

## ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آبگندی)

عبدال شهربور<sup>۱\*</sup>، صمد شادفر<sup>۲</sup>، مجید خزایی<sup>۲</sup>، بهزاد عادل<sup>۳</sup>

۱. استادیار، مرکز تحقیقات آبخیزداری استان کهگیلویه و بویراحمد

۲. دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۳. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۱۴؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۱/۳۰)

## چکیده

فرسایش خندقی یکی از فرایندهای فرسایشی است که به‌طور گسترده‌ای بر شکل ظاهری زمین اثر می‌گذارد. توسعه خندق سبب هدررفت مقدار زیادی خاک می‌شود. از این‌رو، می‌توان از آن به‌عنوان یکی از علل اصلی تخریب زمین و محیط زیست نام برد. در این تحقیق مدل ارائه‌شده برای پهنه‌بندی فرسایش خندقی در شرایط مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌منظور واسنجی و اعتباریابی آن در استان کهگیلویه و بویراحمد بررسی شد. بنابراین، با بررسی پراکنش فرسایش خندقی در سطح استان، حوضه آبخیز آبگندی انتخاب و برای انجام تحقیق در نظر گرفته شد. در این حوضه با تهیه نقشه‌های مختلف کاربری اراضی، واحدهای اراضی، سنگ‌شناسی، شیب، نقشه واحد کاری استخراج و براساس آن واحدهای کاری انتخاب شد. در هر واحد کاری از طریق نقشه‌برداری خندق‌ها خصوصیات ظاهری و مورفومتری خندق‌ها استخراج شد. در هر واحد وضعیت نفوذپذیری و درصد حفاظت روی خاک نیز بررسی شد. همچنین ارزش کمی شش لایه نقشه ورودی به مدل (شامل سنگ‌شناسی، درصد شیب زمین، نوع خاک، متوسط بارندگی سالانه، نوع استفاده از زمین و درصد حفاظ روی خاک) تعیین شد. درنهایت، براساس آن نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی با استفاده از روش یا مدل شاخص همپوشانی و عملگرهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و گامای فازی در محیط GIS شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و با در نظر گرفتن مساحت پهنه‌های مختلف و میزان خندق‌های رخ داده در هر یک از آنها، مدل گامای فازی ۰/۸ مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی فرسایش خندقی در حوضه مطالعه شده است.

کلیدواژه‌گان: پهنه‌بندی، حوضه آبخیز، فازی، فرسایش خندقی، مدل‌سازی.

## مقدمه

فرسایش خاک، مشکلی جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. از این نظر، جلوگیری از فرسایش خاک به‌منظور حفظ ثروت‌های ارزشمند طبیعی موضوعی مهم به‌شمار می‌رود [۱]. اشکال مختلفی از فرسایش آبی شناخته شده است که در این میان فرسایش خندقی یک شکل بسیار آشکار فرسایش خاک است که بر بهره‌وری خاک تأثیر می‌گذارد. خاکی که از ناحیه خندقی دچار فرسایش می‌شود می‌تواند موجب تشکیل گل‌ولای در حصارها، راه‌های آبی، آب‌گذرهای جاده‌ای، سدها و آبگیرها شود [۲]. آبگندها کانال‌های عمیقی در جهت شیب هستند که به‌طور عمومی به‌وسیله رواناب به‌وجود می‌آیند و اغلب جریان دائمی ندارند [۳].

مطالعات تاریخی درباره فرسایش خندقی، بیانگر تغییرات شدید در روند گسترش فرسایش خندقی بر اثر تغییر استفاده از اراضی است [۴]. نتایج بررسی‌های انجام‌شده در استرالیا نشان داده است خندقی‌شدن اراضی در شرق استرالیا بیشتر با سکونت اروپاییان در این قاره و ایجاد تغییر در استفاده از اراضی رابطه مستقیم دارد [۵]. در انگلستان بر اثر اقدامات عامل انسان در تغییر پوشش گیاهی [۶] سیستم‌های بزرگی از خندق‌ها ایجاد شده‌اند. موارد یادشده نشان می‌دهند بهره‌برداری از اراضی تأثیر زیادی را همراه با وقوع بارش‌های فراوان در رخداد فرسایش خندقی دارد. به‌گونه‌ای که نتایج مطالعات موردی انجام‌شده در شرایط محیطی مختلف درباره تأثیر فرسایش خندقی در تخریب اراضی نیز این موضوع را تأیید می‌کند [۷-۱۰].

پیشینه اقدامات انجام‌شده درباره مدل‌سازی فرسایش خندقی نشان می‌دهد پژوهش‌های جدی در زمینه مدل‌سازی فرسایش‌های شیاری و خندقی از دهه ۱۹۷۰ در جهان آغاز شده و بیشتر مدل‌های ارائه‌شده نیز از نوع استوکاستیک<sup>۱</sup> و محدود به مناطق تحت تأثیر فرسایش هزاردره<sup>۲</sup> بوده‌اند [۱۱] و [۱۲]. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده درباره فرسایش خندقی نشان داده است در دهه ۱۹۸۰، اولین اقدامات درباره مبانی نظری و چگونگی شکل‌گیری فرسایش خندقی براساس قوانین فیزیکی آغاز شده است [۱۳]. اما از آنجا که نتایج پژوهش‌های انجام‌شده درباره فرسایش خندقی در دهه‌های

۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ به دستیابی کلیه اهداف و انتظارات مورد نیاز منجر نشده و ابهامات زیادی در ابعاد مختلف آن وجود داشته است، در دهه ۱۹۹۰ پژوهش‌ها به‌صورت گسترده انجام شده و براساس نتایج به‌دست‌آمده اقدام به ارائه مدل‌هایی درباره روند شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی به‌ویژه در دامنه‌های شیب‌دار و بستر دره‌های عریض شده است که امروزه پایه و اساس مطالعات تکمیلی درباره این نوع فرسایش محسوب می‌شود [۳، ۱۲ و ۱۴]. مهم‌ترین مدل‌های ارائه‌شده در زمینه فرسایش خندقی عبارت است از مدل Moore و همکارانش (۱۹۹۸) برای پیش‌بینی محل تشکیل خندق و مدل Morgan و Mngomezulu (۲۰۰۳) برای پیش‌بینی شکل‌گیری فرسایش خندقی است [۱۵ و ۱۶]. در زمینه موضوع تحقیق مطالعاتی صورت گرفته است که در اینجا به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

نتایج بررسی Achten و همکارانش (۲۰۰۸) نشان داد خندق‌ها در همه واحدهای چشم‌انداز پراکنده‌اند. وجود جاده‌ها بر وقوع خندق تأثیر داشتند، در حالی که داخل اراضی بیشتر مشاهده می‌شدند [۱۸]. نتایج تحقیق Marzloff و همکارانش (۲۰۰۹) در زمینه شناسایی مناطق مستعد فرسایش خندقی در اسپانیا نشان داد مناطق نیمه‌خشک و خشک و خاک‌هایی با بافت سبک و لسی و سازند ضعیف سبب شده است که منطقه بیشتر در معرض تهدید فرسایش خندقی قرار گیرد [۱۷]. جعفری گرزین و کاویان (۲۰۰۹) پارامترهای سنگ‌شناسی، شیب، جهت جغرافیایی، عمق خاک، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و فاصله از راه‌ها را به‌عنوان عوامل مؤثر در شکل‌گیری و توسعه خندق بررسی کرده‌اند [۱۹]. راهی و همکارانش (۲۰۱۱) به‌منظور اعتبارسنجی مدل مفهومی ارائه‌شده برای پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی تحت شرایط اقلیمی خشک استان بوشهر از روش‌های شاخص همپوشانی و عملگرهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و گامای فازی برای پهنه‌بندی خندق استفاده کردند [۲۰]. اسفندیاری درآباد و همکارانش (۲۰۱۲) برای پهنه‌بندی قابلیت فرسایش خندقی از توان‌های مختلف عملگر گامای فازی استفاده کردند. نتایج به‌دست‌آمده از مدل با فرسایش خندقی صورت‌گرفته در حوضه نشان داد عملگر گامای فازی ۰/۸ بیشترین قابلیت را برای پهنه‌بندی داراست [۲۱]. مدل‌سازی حساسیت به فرسایش خندقی در جنوب شرق مازندران به‌وسیله مدل‌های

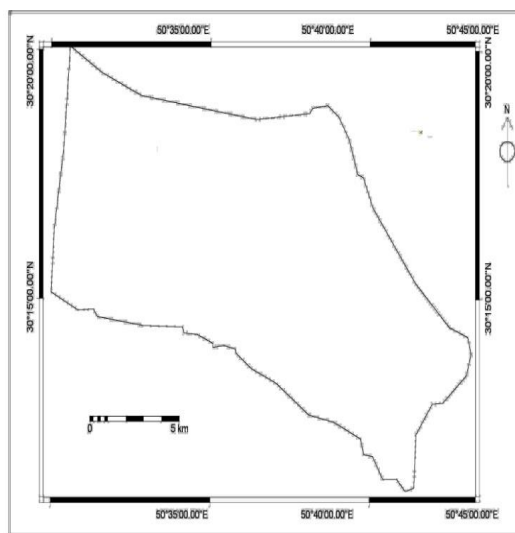
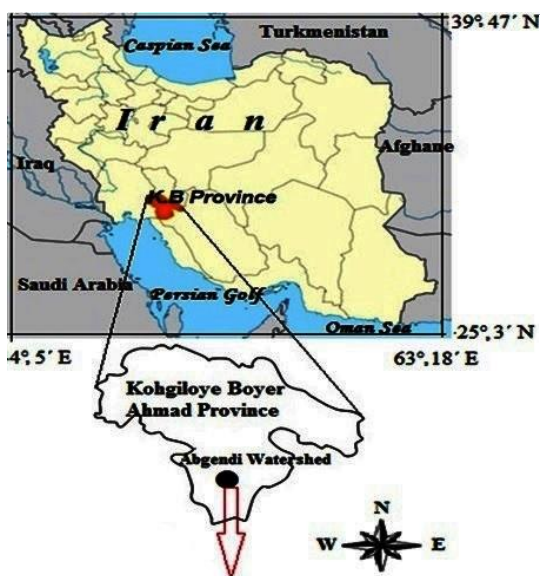
## مواد و روش‌ها

### خصوصیات منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبخیز آبگندی در ۳۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان گچساران بین طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۱ دقیقه و ۲۵ ثانیه تا ۴۷ درجه و ۳۳ دقیقه و ۲۶ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه و ۵۸ ثانیه واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه محدوده مطالعه‌شده ۳۸۶/۹ میلی‌متر، بیشترین میزان بارندگی در ۲۴ ساعت ۷۶/۹ میلی‌متر، متوسط میزان تبخیر سالانه ۲۹۳۴ میلی‌متر، متوسط دمای روزانه ۲۱/۴ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه طبق روش آمبرژه، نیمه‌خشک معتدل و طبق روش کوپن، مدیترانه‌ای با زمستان معتدل است. از نظر زمین‌شناسی، کل حوضه از سازندهای آجاجاری، گچساران، میشان و بختیاری تشکیل شده است.

رگرسیون توپوگرافیک و همکارانش (۲۰۱۳) نشان داد چهار متغیر کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، خاک‌شناسی و فاکتور رطوبت توپوگرافی بیشترین همبستگی را با حساسیت به فرسایش خندقی داشته است [۲۲].

جمع‌بندی سوابق تحقیق نشان می‌دهد استفاده از مجموعه‌های فازی به دلیل در نظر گرفتن محدوده‌ای از احتمالات به جای اعداد، محدودیت روش‌های کمی را برطرف ساخته و تحلیلی دقیق‌تر از تأثیر عوامل طبیعی نسبت به سایر روش‌های کمی ارائه کرده است و به مراتب دقتی بیشتر در پیش‌بینی وقوع حوادث طبیعی مانند حرکت‌های توده‌ای دارد. در گذشته استفاده از روش‌های فازی بیشتر در زمینه حرکت‌های توده‌ای به کار می‌رفت. با توجه به ماهیت و نوع ظهور پدیده خندق امکان استفاده از روش‌های فازی به منظور پهنه‌بندی فرسایش خندقی نیز وجود دارد. به همین دلیل مقاله حاضر در قالب یک طرح تحقیقاتی در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر صورت پذیرفت.



شکل ۱. نمایی از استان کهگیلویه و بویراحمد و محدوده مطالعه‌شده

هر واحد کاری سه خندق) انتخاب شد. همچنین یک پلات پنج‌هکتاری شاهد در هر واحد کاری با استفاده از روش انتخاب کاملاً تصادفی انتخاب شد. سپس پروفیل خاک در سه قسمت سر (رأس)، وسط و دهانه خروجی خندق‌ها حفر شد که در مجموع تعداد نه پروفیل در هر واحد کاری حفر و از افق‌های خاک نمونه‌برداری شد. در نقاط شاهد نیز در هر واحد کاری به حفر یک پروفیل، نمونه‌برداری از افق‌ها و

## روش تحقیق

ابتدا با استفاده از نرم‌افزار GIS واحدهای کاری تعیین شد. نقشه واحدهای کاری حوضه آبگندی با تلفیق چهار لایه اطلاعاتی شامل نقشه‌های سنگ‌شناسی، درصد شیب زمین، استفاده از اراضی و قابلیت اراضی، در محیط GIS تهیه شد. در مرحله بعد سه پلات پنج‌هکتاری در هر یک از واحدهای کاری در مناطق خندقی‌شده (در هر پلات یک خندق و در

فازی در محیط GIS شد. در این تحقیق براساس درصد میزان مساحت خندقی شده در هر طبقه از عوامل، سهم عضویت کلاس‌های مختلف تعیین شد. سپس با استفاده از ستون وزن طبقات، نقشه‌های مختلف وزنی تهیه و در قالب عملگرهای جمع جبری فازی<sup>۵</sup> ضرب جبری فازی<sup>۶</sup>، و گامای فازی<sup>۷</sup> با یکدیگر تلفیق و طبقه‌بندی شدند.

#### مدل منطق فازی (عملگر گاما)

تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی برای اولین بار توسط لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی شد. در تئوری کلاسیک مجموعه‌های یک عنصر یا عضو مجموعه است یا نیست (صفر و یک) تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را گسترش می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی، و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد.

در مجموعه فازی صفر بدین معناست که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک، یعنی به‌گونه‌ای کامل عضو آن مجموعه است [۲۴ و ۲۵]. تئوری مجموعه‌های فازی یک روش خاص و مستقل برای پهنه‌بندی خندق محسوب نمی‌شود، بلکه ابزاری است که به‌واسطه آن امکان ارتقای دقت روش‌های گوناگون فراهم می‌شود [۲۶]. ملاک امتیازدهی برای هر یک از عوامل و کلاس‌های مرتبط با آن از تقسیم نسبت مناطق دارای خندق (درصد پیکسل‌هایی که در آن خندق رخ داده است) به مناطق بدون خندق (درصد پیکسل‌های بدون خندق) به‌دست می‌آید.

#### اپراتور فازی

گاما با در نظر گرفتن اختلاف فاحش بین نتیجه استفاده از عملگرهای Product رابطه ۲ و Sum رابطه ۳ یا به‌بیانی برای تعدیل حساسیت بسیار زیاد اپراتور Product و حساسیت بسیار کم اپراتور Sum اپراتور دیگری به نام فازی گاما (رابطه ۴) معرفی شده که نتیجه ضرب دو اپراتور یادشده و  $\lambda$  متغیری بین صفر و یک است [۲۴].

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (2)$$

$$\mu_{combination} = 1 - \prod_{i=1}^n \mu_i (1 - \mu_i) \quad (3)$$

تشریح آن اقدام شد. با توجه به اینکه هر پروفیل فقط از دو افق تشکیل شده بود و از هر افق نیز یک نمونه برداشت شد، بنابراین در مجموع در هر پلات شش نمونه تهیه شد (مربوط به سه قسمت رأس، وسط و دهانه خندق) و در هر واحد کاری ۲۰ نمونه که ۱۸ نمونه مربوط به خندق‌ها و ۲ نمونه هم مربوط به شاهد است. با توجه به اینکه منطقه مطالعه شده از دو واحد کاری تشکیل شده است در مجموع ۴۰ نمونه خاک تهیه شد. نمونه‌ها تجزیه فیزیکی‌شیمیایی شدند و خصوصیات خاک شامل بافت، مواد آلی، گچ، آهن کل، اسیدیته<sup>۱</sup>، هدایت الکتریکی<sup>۲</sup> و نسبت جذب سدیم<sup>۳</sup> تعیین شد.

حداقل یک قطعه شاهد بدون خندق (قطعه خندقی نشده) در هر یک از واحدهای کاری به‌عنوان قطعات شاهد به‌منظور استفاده از آنها به‌عنوان پایه و اساس انجام مقایسه‌های مورد نیاز انتخاب شد. همچنین درصد حفاظ روی خاک از طریق پلات‌اندازی به‌صورت تصادفی در عرصه خندقی تعیین شد.

با توجه به ساختار کلی مدل پیش‌بینی رخداد فرسایش خندقی به شرح زیر است:

$$SGE = F(Li, Si, So, Ra, Lc, Lu) \quad (1)$$

که در آن  $SGE$  = میزان حساسیت اراضی به فرسایش خاک،  $Li$  = سنگ‌شناسی،  $Si$  = شیب زمین (درصد)،  $So$  = نوع خاک،  $Ra$  = متوسط بارندگی سالانه،  $Lu$  = نوع استفاده از زمین و  $Lc$  = درصد حفاظ روی خاک است. با بررسی تعداد زیادی از مطالعات مرتبط با عوامل فرسایش خندقی، این عوامل به‌عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی معرفی شده‌اند [۱ و ۲۳].

پس از تعیین داده‌های مربوط به عوامل شش‌گانه (سنگ‌شناسی، درصد شیب زمین، نوع خاک، متوسط بارندگی سالانه، نوع استفاده از زمین و درصد حفاظ روی خاک)، اقدام به تعیین ارزش کمی مربوط به هر یک از عوامل یادشده شد. سپس میزان حساسیت اراضی به فرسایش مشخص و براساس آن نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی با استفاده از مدل شاخص همپوشانی<sup>۴</sup> و عملگرهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و گامای

5. Fuzzy Algebraic Sum  
6. Fuzzy Algebraic Product  
7. Fuzzy Gamma

1. power of hydrogen  
2. electrical-conductivity  
3. Sodium absorption ratio  
4. Index Overlay

در این رابطه پارامتر تعیین‌شده در محدوده صفر و یک است. وقتی برابر یک باشد، ترکیب همان جمع جبری و زمانی که برابر صفر باشد، ترکیب برابر ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح پارامتر، مقادیری در خروجی ایجاد می‌کند که با افزایش جمع جبری و کاهش ضرب جبری فازی، سازگاری دارد [۲۷].

#### ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خندق

در صورتی که در منطقه‌ای چند نقشه خطر تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار جمع کیفی QS نقشه‌های صحیح‌تر و با دقت بیشتر را می‌توان شناسایی کرد [۲۸ و ۲۹]. با توجه به تشابه و ماهیت خندق با زمین‌لغزش، برای ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خندق از فرمول زیر استفاده شد. البته راهی و همکارانش (۱۳۹۰) از این فرمول برای ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خندق نیز استفاده کرده‌اند [۲۰].

$$Q_s = \sum_{i=1}^n (D_r - 1)^2 \times S \quad (9)$$

Dr همان نسبت تراکمی (Density ratio) است که به شرح زیر محاسبه شد:

Dr: نسبت مساحت خندق در هر رده خطر به مساحت هر یک از پهنه‌های خطر به نسبت مساحت کل خندق به سطح کل حوضه مطالعه‌شده

S: نسبت مساحت هر پهنه خطر به مساحت کل منطقه

n: تعداد رده‌های خطر

با استفاده از مقدار جمع کیفی QS، براساس رابطه ۱ نقشه‌های صحیح‌تر و بهتر را می‌توان شناسایی کرد. شایان توضیح است که هر چه مقدار QS به‌دست‌آمده بیشتر باشد، بیانگر این است که مدل مد نظر کارایی بیشتری در حوضه دارد.

#### نتایج و بحث

نقشه‌های شش‌گانه سنگ‌شناسی، درصد شیب زمین، نوع خاک، متوسط بارندگی سالانه، نوع استفاده از زمین و درصد حفاظ روی خاک با نقشه پراکنش خندق (شکل ۲) همپوشانی و سپس مساحت و درصد هر یک از طبقات خندق مشخص شد که مشخصات آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

$$\mu_{combination} = (Fuzzya Igemraicsum)^{\lambda} \times (Fuzzya Igemraicproduct)^{-\lambda} \quad (4)$$

عملگرهای منطق فازی پس از شناخت پارامترهای چندگانه مؤثر در وقوع خندق و بررسی ارتباط این عوامل با خندق اتفاق افتاده، برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خندق از اپراتورهای چهارگانه منطق فازی استفاده شد.

#### اپراتور اشتراک فازی

این عملگر از تابع مینیمم در همپوشانی استفاده می‌کند و معادل است و به‌صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود:

$$\mu_c(X) = \min \{ \mu_1(X), \mu_2(X), \dots, \mu_n(X) \} \quad (5)$$

در پارامترهای مستقل و در مواردی که دو یا چند قسمت از شواهد لازم برای اثبات فرضیه باید با هم وجود داشته باشند، استفاده از عملگر اشتراک مناسب است.

#### اپراتور جمع جبری فازی

این عملگر از تابع ماکزیمم در ترکیب استفاده می‌کند و معادل اجتماع است و به‌صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود:

$$\mu_c(X) = \max \{ \mu_1(X), \mu_2(X), \dots, \mu_n(X) \} \quad (6)$$

در صورت استفاده از این عملگر از میان دو تابع عضویت، بیشترین مقدار تابع عضویت انتخاب می‌شود (متکان و همکاران، ۱۳۸۸).

#### اپراتور ضرب جبری فازی

در این عملگر تابع عضویت فازی به‌صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود:

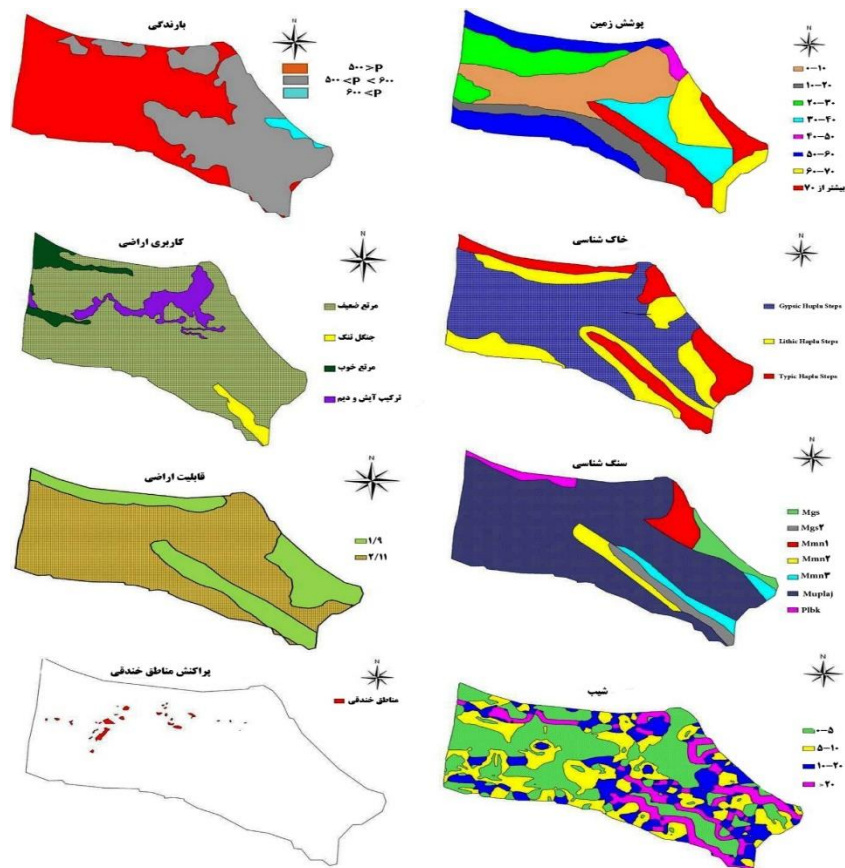
$$\mu_c(X) = \prod_{i=1}^n \mu_i(X) \quad (7)$$

در رابطه ۷، تابع عضویت فازی برای I امین نقشه و  $i = 1, 2, \dots, N$  تعداد نقشه‌های ترکیب‌شونده را نشان می‌دهد. مقادیر عضویت فازی ترکیب‌شده با این عملگر به سمت مقادیر بسیار کوچک میل می‌کند که این به‌علت ضرب کردن چندین عدد کوچک‌تر از یک است [۲۷].

#### اپراتور فازی گاما

این عملگر برحسب حاصل ضرب جمع جبری و حاصل جمع جبری فازی و براساس رابطه ۸ تعریف می‌شود:

$$\mu_c = \left( \prod_{i=1}^n \mu_i(X) \right)^{\gamma} \times (1 - \mu(x))^{1-\gamma} \quad (8)$$



شکل ۲. نقشه عوامل مؤثر در تشکیل خندق و نقشه پراکنش خندق در منطقه مطالعه شده (پوشش زمین و شیب به درصد، بارندگی به میلی متر)

روی خاک صفر تا ۱۰ درصد، ۴۳/۵۲ درصد حفاظ روی خاک (شامل پوشش گیاهی و سنگ ریزه و بقایای گیاهی است) ۲۰ تا ۳۰ درصد دارد. در نقشه خاک که براساس روش آمریکایی Soil Taxonomy تهیه شد، مشخص شد که ۹۷/۰۱ درصد مساحت خندقی شده در گروه بزرگ GypsicHaplusteps، ۲/۹۹ درصد در گروه بزرگ MUPlaj، و در گروه بزرگ TypicHaplu steps هیچ گونه خندقی مشاهده نشده است (جدول ۲). نتایج جدول ۲ نشان داد بیشترین مساحت در صد طبقات خندقی به ترتیب در شیب ۵-۰ درصد، در کد قابلیت اراضی ۲/۱۱، واحد سنگ شناسی Muplaj، طبقه بارش کمتر از ۵۰۰ میلی متر، کاربری اراضی مرتع ضعیف و طبقه خاک شناسی Gypsic Huplu steps واقع شده است.

نتایج تحقیق ثروتی و همکارانش (۲۰۰۸) نشان داد شکل گیری و شدت گسترش فرسایش خندقی در اراضی لسی منطقه تحقیق، تابعی از ارتفاع متوسط، بارندگی و دمای متوسط سالانه هوا، شیب و جهت اراضی، سازند زمین شناسی، منابع اراضی، نوع خاک و ویژگی های مربوط

در این تحقیق، با تهیه نقشه های لازم برای تعیین مدل پیش بینی رخداد فرسایش خندقی، مشخص شد که در حوضه آبخیز آبگندی، ۴۰/۲۴ درصد مساحت حوضه دارای شیب ۵-۰ درصد است که ۸۲/۲۴ درصد مساحت خندقی شده در این شیب واقع شده است (جدول ۲). در این حوضه در شیب های بیش از ۲۰ درصد که حدود ۱۴/۰۲ درصد از مساحت حوضه را تشکیل می دهند، هیچ گونه خندقی رخ نداده است. از نظر منابع و قابلیت اراضی، ۷۲ درصد مساحت حوضه که تپه ماهور است، ۱۰۰ درصد مساحت خندقی شده در آن واقع شده است. از نظر سنگ شناسی ۷۶ درصد مساحت حوضه در واحد سنگ شناسی Muplaj است که ۱۰۰ درصد مساحت خندقی شده در این طبقه واقع شده است. ۱۰۰ درصد مساحت خندقی شده حوضه در طبقه بارش کمتر از ۵۰۰ میلی متر است. ۲۴/۰۳ درصد مساحت خندقی شده دارای کاربری دیم و آیش، و باقی مانده (۷۵/۹۷ درصد)، کاربری مرتع ضعیف دارد. ۵۶/۴۸ درصد مساحت خندقی شده حفاظ

گسترش یافته است [۳۱]. نتیجه تحقیقات احمدی (۲۰۱۱) در حوضه دشت کهور لامرد، نشان می‌دهد از بین عوامل بررسی‌شده فاکتور سنگ‌شناسی، با ضریب ۰/۴۶ در درجه اول و عامل کاربری اراضی با ضریب ۰/۲۵، در درجه دوم اهمیت در ایجاد خندق‌های منطقه قرار دارد [۳۲].

به آن، نوع و تیپ پوشش گیاهی، چگونگی استفاده از اراضی و متوسط سالانه ارتفاع رواناب‌های سطحی است [۳۰]. شهریور (۱۹۹۷) مشخص کرد که در زیرحوضه آبخیز سوق واقع در شهرستان دهدشت در استان کهگیلویه و بویراحمد فرسایش خندقی بیشتر در اراضی زراعی با شیب صفر تا ۶۰ درصد متشکل از رسوبات جدید و قدیم کوتاه‌تر ایجاد شده و

جدول ۱. نتایج لایه‌های عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی در منطقه بررسی‌شده

طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندقی (هکتار)	خندق (درصد)
۵-۰	۸۵۶۳/۲۱	۴۰/۲۴	۱۰۶/۲۹	۸۲/۲۴
۱۰-۵	۵۶۵۳/۵۳	۲۶/۵۶	۱۷/۶۴	۱۳/۶۵
۲۰-۱۰	۴۰۸۲/۴۰	۱۹/۱۸	۵/۳۱	۴/۱۱
بیشتر از ۲۰	۲۹۸۳/۰۸	۱۴/۰۲	.	.
۱/۹	۵۹۵۹/۸۵	۲۸	.	.
۲/۱۱	۱۵۳۱۹/۸۳	۷۱/۹۸	۱۲۹/۲۴	۱۰۰
۲/۳	۲/۵۲	۰/۰۱	.	.
Mgs	۸۲۲/۴۸	۳/۸۶	.	.
Mgs2	۹۰۹/۶۰	۴/۲۷	.	.
Mmn1	۱۰۳۳/۱۲	۴/۸۵	.	.
Mmn2	۷۹۷/۸۸	۳/۷۵	.	.
Mmn3	۹۴۸/۷۰	۴/۴۶	.	.
Muplaj	۱۶۲۷۶/۶۱	۷۶/۴۸	۱۲۹/۲۴	۱۰۰
P1bk	۴۹۳/۸۱	۲/۳۲	.	.
کمتر از ۵۰۰	۱۲۰۲۲/۶۳	۵۶/۴۹	۱۲۹/۲۴	۱۰۰
۵۰۰-۶۰۰	۸۹۸۲/۱۰	۴۲/۲۰	.	.
بیشتر از ۶۰۰	۲۷۵/۸۶	۱/۳۰	.	.
مرتفع خوب	۱۱۷۸/۵۳	۵/۵۴	.	.
دیم‌زار و آیش	۱۸۱۴/۹	۸/۵۳	۳۱/۰۵	۲۴/۰۳
مرتفع ضعیف	۱۷۶۸۶/۴۴	۸۳/۱۰	۹۸/۱۹	۷۵/۹۷
درخت‌زار	۶۰۲/۳۳	۲/۸۳	.	.
۱۰-۰	۵۲۱۱/۱۴	۲۴/۴۹	۷۲/۹۹	۵۶/۴۸
۲۰-۱۰	۱۷۸۴/۶۴	۸/۳۹	.	.
۳۰-۲۰	۲۹۳۴/۸۴	۱۳/۷۹	۵۶/۲۵	۴۳/۵۲
۴۰-۳۰	۲۱۱۵/۷۱	۹/۹۴	.	.
۵۰-۴۰	۲۸۳/۰۸	۱/۳۳	.	.
۶۰-۵۰	۳۹۲۱/۲۹	۱۸/۴۳	.	.
۷۰-۶۰	۲۳۷۴/۳۴	۱۱/۱۶	.	.
بیشتر از ۷۰	۲۶۵۷/۱۵	۱۲/۴۹	.	.
Huplu steps Gypsic	۱۱۷۰۹/۲۴	۵۵/۰۲	۱۲۵/۳۷	۹۷/۰۱
Lithic Huplu steps	۵۳۰۵/۷۵	۲۴/۹۳	۳/۸۷	۲/۹۹
Typic Huplu steps	۴۲۶۷/۲۳	۲۰/۰۵	.	.

شیب (درصد)

قابلیت اراضی

زمین‌شناسی

بارش (میلی‌متر)

کاربری اراضی

حفاظ روی خاک

(درصد)

خاک‌شناسی

## پهنه‌بندی فرسایش خندقی

استعداد خندق انتخاب می‌شود. این نتیجه در سایر مطالعات نیز نشان داده شده بود، بنابراین از گامای فازی که کارکرد تعدیلی دارد استفاده می‌شود.

در حوضه آبگندی، با استفاده از عوامل تأثیرگذار و با توجه به رابطه زیر عمل پهنه‌بندی مناطق مختلف دارای پتانسیل خندق صورت گرفته است (شکل ۳). جدول ۲ نیز، درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی را به روش جمع جبری فازی نشان می‌دهد:

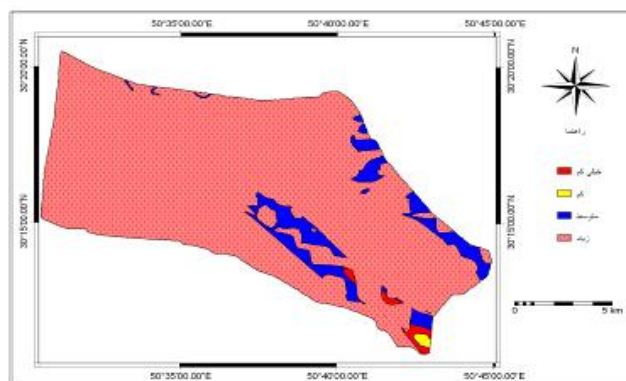
$$\text{Fuzzy Algebraic Sum} = 1 - ((1 - WLi \text{ Fuzzy}) \times (1 - WSi \text{ Fuzzy}) \times (1 - WSO \text{ Fuzzy}) \times (1 - WRa \text{ Fuzzy}) \times (1 - WLu \text{ Fuzzy}) \times (1 - WLC \text{ Fuzzy})) \quad (10)$$

ضریب متوسط بارندگی سالانه فازی،  $WLi \text{ Fuzzy}$  ضریب حفاظ روی خاک فازی شده و  $WLu \text{ Fuzzy}$  ضریب کاربری اراضی فازی شده هستند.

در فرمول بالا  $WLi \text{ Fuzzy}$  ضریب سنگ‌شناسی فازی شده،  $WSi \text{ Fuzzy}$  ضریب شیب زمین فازی شده،  $WSO \text{ Fuzzy}$  ضریب نوع خاک فازی شده  $WRa \text{ Fuzzy}$

جدول ۲. درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش جمع جبری فازی

طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
بسیار کم	۱۷۴/۸۴	۰/۸۲	۰	۰
کم	۵۰/۸۹	۰/۲۴	۰	۰
متوسط	۱۵۳۴/۵۶	۷/۲۱	۰	۰
زیاد	۱۹۵۲۱/۹۲	۹۱/۷۳	۱۲۹/۲۴	۱۰۰



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش جمع جبری فازی

سمت صفر میل می‌کنند. در حوضه مطالعه شده، نقشه پهنه‌بندی زمین پهنه‌بندی فرسایش خندقی (شکل ۴) از طریق مدل ضرب جبری فازی با استفاده از رابطه زیر صورت گرفته است. جدول ۳ درصد و مساحت طبقات مختلف فرسایش خندقی را به روش ضرب جبری فازی نشان می‌دهد:

## پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش ضرب جبری فازی

در ضرب جبری فازی همه عوامل وزنی مؤثر در وقوع فرسایش خندقی در هم ضرب شده و چون همه وزن‌های داده شده به کلاسه‌های مختلف عوامل مؤثر بین اعداد صفر و یک هستند در نقشه به دست آمده اعداد کوچک می‌شوند و به



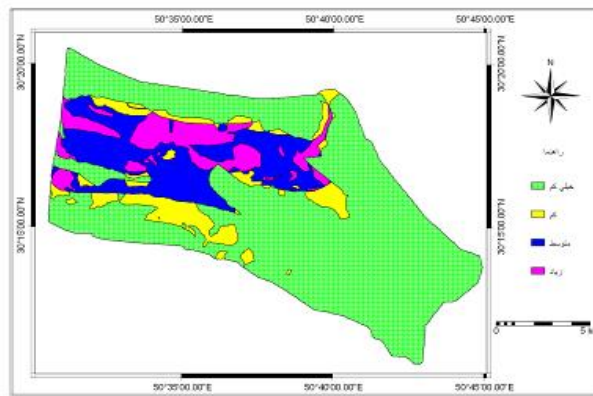
$$\text{Fuzzy Algebraic product} = ((WLi \text{ Fuzzy}) \times (WSi \text{ Fuzzy}) \times (WSO \text{ Fuzzy}) \times (WRa \text{ Fuzzy}) \times (WLC \text{ Fuzzy}) \times (WLu \text{ Fuzzy})) \quad (11)$$

ضریب متوسط بارندگی سالانه فازی، WLC Fuzzy ضریب حفاظ روی خاک فازی شده و WLu Fuzzy ضریب کاربری اراضی فازی شده هستند.

در فرمول بالا WLi Fuzzy ضریب سنگ‌شناسی فازی شده، WSi Fuzzy ضریب شیب زمین فازی شده، WSO Fuzzy ضریب نوع خاک فازی شده و WRa Fuzzy

جدول ۳. درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش ضرب جبری فازی

طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
بسیار کم	۱۴۰۸۹/۸۱	۶۶/۲۰	۳/۸۷	۲/۹۹
کم	۱۸۸۱/۳۱	۸/۸۴	۰	۰
متوسط	۳۴۶۱/۳۱	۱۶/۲۶	۵۶/۷۰	۴۳/۸۷
زیاد	۱۸۴۹/۷۴	۸/۶۹	۶۸/۶۷	۵۳/۱۳



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش ضرب جبری فازی

پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۲  
 برای پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۲  
 از رابطه ۱۳  

$$(F_S) \cdot 0.2 \times (F_P) \cdot 0.2 \quad (13)$$
  
 استفاده شد که در آن:  $F_S$  = تابع جمع جبری فازی و  $F_P$  =  
 تابع ضرب جبری فازی است.

پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۵  
 برای پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۵  
 از رابطه ۱۴  

$$(F_S) \cdot 0.5 \times (F_P) \cdot 0.5 \quad (14)$$
  
 استفاده شد که در آن:  $F_S$  = تابع جمع جبری فازی و  $F_P$  =  
 تابع ضرب جبری فازی است.

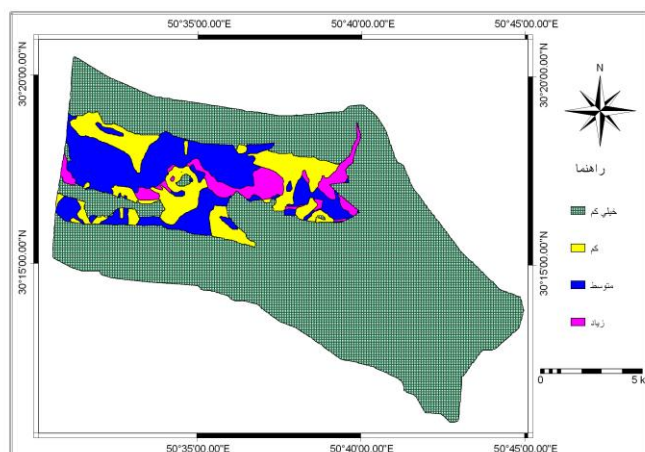
پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۱  
 برای تعدیل حساسیت بسیار زیاد اپراتور فازی ضرب و  
 حساسیت بسیار کم فازی جمع، اپراتور دیگری به نام فازی گاما  
 معرفی شده است که حد فاصل بین اپراتور فازی ضرب و فازی  
 جمع عمل می‌کند و فرمول آن به صورت زیر است [۲۴].

$$\mu_{combination} = \left[ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right]^y \times \left[ \prod_{i=1}^n \mu_i \right]^{1-y} \quad (12)$$

اگر  $Y = 1$  باشد، نقشه خروجی همان نقشه  
 به دست آمده از Fuzzy Sum خواهد بود و اگر  $Y = 0$  باشد،  
 نقشه خروجی همان نقشه به دست آمده از Fuzzy Product  
 خواهد بود. بنابراین، محدوده تغییرات بین صفر و یک است.  
 در این تحقیق از فازی گامی ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۸ برای  
 پهنه‌بندی فرسایش خندقی استفاده شده است.

جدول ۴. درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۲

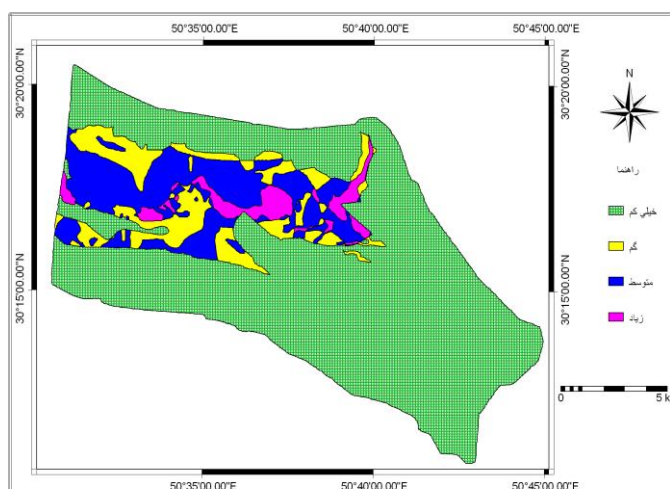
طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
بسیار کم	۱۵۹۷۱/۱۱	۷۵/۰۴	۳/۸۷	۲/۹۹
کم	۱۸۶۶/۴۹	۸/۷۷	۱۹/۰۸	۱۴/۷۶
متوسط	۲۶۸۳/۱۱	۱۲/۶۱	۸۳/۵۲	۶۴/۶۲
زیاد	۷۶۱/۴۹	۳/۵۸	۲۲/۷۷	۱۷/۶۲



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۲

جدول ۵. درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۵

طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
بسیار کم	۱۵۳۹۶/۷۵	۷۲/۳۵	۳/۸۷	۲/۹۹
کم	۲۰۱۴/۸۴	۹/۴۷	۱۲/۲۴	۹/۴۷
متوسط	۳۱۰۹/۱۷	۱۴/۶۱	۹۰/۳۶	۶۹/۹۲
زیاد	۷۶۱/۴۹	۳/۵۸	۲۲/۷۷	۱۷/۶۲



شکل ۶. نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۵

شاخص همپوشانی

در این مدل علاوه بر وزن دهی به طبقات عوامل، براساس درصد خندق رخ داده در هر کلاس نسبت به مساحت آن طبقه، به کلیه عوامل نیز براساس اهمیت آنها نسبت به یکدیگر جداگانه وزن داده شد و بیشترین وزن موجود برای هر یک از عوامل ۱۰ در نظر گرفته شد.

پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۸

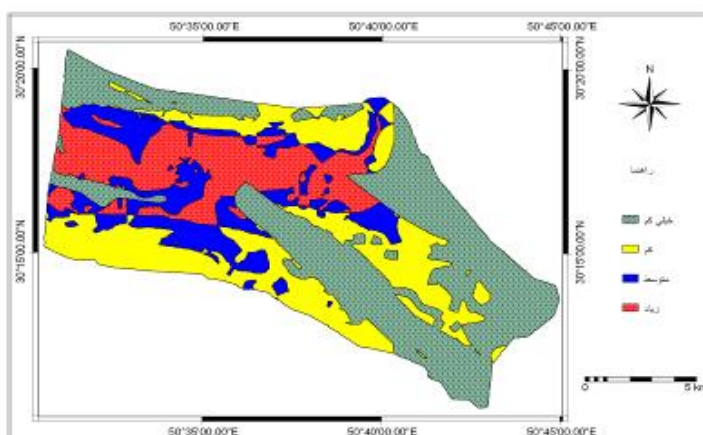
برای پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۸ از رابطه:

$$(F_s) \cdot 0.8 \times (F_p) \cdot 0.2 \quad (15)$$

استفاده شد که در آن FS = تابع جمع جبری فازی و FP = تابع ضرب جبری فازی است.

جدول ۶. درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۸

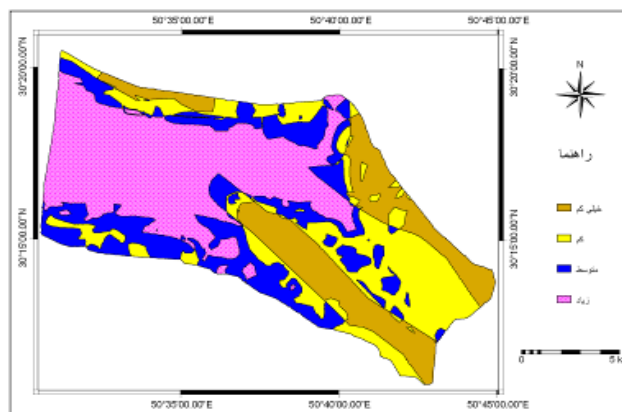
طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
بسیار کم	۸۴۱۴/۱۸	۳۹/۵۴	۰	۰
کم	۵۶۱۸/۱۶	۲۶/۴۰	۳/۸۷	۲/۹۹
متوسط	۳۳۷۹/۲۶	۱۵/۸۸	۱۲/۲۴	۹/۴۷
زیاد	۳۸۷۰/۶۶	۱۸/۱۹	۱۱۳/۱۳	۸۷/۵۳



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش فازی گامی ۰/۸

جدول ۷. درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به روش شاخص همپوشانی

طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
بسیار کم	۴۰۷۳/۳۷	۱۹/۱۴	۰	۰
کم	۴۸۱۶/۰۹	۲۲/۶۳	۰	۰
متوسط	۴۵۹۹/۱۰	۲۱/۶۱	۳/۸۷	۲/۹۹
زیاد	۷۷۹۳/۶۵	۳۶/۶۲	۱۲۵/۳۷	۹۷/۰۱



شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی به‌روش شاخص همپوشانی

بسیار کم قرار دارد که هیچ خندقی در این طبقه واقع نشده است. ۲۲/۶۳ درصد مساحت حوضه نیز در طبقه کم قرار دارد که بدون خندق است و ۲۱/۶۱ درصد مساحت حوضه در طبقه متوسط قرار دارد که ۲/۹۹ درصد مساحت خندقی شده در این طبقه واقع شده است. همچنین ۳۶/۶۲ درصد مساحت حوضه در طبقه شدید قرار دارد که ۹۷/۰۱ درصد مساحت خندقی شده در این طبقه واقع شده است. در مجموع، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و با در نظر گرفتن مساحت پهنه‌های مختلف و میزان خندق‌های رخ داده در هر یک از آنها، مدل فازی گامای ۰/۸، مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی فرسایش خندقی در حوضه آبخیز مطالعه شده است.

#### منابع

- [1].Morgan RP. Soil erosion and conservation. John Wiley & Sons; 2009 Feb 5.
- [2]. Carey BJ, Gray. Gully erosion. Department of Natural Resources and Mines, the State of Queensland; 2001. [on line] Available: <http://www.gcenvironment.org.au/pdf/LM81w.pdf>.
- [3].Kirkby MJ. Thresholds and instability in stream head hollows: a model of magnitude and frequency for wash processes. School of Geography, University of Leeds; 1992.
- [4]. Webb RH, Hereford R. Flood and geomorphic change in the southwestern United State: a historical perspective. Proc. 7th Federal Interagency sedimentation Conf; 2001 March 25-29, Reno, Nevada, USA, IV 30 -IV 37.
- [5].Prosser IP. Thresholds of channel initiation in historical and Holocene times, southeastern Australia. Advances in hillslope processes. 1996; 2:687-708.

کرم و همکارانش (۱۳۹۲) نیز گامای فازی ۰/۹ را به‌عنوان مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی نقاط ریزشی انتخاب کردند که با یافته‌های تحقیق حاضر تطابق دارد [۳۲]. نظم‌فر و همکارانش (۲۰۱۳) مدل فازی گامای ۰/۷ را مناسب‌ترین مدل برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و سیل‌گیری رودخانه قورچای اردبیل گزارش کردند [۳۳]. راهی و همکارانش (۲۰۱۱) گامای فازی ۰/۸ مناسب‌ترین روش پهنه‌بندی فرسایش خندقی در حوضه مطالعه شده است [۲۰].

#### نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد در پهنه‌بندی فرسایش خندقی به‌روش جمع جبری فازی، ۹۱/۷۳ درصد مساحت حوضه در طبقه شدید قرار دارد که ۱۰۰ درصد مساحت خندقی شده در این طبقه واقع شده است و باقی مساحت حوضه، در طبقه‌های بسیار کم تا متوسط قرار دارد. برای تعدیل حساسیت بسیار زیاد عملگر فازی ضرب و حساسیت بسیار کم فازی جمع، از عملگر دیگری به‌نام فازی گاما استفاده شد که حد فاصل بین عملگر فازی ضرب و فازی جمع عمل می‌کند. در این تحقیق از فازی گامای ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۸ برای پهنه‌بندی فرسایش خندقی استفاده شد. یکی دیگر از روش‌های پهنه‌بندی فرسایش خندقی، استفاده از شاخص همپوشانی است. در این روش یا مدل، علاوه بر وزن‌دهی به طبقات عوامل مختلف براساس درصد خندق رخ داده در هر کلاس نسبت به مساحت آن طبقه، به کلیه عوامل نیز براساس اهمیت آنها نسبت به یکدیگر جداگانه وزن داده می‌شود و بیشترین وزن موجود برای هر یک از عوامل ۱۰ در نظر گرفته می‌شود. نتایج نشان داد در این روش، ۱۹/۱۴ درصد مساحت حوضه در طبقه

- [6]. Harvey AM. Holocene hillslope gully systems in the Howgill Fells, Cumbria. *Advances in hillslope processes*. 1996; 2:731-52.
- [7]. Poesen J Nachtergaele J, Deckers J. Gullies in the Tersaert Forest (Huldenberg, Belgium): Climatic or anthropogenic cause? In: Verstraeten, G. (Ed.), *Gully Erosion Processes in the Belgian Loess Belt: Causes and Consequences*. International Symposium on Gully Erosion under Global Change, K.U. Leuven, Leuven, Belgium, 16-19 April 2000. pp. 15-26.
- [8]. Gábris G, Kertész Á, Zámbo L. Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena*. 2003 Jan 1; 50(2):151-64.
- [9]. Boardman J, Parsons AJ, Holland R, Holmes PJ, Washington R. Development of badlands and gullies in the Sneeuwberg, Great Karoo, South Africa. *Catena*. 2003 Jan 1; 50(2):165-84.
- [10]. Strunk H. Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion on mountain pastures and in forests. *Catena*. 2003 Jan 1; 50(2):185-98.
- [11]. Scheidegger AE. *Theoretical geomorphology*. Springer Science & Business Media; 2012 Dec 6.
- [12]. Howard AD. Simulation of Stream Networks by Headword Growth and Branching. *Geographical analysis*. 1971 Jan 1; 3(1):29-50.
- [13]. Hugus MK, Mark DM. Spatial data processing of digital simulation of erosion. Technical Paper of the Fall Convention of the American Society of Photogrammetry / American Congress on Surveying and Mapping, 1988. pp. 683-693.
- [14]. Willgoose G, Bras RL, Rodriguez-Iturbe I. Results from a new model of river basin evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*. 1991 May 1; 16(3):237-54.
- [15]. Moore ID, Burch GJ, Mackenzie DH. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies. *Trans. ASAE*. 1988 Jul 1; 31(4):1098-107.
- [16]. Morgan RPC, Mngomezulu D. Threshold conditions for initiation of Valley -side gullies in the Middle Veld of Swaziland. *Catena*. 2003; 50: 401-414.
- [17]. Marzolf I, Poesen J. The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system. *Geomorphology*. 2009 Oct 1; 111(1):48-60.
- [18]. Achten WM, Dondeyne S, Mugogo S, Kafiriti E, Poesen J, Deckers J, Muys B. Gully erosion in South Eastern Tanzania: spatial distribution and topographic thresholds. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2008 Jun 1; 52(2):225-35.
- [19]. Jafari Gorzin B, Kavian A. Assessment of Gully Erosion Occurrence in Sorkh-Abad Watershed Using Remote Sensing and Geographical Information System. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 2009; Vol. 3, No. 7, 55-58. (In Persian).
- [20]. Rahi GhR, Nazari Samani AA, Ghoddousi J. Validation of the predicting model for land vulnerability to gully erosion in arid watersheds (Case study: Boushehr province). *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*. 2011; Vol. 64, No.3, pp.281- 294. (In Persian).
- [21]. Esfandyari doraba F, Beheshti javid E, fathi Mh. Gully erosion Susceptibility Evaluation using fuzzy logic model (Case study: Golestan dam catchment-Ghornave River). *Secend International Conference on Environmental Hazards*. Kharazmi University. 2013; Pp 10. (In Persian).
- [22]. Farajzadeh M, Afzali AA, Khalili Y, Ghelichi EA. Assessment of the sensitivity to gully erosion using multiple regression models. Case Study: Kiasar, environmental erosion research journal. 2012; 2(6): 57-42. (In Persian).
- [23]. Ahmadi M. Analysis factors affecting on formation and expansion gully erosion, Case study: Lamerd. MS Thesis, School of Geography Tehran University. 2011; Page 11. (In Persian).
- [24]. Zadeh LA. Fuzzy sets. *Information and control*. 1965 Jun 1; 8(3):338-53.
- [25]. De Gooijer JG, Hyndman RJ. 25 years of time series forecasting. *International journal of forecasting*. 2006 Dec 31; 22(3):443-73.
- [26]. Ayalew L, Yamagishi H, Marui H, Kanno T. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*. 2005 Nov 30; 81(4):432-45.
- [27]. Matekan AA, Samiea J, Poorali SH, Safaei M. Fuzzy Logic Models and Remote Sensing Techniques for Landslide Hazard Zonation in the Watershed Lajym. *Appliedgeology Journal*. 2009; 4: 318-325.
- [28]. Mirnazari J, Shahabi H, Khezri S. Landslide Risk Assessment and Zonation using AHP Model and Fuzzy Logic Operators in the Posht Tang Watershed-Sarpol-e Zahab (Kermanshah Province). *Geographical Development*. 2014; (37): 53-70.

- [29]. Shadfar S, Yamani M, GHodoosi J, Ghayoomiean J. Risk Landslide Zonation using Analytic Hierarchy Process (AHP), Case Study: Chakrood Watershed in the Tonekabon. Research and Construction in Natural resources. 2007; 20 (75): 118-126.
- [30]. Servati M, Ghedosi J, Dadkhah M. Factors affecting in the formation and development of gully erosion in the losses, research and construction in natural resources. 2008; No. 21. (In Persian).
- [31]. Shahrivar A. Factors Effecting Gully Erosion and Model Presentation in Souq- Dehdasht, Master's Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 1997; (In Persian).
- [32]. Karam A, Ghelizade A, Agha alikhani M, Afsharmamesh H. The application of Topsis and Fuzzy models in mapping of landfall movements. 2013; NO. 3. Pp. 75-94. (In Persian).
- [33]. Nazm far H, Beheshti javid E, fathi MH. Potential flooding and flood risk zonation using fuzzy logic model (Case study: ghuri chay river catchment). Secend International Conference on Environmental Hazards. Kharazmi University. 2013; Pp 9. (In Persian).