می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند برای مدیران، تصمیم‌سازان و کاربران اراضی در راستای توسعه و زیست پایدار حائز اهمیت و کاربردی باشد.

منابع

- ارباب، منیژه؛ پهلوانروی، احمد؛ پیری صحراگرد، حسین؛ امیری، میثم. (۱۳۹۷). ارزیابی دقت روش‌های زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد سرعت آستانه فرسایش بادی (مطالعه موردی: منطقه‌ی جزینک، دشت سیستان). پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۸ (۳)، صص ۸۷ تا ۱۰۵.
- استواری، یاسر؛ قربانی دشتکی، شجاع؛ بهرامی، حسینعلی؛ نادری، مهدی؛ عباسی، مژگان. (۱۳۹۴). تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری خاک و عوامل مؤثر بر آن در بالادست سد سیوند. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۴ (۳)، صص ۱۲۷ تا ۱۴۴.
- اسدزاده، فرخ؛ خسروی اقدم، کمال؛ یغمائیان مهابادی، نفیسه؛ رمضان‌پور، حسن. (۱۳۹۷). تغییرات مکانی ذرات معدنی خاک با استفاده از زمین‌آمار و سنجش‌ازدور جهت پهنه‌بندی بافت خاک. آب و خاک، ۳۲ (۶)، صص ۱۲۰۷ تا ۱۲۲۲.
- اولیایی، حمیدرضا؛ صالحی، علیرضا؛ زارعیان، غلامرضا. (۱۴۰۳). ارزیابی روش‌های زمین‌آمار برای پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های خاک منطقه دارنگان با کاربری‌های مختلف، استان فارس. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵ (۱)، صص ۹۷ تا ۱۱۶.

- بهنام، ولی؛ غلامعلی زاده آهنگر، احمد؛ رحمانیان، محمد؛ بامری، ابوالفضل. (۱۳۹۸). بررسی توزیع مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: مسیر زابل به زاهدان). محیط زیست و مهندسی آب، ۵ (۳)، صص ۲۵۱ تا ۲۶۳.
- تاجیک، فواد؛ رحیمی، حسن؛ پذیرا، ابراهیم. (۱۳۸۱). اثر مواد آلی خاک، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها. مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۳، صص ۱ تا ۱۵.
- جعفرنیا، شهرام؛ اکبری نیا، مسلم. (۱۳۹۳). بررسی توزیع مکانی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب جنگل‌های مانگرو جزیره قشم با استفاده از زمین‌آمار. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۲ (۴)، صص ۶۷۳ تا ۶۸۶.
- جمالزئی ثمره، یونس؛ شهریاری، علی؛ پهلوان راد، محمدرضا؛ ضیائی جاوید، علیرضا؛ بامری، ابوالفضل. (الف، ۱۴۰۰). تهیه نقشه‌های سه بُعدی اندازه ذرات خاک در دشت سیلابی سیستان. هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج.
- جمالزئی ثمره، یونس؛ شهریاری، علی؛ پهلوان راد، محمدرضا؛ ضیائی جاوید، علیرضا؛ بامری، ابوالفضل. (ب، ۱۴۰۰). کاربرد زمین‌آمار در تهیه نقشه‌های سه‌بُعدی درصد رطوبت اشباع خاک (مطالعه موردی: دشت سیستان). هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، کرج.
- دانش شهرکی، مهدی؛ شهریاری، علی؛ گنجعلی، مجتبی؛ بامری، ابوالفضل. (۱۳۹۵). تغییرات فصلی و مکانی نرخ گردوغبار حمل‌شده از روی شهرهای دشت سیستان و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۶ (۲۳)، صص ۱۹۹ تا ۲۱۵.
- دلارامی، امین؛ غلامعلی‌زاده، احمد؛ شعبانی، اسماء. (۱۳۹۹). تعیین ترکیب بهینه متغیرهای ورودی با استفاده از آزمون گاما برای مدل‌سازی پتانسیم قابل جذب در سیستم عصبی - فازی (مطالعه موردی: منطقه میانکنگی؛ زابل). تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، ۶۷ (۱)، صص ۶۷ تا ۷۵.
- دهمده، علیرضا؛ شهریاری، علی؛ پهلوان راد، محمدرضا؛ شعبانی، اسماء؛ قربانی، مریم. (۱۴۰۰). مدل‌سازی عملکرد گندم با استفاده از برخی خصوصیات خاک در مقیاس مزرعه (مطالعه موردی: مزرعه تحقیقاتی سد سیستان، دانشگاه زابل). مهندسی زراعی، ۴۴ (۱)، صص ۸۱ تا ۹۵.
- رضازاده شمخال، سهیلا؛ غلامعلی زاده، احمد؛ گزمه، سعید؛ فروغی فر، حامد؛ بامری، ابوالفضل. (۱۳۹۵). ارزیابی روش‌های مختلف درون یابی در برآورد مکانی برخی ویژگی‌های خاک دشت سیستان. دانش آب و خاک ۲۶، (شماره ۲ بخش ۲)، صص ۱۵۱ تا ۱۶۲.
- رفاهی، حسینقلی. (۱۳۹۴). فرسایش آبی و کنترل آن (چاپ هفتم). انتشارات دانشگاه تهران، ۶۷۴ ص.
- علی‌صوفی، مسعود؛ شهریاری، علی. (۱۳۹۹). بررسی برخی خصوصیات شیمیایی و میزان برخی عناصر غذایی همراه با گردوغبار دشت سیستان. مخاطرات محیط طبیعی ۹ (۲۳)، صص ۹۹ تا ۱۱۶.
- غلامعلی‌زاده آهنگر، احمد؛ سارانی، فریدون؛ هاشمی، مسعود؛ شعبانی، اسماء. (۱۳۹۳). مقایسه روش‌های رگرسیون خطی، زمین‌آمار و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی کربن آلی در اراضی خشک دشت سیستان. نشریه آب و خاک، ۶ (۲۸)، صص ۱۲۵۰-۱۲۶۰.
- متین‌فر، حمیدرضا؛ مقصودی، زیبا؛ موسوی، سید روح‌الله؛ جلالی، مجبویه. (۱۳۹۹). ارزیابی روش‌های یادگیری ماشین در نقشه‌برداری رقومی کربن آلی خاک‌های زراعی (بخشی از دشت خرم‌آباد). نشریه آب و خاک، ۴ (۴)، صص ۳۲۷ تا ۳۴۳.
- میر، حمزه؛ غلامعلی‌زاده، احمد؛ شعبانی، اسماء. (۱۳۹۴). تعیین مهم‌ترین پارامترهای موثر خاک بر فراهمی فسفر در دشت سیستان. نشریه آب و خاک، ۶ (۲۹)، صص ۱۶۷۴ تا ۱۶۸۷.
- نظری سامانی، علی‌اکبر؛ احسانی، امیر هوشنگ؛ گلیوری، احمد؛ عبدالشاه‌نژاد، مهسا. (۱۳۹۴). مقایسه نتایج مدل‌های IRIFR و RWEQ در تعیین تأثیر نوع مدیریت اراضی بر فرسایش بادی. مدیریت بیابان، ۶، صص ۳۹ تا ۵۳.
- نوری، علیرضا؛ افتخاری، کامران؛ اسفندیاری، مهرداد؛ محمدی ترکاشوند، علی؛ احمدی، عباس. (۱۴۰۱). برآورد جزء فرسایش‌پذیری بادی خاک به کمک مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و تلفیق شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم ژنتیک در بخشی از اراضی جنوب شرقی قزوین. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱۲ (۱)، صص ۱۴۵ تا ۱۵۹.

- واعظی، علیرضا؛ بهرامی، حسینعلی؛ صادقی، سیدحمیدرضا؛ مهدیان، محمدحسین. (۱۳۸۷). تعیین خطای برآورد عامل فرسایش‌پذیری USLE در خاک‌های آهکی شمال‌غربی ایران. آب و خاک، ۲۲ (۵۲)، صص ۶۱ تا ۷۱.
- هاشمی، مسعود؛ غلامعلی‌زاده آهنگر، احمد؛ بامری، ابوالفضل؛ سارانی، فریدون؛ حجازی‌زاده، ابوالفضل. (۱۳۹۵)، شناسایی و پهنه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماری در GIS (مورد مطالعاتی: منطقه میانکنگی؛ سیستان). نشریه آب و خاک، ۳۰ (۲)، صص ۴۴۳-۴۵۸.
- یغمانیان مهابادی، نفیسه؛ سمیعی، کسری؛ زواره، محسن؛ رمضانپور، حسن. (۱۳۹۸). بررسی تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های خاک و ارتباط آن با عملکرد چای در منطقه فومن گیلان. تحقیقات کاربردی خاک، ۷ (۲)، صص ۸۲ تا ۹۶.
- Abdel-Rahman, M.A., Zakarya, Y.M., Metwaly, M., Koubouris, G. (2021). Deciphering Soil Spatial Variability through Geostatistics and Interpolation Techniques. Sustainability, 13, pp 194.
- Akhzari, D., Farokhzadeh, B., Saeedi, C. I., Goodarzi, M. (2015), Effects of Wind Erosion and Soil Salinization on Dust Storm Emission in Western Iran, Journal of Rangeland Science, 5(1), pp 36-48.
- Alizadeh Motaghi, F., Hamzehpour, N., Mola ali abasiyan, S., Rahmati, M. (2020). The wind erodibility in the newly emerged surfaces of Urmia Playa Lake and adjacent agricultural lands and its determining factors. Catena, 194, pp 104675.
- Borrelli, P., Ballabio, C., Panagos, P. and Montanarella, L. (2014). Wind erosion susceptibility of European soils. Geoderma, 232-234, pp 471-478.
- Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L., Panagos, P. (2017). A New Assessment of Soil Loss Due to Wind Erosion in European Agricultural Soils Using a Quantitative Spatially Distributed Modelling Approach. Land Degradation & Development, 28, pp 335 - 344.
- Bouajila, A., Omara, Z., Ajjari, A., Bol, R., Brahim, N., (2022). Improved estimation and prediction of the wind-erodible fraction for Aridisols in arid southeast Tunisia. Catena, 211, pp 106001.
- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., Konopka, A.E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Science Society of American Journal, 58, pp 1501-1511.
- Colazo, J.C., Buschiazzo, D.E. (2010). Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. Geoderma, 159, pp 228-236.
- Delbari, M., Afrasiab, P., Gharabaghi, B., Amiri, M., Salehian, A. (2019). Spatial variability analysis and mapping of soil physical and chemical attributes in a salt-affected soil. Arabian Journal of Geosciences, 12:3, pp 68-86. doi:10.1007/s12517-018-4207-x.
- Fryrear, D.W., Saleh, A., Bilbro, J.D., Schomberg, H.M., Stout, J.E., Zobeck, T.M. (1998). Revised Wind Erosion Equation (RWEQ), Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, USDA-ARS- SPA Cropping Systems Research Laboratory. Technical Bulletin No 1.
- Gholami V., Sahour H., Amri M. A. H. (2021). Soil erosion modeling using erosion pins and artificial neural networks. Catena, 196, pp 104902.
- Guo, Z., Chang, C, Wang, R., Li, J. (2017). Comparison of different tillage methods to determine the wind-erodible fraction of soil with rock fragments under different tillage/management. Soil & Tillage Research, 168, pp 42-49.
- Han, Y., Zhao, W., Ding, J., Santos Ferreira, C.S. (2023). Soil erodibility for water and wind erosion and its relationship to vegetation and soil properties in China's drylands. Science of the Total Environment, 903, pp 166639.
- Jiang, H.L., Liu, G.S., Liu, S.D., Li, E.H., Wang, R., Yang, Y.F., Hu, H.C. (2012). Delineation of site-specific management zones based on soil properties for a hillside field in central China. Archives of Agronomy and Soil Science. 58:10, pp 1075-1090.
- Kadović, R., Miljković, P., Perić, V., Živanović, N., Bohajar, Y.M.A., Belanović Simić, S. (2014). An analysis of an erodible fraction of sandy soils in Deliblato Sands. Erozija, Udruženje bujičara Srbije, 40, pp 38-52. (in Serbian with English abstract)
- Karaoglu, M., Erdel, E. (2023). Soil properties and mapping of the Aralik-Igdir wind erosion area-I (surface). Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 18 (2), pp 277 - 288.
- Karimi Nezhad, M. T., Tabatabaie, S. M., Gholami, A. (2015). Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. J. Geochem. Explor. 152, pp 91-109.
- Kouchami-Sardoo I., Shirani H., Esfandiarpour-Boroujeni I., Besaltpour A., Hajabbasi M. (2020). Prediction of soil wind erodibility using a hybrid Genetic algorithm-Artificial neural network method. Catena, 187, pp 104315.
- Ling, N., Zhibao, D., Weiqiang, X., Chao, L., Nan, X., Shaopeng, S., Fengjun, X., Lingtong, D. (2018). A field investigation of wind erosion in the farming-pastoral ecotone of northern China using a portable wind tunnel: a case study in Yanchi County. Journal of Arid Land, 10(1), pp 27-38.
- López, M.V., de Dios Herrero, J.M., Hevia, G.G., Gracia, R., Buschiazzo, D.E. (2007). Determination of the wind-erodible fraction of soil using different methodologies. Geoderma, 139, pp 407-411.
- Mina, M., Rezaei, M., Sameni, A., Ostovari, Y., Ritsema, C.J. (2022). Predicting wind erosion rate using portable wind tunnel combined with machine learning algorithms in calcareous soils, southern Iran. Journal of environmental management, 304, pp 114171.

- Mina, M., Rezaei, M., Sameni, A., Riksen, M.J.P.M., Ritsema, C. (2023). Estimation of Soil Erodibility by Wind Using Pedo-Transfer and Spectro-Transfer Functions and Machine Learning Models in Fars Province. *Geoderma*, 438, pp 116612.
- Mirakzehi, K., Pahlavan-Rad, M., Shahriari, A., Bameri, A. (2018). Digital soil mapping of deltaic soils: a case of study from Hirmand (Helmand) river delta. *Geoderma*, 313, pp 233-240.
- Pahlavan-Rad, M., Dahmardeh, K., Brungard, C. (2018). Predicting soil organic carbon concentrations in a low relief landscape, eastern Iran. *Geoderma Regional*, e00195. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2018.e00195>
- Pahlavan-Rad, M.R., Akbarimoghaddam, A. (2018). Spatial variability of soil texture fractions and pH in a flood plain (case study from eastern Iran). *Catena*, 160, pp 275-281.
- Pásztor, L., Négyesi, G., Laborczi, A., Kovacs, T. (2016). Integrated spatial assessment of wind erosion risk in Hungary. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, pp 2421–2432. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2421-2016>.
- Pi, H., Huggins, D.R., Sharratt, B. (2019). Dry aggregate stability of soils influenced by crop rotation, soil amendment, and tillage in the Columbia Plateau. *Aeolian Research*, 40, pp 65-73.
- Rakkar, M.K., Blanco-Canqui, H., Tatarko, J. (2019). Predicting soil wind erosion potential under different corn residue management scenarios in the central Great Plains. *Geoderma*, 353, pp 25–34.
- Rezaei, M., Mohammadifar, A., Gholami, H., Mina, M., Riksen, M.J.P.M., Ritsema, C. (2023). Mapping of the wind erodible fraction of soil by bidirectional gated recurrent unit (BiGRU) and bidirectional recurrent neural network (BiRNN) deep learning models. *Catena*, 223, pp 106953.
- Sarani, F., Ahangar, A.G., Shabani, A. (2016) Predicting ESP and SAR by artificial neural network and regression models using soil pH and EC data (Miankangi Region, Sistan and Baluchestan Province, Iran). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 6 (1), pp 1-12. DOI: 10.1080/03650340.2015.1040398
- Schaetzl, R. J., Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*, Cambridge University Press, 833 Pp.
- Selmy, S.A., Abd El-Aziz, S., El-Desoky, A., El-Sayed, M.A. (2022). Characterizing, predicting, and mapping soil spatial variability in the Gharb El-Mawhoub area of Dakhla Oasis using geostatistics and GIS approaches. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 21, pp 383-396.
- Shahriari, M., Delbari, M., Afrasiab, P., Pahlavan-Rad, M.R. (2019). Predicting regional spatial distribution of soil texture in floodplains using remote sensing data: A case of southeastern Iran. *Catena*, 182, pp 104-149. doi:10.1016/j.catena.2019.104149.
- Shiyaty, E.I., (1965). Wind structure and velocity over a rugged soil surface. *Vestnik Sel.-khoz. Nauki* 10.
- Sirjani, E., Sameni, A., Moosavi, A.A., Mahmoodabadi, M., Laurent, B. (2019). Portable wind tunnel experiments to study soil erosion by wind and its link to soil properties in the Fars province, Iran. *Geoderma*, 333, pp 69–80. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.012>.
- Skidmore, E.L., Hagen, L.J., Armbrust, D.V., Durar, A.A., Fryrear, D.W., Potter, K.N., Wagner, L.E., Zobeck, T.M. (1994). Methods for investigating basic processes and conditions affecting wind erosion. In: Lal, R. (Ed.), *Soil Erosion Research Methods*. Soil & W. Cons. Soc. Ankeny, USA, pp. 295–330.
- Zobeck, T.M., Van Pelt, R.S. (2014). *Wind Erosion*. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. 1409.