



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۳ تا ۱۴ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



بررسی فاکتورهای خاکی موثر بر مدلسازی بخش فرسایش پذیر بادی با استفاده از روش های جنگل تصادفی و کیوبیست

مرضیه ریگی خالص^۱، علی شهریاری^{۲*}، ابراهیم شیرمحمدی^۳، وحید راهداری^۴، عباس میری^۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران؛ * Shahriari.ali@ouz.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۴- استادیار، گروه محیط زیست، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۵- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل، زابل، ایران

چکیده

فرسایش خاک یک مسئله جدی یک پدیده است که باعث تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه خشک شده است مطالعات در مورد فرسایش پذیری بادی اطلاعات مهم و کلیدی برای پایداری مدیریت اراضی به ما می دهد فرسایش خاک تابعی از خصوصیات عامل فرساینده و فرسایش پذیری است. پیش بینی فرسایش پذیری بادی از طریق ویژگی های خاک به عنوان گام اساسی در مدل سازی فرسایش بادی محسوب می شود. از این رو، این پژوهش با هدف مقایسه دو روش جنگل تصادفی و کیوبیست در مدلسازی فرسایش پذیری بادی خاک بخشی از تالاب بین المللی هامون انجام خواهد شد. برای این منظور ۱۹۹ نقطه با روش نظارت شده تصادفی از سطح خاک (۱۰-۰ سانتی-متری) در بخش های واقع در ایران تالاب انتخاب و مورد نمونه برداری قرار گرفت. بخش فرسایش پذیر بادی (EF) و نمونه ها به همراه برخی خصوصیات خاک (توزیع اندازه درات، واکنش خاک، هدایت الکتریکی، ماده آلی، کربنات کلسیم معادل و نسبت جذب سدیم) با بکارگیری روش های استاندارد اندازه گیری شدند. نتایج نشان داده است که در مدل کیوبیست سیلت و پس از آن جرم مخصوص ظاهری و تخلخل موثرترین فاکتورها و در مدل جنگل تصادفی هدایت الکتریکی، سیلت و پتاسیم در دسترس موثرترین فاکتورها در ارتباط با EF هستند. همچنین نتایج نشان داد که بر اساس معیارهای ارزیابی مدل، روش جنگل تصادفی دقت بالاتری در مدلسازی EF خاک دارد. از نظر پهنه بندی EF خاک نیز بخش های شمال شرق تالاب و مناطقی در غرب و جنوب آن بیشترین حساسیت را به فرسایش بادی نشان دادند.

واژگان کلیدی: روش های یادگیری ماشین، طوفان های گردوغبار، فرسایش بادی، بادهای ۱۲۰ روزه، تالاب هامون

مقدمه

فرسایش بادی از جمله عوامل موثر در بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید به طوری‌که فرایند فرسایش بادی به دلیل حمل عناصر غذایی خاک همراه ذرات ریزدانه، به عنوان یکی از عامل‌های محدود کننده حاصلخیزی خاک در جهان به حساب می‌آید. هر چند فرسایش بادی نسبت به فرسایش آبی عملکرد تخریبی کمتری دارد و به علت وسعت فرساینده‌گی زمانی و مکانی‌ها این نوع فرسایش در مناطق خشک بیشتر از فرسایش آبی مورد توجه قرار دارد و خسارات آسیب‌های اقتصادی قابل توجهی را به این مناطق وارد می‌کند (بوعلی و همکاران، ۱۴۰۳). بخش وسیعی از کشور ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته است که به دلیل شرایط خاص محیطی از جمله کمبود بارندگی، پوشش گیاهی کم و سایر عوامل دیگر باعث وقوع فرسایش بادی می‌شود. همچنین اراضی دیم در ایران حالت‌های متعدد حساس به فرسایش بادی مانند تالاب‌های خشک شده و بیابان‌های ماسه‌دار لوط و کویر به عنوان یکی از منابع اصلی فرسایش بادی و گرد و غبار شناخته شده‌اند (Bashiri et al., 2023).

صالحی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به برآورد سرعت آستانه فرسایش و میزان فرسایش‌پذیری خاک در کانون‌های ماهشهر، امیدیه و هندیجان با استفاده از دستگاه تونل بادی پرداختند. در کانون‌های مطالعاتی ذکر شده، ۳۲ نقطه و سپس با میانگین گرفتن از هر واحد اراضی ده نقطه انتخاب شد و به‌عنوان نمونه خاک سطحی برداشت شده و به آزمایشگاه تونل باد منتقل شد. سپس سرعت آستانه فرسایش و میزان فرسایش‌پذیری خاک در سرعت‌های ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ متر بر ثانیه در طول مدت دو دقیقه اندازه‌گیری نمودند. Sirjani و همکاران (2019) برخی از خصوصیات خاک مرتبط با فرسایش بادی در استان فارس مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که رابطه منفی معنی‌دار بین نرخ فرسایش بادی و ویژگی‌های فیزیکی مختلف خاک، از جمله پوشش شن سطحی خاک، میانگین وزنی قطر خاک دانه‌ها، میزان رس خاک، کربن آلی خاک و رطوبت وجود دارد. Naeimi و همکاران (2023) در پژوهشی دریافتند آستانه فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه‌شان در محدوده ۶ - ۱۷ متر بر ثانیه و مجموع میزان بادبردگی ۰/۳۶ تا ۲۱/۸۶ کیلوگرم بر متر مربع بر دقیقه متغیر بوده است. Rezaie و همکاران (2023) در پژوهشی در رابطه با مدلسازی فرسایش‌پذیری بادی با استفاده از روش مختلف در استان فارس اظهار داشتند که میانگین قطر خاکدانه‌ها مؤثرترین فاکتور در مدلسازی فرسایش‌پذیری بادی در منطقه مورد مطالعه بود. آنها برای تهیه نقشه‌های مربوطه از روش IDW5 استفاده کردند.

در سال‌های اخیر نقشه‌برداری خاک به دلیل رشد ظرفیت‌های محاسباتی و مقرون به صرف بودن آن به طور کلی به عنوان روش‌های کسب و اطلاعات خاک از روش‌های غیرمستقیم بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اساس نقشه‌برداری خاک بر پایه معادله اسکورپین است و در نهایت محصول نهایی نقشه‌برداری رقومی خاک نمایش ساده‌ای از الگوی‌های نامشخص و پیچیده خاک را نشان می‌دهد (اوسط و همکاران ۱۳۹۹). رضایی و همکاران (۱۴۰۲) پژوهشی در مورد بررسی تغییرات مکانی قابلیت هدایت الکتریکی خاک به عنوان بیانگر شوری خاک و کربن آلی خاک در دو لایه سطحی و زیرسطحی با استفاده از چهار الگوریتم مدل جنگل تصادفی، درخت تصمیم، رگرسیون بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی در دشت قزوین انجام دادند. نتایج نشان داد مدل جنگل تصادفی برای پیش‌بینی EC خاک در لایه سطحی و زیرسطحی و همچنین کربن آلی در هر دو لایه و به دنبال آن مدل درخت تصمیم برای پیش‌بینی شوری خاک در لایه زیرسطحی نسبت به سایر مدل‌ها دارای صحت بالاتری بودند و همچنین نقشه تغییرات شوری و کربن آلی خاک را با صحت قابل قبولی در منطقه ارائه شد. همچنین Pahlevan Rad و همکاران (2014) برای به روز کردن نقشه‌های قدیمی از جنگل تصادفی استفاده کردند. نتایج نشان داده که جنگل تصادفی یک روش قابل اعتماد و با دقت مناسب می‌باشد که با تعداد نمونه کم، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. Sreenivas و همکاران (2016) نیز کربن آلی و غیرآلی خاک را تا عمق یک متری در سراسر هندوستان با استفاده از ۱۱۹۸ نمونه خاک و الگوریتم جنگل تصادفی مدل‌سازی کرده‌اند. نتایج آنها نشان داد است که ضریب تبیین برای کربن آلی و غیرآلی خاک به ترتیب ۰.۸۲ و ۰.۸۶ بوده است. Wang و همکاران (2018) در شمال شرق چین با استفاده از روش جنگل تصادفی اقدام به تهیه نقشه پیش‌بینی نیتروژن کردند که با استفاده از آن ۱۲ متغیر کمی شامل توپوگرافی اقلیم و غیره را بررسی نمودند. نتایج ارزیابی صحت آن شاهد بر کارایی بالای الگوریتم جنگل تصادفی با استفاده از متغیرهای محیطی بوده است. McBratney و همکاران (2011) با مطالعه

روی ۸۰۶ خاکرخ در پنج عمق برای پیشبینی آب موجود در خاک با استفاده از توابع انتقالی به این نتیجه رسیدند که مدل کیوبیست بهترین مدل با مقدار خطای کمتر می‌باشد. Chen و همکاران (2024) در مطالعه‌ای، یک مدل پیش‌بینی GCV بر اساس رگرسیون کیوبیست پیشنهاد کردند. برای توسعه یک مدل رگرسیون خوب، انتخاب ویژگی متغیرهای ورودی با استفاده از تحلیل همبستگی و الگوریتم حذف بازگشتی ویژگی انجام دادند. بنابراین در این مطالعه، سه مجموعه متغیر را به عنوان ترکیب بهینه برای مدل‌های رگرسیون تعیین کردند. متغیرهای تحلیل تقریبی متغیرهای تحلیل عنصری متغیرهای شاخص جامع مقایسه کردند. نتایج مقایسه با ۷ رگرسیون نشان می‌دهد که این هفت مدل رگرسیون بهترین اثر برازش را روی متغیرهای شاخص جامع در بین سه مجموعه متغیر ورودی دارند. مدل کیوبیست دقت پیش‌بینی بالاتر و خطای کمتری نسبت به اکثر مدل‌های دیگر نشان داد مدل کیوبیست مزایای درخت تصمیم و رگرسیون خطی را ترکیب می‌کند که نه تنها از نظر دقت عملکرد خوبی داشته باشد، بلکه مدل را بسیار تفسیرپذیر می‌کند.

تالاب هامون واقع در منطقه سیستان دارای منابع غنی و ارزشمندی هست که در زمان پرآبی امرار معاش مردم منطقه به آن وابسته بوده است و باعث پویایی و خودکفایی اقتصادی مردم این منطقه بود (ابراهیمی خسفی و همکاران، ۱۴۰۲). متأسفانه در حال حاضر به دلیل خشکسالی‌های پی در پی نقش و کارکرد خود را از دست داده است و نیز از مزایای و حتی آب این دریاچه از بین رفته است (دهمرد و همکاران، ۱۴۰۱). از این رو، این تالاب‌ها یکی از اصلی‌ترین منشاهای گرد و غبار در شرق کشور و بخصوص منطقه سیستان با وزش بادهای شدید موسوم به بادهای ۱۲۰ روزه محسوب می‌شوند. لذا پژوهش حاضر با هدف تعیین فاکتورهای خاکی موثر بر مدلسازی مکانی بخش فرسایش‌پذیر بادی خاک در تالاب بین‌المللی هامون با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین شامل جنگل تصادفی و کیوبیست انجام شد.

مواد و روش‌ها

تالاب هامون در دشت سیستان در جنوب شرق ایران واقع شده است، این تالاب در بین مرز ایران افغانستان قرار دارد. تالاب هامون از سه بخش هامون سابوری، پوزک، هیرمند تشکیل شده است و مساحت تالاب هامون حدود ۳۰۰۰۰۰ هکتار در ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۷ دقیقه عرض جغرافیایی، ۶۰ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۳ دقیقه طول جغرافیایی در شمال و غرب شهر زابل در شمال سیستان بلوچستان قرار دارد (ملکی و همکاران، ۱۳۹۸). متوسط بارندگی منطقه کمتر از ۵۰ میلی‌متر می‌باشد و اقلیم این منطقه دوارتن فوق خشک می‌باشد. مهم‌ترین عامل تهدید کننده این تالاب کاهش ورود آب رودخانه هیرمند به این تالاب و خشکسالی هدرولوژیک است که در پی آن فرسایش و طوفان‌های گردوغبار را به دنبال دارد (Maleki et al., 2022).

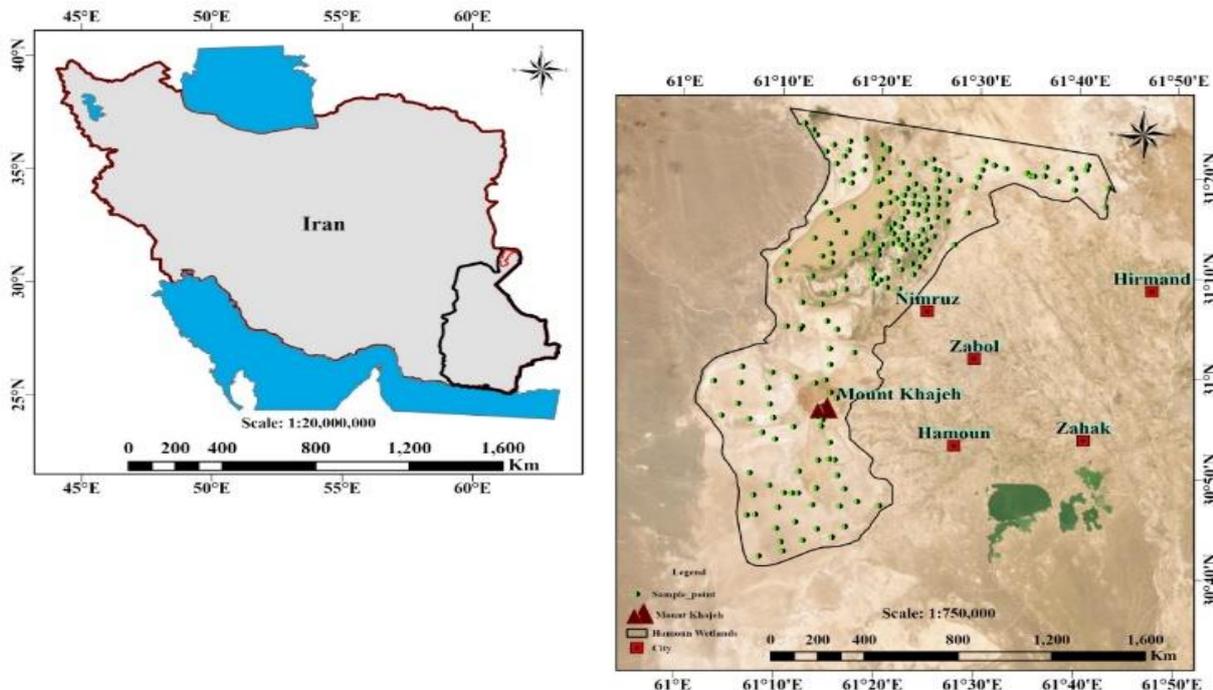
به صورت نظارت شده تصادفی از منطقه تالاب هامون تعداد ۱۹۹ نمونه خاک از لایه سطحی خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد (شکل ۱). نمونه‌های خاک ابتدا در هوا خشک شده اند و برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بخشی از نمونه‌ها کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. تعیین بافت خاک (Clay, Silt, Sand)، جرم مخصوص ظاهری (BD)، جرم مخصوص حقیقی (PD)، درصد تخلخل (Porosity)، فسفر (P) و پتاسیم (K) در دسترس، هدایت الکتریکی (EC) و واکنش خاک (pH) در عصاره گل اشباع، نسبت جذب سدیم (SAR)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، درصد رطوبت اشباع (SP)، کربنات کلسیم معادل (CCE) و کربن آلی خاک (OC) با استفاده از روش‌های استاندارد، اندازه‌گیری شدند. شاخص مهم بخش فرسایش‌پذیر بادی (EF) بر اساس روش و معادله ذیل (معادله ۱) برآورد شد.

$$EF = (W < 0.84 / TW) \times 100 \quad (\text{معادله ۱})$$

که در آن EF بخش فرسایش‌پذیر بادی آزمایشگاهی خاک، W < 0.84 وزن خاکدانه‌های کوچکتر از ۰/۸۴ میلی‌متر پس از ۵ دقیقه شیک کردن با سرعت متوسط و TW وزن کل نمونه خاک (۲۰۰ گرم) (Skidmore et al., 1994; López et al., 2007).

مدلسازی مکانی و تعیین فاکتورهای خاکی موثر

تجزیه تحلیل های آماری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک و شاخص فرسایش پذیری بادی را با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شده است. مدلسازی کیوبیست و جنگل تصادفی در نرم افزار R انجام شد (موسوی و همکاران، ۱۴۰۰). به منظور ارزیابی دقت مدل ها میانگین خطای (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید (متین فر و همکاران، ۱۳۹۹). با مقایسه این آماره ها مدلسازی ها با یکدیگر مقایسه و بهترین مدل انتخاب و اقدام به تهیه نقشه آن با استفاده از نرم افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۳ شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری

نتایج و بحث

تحلیل های آماری (خصوصیات آماری و همبستگی)

بر اساس شاخص چولگی و کشیدگی داده ها EF دارای شرایط نرمال است (جدول ۱). همچنین ضریب تغییرات معیار تغییرپذیری نسبی است و اگر داده ها نسبت ۰/۲۵ باشند نشان دهنده تغییرات اندک خصوصیت مورد مطالعه است و اگر بین ۰/۲۵ تا ۰/۵۰ باشد، نشان دهنده تغییرات متوسط است و اگر بیشتر از ۰/۵۰ باشد نشان دهنده تغییرات بالا است (کریمی نژاد و همکاران ۲۰۱۵) که بر این اساس فرسایش خاک تالاب هامون دارای ضریب تغییر پذیری متوسطی قرار دارد. مقدار میانگین تالاب هامون ۳۶،۵۶۷ درصد است (جدول ۱). Shiyaty و همکاران (۱۹۶۵) اظهار داشتند بخش فرسایش پذیری بادی خاک کمتر از ۴۰ درصد نشان از فرسایش پذیری کم، بین ۴۰ تا ۵۰ درصد کلاس فرسایش پذیری متوسط و بیش از ۵۰ درصد فرسایش پذیری بالا را نشان می دهد و بر این اساس میانگین منطقه در کلاس فرسایش پذیری کم قرار می گیرد.

جدول ۱- برخی خصوصیات آماری بخش فرسایش پذیری بادی

پارامتر	میانگین	حداقل	حداکثر	واریانس	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات
EF	36.567	10.255	89.050	275.222	1.350	1.382	16.590	0.454

نتایج همبستگی بین برخی خصوصیات خاک و EF در جدول ۲ ارائه شده است. جرم مخصوص ظاهری، سیلت و ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه‌ای منفی و معنی‌دار و هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و تخلخل خاک رابطه‌ای مثبت و معنی‌دار را با EF نشان دادند.

جدول ۲- همبستگی بین خصوصیات خاک و بخش فرسایش‌پذیر بادی

کُد	فاکتور	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	EF %	1															
2	OC %	0.006	1														
3	BD (g/cm ³)	-0.264**	-0.129	1													
4	Clay %	0.099	-0.094	-0.039	1												
5	Silt %	-0.187**	0.079	-0.024	-0.337**	1											
6	Sand %	0.091	0.004	0.053	-0.505**	-0.643**	1										
7	CCE %	0.135	-0.116	-0.044	0.114	-0.277**	0.161*	1									
8	pH	0.058	0.049	-0.245**	0.074	0.035	-0.092	-0.064	1								
9	EC (dS/m)	0.263**	-0.054	-0.055	0.146*	-0.059	-0.065	-0.025	0.062	1							
10	SAR (mmol/l)	0.184**	-0.048	-0.224**	0.205**	-0.049	-0.122	0.068	0.111	0.398**	1						
11	SP %	0.006	-0.027	-0.008	0.522**	-0.205**	-0.237**	0.139*	0.104	0.362**	0.303**	1					
12	CEC (meq/100g)	-0.216**	0.208**	-0.019	-0.022	-0.001	0.018	-0.080	0.020	-0.053	-0.154*	-0.018	1				
13	PD (g/cm ³)	0.067	0.000	-0.034	-0.215**	0.151*	0.037	-0.203**	-0.011	-0.037	0.056	-0.335**	0.094	1			
14	Porosity %	0.213**	0.064	-0.646**	-0.125	0.116	-0.005	-0.118	0.137	0.011	0.175*	-0.236**	0.073	0.775**	1		
15	K (g/kg)	-0.029	0.059	-0.106	0.153*	0.174*	-0.284**	-0.176*	0.204**	0.303**	0.122	0.273**	0.160*	-0.060	0.012	1	
16	P (g/kg)	0.091	-0.073	-0.025	-0.125	0.076	-0.138	-0.130	-0.076	0.081	0.207**	0.170*	-0.016	-0.047	0.170*	0.170*	1

*همبستگی در سطح ۹۹ درصد و ** همبستگی در سطح ۹۵ درصد

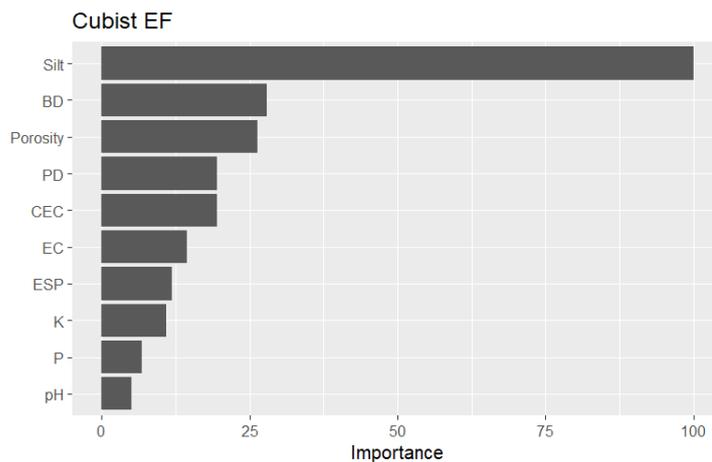
فاکتورهای خاکی موثر بر مدلسازی EF

آنالیز روش‌های یادگیری ماشین برای مدلسازی EF نشان داده که بر اساس روش کیوبیست سیلت فاکتور خاکی بسیار مهم در مدلسازی است (شکل ۲-الف). پس از سیلت جرم مخصوص ظاهری و تخلخل در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. بر اساس نتایج مدلسازی به روش جنگل تصادفی هدایت الکتریکی خاک فاکتور خاکی بسیار مهم در مدلسازی بود (شکل ۲-ب). پس از آن سیلت و پتاسیم در دسترس خاک در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند.

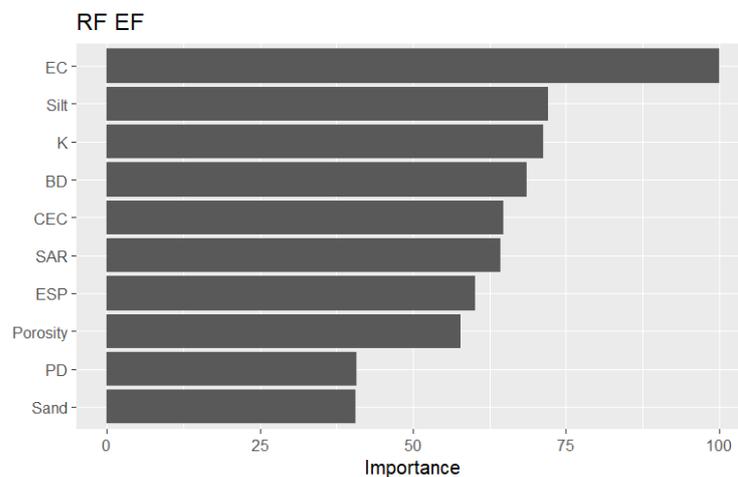
محققین متعددی در مطالعاتشان به اهمیت اجزاء بافت خاک در ارتباط با فرسایش بادی اشاره نموده اند و به ارتباط منفی ذرات رس و سیلت با فرسایش بادی و EF اشاره نموده اند (نوری و همکاران، ۱۴۰۱؛ López et al., 2007; Colazo and Buschiazzo, 2010; Sirjani et al., 2019; Alizadeh Motaghi et al., 2020; Kouchami-Sardoo et al., 2020; Bouajila et al., 2022; Mina et al., 2022; Han et al., 2023; Nouri et al., 2023; Motameni et al., 2024). با توجه به اینکه ذرات سیلت تمایل به ایجاد خاکدانه‌های پایدارتر دارند و از این رو خاک‌هایی با مقدار سیلت بالاتر در برابر فرسایش باد مقاوم‌تر می‌شوند (Colazo and Buschiazzo, 2010; Bouajila et al., 2022; Motameni et al., 2024).

از دیگر خصوصیات فیزیکی خاک مرتبط با فرسایش بادی جرم مخصوص ظاهری خاک (BD) است. محققین مختلف نشان داده اند که در زمین‌های کشاورزی با کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک فرسایش بادی نیز کاهش می‌یابد که این موضوع به دلیل افزایش تخلخل و همچنین استفاده از کود دامی و افزایش ماده آلی خاک بوده است (Ling et al., 2018; Fallahzade et al., 2020). از سوی دیگر با توجه به تاثیر BD بر ظرفیت آب در دسترس و مقاومت نفوذی خاک به علت اثرگذاری بر تخلخل و ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک بر توسعه ریشه، جذب عناصر غذایی و رشد گیاه و پوشش گیاهی نیز اثر می‌گذارد و از این منظر نیز با فرسایش بادی مرتبط است (Zhang et al., 2022; Han et al., 2023). در مجموع می‌توان گفت، رابطه بین BD و EF همیشه مستقیم نیست و میزان BD کم معمولاً با ساختمان خوب خاک، خاکدانه‌های بزرگتر و در نتیجه EF کوچکتر مرتبط است.

Han و همکاران (2023) به ارتباط منفی و معنی دار فاکتورهای موثر بر حاصلخیزی نظیر میزان پتاسیم، فسفر و نیتروژن خاک با EF اشاره نمودند. این فاکتورها به علت نقش بسیار کلیدی در حفظ، توسعه و پایداری پوشش گیاهی خاک در مقابل فرسایش پذیری بادی قرار می گیرند. برخی پژوهش ها به ارتباط شوری و سدیمی بودن خاک ها با فرسایش بادی و فرسایش پذیری بادی اشاره نموده اند (نوری و همکاران، ۱۴۰۱؛ Alizadeh Motaghi, 2020; Sirjani et al., 2019). شوری به دلیل افزایش یون های مختلف در خاک ایجاد می شود و باید توجه داشت رفتار شوری و سدیمی بودن خاک ها با توجه به شرایط محیطی و خاکی (مانند بافت خاک) در مواجهه با فرسایش بادی متفاوت و پیچیده است و نیاز به مطالعات بیشتری دارد و حتی مقادیر EC و SAR نیز در این شرایط رفتارهای متنوعی دارند (Sirjani et al., 2019).



الف



ب

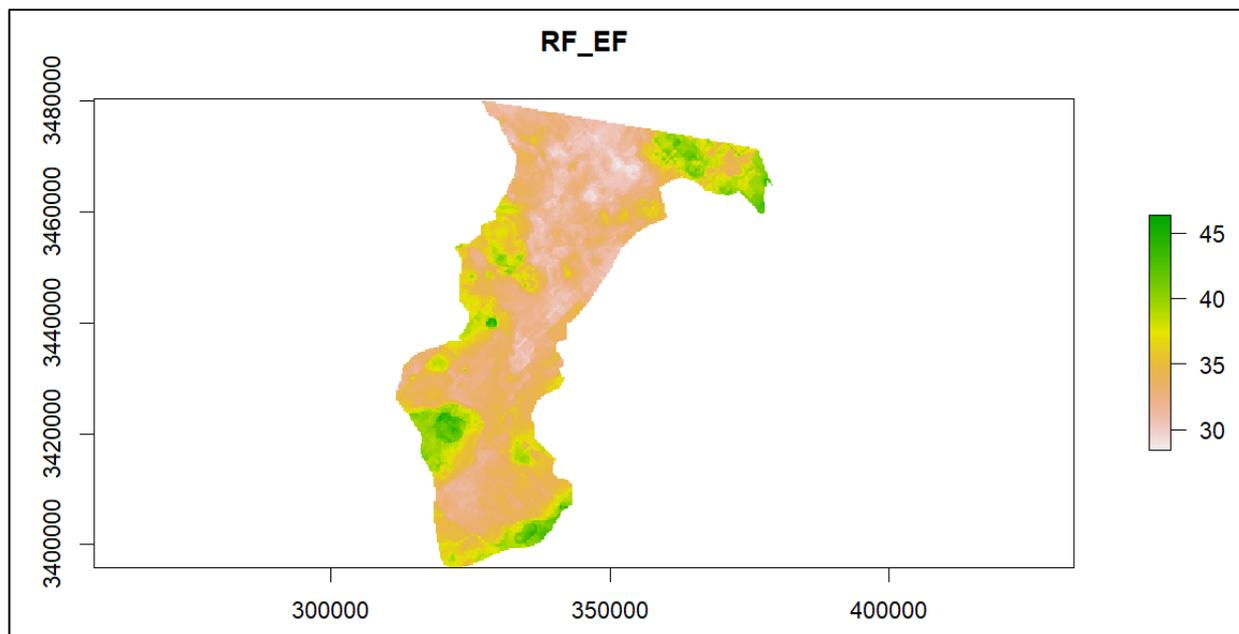
شکل ۲- اهمیت فاکتورهای خاکی در مدل سازی EF بر اساس مدل؛ الف. کیوبیست، ب. جنگل تصادفی

ارزیابی مدل های یادگیری ماشین

نتایج نشان داد که بر اساس معیارهای ارزیابی مدل روش جنگل تصادفی دقت بالاتری در مدل سازی EF خاک نسبت به روش کیوبیست دارد (جدول ۳). بر این اساس نقشه پهنه بندی EF تهیه شد (شکل ۳). همانطور که اشاره شد EF کمتر از ۴۰ درصد نشان از فرسایش پذیری کم، بین ۴۰ تا ۵۰ درصد کلاس فرسایش پذیری متوسط و بیش از ۵۰ درصد فرسایش پذیری بالا را نشان می دهد (Shiyaty, et al., 1965). بر این اساس (شکل ۳) مشاهده می شود که مقدار فرسایش پذیری خاک در مناطق شمالی شرقی تالاب هامون، جنوبی و غربی آن بیشتر از سایر مناطق است.

جدول ۳- نتایج مقایسه روش های یادگیری ماشین برای تهیه نقشه بخش فرسایش پذیر بادی خاک

روش	RMSE	ME	MAE
Random Forest	15.45385	0.26814	11.97834
Cubist	15.86901	-0.16799	11.95638



شکل ۳- نقشه پراکنش بخش فرسایش پذیر بادی بر اساس مدل جنگل تصادفی

نتیجه گیری

این مطالعه با هدف تعیین فاکتورهای موثر بر مدلسازی مکانی فرسایش پذیری بادی در تالاب بین‌المللی هامون انجام شد. نتایج نشان داده است که در مدل کیوبیست سیلت و پس از آن جرم مخصوص ظاهری و تخلخل موثرترین فاکتورها و در مدل جنگل تصادفی هدایت الکتریکی، سیلت و پتاسیم در دسترس موثرترین فاکتورها در ارتباط با EF هستند. همچنین نتایج نشان داد که بر اساس معیارهای ارزیابی مدل روش جنگل تصادفی دقت بالاتری در مدلسازی EF خاک دارد. از نظر پهنه‌بندی EF خاک نیز بخش‌های شمال شرق تالاب و مناطقی در غرب و جنوب آن بیشترین حساسیت را به فرسایش بادی نشان دادند.

فهرست منابع

ابراهیمی خوسفی، م. (۱۴۰۲). تحلیل تغییرات مساحت تالاب‌های هامون و سایر پهنه‌های آبی منطقه سیستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. نشریه جغرافیا و توسعه. ۲۱ (۷۱): ۱۳۹-۱۶۵.

دهمرد، م.، محمد قاسمی، م. و قاسمی، الف. (۱۴۰۱). ارزیابی کارکردهای حفاظتی و تفریحی تالاب هامون با استفاده از رهیافت ارزش گذاری مشروط. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۵۳ (۱): ۱۲۹-۱۴۳.

رضایی، گ.، سرمدیان، ف.، ترکاشوند، ع.، سید محمدی، ج. و مرعشی علی آبادی، م. (۱۴۰۲). نقشه برداری رقومی تغییرات سطحی و زیرسطحی کربن آلی و شوری خاک در بخشی از اراضی دشت قزوین (مطالعه موردی: مناطق آبیگ و نظر آباد). آب و خاک، ۳۷ (۲): ۳۳۱-۳۱۵.

متین فر، ح.، مقصودی، ز.، موسوی، ر. و جلالی، م. (۱۳۹۹). ارزیابی روش‌های یادگیری ماشین در نقشه برداری رقومی کربن آلی خاک‌های زراعی (بخشی از دشت خرم آباد). نشریه آب و خاک، (۴) ۲۴، ۳۲۷-۳۴۳.

ملکی، س.، سفیانیان، ع.، سلطانی کوپایی، س.، پورمنافی، س. و راهداری، و. (۱۳۹۸). مدل سازی مطلوبیت زیستگاه پرندگان آبی و کنار آبی تالاب هامون با استفاده از مدل حداکثر آنتروپی. اکوبیولوژی تالاب (تالاب)، ۱۱(۴۰)، ۵-۱۴.

موسوی، ر.، سرمیدان، ف.، امید، م. و بوگارت، پ. (۱۴۰۰). کاربرد مدل‌های یادگیری ماشین در برآورد مکانی فسفر و پتاسیم خاک در بخشی از اراضی دشت آبیک. پژوهش‌های خاک، (۴) ۳۵، ۳۹۷-۴۱۱.

نوری، ع.، افتخاری، ک.، اسفندیاری، م.، محمدی ترکشوند، ع. و احمدی، ع. (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)، ۱۴۵-۱۵۹.

- Alizadeh Motaghi, F., Hamzeshpour, 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.
- Boali, A., Kariminejad, N., & Hosseinalizdeh, M. (2024). Modeling wind erosion via Google Earth Engine: A case study of Sabzevar City. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 12(41), 59-72
- 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.
- Chen, J., He, Y., Liang, Y., Wang, W., & Duan, X. (2024). Estimation of gross calorific value of coal based on the cubist regression model. *Scientific Reports*, *14*(1), 23176. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74469-3>
- Christie, J., & Bostwick, P. (2017). Climate change adaptation plan for coastal and inland wetlands in the state of Michigan. A white paper prepared for the Michigan Department of Environmental Quality Wetlands Program and Coastal Management Program. Association of State Wetlands Managers Windham Maine https://www.aswm.org/pdf_lib/michigan_wetlands_and_climate_change_report_final_403251_7.pdf Accessed, 15.
- Colazo, J. C., & Buschiazso, D. E. (2010). Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*, 159(1-2), 228-236
- 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.
- Karimi Nezhad, M. T., Tabatabaai, 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., Besalatpour 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., Buschiazso, D.E. (2007). Determination of the wind-erodible fraction of soil using different methodology. *Geoderma*, 139, pp 407–411.
- Maleki, S., Rahdari, V., & Soffianain, A. (2022). Drought impact detection on wetlands in the arid area using Synthetic Aperture Radar data. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(9), 919.
- McBratney, A. B., Santos, M. M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1-2), 3-52.
- McBratney, B. P. Malone, A. B., & Minasny, B. (2011). Empirical estimates of uncertainty for mapping continuous depth functions of soil attributes. *Geoderma*, *166*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.06.005>
- Mina, M., Rezaei, M., Sameni, A., Riksen, M. J., & Ritsema, C. (2023). Estimating the indices of soil erodibility to wind erosion using pedo-and spectro-transfer functions in calcareous soils. *Geoderma*, 438, 116612.
- Motameni, S., Soroush, A., Fattahi, S.M., & Eslami, A. (2024). A data-driven approach for assessing the wind-induced erodible fractions of soil. *Journal of Arid Environments*, 222: 105152.
- Osat, M., Heidari, A., & Salemi, A. (۱۳۹۹). [Using soil characteristics maps in producing detailed soil maps]. [Journal of Water and Soil Conservation Research]. (In Persian)
- Rezaei, M., Mohammadifar, A., Gholami, H., Mina, M., Riksen, M. J., & 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, 106953.
- Shiyatyi, E.I., (1965). Wind structure and velocity over a rugged soil surface. *Vestnik Sel.-khov. 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, 69-80
- Skidmore, E.L., Hagen, L.J., Armburst, 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.
- Sreenivas, K., Dadhwal, V. K., Kumar, S., Harsha, G. S., Mitran, T., Sujatha, G., ... & Ravisankar, T. (2016). Digital mapping of soil organic and inorganic carbon status in India. *Geoderma*, 269, 160-173.
- Wang, S., Jin, X., Adhikari, K., Li, W., Yu, M., Bian, Z., & Wang, Q. (2018). Mapping total soil nitrogen from a site in northeastern China. *Catena*, 166, 134-146.

Investigating Soil Factors Influencing the Modeling of Wind Erodible Fraction Using Random Forest and Cubist Methods

Marzieh Rigi Khalesh¹, Ali Shahriari^{2*}, Ebrahim Shirmohammadi³, Vahid Rahdary⁴, Abbas Miri⁵

1. M.Sc. Student, Department of Soil Science and Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran
2. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran;
* Shahriari.ali@uoz.ac.ir (*Corresponding author)
3. Assistant Professor, Department of Soil Science and Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran
4. Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, University of Zabol, Zabol, Iran
5. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, University of Zabol, Zabol, Iran

Abstract

Soil erosion is a serious issue and a phenomenon that leads to land degradation in arid and semi-arid regions. Studies on wind erodibility provide crucial and key information for sustainable land management. Soil erosion is a function of both erosive agent properties and erodibility. Predicting wind erodibility based on soil characteristics is considered a fundamental step in wind erosion modeling. Consequently, this research aims to compare two machine learning methods, Random Forest and Cubist, for modeling soil wind erodibility in a part of the International Hamoun Wetland. For this purpose, 199 sampling points were selected using stratified random sampling from the soil surface (0-10 cm depth) in the Iranian sections of the wetland. The Wind Erodible Fraction (EF) of the samples, along with some soil properties (particle size distribution, soil reaction, electrical conductivity, organic matter, calcium carbonate equivalent, and sodium adsorption ratio), were measured using standard methods. The results indicated that in the Cubist model, silt, followed by bulk density and effective porosity, were the most influential factors related to EF, whereas in the Random Forest model, electrical conductivity, silt, and available potassium were the most effective factors. The results also showed that, based on the evaluation criteria, the Random Forest method had higher accuracy in modeling soil EF. Regarding the spatial distribution of soil EF, the northeastern parts of the wetland, along with areas in its west and south, exhibited the highest susceptibility to wind erosion.

Keywords: Machine Learning Methods, Dust Storms, Wind Erosion, 120-Day Winds, Hamoun Wetland.