

تعیین روابط خطی و غیر خطی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک با ویژگی‌های اثرگذار بر آن در یک حوزه‌ی آبخیز کوهستانی با فرسایش خاک شدید

نویسنده مسئول: استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان،

a.besalatpour@vru.ac.ir

۱. علی اصغر بسالت پور

استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. شمس الله ایوبی

استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. محمد علی حاج عباسی

چکیده

فاکتور فرسایش‌پذیری، معیاری از مقاومت ذرات خاک در برابر جدا شدن و انتقال و اثر عوامل فرساینده (قطرات باران، رواناب و باد) در فرآیند هدررفت خاک است. در این پژوهش، از روش غیرخطی ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs) برای بررسی اثرات برخی از ویژگی‌های توپوگرافی، فیزیکی و مکانیکی خاک بر فرسایش‌پذیری در بخشی از حوزه‌ی آبخیز کارون شمالی واقع در غرب استان چهارمحال و بختیاری استفاده و نتایج حاصله با خروجی حاصل از روش خطی رگرسیون چند متغیره (MLR) مقایسه شد. هم-چنین قابلیت استفاده از این دو روش برای برآورد فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه، بررسی گردید. نتایج نشان داد که مدل غیرخطی SVMs دارای کارایی بسیار بالاتری نسبت به روش خطی مرسوم (رگرسیون چند متغیره) برای تخمین فاکتور فرسایش‌پذیری بود. مقادیر $ERROR\%$ و r مدل SVMs به ترتیب، برابر $0/07$ و $0/90$ بودند. مقدار شاخص کارایی مدل (MEF) برای تخمین فاکتور فرسایش‌پذیری با استفاده از مدل SVMs برابر $76/79$ درصد بود در حالی که مقدار آن برای مدل MLR، $18/04$ درصد بود. نتایج حاصل از تعیین ویژگی‌های اثرگذار بر فرسایش‌پذیری خاک در نقاط مورد مطالعه با استفاده از این دو روش نیز نمایانگر آن بود که بر اساس روش خطی MLR، تنها متغیرهای درصد کل شن، جهت شیب، درصد خاکدانه‌های بین $0/25$ تا $0/5$ میلی‌متر، درصد شن بین 2 تا 4 میلی‌متر و درصد رس به عنوان ویژگی‌های اثرگذار بر فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه معرفی شدند. این درحالیست که در روش غیر خطی SVMs، تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه بر فاکتور فرسایش‌پذیری مؤثر تشخیص داده شدند اگرچه پارامترهای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و درصد ذرات شن بین $0/25$ تا $0/5$ میلی‌متر دارای بیشترین و پارامتر جهت شیب دارای کمترین ضریب تأثیر بودند. بنابراین به نظر می‌رسد که بیش‌تر ویژگی‌های بررسی شده دارای اثرات و روابط غیرخطی با فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند و به همین دلیل، مدل رگرسیون خطی قادر به تشخیص این روابط و اثرات نبوده است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، فاکتور k ، ویژگی‌های توپوگرافی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک و ماشین‌های بردار پشتیبان.

۱- مقدمه

فرسایش خاک از جمله چالش‌های مهم زیست محیطی است که تأثیر بسزایی بر توسعه پایدار در دنیا داشته است. در واقع تخریب و هدررفت خاک سطحی در عرصه‌های منابع طبیعی و کشاورزی، به عنوان خطری جدی برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده محسوب می‌شود و در مناطقی که کنترل نمی‌شود نه تنها سبب وارد شدن خسارت‌های جبران‌ناپذیر به این اراضی می‌شود، بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، دریاچه سدها و بنادر، سبب کاهش ظرفیت آب‌گیری آن‌ها و بنابراین زیان‌های فراوان می‌شود (۱۳). همچنین فرسایش خاک سبب ورود رسوب، عناصر غذایی و آفت‌کش‌ها به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و لذا کاهش کیفیت این منابع آب و نیز خطر سمیت برای انسان و دیگر موجودات زنده می‌شود (۳)، ۱۳، ۱۴، ۲۶). بنابراین شناسایی و اندازه‌گیری فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز به منظور پیشگیری از پیامدهای جبران‌ناپذیر آن، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

یکی از معیارها و ویژگی‌های خاک که برای بررسی مقاومت و حساسیت ذرات آن در برابر عوامل فرسایش‌زا مورد بررسی قرار می‌گیرد و در بسیاری از مدل‌های فرسایش و رسوب نیز در نظر گرفته شده است، فاکتور فرسایش‌پذیری^۱ است (۵). فرسایش‌پذیری عبارت است از مقاومت خاک در برابر جدا شدن و انتقال ذرات خاک. در واقع فاکتور فرسایش‌پذیری معیاری است از حساسیت ذاتی خاک در برابر جدا شدن و انتقال ذرات خاک در اثر عوامل فرساینده (قطرات باران، رواناب و باد) که به طور هم‌زمان نمایان‌گر مقاومت ذرات خاک در برابر جدا شدن و انتقال و اثر عوامل فرساینده در فرآیند فرسایش و هدررفت خاک است (۱۸). در فرآیند فرسایش آبی، ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران یا نیروی برشی رواناب از توده خاک جدا می‌شوند و بنابراین فرسایش‌پذیری خاک تابعی از قابلیت جدا شدن ذرات و قابلیت انتقال آن‌ها می‌باشد. از آنجا که قابلیت جدا شدن ذرات خاک و انتقال آن‌ها در خاک‌های گوناگون بسیار متفاوت است، می‌توان از فاکتور فرسایش‌پذیری خاک به عنوان معیاری اصلی برای خطر فرسایش خاک در یک منطقه مشخص نام برد.

در پژوهش‌های بسیاری از فاکتور فرسایش‌پذیری به عنوان معیاری برای بررسی خطر فرسایش و ارزیابی هدررفت خاک در حوزه‌های آبخیز استفاده شده است (۱، ۵، ۱۳، ۱۸ و ۲۲). برای مثال تجادا و همکاران^۲ (۱۸) در پژوهش خود دریافتند که همبستگی معنی‌داری میان فاکتور فرسایش‌پذیری (k در معادله جهانی هدررفت خاک یا USLE) و هدررفت خاک وجود داشت. ایشان بیان کردند که مقدار هدررفت خاک اندازه‌گیری شده در حضور شبیه‌ساز باران، کاملاً با فاکتور فرسایش‌پذیری هم‌خوانی داشت. وریلینگ و همکاران^۳ (۲۲) بیان کردند که فرسایش خاک در مناطق مختلف زمانی ایجاد می‌شود که خاک فرسایش‌پذیر بوده، توپوگرافی شدید و پرشیب و تراکم پوشش گیاهی محدود و یا ناچیز باشد.

ویژگی‌های گوناگونی از جمله خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک و ویژگی‌های توپوگرافی به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر فرسایش‌پذیری خاک اثرگذار هستند (۵، ۶، ۸ و ۱۳). در پژوهش‌های مختلفی که تا کنون انجام شده است، بیش‌تر ارتباط خطی این ویژگی‌ها با فرسایش‌پذیری خاک بررسی شده است. در این پژوهش امکان استفاده از روش ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs)^۴ برای تعیین ارتباط غیرخطی برخی از ویژگی‌های توپوگرافی، فیزیکی و مکانیکی خاک با فرسایش‌پذیری خاک بررسی شده است. ماشین‌های بردار پشتیبان، جزء الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شونده^۵ هستند که قادر به پیش‌بینی تعلق یک نمونه به یک کلاس یا گروه هستند (۳). این الگوریتم برای تفکیک دو کلاس از هم، از یک صفحه استفاده می‌کند به گونه‌ای که این صفحه از هر طرف بیش‌ترین فاصله را با هر کلاس داشته باشد.

^۱ Erodibility factor

^۲ Tejada et al.

^۳ Vrieling

^۴ Support Vector Machines, SVMs

^۵ Supervised Learning Algorithms

نزدیک‌ترین نمونه‌های آموزشی به این صفحه، "بردارهای پشتیبان" نام دارند (۴، ۲۰، ۲۱ و ۲۳). در واقع، SVMs نخستین بار برای مسایل طبقه‌بندی پیشنهاد شدند اما با اصلاحاتی که در معادله‌ها و توابع آن‌ها انجام گرفت، امروزه برای برآوردهای رگرسیونی غیرخطی نیز کاربرد دارند. ماشین‌های بردار پشتیبان ساخته‌شده با تابع کرنلی بر خلاف روش‌های رگرسیون خطی مرسوم که تنها قادر به شبیه‌سازی روابط خطی هستند، دارای قابلیت بالایی در تشخیص روابط غیرخطی و پیچیده‌ی بین متغیر(های) وابسته و متغیر هدف می‌باشند. همچنین این روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند الگوهای موجود بین پارامترهای ورودی و خروجی را بهتر استخراج نموده و تشخیص بهتری از روند تغییرات پارامترها داشته باشند چرا که توانایی قابل توجهی در استخراج پاسخ هدف از داده‌های پیچیده دارند (۴).

تاکنون از SVMs در پژوهش‌ها و زمینه‌های گوناگونی برای مدل‌سازی استفاده شده است. برای مثال در مطالعه‌ای که از این روش برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک استفاده شده بود، دقت بسیار بالاتری در مقایسه با شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)^۱، رگرسیون چند متغیره گام به گام (۱۲). تواراکاوی و همکاران^۲ (۱۹) نیز به توانایی بالاتر مدل‌های توسعه داده شده بر اساس ماشین‌های بردار پشتیبان برای برآورد پارامترهای هدایت هیدرولیکی خاک در مقایسه با مدل‌های توسعه داده شده بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی اشاره نمودند. بسالت پور و همکاران^۳ (۴) نیز امکان استفاده از SVMs برای تخمین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD)^۴ با استفاده از داده‌های زودیاخت را مورد بررسی قرار دادند و دقت بالای این روش برای برآورد GMD را گزارش کردند.

در این پژوهش نیز از روش غیرخطی SVMs برای تعیین ارتباط برخی از ویژگی‌های زودیاخت مانند توپوگرافی، فیزیکی و مکانیکی خاک با فرسایش‌پذیری خاک یک حوزه‌ی آبخیز کوهستانی با توپوگرافی و فرسایش شدید استفاده و نتایج حاصله با خروجی حاصل از یک روش خطی (رگرسیون خطی چند متغیره^۵، MLR) مقایسه شد. همچنین قابلیت استفاده از این دو روش برای برآورد فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در این حوزه‌ی آبخیز بررسی و مقایسه شد.

۲- مواد و روش

۲-۱ منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه، بخشی از حوزه‌ی آبخیز کارون شمالی واقع در غرب استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی ۳۴° ۴۹' تا ۳۲° ۵۰' طول شرقی و ۳۷' ۳۱° تا ۳۹' ۳۲° عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). بخش عمده منطقه‌ی مورد مطالعه (حدود ۵۰ درصد) کوهستانی است و مرتفع‌ترین نقطه‌ی آن، زردکوه با ارتفاع ۴۲۲۱ متر می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه، حدود ۲۲۰۰ متر است. شیب منطقه متغیر می‌باشد و بیش‌ترین آن مربوط به کلاس شیب ۴۰ تا ۷۰ درصد است (معادل ۴۶ درصد از وسعت کل حوضه). حدود ۵۶ درصد از وسعت کل منطقه، دارای پوشش مرتعی (به‌طور عمده، دافنه و گون) و بقیه، دارای پوشش جنگلی (به‌طور عمده، بلوط ایرانی) یا عاری از پوشش می‌باشد. دامنه‌ی تغییرات بارش و درجه‌ی حرارت سالیانه در منطقه، به‌ترتیب، ۵۰۰ تا ۱۴۰۰ میلی‌متر و ۸ تا ۲۰ درجه‌ی سلسیوس می‌باشند. منطقه‌ی مورد بررسی در زون شکسته‌ی زاگرس قرار دارد و قدیمی‌ترین رخنمون‌های منطقه مربوط به دوران پالئوژوئیک زیرین (پرکامبرین) تا دوره‌های فرسایشی و نهشتی کواترنر در قلمروی زاگرس می‌باشند. واحدهای فیزیوگرافی

^۱ Artificial Neural Networks; ANNs

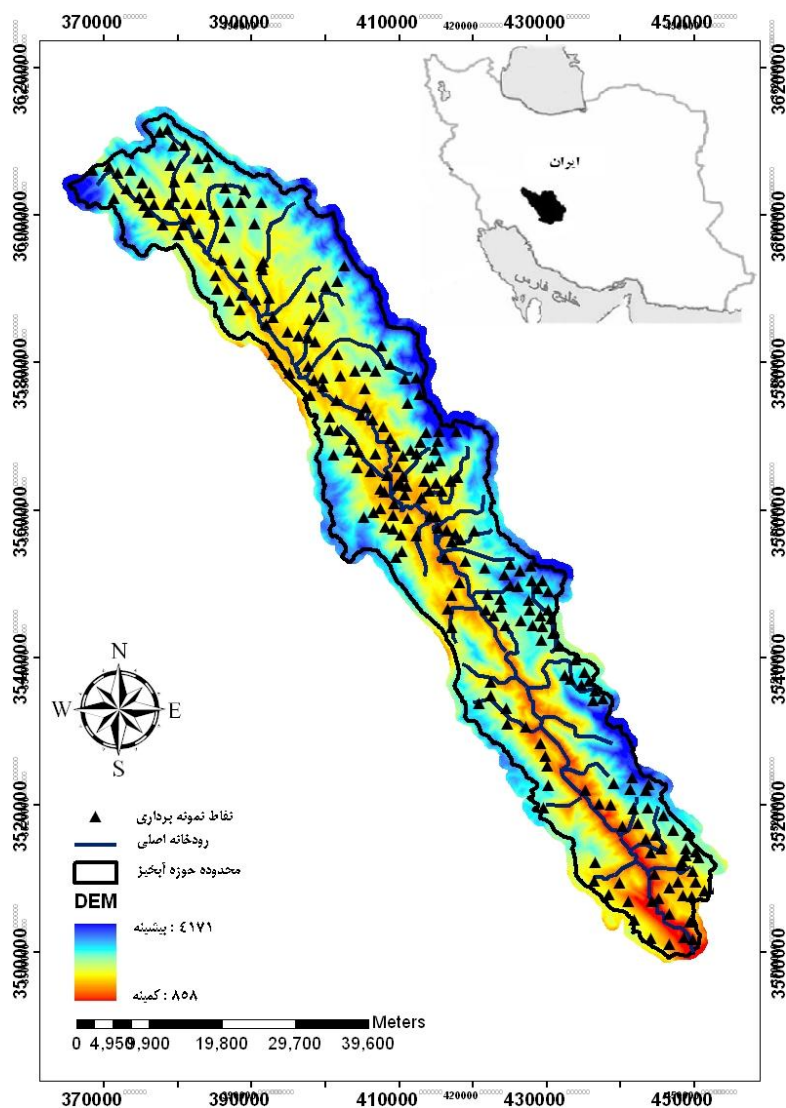
^۲ Twarakavi et al.

^۳ Besalatpour et al.

^۴ Geometric mean diameter

^۵ Multiple Linear Regression, MLR

غالب در منطقه بر اساس مطالعات صحرایی و ویژگی های خاکها شامل کوه، تپه، فلات و تراس های بالایی، دشت دامنه ای، دشت آبرفتی و اراضی مخلوط و متفرقه می باشند (۴).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی در استان چهارمحال و بختیاری و پراکنش نقاط نمونه برداری

۲-۲ نمونه برداری و اندازه گیری ویژگی های خاک

منطقه ی مورد مطالعه ابتدا بر اساس ویژگی های توپوگرافیکی، زمین شناسی و پوشش گیاهی به واحدهای کاری همسان تقسیم شد. سپس، نمونه برداری خاک از عمق سطحی (صفر تا ۵ سانتی متر) به صورت تصادفی نظارت شده^۱ انجام و در مجموع، ۱۶۰ نمونه با در نظر گرفتن سطح هر واحد کاری برداشت گردید (شکل ۱). نمونه های خاک به آرامی در ظروف پلاستیکی قرار گرفتند تا کمترین آسیب به خاکدانه ها وارد شود. نمونه های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، هواخشک شدند و برای انجام آزمایش های فیزیکی و شیمیایی لازم از الک دو میلی متری عبور داده شدند. ماده ی آلی خاک به روش

^۱ Supervised random soil sampling

والکی و بلاک (۱۵)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی (۱۶)، اجزاء بافت خاک به روش پیپت (۱۷) و درصد ذرات شن در اندازه‌های گوناگون با عبور سوسپانسیون آب و خاک از الک‌های ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر تعیین شدند. برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها نیز ابتدا خاک هواخشک شده (بدون کوبیدن) از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد و سپس از روش کمپر و روزنو^۱ (۹) استفاده گردید. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) نیز به‌عنوان شاخصی از پایداری خاکدانه‌ها تعیین شد. در هر نقطه نمونه‌برداری، مقاومت برشی خاک سطحی نیز با استفاده از دستگاه تروین (مدل BS1377-9) در منطقه اندازه‌گیری شد.

برای تعیین فاکتور فرسایش‌پذیری از رابطه ارائه شده توسط ویشمایر و اسمیت^۲ (۱۹۷۸) استفاده شد:

$$K_{USLE} = [0.0021M^{1/4} (12 - OM) + 3/25(C_{soilstr} - 2) + 2/5(C_{perm} - 3)] / 100 \quad (1)$$

که در آن K_{USLE} : فاکتور فرسایش‌پذیری، M : فاکتور اندازه ذرات [(درصد رس - ۱۰۰) × (درصد سیلت + درصد شن ریز)]، OM : درصد ماده‌ی آلی خاک، $C_{soilstr}$: کلاس ساختمان خاک و C_{perm} : کلاس نفوذپذیری خاک می‌باشند.

۲-۳ تعیین ویژگی‌های توپوگرافیکی و پوشش گیاهی

برخی ویژگی‌های توپوگرافیکی نقاط نمونه‌برداری شده، نظیر ارتفاع، درصد شیب، جهت شیب، شاخص قدرت جریان، شاخص رطوبتی^۳ و فاکتور توپوگرافی با استفاده از نقشه‌ی مدل رقمی ارتفاع^۴ با اندازه‌ی ابعاد سلولی ۲۰ متر در ۲۰ متر در محیط نرم‌افزار SAGA تعیین شدند. شاخص نرمال‌شده‌ی تفاوت پوشش گیاهی^۵ نیز به‌عنوان معیاری از وضعیت پوشش گیاهی نقاط مورد مطالعه استفاده شد. این شاخص از تصویر ماهواره‌ی IRS با وضوح ۲۴ متر در ۲۴ متر و در محیط نرم‌افزار ArcGIS استخراج گردید. پس از اندازه‌گیری و تعیین ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی نقاط مورد مطالعه، برخی ویژگی‌های آماری داده‌ها نظیر بیشینه، کمینه، میانگین، چولگی و انحراف معیار با استفاده از نرم‌افزار SPSS تعیین شدند.

۲-۴ مدل‌سازی ارتباط ویژگی‌های مورد مطالعه با فاکتور فرسایش‌پذیری

به منظور بررسی اثرات ویژگی‌های توپوگرافی، فیزیکی و مکانیکی خاک مورد مطالعه بر فرسایش‌پذیری خاک از روش خطی رگرسیون چند متغیره (MLR) و روش غیرخطی ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs) استفاده شد. رگرسیون‌های خطی از جمله روش‌های ساده‌ی مدل‌سازی می‌باشند که از آن‌ها می‌توان برای پیش‌بینی یک یا چند متغیر پاسخ (وابسته) از مجموعه‌ای از مقادیر متغیرهای پیش‌بینی کننده (مستقل) استفاده نمود. رگرسیون‌های خطی به‌صورت دو متغیره و چند متغیره می‌باشند که در رگرسیون دو متغیره، یک متغیر مستقل و یک متغیر وابسته وجود دارد. در رگرسیون چند متغیره نیز، یک متغیر وابسته و دو یا چند متغیر مستقل وجود دارد (۴). مدل‌سازی رگرسیونی در محیط نرم‌افزار SPSS انجام شد. ماشین‌های بردار پشتیبان از جمله روش‌های یادگیری نظارت‌شونده^۶ می‌باشند که از آن‌ها برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی استفاده می‌شود (۲۰ و ۲۱). الگوریتم SVM نوع خاصی از روابط را می‌یابد که حاشیه‌ی ابر صفحه بیشینه شود. بیشینه کردن حاشیه‌ی ابر صفحه، منجر به حداکثر شدن تفکیک بین گروه‌ها می‌شود. در واقع، نزدیک‌ترین نقاط آموزشی به

^۱ Kemper and Rosenau

^۲ Wischmeier and Smith

^۳ Wetness Index

^۴ Digital Elevation Model, DEM

^۵ Normalized Difference Vegetation Index, NDVI

^۶ Supervised learning

حداکثر حاشیه‌ی ابر صفحه را بردارهای پشتیبان می‌نامند که از آن‌ها برای مشخص کردن مرز بین طبقات استفاده می‌شود. به منظور مفهوم‌سازی چگونگی عملکرد ماشین‌های بردار پشتیبان، نقاط آموزشی به صورت رابطه‌ی ۲ در نظر گرفته شود:

$$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^n \quad (2)$$

که در این رابطه، بردار ورودی بوده که $x_i \in X$ و مقدار مطلوب می‌باشد که $y_i \in R$ است و n تعداد کل الگوهای داده‌ای می‌باشد. برای جداسازی داده‌ها به صورت غیر خطی، معادله‌ی ۳ به کار می‌رود:

$$y = \text{sign} \left(\sum_{i=1}^n y_i a_i K(X, X_i) + b \right) \quad (3)$$

که تابع $K(X, X_i)$ ، تابع کرنلی^۱ است که برای ایجاد ماشین‌هایی با انواع مختلفی از سطوح تصمیم‌گیری غیرخطی در فضای داده‌ها، ضرب‌های داخلی تولید می‌کند (۲۰ و ۲۱).. به عنوان مثال، سه نوع تابع کرنل که در مدل SVM به کار می‌روند، عبارتند از:

الف) ماشین چند جمله‌ای با تابع کرنل

$$K(X, X_i) = (X \cdot X_i + 1)^d \quad (4)$$

که در آن، d درجه‌ی کرنل چند جمله‌ای است.

ب) ماشین تابع پایه‌ی شعاعی با تابع کرنل

$$K(X, X_i) = \exp(-1/\varrho^2 (X - X_i)^2) \quad (5)$$

که در آن، ϱ پهنای باند کرنل تابع پایه‌ی شعاعی است.

پ) ماشین دو لایه با تابع کرنل

$$K(X, X_i) = S[(X \cdot X_i)] = 1/[1 + \exp\{v(X \cdot X_i) - c\}] \quad (6)$$

که در آن، c و v پارامترهای تابع زیگموییدی $S[(X \cdot X_i)]$ هستند، به گونه‌ای که نامعادله‌ی $c \geq v$ برقرار باشد (۲۳). مدل‌سازی به روش ماشین‌های بردار پشتیبان در این پژوهش در محیط نرم‌افزار Clementine انجام شد.

۲-۵ شاخص‌های ارزیابی کارایی روش‌های مورد استفاده

به منظور بررسی کارایی و دقت دو روش استفاده شده برای تعیین ارتباط ویژگی‌های مورد مطالعه با فرسایش‌پذیری خاک، از برخی شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی^(r)، جذر میانگین مربعات خطا^(RMSE)، شاخص کارایی مدل^(MEF) و درصد خطا (ERROR%) استفاده شد که معادله‌ی سه شاخص آخر به صورت زیر می‌باشند (۴):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [P(x_i) - M(x_i)]^2} \quad (7)$$

$$MEF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [P(x_i) - M(x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n [M(x_i) - \bar{M}(x_i)]^2} \quad (8)$$

^۱ Kernel function

^۲ Root Mean Square Error, RMSE

^۳ Model Efficiency Factor, MEF

$$ERROR\% = \frac{\sum_{i=1}^n |M(x_i) - P(x_i)|}{\sum_{i=1}^n M(x_i)} \times 100 \quad (9)$$

که در این روابط، $M(x_i)$ و $P(x_i)$ به ترتیب، مقادیر مشاهده‌ای و برآوردشده و n تعداد کل مشاهدات می‌باشند.

۳- نتایج

۳-۱ توصیف آماری ویژگی‌های مورد مطالعه

جدول ۱ توصیف آماری ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی نقاط مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس توزیع اندازه‌ی ذرات خاک، بافت غالب خاک در منطقه مورد مطالعه شامل لوم رس سیلتی، لوم سیلتی، لوم و رس سیلتی بود. ماده‌ی آلی خاک بین ۰/۲۲ تا ۶/۳۳ درصد و کربنات کلسیم معادل خاک، به ترتیب دارای مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین و انحراف معیار ۱/۰۰، ۸۰/۶۵، ۲۵/۳۲ و ۲۱/۱۲ درصد بود. مقادیر زیاد کربنات کلسیم معادل خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل وجود مواد مادری مارن غنی از گچ و آهک و وجود افق کلسیک می‌باشد (۱۰). حضور پوشش جنگلی (بلوط) و مرتعی (عمدتاً بوته‌های گون و دافنه) با تراکم پوشش گیاهی مناسب در برخی از نقاط مورد مطالعه نیز دلیل بالابودن میزان ماده آلی خاک در برخی از نقاط است. به نظر می‌رسد که همین عوامل سبب شده‌اند که میزان پایداری خاکدانه‌ها در برخی نقاط، نسبتاً بالا باشد. اگرچه در بیش‌تر نقاط نمونه‌برداری به سبب تخریب جنگل‌ها و مراتع، تغییر کاربری اراضی به دیم و شخم و شیاری اراضی، چرای بی‌رویه و ورود زودهنگام دام به مراتع، قطع درختان و سوزاندن بوته‌ها، شیب زیاد و هدررفت خاک، پایداری خاکدانه‌ها ناچیز بود (میانگین MWD برابر ۰/۳۶ میلی‌متر). مقاومت برشی سطح خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه، تحت تأثیر فعالیت‌هایی هم‌چون چرای بی‌رویه و زودهنگام دام، شخم و شیاری در جهت شیب، قطع درختان و بوته‌ها و سله سطحی خاک قرار داشته و مقدار اندازه‌گیری شده آن از ۳/۳۳ تا ۹/۷۰ کیلو پاسکال متغیر بود.

شاخص NDVI در نقاط نمونه‌برداری از ۰/۳۱- تا ۰/۴۷ متغیر بود و دارای میانگین و انحراف معیار به ترتیب، ۰/۱۳ و ۰/۰۸ بود. شاخص NDVI بیان‌کننده‌ی سبزینه‌ی گیاهی است که در ارتباط با درصد تابش‌های جذب‌شده‌ی فتوسنتزی می‌باشد و نمایان‌گر فعالیت کلروفیل در گیاهان است. این شاخص بین ۱- تا ۱ متغیر بوده که افزایش میزان عددی آن، بیان‌گر افزایش درصد پوشش گیاهی سبز سالم می‌باشد و بنابراین سطوح بدون پوشش گیاهی، دارای مقادیر منفی NDVI هستند (۱۰). درصد شیب در نقاط نمونه‌برداری بین ۳/۱۰ تا ۸۰/۶۱ درصد با میانگین ۲۸/۳۱ درصد متفاوت بود که نمایان‌گر وجود توپوگرافی شدید در منطقه‌ی مورد مطالعه است. جهت شیب، دارای میانگین ۱۷۱/۸۲ رادیان و ارتفاع نقاط نمونه‌برداری به ترتیب دارای مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین ۹۰۷/۰۰، ۲۶۳۹/۰۰ و ۱۷۱۴/۵۳ متر بود. شاخص قدرت جریان که نمایان‌گر قدرت فرساینده‌ی جریان‌های سطحی است از ۲/۵۹ تا ۱۸۷۶۸۴/۹۵ متغیر بود. مقدار متوسط شاخص رطوبتی، به عنوان شاخصی از توزیع مکانی رطوبت خاک در طول زمین‌نما، برابر ۱۱/۵۶ بود. هم‌چنین داده‌های ویژگی‌های شن ۲-۴ میلی‌متر، شن ۱-۲ میلی‌متر، شن ۰/۵-۱ میلی‌متر و شاخص قدرت جریان فاقد توزیع نرمال بودند و بنابراین پیش از ورود به مدل‌ها با استفاده از روش‌های مرسوم نرمال‌سازی، نرمال شدند.

جدول ۱- خلاصه‌ی آماری ویژگی‌های توپوگرافی، فیزیکی و مکانیکی خاک مورد مطالعه

شاخص آماری					
پارامتر	کمینه	بیشینه	میانگین	چولگی	انحراف معیار
رس (درصد)	۸/۰۰	۵۳/۶۰	۳۱/۰۸	-۰/۲۸	۸/۴۲
سیلت (درصد)	۲۱/۶۰	۸۱/۶۰	۴۸/۴۰	۰/۲۲	۹/۲۸
شن (درصد)	۳/۲۰	۶۵/۶۰	۲۰/۵۳	۰/۹۲	۱۲/۸۱
شن ۲-۴ میلی‌متر (درصد)	۰/۰۰	۳۰/۲۸	۵/۵۱	۱/۸۱	۵/۰۸
شن ۱-۲ میلی‌متر (درصد)	۰/۱۴	۳۵/۳۰	۵/۰۰	۲/۷۴	۴/۸۳
شن ۰/۵-۱ میلی‌متر (درصد)	۰/۰۸	۱۲/۲۸	۳/۰۹	۱/۷۲	۲/۳۷
شن ۰/۲۵-۰/۵ میلی‌متر (درصد)	۰/۰۲	۸/۹۰	۲/۴۸	۱/۰۵	۱/۸۴
ماده‌ی آلی (درصد)	۰/۲۲	۶/۳۳	۲/۵۸	۰/۳۷	۱/۲۹
آهک (درصد)	۱/۰۰	۸۰/۶۵	۲۵/۳۲	۰/۶۰	۲۱/۱۲
مقاومت برشی خاک (کیلو پاسکال)	۳/۳۳	۹/۷۰	۶/۳۳	۰/۱۳	۱/۱۷
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (میلی متر)	۰/۰۳	۱/۳۵	۰/۳۶	۱/۲۶	۰/۲۷
خاکدانه‌های ۲-۴ میلی‌متر (درصد)	۰/۰۲	۳۲/۰۸	۳/۶۴	۲/۵۸	۵/۹۰
خاکدانه‌های ۱-۲ میلی‌متر (درصد)	۰/۰۶	۲۹/۳۱	۷/۹۱	۱/۰۶	۷/۰۰
خاکدانه‌های ۰/۵-۱ میلی‌متر (درصد)	۰/۳۴	۳۹/۱۶	۱۲/۵۴	۱/۰۴	۷/۹۶
خاکدانه‌های ۰/۲۵-۰/۵ میلی‌متر (درصد)	۰/۳۸	۲۶/۹۵	۱۱/۲۲	۰/۴۳	۵/۵۲
شاخص پوشش گیاهی (NDVI)	-۰/۳۱	۰/۴۷	۰/۱۳	-۰/۶۵	۰/۰۸
شیب (درصد)	۳/۱۰	۸۰/۶۱	۲۸/۳۱	۰/۹۶	۱۵/۴۲
جهت شیب (رادیان)	۸/۸۷	۳۶۵/۸۵	۱۷۱/۸۲	-۰/۰۹	۱۰۰/۸۱
ارتفاع (متر)	۹۰۷/۰۰	۲۶۳۹/۰۰	۱۷۱۴/۵۳	-۰/۴۹	۲۹۷/۶۴
شاخص رطوبتی	۸/۶۹	۱۷/۲۲	۱۱/۵۶	۱/۰۷	۱/۶۹
شاخص قدرت جریان	۲/۵۹	۱۸۷۶۸۴/۹۵	۹۷۴۲/۹۸	۵/۲۹	۲۰۸۰۴/۹۷
فاکتور توپوگرافی	۰/۰۰	۳۲۵/۶۷	۸۴/۲۱	۱/۱۷	۷۱/۶۷

۳-۲ برآورد فاکتور فرسایش پذیری خاک

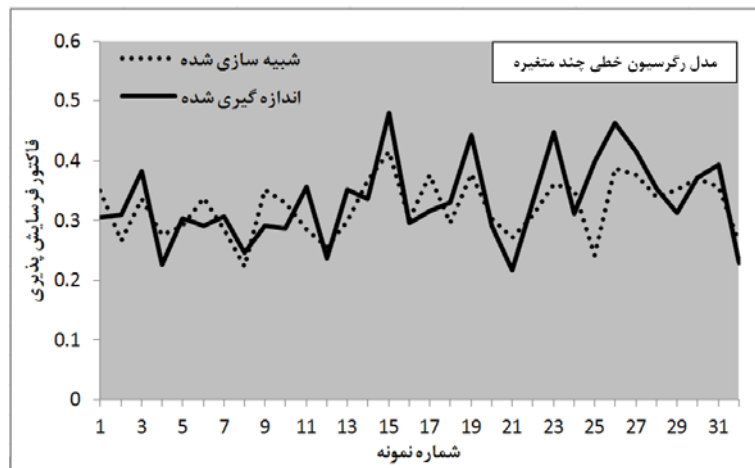
مقادیر شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی دقت شبیه‌سازی و کارایی مدل‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده‌اند. مقادیر r ، MEF و ERROR% برای مدل خطی (MLR) به ترتیب برابر ۰/۶۵، ۱۸/۰۴- و ۰/۱۳ درصد بودند. مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده‌ی فاکتور فرسایش پذیری خاک برای داده‌های تست مدل نیز در شکل ۲ مقایسه

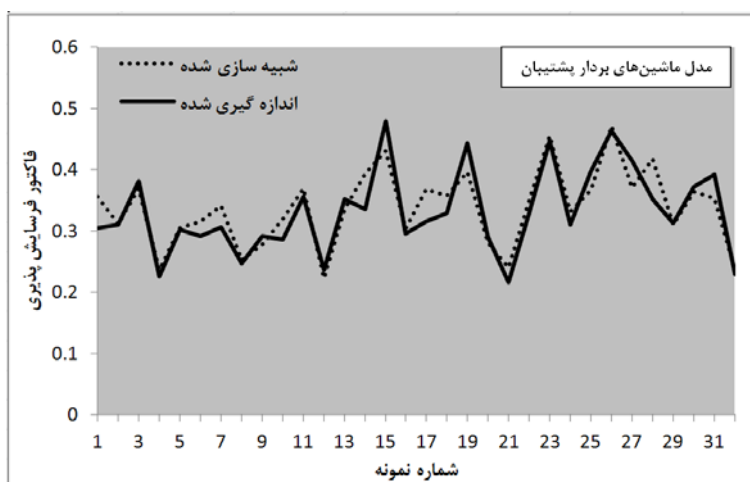
شده‌اند. با توجه به این شکل، مشخص است که در برخی از نقاط به صورت غیریکنواخت، بیش‌برآوردی از فاکتور فرسایش-پذیری صورت گرفته است و در برخی دیگر از نقاط، فاکتور فرسایش‌پذیری کمتر از مقادیر مشاهده‌ای آن‌ها تخمین زده شده است. با توجه به ضریب تبیین پایین ($R^2=0/43$) بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای داده‌های تست مدل رگرسیونی طراحی شده در این پژوهش (شکل ۳) و نیز بر اساس مقادیر شاخص‌های آماری ارزیابی مدل مورد استفاده به نظر می‌رسد که مدل رگرسیونی خطی چند متغیره، فاقد دقت قابل قبول برای برآورد فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه است. در واقع مدل‌های خطی تنها قادر به تشخیص روابط خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته هستند و چنانچه روابط غیرخطی بین این متغیرها وجود داشته باشد، کارایی این مدل‌ها به حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (۱۷ و ۲۷). بنابراین، به نظر می‌رسد که دلیل اصلی عملکرد ضعیف مدل رگرسیون خطی در برآورد ویژگی مورد مطالعه در این پژوهش، روابط غیرخطی بین این ویژگی و ورودی‌های مورد استفاده در مدل‌سازی (ویژگی‌های توپوگرافی، فیزیکی و مکانیکی خاک) باشد.

جدول ۲- شاخص‌های آماری مورد استفاده برای ارزیابی کارایی مدل‌های رگرسیون خطی چند متغیره (MLR) و ماشین‌های بردار پشتیبان (SVMs) در برآورد فاکتور فرسایش‌پذیری خاک

شاخص آماری				
ERROR%	MEF(%)	RMSE	r	نوع مدل
۰/۱۳	-۱۸/۰۴	۰/۰۶	۰/۶۵	MLR
۰/۰۷	۷۶/۷۹	۰/۰۳	۰/۹۰	SVMs

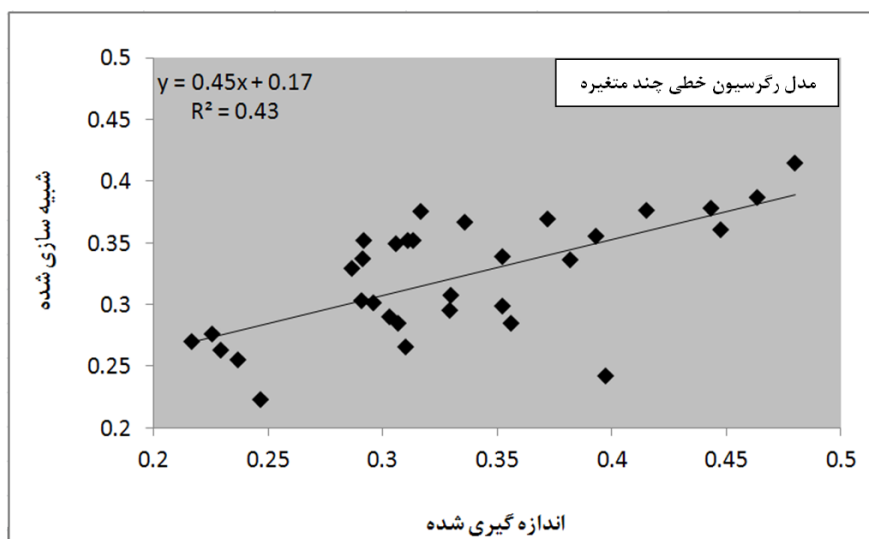
r ضریب همبستگی، RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، MEF: شاخص کارایی مدل و ERROR%: درصد خطا

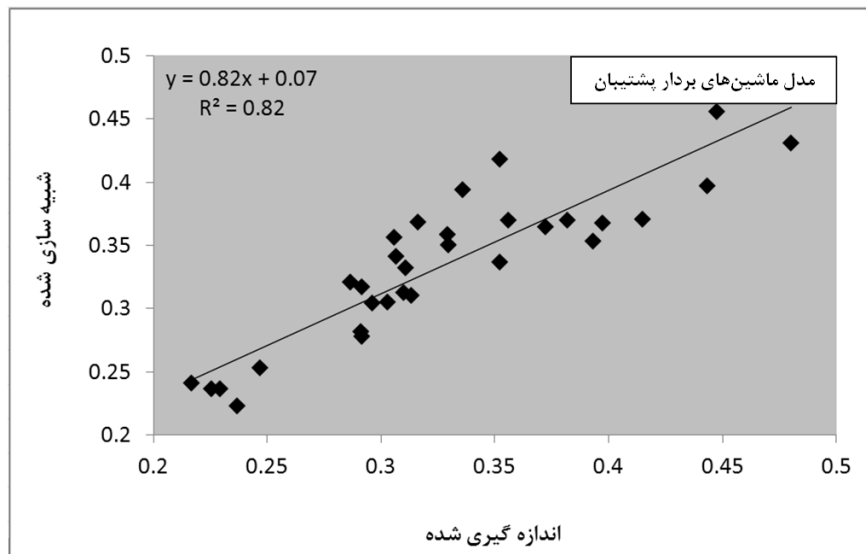




شکل ۲- مقایسه‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده‌ی فاکتور فرسایش‌پذیری برای داده‌های تست مدل‌های مورد مطالعه

این درحالیست که مقادیر r ، MEF و % ERROR برای مدل غیرخطی (روش SVM) به ترتیب برابر 0.90 ، $0.76/0.79$ و 0.07 درصد بودند (جدول ۲). همچنین، ضریب تبیین نسبتاً مناسبی ($R^2=0.82$) بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای داده‌های تست مدل SVM حاصل شد (شکل ۳)؛ اگرچه در برخی از نقاط، بیش‌برآوردی از فاکتور فرسایش-پذیری وجود داشت (شکل ۲). بنابراین به نظر می‌رسد که بر اساس مقادیر نسبتاً قابل قبول شاخص‌های آماری ارزیابی مدل، روش غیرخطی ماشین‌های بردار پشتیبان دقت بیشتری نسبت به روش خطی رگرسیون در برآورد فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه داشته باشد.

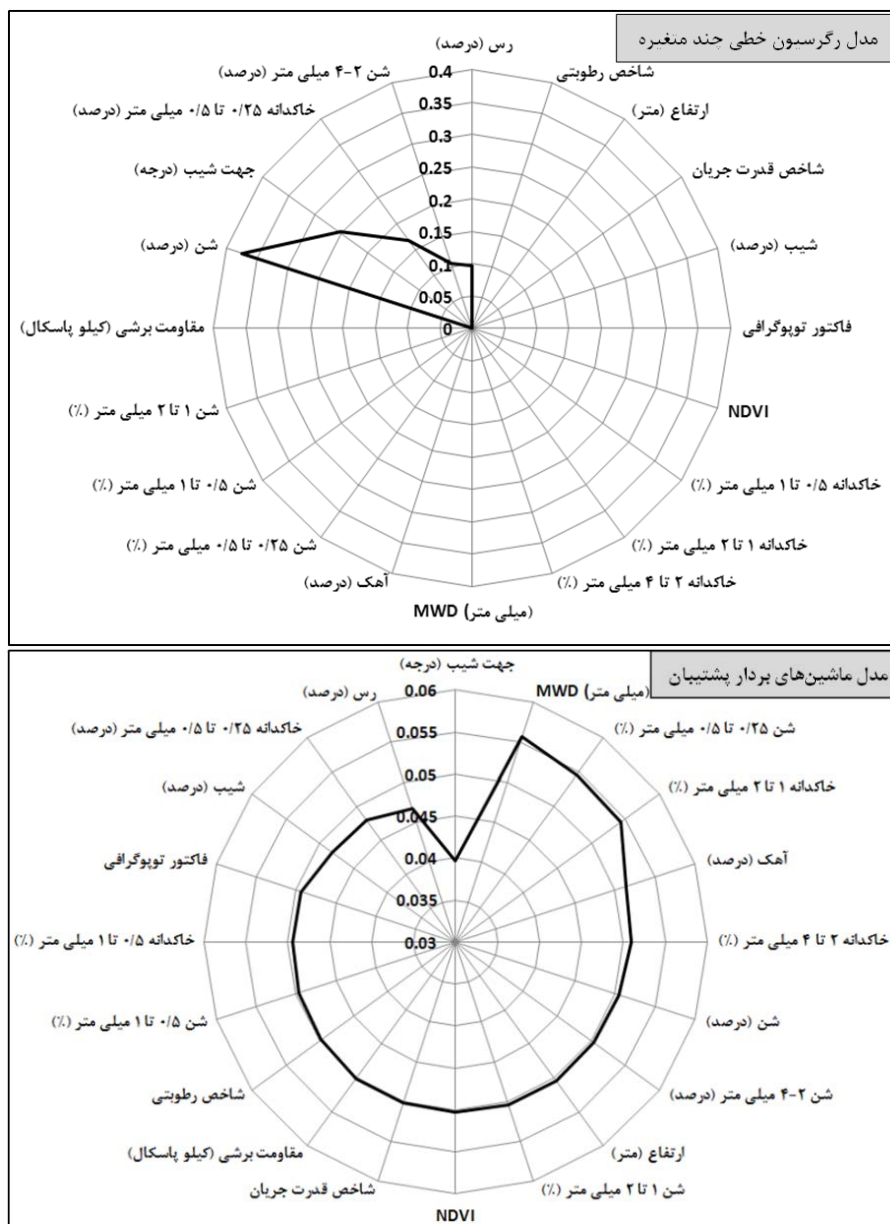




شکل ۳- همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده‌ی فاکتور فرسایش‌پذیری برای داده‌های تست مدل‌های مورد مطالعه

۳-۳ بررسی اثر ویژگی‌های توپوگرافی، فیزیکی و مکانیکی خاک بر فرسایش‌پذیری

نتایج حاصل از تعیین ویژگی‌های اثرگذار بر فرسایش‌پذیری خاک در نقاط مورد مطالعه با استفاده روش‌های خطی (مدل رگرسیون خطی، MLR) و غیر خطی (ماشین‌های بردار پشتیبان، SVM) در شکل ۴ آمده است. بر اساس روش خطی MLR، تنها ۵ متغیر درصد کل شن، جهت شیب، درصد خاکدانه‌های بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر، درصد شن بین ۲ تا ۴ میلی‌متر و درصد رس، به عنوان ویژگی‌های اثرگذار بر فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه معرفی شدند که در این بین درصد کل شن به عنوان مهم‌ترین ویژگی و درصد رس به عنوان ویژگی با کم‌ترین اثر تعیین شدند. این درحالیست که در روش غیرخطی SVM، تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه، بر فاکتور فرسایش‌پذیری مؤثر بودند اگرچه ضریب تأثیر پارامترهای مختلف، متفاوت بود. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و درصد ذرات شن بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر، دارای بیش‌ترین و جهت شیب دارای کم‌ترین ضریب اهمیت بودند. این نتایج گویای آن است که بیش‌تر ویژگی‌های مورد مطالعه دارای اثرات و روابط غیرخطی با فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند و به همین دلیل، مدل رگرسیون خطی قادر به تشخیص این روابط و اثرات نبوده و بنابراین این ویژگی‌ها، به عنوان پارامترهای اثرگذار بر فاکتور فرسایش‌پذیری خاک تعیین نشده‌اند.



شکل ۴- ضریب اهمیت ویژگی های توپوگرافی و خاکشناسی اثرگذار بر فاکتور فرسایش پذیری حاصل از مدل های مورد مطالعه

۴- بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش، نمایانگر آن بود که بر اساس شاخص های آماری سنجش کارایی مدل ها، روش خطی رگرسیون چند متغیره (MLR) در مقایسه با روش غیرخطی ماشین های بردار پشتیبان (SVMS)، فاقد دقت قابل قبول برای برآورد فاکتور فرسایش پذیری خاک و تعیین ویژگی های اثرگذار بر آن در حوزه ی آبخیز کارون شمالی می باشد. بنابراین به نظر می رسد که نتایج حاصل از مدل SVM، قابل قبول بوده و به شرایط واقعی و طبیعی منطقه نزدیک تر باشد و بیش تر ویژگی های بررسی شده، دارای روابط غیرخطی با فاکتور فرسایش پذیری خاک در منطقه ی مورد مطالعه هستند. در واقع، ماشین های بردار پشتیبان ساخته شده با تابع کرنلی، دارای انعطاف پذیری زیاد و قابلیت بالا در تشخیص روابط غیرخطی و پیچیده ی بین داده های ورودی و خروجی می باشند (۳ و ۱۲). از سوی دیگر، روش های مبتنی بر آموزش در مقایسه با

مدل‌های رگرسیون خطی، از توانایی بسیار بیش‌تری در تشخیص روابط بین ورودی (ها) و متغیر هدف برخوردار می‌باشند. هم‌چنین روش‌های هوش مصنوعی مانند SVM در مقایسه با روش‌های قدیمی و مرسوم مدل‌سازی مانند رگرسیون‌های خطی، دارای قابلیت بالایی در تشخیص روابط پیچیده‌ی بین متغیرهای ورودی و هدف با تعداد نمونه‌ی کم هستند. بنابراین به نظر می‌رسد که در مناطقی که پیچیدگی‌های محیطی زیاد و بین داده‌های ورودی و خروجی، روابط غیرخطی پیچیده وجود داشته و درعین حال تعداد داده‌های قابل دسترس کم می‌باشد، روش‌های هوش مصنوعی مانند ماشین‌های بردار پشتیبان نسبت به روش‌های مرسوم مدل‌سازی مانند رگرسیون‌های خطی برتری دارند. در پژوهش‌هایی مشابه لیو و همکاران (۱۲) از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، رگرسیون چند متغیره گام‌به‌گام و SVMs برای برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک استفاده کردند و بیان نمودند که روش SVMs بسیار قوی‌تر از دیگر روش‌های مورد مطالعه بود. ونگ و همکاران^۱ (۲۴) برای شبیه‌سازی روان‌آب ماهیانه از SVMs استفاده نمودند و به قابلیت بالای این روش در مقایسه با سایر روش‌های مورد بررسی خود به ویژه روش خطی اشاره کردند. تواراکاوی و همکاران (۱۹) ضمن مقایسه روش SVMs با ANNs برای برآورد پارامترهای هدایت هیدرولیکی خاک، دریافتند که ماشین‌های بردار پشتیبان دارای توانایی بالاتری در تعیین مقادیر بهینه پارامترهای هدایت هیدرولیکی خاک هستند. لامورسکی و همکاران (۱۱) امکان استفاده از SVMs برای تخمین هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از داده‌های زودیافت را بررسی و دقت بالای این روش در مقایسه با روش خطی برای برآورد هدایت هیدرولیکی خاک را گزارش کردند. سبحانی و همکاران (۱۷) نیز به قابلیت پایین مدل‌های رگرسیونی خطی در مدل‌سازی و تعیین ویژگی‌های اثرگذار بر متغیر هدف اشاره کردند.

همچنین بر اساس روش خطی MLR، تنها ۵ متغیر (درصد کل شن، جهت شیب، درصد خاکدانه‌های بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر، درصد شن بین ۲ تا ۴ میلی‌متر و درصد رس) از میان ۲۲ ویژگی اندازه‌گیری شده، دارای ارتباط خطی با فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه بودند و به عنوان ویژگی‌های اثرگذار بر آن معرفی شدند. این درحالیست که در روش غیرخطی SVMs، تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه، بر فاکتور فرسایش‌پذیری مؤثر بودند که در این بین، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) و درصد ذرات شن بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر، دارای بیش‌ترین و جهت شیب دارای کم‌ترین ضریب اهمیت بودند. بنابراین به نظر می‌رسد که بیش‌تر ویژگی‌های بررسی شده دارای اثرات و روابط غیرخطی با فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در منطقه‌ی مورد مطالعه هستند و به همین دلیل، مدل رگرسیونی خطی قادر به تشخیص این روابط و اثرات نبوده و بنابراین این ویژگی‌ها، به عنوان پارامترهای اثرگذار بر فاکتور فرسایش‌پذیری خاک تعیین نشده‌اند. از سوی دیگر، با توجه به دقت و کارایی نسبتاً مناسب ماشین‌های بردار پشتیبان، به نظر می‌رسد که بتوان از این روش به‌عنوان روشی نوین برای تعیین ارتباط و اثرات خطی و غیرخطی ویژگی‌های گوناگون با خصوصیات خاک برای رسیدن به بیشترین دقت با صرف کمترین هزینه و زمان استفاده نمود. با این وجود، بررسی امکان استفاده از سایر روش‌های غیر خطی انتخاب متغیر نظیر الگوریتم‌های تکاملی^۲ (همچون الگوریتم‌های ژنتیک موازی^۳، PGA) و نیز استفاده از دیگر ابزارهای مدل‌سازی در برآورد ویژگی‌های خاک (مانند تئوری موجک‌ها^۴ و سیستم‌های استنتاج فازی عصبی تطبیقی^۵) در پژوهش‌های آینده پیشنهاد می‌گردد.

۵- مراجع

^۱ Wang et al

^۲ Evolutionary algorithms

^۳ Parallel Genetic Algorithm, PGA

^۴ Wavelet theories

^۵ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems, ANFIS

1. Barthes, B., A. Albrecht, L. Asseline, G. deNoni, and E. Rose. 1999. Relationships between soil erodibility and topsoil aggregate stability or carbon content in a cultivated Mediterranean highland (Aveyron, France). *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 30: 1929-1938.
2. Besalatpour A.A., Ayoubi S., Hajabbasi M.A., Gharipour A., and A. Yousefian Jazi. 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*. 28:383-394.
3. Besalatpour A.A., Hajabbasi M.A., Ayoubi S., and A. Jalalian. 2012. Identification and prioritization of critical sub-basins in a highly mountainous watershed using SWAT model. *Eurasian Journal of Soil Science*. 1, 58-63.
4. Besalatpour A.A., Hajabbasi M.A., Ayoubi S., Gharipour A., and A. Yousefian Jazi. 2012. Prediction of soil physical and mechanical properties using optimized support vector machines. *International Agrophysics*. 26, 109-115.
5. Bonilla, C.A., and Johnson O.I. 2012. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile. *Geoderma*, 189-190: 116-123.
6. Fu, S., B. Liu, H. Liu, and L. Xu. 2011. The effect of slope on interrill erosion at short slopes. *Catena*. 84: 29-34.
7. Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1*, Agronomy Handbook No 9., American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 383-411.
8. Huang Y., Lan Y., Thomson S.J., Fang A., Hoffmann W.C., and Lacey, R.E. 2010. Development of soft computing and applications in agricultural and biological engineering. *Computer and Electronic in Agriculture*, 71: 107-127.
9. Kemper W.D., and Rosenau K. 1986. Size distribution of aggregates. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 425-442.
10. Khalilmoghadam B., Afyuni M., Abbaspour K.C., Jalalian A., Dehghani A.A., and Schulin R. 2009. Estimation of surface shear strength in Zagros region of Iran-A comparison of artificial neural networks and multiple-linear regression models. *Geoderma*, 153: 29-36.
11. Lamorski K., Pachepsky Y., Slawinski C., and Walczak R.T. 2008. Using support vector machines to develop pedotransfer functions for water retention of soils in Poland. *Soil Science Society American Journal*. 72: 1243-1247.
12. Liao K., Xu S., Wu J, Zhu Q., and An L. 2014. Using support vector machines to predict cation exchange capacity of different soil horizons in Qingdao City, China. *J. Plant Nutrition Soil Science*. 177 (5): 775-782.
13. Morgan, R. P. C., and M. A. Nearing. 2011. *Handbook of erosion modelling*. John Wiley & Sons, Ltd.
14. Nagasaka, A., S. Yanai, H. Sato, and S. Hasegawa. 2005. Soil erosion and gully growth associated with cultivation in southwestern Hokkaido. *JPN. Ecological Engineering*. 24: 503-508.
15. Nelson D.W. and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A. L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, American Society of Agronomy, Madison, Wis, pp. 539-579.
16. Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part I: Agronomy Handbook No 9*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 181-197.
17. Sobhani J., Najimi M., Pourkhorshidi A.R., and Parhizkar T. 2010. Prediction of the compressive strength of no-slump concrete: A comparative study of regression, neural network and ANFIS models. *J. Cons. Build. Mat.*, 24: 709-718.

18. Tejada, M., and J. L. Gonzalez. 2006. The relationships between erodibility and erosion in a soil treated with two organic amendments. *Soil Tillage Research*. 91: 186-198.
19. Twarakavi N.K.C., Simunek J., and Schaap M.G. 2009. Development of pedotransfer functions for estimation of soil hydraulic parameters using support vector machines. *Soil Science Society American Journal*. 73: 1443-1452.
20. Vapnik V. 1995. *The Nature of Statistical Learning Theory*, Springer-Verlag, New York.
21. Vapnik V. 1998. *Statistical Learning Theory*, Wiley, New York.
22. Vrieling, A, S. M. deJong, G. Sterk, and S. C. Rodrigue. 2008. Timing of erosion and satellite data: A multi-resolution approach to soil erosion risk mapping. *International Journal of Applied Earth Obs. Geoinformation*. 10(3): 267-281.
23. Wang L. 2005. *Support Vector Machines: Theory and Applications*. Springer-Verlag, New York.
24. Wang W.C., Chau K.W, Cheng C.T., and Qiu L. 2009. A comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series. *Journal of Hydrology*. 374: 294-306.
25. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA Agricultural Handbook No. 537. Science and Education Administration, U.S. Dept. of Agriculture in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station, Washington, D.C.
26. Yang Q., F. R. Meng, Z. Zhao, T. L. Chow, G. Benoy, H. W. Rees, and C. P. A. Bourque. 2009. Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream water and sediment yields at a watershed level using SWAT model. *Agriculture Ecosystem and Environment*. 132: 23-31.
27. Yilmaz I., and Yuksek G. 2009. Prediction of the strength and elasticity modulus of gypsum using multiple regression, ANN, and ANFIS models. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*. 46: 803-810.

HORMOZGAN UNIVERSITY**Quarterly Journal of
ENVIRONMENTAL EROSION RESEARCH**

2015 winter

4: 4 (16), 49-63

**DETERMINATION OF THE LINEAR AND NON-LINEAR
RELATIONSHIPS BETWEEN SOIL ERODIBILITY FACTOR AND
EFFECTIVE PARAMETERS ON IT IN A MOUNTAINOUS
WATERSHED WITH SEVERE SOIL EROSION**

- 1 Besalatpour, A.A.* Corresponding Author, Assistant professor, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, a.besalatpour@vru.ac.ir
- 2 Ayoubi, S. Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology.
- 3 Hajabbasi, M.A. Professor, Dept. of Soil Science, Isfahan University of Technology.

Abstract

Soil erodibility factor is a criterion of soil particle resistance to detachment, transport, and effects of erosivity factors (rain drop, runoff, and wind) during the soil loss processes. In this study, non-linear support vector machines (SVMs) method was used for investigating the effects of some topography, soil physical and mechanical properties on soil erodibility in a part of Northern Karoon watershed at the west of Chaharmahal Bakhtiary province. The obtained results were compared with the outputs of a linear (i.e. multiple linear regression, MLR) method. Furthermore, potential use of the two methods for estimating the soil erodibility factor was investigated in the study area. The results showed that the constructed SVM model had greater performance in predicting the erodibility factor compared to the traditional MLR model. The obtained ERROR% and r values for the developed SVM model were 0.07 and 0.90, respectively. The obtained model efficiency factor (MEF) value for the erodibility factor prediction using the SVM model was 76.79 % while it was -18.04 % for the MLR model. The results from determining the properties influencing the soil erodibility in the investigated points using the two methods revealed that only the sand content, aspect, pods (size between 0.25-0.5 mm), clay content properties were accounted as effective parameters according to the MLR model. Whereas, all investigated properties were determined as effective parameters resulting from the non-linear SVM model. However, the parameters mean weight diameter (MWD) and sand content (size between 0.25-0.5 mm) had the highest importance coefficient and aspect parameter had the lowest coefficient.

Keywords: Soil Erosion, K Factor, Topography, Soil Physical and Mechanical Properties, Support Vector Machines (SVMs)