

تعیین ضریب فرسایش پذیری بین‌شیاری خاک بر اساس سیستم‌های فازی و فازی-ژنتیک در استان آذربایجان شرقی

حبیب پالیزوان زند^{۱*} - عباس احمدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۵/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۱

چکیده

در این تحقیق، جهت برآورد ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک از روی خصوصیات سهل الوصول از علم منطق فازی و فازی-ژنتیک استفاده شد. بدین ترتیب ابتدا ۳۶ سری خاک با تفرق خصوصیات بالا انتخاب و برخی از خصوصیات آن‌ها از قبیل بافت، ماده آلی، کرنات کلسیم معادل، گچ و ESP، SAR، CEC، EC و pH با روش‌های متداول آزمایشگاهی در سال ۱۳۸۷ تعیین گردید. همچنین بعد فراکتالی خاکدانه‌های خاک با استفاده از الگ مرطوب و بدون اصلاح شن با استفاده از مدل ریئو و اسپوزیتو محاسبه و ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک به کمک دستگاه شبیه‌ساز باران، و اندازه‌گیری شدت تولید رواناب و رسوب تعیین شد. سپس با استفاده از تحلیل آماری متغیرهای درصد شن و بعد فراکتالی خاکدانه‌ها به عنوان ورودی مدل‌ها و متغیر ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری به عنوان خروجی مدل انتخاب گردید و متغیرهای کلامی خصوصیات فوق و تابع عضویت آن‌ها تعریف گردید. سپس در سیستم استنتاج ممدانی قوانین مدل نوشته شد. در نهایت خروجی مدل با استفاده از روش میانگین وزنی غیرفازی شد. یک بار دیگر توابع عضویت و وزن قوانین با الگوریتم ژنتیک بهینه گردید و بهینه هر وزن، در سیستم فازی وارد شده و توابع فازی بهینه شده به دست آمد. مقادیر R^2 و RMSE و GMER و GSDER برای مدل فازی به ترتیب برابر ۰/۶۳، ۵۹۲۷۵۵، ۱/۳۱ و ۱/۳۸ و برای مدل فازی-ژنتیک به ترتیب برابر ۰/۷۰، ۴۴۱۹۴۲، ۱/۱۰ و ۱/۰۴ به دست آمد، که حاکی از دقت و کارایی بالاتر مدل فازی-ژنتیک نسبت به مدل فازی و بیش برآوردی و پخشیدگی نسبتاً زیاده‌تر داده‌های تخمینی مدل فازی نسبت به مدل فازی-ژنتیک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بعد فراکتالی خاکدانه‌ها، درصد شن، شبیه‌ساز باران، قوانین مدل

مقدمه

فرسایش‌پذیری شیاری (K_f) به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک را می‌توان مستقیماً با استفاده از کرت‌های آزمایشی طبیعی در صحرا یا با استفاده از شبیه ساز باران اندازه‌گیری کرد، اما این کار مشکل، پرهزینه و زمان‌بر است (۱). بنابراین محققان علاقه دارند این ویژگی را از روی ویژگی‌های زودیافت خاک برآورد نمایند. بدین منظور چندین مدل رگرسیونی از جمله مدل فلاناگان و نیرینگ (۱۱)، مدل رومرو و همکاران (۲۵) و مدل احمدی (۱) ارائه شده است. از مهم‌ترین ویژگی این مدل‌ها آن است که برای برآورد فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک لازم است برخی ویژگی‌های خاک از جمله اجزای بافت و میزان موادآلی خاک به صورت کمی اندازه‌گیری شود. که این کار خود هزینه‌بر و زمان‌بر می‌باشد. اما اغلب کارشناسان و کشاورزان اطلاعات کلی و توصیفی

طبق ایده‌ای که در طراحی مدل WEPP^۳ به کار گرفته شده فرسایش خاک را می‌توان به دو نوع فرسایش شیاری و فرسایش بین‌شیاری تقسیم کرد. به کنده شدن و حرکت ذرات خاک توسط قطرات باران و حرکت آن‌ها در لایه نازکی از رواناب سطحی فرسایش بین‌شیاری گفته می‌شود. بنابراین در مدل WEPP فرسایش‌پذیری خاک با دو معیار ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری (K_f) و ضریب

۱ و ۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*- نویسنده مسئول: (Email: Habib.Palizvan@gmail.com)

دستیابی به بهترین راه حل) محقق شود. در طی این مراحل عملگرهای ژنتیکی جهش^۴ و تقاطع^۵ جهت رسیدن هر چه سریع تر به پاسخهای بهینه مورد استفاده قرار می گیرند.

محققان تکنیک الگوریتم ژنتیک را که هدف آن دستیابی به بهترین پاسخ در میان فضای پاسخهای ممکن است در بسیاری از مطالعات علوم طبیعی و فنی، مورد استفاده قرار داده اند. از آن جمله می توان به استفاده از آن در تحلیل حساسیت مدل های تخمین هدررفت خاک و تولید رواناب (۳۴) و تخمین میزان ماده آلی خاک (۹) اشاره کرد. لیو و همکاران (۱۹) نیز قابلیت پیش بینی هدررفت سالیانه فسفر خاک به وسیله الگوریتم ژنتیک را بسیار بالا توصیف نمودند. لو و همکاران (۲۰) برای ساخت سیستم عیب یابی خودکار برای استفاده در سیستم گرمایش و تهویه از سیستم فازی-ژنتیک استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که قابلیت بهینه کردن سیستم فازی توسط الگوریتم ژنتیک باعث عملکرد بهینه سیستم فازی می شود. اشتهااردیان و همکاران (۱۰) برای بهینه سازی هزینه-زمان در مدیریت پروژه از روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک و منطق فازی در عدم قطعیت هزینه ها استفاده کرده و اظهار کردند استفاده از الگوریتم ژنتیک سبب بهبود مدل فازی و همگرا شدن سریع جوابها گردید بنابراین مدل فازی-ژنتیک برای پروژه های بزرگتر و با مقیاس کلان تر مناسب تر از مدل فازی می باشد.

چنان که مشاهده می شود گرچه علم منطق فازی در شاخه های مختلف هیدرولوژی و مطالعات فرسایش و رسوب مورد استفاده قرار گرفته و استفاده از آن ها هم با موفقیت هایی همراه بوده است، اما در بررسی منابع تحقیقی در زمینه کارایی این علم در برآورد فرسایش پذیری بین شیلیاری خاک یافت نشد. از طرف دیگر مطالعات فوق نشان دهنده آن است که تکنیک الگوریتم ژنتیک می تواند در بهینه کردن مدل فازی و یافتن توابع عضویت مناسب برای متغیرهای زبانی و نیز تعیین اوزان قواعد فازی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین تحقیق حاضر به منظور ارائه مدل فازی و فازی-ژنتیک و بررسی کارایی آن ها در برآورد و شبیه سازی ضریب فرسایش پذیری بین شیلیاری صورت پذیرفت.

مواد و روش ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه:

استان آذربایجان شرقی با مساحت ۴۵۴۹۱ کیلومترمربع در شمال غرب ایران ما بین عرض جغرافیایی ۲۶' ۳۹" - ۴۵' ۳۹" و طول جغرافیایی ۲۲' ۴۸" - ۰۵' ۴۵" قرار دارد. این استان دارای آب و هوای

خوبی از وضعیت خاک اراضی از لحاظ میزان مواد آلی خاک و وضعیت بافت و ساختمان خاک دارند و می توانند این متغیرها را به راحتی و با دقت قابل قبولی با عباراتی نظیر خاک با مواد آلی کم، متوسط، زیاد و غیره بیان نمایند. علم منطق فازی نیز در این میان به کمک دانش بشری آمده است. علم منطق فازی با فرموله کردن دانش عامیانه بشری همچون اطلاعات توصیفی فوق می تواند برخی از ویژگی های خاک را با دقت قابل قبولی برآورد نماید (۳۰).

منطق فازی به دلیل در نظر گرفتن محدوده ای از امکان ها به جای اعداد، علاوه بر مزایای روش های آماری به دلیل قابلیت در فرموله نمودن دانش توصیفی بشری در قالب ریاضی، ابزاری سودمند در مدل سازی پدیده های طبیعی به شمار می آید. در سال های اخیر استفاده از تئوری مجموعه های فازی جهت مدل سازی پدیده های هیدرولوژیکی که دارای عدم قطعیت بالایی هستند، مورد توجه محققین قرار گرفته است. تیفور و همکاران (۲۹) منطق فازی را به منظور تخمین بار رسوب از سطح خاک لخت به کار گرفتند و کارایی آن را با مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل فیزیکی مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که در شبها و بارندگی هایی با شدت های متفاوت، مدل فازی کارایی بهتری نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل فیزیکی در تخمین فرسایش پذیری خاک دارد. میترا و همکاران (۲۱) برای پیش بینی فرسایش خاک در حوضه های آبخیز وار ایگل^۱ در منطقه آراکانزاس امریکا از منطق فازی استفاده نمودند. آن ها در این تحقیق نشان دادند که مدل فازی با به کار بردن دو متغیر زاویه شیب و ضریب استفاده از زمین به عنوان متغیرهای ورودی با دقت مشابهی با دقت مدل USEL فرسایش خاک را برآورد می نماید. از دیگر تحقیقات مربوط به علم منطق فازی می توان به مطالعات شو و اوردا (۲۸) برای آنالیز منطقه ای سیلاب در حوضه های آبخیز فاقد آمار، و مطالعات کیشی و همکاران (۱۶) برای پیش بینی رسوب ماهانه اشاره کرد.

تکنیک الگوریتم ژنتیک در بهینه کردن تابع هدف که نوعی روش جستجوی کلی تصادفی است توسط هالند (۱۴) معرفی گردید. این روش با مجموعه ای از پاسخ های تصادفی (کروموزومها) یعنی جمعیت اولیه^۲ آغاز می شود. از این پاسخ ها برای ساخت جمعیت جدید استفاده می شود، به امید این که جمعیت های جدید بهتر از جمعیت های قبلی باشند. زیرا روش هایی که برای انتخاب جمعیت های جدید استفاده شده با توجه به مناسب بودن برازندگی^۳ آن ها صورت می گیرد. پس بهترین ها شانس بیشتری برای تولید مثل خواهند داشت. این فرآیند آن قدر تکرار می شود تا شرایط خاتمه (برای

- 1- War Eagle
- 2- Initial Population
- 3- Fitness

4- Mutation
5- Crossover

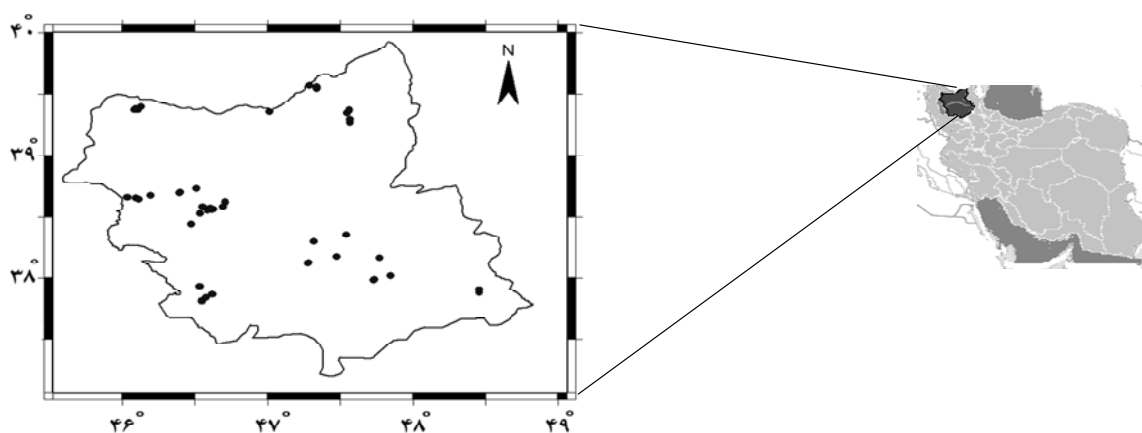
دارای اطلاعاتی کافی راجع به ویژگی‌های خاک استان بوده انتخاب و از این مناطق ۳۶ سری خاک که دارای کلاس‌های بافت متفاوت بوده و یا دارای ویژگی بارز دیگر از جمله مقدار موادآلی، آهک، گچ یا شوری می‌باشند، از افق سطحی A و یا عمق شخم (Ap) در سال ۱۳۸۸ نمونه‌برداری شد. سپس نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال داده شدند. نمونه‌ها بعد از هوا خشک شدن از الک ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده شده و برای انجام آزمایش‌های شبیه‌سازی باران نگهداری گردیدند. مقدار ۳ کیلوگرم از هر خاک برای تعیین سایر ویژگی‌های خاک به طور جداگانه نگهداری شد.

سرد کوهستانی بوده و کل محدوده استان را کوه‌ها و ارتفاعات تشکیل داده‌اند. این استان محل اتصال دو رشته کوه مهم و اصلی ایران، یعنی البرز و زاگرس است و بلندترین نقطه آن، قله کوه سهند است. طبق آمار ۴۳ ساله در نقاط مختلف استان میانگین بارندگی سالانه از ۲۵۴ تا ۴۵۲ میلی‌متر و میانگین دما از ۷/۶ تا ۱۲/۷ درجه سلسیوس متغیر است.

کارهای صحرایی و آزمایشگاهی

تهیه نمونه

ابتدا با بررسی نقشه خاک استان آذربایجان شرقی، مناطقی را که



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نمونه‌های خاک مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی

Figure 1- Geographical distribution of studied soil samples in East Azerbaijan province and Iran

تعیین ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شبیاری خاک (K_i)

نمونه‌های خاک هوا خشک (رد شده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر) در سینی (فلوم) زهکش‌دار و شیب‌پذیر دستگاه باران‌سازی که دارای پلاتی به ابعاد ۰/۵×۱ متر (شکل ۲) ریخته و از زیر به صورت تدریجی اشباع گردید. پس از ۲۴ ساعت سینی برای شیب ۹ درصد به دلیل آن که برابر شیب کرت استاندارد (۱۷) بوده، تنظیم شد و باران‌هایی با شدت بارندگی ۲۰، ۳۷ و ۴۷ میلی‌متر بر ساعت (شدت‌های مذکور معادل حداکثر شدت بارندگی نیم‌ساعته با دوره بازگشت‌های ۵، ۲۵ و ۱۰۰ ساله استان می‌باشد که توسط وزیری (۳۳) به روش فیشر برآورد شده است) به مدت ۹۰ دقیقه (حداکثر مدت زمان آزمایش که تولید رسوب در همه خاک‌ها به حالت پایدار رسید) بر نمونه‌های خاک اعمال شد. با توجه به انتخاب ۳۶ نوع خاک و ۳ شدت بارندگی در مجموع ۱۰۸ بار شبیه‌سازی باران صورت گرفت.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک:

بافت خاک به روش گسی و اور (۱۳)، مواد آلی به روش والکی-بلک (۲۲)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش تیتراسیون، گچ، ESP و SAR همه به روش آزمایشگاه شوری ایالات متحده امریکا (۲)، CEC به روش باور (۴)، EC عصاره گل اشباع و pH گل اشباع با روش‌های متداول آزمایشگاهی اندازه‌گیری یا مشخص شدند. برای توصیف توزیع اندازه شن، شن خیلی ریز (۰/۱ - ۰/۰۵)، شن ریز (۰/۲۵ - ۰/۱)، شن متوسط (۰/۵ - ۰/۲۵)، شن درشت (۱ - ۰/۵) و شن خیلی درشت (۲ - ۱) بر حسب درصد استفاده شد. اجزای مانده در روی الک بعد از خشک کردن در آون، بر روی شیکر الکی، به مدت ۳ دقیقه قرار داده شد و از هم دیگر جداسازی شد. بعد فرکنالی خاکدانه‌های خاک با استفاده از روش الک مرطوب (۳۳) بدون تصحیح شن و با بکارگیری مدل ریئو و اسپوزیتو (۲۴) محاسبه گردید.



شکل ۲- نمایی از سینی باران ساز مورد استفاده در این مطالعه
Figure 2- Illustration of the tray and rainfall simulator used in this study

می باشد که از رابطه (۲) محاسبه شد (۱۸):

$$S_f = 1.05 - 0.85 \exp^{-4 \sin(\theta)} \quad (2)$$

که در آن θ زاویه شیب می باشد.

ارائه مدل فازی و فازی-ژنتیک برای فرسایش پذیری بین شیاری

به منظور ارائه رابطه مناسب بین خصوصیات زودیاقت خاک و ضریب فرسایش پذیری بین شیاری (K_i) از دو مدل فازی و فازی-ژنتیک استفاده شد و برای این منظور از نرم افزار MATLAB 8.1 استفاده گردید. به منظور افزایش دقت و کارایی مدل ها، متغیرهای ورودی و خروجی مدل ها با استفاده از رابطه (۳) استاندارد و در محدوده [۰ ۱] قرار گرفتند. برای تبدیل داده های تخمینی مدل از حالت استاندارد به مقادیر واقعی از رابطه (۴) استفاده شد.

$$X_n = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3)$$

$$X_i = X_{min} + (X_{max} - X_{min}) X_n \quad (4)$$

در این رابطه X_{max} ، X_{min} ، X_n ، X_i به ترتیب محدوده واقعی، محدوده نرمال، حداقل و حداکثر مقادیر داده ها می باشد.

احمدی (۱) با تحقیقاتی که در رابطه با ضریب فرسایش پذیری بین شیاری خاک برای خاک های استان آذربایجان شرقی انجام داده است نشان داده است که دو متغیرهای بعد فرکتالی خاکدانه ها و درصد

جهت تعیین فرسایش پذیری بین شیاری خاک، میزان رواناب و رسوب تولید شده در فواصل زمانی مختلف و به طور پیوسته (حدود یک دقیقه در شروع تولید رواناب تا ۱۵ دقیقه در انتهای آزمایش) اندازه گیری شد، بدین ترتیب که رواناب ایجاد شده در فواصل زمانی مختلف به طور پیوسته جداگانه در ظروفی جمع آوری گردید. غلظت رسوب در رواناب با جدا کردن مواد جامد از آن و خشک کردن آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد در مدت ۲۴ ساعت تعیین گردید.

شدت فرسایش بین شیاری (D_i) از تقسیم نمودن جرم مواد جامد بر جای مانده از هر حجم رواناب که در هر فاصله زمانی جمع آوری شده بود بر واحد سطح سینی محاسبه گردید. شدت تولید رواناب (σ_{ir}) از تقسیم کردن حجم رواناب جمع آوری شده بر مدت زمان جمع آوری نمونه و سطح مقطع سینی تعیین گردید. بدین ترتیب داده های مورد نیاز برای محاسبه ضریب فرسایش پذیری بین شیاری به دست آمد. در نهایت ضریب فرسایش پذیری بین شیاری (K_i) بر حسب $kg \ s \ m^{-4}$ از رابطه (۱) محاسبه شد (۱۵):

$$K_i = \frac{D_i}{I_e \sigma_{ir} S_f} \quad (1)$$

در این معادله D_i ، شدت فرسایش بین شیاری بر حسب $kg \ m^{-2} \ s^{-1}$ و σ_{ir} ، شدت تولید رواناب بر حسب $m \ s^{-1}$ در حالت پایدار تولید رسوب I_e ، شدت بارندگی بر حسب $m \ s^{-1}$ و S_f ، ضریب بدون بعد شیب

«نمونه‌برداری تصادفی با جایگزین» برای این روش آن است که با انتخاب یک فرد به عنوان والدین، فرد مذکور، بخت انتخاب شدن دوباره برای تولید فرزند را از دست نمی‌دهد (۱۹).

تعیین عملگر جهش: برای جلوگیری از قرارگیری نقطه بهینه سراسری در اکسترمم‌های محلی از عملگر جهش با احتمال ۰/۰۲ برای هر ژن استفاده شد.

تعیین تابع هزینه: در این تحقیق هدف، کمینه کردن مقدار جذر میانگین مربعات اختلاف بین ضریب فرسایش‌پذیری واقعی و تخمینی می‌باشد.

تعیین شرط خاتمه: در این تحقیق بخاطر این که توقف الگوریتم مستقل از نتیجه به دست آمده از الگوریتم است از شرط غیر فعال استفاده شد و حداکثر تولید نسل ۳۰۰ در نظر گرفته شد.

بعد از انجام مراحل فوق توابع عضویت بهینه شده متغیرهای کلامی برای هر کدام از متغیرهای ورودی (بعد فرکتالی خاکدانه‌ها و درصد شن) و متغیر خروجی (ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری) به دست آمد. در سیستم فازی ژنتیک اوزان قواعد فازی دیگر برابر یک نبوده بلکه در بازه صفر الی یک قرار دارد. در زیر به عنوان نمونه دو قاعده و وزن مربوط به آن بیان شده است:

۱- اگر درصد شن خیلی کم و بعد فرکتالی خاکدانه‌ها کم باشد آنگاه ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک متوسط است. وزن این قاعده با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک برابر ۰/۵۸ بدست آمد.
۲- اگر درصد شن خیلی زیاد و بعد فرکتالی خاکدانه‌ها خیلی کم باشد آنگاه ضریب فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک خیلی کم است. وزن این قاعده با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک برابر ۰/۹۲ بدست آمد.

ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی دقت مدل‌ها از شاخص‌های مختلفی از جمله ضریب تبیین (R^2)، مجذور مربعات خطا^۱ (RMSE)، میانگین هندسی نسبت خطا^۲ (GMER) و انحراف استاندارد هندسی خطا^۳ (GSDER) استفاده شد.

نتایج و بحث

نمای کلی از مقادیر آماری میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول (۱) نشان داده شده است. تغییرات مقادیر SAR، EC، مواد آلی، کربنات کلسیم معادل، رس، سیلت و شن در میان خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق قابل توجه بود. بزرگترین ضریب تغییرات

شن خاک مناسب‌ترین ویژگی‌هایی هستند که می‌توانند فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک را برآورد نمایند، در این تحقیق نیز کارایی مدل‌های ایجاد شده با انواع متغیرهای اندازه‌گیری شده خاک ارزیابی و در نهایت دو متغیر فوق برای ایجاد مدل فازی و فازی-ژنتیک مناسب تشخیص داده شد. سپس با استفاده از متغیرهای فوق مدل فازی و فازی-ژنتیک به شرح ذیل طراحی گردید:

مدل فازی:

برای طراحی مدل فازی در ابتدای امر با استفاده از روش سعی و خطا با توجه به شکل ۱ از دو نوع تابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای شکل، با پنج متغیر کلامی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد برای هر ویژگی تعریف شد.

سیس قواعد فازی به شکل قواعد "اگر- آنگاه فازی" برای سیستم طراحی گردید. در کل در این تحقیق ۲۵ قاعده برای انجام استدلال فازی مورد استفاده قرار گرفت در زیر برای نمونه دو قاعده فازی بیان شده است:

قاعده ۱: اگر درصد شن خیلی کم و بعدفرکتالی خاکدانه‌ها کم باشد آنگاه فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک متوسط است.

قاعده ۲: اگر درصد شن خیلی زیاد و بعدفرکتالی خاکدانه‌ها خیلی کم باشد آنگاه فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک خیلی کم است.

در نهایت موتور استنتاج ممدانی برای انجام استدلال‌ها و معمول‌ترین روش غیر فازی کردن یعنی روش مرکز ثقل برای تعیین متغیرهای خروجی مورد استفاده قرار گرفت.

مدل فازی - ژنتیک

به منظور افزایش دقت سیستم فازی توابع عضویت و وزن‌های قواعد استنتاج آن بوسیله الگوریتم ژنتیک بهینه شد و قواعد وزن‌دهی شده برای طراحی مدل فازی به کار رفت. روش تعیین اوزان قواعد در زیر تشریح گردیده است:

تعیین جمعیت اولیه: در این پژوهش ۲۵ عدد کروموزوم به عنوان جمعیت اولیه در نظر گرفته شد.

تعیین عملگر پیوند: جهت پیوند بین کروموزوم‌های والد از عملگر محاسباتی استفاده شده است. چهار نوع عملگر پیوند وجود دارد: تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای، یکنواخت و محاسباتی. عملگرهای تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و یکنواخت برای مسائل باینری و مسائل اعداد صحیح بکار می‌رود ولی عملگر محاسباتی برای مسائل اعداد حقیقی بکار می‌رود. در این پژوهش مسائل جزء اعداد حقیقی یا پیوسته است و از عملگر محاسباتی استفاده شد.

تعیین عملگر انتخاب: عملگر انتخاب به کار رفته، عملگر انتخاب تصادفی با جایگذاری (چرخ رولت) می‌باشد. دلیل به کارگیری عبارت

1- Root Mean-Squared Error

2- Geometric Mean Of Error Ratio

3- Geometric Standard Deviation Of Error Ratio

مربوط به SAR است (۱۳۰/۳).

جدول ۱- دامنه تغییرات، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

Table 1- Range; mean, standard deviation and coefficient of variation of physico-chemical properties of studied soils

ویژگی‌های خاک Soil properties	حد اقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	انحراف معیار standard deviation	ضریب تغییرات coefficient of variation (%)
pH گل اشباع	6.81	8.3	7.79	0.29	3.7
نسبت جذب سدیمی sodium adsorption ratio (SAR)	(cmol kg^{-1}) ^{0.5} 0.31	34.72	5.84	7.61	130.3
ظرفیت تبادل کاتیونی cation exchange capacity (CEC)	$\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 6.8	59.9	23.96	11.07	46.2
هدایت الکتریکی EC	dS m^{-1} 0.41	8.56	2.19	2.15	98.7
درصد اشباع SP	% 24.01	69.08	41.81	12.94	31
گچ Gypsum	% 0	0.61	0.21	0.12	57.1
کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	% 3.7	26.3	16.18	6.48	40.1
ماده آلی organic matter (OM)	% 0.06	4.38	1.91	1.35	70.7
رس Clay	% 8.5	50.2	26	10.9	42.1
سیلت Silt	% 1.4	53	34.6	11.4	33
شن Sand	% 6.5	90.1	39.4	20.2	51.2
شن خیلی ریز very fine Sand	% 0	22	10.1	5.5	54.5
D_n	1.171	5.06	3.08	1.04	33.76

D_n : بعد فرکتالی محاسبه شده خاکدانه‌ها به روش ریئو و اسپوزیتو (۲۳)

D_n : fractal dimension of soil aggregates (D_n) was calculated by Rieu and Sposito (23)

جدول ۲- حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد و ضریب تغییرات ضریب فرسایش پذیری بین شیار (K_i) در سه شدت بارش

Table 2- Minimum, maximum, mean, standard deviation and coefficient of variation of soil interrill erodibility coefficient (K_i) in three rainfall intensities

شدت بارندگی (mm h^{-1}) rainfall intensities	حداقل Minimum	حداکثر maximum	میانگین mean	انحراف استاندارد standard deviation	ضریب تغییرات coefficient of variation (%)
ضریب فرسایش پذیری بین شیار (K _i)	10.2	79.71	35.15 ^a	49.14	94.40
interrill erodibility coefficient	1.03	69.39	27.13 ^a	75.8	65.95
$10^5 \times (\text{kg s m}^{-4})$	17.3	38.44	15.15 ^a	87.8	58.54

مقادیر K_i در هر کدام از سه شدت بارندگی کم (۲۰ میلی‌متر بر ساعت)، متوسط (۳۷ میلی‌متر بر ساعت) و زیاد (۴۷ میلی‌متر بر ساعت) محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است. دامنه تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده برای خاک‌های مورد بررسی $\text{kg s m}^{-4} \times 10^5$ (۱/۰۳) تا (۷۹/۷۱) قرار دارد. رومرو و همکاران (۲۵) محدوده مقادیر kg s m^{-4}

همچنین طبق جدول (۱) محدوده تغییرات بعد فرکتالی خاکدانه‌ها (۵/۰۶-۱/۱۷۱) بوده که انحراف معیار و ضریب تغییرات آن به ترتیب ۱/۰۴ و ۳۳/۷۶ درصد می‌باشد. دامنه تغییرات زیاد در ویژگی‌های خاک بیانگر آن است که تفرق خاک‌ها از لحاظ ویژگی‌ها جهت استفاده در مدل‌سازی مناسب می‌باشد (۱).

بین‌شیاری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب مابین $x=0$ تا $x=0/3212$ ، $x=0/4353$ تا $x=0/1417$ ، $x=0/3212$ تا $x=0$ تا $x=0/6643$ ، $x=0/4353$ تا $x=0/8164$ و $x=0/6643$ تا $x=1$ بدست آمد.

جدول (۳) مقادیر آماره‌های مورد استفاده برای ارزیابی مدل‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار ضریب تعیین یا (R^2) برای مدل فازی برابر $0/63$ بوده اما برای مدل فازی-ژنتیک بیشتر از آن و برابر $0/70$ می‌باشد. تران و همکاران (۳۱) نیز میزان فرسایش خاک را با روش فازی و نیز مدل MUSLE برآورد نمودند ضریب تبیین مدل فازی ارائه شده توسط آنان برای داده‌های واسنجی مدل برابر $0/67$ و برای مدل RUSLE برابر $0/62$ بدست آمد. همچنین مقدار RMSE مدل فازی-ژنتیک کمتر از مدل فازی است. آماره GMER برای مدل فازی و فازی-ژنتیک به ترتیب $1/31$ و $1/10$ بدست آمد، که نشان دهنده بیش برآوردی نسبتاً زیاد مدل فازی در مقایسه با مدل فازی-ژنتیک است. مقدار GSDER برای مدل فازی و فازی-ژنتیک به ترتیب $1/38$ و $1/04$ بدست آمد، که آن نیز نشان دهنده عدم انطباق و پخشیدگی زیادتر مقادیر تخمینی مدل فازی در مقایسه با مدل فازی-ژنتیک است. بنابراین با توجه به مطالب فوق تمامی آماره‌های ذکر شده نشان دهنده مزیت و کارایی بیشتر مدل فازی-ژنتیک نسبت به مدل فازی می‌باشد.

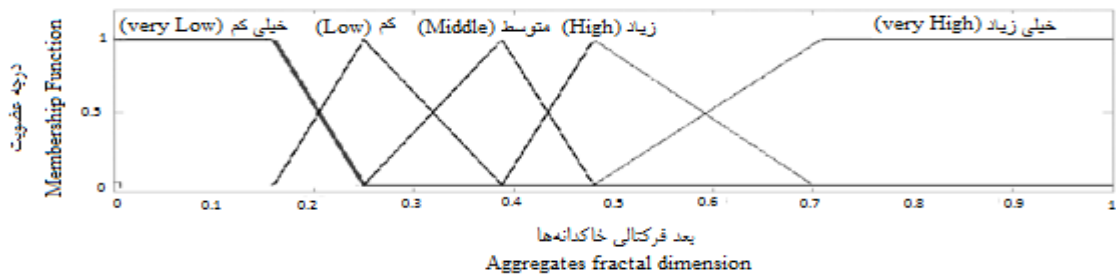
اسدی‌پور و همکاران (۳) نیز از ترکیب الگوریتم ژنتیک و منطق فازی، هیدروگراف خروجی بهینه را بر اساس هیدروگراف ورودی به مخزن سد کارون ۳ تعیین کرده‌اند. بدین طریق که از الگوریتم ژنتیک برای یافتن پارامترهای بهینه در روش سوگنو منطق فازی استفاده کرده‌اند. تابع هدف در تحقیق آن‌ها بصورت مجموعه‌ای از اهداف مختلف کنترل سیل مانند: حداقل کردن پیک خروجی، حداقل‌سازی خرابی پایین دست، ذخیره سیلاب‌ها و نگهداری سطح نهایی آب نزدیک به ذخیره مطلوب برای رفع نیاز آبی در آینده و نظایر آن منظور کرده‌اند. نتیجه تحقیق آن‌ها از مقایسه خروجی‌ها نیز بیانگر قابلیت مناسب روش ترکیبی فازی و الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی عملکرد مخزن است.

سیدنژاد گل‌ختمی و همکاران (۲۶) پهنه‌بندی بارش روزانه را با دو روش درون‌یابی فاصله معکوس پیراسته بر اساس ریاضیات فازی و الگوریتم ژنتیک (MIDW-F) و فاصله معکوس وزنی^۴ (IDW) انجام و مقایسه کردند. آن‌ها نیز برای تعیین MIDW-F جهت پهنه‌بندی بارش روزانه از تابع هدفی که باعث کمینه کردن مجموع مجذورات خطای منطقه‌ای (RMSE) بود استفاده کردند.

$10^5 \times (1/9$ تا $56)$ را برای فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خاک‌های مناطق شمالی کوهستان آند در کشور پرو^۱ گزارش نموده است، که با یافته‌های این تحقیق سازگاری دارد. میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در شدت‌های مختلف بارندگی تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۲). به عبارت دیگر با افزایش شدت بارندگی شدت فرسایش بین‌شیاری و شدت تولید رواناب طوری افزایش یافت که سبب تغییر معنی‌دار در فرسایش‌پذیری خاک نگردد. کینل (۱۵) و فوستر و همکاران (۱۲) نیز عدم وابستگی K_i به شدت بارندگی را گزارش نموده‌اند.

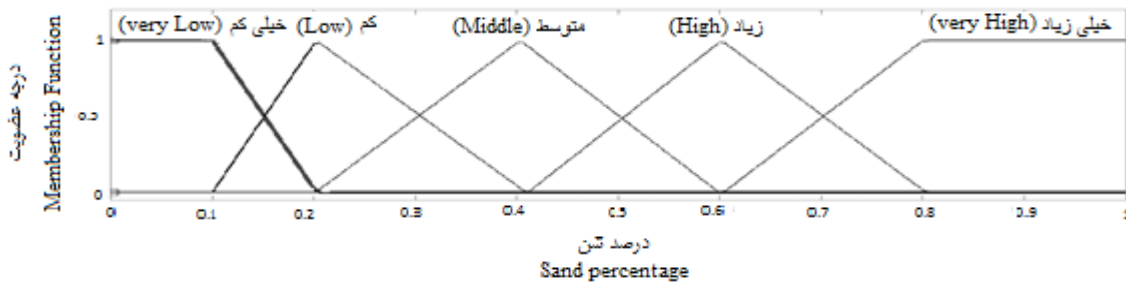
نتایج ارزیابی انواع توابع عضویت برای متغیرهای ورودی نشان داد که مناسب‌ترین تابع عضویت برای هر سه ویژگی مورد استفاده به دلیل سادگی، راحت بودن و بازده، مثلثی و ذوزنقه‌ای می‌باشد. شکل (۱) توابع عضویت و بازه تغییرات هر تابع را نشان می‌دهد چنان‌چه مشاهده می‌شود بازه تغییرات متغیرهای کلامی استاندارد شده بعد فرکتالی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب مابین $x=0$ تا $x=0/25$ ، $x=0/16$ تا $x=0/3884$ ، $x=0/4802$ تا $x=0/25$ ، $x=0/7$ تا $x=0/4802$ و $x=0/1$ تا $x=0/3884$ بازه تغییرات متغیرهای کلامی استاندارد شده ویژگی میزان شن خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب مابین $x=0$ تا $x=0/2024$ ، $x=0/1$ تا $x=0/409$ ، $x=0/202$ تا $x=0/599$ ، $x=0/409$ تا $x=0/803$ و $x=0/599$ تا $x=0/1$ انتخاب شدند. همچنین بازه تغییرات متغیرهای کلامی استاندارد شده ویژگی فرسایش‌پذیری بین‌شیاری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب مابین $x=0$ تا $x=0/3$ ، $x=0/1417$ تا $x=0/42$ ، $x=0/3$ تا $x=0/65$ ، $x=0/42$ تا $x=0/8$ و $x=0/65$ تا $x=0/1$ انتخاب شدند.

گرچه نوع توابع عضویت به دست آمده برای ویژگی‌های مورد استفاده در روش فازی-ژنتیک تفاوتی با روش مدل‌سازی فازی نداشت، لیکن بازه تغییرات هر متغیر کلامی در این روش متفاوت با روش فازی بود. شکل (۲) توابع عضویت بهینه شده و بازه تغییرات هر تابع را نشان می‌دهد چنان‌چه مشاهده می‌شود، بازه تغییرات متغیرهای کلامی استاندارد و بهینه شده بعد فرکتالی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب مابین $x=0$ تا $x=0/3381$ ، $x=0/2112$ تا $x=0/4781$ ، $x=0/3381$ تا $x=0/4918$ ، $x=0/4781$ تا $x=0/7376$ و $x=0/4918$ تا $x=0/1$ می‌باشد. بازه تغییرات متغیرهای کلامی استاندارد و بهینه شده ویژگی میزان شن خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب مابین $x=0$ تا $x=0/2344$ ، $x=0/1394$ تا $x=0/4463$ ، $x=0/4463$ تا $x=0/2344$ ، $x=0/4463$ تا $x=0/6676$ و $x=0/6676$ تا $x=0/8196$ می‌باشد. همچنین بازه تغییرات متغیرهای کلامی استاندارد و بهینه شده ویژگی فرسایش‌پذیری



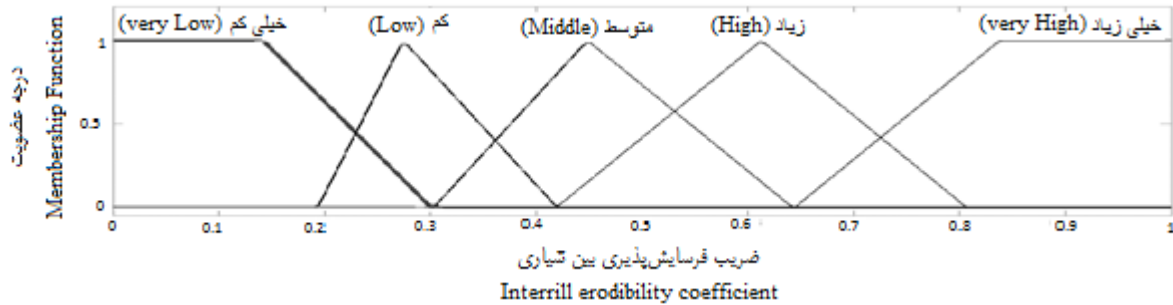
الف- توابع عضویت متغیرهای کلامی ویژگی بعد فرکتالی خاکدانه‌ها در حالت استاندارد شده

a- Membership functions for linguistic variables of standardized values of aggregates fractal dimension



ب- توابع عضویت متغیرهای کلامی ویژگی شن در حالت استاندارد شده

b - Membership functions for linguistic variables of standardized values of sand content

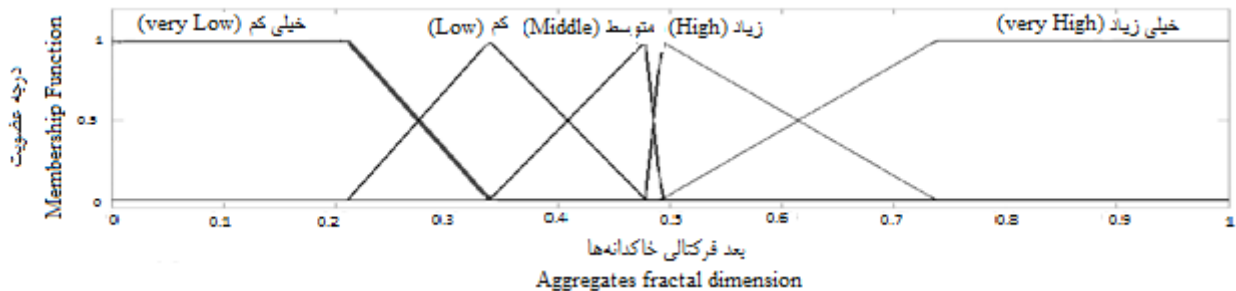


ج- توابع عضویت متغیرهای کلامی ویژگی ضریب فرسایش پذیری بین شیباری در حالت استاندارد شده

c - Membership functions for linguistic variables of standardized values of interrill erodibility coefficient

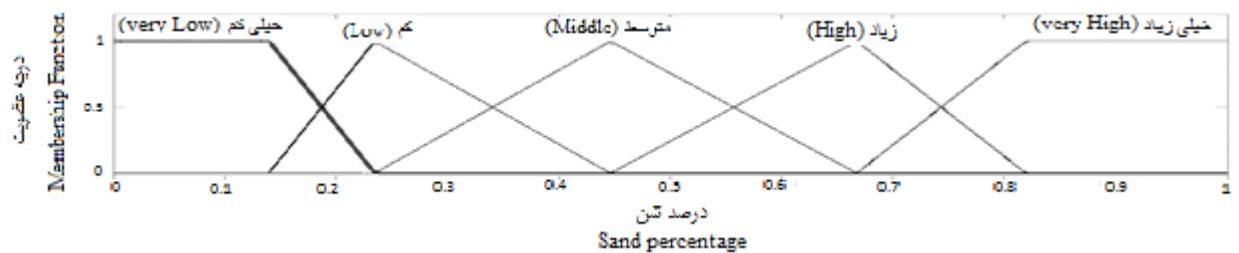
شکل ۱- بازه تغییرات متغیرهای کلامی در سیستم فازی

Figure 1- Variation range for Membership functions of linguistic variables in fuzzy system



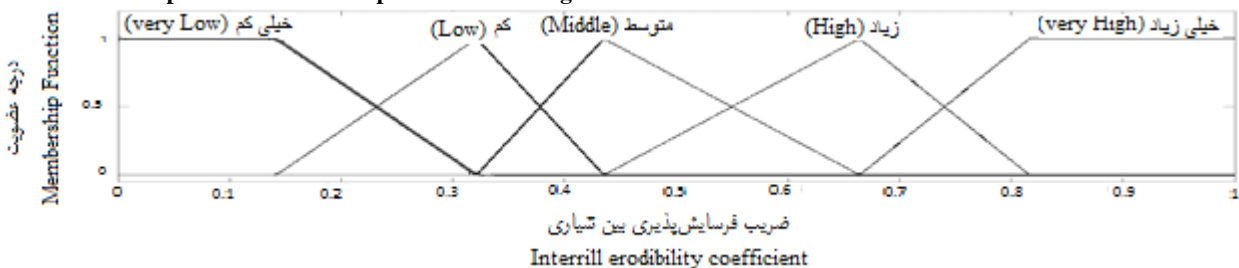
الف- توابع عضویت بهینه شده متغیرهای کلامی ویژگی بعد فرکتالی خاکدانه‌ها در حالت استاندارد شده

a- Optimized membership functions for linguistic variables of standardized values of aggregates fractal dimension



ب- توابع عضویت بهینه شده متغیرهای کلامی ویژگی شن در حالت استاندارد شده

b- Optimized membership functions for linguistic variables of standardized values of sand content



ج- توابع عضویت بهینه شده متغیرهای کلامی ضریب فرسایش پذیری بین شیبی در حالت استاندارد شده

c- Optimized membership functions for linguistic variables of standardized values of interrill erodibility coefficient

شکل ۲- بازه تغییرات توابع عضویت بهینه شده متغیرهای کلامی در سیستم فازی- ژنتیک

Figure 2- Variation range for optimized membership functions of linguistic variables in fuzzy system

برآورد نماید.

چانگ و همکاران (۷) در بررسی کارایی روش‌های IDW و فازی و نیز فازی- ژنتیک در برآورد متوسط بارندگی در یک منطقه به این نتیجه رسیدند که روش فازی ژنتیک با دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها متوسط بارندگی منطقه را برآورد می‌نماید.

شکل (۴) که نشان دهنده نحوه توزیع خطا (اختلاف مقادیر ضریب فرسایش‌پذیری بین شیبی اندازه‌گیری شده و ضریب فرسایش‌پذیری بین شیبی برآوردی توسط مدل‌های فازی- ژنتیک) را نشان می‌دهد. طبق این شکل هر چه مدل‌ها در برآورد ضریب فرسایش‌پذیری بین شیبی دارای فراوانی بیشتری در محدوده خطای صفر یا نزدیک به صفر باشد دارای دقت بیشتری در برآورد ضریب فرسایش‌پذیری بین شیبی خواهد داشت. با توجه به مطلب بالا مدل فازی- ژنتیک که بیشترین فراوانی در محدوده خطای نزدیک به صفر دارد دقت بیشتری نسبت به مدل فازی دارد.

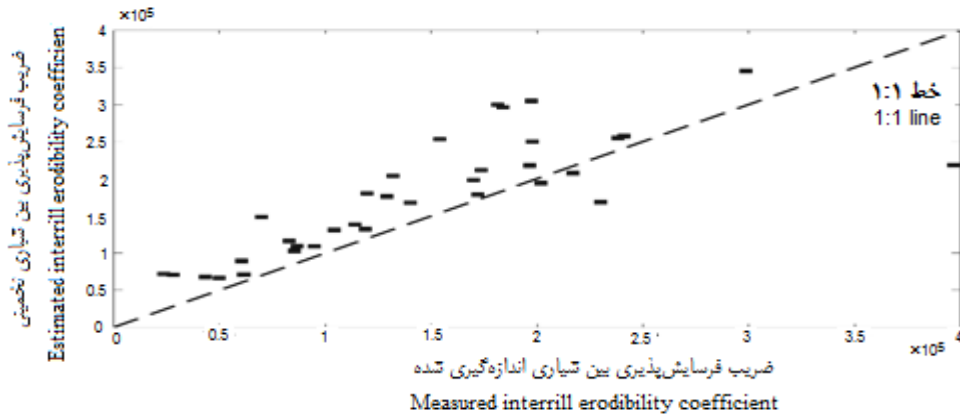
نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که پهنه‌بندی با MIDW-F جزئیات بیشتری ارائه کرده و این روش را برای درون‌یابی بارش روزانه در یک منطقه همگن پیشنهاد کردند. شکل (۳) به ترتیب خط یک به یک بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی ضریب فرسایش‌پذیری بین شیبی توسط مدل فازی و مدل فازی- ژنتیک را نشان می‌دهند. هر چه پراکندگی داده‌ها حول این خط کمتر باشد مقادیر برآوردی توسط مدل به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر خواهد شد. طبق این شکل‌ها بیش برآوردی داده‌ها در برآورد فرسایش‌پذیری بین شیبی در مدل فازی- ژنتیک کمتر از مدل فازی است و در مدل فازی- ژنتیک داده‌ها به خط یک به یک نزدیک‌تر هستند که نشان دهنده دقت بیشتر مدل فازی- ژنتیک است. شاد و همکاران (۲۷) نیز با مقایسه کارایی دو مدل فازی و فازی ژنتیک در برآورد آلاینده‌ها به کمک کریجینگ مشاهده کردند که مدل فازی ژنتیک بهتر از مدل فازی می‌تواند میزان آلاینده‌ها را

جدول ۳- مقادیر معیارهای ارزیابی مدل‌های ارائه شده برای تخمین فرسایش‌پذیری بین شیبی

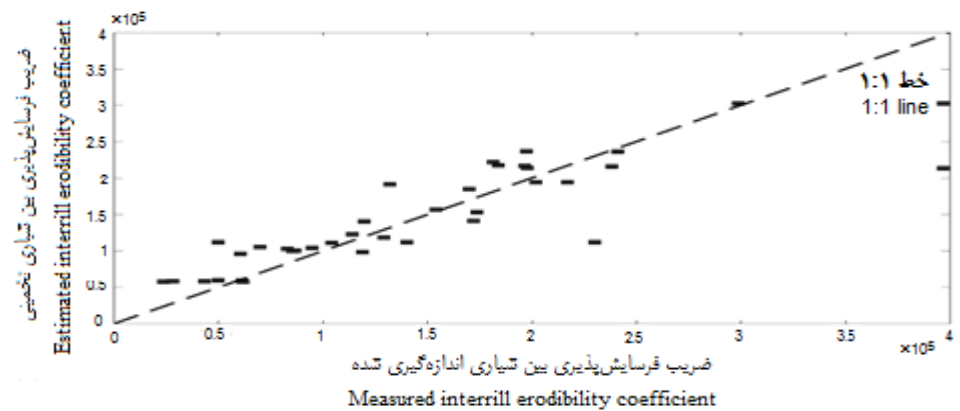
Table 3- Statistical criteria values of proposed models for interrill erodibility coefficient (K_i) estimation

	RMSE	GMER	GSDER	R ²
مدل فازی Fuzzymodel	592775	1.31	1.38	0.63
مدل فازی-ژنتیک Fuzzy - Geneticmodel	441942	1.10	1.04	0.70

واحدهای RMSE و GMER و GSDER همگی بر حسب Kg s m^{-4} می‌باشد



الف- مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری (Kg s m⁻⁴) توسط مدل فازی
a- Measured and estimated values of interrill erodibility coefficient (Kg s m⁻⁴) by Fuzzy model



ب- مقادیر اندازه‌گیری شده و برآوردی ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری (Kg s m⁻⁴) توسط مدل فازی- ژنتیک
b - Measured and estimated values of interrill erodibility coefficient (Kg s m⁻⁴) by Fuzzy- genetic model

شکل ۳- پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری

Figure 3- Distribution of measured and estimated values of interrillsoilerodibilitycoefficient

گرفته شود.

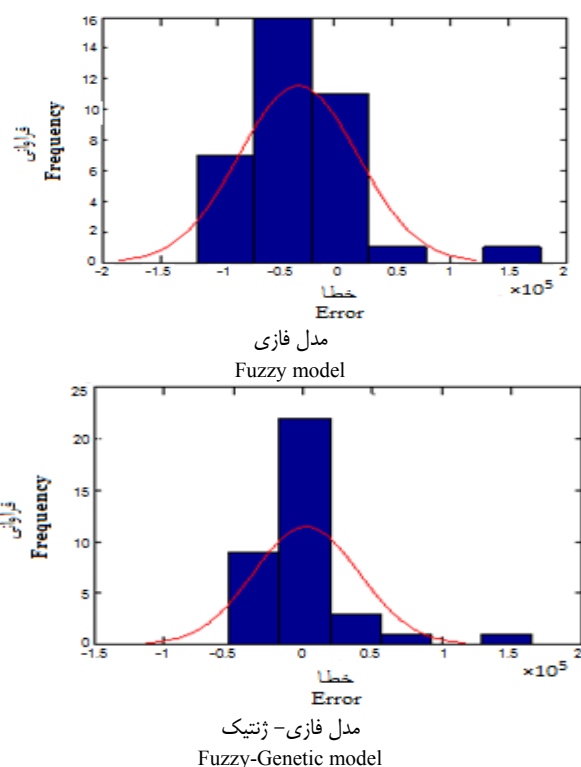
نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادات

مدل فازی طراحی شده با دو متغیر ورودی بعد فرکتالی خاکدانه‌ها و میزان شن خاک که به صورت توصیفی وارد مدل شدند توانست میزان ضریب فرسایش‌پذیری بین شیاری را با دقت مناسبی برآورد نماید. بنابراین استفاده از این مدل در پیش بینی شدت فرسایش بین شیاری توصیه می‌شود.

تعیین وزن توابع عضویت و قواعد مورد استفاده در مدل فازی توسط تکنیک الگوریتم ژنتیک سبب افزایش دقت مدل فازی طراحی شده گردید. بنابراین استفاده از این تکنیک در مطالعات مربوط به فرسایش و رسوب برای طراحی مدل‌های فازی توصیه می‌شود.

بزرگ حداد و همکاران (۵) به منظور کاهش خسارات ناشی از وقوع سیل با استفاده از روش سازه‌ای و نیز بررسی پهنه سیل سیلاب در اطراف رودخانه صرم و خورآباد استان قم و بررسی مکان‌های مناسب برای ایجاد دیواره‌های حفاظتی در مناطق پرخطر از دایک‌های حفاظتی استفاده نمودند و برای دستیابی به بیشینه سود ناشی از کنترل سیل و نیز کمینه هزینه احداث دایک‌های حفاظتی از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک استفاده کردند. تابع هدف در تحقیق‌اشان بیشینه کردن سود طرح بود. آنها نیز نشان دادند که استفاده از الگوریتم ژنتیک باعث بهینه شدن عملکرد دایک‌های حفاظتی در برابر سیل شده و سود طرح را افزایش می‌دهد.

کای و همکاران (۶)، تانک و همکاران (۳۲) و چن (۸) نیز الگوریتم ژنتیک را به طور کاملاً موفق در پاسخ به مسائل غیر خطی و بزرگ مدیریت منابع آب و بدست آوردن منحنی‌های فرمان به کار بردند. بنابراین الگوریتم ژنتیک می‌تواند به عنوان ابزار مناسبی برای کاهش خطای مدل، جهت افزایش سود یا کاهش هزینه طرح، به کار



شکل ۴- نحوه توزیع خطا در مدل‌های فازی و فازی-ژنتیک

Figure 4- error Distribution in Fuzzy and Fuzzy-Genetic models

منابع

- 1- Ahmadi A. 2009. Artificial neural networks applicability in erosion and runoff simulation using fractal dimensions. Thesis of Department of Soil Science, Agricultural College, University of Tabriz. P.197 (in Persian with English abstract).
- 2- Anonymous. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agric.Handbook60. USDA, US Salinity Laboratory Staff. Washington, DC.
- 3- Asadipour N., Karami M., and Shahinezhad B.2012.Genetic algorithm using fuzzy logic in determining the parameters for optimizing the outflow hydrograph. Journal of Iran Water Research. Vol. 6 (10): 37-45. (in Persian with English abstract).
- 4- Bower C.A. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Sci. 730: 251-261.
- 5- Bozorg Haddad O., Khosrowshahi S., Zarezadeh M., and Javan P. 2013. Development of Simulation-Optimization Model for Protection of Flood Areas. Journal of Water and Soil. Vol. 27 (3): 462-471. (in Persian with English abstract).
- 6- Cai X., McKinney D.C., and Lasdon L.S. 2001. Solving nonlinear water management models using a combined genetic algorithm and linear programming approach. Adv. Water Resour. 24 (1): 667-676.
- 7- Chang C.L., Lo S.L., and Yu S.L. 2005. Applying fuzzy theory and genetic algorithm to interpolate precipitation. J Hydrol. 314:92-104.
- 8- Chen L. 2003. Real coded genetic algorithm optimization of long-term reservoir operation. Environ. Urbanization. 39(5): 1157-1165.
- 9- Crowe A.M., McClean C.J., and Cresser M.S. 2006. An application of genetic algorithms to the robust estimation of soil organic and mineral fraction densities. Environ. Model. Software. 21: 1503-1507.
- 10- Eshtehardian E., Afshar A., and Abbasnia R. 2006. A genetic algorithm-based optimizing approach for project time-cost trade-off with uncertain measure. 3th International Project Management Conference, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
- 11- Flanagan D.C., and Nearing M.A. 1995. USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). WEPP Users Summary. NSERL Report, Vol. 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette,

- Indiana.
- 12- Foster G.R., Flanagan D.C., Nearing M.A., Lane L.J., Risse, L.M., and Finkner S.C. 1995. Chapter 11. Hillslope erosion component. In: Flanagan, D.C., Nearing, M.A. (Eds.), USDA Water Erosion Prediction Project. Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. USDA-ARS-NSERL Report a 10. NSERL, West Lafayette, IN, pp. 11.1–11.12.
 - 13- Gee G.W., and Or D. 2002. Particle-size analysis. In: Warren, A.D. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Inc. pp.255-295.
 - 14- Holland J.H. 1975. Adaptation in Natural, and Artificial Systems, Ann Arbor: The University of Michigan Press.
 - 15- Kinnell P.I.A. 1993. Runoff as a factor influencing experimentally determined interrill erodibilities. Aust. J. Soil Res., 31:333–342.
 - 16- Kisi O., Haktanir T., Ardiclioglu M., Ozturk O., Yalcin E., and Uludag S. 2009. Adaptive neuro-fuzzy computing technique for suspended sediment estimation, Advances in Engineering Software, 40:438-444.
 - 17- Lal R. 1988. Soil Erosion Research Methods. Soil and Water Conserv. Soc. ISSS, P.O. Box. 353, 6700 AJ, Wageningen, Netherlands.
 - 18- Liebenow A., Elliot W.J., Laflen J.M., and Kohl K.D. 1990. Interrill erodibility: Collection and analysis of data from cropland soils. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 33:1882-1882.
 - 19- Liu S.h., Butler D., Brazier R., Heathwaite L., and Khu S. 2007. Using genetic algorithm to calibrate a water quality model. Sci. Total Environ. 374: 260-272.
 - 20- Lo C.H., Chan P.T., Wong Y.K., Rad A.B., and Cheung K.L. 2007. Fuzzy-genetic algorithm for automatic fault detection in HVAC systems. Applied Soft Computing 7: 554–560.
 - 21- Mitra B., Scott H.D., Dixon J.C., and McKimney J.M. 1998. Applications of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in a large watershed, Journal of Geoderma, 86: 183-209.
 - 22- Nelson D.W., and Sommer L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., and Sumner M.E. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 3. Chemical and Microbiological Properties. pp. 539–579, Am. Soc. Agron., Madison.
 - 23- Nimmo J.R., and Perkins K.S. 2002. Aggregate stability and Size distribution. In: Warren, A.D. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. pp. 317-328. Soil Sci. Soc. Am. Inc.
 - 24- Rieu M., and Sposito G. 1991. Fractal fragmentation, soil porosity, and soil water properties: II. Application. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1239–1244.
 - 25- Romero C.C., Stroosnijder L., and Baigorria G.A. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. Catena, 70:105–113.
 - 26- Seyyednezhad Golkhatm N., Sanaeinejad S.H., Ghahraman B., and Rezaee Pazhand H. 2014. Journal of Water and Soil. Vol. 28(1): 1-9. (in Persian with English abstract).
 - 27- Shad R., Mesgari M.S., Abkar A., and Shad A. 2009. Predicting air pollution using fuzzy genetic linear membership kriging in GIS. Comput Environ Urban Syst. 33(6):472–81.
 - 28- Shu C., and Ouarda T.B.M.J. 2008. Regional flood frequency analysis at ungauged sites using the adaptive neurofuzzy inference system. J. Hydrology, 349: 31-43.
 - 29- Tayfur G., Ozdemir S., and Singh V. 2003. Fuzzy logic algorithm for runoff-induced sediment transport from bare soil surfaces, Journal of Advances in Water Resources, 26: 1249–1256.
 - 30- Teshneh lab M., Saffar Pour and Afuni D. 1999. Fuzzy andFuzzy-Genetic Systems. Khaje Nasiroldin Toosi University of Technology Publications, Tehran, Iran, 3th edition, P 256. (in Persian).
 - 31- Tran L.T., Ridgley M.A., Duckstein L., and Sutherland R. 2002. Application of fuzzy logic-based modeling to improve the performance of the Revised Universal Soil Loss Equation. Catena 47(3):203–26.
 - 32- Tung C., Hsu S., Liu C.M., and Li Sh.Jr. 2003. Application of the genetic algorithm for optimizing operation rules of the LiYutan reservoir in Taiwan. J. Am. Water Resour. Assoc. 39 (3): 649–657.
 - 33- Vaziri F.1983. Analysis of rainfall records and determination of intensity- duration curves for different regions of Iran. Frist edition. Jahad Daneshgahi Publications, Tehran, Iran (in Persian).

Determination of interrill soil erodibility coefficient based on Fuzzy and Fuzzy-Genetic Systems

H. Palizvan Zand^{1*} – A. Ahmadi²

Received:04-08-2014

Accepted:11-01-2016

Introduction: Although the fuzzy logic science has been used successfully in various studies of hydrology and soil erosion, but in literature review no article was found about its performance for estimating of interrill erodibility. On the other hand, studies indicate that genetic algorithm techniques can be used in fuzzy models and finding the appropriate membership functions for linguistic variables and fuzzy rules. So this study was conducted to develop the fuzzy and fuzzy-genetics models and investigation of their performance in the estimation of soil interrill erodibility factor (K_i).

Materials and Methods: For this reason 36 soil samples with different physical and chemical properties were collected from west of Azerbaijan province. Soil samples were also taken from the Ap or A horizon of each soil profile. The samples were air-dried, sieved and some soil characteristics such as soil texture, organic matter (OM), cation exchange capacity (CEC), sodium adsorption ratio (SAR), EC and pH were determined by the standard laboratory methods. Aggregates size distributions (ASD) were determined by the wet-sieving method and fractal dimension of soil aggregates (D_n) was also calculated. In order to determination of soil interrill erodibility, the flume experiment performed by packing soil a depth of 0.09-m in 0.5×1.0 m. soil was saturated from the base and adjusted to 9% slope and was subjected to at least 90 min rainfall. Rainfall intensity treatments were 20, 37 and 47 mm h^{-1} . During each rainfall event, runoff was collected manually in different time intervals, being less than 60 s at the beginning, up to 15 min near the end of the test. At the end of the experiment, the volumes of runoff samples and the mass of sediment load at each time interval were measured. Finally interrill erodibility values were calculated using Kinnell (11) Equation. Then by statistical analyses D_n and sand percent of the soils were selected as input variables and K_i as independent variables for development fuzzy and fuzzy-genetic models. For this reason their linguistic variables were defined and fuzzy models rules were written by Mamdani's fuzzy inference method. Then, the outputs of model defuzzified by centroid method. Once again, generation of membership functions and fuzzy rules base as well as optimization of fuzzy rule bases was performed by genetic algorithm, and the fuzzy functions were determined by optimized weight of membership functions and fuzzy rules.

Results Discussion: Interrill erodibility parameters (K_i) of the examined soils calculated at 3 rainfall rates using are listed in Table 2. The values ranged from 1.03 to $71.79 \times 10^5 \text{ kg s m}^{-4}$, depending on the soil and rainfall intensity. Results showed that the effect of rainfall intensity on K_i turned to be insignificant. This implies that K_i was independent of rainfall intensities. Results showed that the Triangular and Trapezoidal membership functions are better than the other membership functions for linguistic variables which used in this study. The values of R^2 , RMSE (Root mean square error) and GMER (Geometric mean error ratio) and GSDER (Geometric standard deviation of error ratio) were 0.63, 592755, 1.31 and 1.38 for the fuzzy model, and, 0.70, 441942, 1.10 and 1.044 for the fuzzy-genetic model, respectively. Higher R^2 and lower RMSE of the fuzzy-genetic model shows higher accuracy and efficiency of the fuzzy-genetic model. The GSDER criteria shows better matching of the fuzzy-genetic model estimated values with measured values. The GMER criteria shows lower over-estimation of the fuzzy-genetic model than fuzzy model.

Conclusion: Fuzzy and fuzzy-genetic models which were designed with two input variables namely aggregates fractal dimensions and soil sand content, capable to predict of interrill erodibility coefficient of soils with reasonable accuracy. So using of these models for predicting of interrill erodibility is recommended. Optimization of fuzzy rule bases and membership functions weight increased model accuracy. Therefore, using genetic algorithm in developing fuzzy models for prediction of soil erosion rate is recommended.

Keywords: Fractal dimension of aggregates, Model rules, Rainfall simulator, Sand percentage

1 and 2- MSc Graduated and Assistant Professor of Soil Science Department, Agriculture Faculty, University of Tabriz (*-Corresponding Author Email: Habib.Palizvan@gmail.com)