

مقاله علمی-پژوهشی

## پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش خندقی با استفاده از منطق فازی (حوزه آبخیز قلعه گرگ شوشتر)

محمد رضا انصاری<sup>۱\*</sup> - فریدون سلیمانی<sup>۲</sup> - علیرضا احمدی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

### چکیده

در اثر فرسایش خاک، مهم‌ترین منبع تولید مایحتاج بشر از بین می‌رود. به همین سبب، لزوم انجام تحقیقات بنیادی و کاربردی در زمینه ارزیابی فرسایش خاک به روش‌های مختلف در راستای مدیریت جامع منابع طبیعی بیش از پیش مورد تاکید قرار گرفته است. هدف از این پژوهش کاربرد عمل‌گرهای منطق فازی در پهنه‌بندی فرسایش خندقی در حوزه آبخیز قلعه گرگ واقع در شهرستان شوشتر می‌باشد. در این پژوهش میزان شش متغیر تأثیرگذار در فرسایش خاک شامل: میانگین وزنی قطر خاکدانه، سدیم قابل جذب، شوری، شن‌ریز، سیلت و رس خاک مطابق روش‌های استاندارد آزمایشگاهی تعیین گردید. سپس کلاس‌بندی مجدد و استانداردسازی لایه‌ها به روش فازی انجام و لایه‌های فازی شده با استفاده از عمل‌گرهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و گامای فازی ۰/۲، ۰/۵، ۰/۸ و ۰/۹ با یکدیگر تلفیق و نتایج حاصله مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان جهت اعتبارسنجی نقشه‌های تهیه شده، از دو روش درصد تطابق نقشه مناطق دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد با نقشه خندق‌های منطقه و شاخص مجموع کیفیت (QS) استفاده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و با در نظر گرفتن مساحت پهنه‌های مختلف و میزان درصد خندق‌های رخ داده در هر یک از آنها، گامای فازی ۰/۹ با دارا بودن بیشترین میزان شاخص مجموع کیفیت (۰/۷۳) در بین عمل‌گرهای مختلف، همچنین ۹۴/۹۳ درصد تطابق نقشه خندق‌های منطقه با مناطق حساسیت خیلی زیاد و زیاد به‌عنوان بهترین روش جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید.

### واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، فرسایش خندقی، لایه‌های فازی، عمل‌گر فازی

### مقدمه

مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی نیز با ایجاد تغییرات اساسی در شرایط هیدرولوژیکی طبیعی حوزه‌های آبخیز، زمینه ساز و تشدید کننده ایجاد فرسایش خندقی می‌باشند (۵).

در پژوهشی که توسط مارزولف و پوزن (۱۷) در زمینه شناسایی مناطق دارای پتانسیل فرسایش خندقی در اسپانیا انجام گرفته است نتایج حاکی از آن است که مناطق خشک و نیمه خشک و خاک‌هایی با بافت سبک و لسی و سازند ضعیف دارای پتانسیل بالایی در خندق‌زایی می‌باشند. با توجه به افزایش سریع فرسایش خاک و تأثیر بسزایی که فرسایش خندقی به عنوان بدترین شکل تخریب خاک دارد برای تسهیل و افزایش دقت در خصوص تحقیقات مرتبط با فرسایش خاک لزوم بررسی خواص و مشخصات خاک با استفاده از تکنیک‌های

در کشور ایران فرسایش خندقی از این جهت حائز اهمیت است که حدود ۹۰ درصد از کشور دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و بارندگی در این مناطق از پراکنش زمانی مناسب برخوردار نمی‌باشد. در چنین شرایطی نبود یا کمبود پوشش گیاهی همراه با افزایش رواناب موجب از بین رفتن بیش از ۲/۵ میلیارد تن خاک در سال را فراهم می‌کند (۱). اصلی‌ترین عوامل تشکیل خندق وجود جریان متمرکز رواناب در سطح خاک یا فرسایش زیر زمینی و ریزش سقف این نوع فرسایش است که شرایط توپوگرافی و زمین شناسی تعیین کننده این دو عامل است (۲۱ و ۳۱). از طرفی عوامل انسانی مانند تغییر کاربری زمین، تخریب جنگل‌ها و مراتع، کاهش پوشش گیاهی و گسترش

۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۱ و ۳- به‌ترتیب استادیار و کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ایران  
(\*- نویسنده مسئول: Email: ansari386@yahoo.com)

منطقه بدلدن را محاسبه نموده و با استفاده از رابطه تجربی مدلی که بیشترین مقدار احتمال تجربی را داشته باشد به عنوان بهترین مدل انتخاب نمودند.

در این تحقیق با توجه به اینکه فرسایش خندقی و تغییر کاربری اراضی در حوزه قلعه گرگ به نسبت زیاد بوده و وجود شرایط خاص ژئومورفولوژیکی و توپوگرافیکی (شامل طبقات شیب: ۲-۰، ۵-۲، ۸-۵، ۱۲-۸، ۲۰-۱۲، ۳۰-۲۰ و ۶۰-۳۰ درصد، و واقع شدن بیشتر مناطق فرسایشی در شیب ۵-۰ درصد و در قسمت رسوبات کواترنر حوضه حاصل از تجمع مواد آبرفتی مناطق بالادست) سبب به وجود آمدن اشکال مختلف فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه گردیده لزوم انجام این پژوهش و ارایه راهکارهای نوین در این خصوص ضروریست. هدف از این پژوهش کاربرد عمل‌گرهای منطق فازی در ارزیابی پهنه‌بندی فرسایش خندقی می‌باشد تا با بررسی تعدادی از متغیرهای مؤثر شامل: میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD)، سدیم قابل جذب، شوری، شن ریز، سیلت و رس خاک همچنین لایه‌های شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی حوزه مناطق با پتانسیل بالای خندق‌زایی شناسایی و تعیین گردد. ملاک و معیار انتخاب این پارامترها بر اساس بازدید میدانی و مشاهده عینی آثار شوری و قلیائیت و همچنین لیتولوژی منطقه (سازند آغاجاری و رسوبات کواترنر که عمدتاً رسوبات ریزدانه و حساس به فرسایش می‌باشند) بوده است. همچنین در این تحقیق استعداد، پتانسیل و پهنه‌بندی مناطق حساس به فرسایش با توجه به پارامترهای خاص ذاتی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد پژوهش

پژوهش صورت گرفته در زمستان ۱۳۹۶ درحوزه آبخیز قلعه گرگ یکی از زیرحوضه‌های شهید مدرس در استان خوزستان به مساحت ۵/۶۳۲۷ هکتار در ۶۵ کیلومتری شمال شرق اهواز در بخش قلعه گرگ شهرستان شوشتر صورت گرفت. این حوضه در محدوده جغرافیایی ۳۵° ۳۰' ۴۹" تا ۵۹° ۱۲' ۴۹" طول شرقی و ۴۹° ۴۲' ۳۱" تا ۴۷° ۲۸' ۳۱" عرض شمالی واقع شده است. اقلیم منطقه طبق روش دومارتن نیمه خشک و گرم تا خشک و گرم بوده و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به ترتیب یوستیک و هایپرترمیک می‌باشند.

حوضه مورد مطالعه از جنوب و غرب به جاده اهواز-مسجد سلیمان و رودخانه گرگر و از شمال و شرق به ارتفاعات محدود می‌گردد. این حوضه جزء حوزه‌های آبخیز رودخانه گرگر (شاخه‌ای از رودخانه کارون) محسوب می‌گردد.

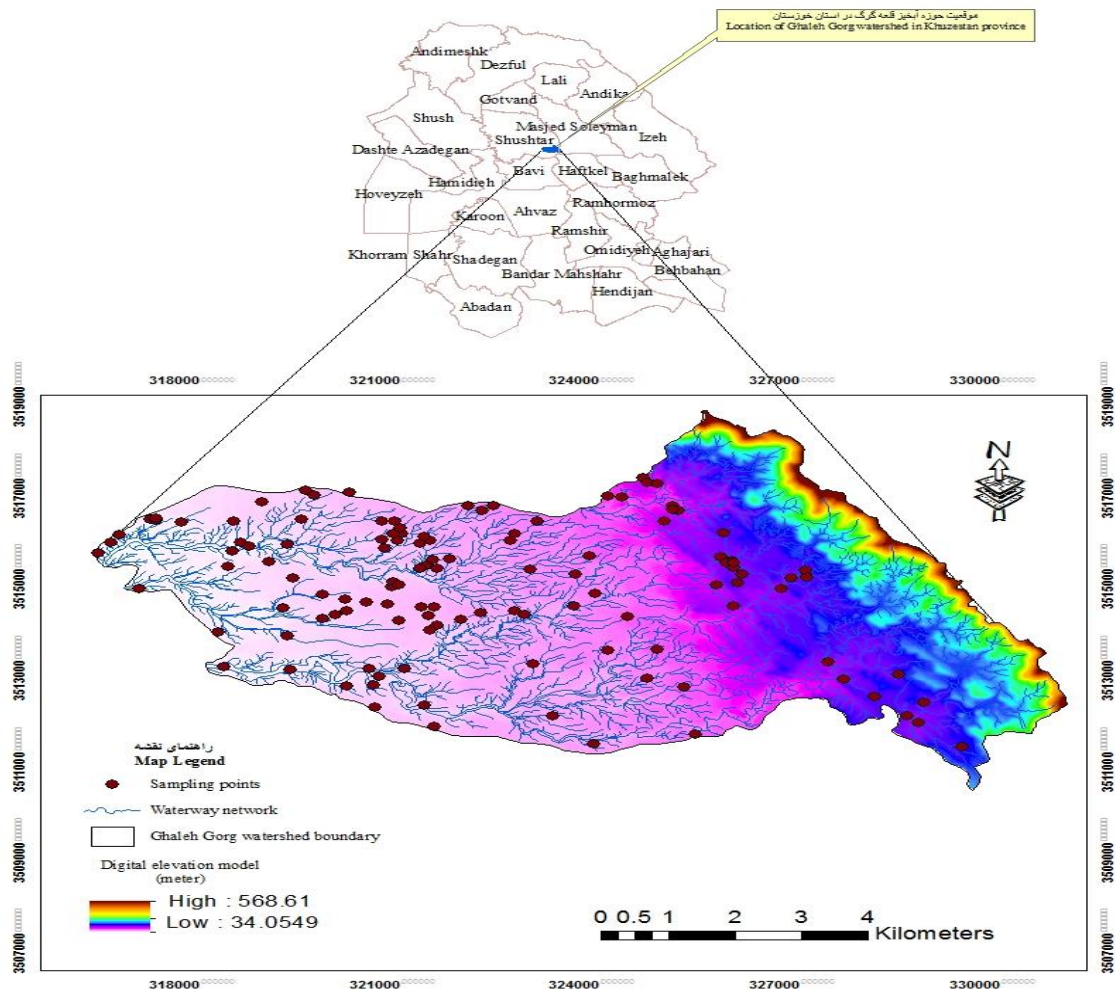
جدید جهت جلوگیری از تخریب فاجعه بار زمین لازم می‌باشد (۳). در نتایج حاصل از مطالعات انجام گرفته در خصوص فرسایش خندقی حوضه دهدشت مشخص گردید تراکم خندق‌ها در منطقه بسیار بالاست و هدایت الکتریکی در بیش از ۹۵ درصد خندق‌ها در افق‌های پایینی بیش‌تر است. همچنین پایداری خاکدانه‌ها به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار در فرسایش بیانگر توانایی خاک در حفظ اندازه خاکدانه‌ها در برابر نیروهای خارجی است. پایداری اندک خاکدانه‌ها باعث تخریب آسان آن‌ها، تراکم خاک، ایجاد سله، کاهش سرعت نفوذ آب به خاک، افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود (۲۵).

عوامل گستره آبخیز، درصد سیلت و شن ریز، باتوجه به معادلات به دست آمده به ترتیب جزء مهم‌ترین عوامل در گسترش فرسایش خندقی و تولید رسوب در منطقه دشت کهور می‌باشد (۳۳). مهم‌ترین عوامل در گسترش خندق‌های حوضه شهید مدرس شوشتر (زیرحوضه آبخیز هدام)، گستره و شیب خندق، درصد سیلت، درصد خاک لخت، بالا بودن شوری خاک و میزان سدیم بالا می‌باشد، که این عوامل در کنار فقر پوشش گیاهی بستر بسیار مناسبی برای پیشروی طولی خندق‌ها ایجاد کرده‌اند (۲۹).

امروزه روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند وجود دارد تفاوت عمده این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبه است. پژوهشگران اندکی از جمله راهی و همکاران (۲۳)؛ انتظاری و همکاران (۷)؛ صبح زاهدی و همکاران (۲۸) و شادفر (۲۴) با استفاده از تکنیک‌های نوین همانند شاخص همپوشانی، عمل‌گرهای فازی و یا تحلیل سلسله مراتبی به ارزیابی و پهنه‌بندی فرسایش خندقی در بعضی مناطق کشور پرداخته‌اند. متولی و اسماعیلی (۱۹) بیان نمودند برای پهنه‌بندی به روش فازی، تشکیل لایه فازی هر عامل بر اساس مقدار عضویت آن در نقاط مختلف و ترکیب امتیاز عوامل با استفاده از عمل‌گر جمع، ضرب و گامای فازی انجام می‌گیرد و سطح منطقه بر اساس میزان خطر بین صفر و یک امتیازدهی می‌گردد.

اسفندیاری درآباد و همکاران (۹) در پژوهشی به بررسی قابلیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل منطق فازی در حوضه سد گلستان، رودخانه قرناوه پرداختند. برای پهنه‌بندی از توان‌های مختلف عمل‌گر گامای فازی استفاده شد. نتایج نشان داد که گامای ۰/۸ بیشترین قابلیت را نسبت به دو عمل‌گر ۰/۷ و ۰/۹ دارد و نقشه نهایی بدست آمده ۳۸ درصد از زمین‌های منطقه را با حساسیت زیاد و خیلی زیاد برای فرسایش خندقی نشان داده است.

جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳) برای ارزیابی روش‌های استفاده شده در پهنه‌بندی مناطق بدلدن جاجرود، نقشه پهنه‌بندی خندق‌ها در هر مدل را به روی نقشه اصلی پهنه‌بندی منطقه پراکنش بدلدن‌ها قرار داده و در طبقات مختلف پهنه‌بندی مقدار سطح خندق‌ها به سطح کل



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش در استان خوزستان  
Figure 1- Location of studied area in Khuzestan Province

مطالعات پیشین و همچنین بررسی روند تغییرات خندق‌های منطقه به کمک تصاویر ماهواره‌ای موجود در یک دوره ۱۷ ساله (۱۳۷۹ الی ۱۳۹۶)، برای نمونه‌برداری پس از مراجعه به منطقه مورد مطالعه و بازدیدهای میدانی از عوارض و خندق‌های موجود با توجه به مختصات تعیین شده توسط دستگاه GPS ضمن بررسی و تعیین مناطق مورد نظر تعداد ۱۲۴ نمونه (به روش نمونه‌برداری ناحیه‌بندی شده) از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک برداشت گردید. در هر واحد کاری نمونه‌ها از قسمت سرخندق‌ها و سایر مناطق با کاربری‌های مختلف برداشت گردید. در روش نمونه‌برداری لایه‌بندی شده (ناحیه‌بندی شده) ابتدا منطقه به واحدهای کاری مورد نیاز تقسیم و سپس نمونه‌برداری در هر زیر بخش بصورت تصادفی انجام پذیرفت. در این روش باتوجه به نوع پراکنش، منطقه مورد مطالعه می‌تواند، به زیر بخش‌هایی با مساحت

از دیدگاه زمین‌شناسی شامل ۵۶/۵۶ درصد رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای و دشت سیلابی دوران عهد حاضر یا کواترنر در قسمت غرب تا مرکز و ۴۳/۴ درصد آن را سازند آغاچاری در شرق منطقه می‌باشد. میانگین بارندگی در منطقه بطور متوسط ۲۹۵/۲ میلی‌متر، میانگین درجه حرارت ۲۶/۷ درجه سانتی‌گراد و مقدار رطوبت نسبی منطقه ۳۹ درصد می‌باشد. شکل ۱ موقعیت مکانی حوزه آبخیز قلعه گرگ در استان خوزستان را نشان می‌دهد.

### روش کار

در این پژوهش ابتدا با تلفیق نقشه‌های شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 نقشه واحدهای کاری همگن با مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ تهیه گردید. سپس با استفاده از

در روش جمع جبری فازی ترکیب عوامل اثر افزایشی خواهد داشت به عبارت دیگر عوامل یکدیگر را تقویت می کنند. معادله جمع جبری فازی به شکل زیر بیان می گردد (۲۷ و ۳۴).

$$\mu_{Combination} = 1 - \left( \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right) \quad (۱)$$

که در این رابطه  $\mu_i$  بیانگر مقدار عضویت در نقشه فاکتور  $i$  ام است. در عمل گر ضرب فازی برعکس عمل گر جمع فازی مقادیر عضویت در نقشه خروجی کوچک شده و به سمت صفر میل می کند. به عبارت دیگر با توجه به ضرب مقادیر کوچک در هم، ترکیب عوامل اثر کاهش می خواهند داشت. معادله ضرب فازی به صورت زیر بیان می گردد.

$$\mu_{Combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (۲)$$

که در این رابطه  $\mu_i$  بیانگر مقدار عضویت در نقشه فاکتور  $i$  ام است. با توجه به اشکالات دو عمل گر قبلی و با در نظر گرفتن اختلاف فاحش بین نتیجه استفاده از عمل گرهای جمع جبری و ضرب جبری فازی و یا به عبارتی جهت تعدیل حساسیت خیلی بالای اپراتور ضرب فازی و حساسیت خیلی کم اپراتور جمع جبری فازی از اپراتور گامای فازی نیز استفاده شده است که روابط این عمل گر به صورت زیر بیان می گردد.

رابطه (۳)

$$\mu_{Combination} = (Fuzzy Sum)^Y \times (Fuzzy Product)^{1-Y}$$

در این رابطه  $\mu_{combination}$  لایه حاصل از گاما می باشد و  $Y$  در محدوده بین صفر و ۱ انتخاب می شود.

در این پژوهش با توجه به اثرات مستقیم و متقابل شوری و قلیائیت در پایداری خاکدانه، ابتدا لایه های مذکور در محیط ArcMap با هم تلفیق شده و به ۴ کلاس شوری و قلیائیت شامل:  $(EC < 4)$  و  $(SAR < 13 - EC > 4)$ ،  $(SAR > 13 - EC < 4)$ ،  $(SAR < 13 - EC > 4)$  طبقه بندی مجدد شدند. سپس نقشه فازی لایه تلفیقی تهیه گردید. پس از تهیه لایه های فازی شده، از عملگرهای فازی جهت تلفیق نقشه ها استفاده گردید. سپس نقشه های تهیه شده در هر عملگر، در پنج طبقه خطر (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) کلاس بندی مجدد شدند. این روش تلفیق می تواند از دقت و اعتبارسنجی بالاتری نسبت به استفاده مجزای دو نقشه شوری و قلیائیت باشد.

### اعتبارسنجی

جهت اعتبارسنجی میزان صحت و دقت نقشه های بدست آمده از دو روش درصد تطابق نقشه مناطق دارای حساسیت خیلی زیاد و زیاد با نقشه خندق های منطقه و شاخص مجموع کیفیت استفاده شده است. در هر کدام از روش های فازی بکاربرده شده ابتدا با مقایسه

یکنواخت یا غیریکنواخت تقسیم گردد. جهت رعایت شرایط تخمین با استفاده از محدودیت شعاع جستجو می بایست در جهاتی که تغییرپذیری بیشتر است، تراکم نمونه برداری نیز بیشتر باشد (۱۴). به همین جهت تعداد نقاط نمونه برداری شده در قسمت مرکز تا غرب منطقه مورد مطالعه با توجه به تراکم خندق ها در این منطقه و فرسایشی بودن سازند موجود با تراکم بیشتر و در قسمت شرق منطقه با توجه به کوهستانی بودن تعداد محدودتری نمونه برداشت شد. سپس نمونه های خاک به آزمایشگاه منتقل و در آنجا میزان پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک شامل درصد رس و سیلت (به روش هیدرومتر)، شن ریز (الک خشک)، میانگین وزنی قطر خاکدانه (الک تر)، نسبت جذب سدیم (فلیم فتومتر و تیتراسیون) و هدایت الکتریکی (EC سنج) اندازه گیری شد. پس از تعیین میزان پارامترهای مدنظر، هر کدام از این پارامترها در محیط نرم افزار ArcMap به روش های متداول درونیابی، سپس لایه های رستری مدنظر برای تک تک پارامترهای شش گانه مذکور و همچنین سه فاکتور شیب، کاربری اراضی و زمین شناسی تهیه گردید. جهت درون یابی پارامترهای میانگین وزنی قطر خاک دانه، سدیم قابل جذب، شوری، درصد شن ریز، سیلت و رس خاک به ترتیب از روش کریجینگ معمولی با مدل پایدار، کریجینگ معمولی با مدل گوسین، کریجینگ معمولی با مدل کروی و در خصوص سه متغیر دیگر کریجینگ معمولی با مدل نمایی به عنوان بهترین روش میان یابی تعیین گردید. نقشه شیب از مدل رقمی ارتفاعی و نقشه های کاربری اراضی و زمین شناسی از تفسیر عکس های هوایی و ماهواره ای، عملیات میدانی و همچنین گزارشات مطالعات آبخیزداری و منابع طبیعی تهیه شدند.

### استانداردسازی و فازی سازی لایه ها

برای پهنه بندی به روش فازی، ابتدا لایه های رستری بر اساس روابط موجود به لایه های فازی تبدیل گردید. در این روش در هر یک از ۹ متغیر موردنظر (شامل سیلت، رس، شن ریز، میانگین وزنی قطر خاکدانه، شوری، نسبت جذب سدیم، شیب، کاربری اراضی و زمین شناسی) ابتدا مدل فازی تغییرات آن عامل با توجه به شدت تاثیر آن متغیر در روند تشکیل خندق تعریف شده سپس بر اساس نوع مدل های تعریف شده توابع عضویت فازی، مقادیر هر عامل را بر اساس میزان رابطه با تشکیل خندق به صورت یک تابع پیوسته بین صفر و یک تعیین گردید. در این روش برای هر عامل یک تابع عضویت تعریف می گردد (۴). تابع عضویت هر عامل به صورتی تعریف شد که با افزایش احتمال تشکیل خندق مقدار عضویت عامل به عدد یک نزدیک و با کاهش احتمال تشکیل خندق مقدار عضویت به عدد صفر نزدیک می گردد (۸). پس از فازی سازی، لایه ها با استفاده از سه عمل گر جمع جبری، ضرب جبری و گامای فازی با هم تلفیق شدند.

همبستگی بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل (میزان رس، سیلت، شن ریز، میزان شوری، نسبت سدیم قابل جذب) با استفاده از رابطه همبستگی پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفته و مشاهده شد برخلاف خاصیت ذاتی رس‌ها، در این منطقه رس اثر کاهشی بر پایداری خاکدانه داشته است. علت آن را می‌توان نوع کانی‌های رس (تورم پذیر) و همبستگی مثبت رس با شوری خاک بیان نمود. در مکان‌هایی که میزان رس افزایش یافته، میزان شوری خاک نیز در آن نقطه روند افزایشی داشته است. از طرفی در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد بین میزان شوری خاک و نسبت جذب سدیم نیز همبستگی مثبت معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد. این همبستگی بدین معنی است که نمک‌های موجود در منطقه از نوع با کاتیون غالب از جمله سدیم می‌باشد. افزایش کاتیون سدیم در خاک باعث پراکنده شدن ذرات رس و افزایش ناپایداری خاکدانه‌ها می‌گردد. این نتیجه با نتایج بدست آمده توسط محققین دیگر همچون آرمین و همکاران (۲)، محمدابراهیمی و همکاران (۱۸)، دیمویانیس (۶) و آیدووا (۱۲) مطابقت دارد.

با توجه به میزان اثرگذاری هر لایه در گسترش فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه استانداردسازی لایه‌های خاک (سیلت، رس، شن ریز، پایداری خاکدانه، شوری و نسبت جذب سدیم) و عوامل محیطی (شیب، کاربری اراضی و زمین‌شناسی) با استفاده از روش کلاس‌بندی مجدد تهیه گردید. نتایج حاصل از فازی‌سازی لایه‌های رستری بدست آمده نشان از تجمع نسبی ذرات سیلت، رس و شن ریز در قسمت‌های میانی تا غربی منطقه دارد که این امر بدلیل شسته شدن و تجمع ذرات خاک سازند آغاچاری با شیب زیاد ( $>20^\circ$ ) درصد و نهشته شدن این رسوبات در محیطی با شیب ۵-۰ درصد در قسمت میانی و غربی حوضه می‌باشد.

مساحت هر طبقه نسبت به مساحت کل منطقه درصد مساحت هر طبقه را بدست آورده سپس با تقسیم مساحت خندق‌های موجود در هر طبقه به کل خندق‌های منطقه نیز درصد خندق‌ها محاسبه گردید. با مقایسه نتایج بدست آمده، نقشه‌ای که بیشترین درصد خندق‌ها در طبقات بالاتر از متوسط (زیاد و خیلی زیاد) قرار گرفته‌اند، و بیشترین شباهت بین نقشه تهیه شده و واقعیت منطقه را نشان می‌دهد به‌عنوان بهترین نقشه انتخاب گردید (۲۴ و ۲۷). پژوهشگران متعددی (۲۴،۲۶) و (۳۲) برای ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خندق از شاخص مجموع کیفیت استفاده کرده‌اند. رابطه شاخص مجموع کیفیت ( $Q_s$ ) به شرح زیر می‌باشد.

$$Q_s = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 * S \quad \text{رابطه (۴)}$$

$Dr$ : نسبت مساحت خندق در هر رده خطر به مساحت هر یک از پهنه‌های خطر به نسبت مساحت کل خندق به سطح کل حوضه مطالعه شده می‌باشد. هر چه  $Dr$  یک طبقه خطر بیشتر باشد نشان دهنده تراکم خندق بیشتر در آن طبقه نسبت به تراکم متوسط منطقه است. بنابراین هر چه پهنه‌بندی خطر دقیق‌تر باشد با افزایش خطر تشکیل خندق در پهنه‌های تفکیک شده (از پهنه خطر خیلی کم تا بسیار پرخطر) مقدار  $Dr$  افزایش می‌یابد (۱۹).

$S$ : نسبت مساحت هر پهنه خندق به مساحت کل منطقه  
 $n$ : تعداد رده‌های خطر

شایان ذکر است هرچه میزان  $Q_s$  بیشتر باشد بیانگر این است که مدل مدنظر کارایی بیشتری در منطقه دارد و اختلاف کمتر از ۰/۱ در این شاخص بیان‌کننده دقت مشابه دو مدل می‌باشد (۳۲).

## نتایج و بحث

جدول ۱- آنالیز همبستگی داده‌های آزمایشگاهی

Table 1- Analyze of laboratory data correlation

پارامتر Parameter	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) mm	سیلت Silt %	رس Clay %	شن ریز Fine sand %	شوری (EC) dS m <sup>-1</sup>	نسبت جذب سدیم (SAR) (mmoles L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)	1					
سیلت (Silt)	-0.2*	1				
رس (Clay)	-0.18*	-0.33**	1			
شن ریز (Fine sand)	-0.44**	-0.04	0.19*	1		
شوری (EC)	-0.65**	0.08	0.23**	0.59**	1	
نسبت جذب سدیم (SAR)	-0.69**	0.14	0.25**	0.32**	0.63**	1

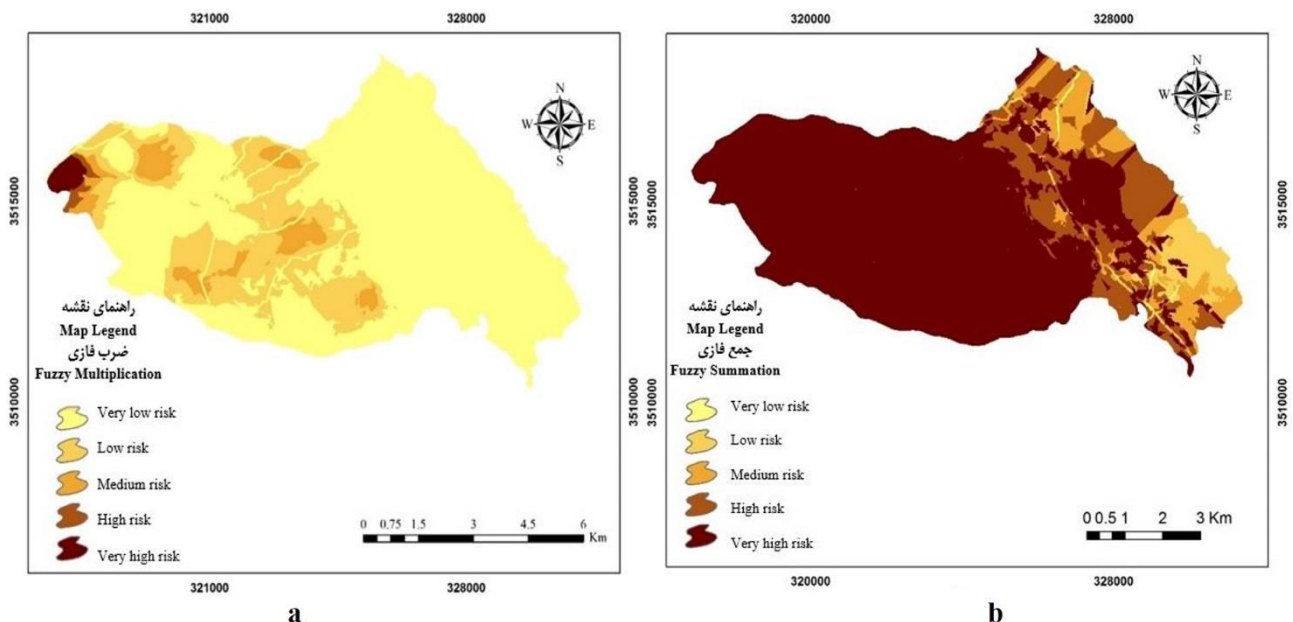
\*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد (Significant at the 0.05 level) \*\*: معنی‌دار در سطح ۱ درصد (Significant at the 0.01 level)

آن در طبقات خطر کم و بسیار کم قرار گرفته است. با توجه به اینکه ۸۲/۸۸ درصد خندق‌ها در این روش در منطقه در معرض خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته‌اند، می‌توان تا حدودی این روش را روشی مناسب جهت تهیه نقشه نهایی فازی در نظر گرفت. شادفر (۲۴)، شهاب ارخالزو و همکاران (۲۶) در پژوهش‌های صورت گرفته گامی ۰/۸ را روش مناسب جهت تهیه نقشه فازی در منطقه مورد مطالعه تعیین نمودند. اما در نتایج بدست آمده در روش گامی ۰/۹، میزان ۶۰/۹۲ درصد منطقه در طبقه خطر زیاد و بسیار زیاد و ۱۷/۱ درصد آن در منطقه خطر کم و بسیار کم قرار گرفته است. همچنین در خصوص محدوده پراکنش خندق‌ها، ۹۴/۹۳ درصد از خندق‌های منطقه در طبقات خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است که نسبت به گامی ۰/۸ از نتیجه بهتر و قابل قبول تری برخوردار می‌باشد. با توجه به اینکه ۵۶/۶ درصد منطقه مورد مطالعه در محدوده سازند کواترنر با حساسیت بالا نسبت به فرسایش قرار دارد از محاسبات بدست آمده در جدول ۲ می‌توان نتیجه گرفت در نقشه نهایی به روش گامی فازی ۰/۹ با قرار گرفتن ۶۰/۹۲ درصد منطقه در طبقه خطر زیاد و بسیار زیاد و قرار گرفتن ۹۴/۹۳ درصد خندق‌ها در این منطقه، نزدیک‌ترین نتیجه به ماهیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را دارا است. شهرپور و همکاران (۲۷) و جوکار سرهنگی (۱۳) با استفاده از روش مقایسه درصد و مساحت خندق‌های منطقه با درصد و مساحت طبقات با خطر بسیار زیاد و زیاد استفاده نموده و نتایج مشابهی را گزارش نموده‌اند.

با کاهش شیب در خاک‌های دشت و پست آبرفتی، در سازندهای حساس میزان انحلال و نفوذ آب بیشتر شده و موجب افزایش فرسایش آبی شده است. تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف نشان می‌دهد بیشتر مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی در شیب‌های کم‌تر از ۵ درصد قرار دارند (۱۰، ۲۰ و ۳۳).

نتایج تلفیق لایه‌ها نشان می‌دهد روش جمع جبری فازی به علت اثر افزایشی زیاد و ضرب جبری فازی به علت اثر کاهش‌ی زیادی که دارند روش مناسبی جهت تهیه نقشه نهایی نمی‌باشند. تحقیقات صورت گرفته توسط مددی و همکاران (۱۶)، نیز به همین موضوع اشاره دارد. در خصوص عمل گر گامی فازی ۰/۲ نتایج بدست آمده در مجموع حدود ۱۷/۰۷ درصد منطقه در طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد و ۶۷/۰۷ درصد آن در منطقه کم خطر قرار گرفته است. همچنین ۳۶/۹۴ درصد از خندق‌ها در منطقه دارای خطر زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (شکل ۴). در روش گامی فازی ۰/۵ نتایج بدست آمده در مجموع حدود ۳۱/۱۶ درصد منطقه در طبقه پرخطر و ۵۵/۳۸ درصد آن در منطقه کم خطر قرار گرفته است و تنها ۶۰/۳۸ درصد خندق‌ها در منطقه دارای خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. در نتیجه این دو روش نیز نمی‌توانند روش قابل قبولی جهت تهیه نقشه نهایی فازی باشند.

در خصوص روش گامی ۰/۸ با توجه به نتایج بدست آمده حدود ۴۳/۲۱ درصد منطقه در طبقات خطر زیاد و بسیار زیاد و ۴۲/۴۵ درصد



شکل ۲- نقشه پهنه بندی به روش ضرب (a) و جمع (b) جبری فازی  
Figure 2- Zoning map by fuzzy multiplication (a) and summation (b) method

جدول ۲- درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی به روش‌های مختلف فازی

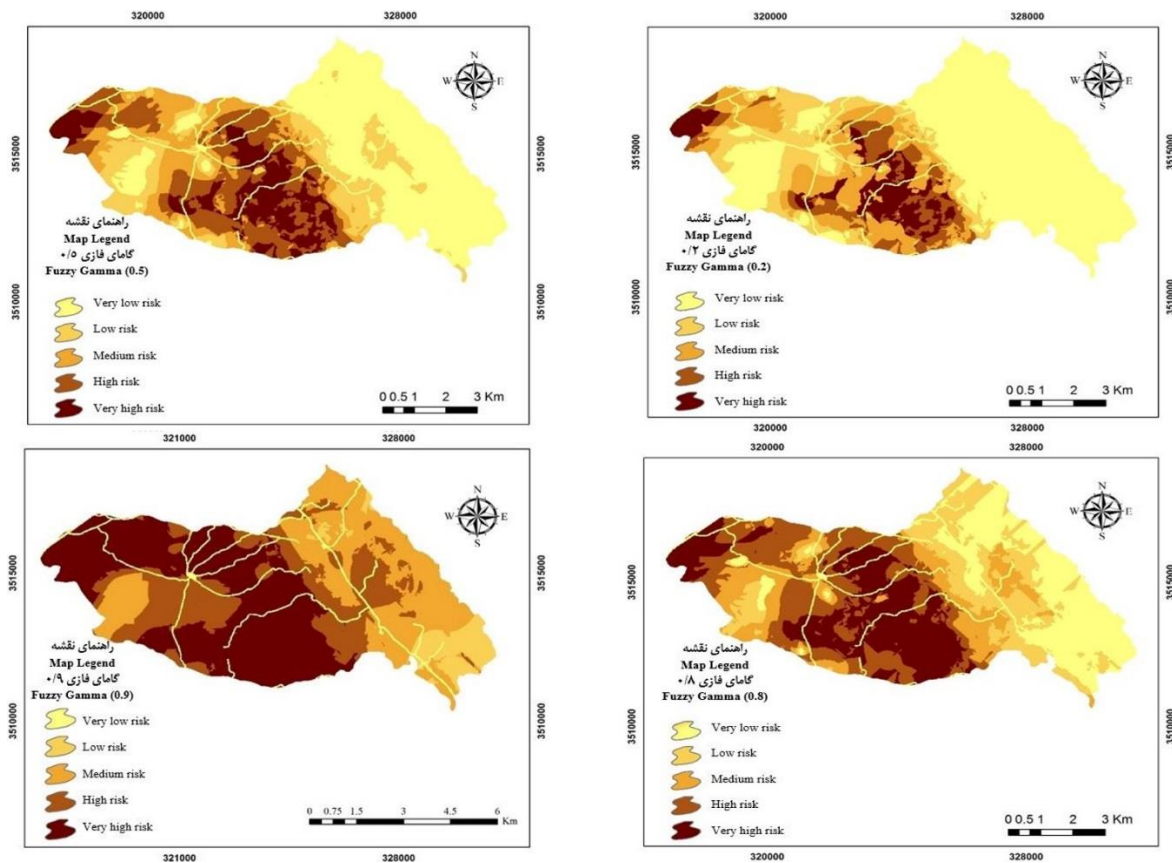
Table 2- The area and percentage of classification of zoning map by different fuzzy methods

طبقات پهنه‌بندی روش و مساحت پهنه بندی	خطر خیلی کم Very low risk	خطر کم Low risk	خطر متوسط Medium risk	خطر زیاد High risk	خطر بسیار زیاد Very high risk
جمع فازی (Summation)	4	24	42	502	5755
ضرب فازی (Multiplication)	4548	1322	350	38	69
مساحت طبقه (هکتار) (Area (ha))					
گاما ۰/۲ (Gamma 0.2)	3388	856	1003	556	524
گاما ۰/۵ (Gamma 0.5)	2563	941	851	1200	313
گاما ۰/۸ (Gamma 0.8)	1189	1497	907	1372	1362
گاما ۰/۹ (Gamma 0.9)	313	769	1390	1272	2583
جمع فازی (Summation)	0.06	0.38	0.66	7.93	90.95
ضرب فازی (Multiplication)	71.88	20.89	5.53	0.6	1.09
درصد طبقات (Class %)					
گاما ۰/۲ (Gamma 0.2)	53.54	13.53	15.85	8.79	8.28
گاما ۰/۵ (Gamma 0.5)	40.51	14.87	13.45	18.96	4.95
گاما ۰/۸ (Gamma 0.8)	18.79	23.66	14.33	21.68	21.53
گاما ۰/۹ (Gamma 0.9)	4.95	12.15	21.97	20.10	40.82
جمع فازی (Summation)	0	0	0	0	100
ضرب فازی (Multiplication)	42.29	42.43	12.10	1.06	2.12
درصد خندق (Gully %)					
گاما ۰/۲ (Gamma 0.2)	12.74	19.30	31.02	18.24	18.70
گاما ۰/۵ (Gamma 0.5)	5.77	13.57	20.27	38.27	1.43
گاما ۰/۸ (Gamma 0.8)	2.72	5.08	9.33	38	44.88
گاما ۰/۹ (Gamma 0.9)	1.43	1.11	2.54	13.67	81.26

بهترین مدل با بالاترین میزان اعتبارسنجی در بین روش‌های به کار گرفته شده انتخاب گردید. نتایج بدست آمده در این تحقیق با نتایج محققین بسیاری از جمله راهی و همکاران (۲۳)، شهاب ارخالو و همکاران (۲۶)، شهرپور و همکاران (۲۷)، تاکسین (۳۰)، لیا او و همکاران (۱۵)، هانگ و همکاران (۱۱) مطابقت دارد.

در نهایت با استفاده از رابطه مجموع کیفیت (Qs) میزان دقت نقشه‌های بدست آمده مورد بررسی قرار گرفت. مقدار Qs برای اپراتورهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی، گامای فازی ۰/۲، ۰/۵، ۰/۸ و ۰/۹ به ترتیب مقادیر ۰/۱، ۰/۴۴، ۰/۵۶، ۰/۶۲، ۰/۶۹ و ۰/۷۳ بدست آمد. در این روش اعتبارسنجی نقشه‌ای که بیشترین مقدار (Qs) را دارا باشد از اعتبار بالاتری برخوردار است (۲۷، ۲۶ و ۳۲). فازی سازی لایه‌ها به روش گامای ۰/۹ با مقدار ۰/۷۳ به عنوان





شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی به روش گامای فازی ۰/۲، ۰/۵، ۰/۸ و ۰/۹  
Figure 3- Zoning map by fuzzy gamma (0.2, 0.5, 0.8 and 0.9)

جدول ۳- مقایسه مساحت مناطق با خطر زیاد و بسیار زیاد و خندق‌های منطقه به روش‌های مختلف فازی

Table 3- Comparison of area with high and very high risk location and gully location by different Fuzzy methods

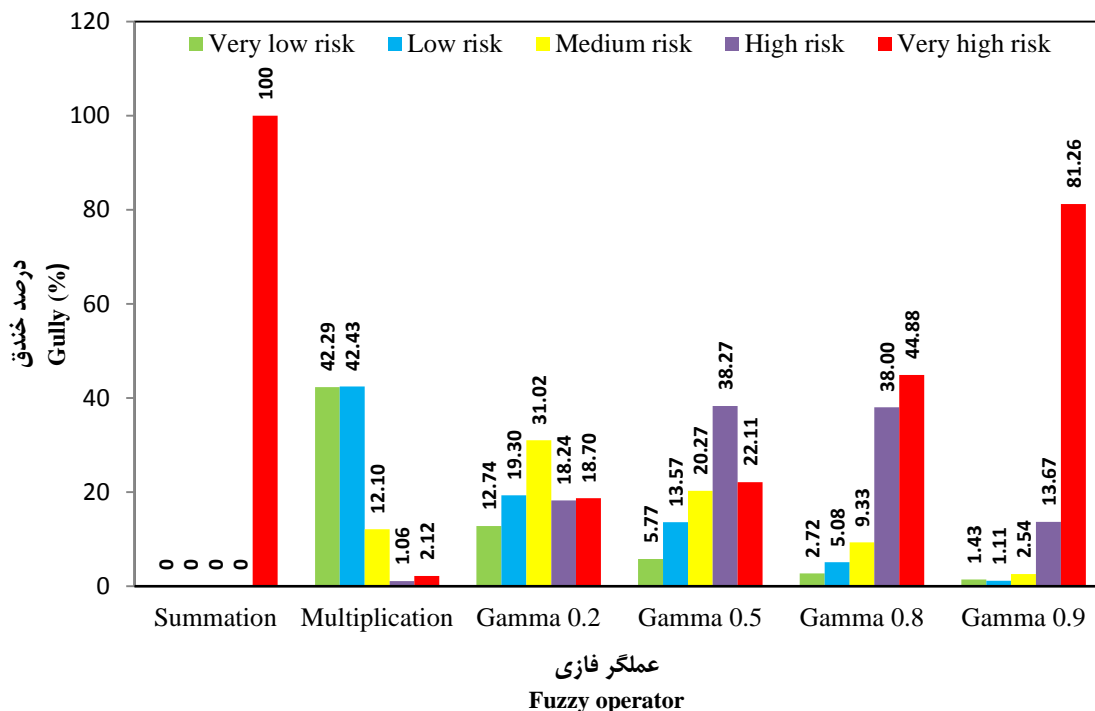
نقشه Map	مساحت منطقه پرخطر و بسیار پرخطر (درصد) High and very high risk area %	مساحت خندق‌های منطقه پرخطر و بسیار پرخطر (درصد) High and very high risk of gully area %
جمع جبری فازی Fuzzy summation	98.88	100
ضرب جبری فازی Fuzzy multiplication	1.69	3.18
گامای فازی ۰/۲ Gamma 0.2	17.07	36.94
گامای فازی ۰/۵ Gamma 0.5	31.16	60.38
گامای فازی ۰/۸ Gamma 0.8	43.21	82.88
گامای فازی ۰/۹ Gamma 0.9	60.92	94.93

### نتیجه‌گیری

نوع بافت خاک، شوری و قلیائیت و عدم اجرای طرح‌های بیولوژیک و بیومکانیک به منظور احیاء خاک و پوشش گیاهی می‌باشند. بیشتر مناطق خندقی در منطقه مورد مطالعه در شیب‌های کمتر از ۵ درصد تشکیل شده است.

با توجه به نتایج این تحقیق و تطبیق آن با مشاهدات میدانی، عوامل موثری که در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در حوزه دخالت داشته‌اند شامل: حساس بودن سازندهای زمین‌شناسی حوزه،





شکل ۴- هیستوگرام مقایسه ای پراکنش خندق‌ها در هر روش فازی برحسب درصد  
Figure 4- Histogram of gully distributed by different Fuzzy methods

۳۸۵۵ هکتار (۶۰/۳۸ درصد) منطقه در معرض خطر فرسایش زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. همچنین از ۲۱۶۶ هکتار مساحت خندق‌های موجود در منطقه میزان ۲۰۵۶ هکتار (۹۴/۹۳ درصد) آنها در طبقه خطر فرسایش زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است، که خود دلیلی بر صحت بالای نقشه نهایی تهیه شده می باشد. با توجه به این که ۵۶/۶ درصد منطقه را سازند حساس به فرسایش کواترنر در بر گرفته، قرار گرفتن این مساحت از منطقه در طبقه دارای خطر فرسایش زیاد قابل توجهی می باشد. با توجه به نقشه همپوشانی نهایی به دست آمده می توان نتیجه گرفت با استفاده از مکان‌یابی به روش فازی به خوبی مکان‌هایی که عوامل موثر بر فرسایش بیشترین هم پوشانی را داشته شناسایی نموده و تصمیمات مدیریتی مناسبی همچون احیای پوشش گیاهی جهت افزایش زبری سطح، افزایش ماده آلی خاک و همچنین اصلاح خاک‌های شور و سدیمی به کمک اصلاح کننده‌ها برای جلوگیری و کاهش خسارات ناشی از گسترش خندق‌ها را اتخاذ نمود.

همچنین با توجه به سیل‌گیر بودن این منطقه در مدت زمان کوتاهی مقدار رواناب زیادی از ارتفاعات اطراف سررازیر شده و چون خاک این مناطق از رسوبات دانه‌ریز با بافت سیلتی و ساختمانی سست و دارای املاح زیادی می باشند حساسیت زیادی در برابر فرسایش و انحلال پیدا کرده و ایجاد رواناب‌های فصلی می‌تواند عامل موثر دیگری در شکل‌گیری و گسترش خندق‌های این منطقه باشد. با توجه به اینکه بیشترین مناطق خندقی در اراضی مرتعی بسیار ضعیف و رها شده واقع شده‌اند می‌توان نتیجه گرفت که چرای بیش از حد دام از این مراتع باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و لخت شدن خاک شده و عرصه مهبیای فرسایش گردیده است.

از بین عملگرهای فازی، مدل گامای فازی ۰/۹ با بیشترین تطابق بین مساحت طبقات در معرض خطر زیاد و بسیار زیاد با نقشه خندق‌های منطقه (۹۴/۹۳ درصد)، و بیشترین مقدار مجموع کیفیت (۰/۷۳)، به عنوان بهترین روش فازی برای پهنه‌بندی در منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. نتایج ارزیابی مساحت مناطق فرسایش یافته نشان می‌دهد از ۶۳۲۷/۵ هکتار مساحت کل منطقه مورد مطالعه،

## منابع

- Ahmadi H., and Mohammadi A.A. 2007. Gully land management by investigating the effective factors and model presentation to determine the linear progress of gullies (Case study: Hablehroud watershed). 4<sup>th</sup> national conference

- on watershed management. Iran, Karaj. Tehran University. (In Persian)
- 2- Armin M., Mahdian M.H., Ahmadi H., Rohipour H., Salajegheh A., and Ghorbannia Kheybari V. 2014. Investigation on spatial variability of aggregate stability and the factors affecting soil aggregation using kriging geostatistics method (Case study: A part of Taleghan watershed). *Watershed Management Research* 27(3): 107-122. (In Persian)
  - 3- Castillo C., and Gómez J.A. 2016. A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. *Review Article. Earth-Science Reviews* 160: 300-319.
  - 4- Chaplot V. 2013. Impact of terrain attributes, parent material and soil types on gully erosion. *Geomorphology* 186: 1-11.
  - 5- Deng Q., Qin F., Zhang B., Wang H., Luo M., Shu C., Liu H., and Liu G. 2015. Characterizing the morphology of gully cross-sections based on PCA: A case of Yuanmou Dry-Hot Valley. *Geomorphology* 228: 703-713.
  - 6- Dimoyiannis D.G., Tsadilas C.D. and Valmis S. 1998. Factors affecting aggregate instability of Greek agricultural soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 29: 1239-1251.
  - 7- Entezari M., Maleki A., and Moradi KH. 2014. Zoning of gully erosion in catchment of Dyreh by analytical hierarchy process (AHP). *The Journal of Spatial Planning* 17(4): 63-86. (In Persian)
  - 8- Erfanian M., Ghahramani P., and Saadat H. 2014. Mapping of soil erosion potential hazard using Fuzzy logic in golestan Gharnaveh watershed. *Watershed Management Science & Engineering* 7(23): 43-52. (In Persian)
  - 9- Esfandiari Darabad F., Beheshti Javid A., and Fathi M.H. 2013. Gully erosion susceptibility evaluation using fuzzy logic model (Case study: Golestan dam catchment - Ghornave river). 2<sup>nd</sup> International conference on environmental hazards. Iran, Tehran. Kharazmi University. (In Persian)
  - 10- Gabris G., Kertesz A. and Zambo L. 2003. Land use change and gully formation over the last 200 years in hilly catchment. *Catena* 50: 151- 164.
  - 11- Huang Ivy B., Keisler J., and Linkov I. 2011. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. *Science of the Total Environment* 409(19): 3578 -3594.
  - 12- Idowu O.J. 2003. Relationships between aggregate stability and selected soil properties in humid tropical environment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 3: 695-708.
  - 13- Jokar Sarhangi I., and Mortezaei N. 2016. Comparison of Frequency Ratio and Confidence Factor Models in badland erosion zoning (Case study: Jajrood watershed). *Quantitative Geomorphological Research* 6(2): 161-172. (In Persian)
  - 14- Khosravi Y., and Abasi S. 2016. *Geostatistical Analyst*. Azarkelk Publisher. First Edition. 133p.
  - 15- Liao Z., Xu Z., Wang D., Lu S., and Hannam P.M. 2011. River Environmental Decision Support System Development for Suzhou Greek in Shanghai. *Journal of Environmental Management* 92(9): 2211-2221.
  - 16- Madadi A., and Hemmati T. 2015. Karstformation zoning capability using Fuzzy logic model (Case study: Ragion Namakabroud of Chalous City). *Applied Geomorphology of Iran* 3(5): 89-102. (In Persian)
  - 17- Marzloff I., and Poesen J. 2009. The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system. *Geomorphology* 111(1-2):48-60.
  - 18- Mohammad Ebrahimi M., Javadi M.R., and Vafakhah M. 2015. Investigation of the Role of Soil and Non-Soil Parameters in Development of Linear Gully Erosion in Agh Emam Watershed (2). *Iranian Journal of Soil Research* 29(4): 487-498. (In Persian)
  - 19- Motevalli S., and Esmaeli R. 2013. Landslide Hazard Zoning using Gamma Fuzzy Operator (A Case Study: Taleghan Watershed). *Quarterly journal of Environmental Erosion Research* 2(4): 1-20. (In Persian)
  - 20- Nowhegar A., Heidarzadeh M. 2011. The study of physical - chemical characteristics and morphometry of gullying area (case study: Gezir, Hormozgan province). *Environmental Erosion Research Journal* 1(1): 29-44. (In Persian)
  - 21- Poesen J., Nachtergaele J., Verstraetena G., and Valentin C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena* 50: 91-133
  - 22- Qilin Y., Jiarong G., Yue W., and Bintian Q. 2011. Debris flow characteristics and risk degree assessment in Changyuan gully, Huairou District, Beijing. *Procedia Earth and Planetary Science* 2: 262-271.
  - 23- Rahi Gh.R., Nazari Samani A.A., and Ghoddousi J. 2011. Validation of the predicting model for land vulnerability to gully erosion in arid watersheds (Case study: Boushehr province). *Journal of Range and Watershed Management* 64(3): 281-294. (In Persian)
  - 24- Shadfar S. 2015. Application of Fuzzy logic operators to investigate gully erosion using geographic information system (GIS) (Case study: Troud watershed basin). *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data* 23(92): 35-42. (In Persian)
  - 25- Shafiee A., Mollae A., and Khazae M. 2011. Gully erosion threaten in Dehdasht watershed. 7<sup>th</sup> National conference on watershed management, Isfahan, Iran. 7p. (In Persian)
  - 26- Shahab Arkhazloo H., Emami H., Haghnia Gh.H., and Esmali A. 2016. Comparing the Analytic Hierarchy Process and fuzzy logic for zoning the risk of gully erosion in the three regions of the Ardebil province. *Quarterly journal of Environmental Erosion Research* 6:1(21): 1-16. (In Persian)
  - 27- Shahrivar A., Shadfar S., Khazae M., and Adeli B. 2017. Assessment of Gully Erosion Zonation Methods (Case

- study: Abgendi Watershed). Iranian Journal of Eco Hydrology 4(1): 119-132. (In Persian)
- 28- Sobhe Zahedi Sh., Shadfar S., Alidoost M., pournasrolla M.R., Ghodrati A., and Dadashi A.A. 2012. Calibration, validation, and completion of predictive model of soil sensitivity to gully erosion in arid and semi-arid watersheds(Guilan Province). Final report of project. Soil conservation and watershed management research institute 70p. (In Persian)
- 29- Soleimani F., Soufi M., and Arsham A. 2017. Determination of effective factors in gullies development in Modares watershed of Shushtar. Journal of Water and Soil 31(5): 1432-1446. (In Persian with English abstract)
- 30- Taskin Gumus A. 2009. Evaluation of hazardous waste transportation firms by using a two step fuzzy –AHP and TOPSIS methodology. Expert Systems with Applications 36(2): 4067-4074.
- 31- Valentin C. J., Poesen J., and Yong Li. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. Catena 63: 132–153.
- 32- Yalcin A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. Catena 72: 1-12
- 33- Yamani M., Zamanzadeh S.M., and Ahmadi M. 2013. Influence of physical and chemical properties of soil on formation and development of gully erosion (Case Study: Kahoor Plain in Fars Province). Quantitative Geomorphological Research 2(2): 135-156. (In Persian)
- 34- Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and control. June 1965 8(3): 338-353.



## Evaluation and Zonation of Sensitive Areas to Gully Erosion Using Fuzzy Logic (Case Study: Ghaleh Gorg Watershed- Shushtar)

M.R. Ansari<sup>1\*</sup>- F. Soleimani<sup>2</sup>- A.R. Ahmadi<sup>3</sup>

Received: 16-10-2019

Accepted: 10-03-2020

**Introduction:** Soil erosion is the most widespread form of soil degradation jeopardizing food security worldwide. In Iran, gully erosion is important because about 90% of the country has arid and semi-arid climates and rainfall is not adequately distributed. In such conditions, the absence or lack of vegetation cover with increasing runoff causes more than 2 billion tons of soil losses annually. Therefore, conducting basic and applied researches on soil erosion via different methods for comprehensive management of natural resources is emphasized. The prerequisite for all kinds of erosion, such as gully erosion, is the prediction of the risk of gully formation in different areas susceptible to erosion.

**Materials and Methods:** The study area is located in Ghaleh Gorg watershed which sub-basin of Shahid Modarres that large part of these farmlands has been destroyed by gully erosion. The purpose of this study was to apply fuzzy logic operators for gully erosion zoning. In this research, six effective parameters on soil erosion including mean weight diameter of aggregate, sodium adsorption ratio, salinity, percent of fine sand, silt and clay were determined according to standard laboratory methods. After re-classification, standardization of prepared layers was carried out by the Fuzzy method. Hence, Fuzzy-based layers were integrated using operators of Fuzzy algebraic sum, Fuzzy algebraic production and Fuzzy gamma with 0.2, 0.5, 0.8, 0.9 values and the obtained results were evaluated. The validation of prepared maps was done based on two methods of map matching percentage of areas with very high and high sensitivity with gullies map of the study area and quality sum index ( $Q_s$ ).

**Results and Discussion:** The Fuzzy results of raster layers showed the relative accumulation of silt, clay and fine sand grains in the middle to western parts of the region due to leaching and soil aggregation of Aghajari formation with a high slope of  $>20\%$ . The deposition of this sediments was with 0-5% slope in the middle and western part of the basin. Results of layer integration indicated the fact that the fuzzy summation and multiplication method are not suitable approaches for final mapping because of their high increasing and decreasing effects, respectively. About Fuzzy Gamma operator 0.2, the results revealed that about 17.07% of the area was in the high and very high-risk zone and 67.07% of the area was in the low risk zone. In Fuzzy Gamma 0.5, about 31.16% of the area was in high risk and 55.38% in low risk zone. And only 60.38 percent of the gullies was in the high-risk area. Thus, these both operators 0.2 and 0.5 cannot be an acceptable method for preparing the final fuzzy map. The results of gamma operator 0.8 showed that about 43.21% of the area was in high and very high risk classes and 42.45% of the area was in low and very low risk classes. In the gamma operator 0.9, about 60.92% of the area was in high and very high risk zone and 17.1% of the area was in low and very low-risk zone. Also, regarding the distribution range of gullies, 94.93% of gullies was in high and very high risk classes, which is more acceptable and better than gamma 0.8. According to the obtained results, Fuzzy gamma 0.9 with 94.93 matching percentage of areas containing very high and high sensitivity and maximum quality sum index (0.73) among different operators was selected as the best method for preparing Fuzzy map in the study area.

**Conclusion:** According to the results of this study and its comparison with field observations, effective factors contributing to the initiation and development of gully erosion were sensitivity of the geological formations, soil texture type, salinity and alkalinity and non-implementation of biological and biomechanical operations to the soil and vegetation cover restoration. Around 3855 hectares (60.38%) out of 6327.5 hectares of the total studied area were at high and very high erosion risk. Furthermore, 2056 hectares (94.93%) out of the 2166 hectares of the gullies area were at high and very high risk of erosion, denoting the high accuracy of the final map. Among the available methods, Fuzzy Gamma 0.9 with the highest overlap between the area of high and very high-risk classes of the gully map (94.93%), and the highest qualitative sum index (0.73), was selected as the best fuzzy method for zoning in the study area.

1 and 3- Assistant Professor and Master of Science in Soil Science, Soil Science Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran, respectively.

(\*- Corresponding Author Email: ansari386@yahoo.com)

2- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran

DOI: 10.22067/jsw.v34i5.83478

**Keywords:** Fuzzy operator, Fuzzy layers, GIS, Gully erosion, Zonation