

مدل‌سازی فرسایش پاشمانی در بخشی از حوضه آبخیز کارون شمالی با استفاده از روش استنتاج فازی

مریم جباری فر^۱، بیژن خلیلی مقدم^{۱*} و محسن باقری بداغ آبادی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲)

چکیده

فرسایش پاشمانی از اشکال اصلی و مهم فرسایش آبی است که بستر را برای ایجاد سایر اشکال فرسایش فراهم می‌کند. هدف از این مطالعه مدل‌سازی فرسایش پاشمانی در بخشی از حوضه آبخیز کارون شمالی از طریق روش استنتاج فازی می‌باشد. عمده کاربری اراضی منطقه به صورت کشت آبی، کشت دیم، مرتع و مرتع تخریب شده می‌باشد. ویژگی‌های خاک شامل ماده آلی، آهک، مقاومت برشی سطحی، توزیع اندازه ذرات، میانگین وزنی قطر خاکدانه و فرسایش پاشمانی خاک در چهار حالت شیب (S: %) و شدت بارندگی (RI: mm.h⁻¹) به ترتیب ۵-۵۰، ۵-۸۰، ۵-۱۵، ۸۰-۱۵، توسط دستگاه پاشمانی چند متغیره (MSS) در ۸۰ نقطه اندازه‌گیری شد. مدل‌سازی براساس روش موسوم به قانون ترکیبی استنتاج با پنج روش در انتخاب عملگرها صورت گرفت. کارایی این پنج روش با استفاده از شاخص میانگین مربعات خطا بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر ۵ روش کارایی مناسبی در تخمین فرسایش پاشمانی دارند. همچنین فرسایش پاشمانی به وسیله پارامترهای شیب، شدت بارندگی، میانگین وزنی قطر خاکدانه، مقاومت برشی سطحی، شن ریز و سیلت درشت به خوبی و با دقت زیاد برآورد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی، فرسایش بارانی، زاگرس، منطق فازی

۱. گروه علوم خاک، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۲. گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، اصفهان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: moghaddam623@yahoo.ie

مقدمه

فرسایش پاشمانی نخستین مرحله در فرآیند فرسایش آبی شناخته شده که در آن قطرات باران در هنگام برخورد به سطح خاک بدون پوشش، ذرات خاک را جابه‌جا و ساختمان خاک را تخریب می‌کنند (۱۹). فرسایش پاشمانی خاک تحت تأثیر ویژگی‌های قطرات باران مانند: اندازه، سرعت، انرژی جنبشی، زاویه برخورد با سطح زمین و ویژگی‌های خاک شامل: توزیع اندازه ذرات، ضخامت آب روی سطح، مقاومت خاک، کربن آلی، ظرفیت نفوذ آب به خاک، درصد رطوبت اولیه، زبری سطح، سله، تخلخل و درصد پوشش سنگی می‌باشد (۹، ۱۰، ۱۵، ۱۹ و ۲۰).

تشخیص، تعیین، پیش‌بینی و شبیه‌سازی فرسایش پاشمانی، که البته به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های انسان است می‌تواند راهگشا و راهنمای مدیریت و برنامه‌ریزی حفاظت خاک باشد. انجام این مهم نیازمند مدل‌سازی خواهد بود. مدل‌سازی پدیده فرسایش و رسوب از جمله مهم‌ترین روش‌های مطالعه تلفات خاک است که بسیار مورد توجه بوده است (۱). تکنیک فازی به‌خوبی می‌تواند با استفاده از متغیرهای زبانی و عادی روزمره که در توصیف پدیده‌های طبیعی به‌کار می‌روند، به مدل‌سازی این پدیده‌ها پرداخته و نتایج را به‌طرف قضاوتی درست‌تر و واقعی‌تر سوق دهد. در سال‌های اخیر استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی جهت مدل‌سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی که دارای عدم قطعیت بالایی هستند، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. منطق فازی در زمینه مطالعات آبخیزداری نسبت به سایر بخش‌های منابع طبیعی بیشتر به‌کار برده شده است. از مطالعات موجود در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های یمانی و همکاران (۴) در بررسی پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبخیز داورزن به کمک منطق فازی اشاره کرد. نتایج آنها نشان داد که در تعیین پهنه‌های فرسایش‌پذیر، اپراتور فازی گاما با تابع $0/5$ ، بهترین پهنه‌بندی را برای فرسایش حوضه داورزن ارائه نموده است. براساس نتایج این محققین، این اپراتور دقت زیادی را نشان داده است و مطابق با آن نیمی از حوضه دارای فرسایش

خیلی زیاد بوده است. قدوسی (۲)، در زمینه کاربرد الگوی منطق فازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی برای الگوسازی مورفولوژی فرسایش خندقی، تحقیقی را انجام داده است. نتایج حاصل از ارزیابی الگوهای مورد استفاده وی نشان می‌دهد که اپراتورهای الگوی منطق فازی بیشترین درصد هم‌پوشانی را با عرصه‌های کنترل دارا هستند. تیفور و همکاران (۲۲)، منطق فازی را به‌منظور تخمین بار رسوب سطح خاک لخت به‌کار گرفتند و کارایی آن را با مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌های فیزیکی مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که استفاده از مدل فازی تحت شرایط بارندگی‌های شدید در شیب‌های متفاوت بهتر است و همچنین در شیب‌های زیاد دامنه، تحت بارندگی‌هایی با شدت‌های متفاوت، مدل فازی کارایی بهتری در توضیح قابلیت فرسایش خاک و میزان رسوب دارد. معتمد وزیری و همکاران (۳) در مدل‌سازی بار معلق رودخانه در حوزه آبخیز زنگان‌رود با استفاده از منطق فازی به کارایی دقیق‌تر روش فازی نسبت به روش‌های هیدرولوژیکی USBR (روش اداره اصلاح اراضی آمریکا) و FAO اشاره دارند. میترا و همکاران (۱۴)، کاربرد منطق فازی را در پیش‌بینی از دست رفتن خاک در حوضه‌های بزرگ مورد بررسی قرار دادند. روش منطق فازی نه تنها یک روش قابل انعطاف و دقیق در برقراری رابطه بین عامل فرسایش‌پذیری خاک و متغیرها می‌باشد، بلکه بر مشکلات نادقیق بودن عوامل مدل غلبه می‌نماید. یک مرحله مهم در سامانه فازی تدوین عبارات اگر و آنگاه می‌باشد. این عبارات از نظر آن‌که خروجی حاصل از متغیرهایی که به سامانه وارد می‌گردند، کمترین تغییر را دارند، دارای اهمیت می‌باشد (۵) و (۱۶). از آنجایی که تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه مدل‌سازی فرسایش از نوع پاشمانی با روش منطق فازی صورت نگرفته است، لذا هدف این مطالعه مدل‌سازی فرسایش پاشمانی با استفاده از منطق فازی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه شامل دو دشت خان‌میرزا و چنارمحمودی

خاکدانه‌ها به روش الک تر تعیین گردیدند. مقاومت برشی به‌وسیله دستگاه شیر وین در صحرا به‌دست آمد. که برای اندازه‌گیری مقاومت برشی لایه رویین خاک از پره برشی در شرایط اشباع و درسه تکرار استفاده شد. همچنین فرسایش پاشمانی در ۴ حالت از شیب و شدت بارندگی (حالت ۱: شیب ۵٪ و شدت بارندگی 50 mm.h^{-1} ؛ حالت ۲: شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی 50 mm.h^{-1} ؛ حالت ۳: شیب ۵٪ و شدت بارندگی 80 mm.h^{-1} ؛ حالت ۴: شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی 80 mm.h^{-1}) با استفاده از دستگاه پاشمانی چندمتغیره در آزمایشگاه اندازه‌گیری گردید. این دستگاه از سیستم شبیه‌ساز باران، تأمین شیب و حرکت چرخشی نمونه تشکیل شده است. سیستم شبیه‌سازی باران شامل پمپ الکتریکی به ارتفاع هیدرولیکی ۳ متر و دبی ۱ لیتر بر دقیقه، لوله‌های تلسکوپی با ارتفاع قابل تغییر از ۱/۵ تا ۳ متر، شیر کنترل کننده دبی و باران‌ساز می‌باشد. به‌منظور ایجاد همپوشانی کامل باران با نمونه خاک با توجه به ابعاد سیلندر نمونه‌برداری (10×10 سانتی‌متر طبق الگوی مورگان) قطر باران‌ساز ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از سیستم تأمین شیب برای تولید شیب استفاده شد.

روش سامانه استنتاج فازی

برای مدل‌سازی فرسایش پاشمانی براساس روش سامانه استنتاج فازی، نیاز به انجام چهار مرحله می‌باشد (۱):

مرحله اول: تعیین متغیرهای مؤثر: پس از انجام آنالیز همبستگی بین فرسایش پاشمانی و سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، متغیرهایی که دارای مقدار همبستگی زیادتری با فرسایش پاشمانی باشند به‌عنوان متغیرهای مورد استفاده در سامانه استنتاج فازی انتخاب می‌شوند.

مرحله دوم: تعیین مقادیر زبانی هر متغیر و تابع عضویت آنها: بعد از تعیین دامنه تغییرات، لازم است که مقادیر زبانی هر متغیر نیز تعریف گردد. متغیرهای زبانی به‌صورت کیفی تعریف و با واژه‌های کم، متوسط و زیاد نام‌گذاری می‌گردند.

مرحله سوم: تعیین قوانین اگر- آنگاه در سامانه فازی: پایگاه

در زیرحوضه لردگان از حوضه اصلی کارون شمالی در جنوب‌خاوری استان چهارمحال و بختیاری به مساحت تقریبی 27500 هکتار می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی $51^{\circ} 51'$ تا $51^{\circ} 15'$ طول شرقی و $31^{\circ} 20'$ تا $31^{\circ} 54'$ عرض شمالی قرار دارد. عمده کاربری اراضی منطقه به‌صورت کشت آبی (شبدر، گندم، گندم- لوبیا و گندم- یونجه)، کشت دیم (گندم)، مرتع (گون و بروموس) و مرتع تخریب شده (بروموس) می‌باشد. خاک‌های غالب منطقه در زیرگروه‌های Calcic Haploxerolls, Pachic Calcixerolls, Typic Calciaquolls, Haploxeralfs, Fluventic Haploxerepts و Typic Calcixereps (۱۷) می‌باشند. اقلیم محدوده طرح برحسب طبقه‌بندی‌های اقلیمی، در طبقه‌بندی آمبرژه دارای آب و هوای نیمه مرطوب و نیمه مرطوب سرد، در طبقه‌بندی سیلیانینف، نیمه خشک خفیف و در طبقه‌بندی دومارتن در نیمه مرطوب جای دارد. این منطقه دارای میزان بارندگی سالانه 600 میلی‌متر در سال است و بیشترین میانگین بیشینه درجه حرارت ماهانه $35/3$ درجه‌ی سانتی‌گراد مربوط به مرداد ماه و کمترین میانگین کمینه درجه حرارت ماهانه $3/9-$ درجه سانتی‌گراد مربوط به دی ماه و میانگین درجه حرارت سالانه $14/2$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین این منطقه بیشتر مربوط به دوره سنوزوئیک می‌باشد که سنگ‌های آن نیز بیشتر از نوع سنگ‌های رسوبی الیگوسن و میوسن هستند.

این منطقه براساس نقشه توپوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و قابلیت اراضی به واحدهای کاری همگن تقسیم شده است (۵). در این منطقه 80 خاک‌رخ حفر شد (۱۳) در مرتع، 13 در مرتع تخریب شده، 24 در دیم، 30 در کشاورزی) و سپس از افق‌های هر یک از نیمرخ‌ها نمونه‌برداری گردید. موقعیت نقاط در صحرا به‌وسیله GPS تعیین شدند. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل، هوا خشک گردید و سپس از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد و برخی از ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک نظیر، درصد کربنات کلسیم با استفاده از روش کلسیمتری (۱۳)، ماده آلی به روش اکسایش تر یا روش والکلی و بلک (۱۷)، توزیع اندازه ذرات خاک به روش پیپت (۷) و میانگین وزنی قطر

جدول ۱. عملگرهای مورد استفاده در پنج روش

عملگر مورد استفاده					نوع عمل
روش ۱	روش ۲	روش ۳	روش ۴	روش ۵	
Min	product	Min	min	product	And
Max	probor	Max	max	probor	Or
Min	Min	Product	min	product	Implication
Max	max	Max	probor	probor	Aggregation
centroid	centroid	Centroid	centroid	centroid	Deffuzification

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و حالات مختلف فرسایش پاشمانی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

با توجه به این جدول متوسط درصد ماده آلی در منطقه مورد مطالعه ۱/۹۰ است و حداکثر آن ۴/۳۰ و حداقل آن ۰/۲۹ است. بنابراین خاک‌های منطقه دامنه وسیعی از ماده آلی دارند. درصد آهک نیز دامنه وسیعی دارد و حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۵۵ و ۰/۵۷ می‌باشد و به‌طور متوسط مقدار آهک در منطقه ۱۹/۱۲ درصد است و زیاد بودن درصد آهک در خاک‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده آهکی بودن آنهاست. با توجه به میانگین‌های درصد رس، سیلت و شن خاک‌های مورد مطالعه، سیلت با متوسط ۵۲/۱۷ درصد و شن با متوسط ۱۳/۱۷ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین جزء اندازه ذرات معدنی را به‌خود اختصاص می‌دهند و رس با متوسط ۳۴/۶۷ درصد در حد وسط قرار دارد. بنابراین خاک‌های مورد مطالعه شامل بافت‌های لوم رسی، رس سیلتی و لوم رسی سیلتی، لوم سیلتی و لوم رسی شنی هستند. با توجه به جدول ۲ در بین اجزای سیلت، سیلت ریز درصد بیشتری از سیلت کل را دارا می‌باشد. در بین اجزای شن، شن خیلی درشت کمترین درصد و شن خیلی ریز بیشترین درصد از کل شن را دارا می‌باشند. فرسایش پاشمانی، در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت، با افزایش شیب از ۵ به ۱۵ درصد افزایش یافته است، ولی در شدت بارندگی ۸۰ میلی‌متر بر ساعت با افزایش شیب از ۵ درصد به ۱۵ درصد متوسط افزایش پاشمان کاهش یافته است، دلایل این است که یک لایه آب روی سطح خاک ایجاد شده است و از افزایش پاشمان جلوگیری کرده است.

قواعد فازی به‌صورت اگر و آنگاه برای متغیرهای مستقلی که بر روی متغیر وابسته (فرسایش پاشمانی) تأثیر دارند نوشته می‌شوند. هر کدام از این متغیرهای مستقل اثر متفاوتی بر مقدار فرسایش پاشمانی دارند. با توجه به نوع اثرات این متغیرهای مستقل بر روی متغیر وابسته، قوانین نوشته می‌شوند.

مرحله چهارم: نتایج: بعد از تعیین کلیه قوانین اگر و آنگاه، مقدار هر متغیر به نرم‌افزار متلب وارد و مقدار فرسایش پاشمانی برآوردی به‌عنوان متغیر وابسته از طریق ۵ روش مختلف (جدول ۱) که در منطق فازی براساس عملگرهای مختلفی از قبیل Max و Min که به‌جای عملگرهای اجتماع و اشتراک قرار می‌گیرند و همچنین جمع احتمالی و ضرب، به‌دست می‌آید.

در نهایت مقدار فرسایش پاشمانی برآورد شده از مدل و مقدار فرسایش پاشمانی اندازه‌گیری شده با استفاده از روش میانگین مربعات خطا مطابق رابطه زیر مقایسه و بهترین روش از بین پنج روش براساس کمترین میانگین مربعات خطا انتخاب می‌گردد.

$$MSE = \frac{\sum_{i=2}^n (S_m - S_e)^2}{n} \quad [1]$$

MSE: میانگین مربعات خطا، S_m : فرسایش پاشمانی اندازه‌گیری شده، S_e : فرسایش پاشمانی تخمینی، n : تعداد مشاهدات

نتایج و بحث

جدول ۲ خلاصه آماری ویژگی‌های خاک شامل توزیع اندازه ذرات خاک، ماده آلی، آهک، مقاومت برشی سطح خاک،

جدول ۲. خلاصه آماری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

چولگی	ضریب تغییرات	میانگین	بیشینه	کمینه	
۰/۹۹	۲/۱۱	۱/۹۰	۴/۳۰	۰/۲۹	ماده آلی (درصد)
۰/۲۸	۲/۸۵	۱۹/۱۲	۵۵/۰۰	۰/۵۷	آهک (درصد)
-۰/۶۴	۰/۸۸	۳۴/۶۷	۴۸/۰۰	۱۷/۵۰	رس (درصد)
-۰/۴۴	۱/۱۲	۳۳/۰۹	۵۰/۵۰	۱۳/۵۰	سیلت ریز و متوسط (درصد)
۰/۷۹	۱/۸۵	۱۹/۰۸	۳۷/۸۸	۲/۵۵	سیلت درشت (درصد)
۰/۲۷	۶/۴۱	۱/۹۹	۱۲/۸۰	۰/۰۴	شن خیلی درشت (درصد)
۰/۲۳	۵/۰۸	۲/۳۲	۱۱/۸۴	۰/۰۷	شن درشت (درصد)
۱/۲	۳/۸۳	۲/۰۸	۸/۰۲	۰/۰۷	شن متوسط (درصد)
۰/۲۲	۵/۱۶	۲/۰۱	۱۰/۴۳	۰/۰۷	شن ریز (درصد)
۰/۳۳	۶/۵۴	۴/۷۷	۳۱/۷۴	۰/۵۱	شن خیلی ریز (درصد)
۰/۱۶	۱/۱۵	۲/۳۱	۳/۶۲	۰/۹۷	میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلی‌متر)
۰/۵۷	۱/۳۶	۱۲/۹۰	۲۲/۵۶	۰/۰۵	مقاومت برشی سطحی (کیلو پاسکال)
۰/۳۰	۳/۲۰	۴/۱۴	۱۳/۶۶	۰/۳۹	S1R1 (گرم بر دقیقه بر مترمربع)
۰/۲۲	۳/۶۹	۱۲/۴۷	۸۴/۰۰	۲/۰۳	S2R1 (گرم بر دقیقه بر مترمربع)
۰/۲۸	۱/۹۱	۳۱/۵۴	۶۷/۳۰	۷/۰۷	S1R2 (گرم بر دقیقه بر مترمربع)
۰/۳۱	۱/۷۳	۲۵/۳۱	۱۰۴/۱۰	۱۳/۴۵	S2R2 (گرم بر دقیقه بر مترمربع)

S1R1: فرسایش پاشمانی در شیب ۵٪ و شدت بارندگی 50 mm h^{-1} ؛ SYR1: فرسایش پاشمانی در شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی 50 mm h^{-1} ؛ S1R2: فرسایش پاشمانی در شیب ۵٪ و شدت بارندگی 80 mm h^{-1} ؛ SYR2: فرسایش پاشمانی در شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی 80 mm h^{-1} .

همان‌طور که مشاهده می‌شود مؤثرترین متغیرها عبارت هستند از: میانگین وزنی قطر خاکدانه، مقاومت برشی سطحی، ماده آلی، آهک، شن ریز و سیلت درشت. با توجه به این که ماده آلی و آهک همبستگی بالایی با میانگین وزنی قطر خاکدانه و مقاومت برشی سطحی دارند (جدول ۳) در واقع تأثیر این متغیرها (ماده آلی و آهک) در میانگین وزنی قطر خاکدانه و مقاومت برشی سطحی وجود دارد، بنابراین این دو متغیر مد نظر افراد خبره قرار نگرفت (جدول ۴).

دامنه تغییرات و متغیرهای زبانی هر متغیر در جدول ۴ به صورت تابع عضویت ذوزنقه‌ای براساس اطلاعات و تجربه افراد خبره در زمینه فرسایش پاشمانی تهیه گردیده است. که

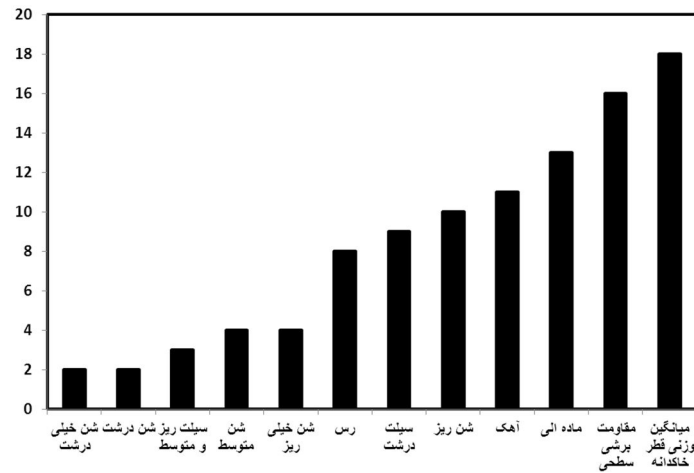
مدل‌سازی فرسایش پاشمانی براساس روش استنتاج فازی

یک بخش مهم در تجزیه و تحلیل مدل‌های مختلف، بررسی تحلیل حساسیت متغیرهای آن مدل در شرایط عدم اطمینان می‌باشد. در تحلیل حساسیت، تأثیر متغیرهای ورودی یک مدل آماری روی متغیرهای خروجی مطالعه می‌شود. در این روش متغیرهای ورودی‌های یک مدل آماری به صورت سازمان یافته (سیستماتیک) تغییر داده می‌شود و تأثیرات این تغییرها در خروجی مدل پیش‌بینی می‌گردد. در این پژوهش از تحلیل حساسیت فازی به منظور بررسی متغیرهای ورودی استفاده شد (۶، ۸ و ۱۲). برای این منظور با استفاده از روابط به دست آمده از رگرسیون فازی (۱۱)، تحلیل حساسیت فازی انجام شد، که نتایج در شکل ۱ ارائه شده است.

جدول ۳. همبستگی برخی از ویژگی های خاک با حالات مختلف فرسایش پاشماتی

ویژگی خاک	شدت فرسایش پاشماتی	شدت متوسط فرسایش پاشماتی	شدت کم فرسایش پاشماتی	شدت بسیار کم فرسایش پاشماتی	شدت بسیار کم فرسایش پاشماتی	شدت کم فرسایش پاشماتی	شدت متوسط فرسایش پاشماتی	شدت بسیار کم فرسایش پاشماتی	شدت متوسط فرسایش پاشماتی	شدت کم فرسایش پاشماتی	شدت بسیار کم فرسایش پاشماتی
مقاومت برشی سطحی	۰/۵۹**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**
فرسایش پاشماتی در شیب ۵٪	۰/۵۹**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**
فرسایش پاشماتی در شیب ۱۵٪	۰/۵۹**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**
فرسایش پاشماتی در شیب ۸۰ mm h ⁻¹	۰/۵۹**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**
سیلیت ریز و متوسط	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**
سیلیت درشت	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**
شن خیلی درشت	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**
شن درشت	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**
شن متوسط	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**
شن ریز	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**
شن خیلی ریز	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**
میانگین وزنی قطر خاکدانه	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**	۰/۱۳**
مقاومت برشی سطحی	۰/۵۹**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**	۰/۴۱**	۰/۵۰**	۰/۴۷**

SYR۱: فرسایش پاشماتی در شیب ۵٪ و شدت بارندگی ۵۰ mm h⁻¹; SYR۲: فرسایش پاشماتی در شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی ۵۰ mm h⁻¹; SYR۳: فرسایش پاشماتی در شیب ۸۰ mm h⁻¹ و شدت بارندگی ۵۰ mm h⁻¹



شکل ۱. تحلیل حساسیت فازی به منظور بررسی متغیرهای ورودی

جدول ۴. دامنه متغیرهای مستقل و مقادیر زبانی آنها

نام متغیر	کم	متوسط	زیاد
فرسایش پاشمانی	۰-۱۵(۰;۰;۱۰;۲۰)	۱۵-۵۰(۱۰;۲۰;۴۰;۶۰)	۵۰-۱۵۰(۴۰;۶۰;۱۵۰;۱۵۰)
فرسایش (Sp) پاشمانی ^(۱)	۰-۱/۳۱(۰;۰;۱/۲۶;۱/۳۵)	۱/۳۱-۱/۴۸(۱/۲۶;۱/۳۵;۱/۴۵;۱/۵۱)	۱/۴۸-۱/۶۵(۱/۴۵;۱/۵۱;۱/۶۵;۱/۶۵)
شیب	۰-۵(۰;۰;۴;۶)	۱۰-۱۵(۵;۱۰;۲۰;۲۰)	-----
شدت بارندگی	-----	۴۵-۵۵(۳۰;۴۰;۶۰;۷۰)	۷۵-۸۵(۶۰;۷۰;۹۰;۱۰۰)
میانگین وزنی قطر خاکدانه	۰-۰.۵(۰;۰;۰/۳;۰/۷)	۰.۵-۲.۵(۰/۳;۰/۷;۲;۳)	۲.۵-۸(۲;۳;۸;۸)
مقاومت برشی سطحی	۰-۳(۰;۰;۲;۴)	۳-۹(۲;۴;۷;۱۱)	۹-۲۰(۷;۱۱;۲۰;۲۰)
شنبلیله	۰-۱۰(۰;۰;۵;۱۵)	۱۰-۶۰(۵;۱۵;۵۰;۷۰)	۶۰-۱۰۰(۵۰;۷۰;۱۰۰;۱۰۰)
سیلت درشت	۰-۲۵(۰;۰;۲۰;۳۰)	۲۵-۷۵(۲۰;۳۰;۶۵;۸۵)	۷۵-۱۰۰(۶۵;۸۵;۱۰۰;۱۰۰)

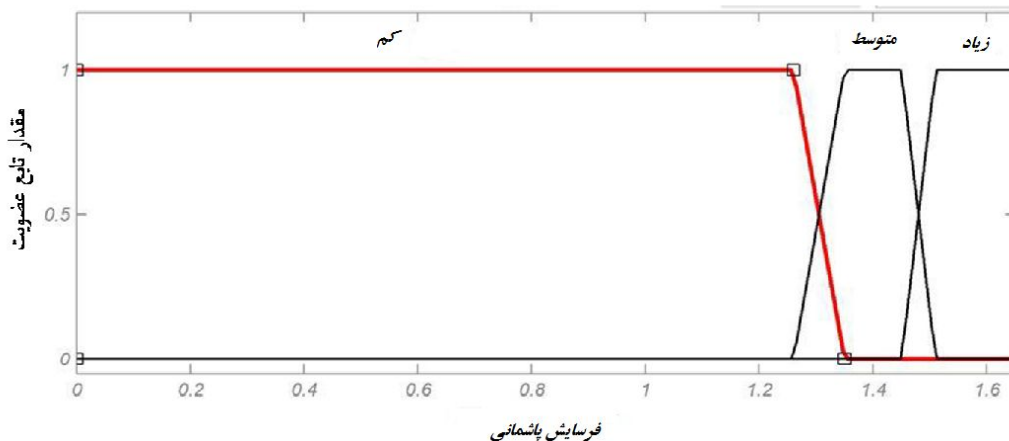
$$A_2(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 1/26 \\ \frac{x-1/26}{0/09} & 1/26 \leq x \leq 1/35 \\ 1 & 1/35 \leq x \leq 1/45 \\ \frac{1/51-x}{0/06} & 1/45 \leq x \leq 1/51 \\ 0 & x \geq 1/51 \end{cases} \quad [3]$$

به‌عنوان مثال تابع عضویت فرسایش پاشمانی: (زیاد: A_3 ، متوسط: A_2 ، کم: A_1)، در شکل ۲ و معادلات ۲، ۳ و ۴ آمده است.

مبنای این تابع منابع علمی و تجارب علمی و اجرایی متخصصان بوده است.

$$A_3(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 1/45 \\ \frac{x-1/45}{0/06} & 1/45 \leq x \leq 1/51 \\ 1 & x \geq 1/51 \end{cases} \quad [4]$$

$$A_1(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ 1 & 0 \leq x \leq 1/26 \\ \frac{1/35-x}{0/09} & 1/26 \leq x \leq 1/35 \\ 0 & x \geq 1/35 \end{cases} \quad [2]$$



شکل ۲. توابع عضویت مقادیر زبانی متغیر فرسایش پاشمانی ($Sp^{(1)}$)

۶. اگر شیب متوسط و شدت بارندگی متوسط، میانگین وزنی قطر متوسط، مقاومت برشی متوسط یا زیاد، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی متوسط خواهد بود.

۷. اگر شیب متوسط و شدت بارندگی متوسط، میانگین وزنی قطر کم، مقاومت برشی کم یا متوسط، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی متوسط خواهد بود.

۸. اگر شیب متوسط و شدت بارندگی متوسط، میانگین وزنی قطر کم، مقاومت برشی کم یا متوسط، شن ریز متوسط یا زیاد و سیلت درشت متوسط یا زیاد باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی زیاد خواهد بود.

۹. اگر شیب کم و شدت بارندگی زیاد، میانگین وزنی قطر زیاد یا متوسط، مقاومت برشی زیاد، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی متوسط خواهد بود.

۱۰. اگر شیب کم و شدت بارندگی زیاد، میانگین وزنی قطر زیاد یا متوسط، مقاومت برشی زیاد، شن ریز متوسط یا زیاد و سیلت درشت متوسط یا زیاد باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی متوسط خواهد بود.

۱۱. اگر شیب کم و شدت بارندگی زیاد، میانگین وزنی قطر کم، مقاومت برشی کم یا متوسط، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی متوسط خواهد بود.

در ادامه پایگاه قواعد اگر- آنگاه فازی (۱۶ قاعده) با توجه به اطلاعات موجود از قبیل رابطه بین فرسایش پاشمانی و پارامترهای اقلیمی، توپوگرافی و خاک به صورت زیر تدوین گردیده است.

۱. اگر شیب کم و شدت بارندگی متوسط، میانگین وزنی قطر متوسط یا زیاد، مقاومت برشی زیاد، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی کم خواهد بود.

۲. اگر شیب کم و شدت بارندگی متوسط، میانگین وزنی قطر کم، مقاومت برشی کم یا متوسط، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی زیاد خواهد بود.

۳. اگر شیب کم و شدت بارندگی متوسط، میانگین وزنی قطر متوسط یا زیاد، مقاومت برشی زیاد، شن ریز متوسط یا زیاد و سیلت درشت متوسط یا زیاد باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی متوسط خواهد بود.

۴. اگر شیب کم و شدت بارندگی متوسط، میانگین وزنی قطر کم، مقاومت برشی کم یا متوسط، شن ریز متوسط یا زیاد و سیلت درشت متوسط یا زیاد باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی زیاد خواهد بود.

۵. اگر شیب متوسط و شدت بارندگی متوسط، میانگین وزنی قطر زیاد، مقاومت برشی زیاد، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی کم خواهد بود.

جدول ۵. مقایسه مقدار فرسایش پاشمانی اندازه‌گیری شده و مقادیر برآورد شده با استفاده از سامانه استنتاج فازی

SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE	مشاهدات	شیب- شدت بارندگی
برآوردی روش ۱	برآوردی روش ۲	برآوردی روش ۳	برآوردی روش ۴	برآوردی روش ۵	اندازه‌گیری شده		
۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱	
۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۰	۲	
۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۰	۳	
۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۱	۴	
۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۱	۵	حالت ۲
۱/۲۳	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۲۲	۶	
۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۷	
۱/۲۳	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۲۳	۸	
۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۲	۱/۲۳	۹	
۱/۲۳	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۲۳	۱/۲۲	۱/۲۳	۱۰	
۰/۰۱۷	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷	میانگین مربعات خطا		حالت ۱
۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	میانگین مربعات خطا		حالت ۲
۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	میانگین مربعات خطا		حالت ۳
۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	میانگین مربعات خطا		حالت ۴

۱: فرسایش پاشمانی در شیب ۵٪ و شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت؛ ۲: فرسایش پاشمانی در شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت؛ ۳: فرسایش پاشمانی در شیب ۵٪ و شدت بارندگی ۸۰ میلی‌متر بر ساعت؛ ۴: فرسایش پاشمانی در شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی ۸۰ میلی‌متر بر ساعت. SSE: فرسایش پاشمانی خاک

سیلت درشت متوسط یا زیاد باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی متوسط خواهد بود.

۱۶. اگر شیب متوسط و شدت بارندگی زیاد، میانگین وزنی قطر کم، مقاومت برشی کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی زیاد خواهد بود.

برای انجام استنتاج فازی، از روش موسوم به قانون ترکیبی استنتاج (Combinational Rule of Inference: CRI) استفاده شده است. در روش استنتاج فازی به وسیله قانون ترکیبی استنتاج (CRI)، قوانین فازی به وسیله روابط فازی صورت‌بندی گردید.

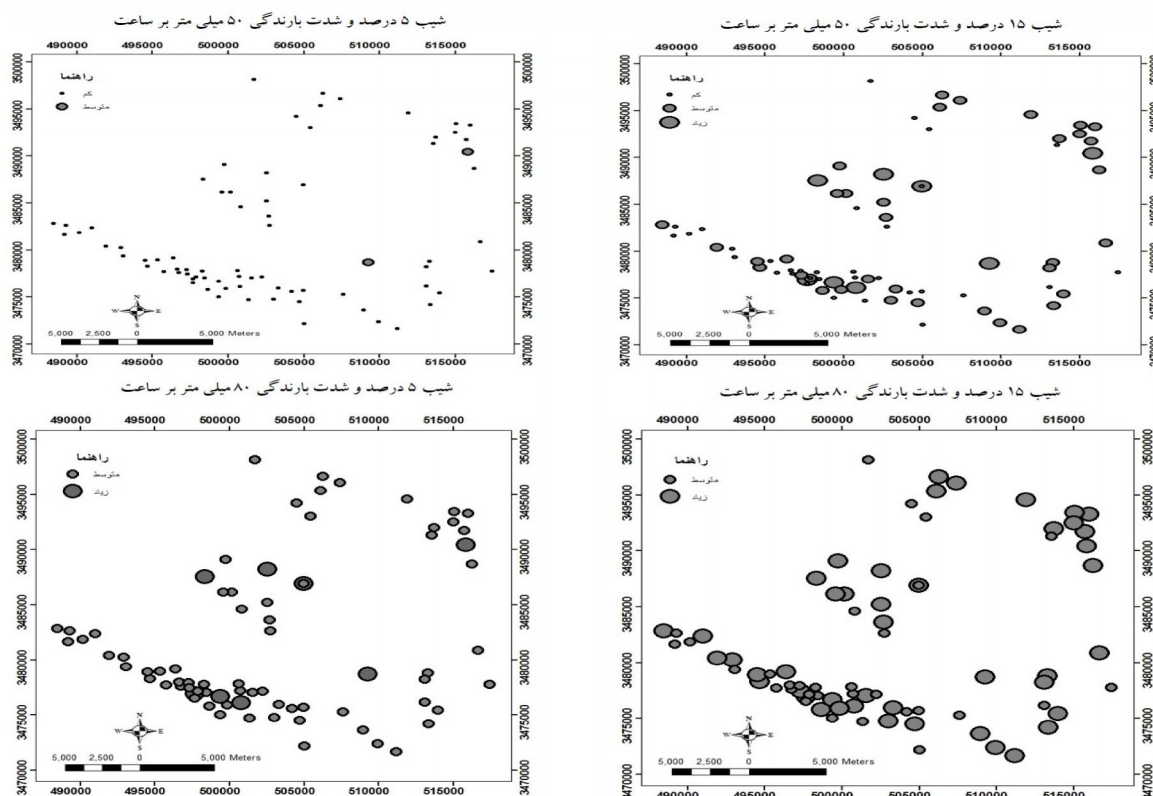
جدول ۵ مقایسه مقادیر فرسایش پاشمانی اندازه‌گیری شده و فرسایش پاشمانی برآورده شده حالت ۲ (شیب ۱۵٪ و شدت

۱۲. اگر شیب کم و شدت بارندگی زیاد، میانگین وزنی قطر کم، مقاومت برشی کم یا متوسط، شن ریز متوسط یا زیاد و سیلت درشت متوسط یا زیاد باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی زیاد خواهد بود.

۱۳. اگر شیب متوسط و شدت بارندگی زیاد، میانگین وزنی قطر زیاد، مقاومت برشی زیاد، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی متوسط خواهد بود.

۱۴. اگر شیب متوسط و شدت بارندگی زیاد، میانگین وزنی قطر متوسط، مقاومت برشی زیاد، شن ریز کم و سیلت درشت کم باشد، آنگاه فرسایش پاشمانی زیاد خواهد بود.

۱۵. اگر شیب متوسط و شدت بارندگی زیاد، میانگین وزنی قطر زیاد، مقاومت برشی متوسط یا زیاد، شن ریز متوسط یا زیاد و



شکل ۳. نقشه فرسایش پاشمانی منطقه مورد مطالعه در چهار حالت از شیب و شدت بارندگی

مقدار خطای برآوردی را کاهش و برآورد دقیقی از فرسایش پاشمانی را ارائه نماید. این روش نسبت به سایر روش‌های تجربی، نسبتاً ساده بوده و بدون هیچ‌گونه محدودیتی، می‌توان عوامل دیگری را برای محاسبه فرسایش پاشمانی دخالت داد. ترن و دوکستین (۲۳) نیز نتیجه گرفتند که این روش نسبتاً آسان، خوب و دقیق می‌باشد، و کاربران می‌توانند بدون محدودیت عوامل جدیدی را به ساختار اصلی آن اضافه و برآورد مناسب‌تری حاصل نمود. میترا و همکاران (۱۴) با به‌کار بردن تعداد متفاوتی متغیر در سامانه استنتاج فازی، نتیجه گرفتند که این روش، پتانسیل فرسایش خاک را با سهولت و دقت زیادی اندازه‌گیری می‌نماید. همچنین آنها نتیجه گرفتند روش سامانه استنتاج فازی کم هزینه می‌باشد، لذا برای کشورهای در حال توسعه که اطلاعات رقومی در اختیار ندارند به‌عنوان یک تکنیک سودمند می‌باشد. پژوهش (۱) در بررسی عامل فرسایش‌پذیری خاک و تخمین بار رسوب در حوضه زاینده

بارندگی (50 mm h^{-1}) ، با استفاده از ۵ روش استنتاج فازی، و همچنین میانگین مربعات خطا برای چهار حالت شیب-شدت بارندگی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود برای هر ۴ حالت فرسایش پاشمانی در نظر گرفته شده، هر ۵ روش با میانگین مربعات خطای کم و در نتیجه دقت زیاد قادر به برآورد فرسایش پاشمانی در این منطقه می‌باشند. اما از بین ۵ روش، در مجموع روش ۳ دارای میانگین مربعات خطای کمتر و دقت زیادتری بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که فرسایش پاشمانی توسط پارامترهای شیب، شدت بارندگی، میانگین وزنی قطر، مقاومت برشی سطحی، شن ریز و سیلت درشت به‌خوبی و با دقت زیاد برآورد می‌شود. همچنین این نتایج نشان داد که روش سامانه استنتاج فازی می‌تواند با استفاده از متغیرهای زبانی (کم، متوسط، زیاد) برآورد کمی از داده‌ها ارائه نماید، به‌عبارت دیگر این روش به‌طور همزمان قادر به بیان اطلاعات عددی و زبانی می‌باشد. سامانه استنتاج فازی می‌تواند

از سیستم استنتاج فازی در بخشی از حوضه آبخیز کارون با کاربری‌های مختلف شامل کشاورزی، دیم، مرتع و مرتع تخریب شده صورت گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که فرسایش پاشمانی به‌وسیله پارامترهای شیب، شدت بارندگی، میانگین وزنی قطر، مقاومت برشی سطحی، شن ریز و سیلت درشت به‌خوبی و با دقت زیاد برآورد می‌شود. نتایج نشان داد که، مدلی که از مرکز ثقل برای غیرفازی‌سازی و عملگرهای مینیمم، ماکزیمم، حاصل‌ضرب و ماکزیمم، که به‌ترتیب جایگزین اجتماع، اشتراک، استلزام و انبوهش می‌شوند، استفاده می‌نماید، نسبت به روش‌های دیگر برآورد فرسایش پاشمانی خاک، دقیق‌تر می‌باشد. بنابراین از روش مدل‌سازی با استفاده از سیستم استنتاج فازی هنگامی که اطلاعات کافی بر حسب نظرات افراد خبره (به‌صورت قواعد اگر-آنگاه) موجود باشد، می‌توان برای فرسایش پاشمانی این منطقه و مناطق مشابه استفاده نمود.

رودعلیا از دقت زیاد تکنیک فازی بهره گرفتند. شکل ۳ نقشه فرسایش پاشمانی برای چهار حالت از شیب و شدت بارندگی منطقه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل، نیز دیده می‌شود با تغییر شیب- شدت بارندگی، کلاس فرسایش پاشمانی نیز تغییر و روند افزایشی پیدا می‌نماید. فرسایش پاشمانی منطقه مورد مطالعه در شیب ۵٪ و شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در اکثر مشاهدات در کلاس فرسایشی کم، در شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت برخی مشاهدات در کلاس کم و برخی در کلاس متوسط، در شیب ۵٪ و شدت بارندگی ۸۰ میلی‌متر بر ساعت نیز اکثر مشاهدات در کلاس متوسط و در شیب ۱۵٪ و شدت بارندگی ۸۰ میلی‌متر بر ساعت اکثر مشاهدات در کلاس زیاد و برخی در کلاس متوسط فرسایش پاشمانی قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور مدل‌سازی فرسایش پاشمانی با استفاده

منابع مورد استفاده

۱. پژوهش، م. ۱۳۹۰. بررسی عامل فرسایش‌پذیری خاک و مدل‌سازی بار رسوب با استفاده از رگرسیون آماری، رگرسیون فازی و سامانه استنتاج فازی در حوضه سد زاینده‌رود. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۲. قدوسی، ج. ۱۳۸۲. الگوسازی مرفولوژی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر آن- مطالعه موردی حوضه آبخیز زنجان رود. پایان‌نامه دکتری آبخیزداری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۳. معتمد وزیری، ب.، ح. احمدی، م. مهدوی، ف. شریفی و ن. جواهری. ۱۳۸۸. بررسی امکان مدل‌سازی بار معلق رودخانه با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زنجان‌رود). مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران) ۶۲: ۲۸۳-۲۹۸.
۴. یمانی، م.، ا. دادرسی و ز. داورزنی. ۱۳۸۴. پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبخیز داورزن با استفاده از الگوهای منطق فازی. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای ۵: ۱۸۵-۲۰۰.
5. Bardossy, A. and L. Duckstein. 1995. Fuzzy rule based modeling with application to geophysical, biological and engineering systems. CRC Press, Boca Raton.
6. Dutta, D., J. R. Rao and R. N. Tiwari. 1992. Sensitivity analysis in fuzzy linear fractional programming problem. Fuzzy Set Syst. 48: 211-216.
7. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.), Method of Soil Analysis: Part 1. In: Agronomy Handbook No 9, SSSA, ASA, Madison, WI. 383-411.
8. Gupta, P. and D. Bhatia. 2001. Sensitivity analysis in fuzzy multi-objective linear fractional programming problem.

- Fuzzy Set Syst. 122: 229-236.
9. Ghahramani, A., Y. Ishikawa, T. Gomi, K. Shiraki, S. Miyat. 2011. Effect of ground cover on splash and sheetwash erosion over a steep forested hillslope: A plot-scale study. *Catena*. 85: 34-47.
 10. Jomaa ,S., D. A. Barry, A. Brovelli, B. C. P. Heng , G. C. Sander, J. Y. Parlange and C. W. Rose. 2012. Rain splash soil erosion estimation in the presence of rock fragments. *Catena*. 92: 38-48.
 11. Khalili Moghadam, B., M. Jabarifar, M. Bagheri and E. Shahbazi. 2015. Effects of land use change on soil splash erosion in the semi-arid region of Iran. *Geoderma*. 241:210-220.
 12. Kheirfam, B. and F. Hasani. 2010. Sensitivity analysis for fuzzy linear programming problems with fuzzy variables. *Advanced Modeling and Optimization*. 12: 257-272.
 13. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. PP. 437-474 *In: Bigham JM., and Bartels JM. (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 3, Chemical Methods, SSSA, ASA, Madison, WI.*
 14. Mitra, B., H. D. Scott and J. M. McKimmey. 1998. Applications of fuzzy logic to the prediction of soil erosion in a large watershed. *Geoderma*. 86: 183-209.
 15. Moss, A. J., P. Green. 1983. Movement of solids in air and water by raindrop impact. Effects of drop-size and water depth variations. *Aust. J. Soil. Res.* 21: 257-269.
 16. Mukaidono, M. 2001. *Fuzzy Logic for Beginners*. Word Scientific. pp 103.
 17. Nelson, D.W. and L. E. Sommer. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter *In: A.L. page(Ed.), Methods of Soil Analysis. 2nd ed., ASA Monogr. Amer. Soc. Agron. Madison. 9: 539-579.*
 18. Planchon, O., M. Esteves, N. Silvera, J. M. Lapetite. 2000. Raindrop erosion of tillage induced microrelief: Possible use of the diffusion equation. *Soil Till. Res.* 56: 131-144.
 19. Poesen, J., D. Torri. 1988. The effect of cup size on splash detachment and transport measurements: part I: field measurements. *Catena*. 12: 113-126.
 20. Sharma, P. P., S. C. Gupta, W. J. Rawls. 1991. Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 301-307.
 21. Soil Survey Staff. 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
 22. Tayfur, G., S. Ozdemir and V. Singh. 2003. Fuzzy logic algorithm for runoff-induced sediment transport from bare soil surfaces. *Journal of Advances in Water Resources*. 26: 1249-1256.
 23. Tran, L. T., and L. Duckstein. 2001. Fuzzy Regression with central tendency and possibilistic properties. *Fuzzy Set Syst. Catena*. 47: 305-322.

Modeling of Splash Erosion using Fuzzy Logic Approach in Part of Northern Karoon Basin

M. Jabarifar¹, B. Khalili Moghadam^{1*} and M. Bagheri Bodaghabadi²

(Received: Oct. 28-2014 ; Accepted : Jan. 1-2016)

Abstract

Splash erosion is one of the most important water erosion types, causing initiation of other types of water erosion. The objective of this study is to model the splash erosion using fuzzy logic approach in part of northern Karoon basin. The major land usage in the area are irrigated farming, dry land farming, pasture and degraded pasture. For the purposes of this study, soil properties including organic matter; CaCO₃; surface shear strength (SSS); particle size distribution; mean weight diameter (MWD) and soil splash erosion were measured under four different slope conditions (S:%) and rainfall intensity (RI:mm.h-1): 5-50, 5-80, 15-50, 15-80, respectively, using multiple splash sets (MSS) at 80 different locations. Splash erosion was modeled based on combinational rule of inference under five conditions for selection of different operators. The efficiency of the models was evaluated using mean square error (MSE) between observed and estimated values. Results revealed that all models are capable of predicting splash erosion. Also slope, rainfall intensity, MWD, SSS, fine sand and coarse silt attributes were found to be appropriately and precisely using splash erosion.

Keywords: Modeling, Rainfall erosion, Zagros, Fuzzy logic.

1. Dept. of Soil Sci., Ramin Agric. and Natural Resour. Univ. of Khozestan, Ahvaz, Iran.

2. Dept. of Geography, Islamic Azad Univ., Najafabad, Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: moghaddam623@yahoo.ie