

توسعه و کاربرد دو الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی برای شناسایی مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی

- ۱- ایرج کوچمی ساردو، دکتری علوم خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران
۲- حسین شیرانی، استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران
shirani@vru.ac.ir
۳- عیسی اسفندیارپور بروجنی، دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران
۴- علی اصغر بسالت‌پور، استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران

دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۹

چکیده

فرسایش بادی به عنوان یک پدیده طبیعی مؤثر در تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، تحت تأثیر مؤلفه‌های گوناگونی قرار دارد، به گونه‌ای که درک ما از فرآیند فرسایش بادی اغلب به سبب تعدد و پیچیدگی عامل‌های مؤثر بر آن محدود می‌شود. پژوهش حاضر در راستای شناسایی مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی با استفاده از الگوریتم ترکیبی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN) و الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II) انجام شده است. به منظور دستیابی به یک مجموعه داده مناسب و قابل اطمینان، با طرح‌ریزی یک الگوی تصادفی نظارت‌شده، نمونه‌های خاک از ۵۱ نقطه مشاهداتی در بخشی از دشت نرماشیر استان کرمان جمع‌آوری و ویژگی‌های مختلف خاک اندازه‌گیری شد. علاوه بر آن، در هر نقطه مورد مطالعه، شدت فرسایش بادی با استفاده از یک دستگاه تونل باد قابل حمل تعیین شد. بر اساس نتایج حاصل از اجرای الگوریتم GA-ANN، ویژگی‌های شن، رس، پوشش سنگریزه‌ای، پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت سله سطحی، رطوبت و ماده آلی به عنوان مؤثرترین مؤلفه‌ها در ارتباط با تغییرات مکانی شدت فرسایش بادی تشخیص داده شدند. در مقابل، زیرمجموعه انتخاب‌شده توسط الگوریتم NSGA-II، ویژگی‌های شن، پوشش سنگریزه‌ای، پایداری خاکدانه‌ها، مقاومت سله سطحی و رطوبت را به عنوان مؤثرترین متغیرها معرفی نمود. میزان خطای محاسبه شده برای الگوریتم GA-ANN برابر با ۳/۵۸ درصد بود؛ در حالی که میزان این خطا برای الگوریتم NSGA-II برابر با ۱/۷۰ درصد بود. با توجه به نتایج به دست آمده، هر دو الگوریتم، عملکرد قابل قبولی در راستای دستیابی به هدف پژوهش حاضر نشان دادند. بنابراین، الگوریتم‌های توسعه داده شده در این پژوهش می‌توانند در راستای شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت فرسایش بادی در سایر مناطق با چالش‌های مشابه، مورد استفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: الگوریتم ژنتیک؛ تونل باد؛ داده‌کاوی؛ شبکه عصبی مصنوعی.

مقدمه

داده است. خسارت‌های واردشده به خاک، به طور قابل محسوسی در مناطق خشک و بیابانی شدیدتر است [۳۰]؛ به گونه‌ای که اکوسیستم حاکم بر این مناطق به سبب شرایطی از قبیل وجود خاک‌های سست، لخت، ریزدانه و خشک، بسیار شکننده است و دخل و تصرف در آن، تخریب شدید اراضی را به دنبال دارد [۱۹].

خاک یک عامل کلیدی از چرخه زیستی در مقیاس جهانی است که بر روی تنوع اکوسیستم‌ها و امنیت غذایی مربوط به آن‌ها، امنیت انرژی و آب، سلامت انسان، تغییرات آب و هوا و تخریب اراضی اثرگذار است [۳۳]. امروزه به دلایل مختلف از جمله دخالت‌های بشر، تهدیدهای گوناگونی خاک را به شدت تحت تأثیر خود قرار

بادی به شمار می‌آید. به عبارت دیگر، فرآیند فرسایش بادی مانند بسیاری از مسائل دنیای واقعی، نتیجه برهم‌کنش مجموعه بزرگی از ویژگی‌ها است که تعدادی از این ویژگی‌ها در ارتباط با هدف مورد نظر، بی‌ربط و یا کم‌اهمیت می‌باشند [۳]. در فرآیند مدل‌سازی و پردازش داده‌ها، وارد کردن ویژگی‌های غیرضروری و غیرمرتبط با هدف می‌تواند منجر به کاهش دقت مدل‌سازی و پیچیدگی بیش از حد آن گردد [۲۸]. فرآیند شناسایی یک زیرمجموعه از ویژگی‌های مؤثر با حداقل اندازه ممکن که اطلاعات لازم و کافی را برای هدف مورد نظر در بر داشته باشد، فرآیند انتخاب ویژگی^۳ نامیده می‌شود. انتخاب یک زیرمجموعه مناسب از ویژگی‌های مرتبط با هدف مورد نظر، بسیار مهم و حیاتی است، به گونه‌ای که انجام این عمل علاوه بر کمک به درک مناسب‌تر مسائل، در مواردی باعث افزایش دقت مدل‌سازی و پردازش داده‌ها نیز می‌شود [۱۴]. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های جدی و پویایی در جهت نظری و عملکرد روش‌های فرا ابتکاری^۴ و نیز کاربرد آن‌ها برای حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی صورت پذیرفته است. موفقیت روش‌های فرا ابتکاری در یافتن راه‌حل‌های بهینه برای مسائل پیچیده، امری واقعی است [۲۰]. روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی^۵ مانند الگوریتم ژنتیک^۶ و شبکه‌های عصبی مصنوعی^۷ به خوبی به عنوان یک راه‌حل جایگزین برای غلبه بر مشکلات روش‌های سنتی توسعه یافته‌اند. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که پیاده‌سازی این روش‌ها منجر به ایجاد الگوهای محاسباتی مناسبی برای حل مسائل مبهم و پیچیده می‌شود [۲۸]. الگوریتم ژنتیک یکی از قدرتمندترین الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد که بر اساس انتخاب، بقا و تکامل (نظریه داروین) توسعه یافته است. الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بهینه‌سازی که در آن‌ها تابع هدف ناپیوسته، غیرقابل مشتق‌گیری، غیرخطی و یا دارای مقادیر بهینه محلی زیاد باشد، به خوبی کاربرد دارد. یکی از فنونی که الگوریتم ژنتیک را در یافتن بهینه‌ترین راه‌حل جهت‌دهی می‌کند، شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند [۱۴]. شبکه‌های عصبی مصنوعی ایده‌های

فرسایش بادی یک تهدید بین‌المللی شناخته شده برای تخریب اراضی و هدررفت خاک در مناطق خشک و نیمه-خشک محسوب می‌شود، به طوری که ۲۸ درصد از سطح اراضی جهان تحت تأثیر این پدیده قرار گرفته است [۲۶] و [۳۲]. فرسایش بادی هنگامی شروع می‌شود که نیروی برشی باد در یک سطح فرسایش‌پذیر، بیش از انرژی مورد نیاز برای به حرکت درآوردن ذرات منفرد خاک یا خاکدانه‌های کوچک در آن سطح باشد [۳۲]. کاهش حاصلخیزی خاک، انتشار ذرات ریز به اتمسفر و آلودگی هوا و مدفون شدن راه‌ها و مزارع، مثال‌هایی از خسارت‌های درون محل^۱ و برون محل^۲ وقوع فرسایش بادی است.

فرسایش‌پذیری خاک، وابستگی شدیدی به تغییرات ویژگی‌های فیزیکی (به عنوان مثال، پایداری خاکدانه‌ها)، شیمیایی (به عنوان مثال، قابلیت هدایت الکتریکی) و بیولوژیکی خاک (به عنوان مثال، تنوع ریز موجودات خاک) دارد [۱۹]؛ به گونه‌ای که شدت وقوع فرسایش بادی نسبت به تغییرات مکان و زمان بسیار حساس بوده و تغییرات شدیدی را نشان می‌دهد. با انجام مطالعه‌ای در ارتباط با فرسایش‌پذیری خاک، پژوهشگران دریافتند که رابطه معنی‌داری بین فرسایش‌پذیری ذاتی خاک و متغیرهای خاک از قبیل درصد رس، شوری، ماده آلی و ساختمان خاک وجود دارد [۱].

با توجه به فراهم آوردن امکان شبیه‌سازی فرسایش بادی در شرایط طبیعی، اندازه‌گیری‌های مستقیم صحرایی می‌تواند به عنوان یک معیار به ارزیابی و بهبود مدل‌های فرسایش بادی کمک کند. برای مثال، دستگاه تونل باد قابل حمل با ایجاد شرایط فرسایشی مشابه طبیعت و بدون هیچ‌گونه تغییری در سطح خاک، امکان شبیه‌سازی تأثیر ویژگی‌های مختلف و نیز اثر متقابل آن‌ها بر فرسایش بادی را فراهم می‌سازد [۱۱]. با این حال، اندازه‌گیری مستقیم فرسایش بادی، به ویژه در مقیاس وسیع، هزینه‌بر، وقت‌گیر و سخت است.

تعداد زیاد مؤلفه‌های مؤثر بر فرآیند فرسایش بادی و روابط پیچیده بین این متغیرها، یکی از چالش‌های اصلی در جهت پردازش داده‌ها و مدل‌سازی فرآیند فرسایش

³ - Feature selection

⁴ - Hybrid metaheuristic approaches

⁵ - Artificial intelligence

⁶ - Genetic algorithm

⁷ - Artificial neural network

¹ - On-site

² - Off-site

سیستان به واسطه سرعت زیاد و همراه شدن با دوره گرم سال، فرسایش شدید خاک در مناطق تحت تأثیر خود را سبب می‌شوند. طوفان‌های گرد و غبار، مدفون شدن اراضی کشاورزی، سکونت‌گاه‌ها و خطوط حمل و نقل و تصادفات مرگبار ناشی از دید کم، از جمله موارد ناشی شده از وقوع فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه به‌شمار می‌آیند. از لحاظ نوع اراضی، منطقه مورد مطالعه شامل دشت، باغ‌های نخل و اراضی مسکونی است.

مطالعات صحرائی

به‌منظور در نظر گرفتن تغییرات مکانی مؤلفه‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی، موقعیت مکانی ۵۱ نقطه مشاهداتی (شامل ۳۵، ۹ و ۷ نقطه به‌ترتیب در اراضی بایر، باغ‌های نخل و مناطق مسکونی) به روش تصادفی نظارت-شده^۲ در محیط نرم‌افزار ایلویس^۳ مشخص شد (شکل ۱). سپس، محل هر یک از نقاط مزبور با استفاده از سامانه موقعیت‌یاب جهانی^۴ در منطقه تعیین گردید. سپس از خاک سطحی (عمق صفر تا سه سانتی‌متر) آن‌ها نمونه برداری خاک انجام گرفت. به‌علاوه، برای اندازه‌گیری شدت فرسایش بادی در نقاط مورد مطالعه، از دستگاه سنجش فرسایش بادی استفاده گردید. دستگاه سنجش فرسایش بادی استفاده شده در این پژوهش، نوعی تونل باد قابل حمل است که در ایران برای نخستین بار توسط اختصاصی در سال ۱۳۷۰، طراحی و ساخته شد [۱۱]. این تونل باد دارای طولی معادل ۲/۵ متر و سطح مقطعی معادل ۳۰×۳۰ سانتی‌متر است. تونل باد مذکور، دارای یک بخش با ابعاد ۱۰۰×۳۰ سانتی‌متر برای تماس با سطح خاک یا نمونه‌های خاک است (شکل ۲). در عمل به‌منظور تعیین شدت فرسایش بادی در هر نقطه مورد مطالعه، بدون هیچ تغییری در شرایط طبیعی خاک، دستگاه تونل باد هم‌جهت با بادهای فرساینده منطقه بر روی سطح خاک قرار داده شد. سپس شدت فرسایش بادی برای سرعت باد معادل ۱۲ متر بر ثانیه (باد غالب فرسایش‌زا در منطقه) در مدت زمان ۲۰ دقیقه اندازه‌گیری گردید.

برای پردازش اطلاعات می‌باشند که در توسعه این شبکه‌ها از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته شده است [۱۴]. از جمله مزایای شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان به توانایی شبیه‌سازی سیستم‌های غیرخطی، انعطاف‌پذیری زیاد، دقت بالا و سرعت مناسب در انجام محاسبات اشاره کرد. در پژوهشی، قابلیت مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی برای حل مسئله بهینه‌سازی ارزیابی گردید و نتایج به‌دست آمده نشان دادند که مدل توسعه داده شده در راستای تشخیص زیرمجموعه مناسب از ویژگی‌های مرتبط با عملکرد باغ‌های پسته عملکرد مناسبی داشت [۲۷].

با توجه به وضعیت بحرانی ایران از دیدگاه فرسایش بادی و پیامدهای ناگوار حاصل از آن و نیز نبود یک شیوه مناسب برای تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی، انجام پژوهشی جامع در این زمینه، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. پژوهش حاضر در راستای شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت فرسایش بادی با استفاده از الگوریتم ترکیبی الگوریتم ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN) و الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب^۱ (NSGA-II) در بخشی از اراضی مستعد فرسایش بادی شهرستان نورماشیر - استان کرمان طرح ریزی شده است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

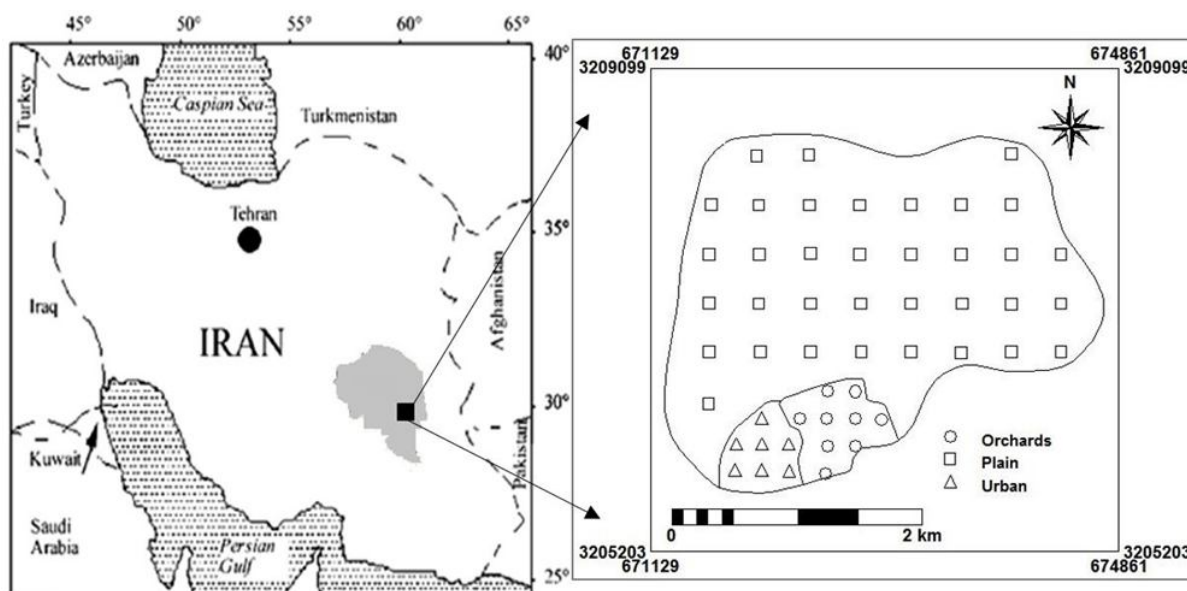
منطقه مورد مطالعه، بخشی از اراضی شهرستان نورماشیر ("۳۲' ۴۵' ۵۸" تا "۴۲' ۴۸' ۵۸" طول شرقی و "۱۲' ۵۸' ۲۸" تا "۴۲' ۰۰' ۲۹" عرض شمالی) واقع در جنوب استان کرمان است (شکل ۱). میانگین بارش و دمای سالانه منطقه در یک دوره آماری ۱۰ ساله (از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷) به‌ترتیب برابر با ۴۶ میلی‌متر و ۲۵ °C می‌باشند. منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان قرار دارد که این بادهای نیمه خرداد تا اواسط مهر می‌وزند و در برخی موارد، سرعت آن‌ها به بالای ۱۱۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد. بادهای ۱۲۰ روزه

² - Supervised random soil sampling

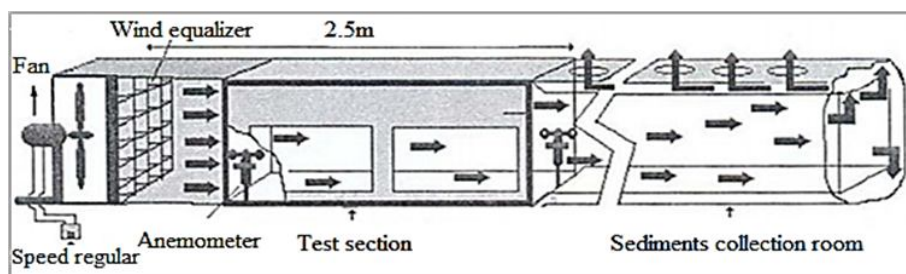
³ - ILWIS

⁴ - Global Positioning System (GPS)

¹ - Non-dominated sorting genetic algorithm II



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه به همراه ۵۱ نقطه نمونه برداری



شکل ۲- نمایی از دستگاه سنجش فرسایش بادی مورد استفاده (شکل گرفته شده از اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۲)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Mg^{2+} + Ca^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

مقادیر کربنات کلسیم معادل (CCE^4) به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک، گچ به روش استون [۱۰] و چگالی ظاهری به روش سیلندر [۴] تعیین شد. برای اندازه گیری رطوبت، نمونه های خاک بلافاصله پس از برداشت در بسته های پلاستیکی ریخته و در آزمایشگاه میزان رطوبت آن ها با استفاده از روش وزنی [۴] تعیین گردید.

علاوه بر آن، درصد پوشش سنگریزه های در سطح خاک با استفاده از روش کوردا [۵] و استحکام نمونه های سله سطحی با استفاده از دستگاه نفوذسنج اندازه گیری شدند.

مطالعات آزمایشگاهی

پس از هوا خشک کردن نمونه های برداشت شده و عبور آن ها از الک دو میلی متری، تجزیه های آزمایشگاهی لازم بر روی آن ها انجام شد. اجزای بافت خاک شامل درصد شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری [۱۶] اندازه گیری شد. قابلیت هدایت الکتریکی (EC^1) عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت سنج و درصد ماده آلی (OM^2) به روش واکلی و بلاک [۳۱] تعیین شد. اندازه گیری کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع خاک به روش کمپلکسومتری و سدیم به روش شعله سنجی صورت پذیرفت. پس از اندازه گیری غلظت کلسیم، منیزیم و سدیم محلول نمونه های خاک ($meq L^{-1}$)، نسبت جذب سطحی سدیم (SAR^3) با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

1 - Electrical conductivity

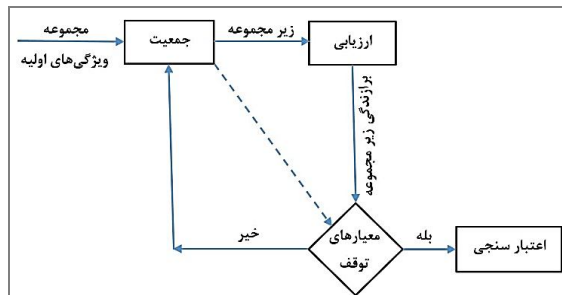
2 - Organic matter

3 - Sodium adsorption ratio

4 - Calcium carbonate equivalent

سبب افزایش سرعت یادگیری و کاهش پیچیدگی می شود [۱۴]. در موارد مذکور، روش های کاهش ابعاد داده می توانند بسیار مفید و سودمند واقع شوند [۱۵]. فرآیند انتخاب ویژگی در تمامی روش ها شامل تابع تولیدکننده (زیرمجموعه های کاندید برای انتخاب را تولید می کند)، تابع ارزیابی (زیرمجموعه های تولید شده را با توجه به معیارهای شایستگی تعریف شده، مورد سنجش قرار می دهد)، معیار توقف (زمان توقف الگوریتم را با توجه به معیارهای توقف مشخص می سازد) و تابع تعیین اعتبار (مشخص می کند که آیا زیرمجموعه انتخاب شده معتبر است یا خیر) می باشد.

مراحل کلی فرآیند انتخاب ویژگی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- مراحل کلی فرآیند انتخاب ویژگی

به طور کلی، مسئله انتخاب ویژگی را می توان به این صورت توضیح داد که اگر مجموعه ویژگی های اولیه شامل N متغیر باشد، طی فرآیند انتخاب ویژگی یک مجموعه بهینه شامل X مؤلفه با ویژگی های زیر مشخص می گردد:

$$x < N, J(x) > J(N) \quad (3)$$

که در آن: J : دقت مسائل طبقه بندی یا پیش بینی است.

در فرآیند انتخاب ویژگی، نوع الگوریتم جست و جو، نقش مهمی در تعیین تعداد و نوع متغیرهای انتخاب شده دارد. تاکنون، الگوریتم های متعددی بر اساس روش های مختلف جست و جو در جهت پیدا کردن بهینه فرا محلی توسعه داده شده اند. الگوریتم ژنتیک به عنوان یک الگوریتم فرا ابتکاری، توانایی زیادی در حل مسائل بهینه سازی را دارا

به منظور اندازه گیری پایداری خاک دانه ها از سری الک و دستگاه الک چرخان استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا نمونه های خاک، بدون کوبیدن از الک چهار میلی - متری عبور داده شدند و سپس ۵۰ گرم از خاک الک شده روی یک سری الک شامل الک های ۰/۱، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی متر (بر اساس استاندارد ASTM) به طور یکنواخت ریخته شد. خاک های مناطق خشک و نیمه خشک ایران به سبب ماده آلی کم، دارای پایداری ساختمانی ضعیفی هستند؛ بنابراین انتخاب زمان های کوتاه برای اندازه گیری پایداری خاک دانه ها مناسب تر از زمان های طولانی به نظر می رسد [۱۹]. در این پژوهش، زمان انجام هر آزمایش، سه دقیقه در نظر گرفته شد و پس از پایان زمان تکان دادن، خاک دانه های باقی مانده روی هر الک، جمع آوری و پس از خشک نمودن در آون، وزن گردید. در پایان، بعد از انجام تصحیح های مربوط به ذرات شن، شاخص میانگین وزنی قطر خاکدانه ها (MWD^1) با استفاده از معادله زیر تعیین شد:

$$MWD = \sum_{i=1}^n w_i \bar{X}_i \quad (2)$$

که در آن: w_i : نسبت وزن خاکدانه های باقی مانده روی الک i به وزن کل خاک مورد استفاده در آزمایش، \bar{X}_i : میانگین قطر خاکدانه های باقی مانده بر روی الک i و n : تعداد کل الک ها می باشند.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها

در پژوهش حاضر، از نرم افزار آماری SPSS 16.0 به منظور محاسبه مؤلفه های آماری داده های اندازه گیری - شده از قبیل میانگین، میانگین، بیشینه، کمینه، ضریب تغییرات و ضریب چولگی استفاده گردید.

انتخاب ویژگی

در بسیاری از مسائل، فرآیند مدل سازی و پردازش داده ها در نتیجه حجم زیاد متغیرهای ورودی به خوبی صورت نمی پذیرد. حذف ویژگی های نامرتب و کم اهمیت،

¹ - Mean Weight Diameter

الگوریتم در نظر گرفته شدند. بنابراین الگوریتم به صورت تصادفی تعداد ۵۰ جایگشت (برابر با اندازه جمعیت) از هر ترکیب n -تایی ویژگی‌ها (از ۱ تا ۱۳) تولید کرد.

مرحله دوم: وارد شدن جایگشت‌های تولیدشده به شبکه عصبی مصنوعی برای ارزیابی آن‌ها بر اساس تابع شایستگی.

در شبکه عصبی مصنوعی، داده‌ها به دو بخش داده‌های آموزش و آزمون به نسبت ۷۰ به ۳۰ تقسیم‌بندی گردید. سپس خطای مربوط به هر جایگشت با استفاده از این داده‌ها محاسبه شد. بر اساس متغیرهای در نظر گرفته شده برای الگوریتم، شبکه عصبی مصنوعی برای هر جایگشت از ویژگی‌ها به تعداد ۱۰ بار اجرا شد و مقدار نهایی خطا برای هر ترکیب از ویژگی‌ها با استفاده از شاخص مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)^۵ به صورت زیر به دست آمد:

$$RMSE = 0.7RMSE_{train} + 0.3RMSE_{test} \quad (۴)$$

که در آن: $RMSE_{train}$: خطای داده‌های آموزش و $RMSE_{test}$: خطای داده‌های آزمون می‌باشند. شاخص مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) خود بر اساس معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [M(x_i) - P(x_i)]^2} \quad (۵)$$

که در آن: n : تعداد رکوردها، $M(x_i)$: داده‌های مشاهده‌ای و $P(x_i)$: داده‌های برآوردشده (تخمینی) می‌باشند.

مرحله سوم: انتخاب جایگشت شایسته‌تر از میان سایر جایگشت‌های مربوط به هر ترکیب n -تایی از ویژگی‌ها. مرحله چهارم: بررسی معیارهای توقف الگوریتم از قبیل شاخص خطا و تعداد رکورد به‌منظور تعیین متوقف شدن الگوریتم یا از سرگیری حلقه. مراحل کلی فرآیند انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم GA-ANN در شکل ۴ نشان داده شده است.

است. در الگوریتم مذکور، پاسخ‌های کاندید برای مسئله مورد نظر در یک رشته دودویی (باینری) خطی که اغلب شامل صفر و یک است کدگذاری می‌شوند. در این الگوریتم، رشته‌های باینری با طول ثابت، کروموزوم نامیده می‌شوند. در حقیقت، هر کروموزوم شامل برداری از پاسخ‌ها برای مسئله مورد نظر است و به مجموعه کروموزوم‌ها در هر نسل، جمعیت گفته می‌شود. در واقع، در الگوریتم ژنتیک به‌گونه‌ای عمل می‌گردد که در نسل‌های متوالی پاسخ‌هایی باقی بمانند که شایسته‌تر از بقیه باشند [۱۴]. برای تولید نسل جدید از کروموزوم‌های نسل جاری، از سه عملگر ژنتیکی انتخاب^۱، تقاطع یا آمیزش^۲ و جهش^۳ استفاده می‌شود. در این پژوهش، از الگوریتم ژنتیک با ویژگی‌های ذکرشده در جدول ۱ برای توسعه و اجرای دو نوع الگوریتم ترکیبی (ترکیب‌شده با شبکه‌های عصبی مصنوعی) برای شناسایی مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی استفاده شد. لازم به ذکر است که برنامه‌نویسی‌های مربوط به این الگوریتم‌ها در نرم‌افزار متلب^۴ (نسخه ۱۴) انجام شد.

الگوریتم ترکیبی ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی (GA-ANN)

الگوریتم GA-ANN از یک نوع جست‌وجوی تصادفی برای رسیدن به پاسخ بهینه استفاده می‌کند. یکی از مزیت‌های جست‌وجوی تصادفی، کمک به الگوریتم مزبور در جهت پیدا کردن پاسخ بهینه اصلی و فرار از بهینه‌های محلی است.

فرآیند انتخاب ویژگی توسط الگوریتم GA-ANN در مراحل زیر خلاصه می‌شود:

مرحله اول: تولید تصادفی تعدادی جایگشت با توجه به اندازه جمعیت.

در این پژوهش ۱۳ ویژگی شامل اولیه شامل ماده آلی، MWD، رطوبت، پوشش سنگریزه‌ای، رس، شن، سیلت، گچ، نسبت جذب سطحی سدیم، قابلیت هدایت الکتریکی، چگالی ظاهری و مقاومت سله سطحی به‌عنوان ورودی به

¹ - Selection

² - Crossover

³ - Mutation

⁴ - MATLAB

⁵ - Root Mean Square Error

جدول ۱- مؤلفه‌های الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در پژوهش حاضر

احتمالات سه عملگر تلفیق استفاده شده			نرخ جهش	نرخ تقاطع	تعداد تکرار	تعداد جمعیت
تلفیق تک نقطه‌ای	تلفیق دو نقطه‌ای	تلفیق یکنواخت				
۰/۲	۰/۱	۰/۸	۰/۰۲	۰/۸	۱۰۰	۵۰

۳) به اعضایی که در یک سطح پرتو مشخص قرار می‌گیرند و دارای یک رتبه مشابه هستند، بر اساس روش فاصله ازدحامی^۲، یک رتبه فاصله نسبت داده می‌شود؛

۴) با استفاده از عملگر رقابت دودویی، جمعیت والد بر اساس کم‌تر بودن رتبه غالب بودن و بیش‌تر بودن رتبه فاصله انتخاب می‌شود و در ادامه، جمعیت نتیجه (Q) با استفاده از عملگرهای کلاسیک الگوریتم ژنتیک تولید می‌گردد؛

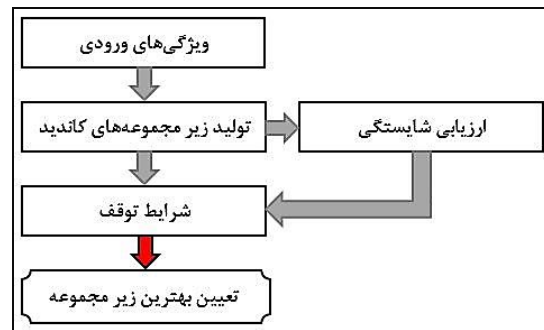
۵) جمعیت‌های والد و فرزندان با هم ادغام شده و جمعیت نسل بعد (R_t+1) که شامل افراد برتر است ایجاد می‌گردد؛ و

۶) این روند برای نسل‌های بعدی نیز به همین شکل تکرار می‌گردد تا معیار توقف الگوریتم (تعداد تکرارها) فراهم گردد.

چگونگی عملکرد الگوریتم NSGA-II در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل، جمعیت R_t توسط عملگر مرتب‌سازی نامغلوب به پنج سطح پرتو (F) تفکیک شده است. با توجه به اصل "به تعداد اعضای جمعیت اولیه، اعضایی از یک جمعیت می‌توانند به نسل بعد (R_t+1) انتقال یابند"، جمعیت F_1 و F_2 به سبب داشتن رتبه غالب بودن بهتر، می‌توانند به صورت مستقیم وارد نسل بعد گردند؛ در حالی که جمعیت F_3 نمی‌تواند به صورت کامل به نسل بعد انتقال یابد. در نتیجه، در ابتدا اعضای جمعیت F_3 به روش فاصله ازدحامی مرتب می‌شوند و سپس تعدادی از اعضای این جبهه پرتو که دارای فاصله ازدحامی بهتری هستند به نسل بعد انتقال می‌یابند و اعضای باقی‌مانده این سطح پرتو به همراه اعضای F_4 و F_5 حذف می‌گردند.

الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA-II)

الگوریتم NSGA-II یک الگوریتم فرا ابتکاری چند هدفه است؛ به گونه‌ای که علاوه بر هدف کاهش ابعاد ویژگی‌های ورودی، کاهش خطای طبقه‌بندی نیز از دیگر اهداف این الگوریتم است. حل مسأله انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم NSGA-II، بدین صورت است که با کدگذاری هر فرد در یک فضای انتخاب آغاز می‌شود و سپس میزان شایستگی افراد بر حسب میزان تفکیک‌پذیری آن‌ها در فضای انتخاب تعیین می‌گردد.



شکل ۴- مراحل فرآیند انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم GA-ANN

مراحل فرآیند انتخاب ویژگی در الگوریتم NSGA-II

به شرح زیر هستند:

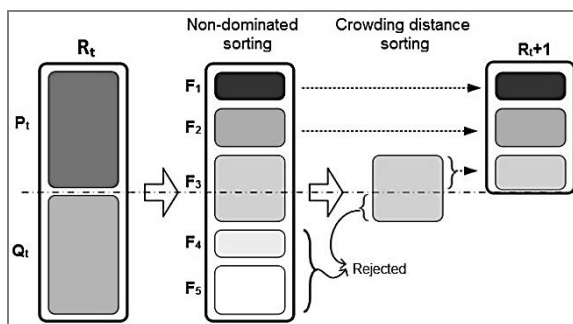
- ابتدا جمعیت اولیه به صورت تصادفی تولید می‌گردد؛
- جمعیت تولیدشده بر اساس توابع هدف و با توجه به مفهوم غالب بودن توسط عملگر مرتب‌سازی نامغلوب به π سطح پرتو^۱ تقسیم می‌شود. سپس، به هر یک از سطوح پرتو، یک رتبه مجزا و به اعضای درون هر سطح، یک رتبه مشابه با توجه به مفهوم غالب بودن تعلق می‌گیرد؛

² - Crowding distance sorting

¹ - Pareto

با وجود سبک بودن بافت خاک‌های مورد مطالعه (بالا بودن درصد ذرات شن)، مقادیر اندازه‌گیری‌شده شوری خاک (میانگین $16/07$ دسی زیمنس بر متر) و نسبت جذب سطحی سدیم (میانگین $(\text{mmol l}^{-1})^{0.5}$ $34/01$) به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا هستند، به‌گونه‌ای که شور و سدیمی بودن، ویژگی بارز خاک‌های منطقه مورد مطالعه است. بر اساس نتایج گزارش شده در جدول ۲، مقادیر اندازه‌گیری‌شده کربنات کلسیم از $1/94$ تا $20/95$ درصد تغییر می‌کنند. با توجه به مواد مادری و سازندهای آهکی، خاک‌های گسترش یافته در مناطق خشک ایران دارای مقادیر زیادی از کربنات‌ها در فاز جامد خود هستند [۱۳]. در مقایسه با کربنات کلسیم، مقادیر اندازه‌گیری‌شده گچ در خاک‌های مورد مطالعه ناچیز و دارای میانگینی برابر با $(\text{meq } 100\text{g}^{-1} \text{ soil}) 0/03$ هستند، که با مقادیر گزارش شده برای خاک‌های سایر مناطق خشک ایران همخوانی دارد [۱۳].

با توجه به وضعیت آب و هوایی منطقه مورد مطالعه و برداشت نمونه‌های خاک در فصل تابستان، مقادیر اندازه‌گیری‌شده رطوبت بسیار کم هستند؛ به‌گونه‌ای که میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده این مؤلفه از خاک، برابر با $0/57$ درصد است. مقادیر اندازه‌گیری‌شده چگالی ظاهری از $1/27$ تا $1/85$ گرم بر سانتی‌متر مکعب (میانگین $1/54$ گرم بر سانتی‌متر مکعب) تغییر می‌کنند، که با توجه به درصد بالای ذرات شن در خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۲)، مقادیر مذکور منطقی به‌نظر می‌رسند. با توجه به شاخص‌های آماری محاسبه‌شده برای مقادیر اندازه‌گیری‌شده پایداری خاکدانه‌ها (جدول ۲)، می‌توان بیان داشت که خاک‌های مورد مطالعه وضعیت مناسبی از نظر ساختمانی ندارند. ماده آلی و ذرات رس از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک در ارتباط با شکل‌گیری ساختمان خاک و پایداری آن هستند [۳]. با توجه مقادیر ناچیز ماده آلی و ذرات رس در خاک‌های مورد مطالعه (جدول ۲)، وضعیت نامناسب خاک‌های مورد مطالعه از دیدگاه ساختمان خاک، کاملاً مورد انتظار است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، پوشش سنگریزه‌ای از مهم‌ترین عوامل کاهش آسیب‌پذیری سطح خاک به فرسایش بادی است [۲].



شکل ۵- نحوه عملکرد الگوریتم NSGA-II

با توجه به تعداد فراوان متغیرهای اثرگذار بر فرسایش‌پذیری خاک نسبت به باد، در نظر گرفتن تمامی این متغیرها به هنگام مطالعه و مدل‌سازی این ویژگی خاک، پیچیدگی و کاهش دقت مدل‌سازی و پردازش داده‌ها را به دنبال خواهد داشت. در پژوهش حاضر، از دو الگوریتم NSGA-II و GA-ANN برای شناسایی یک زیرمجموعه مناسب از متغیرهای مؤثر بر شدت فرسایش بادی استفاده شد. در راستای این هدف، مقادیر اندازه‌گیری‌شده ماده آلی، MWD، رطوبت، پوشش سنگریزه‌ای، رس، شن، سیلت، کربنات کلسیم معادل، گچ، نسبت جذب سطحی سدیم، قابلیت هدایت الکتریکی، چگالی ظاهری و مقاومت سله سطحی به‌عنوان ویژگی‌های ورودی به الگوریتم‌های مذکور معرفی گردیدند.

نتایج

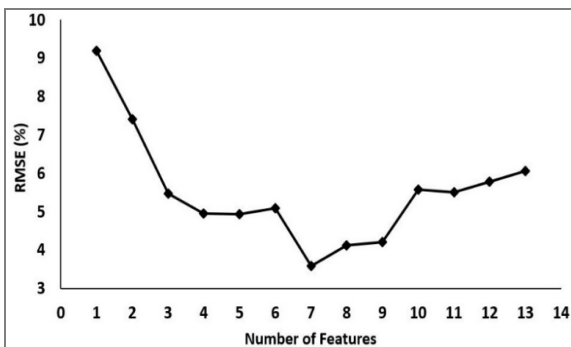
توصیف آماری داده‌ها

جدول ۲ نشان‌دهنده خلاصه آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده در خاک‌های مورد مطالعه است. در بین ذرات معدنی خاک، بالاترین درصد مربوط به ذرات شن (میانگین $77/33$ درصد) و پایین‌ترین درصد مربوط به ذرات رس (میانگین $8/10$ درصد) است؛ به‌گونه‌ای که لوم شنی، کلاس بافتی غالب در خاک‌های مورد مطالعه است. بر اساس نتایج گزارش‌شده در جدول ۲، میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده ماده آلی در خاک‌های مورد مطالعه برابر با $0/44$ درصد است، که این میزان ماده آلی با مقدار گزارش شده برای خاک‌های سایر مناطق خشک ایران مطابقت دارد [۲۵].

جدول ۲- توصیف آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی	میانگین	میانه	کمینه	بیشینه	ضریب چولگی	ضریب تغییرات (%)
شن (%)	۷۷/۳۳	۷۷/۴۰	۵۲/۶۰	۱/۰۳	-۱/۰۲	۱۸۷/۰۵
رس (%)	۸/۱۰	۷/۷۰	۱/۶۰	۲۰/۶۰	۰/۵۷	۲۳/۱۱
سیلت (%)	۱۴/۵۶	۱۴/۶۰	۵/۳۰	۲۶/۸۰	۰/۴۷	۳۳/۴۵
ماده آلی (%)	۰/۴۴	۰/۲۶	۰/۱۴	۳/۲۹	-۰/۰۱	۱۲۹/۰۰
قابلیت هدایت الکتریکی (dS m^{-1})	۱۶/۰۷	۷/۳۵	۱/۲۲	۸۷/۵۱	۲/۰۵	۱۱۹/۴۶
نسبت جذب سطحی سدیم (mmol l^{-1}) ^{0.5}	۳۴/۰۱	۱۵/۲۱	۱/۲۳	۲۱۰/۵۴	۲/۵۲	۱۴۱/۱۶
کربنات کلسیم معادل (%)	۱۰/۲۰	۷/۶۳	۱/۹۴	۲۰/۹۵	۰/۵۶	۴۷/۹۲
گچ ($\text{meq } 100\text{g}^{-1} \text{ soil}$)	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۱۸	۱/۵۶	۱۵۹/۱۹
رطوبت (%)	۰/۵۷	۰/۲۶	۰/۱۲	۵/۱۸	۳/۴۴	۱۶۳/۳۸
چگالی ظاهری (g cm^{-3})	۱/۵۴	۱/۵۶	۱/۲۷	۱/۸۵	۰/۲۰	۹/۱۱
MWD (mm)	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۸۹	۳/۵۱	۱۲۲/۷۰
پوشش سنگریزه‌ای (%)	۹/۱۱	۱۰/۰۰	۰/۰۰	۲۵/۰۰	۰/۳۴	۸۳/۳۱
مقاومت سله سطحی (kPa)	۲۳/۲۵	۲۳/۳۲	۰/۰۰	۶۹/۰۵	۰/۲۷	۸۲/۰۶
شدت فرسایش بادی ($\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	۲/۸۲	۲/۶۱	۱/۴۲	۵/۳۱	۰/۹۴	۳۱/۰۱

قابلیت بالای مدل‌های توسعه یافته با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی برای حل مسئله انتخاب ویژگی است.



شکل ۶- تابع خطای محاسبه شده برای عملکرد الگوریتم GA-ANN

انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم NSGA-II

بر اساس نتایج حاصل از اجرای الگوریتم NSGA-II (شکل ۷)، پنج ویژگی شن، پوشش سنگریزه‌ای، MWD، مقاومت سله سطحی و رطوبت، مؤثرترین متغیرها در ارتباط با تغییرات مکانی شدت فرسایش بادی تشخیص داده شدند. به دیگر سخن، بر اساس عملکرد الگوریتم NSGA-II، ترکیبی با پنج ویژگی (شامل ویژگی‌های شن، پوشش سنگریزه‌ای، MWD، مقاومت سله سطحی و رطوبت)، کم‌ترین خطای محاسبه شده را در بین ترکیب‌های تولید شده از ویژگی‌های اولیه شامل شد. همان

انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم GA-ANN

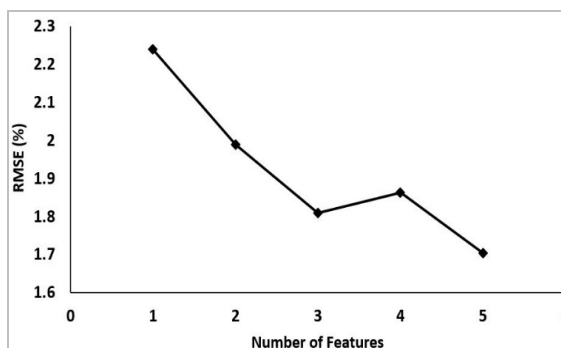
نتایج اجرای الگوریتم ترکیبی GA-ANN به منظور انتخاب مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی نشان داد که ترکیبی با هفت ویژگی در بین همه ترکیب‌های تولید شده از ویژگی‌ها، مناسب‌ترین پاسخ برای مسئله مورد نظر است (شکل ۶)؛ به گونه‌ای که شاخص خطای محاسبه شده (RMSE) برای زیرمجموعه تعیین شده برابر با ۳/۵۸ درصد بود. ملاحظه می‌شود که این میزان خطا به طور قابل توجهی از خطای محاسبه شده برای سایر ترکیب‌های تولید شده از ویژگی‌ها کمتر است. متغیرهای انتخاب شده توسط الگوریتم مزبور نیز شامل شن، رس، پوشش سنگریزه‌ای، MWD، مقاومت سله سطحی، رطوبت و ماده آلی بودند. در واقع، بر اساس عملکرد الگوریتم GA-ANN، هفت ویژگی مذکور در بین ۱۳ ویژگی در نظر گرفته شده به عنوان ورودی الگوریتم، بیش‌ترین تأثیر را بر روی شدت فرسایش بادی در خاک‌های مورد مطالعه داشته‌اند. میزان خطای محاسبه شده (RMSE) برای عملکرد الگوریتم ترکیبی ژنتیک-شبکه عصبی مصنوعی در راستای انتخاب بهترین زیر مجموعه از ویژگی‌های مؤثر بر متغیرهای هدف در پژوهش‌های انجام شده با استفاده از الگوریتم مذکور، برابر با ۰/۲۲ و ۰/۴۷ درصد بود [۱۴ و ۲۷]. مقادیر تابع خطا محاسبه شده در پژوهش‌های مذکور و پژوهش حاضر، نزدیک به مقدار صفر (بهینه‌ترین حالت) است، که بیانگر

خاک مربوط دانست. با انجام تحقیقی در ارتباط با بررسی اثر توزیع اندازه ذرات خاک بر پایداری خاکدانه‌ها، پژوهشگران دریافتند که درصد ذرات شن با خاکدانه‌های پایدار (بزرگتر از ۰/۲۵ میلی‌متر) در آب، همبستگی معنی‌دار و منفی دارد [۲۳].

پژوهش‌های متعددی در ارتباط با نقش پوشش سنگریزه‌ای بر روی شدت فرسایش بادی وجود دارند [۱۹]. پوشش سنگریزه‌ای، از مهم‌ترین عوامل کاهشدهنده نیروی برشی باد در سطح خاک است که از این طریق، کاهش قابل توجه شدت فرسایش بادی را سبب می‌شود [۲]. زمانی که پوشش سنگریزه‌ای در سطح خاک به بالاتر از ۱۵ درصد برسد، به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث افزایش زبری آئرودینامیکی و در نتیجه کاهش شدت فرسایش‌پذیری خاک می‌گردد [۱۰]. در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی ناچیز است پوشش سنگریزه‌ای به عنوان یک محافظ در سطح زمین از هدررفت خاک در اثر نیروی برشی باد به میزان قابل توجهی ممانعت به عمل می‌آورد [۱۸].

فرسایش‌پذیری خاک به‌عنوان یک ویژگی پویا، وابستگی شدیدی به پایداری خاکدانه‌ها دارد [۸]. با انجام تحقیقی در ارتباط با نقش ساختمان خاک بر روی شدت فرسایش بادی، پژوهشگران دریافتند که خاک‌های دارای خاکدانه‌های مقاوم و درشت، در مقابل فرسایش بادی پایدار می‌باشند [۲۱]. خاکدانه‌ها با تأثیرگذاری بر زبری سطح خاک، سبب افزایش سرعت آستانه برشی و در نتیجه کاهش شدت فرسایش بادی می‌گردند [۲۴]. وقوع فرسایش بادی مستلزم جدا شدن ذرات خاک از توده اصلی خاک است که شکل‌گیری سله در سطح خاک، جدایش^۱ ذرات خاک را به میزان قابل ملاحظه‌ای محدود می‌کند. فرسایش بادی در خاک‌های دارای سله سطحی با نرخ ۰/۴ تا ۰/۴ نسبت به زمین‌هایی که به‌تازگی تحت کشت قرار گرفته‌اند رخ می‌دهد [۷]. نقش مهم رطوبت خاک در کاهش هدررفت خاک در اراضی باغی منطقه مورد مطالعه را می‌توان دلیلی بر انتخاب رطوبت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار بر شدت فرسایش بادی عنوان کرد. تأثیر مثبت و قابل توجه رطوبت بر روی میزان

طور که در شکل ۷ نشان داده شده است، میزان خطا (RMSE) برای زیرمجموعه انتخاب‌شده توسط این الگوریتم، برابر با ۱/۷۰ درصد بود، که بسیار نزدیک به بهینه‌ترین مقدار (مقدار صفر) است. نتایج حاصل از انجام پژوهشی در ارتباط با عملکرد الگوریتم‌های تکاملی، قابلیت مناسب الگوریتم NSGA-II در راستای یافتن بهترین پاسخ برای مسائل بهینه‌سازی را نشان داد [۲۹].



شکل ۷- تابع خطای محاسبه‌شده برای عملکرد الگوریتم NSGA-II

بحث و نتیجه‌گیری

نقش ویژگی‌های انتخاب‌شده بر شدت فرسایش بادی
توزیع اندازه ذرات خاک (بافت خاک)، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش بادی است؛ به‌طوری که تأثیر نسبت‌های مختلف ذرات معدنی (شن، سیلت و رس) بر شدت فرسایش‌پذیری خاک، همواره مورد پژوهش قرار گرفته است. در پژوهشی، با مطالعه فرسایش‌پذیری خاک‌های مختلف، ارتباط نزدیکی بین بافت خاک و شدت فرسایش بادی مشاهده شد [۶]. با توجه به اثر قابل توجه ذرات رس در بهبود و پایداری پیوند بین ذرات خاک؛ خاک‌های با میزان رس زیاد، دارای مقاومت قابل توجهی در برابر جدا شدن و حمل توسط نیروهای فرساینده می‌باشند [۱۷]. افزایش درصد ذرات شن در خاک، به‌طور معنی‌داری سبب افزایش شدت فرسایش بادی می‌گردد [۱۸]. در واقع، ذرات شن بر خلاف ذرات رس خاک، دارای بار الکتریکی و سطح ویژه قابل ملاحظه نمی‌باشند. بنابراین، می‌توان دلیل احتمالی انتخاب درصد ذرات شن به‌عنوان یک ویژگی مهم در ارتباط با شدت فرسایش بادی را به اثر منفی این ذرات بر روی استحکام پیوند بین ذرات

^۱ - Detachment

الگوریتم NSGA-II، یک الگوریتم چند هدفه است؛ این موضوع بدین معنی است که طی فرآیند انتخاب ویژگی توسط الگوریتم NSGA-II، اهدافی از جمله کاهش ابعاد ویژگی‌های ورودی و کاهش خطای بهینه‌سازی به طور جداگانه‌ای دنبال می‌شود. مقایسه شکل‌های ۶ و ۷ بر موضوع اخیر صحنه می‌گذارد، به گونه‌ای که میزان تابع خطای محاسبه‌شده برای عملکرد دو الگوریتم مورد استفاده نشان‌دهنده آن است که هدف کاهش خطای بهینه‌سازی به خوبی توسط الگوریتم NSGA-II دنبال شده است.

به عبارت دیگر، الگوریتم NSGA-II با تولید پاسخ‌های بیش‌تر، راه‌حل سریع‌تری در مقایسه با الگوریتم GA-ANN برای مسائل بهینه‌سازی دارد و همچنین پیچیدگی محاسباتی در این الگوریتم تا حدود زیادی کم‌تر است. بنابراین با توجه به امکان تولید پاسخ‌های متنوع توسط الگوریتم NSGA-II، به نظر می‌رسد که بتوان دلیل احتمالی عدم انتخاب ماده آلی و رس به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر شدت فرسایش بادی را مربوط به تشخیص اثر این دو مؤلفه در قالب اثر سایر عوامل مورد مطالعه، به‌ویژه شاخص پایداری خاکدانه‌ها (MWD) دانست. به عبارت دیگر، با توجه به توانایی الگوریتم NSGA-II در جهت کاهش تعداد متغیرها، ضمن کاهش مقدار خطا، احتمالاً به دلیل وجود یک متغیر جامع‌تر مانند MWD، اثر متغیرهای ماده آلی و رس بر روی شدت فرسایش بادی توسط این الگوریتم دیده نشده است که این عمل به نوبه خود کاهش پیچیدگی و افزایش دقت فرآیند بهینه‌سازی را سبب می‌گردد. با این حال، با توجه به نقش تعیین‌کننده مؤلفه‌های ماده آلی و رس در شدت فرسایش بادی؛ در پژوهش‌هایی که شرایط از لحاظ هزینه و زمان فراهم می‌باشد، مطالعه این دو متغیر همراه با پنج ویژگی مشترک انتخاب‌شده توسط دو الگوریتم سودمند به نظر می‌رسد و از این دیدگاه نتایج الگوریتم GA-ANN مناسب‌تر می‌باشند. با توجه به اثر کاهشی هر سه متغیر MWD، رس و ماده آلی بر روی شدت فرسایش بادی خاک، این احتمال نیز وجود دارد که تنها با مطالعه MWD همراه با چهار ویژگی دیگر انتخاب‌شده، بتوان به درک مناسب و معقولی از فرسایش بادی خاک،

فرسایش بادی خاک در پژوهش‌های متعددی به اثبات رسیده است. رطوبت خاک با افزایش چسبندگی بین ذرات خاک و چگالی آن‌ها، سبب کاهش قابل ملاحظه فرسایش بادی خاک نسبت به باد می‌گردد [۲۲]. ماده آلی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خاک در ارتباط با میزان فرسایش بادی خاک است [۹]. ماده آلی با ایجاد شرایط مناسب برای اتصال ذرات معدنی خاک به یکدیگر، سبب شکل‌گیری خاکدانه‌ها و افزایش پایداری آن‌ها می‌شود [۳ و ۲۸]، که از این طریق می‌تواند بر روی شدت فرسایش بادی تأثیرگذار باشد. با وجود اینکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مقدار ماده آلی خاک‌ها پایین است اما همین مقادیر کم می‌توانند مشابه عامل سیمانی‌کننده‌ای مانند ذرات رس و آهک عمل کرده و هم‌آوری ذرات و شکل‌گیری ساختمان خاک را سبب گردند [۱۹].

مقایسه عملکرد الگوریتم‌های GA-ANN و NSGA-II

به طور کلی می‌توان بیان داشت که هر دو الگوریتم مورد استفاده در این پژوهش، عملکرد قابل قبولی در شناسایی مهم‌ترین مؤلفه‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی خاک داشتند؛ به گونه‌ای که بر اساس نتایج به‌دست آمده از اجرای هر دو الگوریتم، متغیرهای شن، پوشش سنگریزه‌ای، MWD، مقاومت سله سطحی و رطوبت، مؤثرترین مؤلفه‌ها در ارتباط با تغییرات مکانی شدت فرسایش بادی تشخیص داده شدند. در واقع هر دو الگوریتم فرا ابتکاری توسعه داده شده در این پژوهش برخلاف الگوریتم‌های ابتکاری شامل راهکارهایی برای برون‌رفت از نقاط بهینه محلی، همگرایی زودرس و یافتن پاسخ‌های بسیار مناسب (نزدیک به پاسخ بهینه) هستند [۱۴].

با این حال، بر اساس عملکرد الگوریتم GA-ANN، علاوه بر پنج ویژگی ذکر شده، دو متغیر رس و ماده آلی نیز از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده شدت فرسایش بادی در خاک‌های مورد مطالعه می‌باشند. در حالی که این دو ویژگی توسط الگوریتم NSGA-II به‌عنوان فاکتورهای مهم در ارتباط با تغییرات مکانی شدت فرسایش بادی تشخیص داده نشدند. البته بایستی توجه داشت که

ضمن کاهش پیچیدگی و صرفه‌جویی در وقت و هزینه دست یافت. به‌طور کلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان داشت که هر دو الگوریتم عملکرد قابل قبولی در انتخاب یک زیرمجموعه مناسب از متغیرهای مؤثر بر شدت فرسایش بادی داشتند که بسته به هدف مورد نظر و شرایط منطقه می‌توان از هر کدام از الگوریتم‌های مذکور و نتایج به‌دست آمده از اجرای آن‌ها سود برد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش بیان‌گر آن است که الگوریتم‌های مورد استفاده، دارای عملکرد قابل قبول برای شناسایی مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر شدت فرسایش بادی می‌باشند. بنابراین، کاربرد الگوریتم‌های توسعه داده شده در این پژوهش، برای شناسایی یک زیرمجموعه مناسب از ویژگی‌های مؤثر برای سایر مؤلفه‌های پیچیده خاک توصیه می‌گردد. به‌گونه‌ای که با به‌کارگیری این الگوریتم‌ها برای حل مسائل بهینه‌سازی، ضمن صرفه‌جویی در وقت و هزینه، می‌توان نتایج مطلوب‌تری از فرآیندهای تشخیص الگو و پردازش داده‌ها به‌دست آورد.

از طرف دیگر، با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با اهمیت ویژگی‌های انتخاب‌شده، به‌نظر می‌رسد که بتوان از این ویژگی‌ها در راستای مدل‌سازی و برآورد شدت فرسایش بادی بهره برد. با این وجود، استفاده از سایر الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم کلونی مورچگان^۱ و کرم شب‌تاب^۲ برای شناسایی یک زیرمجموعه مناسب از ویژگی‌های مؤثر بر شدت فرسایش بادی و مقایسه عملکرد و نتایج آن‌ها با نتایج این پژوهش برای مطالعات آتی نیز می‌تواند مد نظر پژوهشگران قرار گیرد.

سپاسگزاری

به این وسیله از گروه علوم خاک دانشگاه علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان به خاطر تأمین اعتبار و امکانات لازم برای انجام پژوهش حاضر قدردانی می‌گردد. از آقایان سعدالله کوچمی ساردو، وحید حسنی‌نیا، ناصر کوچمی ساردو و یاسر کوچمی ساردو که ما را در انجام مطالعات صحرائی همراهی نمودند، کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

¹ - Ant Colony Optimization

² - Firefly Algorithm

References

- [1]. Ahmadi, A., Qorbanian, R. and Jafarzadeh, A. A. (2013). The study on the effects of desert pavement on wind erodibility. 15th Iranian Soil Science Congress, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (in Farsi).
- [2]. Azimzadeh, H. R. and Fotouhi, F. (2013). The study on the effects of desert pavement on wind erodibility (case study: Yazd-Ardakan plain). *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 20 (4): 695-705. (in Farsi).
- [3]. Besalatpour, A. A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M. A., Jazi, A. Y. and Gharipour, A. (2014). Feature selection using parallel genetic algorithm for the prediction of geometric mean diameter of soil aggregates by machine learning methods. *Arid Land Research and Management*, 28(4): 383-394.
- [4]. Blake, G. R. (1965). Bulk density. *Methods of Soil Analysis. Part 1* Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- [5]. Cerdà, A. (2001). Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *European Journal of Soil Science*, 52(1): 59-68.
- [6]. Chepil, W. S. (1953). Factors that influence clod structure and erodibility of soil by wind: I. Soil texture. *Soil Science*, 75(6): 473-484.
- [7]. Chepil, W. S. (1958). Soil conditions that influence wind erosion (Vol. 1185). US Dept. of Agriculture.
- [8]. Ciric, V., Manojlovic, M., Nesic, L., and Belic, M. (2012). Soil dry aggregate size distribution: effects of soil type and land use. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(4): 689-703.
- [9]. Colazo, J. C. and Buschiazzo, D. E. (2010). Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. *Geoderma*, 159(1-2): 228-236.
- [10]. Dong, Z., Liu, X., and Wang, X. (2002). Aerodynamic roughness of gravel surfaces. *Geomorphology*, 43(1-2), 17-31.
- [11]. Ekhtesasi, M. R. (1991). Report design and construction of wind erosion meter. Publication of Science and Technology Research Organization of Yazd. (in Farsi).
- [12]. Ekhtesasi, M. R., Akhavan Ghalibaf, M., Azimzadeh, H. R. and Emtehani, M. H. (2003). Effects of salts on erodibility of soil by wind. *Iranian Journal of Natural Resources*, 56(1): 17-28. (in Farsi).
- [13]. Esfandiarpour, I., Salehi, M. H., Karimi, A. and Kamali, A. (2013). Correlation between Soil Taxonomy and World Reference Base for Soil Resources in classifying calcareous soils: (a case study of arid and semi-arid regions of Iran). *Geoderma*, 197: 126-136.
- [14]. Esfandiarpour-Borujeni, I., Hosseinifard, S., Shirani, H., Zeinadini, M. and Besalatpour, A. A. (2018). Identifying Soil and Plant Nutrition Factors Affecting Yield in Irrigated Mature Pistachio Orchards. *Communications in soil science and plant analysis*, 49(12): 1474-1490.
- [15]. Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G. and Smyth, P. (1996). From data mining to knowledge discovery in databases. *AI magazine*, 17(3): 37-37.
- [16]. Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, 383-411.
- [17]. Idah, P. A., Mustapha, H. I., Musa, J. J. and Dike, J. (2008). Determination of erodibility indices of soils in Owerri west local government area of Imo State, Nigeria. *Assumption University Journal of Technology*, 12(2): 130-133.
- [18]. Kouchami-Sardo, I., Besalatpour, A. A., Bashari, H., Shirani, H. and Esfandiarpour-Broujeni, I. (2017). Assessment of IRIFR model capability in simulation of soil loss in different wind geomorphology landforms using wind erosion meter. *Arid biome scientific and research journal*. 7(1): 13-25. (in Farsi).
- [19]. Kouchami-sardoo, I. (2015). Modeling of wind erosion hazard in a part of the Rafsanjan plain using Bayesian Belief Networks (BBNs). Master thesis, Vali-E-Asr University of Rafsanjan. (in Farsi).
- [20]. Krishnaiyer, K. and Cheraghi, S. H. (2004). Minimizing Total Completion Time on a Single Machine with Tool Changes: An Ant Algorithms Approach. In IIE Annual Conference. Proceedings (p. 1). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).

- [21]. Liu, L. Y., Li, X. Y., Shi, P. J., Gao, S. Y., Wang, J. H., Ta, W. Q. and Xiao, B. L. (2007). Wind erodibility of major soils in the farming-pastoral ecotone of China. *Journal of arid environments*, 68(4): 611-623.
- [22]. Mahmoodabadi, M. and Rajabpour, H. (2017). Study on the effect of initial soil moisture content on wind erosion rate using a laboratory wind tunnel. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(2): 167-183. (in Farsi).
- [23]. Mahmoodabadi, M., and Ahmadbeygi, B. (2013). Effect of primary particle size distribution on aggregate stability at different size classes. *Water Soil Science*, 23: 207-219.
- [24]. McKenna-Neuman, C. and Nickling, W. G. (1989). A theoretical and wind tunnel investigation of the effect of capillary water on the entrainment of sediment by wind. *Canadian Journal of Soil Science*, 69(1): 79-96.
- [25]. Nodej, T. M. and Rezazadeh, M. (2018). The spatial distribution of critical wind erosion centers according to the dust event in Hormozgan province (south of Iran). *Catena*, 167: 340-352.
- [26]. Pi, H., Sharratt, B., Feng, G. and Lei, J. (2017). Evaluation of two empirical wind erosion models in arid and semi-arid regions of China and the USA. *Environmental modelling and software*, 91: 28-46.
- [27]. Pourmohammadali, B., Hosseinifard, S. J., Salehi, M. H., Shirani, H. and Boroujeni, I. E. (2019). Effects of soil properties, water quality and management practices on pistachio yield in Rafsanjan region, southeast of Iran. *Agricultural water management*, 213: 894-902.
- [28]. Shirani, H., Habibi, M., Besalatpour, A. A. and Esfandiarpour, I. (2015). Determining the features influencing physical quality of calcareous soils in a semiarid region of Iran using a hybrid PSO-DT algorithm. *Geoderma*, 259: 1-11.
- [29]. Syberfeldt, A., Grimm, H., Ng, A. and John, R. I. (2008, June). A parallel surrogate-assisted multi-objective evolutionary algorithm for computationally expensive optimization problems. In 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence) (pp. 3177-3184). IEEE.
- [30]. Troeh, F. R., Hobbs, J. A. and Donahue, R. L. (1980). Soil and Water Conservation for Productivity and Environmental Production. Prentice-Hall, Inc.
- [31]. Walkley, A. and Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- [32]. Webb, N. P., McGowan, H. A., Phinn, S. R. and McTainsh, G. H. (2006). AUSLEM (AUStralian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia. *Geomorphology*, 78(3-4): 179-200.
- [33]. Zhang, J. Q., Zhang, C. L., Chang, C. P., Wang, R. D. and Liu, G. (2017). Comparison of wind erosion based on measurements and SWEEP simulation: A case study in Kangbao County, Hebei Province, China. *Soil and Tillage Research*, 165(1): 169-180.

Development and application of two hybrid metaheuristic algorithms to identify the most important parameters influencing wind erosion

1- Iraj Kouchami-Sardoo, Ph.D. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

2- Hossein Shirani, Professor, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

shirani@vru.ac.ir

3- Isa Esfandiarpour-Boroujeni, Associate Professor, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

4- Ali Asghar Besalatpour, Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

Received: 13 Mar 2020

Accepted: 22 Nov 2020

Abstract

Wind erosion is an important cause of land degradation and desertification in arid and semi-arid regions of the world. This phenomenon occurs more severely in dry and bare soils. During wind erosion, soil particles are transported by three mechanisms known as creeping, saltation and suspension, which result in numerous on- and off-site damages. Wind erosion as a natural phenomenon, is affected by many factors. Our understanding of wind erosion is commonly constrained by the multiplicity and complexity of factors in this process. In recent years, solving pattern recognition and optimization problems with metaheuristic algorithms has received considerable attention among researchers. Genetic algorithms is a search technique inspired by the process of natural selection, which is well applied to multimodal, non-linear, and non-derivable objective functions. In the current research, for identifying the most important parameters affecting wind erosion rate, two GA-ANN and NSGA-II hybrid algorithms were developed using genetic algorithm and artificial neural networks. In order to prepare a suitable and reliable data set; after designing a grid sampling strategy, soil samples were collected from 51 study sites in the Narmashir plain, Kerman and then some soil parameters were measured. In addition, wind erosion rate was determined at each study site using a portable wind tunnel device. Based on the GA-ANN algorithm results, gravel coverage, sand, clay, aggregate stability, surface crust, moisture, and organic matter were identified as the main determinant features affecting spatial variation of wind erosion rate. However, the selected feature subset by NSGA-II algorithm included gravel coverage, sand, aggregate stability, surface crust, and moisture. The calculated error function for the GA-ANN algorithm performance was 3.58%. It was 1.70% for the NSGA-II algorithm performance. According to the results, both algorithms had acceptable performance to achieve the purpose of the present study. Therefore, the algorithms developed in this study can be applied to identify the most important parameters affecting wind erosion rate in other areas with similar challenges.

Keywords: Genetic algorithm; Wind tunnel; Data mining; Artificial Neural Networks.