

پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی با استفاده از مدل دمپستر- شفر در حوضه آبخیز قرناوه، استان گلستان

کازم صابر چناری^۱، عبدالرضا بهره‌مند^{۲*}، واحد بردی شیخ^۲، چوقی بایرام کمکی^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۵/۱۳؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۸/۲۱)

چکیده

هدف از این تحقیق پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی با استفاده از مدل دمپستر- شفر در حوضه آبخیز قرناوه استان گلستان است. بدین منظور ابتدا نقشه پراکنش پهنه‌های خندق‌های (متغیر وابسته) حوضه آبخیز قرناوه با استفاده از بازدهای میدانی و تصاویر ماهواره‌ای با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ در محیط ArcGIS تهیه شد. ۷۰ درصد از کل پهنه‌های خندقی برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر و ۳۰ درصد آن برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. در گام بعدی ۷ لایه اطلاعاتی درصد شیب، جهت شیب، انحنای سطح، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، و فاصله از جاده به‌عنوان عوامل مؤثر (متغیر مستقل) بر ایجاد فرسایش خندقی انتخاب و در نرم‌افزار ArcGIS رقومی شد. از ترکیب متغیرهای مستقل با متغیر وابسته، مقدار تراکم خندق در هر کلاس عامل محاسبه و نرخ‌دهی طبقات براساس روابط موجود در مدل دمپستر- شفر صورت گرفت. در نهایت، با جمع جبری نقشه‌های وزنی به‌دست آمده نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی به‌دست آمد. نتایج طبقه‌بندی مدل نشان داد از کل پهنه‌های خندقی در نظر گرفته شده برای مرحله اعتبارسنجی مدل در حوضه آبخیز قرناوه ۶۸/۰۶ درصد در طبقه خطر زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرند. همچنین نتایج اعتبارسنجی مدل با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد نسبی و سطح زیرمنحنی آن نشان داد مدل دمپستر- شفر با دقت ۹۶/۱ درصد و انحراف معیار ۰/۰۰۳ برای پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی منطقه مطالعه شده مناسب است.

کلیدواژه‌گان: پهنه‌بندی خطر، حوضه آبخیز قرناوه، دمپستر- شفر، فرسایش خندقی.

مقدمه

فرسایش آبی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب اراضی در مناطق وسیعی از حوضه‌های آبخیز در نظر گرفته می‌شود [۱] و [۲]. به همین دلیل در دهه‌های گذشته، روش‌هایی به‌منظور ارزیابی فرسایش توسعه پیدا کرد. بیشتر این روش‌ها تجربی یا فیزیکی هستند و مقدار کمی فرسایش شیاری و بین شیاری را در مقیاس کرت‌های فرسایش به‌دست می‌آورند [۲ و ۳]. مطالعات اخیر، بیشتر روی فرسایش‌های خندقی در سطح وسیع‌تر مانند حوضه آبخیز تمرکز دارد [۲، ۴، ۵ و ۶]. زیرا با افزایش سطح حوضه آبخیز، فرسایش کل بین ۱۰ تا ۹۴ درصد افزایش می‌یابد [۷]. خندق معمولاً کانال عمیقی است که در نتیجه فرسایش ناشی از تمرکز رواناب، تخریب خاک و مواد مادری به‌وجود می‌آید. اندازه آن نسبتاً بزرگ است و به‌وسیله عملیات معمولی شخم از بین نمی‌رود [۸]. یکی از مشکلات اساسی حوضه‌های آبخیز استان گلستان، فرسایش و تخریب زیاد خاک است به‌گونه‌ای که توازن بین خاک‌سازی و فرسایش خاک به هم می‌خورد و میزان آن از غرب به شرق استان افزایش می‌یابد. در این میان فرسایش خندقی و تونلی بیشترین اهمیت را به‌خود اختصاص داده است [۹]. حوضه آبخیز قرناوه نیز در بخش شرقی استان گلستان قرار دارد. فرسایش خندقی به‌عنوان یکی از اشکال بحرانی فرسایش آبی در این حوضه آبخیز نه‌تنها سبب نابودی حجم بزرگی از خاک در زمین‌ها، تغییرات ناهنجار در منظر زمین، کیفیت آب و ممکن نبودن فعالیت‌های کشاورزی و بهره‌برداری اقتصادی از عرصه‌های منابع طبیعی شده بلکه گسترش این پدیده، جاری شدن سیل، جابه‌جایی حجم زیادی از رسوبات و در نتیجه پرشدن مخازن سدها را به‌دنبال داشته است که می‌تواند تهدیدی برای تعادل زیست‌محیطی و پایداری آن باشد [۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳]. بنابراین، شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع این نوع فرسایش و پهنه‌بندی آن یکی از ابزارهای مهم کنترل این پدیده است [۱۴]. کاربردهای اولیه تئوری دمپستر-شفر در ایران بیشتر در زمینه‌های برق و کامپیوتر بوده است، اما در حیطه مخاطرات طبیعی تنها می‌توان به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از این تئوری در مطالعات [۱۵ و ۱۶] اشاره کرد. آنها ابتدا پس از بررسی‌های میدانی ۱۱ فاکتور مؤثر شامل شیب دامنه، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و

سنگ‌شناسی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت رودخانه، شاخص طول شیب به‌عنوان عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند و نقشه این ۱۱ عامل در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و لایه پراکنش زمین‌لغزش‌ها روی هر یک از این لایه‌ها انداخته و همپوشانی شد تا نقش طبقات مختص به عوامل مختلف مشخص شود.

نتایج ارزیابی دو روش با استفاده از منحنی عملکرد نسبی نشان داد این روش‌ها دقت بسیار خوبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه دارند [۱۵]، اما تا کنون درباره تهیه نقشه خطر فرسایش خندقی با استفاده از روش دمپستر-شفر در کشور مطالعه‌ای انجام نشده است. مهم‌ترین مطالعات انجام‌شده در داخل و خارج کشور عبارت‌اند از: شادفر [۱۷] از عملگرهای منطق فازی در حوضه آبخیز طرود با هدف مشخص کردن پهنه‌های مختلف خطر، به‌دست‌آوردن مساحت هریک از آنها و ارائه نقشه خطر فرسایش خندقی استفاده کرد. یمانی و همکارانش [۱۸] عوامل مؤثر بر رشد و گسترش فرسایش خندقی و پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور فارس را با روش تحلیلی سلسله‌مراتبی مطالعه کردند. بدین‌منظور از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی شامل عوامل لیتولوژیکی، توپوگرافیکی و اداپیکي و نقشه محدوده خندق‌های تهیه‌شده با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۷۲ استفاده کردند. نتایج نشان داد فاکتور سنگ‌شناسی و کاربری اراضی در درجه اول و دوم اهمیت در ایجاد خندق‌ها در منطقه مطالعه‌شده قرار دارند. فرج‌زاده و همکارانش [۱۹] در تحقیقی میزان حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل رگرسیون چندمتغیره را ارزیابی کردند. مقصودی و همکارانش [۲۰] در پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی با استفاده از شاخص همپوشانی در حوضه زواریان استان قم به این نتیجه رسیدند که سنگ‌شناسی، شیب، منابع و قابلیت اراضی، جهت شیب و کاربری اراضی عوامل اصلی مؤثر در وقوع فرسایش خندقی هستند. وایت و همکارانش [۱۳] مناطق حساس به ایجاد خندق که با مشکل کمبود داده مواجه بودند را پیش‌بینی کردند. برای این‌منظور از آستانه‌های شیب - سطح بهره بردند. کاناستنی و همکارانش [۲] از مدل رگرسیون لجستیک و GIS به‌منظور تهیه نقشه حساسیت به فرسایش خندقی استفاده کردند. برای این‌منظور پس از تهیه نقشه پراکنش خندق‌های منطقه سیسیل (ایتالیا) اثر عوامل مختلف

حوضه به‌لحاظ جغرافیایی در محدوده طول شرقی ۳۶۰°۳۷ تا ۴۱۴۴۷۲ و عرض شمالی ۴۱۸۳۸۱۹ تا ۴۱۵۵۲۶۷ قرار دارد. این حوضه روی سرشاخه‌های گرگان‌رود بسته شده است. مهم‌ترین رودخانه‌های این حوضه، قرناوه و شوردره هستند که پس از اتصال این انشعابات و پیوستن رودخانه‌های مادر سو و چهل‌چای در پایین‌دست حوضه، گرگان‌رود را تشکیل داده‌اند که در نهایت این رودخانه به خلیج گرگان تخلیه می‌شود. ارتفاع متوسط وزنی حوضه ۵۹۰ متر است. شیب متوسط حوضه ۲۶ درصد که به سمت پایین‌دست حوضه از شیب آن کاسته می‌شود و به ۲ تا ۳ درصد می‌رسد. کاربری عمده حوضه شامل مرتع و زراعت است. خاک حوضه بیشتر سیلتی لومی و از نظر زمین‌شناسی نیز بیشتر توسط رسوبات بادی یخچالی مثل لس و رسوبات جدید و قدیم آبرفتی پوشیده شده است. بنابراین، این منطقه خاصیت فرسایش‌پذیری زیادی دارد. رودخانه قرناوه به‌صورت یک گالی ناپایدار و بسیار فرسایشی است و در برخی مناطق عمق زیاد و دیواره‌های جانبی عمودی دارد [۱۰]. از این‌رو، در تحقیق حاضر حوضه آبخیز قرناوه به‌منظور تهیه پهنه‌های خطر فرسایش خندقی انتخاب شد. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه‌شده را در استان گلستان نشان می‌دهد.

روش تحقیق

برای تهیه نقشه خطر فرسایش خندقی، تهیه نقشه پراکنش خندق‌های منطقه احتیاج است. در این تحقیق با استفاده از بازدید میدانی گسترده و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، پهنه‌های خندقی حوضه ثبت و وارد نرم‌افزار ArcGIS شد (شکل ۲). ۷۰ درصد از کل پهنه‌های خندقی برداشت‌شده از بازدیدهای میدانی، برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر و ۳۰ درصد آن برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد [۲۱، ۲۵ و ۲۶].

به‌طور کلی، انتخاب نوع عوامل مؤثر در ظهور یک پدیده از قبیل خندق، زمین‌لغزش، چشمه، قنات با توجه به شرایط مختلف منطقه مطالعه‌شده متفاوت است و در مطالعات مختلف صورت‌گرفته در این زمینه محققان داخلی و خارجی مجموعه‌ای از عوامل مختلف توپوگرافیکی، لیتولوژیکی و هیدرولوژیکی را در مطالعات پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی در نظر گرفته‌اند. در این مطالعه نیز سعی شد با توجه به تحقیقات انجام‌شده در زمینه پهنه‌بندی فرسایش خندقی

لیتولوژیکی، توپوگرافیکی و اداپیکي مؤثر بر فرسایش خندقی با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک بررسی شد. دوب و همکارانش [۲۱] در تحقیق کاربرد مدل وزنی شاهد را در پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی در زیمبابوه ارزیابی کردند. آنها پیشنهاد دادند که کاربری اراضی، نوع خاک، فاصله از رودخانه، شاخص قدرت رودخانه و شاخص رطوبت توپوگرافی برای تولید نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی مفید هستند، اما ممکن است برای ایجاد نقشه قابل قبول کافی نباشند. کانفورتی و همکارانش [۲۲] از مدل شاخص آماری و عواملی مانند کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، شیب و جهت آن، انحنای سطح، شاخص قدرت رودخانه، شاخص رطوبت توپوگرافی و طول شیب نقشه پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش خندقی حوضه رودخانه توربولو در جنوب ایتالیا را تهیه کردند. آچن و همکارانش [۲۳] وقوع فرسایش خندقی را در جنوب شرق تانزانیا بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند وقوع خندق‌ها با زبری سطح، رابطه مثبت و با تراکم جمعیت رابطه منفی داشتند. در این منطقه وجود جاده‌ها بر وقوع خندق‌ها تأثیر داشتند و این ارتباط با حساسیت زیاد منطقه به این نوع فرسایش، توضیح داده شده است. با در نظر گرفتن مجموع مطالب یادشده می‌توان گفت که فرسایش خندقی نیز همانند بسیاری پدیده‌های طبیعی پیچیدگی‌هایی دارد که بهترین راه برای شناسایی و بررسی تأثیرات و جنبه‌های مختلف آن استفاده از روش‌های نوین مطالعاتی از جمله دمپستر- شفر است. مزایای این روش‌ها نیاز داده‌ای کم، انعطاف‌پذیری، قابلیت استفاده از آنها در مقیاس‌های جغرافیایی کوچک تا بزرگ و سهولت درک و کاربرد خروجی مدل در مقایسه با مدل‌های تجربی و فیزیکی است [۲۴]. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی با استفاده از مدل دمپستر- شفر و داده‌های سنجش از دور و GIS در حوضه آبخیز قرناوه است. بدین‌منظور ابتدا تعدادی از فاکتورهای مؤثر بر فرسایش خندقی انتخاب و سپس پهنه‌های مختلف خطر فرسایش خندقی با استفاده از مدل دمپستر- شفر برای منطقه مطالعه‌شده تهیه شدند.

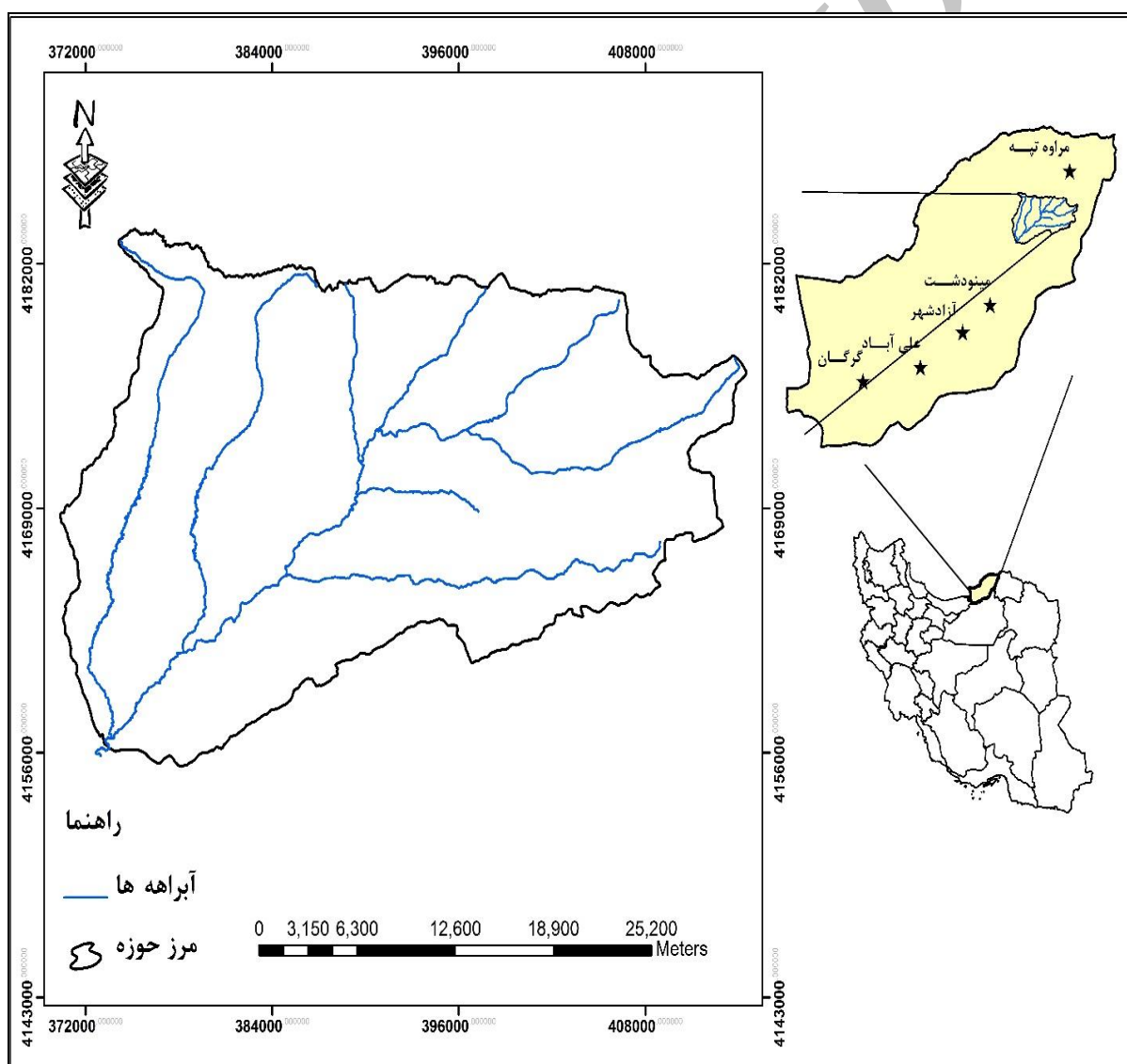
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

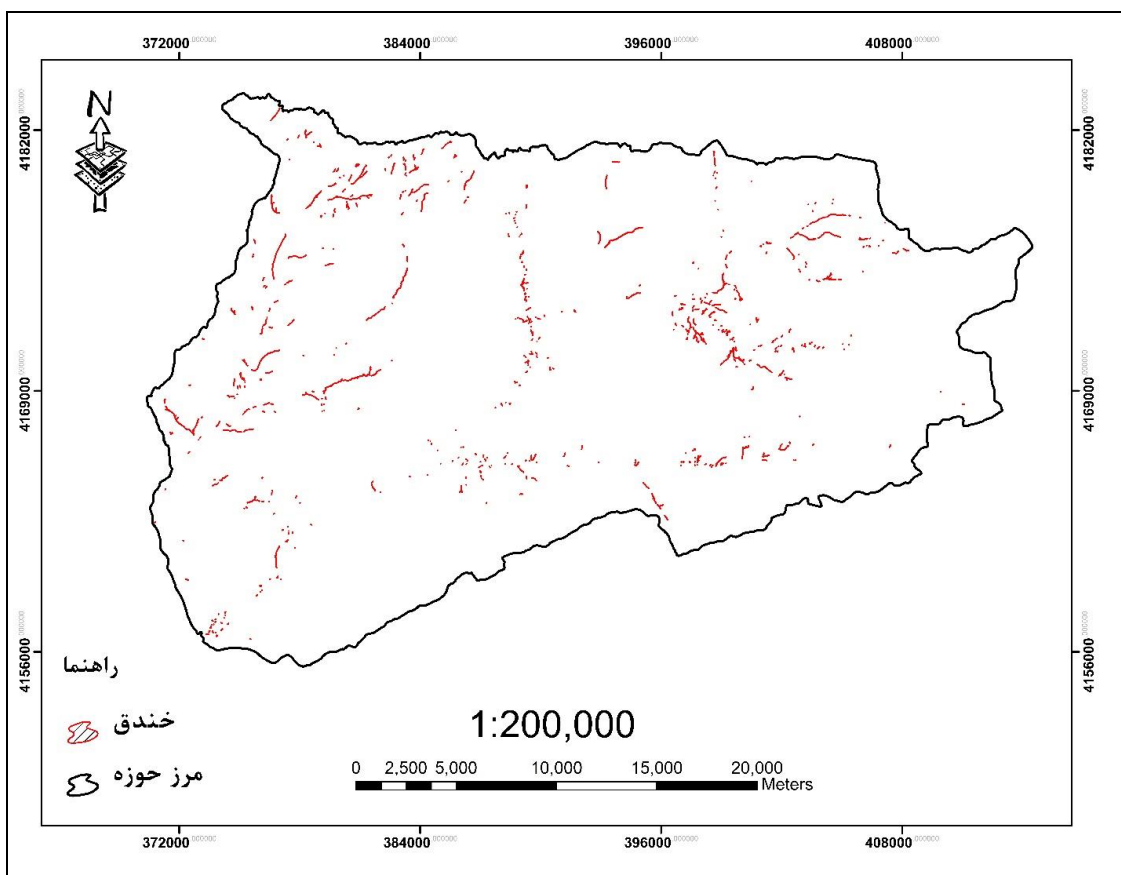
حوضه قرناوه با مساحت ۷۸۴/۳۰ کیلومتر مربع در شرق استان گلستان و در شهرستان کلاله واقع شده است. این

کاربری اراضی منطقه از طریق تصاویر ماهواره‌ای (ETM) لایه‌های اطلاعاتی ۷ عامل مؤثر در وقوع خندق در حوضه آبخیز قرناوه تهیه شد. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، انحنای سطح، کاربری اراضی، زمین شناسی، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه هستند که نقشه هر یک در محیط ArcGIS تهیه و طبقه‌بندی شدند. به منظور بررسی ارتباط عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش خندقی در حوضه آبخیز قرناوه نقشه هر یک از عوامل مؤثر در محیط ArcGIS با نقشه پراکنش خندق‌ها تلفیق و پراکندگی خندق‌ها در هر طبقه از عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی به دست آمد.

در استان گلستان و سایر مناطق کشور و همچنین مطالعات انجام شده در خارج از کشور در این زمینه و نظرات کارشناسی اساتید متخصص دانشگاهی و کارشناسان منابع طبیعی استان گلستان، عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی در حوضه آبخیز قرناوه انتخاب و اثر آنها بر ایجاد این نوع فرسایش در این حوضه آبخیز بررسی شود [۲، ۴، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۲۲ و ۲۷]. از این رو، با استفاده از داده‌های موجود، نقشه‌های پایه و تصاویر ماهواره‌ای (نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروی مسلح، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور، نقشه



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز قرناوه در استان گلستان و ایران



شکل ۲. موقعیت خندق‌ها در حوضه آبخیز قرناوه

است و این تشابه سبب شده است که ترکیب این دو تئوری انعطاف‌پذیری زیادی همچون قوانین مبتنی بر سیستم داشته باشد. تئوری دمپستر- شفر به دلیل انعطاف‌پذیری نسبی آن همواره مورد توجه محققان قرار گرفته است. تئوری یادشده براساس دو ایده اصلی بنیان‌گذاری شده است: ۱. تعیین درجات اعتقاد برای یک سؤال مبتنی بر احتمالات ذهنی؛ ۲. تعیین قوانین دمپستر به منظور ترکیب درجات اعتقاد برای بخش‌های مستقل یک واقعه. نظریه وقوع دمپستر- شفر در واقع یک چهارچوب ریاضی برای توصیف داده‌های ناقص تهیه می‌کند [۳۰].

اگر فرض شود ۱ چندین لایه متعدد از داده‌های مکانی موجود در منطقه بوده که به فرسایش خندقی حساس است، هر لایه از داده‌های مکانی به صورت E_i ($i=1,2,\dots,1$) برای تابع هدف T_p در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب E_{ij} به دست می‌آید که در آن زویژگی کلاس یا طبقه‌ای از E_i و توزیع فراوانی از موقعیت‌ها یا ویژگی‌های مثبت و منفی در

مدل دمپستر- شفر

تئوری دمپستر- شفر به عنوان تئوری تابع اعتقادات شناخته می‌شود که خود تعمیمی از تئوری بیزین است که مبتنی بر احتمالات است. از آنجا که تئوری بیزین برای هر سؤال نیازمند احتمالات است، توابع اعتقادی بیانگر درجات اعتقاد برای یک سؤال و یا یک احتمال مختص به آن است. این درجات اعتقاد ممکن است خواص ریاضی احتمالات را داشته یا نداشته باشد. اینکه چقدر ممکن است از احتمالات متفاوت باشد، به قرابت دو سؤال مطرح شده بستگی دارد. این تئوری در سال ۱۹۶۷ توسط دمپستر به کار برده شد [۲۸] و در ادامه ساختار ریاضی آن توسط شفر در سال ۱۹۷۶ تشریح شد [۲۹]، اما اصلیت این تئوری به قرن ۱۷ برمی‌گردد. این تئوری بسیار مورد توجه محققان هوش مصنوعی به‌ویژه در اوایل سال ۱۹۸۰، قرار گرفته است یعنی زمانی که آنها سعی کردند از تئوری احتمالات در سیستم‌های خبره استفاده کنند. درجات اعتقاد تئوری دمپستر- شفر بسیار شبیه فاکتور اطمینان

فاکتورهای مؤثر بر فرسایش خندقی به دست می‌آید. بعد از تهیه نقشه‌های هر عامل براساس روابط مدل، نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی تهیه می‌شود. در این نقشه ارزش هر پیکسل از مجموع وزن‌های به دست آمده برای هر فاکتور در آن پیکسل محاسبه می‌شود. در مدل دمپستر- شفر طبقه‌هایی که خطر فرسایش بیشتری دارند، وزن کمتری به خود اختصاص می‌دهند. براساس شکستگی‌های طبیعی^۱، نقشه در پنج کلاس خطر بسیار کم، خطر کم، خطر متوسط، خطر زیاد و خطر بسیار زیاد طبقه‌بندی می‌شود [۳۲].

اعتبارسنجی مدل پهنه‌بندی خطر

از آنجا که در اعتبارسنجی مدل‌ها نمی‌توان از همان خندق‌هایی استفاده کرد که در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر استفاده شده‌اند؛ بنابراین از بین کل پهنه‌های خندقی برداشت شده از کار میدانی ۷۰ درصد برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی و ۳۰ درصد آن نیز برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد [۲۱، ۲۵ و ۲۶]. سپس با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد نسبی (ROC) و سطح زیرمنحنی آن (AUC) آن صحت نقشه پهنه‌بندی خطر تهیه‌شده ارزیابی شد. منحنی ROC نموداری است که در آن نسبت پیکسل‌هایی که توسط مدل به درستی وقوع یافتن یا نیافتن خندق پیش‌بینی شده‌اند در برابر مقدار مکمل آن یعنی نسبت پیکسل‌هایی که نادرست پیش‌بینی شده‌اند، ترسیم می‌شود. برای رسم منحنی ROC، قبل از کلاس‌بندی نقشه وزن نهایی، پهنه‌های خندقی را که برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شده روی نقشه انداخته و وزنی که در پهنه‌های خندقی به دست آمده است را یادداشت (کد ۱) و به همین تعداد نیز نقاطی را به صورت تصادفی در مناطق دیگر انتخاب، و وزن آنها نیز یادداشت می‌شود (کد صفر). براساس روابط موجود برای روش ROC وزن‌های به دست آمده استاندارد شده و وزن خندق‌ها به عنوان وزن‌های صحیح در محور عمودی و وزن بقیه نقاط که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند را در محور افقی وارد می‌کنیم. سطح زیرمنحنی‌ای که به دست می‌آید بیانگر دقت مدل است. هر چه سطح زیرمنحنی بیشتر باشد، دقت مدل بیشتر و میزان آن بین ۰/۵ تا ۱

بروز خندق‌ها دارد. نرخ مثبت با علامت $\lambda(T_p)_{E_{ij}}$ نشان داده و به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود [۳۱]:

$$\lambda(T_p)_{E_{ij}} = \frac{N(L \cap E_{ij})}{N(L) \cdot \frac{N(E_{ij})N(L \cap E_{ij})}{N(A) - N(L)}} \quad (1)$$

نرخ یا نمره منفی با علامت $\lambda(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$ مشخص و به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$\lambda(\bar{T}_p)_{E_{ij}} = \frac{N(L) - N(L \cap E_{ij})}{N(L) \cdot \frac{N(A) - N(L) - N(E_{ij}) + N(L \cap E_{ij})}{N(A) - N(L)}} \quad (2)$$

که در آن T_p : وضعیت هدف که در اینجا مختص به عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش خندقی است؛ \bar{T}_p : مختص به عواملی است که روی فرسایش خندقی تأثیری ندارند؛ $N(L \cap E_{ij})$: مساحت خندق در هر طبقه؛ $N(L)$: مساحت کل خندق‌های منطقه؛ $N(E_{ij})$: مساحت فاقد فرسایش خندق در هر طبقه؛ و $N(A)$: مساحت فاقد خندق منطقه مطالعه شده است. به طور کلی، مقدار نرخ‌های به دست آمده از روابط ۱ و ۲ در محدوده صفر تا بی‌نهایت متغیر است. از این رو، مرحله دیگری برای استانداردسازی محدوده مد نظر نیاز است که به صورت روابط ۳-۵ تعریف می‌شوند:

$$m(T_p)_{E_{ij}} = \frac{\lambda(T_p)_{E_{ij}}}{\sum \lambda(T_p)_{E_{ij}}} \quad (3)$$

$$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}} = \frac{\lambda(\bar{T}_p)_{E_{ij}}}{\sum \lambda(\bar{T}_p)_{E_{ij}}} \quad (4)$$

$$m(\theta) = 1 - m(T_p)_{E_{ij}} - m(\bar{T}_p)_{E_{ij}} \quad (5)$$

در این روابط $m(T_p)_{E_{ij}}$ نرخ مثبت استاندارد شده (میزان اعتقاد به وقوع فرسایش خندقی)؛ $m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$ نرخ منفی استاندارد شده (میزان اعتقاد به عدم وقوع فرسایش خندقی) و $m(\theta)$ میزان نرخ نهایی است [۳۱]. براساس روابط یاد شده همه طبقات هر عامل نرخ‌دهی می‌شوند. در محیط ArcGIS این نرخ‌ها به نقشه اضافه و نقشه

مطالعات [۱۷ و ۲۰] مطابقت دارد. رواناب در شیب‌های پایین فرصت تمرکز و نفوذ بیشتری دارد، بنابراین احتمال ایجاد حفره و تبدیل شدن به خندق افزایش می‌یابد.

جهت شیب: نقشه جهت شیب نیز از روی نقشه مدل رقومی ارتفاع در ۹ طبقه تهیه، و سپس مساحت طبقات و مساحت خندق‌های هر طبقه، درصد تراکم سطحی خندق‌ها و نرخ مدل دمپستر- شفر محاسبه شد (جدول ۲). بیشترین فراوانی خندق‌ها مختص به جهت شمال غربی حوضه آبخیز قرناوه است که با نتایج تحقیقات [۱۲ و ۳۶] مطابقت دارد. بررسی نشان داده است جهت شیب نقش مستقیم روی رواناب و فرسایش ندارد. نقش اصلی آن در میزان رواناب و ایجاد فرسایش، به سبب تفاوت در میکروکلیمای موجود در طبقات مختلف شیب است [۳۷].

متغیر است [۲۶ و ۳۲]. به‌طور کلی، تقسیم ۰/۹ - ۱، عالی؛ ۰/۸ - ۰/۹، بسیار خوب؛ ۰/۷ - ۰/۸، خوب؛ ۰/۶ - ۰/۷، متوسط و ۰/۵ - ۰/۶، ضعیف، را برای همبستگی کیفی و کمی سطح زیرمنحنی و ارزیابی تخمین ارائه کرده‌اند [۳۳ و ۳۴].

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از ارتباط هریک از عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش خندقی و مدل دمپستر- شفر در ادامه شرح داده شده است (جدول‌های ۱-۷).

درصد شیب: نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع براساس طبقه‌بندی مخدوم [۳۵] در ۹ طبقه تهیه، و مساحت طبقات، مساحت خندق‌های هر طبقه و درصد تراکم سطحی خندق‌ها محاسبه شد (جدول ۱). نتایج نشان داد بیشترین فراوانی مساحتی خندق‌ها در طبقات زیر ۲۰ درصد است که با نتایج

جدول ۱. توزیع فراوانی مساحتی خندق‌ها برحسب طبقات درصد شیب حوضه آبخیز قرناوه

عامل	طبقه	مساحت کل (هکتار)	مساحت مناطق خندقی (هکتار)	درصد تراکم سطحی	$m(T_p)_{E_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$	$m(\theta)$
درصد شیب	۰-۲	۲۳۳۲/۵۶	۲/۳۷	۹/۷۳	۰/۲۵۵	۰/۱۰۲	۰/۶۴۲
	۲-۵	۳۳۵۹/۶۷	۲/۲۱	۹/۰۵	۰/۱۶۵	۰/۱۰۴	۰/۷۳۱
	۵-۸	۳۸۶۳/۵۹	۲/۳۱	۹/۴۸	۰/۱۵۰	۰/۱۰۵	۰/۷۴۵
	۸-۱۲	۶۶۴۲/۹۴	۳/۵۳	۱۴/۴۷	۰/۱۳۳	۰/۱۰۳	۰/۷۶۴
	۱۲-۱۵	۵۹۸۴/۳۹	۲/۴۱	۹/۸۸	۰/۱۰۱	۰/۱۰۷	۰/۷۹۲
	۱۵-۲۰	۱۰۵۵۹/۸۵	۳/۲۹	۱۳/۴۹	۰/۰۷۸	۰/۱۱۰	۰/۸۱۲
	۲۰-۳۰	۱۷۹۳۹/۸۸	۴/۵۴	۱۸/۶۴	۰/۰۶۴	۰/۱۱۶	۰/۸۲۰
	۳۰-۶۵	۲۶۳۰۶/۵۷	۳/۶۲	۱۴/۸۴	۰/۰۳۵	۰/۱۴۱	۰/۸۲۵
	۶۵<	۱۴۳۷/۴۷	۰/۱۱	۰/۴۴	۰/۰۱۹	۰/۱۱۲	۰/۸۷۰

جدول ۲. توزیع فراوانی مساحتی خندق‌ها برحسب طبقات جهت شیب حوضه آبخیز قرناوه

عامل	طبقه	مساحت کل	مساحت مناطق خندقی	درصد تراکم سطحی	$m(T_p)_{E_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$	$m(\theta)$
جهت شیب	صاف	۱۴۰/۱۹	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۹۱	۰/۱۱۱	۰/۷۹۸
	شمال	۹۳۳۸/۶۹	۳/۰۳	۱۲/۴۲	۰/۱۱۸	۰/۱۱۰	۰/۷۷۱
	شمال شرقی	۸۸۸۸/۷۴	۲/۶۷	۱۰/۹۴	۰/۱۱۰	۰/۱۱۲	۰/۷۷۹
	شرق	۱۱۳۰۷/۶۹	۲/۷۹	۱۱/۴۶	۰/۰۹۰	۰/۱۱۵	۰/۷۹۵
	جنوب شرقی	۹۸۵۸/۲۱	۳/۸۰	۱۵/۵۷	۰/۱۴۱	۰/۱۰۷	۰/۷۵۲
	جنوب	۹۰۸۷/۳۲	۲/۷۵	۱۱/۲۷	۰/۱۱۰	۰/۱۱۲	۰/۷۷۸
	جنوب غربی	۸۷۹۹/۸۳	۲/۱۵	۸/۸۴	۰/۰۸۹	۰/۱۱۴	۰/۷۹۷
	غرب	۱۰۹۶۷/۹۶	۳/۳۰	۱۳/۵۵	۰/۱۱۰	۰/۱۱۲	۰/۷۷۸
شمال غربی	۱۰۰۲۹/۹۳	۳/۸۶	۱۵/۸۳	۰/۱۴۰	۰/۱۰۷	۰/۷۵۲	

کشور تهیه شد. حوضه آبخیز قرناوه واحدهای سنگ‌شناسی متنوعی شامل نهشته‌های رسوبی لسی (Q_1)، رسوبات آبرفتی عهد حاضر (Q_{all})، آبرفت‌های پادگانه‌های کهن (Q)، سازند تیرگان (K_t)، سازند سرچشمه (K_{sa})، سازند سنگانه (K_s)، سازند اتامیر (K_{at})، سازند مزدوران (J_{mz})، سازند پستلیق (Eps)، سازند خانگیران (Ekh) دارد (جدول ۴). بررسی نتایج مختص به ایجاد فرسایش خندقی در زمینه سنگ‌شناسی منطقه مطالعه شده نشان می‌دهد از کل مساحت خندقی حوضه آبخیز قرناوه بیشترین درصد (۷۷/۵۳) مختص به نهشته‌های رسوبی لسی است. فراوانی زیاد و انحلال‌پذیری زیاد سازندهای لسی در منطقه مطالعه شده یکی از عوامل اصلی ایجاد فرسایش خندقی هستند که با نتایج مطالعات [۱۴، ۱۷، ۱۸، ۲۲ و ۳۹] همخوانی دارد.

کاربری اراضی: لایه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM منطقه مطالعه شده تهیه و در ۷ طبقه تقسیم شد. این طبقات شامل اراضی بدون پوشش، برونزد سنگی، جنگل طبیعی، جنگل کاری، زراعت، مرتع و مناطق مسکونی هستند (جدول ۳). بیشترین فراوانی مختص به کاربری زراعت است، اما درصد تراکم سطحی خندق‌ها نشان داد کاربری مرتع (۷۱/۵۱ درصد) بیشترین سهم را در ایجاد فرسایش خندقی در حوضه آبخیز قرناوه دارد که با نتایج مطالعات [۱۷ و ۲۰] همخوانی دارد. به‌طور کلی، اراضی بدون پوشش و لخت نسبت به اراضی دارای پوشش نقش بیشتری در ایجاد فرسایش دارند [۳۸].

لایه سنگ‌شناسی: نقشه سنگ‌شناسی منطقه مطالعه شده از روی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی

جدول ۳. توزیع فراوانی مساحتی خندق‌ها برحسب طبقات کاربری اراضی حوضه آبخیز قرناوه

عامل	طبقه	مساحت کل	مساحت مناطق خندقی	درصد تراکم سطحی	$m(T_p)_{E_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$	$m(\theta)$
کاربری اراضی	اراضی بدون پوشش	۷/۰۶	۰	۰	۰	۰/۱۴۳	۰/۸۵۷
	برونزد سنگی	۷۹۵/۶۱	۰/۲۱	۰/۸۷	۰/۱۹۶	۰/۱۴۳	۰/۶۶۱
	جنگل طبیعی	۱۱۶۸۴/۹۸	۰/۷۵	۳/۰۷	۰/۰۴۷	۰/۱۶۳	۰/۷۹۰
	جنگل کاری	۸۰۹/۴۰	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۰۵۳	۰/۱۴۴	۰/۸۰۳
	زراعت	۳۵۵۳۴/۶۷	۵/۸۳	۲۳/۹۳	۰/۱۲۰	۰/۱۹۹	۰/۶۸۱
	مرتع	۲۹۰۳۸/۲۳	۱۷/۴۳	۷۱/۵۱	۰/۴۴۰	۰/۰۶۵	۰/۴۹۵
	مناطق مسکونی	۴۹۸/۵۹	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۱۴۴	۰/۱۴۳	۰/۷۱۳

جدول ۴. توزیع فراوانی مساحتی خندق‌ها برحسب طبقات سنگ‌شناسی حوضه آبخیز قرناوه

عامل	طبقه	مساحت کل	مساحت مناطق خندقی	درصد تراکم سطحی	$m(T_p)_{E_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$	$m(\theta)$
سنگ‌شناسی	نهشته‌های رسوبی لسی	۵۸۹۵۸/۲۱	۱۸/۹۰	۷۷/۵۳	۰/۱۶۹	۰/۰۹۱	۰/۷۴۰
	رسوبات آبرفتی عهد حاضر	۴۸۲۶/۰۵	۱/۲۱	۴/۹۵	۰/۱۳۳	۰/۱۰۲	۰/۷۶۶
	آبرفت‌های پادگانه‌های کهن	۱۵۰۷/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۰۷	۰/۱۰۳	۰/۸۹۰
	سازند تیرگان	۵۴/۹۰	۰	۰	۰	۰/۱۰۱	۰/۸۹۹
	سازند سرچشمه	۳۴۸۱/۸۷	۱/۰۴	۴/۲۸	۰/۱۵۸	۰/۱۰۱	۰/۷۴۲
	سازند سنگانه	۷۹۹۳/۷۹	۲/۴۲	۹/۹۱	۰/۱۵۹	۰/۱۰۱	۰/۷۴۰
	سازند اتامیر	۱۱۶/۵۷	۰	۰	۰	۰/۱۰۱	۰/۸۹۹
	سازند مزدوران	۱۳۵/۸۵	۰	۰	۰	۰/۱۰۱	۰/۸۹۹
	سازند پستلیق	۱۷۶/۰۹	۰	۰	۰	۰/۱۰۱	۰/۸۹۹
	سازند خانگیران	۱۱۰۹/۴۱	۰/۷۹	۳/۲۶	۰/۳۷۶	۰/۰۹۹	۰/۵۲۵

خندق‌ها کاهش می‌یابد. با عمل آبشویی و فرسایش کناری دامنه‌های مشرف به آبراهه، تعادل این دامنه‌ها بر هم می‌خورد و حساسیت به ایجاد فرسایش خندقی در کنار آبراهه‌ها افزایش می‌یابد که با نتایج تحقیقات [۱۴، ۱۷ و ۲۱] مطابقت دارد.

انحنای سطح: انحنای سطح توصیف‌کننده سطح افقی توپوگرافی و نشان‌دهنده پستی و بلندی محلی است [۱] و [۳۲]. شکل انحنای ۳ حالت دارد: حالت نخست، مقادیر جدول نقشه ارزش مثبت دارد که نشان‌دهنده سطح محدب دامنه است. در حالت دوم مقادیر ارزش منفی دارند که نشان‌دهنده سطح مقعر دامنه است و در حالت آخر مقدار صفر نشان‌دهنده سطح صاف است. در منطقه مطالعه شده نیز این لایه در ۳ کلاس صاف (هموار)، محدب و مقعر تقسیم شد (جدول ۷). تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از انحنای سطح در زمینه وقوع فرسایش خندقی بیانگر این است که بیشتر خندق‌ها (۷۴/۳۶ درصد) در دامنه‌های مقعر اتفاق افتاده‌اند. مورفولوژی مقعر با تمرکز جریان آب و رطوبت می‌تواند مناطق مستعدی برای ایجاد فرسایش خندقی باشد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات [۱ و ۲۷] در تأثیر مورفولوژی مقعر در ایجاد فرسایش خندقی مطابقت دارد.

فاصله از جاده: نقشه حریم فاصله از جاده نیز از روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در محیط نرم‌افزار ArcGIS براساس فاصله اقلیدسی^۱ به‌منظور تجزیه و تحلیل خطر فرسایش خندقی در حوضه آبخیز قرناوه تهیه شد. لایه فاصله از جاده در ۵ کلاس طبقه‌بندی شد (جدول ۵). بررسی نتایج فاصله از جاده در زمینه ایجاد فرسایش خندقی نشان می‌دهد که بیشترین خندق‌ها (۵۵/۴۹ درصد) در فاصله کمتر از ۱۵۱/۱ متر از جاده رخ داده است و با افزایش فاصله از جاده این میزان کاهش می‌یابد. این نتایج نشان‌دهنده اثر فاصله از جاده در ایجاد فرسایش خندقی به‌خصوص در شیب‌های تند در حوضه آبخیز مطالعه‌شده است که با نتایج مطالعات [۱۴، ۲۳ و ۲۷] در تأثیر جاده روی ایجاد فرسایش خندقی مطابقت دارد.

فاصله از آبراهه: به‌منظور بررسی اثر آبراهه روی تشکیل خندق در حوضه آبخیز قرناوه، لایه فاصله از آبراهه از روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در محیط ArcGIS براساس فاصله اقلیدسی در ۵ کلاس تهیه شد (جدول ۶). نتایج نشان می‌دهند بیشترین خندق‌ها (۹۷/۶۹ درصد) در فاصله زیر ۱۴۲/۲ متر از آبراهه اتفاق افتاده‌اند و با افزایش فاصله از آبراهه درصد فراوانی

جدول ۵. توزیع فراوانی مساحتی خندق‌ها برحسب طبقات فاصله از جاده حوضه آبخیز قرناوه

عامل	طبقه	مساحت کل	مساحت مناطق خندقی	درصد تراکم سطحی	$m(T_p)_{E_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$	$m(\theta)$
	$151/1 >$	۱۵۱۶۷/۲۵	۱۳/۵۳	۵۵/۴۹	۰/۵۶۶	۰/۱۱۰	۰/۳۲۳
فاصله از جاده (متر)	$151/1 - 370/8$	۱۶۰۹۷/۸۷	۴/۳۱	۱۷/۶۸	۰/۱۷۰	۰/۲۰۷	۰/۶۲۳
	$370/8 - 659/2$	۱۵۸۵۷/۷۰	۲/۲۰	۹/۰۳	۰/۰۸۸	۰/۲۲۸	۰/۶۸۴
	$659/2 - 1098/6$	۱۵۷۵۰/۳۹	۲/۸۰	۱۱/۴۷	۰/۱۱۳	۰/۲۲۱	۰/۶۶۶
	$1098/6 <$	۱۵۵۴۸/۱۰	۱/۵۵	۶/۳۴	۰/۰۶۳	۰/۲۳۳	۰/۷۰۳

جدول ۶. توزیع فراوانی مساحتی خندق‌ها برحسب طبقات فاصله از آبراهه حوضه آبخیز قرناوه

عامل	طبقه	مساحت کل	مساحت مناطق خندقی	درصد تراکم سطحی	$m(T_p)_{E_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$	$m(\theta)$
	$142/2 >$	۱۵۴۵۸/۴۱	۱۷/۰۶	۶۹/۹۷	۰/۷۰۸	۰/۰۷۵	۰/۲۱۷
فاصله از آبراهه (متر)	$142/2 - 320/2$	۱۶۷۲۴/۴۴	۳/۶۸	۱۵/۰۸	۰/۱۴۱	۰/۲۱۶	۰/۶۴۳
	$320/2 - 524/7$	۱۵۴۳۳/۸۸	۲/۲۴	۹/۱۸	۰/۰۹۳	۰/۲۲۶	۰/۶۸۱
	$524/7 - 809/2$	۱۵۹۱۴/۰۳	۱/۰۸	۴/۴۳	۰/۰۴۴	۰/۲۴۰	۰/۷۱۷
	$809/2 <$	۱۴۸۹۵/۵۷	۰/۳۳	۱/۳۵	۰/۰۱۴	۰/۲۴۴	۰/۷۴۲

1. Distance Euclidean

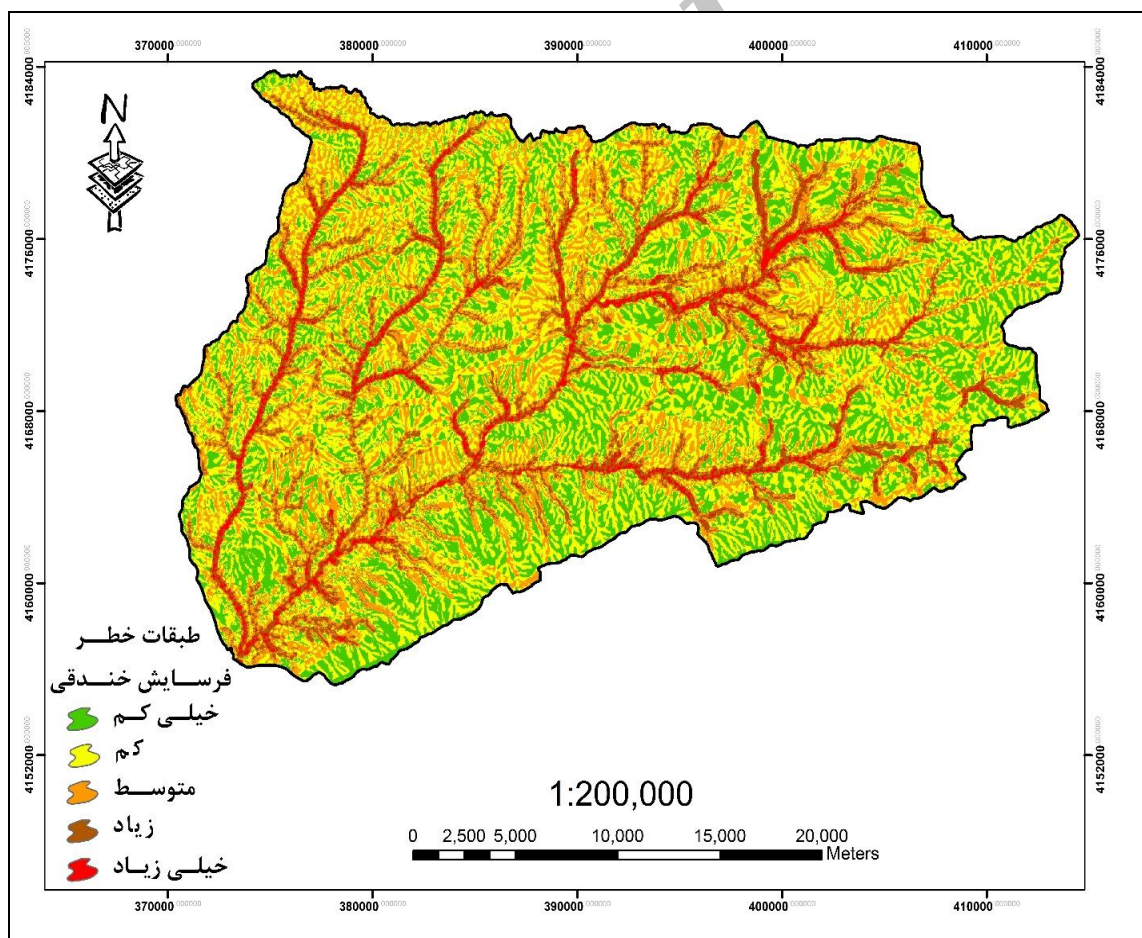
جدول ۷. توزیع فراوانی مساحتی خندق‌ها برحسب طبقات انحنای سطح حوضه آبخیز قرناوه

عامل	طبقه	مساحت کل	مساحت مناطق خندقی	درصد تراکم سطحی	$m(T_p)_{E_{ij}}$	$m(\bar{T}_p)_{E_{ij}}$	$m(\theta)$
انحنای سطح	صاف	۳۳۷۷/۵۷	۰/۷۴	۳/۰۲	۰/۲۵۲	۰/۳۳۴	۰/۴۱۴
	مقعر	۳۵۷۶۷/۴۱	۱۸/۱۳	۷۴/۳۶	۰/۵۸۶	۰/۱۵۵	۰/۲۵۹
	محدب	۳۹۲۸۲/۱۹	۵/۵۲	۲۲/۶۴	۰/۱۶۲	۰/۵۱۱	۰/۳۲۷

۳۰/۰۸ درصد منطقه مطالعه شده در طبقه بسیار زیاد قرار دارند (جدول ۸).

نقشه پهنه‌بندی خطر به دست آمده با استفاده از منحنی عملکرد نسبی و سطح زیرمنحنی اعتبارسنجی شد. نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد سطح زیرمنحنی ۰/۹۶۱ (۹۶/۱ درصد) و انحراف معیار آن نیز ۰/۰۰۳ است (شکل ۴). بنابراین، دقت مدل پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی حوضه آبخیز قرناوه در طبقه عالی قرار می‌گیرد.

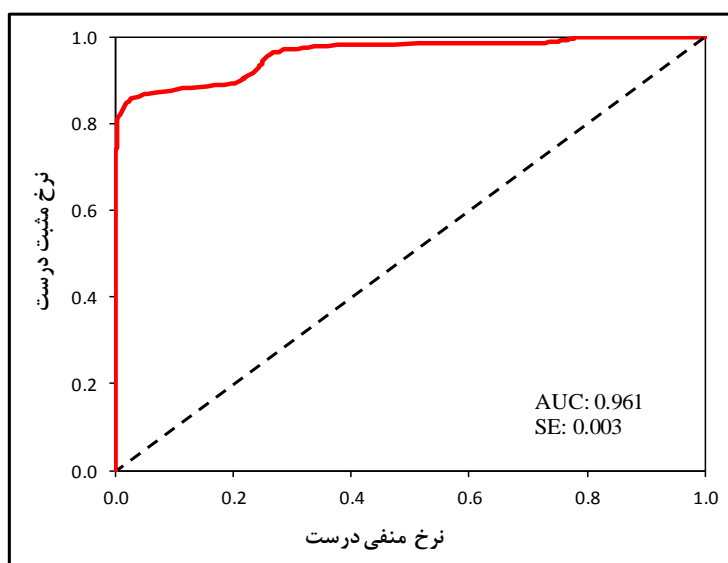
پس از محاسبه وزن‌ها و جمع جبری آنها نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی با بهره‌گیری از مدل دمپستر- شفر به دست آمد و براساس شکستگی‌های طبیعی در ۵ کلاس خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد تقسیم شد (شکل ۳). نتایج طبقه‌بندی نشان داد از کل پهنه‌های خندقی مرحله ارزیابی ۱/۲ درصد در طبقه خطر بسیار کم، ۷/۶۴ درصد در طبقه خطر کم، ۲۳/۲۹ درصد در طبقه خطر متوسط، ۳۷/۹۸ درصد در طبقه خطر زیاد و



شکل ۳. نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی حوضه آبخیز قرناوه با استفاده از مدل دمپستر- شفر

جدول ۸. مساحت و درصد طبقات خطر فرسایش خندقی در حوضه آبخیز قرناوه با استفاده از مدل دمپستر- شفر

طبقه‌بندی خطر	کل مساحت	مساحت (درصد)	خندق (درصد)
بسیار کم	۱۹۲۸۲/۳۲	۲۴/۶۲۵	۱/۲۰
کم	۲۸۸۱۶/۵۰	۳۶/۸۰۱	۷/۶۴
متوسط	۱۹۳۲۹/۵۵	۲۴/۶۸۵	۲۳/۲۹
زیاد	۸۳۲۵/۱۴	۱۰/۶۳۲	۳۷/۹۸
بسیار زیاد	۲۵۵۰/۴۰	۳/۲۵۷	۳۰/۰۸



شکل ۴. منحنی مشخصه عملکرد نسبی و سطح زیرمنحنی مختص به نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی مدل دمپستر- شفر

نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی حوضه آبخیز قرناوه استان گلستان با استفاده از مدل دمپستر- شفر است. این نقشه با استفاده از رابطه بین موقعیت مکانی خندق موجود و ۷ عامل مؤثر شامل درصد شیب، جهت شیب، انحنای سطح، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده تهیه شد. ابتدا نقشه پراکنش خندق‌های منطقه مطالعه شده تهیه و رقومی شد. از کل پهنه‌های خندقی ۷۰ درصد آن برای تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر و ۳۰ درصد آن نیز برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. در گام بعدی از تلفیق نقشه‌های عامل با نقشه پراکنش خندق‌ها، درصد وجود خندق‌ها در طبقات مختلف هر نقشه به دست آمد و با محاسبه دمپستر- شفر وزن هر یک از عوامل تعیین شد. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی خطر با جمع جبری لایه‌های مختلف وزنی به دست آمد و در ۵ کلاس خطر بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد

طبقه‌بندی شدند. دقت نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش ایجاد شده با پهنه‌های خندقی در نظر گرفته شده برای اعتبارسنجی مدل با استفاده از روش‌های منحنی مشخصه عملکرد نسبی و سطح زیرمنحنی آن ارزیابی شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد مدل پهنه‌بندی با سطح زیرمنحنی ۹۶/۱ درصد و انحراف معیار ۰/۰۰۳ دقت عالی دارد. همچنین براساس نتایج از کل پهنه‌های خندقی مرحله اعتبارسنجی حوضه آبخیز قرناوه ۶۸/۰۶ درصد در طبقه خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که نقشه پهنه‌بندی خطر به دست آمده از مدل دمپستر- شفر می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل خطر فرسایش خندقی و اولویت‌بندی آنها برای جلوگیری از فرسایش خاک حاصل‌خیز و تولید رسوب در منطقه مطالعه شده و حوضه‌های آبخیز مشابه کمک شایانی کند.

منابع

- [1]. Bou Kheir, R, Wilson J, Deng Y. Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. *Earth Surf. Process. Landforms*. 2007; 32(12):1770–1782.
- [2]. Conoscenti C, Angileri S, Cappadonia C, Rotigliano E, Agnesi V. Märker, M. Gully erosion susceptibility assessment by means of GIS-based logistic regression: a case of Sicily (Italy). *Geomorphology*. 2014; 204:(399–411).
- [3]. Nigel R, Rughooputh SDDV. Soil erosion risk mapping with new dataset: An improved prioritization of high erosion risk area, Catena. 2010;82(3):191-205.
- [4]. Conoscenti C, Agnesi V, Angileri S, Cappadonia C, Rotigliano E, Märker M. A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy. *Environmental Earth Science*. 2013; 70(3):1179–1195.
- [5]. Li Y, Poesen J, Yang JC, Fu B, Zhang JH. Evaluating gully erosion using ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb/¹³⁷Cs ratio in a reservoir catchment. *Soil Tillage Resources*. 2003;69(1-2):107–115.
- [6]. Poesen J, Vandekerckhove L, Nachtergaele J, Oostwoud Wijdenes D, Verstraeten, G, Van Wesemael B. Gully erosion in dryland environments. In: Bull, L.J., Kirkby, M.J. (Eds.), *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid Channels*. Wiley & Sons, Chichester, England. 2002; pp. 229–262.
- [7]. Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, Valentin C. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*. 2003;50(2-4):91–133.
- [8]. USDA-SCS. Procedure for determining rates of land damage, land depreciation, and volume of sediment produced by gully erosion. Technical Release No. 32. US GPO 1990-261-419:20727/SCS.US Government Printing Office, Washington, DC. 1966.
- [9]. Damavandi MZ. Study morphological features of loss deposits in the western part of Gorgan city. Report of Research projects. Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources. 2006; p.45. [Persian]
- [10]. Report design of flood and sediment control structures in the Gharnaveh watershed. Kavosh Pay Mashhad Consulting Engineers Company. P.2-10. [Persian]
- [11]. Esfandyaridorabad F, Beheshtijavid A, Ftahi MH. Gully erosion Susceptibility Evaluation using fuzzy logic model (Case study: Golestan dam watershed-Ghornave River). 2th international conf. on environmental hazards. Kharazmi University. 2013. [Persian]
- [12]. Nohegar A, Heydarzadeh M, The study of physical - chemical characteristics and morphometry of gully area (case study: Gezir, Hormozgan province). *Environmental Erosion Research Journal*. 2011;1(1):29-44. [Persian]
- [13]. Dewitte O, Daoudi M, Bosco C, Eeckhaut MVD. Predicting the susceptibility to gully initiation in data-poor regions, *Geomorphology journal*. 2015; 228:101-115.
- [14]. Entezari M, Maleki A, Moradi Kh, Olfati S. Zoning of Gully Erosion in Catchment of Dyreh by Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Spatial Planning*. 2014; 17(4). 63-86. [Persian]
- [15]. Pourghasemi HR, pardhan B, gokceoglu C, dylami moezzi K. Comparative assessment of prediction capabilities of Dempster–Shafer and Weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS", *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2013; 4(2):93–118.
- [16]. Tangestani MH. A comparative study of Dempster–Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2009;35(1):66–73.
- [17]. Shadfar S. Application of fuzzy logic operators for investigation of Gully erosion using GIS (Case study: Troud watershed basin). *Geography information Journal*. 2015; 23(92): 35-42. [Persian]
- [18]. Yamani M, Zamanzadeh SM, Ahmadi M. Analysis of Factors Affecting the Formation and Development of Gully Erosion: A Case Study of Kahoor Plain in Fars Province. *journal of Geographical explorations deserts areas*. 2013; 1(1): 53-84. [Persian]
- [19]. Farajzadeh M, Afzaly A, Khalili Y, Ghelichi A. Gully Erosion Susceptibility Assessment using Multivariate Regression Model (Case Study: Kiasar, Southern Mazandaran Province). *Environmental Erosion Research Journal*. 2012; 2(2):42-57. [Persian]
- [20]. Maghsoodi M, Shadfar S, Abasi M. Gully erosion Susceptibility zoning in the Zavian watershed, Qum province. *Journal of Quantitative Geomorphological researches*. 2012; 1(2):35-52. [Persian]
- [21]. Dube F, Nhapi I, Murwira A, Gumindoga W, Goldin J, Mashauri DA. Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District-Zimbabwe.

- Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2014;67:145-152.
- [22]. Conforti M, Aucell C, Robustelli G, Scarciglia F. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). *Nat Hazards*. 2011;56(3):881-898.
- [23]. Achten WMJ, Dondeyne S, Mugogo S, Kafiriti E, Poesen J, Deckers J, et al. Gully Erosion in South Eastern Tanzania: Spatial Distribution and Topographic Thresholds. *Zeitschrift für Geomorphologie*. 2008;52(2):225-235.
- [24]. Mendel JM. Fuzzy Logic Systems for Engineering. *Proceedings of IEEE*. 1995; 83:345-377.
- [25]. Hughes AO, Prosser I. Gully erosion prediction across a large region: Murray-Darling Basin, Australia, *Soil Research*. 2012;50(4):267-277.
- [26]. Rahmati O, Haghizadeh A, Pourghasemi HA, Noormohamadi F. Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS-based bivariate statistical models and their comparison. *Natural Hazards*. 2016;82(2):1231-1258.
- [27]. Shadfar S. Investigation of Gully Erosion by using the Analytical Hierarchy Process Model Case study: Roudbar, Gilan Province. Iran. *Environmental Erosion Research Journal*. 2011;1(3):16-30. [Persian]
- [28]. Dempster AP. Upper and lower probabilities induced by a multi valued mapping. *The Annals of Mathematical Statistics*. 1967; 38:325-339.
- [29]. Shafer G. A mathematical theory of evidence. Princeton University Press, ISBN 0-608-02508-9. 1976.p. 314.
- [30]. An P, Moon WM, Bonham-Carter GF. Uncertainty management in integration of exploration data using the belief function. *Nonrenewable Resources*. 1994;3(1):60-71.
- [31]. Park NW. Application of Dempster-Shafer theory of evidence to GIS-based landslide susceptibility analysis. *Environmental Earth Science*. 2010;62(2):367-376.
- [32]. Saber Chenari K, Salmani H, Mohammadi M. Landslide Hazard Assessment Using Information Value and LNRF Models. *Eco-Hydrology Journal*. 2015; 2(1): 105-116. [Persian]
- [33]. Devkota KC, Regmi AD, Pourghasemi HR, Yoshida K, Pradhan B, Ryu IC, et al. Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Nat Hazards*. 2013;65(1):135-165.
- [34]. Yesilnacar EK. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey. Ph.D Thesis Department of Geomatics the University of Melbourne; 2005. p.423.
- [35]. Makhdoom Frakhondeh M. Fundamental of land use planning. 1nd ed. Tehran: University of Tehran Press; 2010. P.289. [Persian]
- [36]. Maleki A, Ahmadi M, Miladi B, Simulation Gully Prone areas using of SPI method in the Mereg River Watershed. *Journal of Quantitative Geomorphological researches*. 2013;1(3): 23-38. [Persian]
- [37]. Ghahroodi M. Hazard zoning model of gully erosion using of RS & GIS in the Abkand Kloche Bijar watershed. *Research projects of Ministry of Energy*. 2003; p.52-53. [Persian]
- [38]. Dai FC, Lee CF, Xu ZW. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau island, Hong Kong. *Environment Geology*. 2001;40(3):381-391.
- [39]. Zucca C, Canu A, Della Peruta R. Effects of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gullies in an agro-pastoral area in Sardinia (Italy). *Catena*. 2006;68(2-3):87-95.