پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، شماره‌ی ۳، زمستان ۱۳۹۱
صص. ۳۸-۲۳

شبیه‌سازی مناطق مستعد خندق‌زایی با استفاده از روش SPI در حوضه‌ی رودخانه‌ی مِرگ

امجد ملکی* ـ دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی کرمانشاه
محمد احمدی ـ استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
بهزاد میلادی ـ کارشناس ارشد جغرافیای طبیعی، گروه جغرافیا، دانشگاه رازی کرمانشاه

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۵/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۱۱/۱۵

چکیده

پژوهش پیش رو به‌منظور شبیه‌سازی مناطق مستعد خندق‌زایی در حوضه‌ی رودخانه‌ی مِرگ، واقع در جنوب شهر کرمانشاه انجام شده است. این پژوهش به‌منظور شبیه‌سازی خندق‌زایی در پهنه‌ی بزرگ ۱٤٦٦/۱۵ کیلومتر مربع، به‌کمک مدل رقومی ارتفاعی و دیگر لایه‌های نقشه‌ای و شاخص توان آبراهه‌ای انجام شده است. لایه‌های کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها، فاصله از جاده‌ها، لیتولوژی، شیب، جهت شیب، انحنای عمودی و انحنای افقی شیب منطقه تهیه شد. با تولید شاخص SPI و بهره‌گیری از آن برای تشخیص نقاط مستعد خندق زایی، سطح جست‌وجو در درون لایه‌ی اخیر به نقاط محدودی کاهش یافت. نتایج حاصل از همپوشانی این نقاط و لایه‌های اطلاعاتی موجود، به شناسایی طبقه یا کلاس مؤثر در تشکیل خندق منجر شد. با مراجعه‌های میدانی متعدّد، صحت و دقت نقاط تولید شده بررسی شد، سپس آزمون مربع کای اسکوور روی داده‌های تولید شده اعمال و درجه‌ی معناداری کلاس ـ نقطه به تأیید رسید. نتایج حاصل از ارزیابی آماری و میدانی به دو مدل جداگانه برای پیش‌بینی مناطق مستعد خندق در حوضه‌ی مورد مطالعه منجر شد.

کلیدواژه‌ها: شبیه‌سازی، خندق زایی، حوضه مرگ، DEM، GIS.

---

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۸۱۳۲۴۱۱۳ E-mail: amjad_maleki@yahoo.com

مقدمه

به‌طور طبیعی با گذشت هر سیصد سال خاکی با ضخامت ۲۵ میلی‌متر تشکیل می‌شود (براتی، ۱۳۸۳: ۷). از دسته عواملی که میزان و کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، فرسایش آبی است. فرسایش خندقی جزء فرسایش آبی تشدیدشونده است که رخداد و گسترش آن موجب تغییرات بارز در چشم‌انداز زمین، پسرفت اراضی و تخریب محیط زیست می‌شود (ثروتی و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۳). هیوج[1]، آبراهه‌هایی را با سطح مقطع بزرگتر از ۱ فوت مربع و بریس[2] معیار عمق حداقل ۰/۳ متر و حداقل عرض ۰/۶ متر را برای تعریف خندق به کار برده‌اند (راهی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۱۱). از مجموع تعاریف ارائه شده از خندق می‌توان این‌گونه برداشت کرد که عمق و عرض خندق، می‌تواند از ۳۰ سانتی‌متر تا چندین متر و طول آن نیز تا صدها متر باشد. مقطع عرضی خندق‌ها در اراضی سست U شکل و در اراضی سخت V شکل است (بافکار و مجردی، ۱۳۸۵: ۶). در مقایسه با آبراهه‌های رودخانه‌های پایدار که پروفیل آنها به‌نسبت صاف، طویل و مقعر است، خندق با ویژگی‌هایی مشخص می‌شود که از جمله آنها، وجود دیواره‌ی عمودی در پیشانی خندق و پله‌های مختلف یا نقاط گود شده در طول مسیر است (مورگان، ۱۳۶۸: ۹۷). خاکی که از خندق خارج می‌شود، موجب تشکیل گل‌ولای در حصارها، راه‌های آبی، آبگیرهای جاده‌ای و پشت سدها می‌شود (قرلی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۹۰). در حوضه‌ی رودخانه‌ی مِرگ که ازجمله مناطق حاصلخیز استان کرمانشاه شمرده می‌شود، خندق‌ها مقدار زیادی از خاک‌های قابل کشت را در اختیار شبکه‌ی زهکشی قرار داده و از منطقه خارج کرده‌اند که از مشکلات بسیار مهم در منطقه به‌شمار می‌رود. بررسی امکان شبیه‌سازی خندق‌زایی با استفاده از مدل‌های رستری، به‌عنوان ابزاری برای شناسایی مناطق مستعد خندق در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته است. مکان‌های مستعد خندق چه ویژگی‌هایی دارند؟ خندق در چه مناطقی بیشتر تشکیل می‌شود؟ با طرح این سؤال پژوهشی و اذعان به این نکته که کاوش میدانی برای یافتن جواب به‌طور معمول با مشکلات متعددی همراه است، این فرضیه‌ها در جواب سؤال پژوهش تنظیم شدند. تجمع رطوبت در خاک، به‌همراه ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک، عامل مؤثر در تشکیل خندق شمرده می‌شوند. محل تجمع رطوبت اغلب منطبق بر آبراهه و نواحی همجوار آنهاست. با کمک این دانش تلاش شد، مکان هندسی این مناطق تعیین و شناسایی شوند. شاخص توان آبراهه‌ای روشی است که در این رابطه به‌کار گرفته شد.

در رابطه با فرسایش خندقی مطالعات زیادی با اهداف و روش‌های مختلف انجام شده است. براساس اهداف، این مطالعات را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد: گروه اول مطالعات مربوط به عوامل مؤثر در ایجاد و رشد خندق‌ها و گروه دوم مربوط به مطالعه‌ی رسوب‌های مناطقی است که فرسایش خندقی در آنجا ایجاد می‌شود.

در رابطه با گروه اول: هارلی بتز و رولند دروس (۱۹۹۹) با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) همراه با ترکیبی از عکس‌های هوایی طیّ دو دوره‌ی زمانی ۱۴ و ۳۳ ساله تغییرات رخ داده در خندق‌های نیوزیلند را مطالعه کردند.

سی والنتین و همکاران (۲۰۰۵)، در پژوهشی با عنوان "فرسایش خندقی، عوامل و کنترل"، براساس مطالعات میدانی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی و تغییرات محیطی حاصل از آن را مورد بررسی قرار دادند.

---

1. Heauge
2. Beris

مریم خطیبی (۱۳۸۳)، نقش عوامل توپوگرافی و مورفوژنز را در دامنه‌های شمالی بین اهر و قوشه‌داغ در ایجاد خندق و میزان پسروی آنها ، مورد بررسی قرار داده است، وی نقش مواد منفصل را در توسعه و تمرکز فعالیت خندقی مؤثر دانسته است.

بهنوش جعفری‌گرزین و همکاران (۱۳۸۴)، در پژوهشی با عنوان مدل‌هایی برای پیش‌بینی رشد حجم خندق در حوضه‌ی آبخیز سرخ‌آباد مازندران، با جمع‌آوری اطلاعات خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، بارش، سطح آبخیز خندق، شیب حوضه، میزان املاح محلول در خاک و پوشش گیاهی، دریافتند رشد خندق از طول آن پیروی می‌کند و با افزایش سطح آبخیز خندق، سرعت رشد حجمی آن بیشتر می‌شود.

موسی عابدینی (۱۳۸۴) براساس بررسی فرسایش خندقی در ارتفاعات جنوب غرب دشت هادی‌شهر، واقع در شمال غرب آذربایجان شرقی بیان کرد، وضعیت توپوگرافی، ویژگی‌های سازندهای سطحی، عمل برفساب و دخالت‌های انسانی، در شکل‌گیری خندق‌های منطقه مؤثرند.

نیکویی‌مهر و امامی (۱۳۸۶)، ویژگی‌های شکل‌شناسی خندق‌ها را در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق دچار فرسایش خندقی در استان چهارمحال و بختیاری بررسی کردند. آنها دریافتند طول خندق و عرض بالای خندق در مقطع ۵۰ درصد طول، در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک خندق‌ها بیشترین تأثیر را دارد.

ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) با به‌کارگیری فن سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، بیان کردند تشکیل و گسترش خندق در حوضه‌ی آبخیز عرب قره‌حاجی، واقع در استان گلستان، تابعی از میانگین دمای سالانه‌ی هوا، شیب، سازند زمین‌شناسی، منابع ارضی و نوع خاک است.

در رابطه با مطالعات گروه دوم نیز به موارد زیر اشاره می‌شود:

سیدرو چوک و همکاران (۲۰۰۳) مدل‌سازی فرسایش خندقی و واکنش طبیعت به آن را در حوضه‌ی رودخانه‌ی امبولوزی در سوازیلند با استفاده از سنجش از دور بررسی کرده و عامل لیتولوژی را در ایجاد فرساش خندقی در حوضه‌ی مذکور بسیار مؤثر دانستند.

جی. گابریس و همکاران (۲۰۰۳)، نقش تغییر کاربری اراضی را در ایجاد خندق مناطق تپّه‌ماهوری مجارستان در منطقه‌ای به وسعت ۵۲ کیلومتر مربع مورد بررسی قرار دادند. براساس نتایج کار آنها، فرسایش خندقی در دامنه‌ی تپه‌های کشت‌شده و رسوب‌های لسی منطقه، توسعه یافته است.

مارتینز و همکاران (۲۰۰۳) در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی فرسایش کنار دیواره‌ای در خندق‌های بزرگ با استفاده از ترکیبی از DEM های ترسیم شده در زمان‌های مختلف، سازماندهی آنالیز رگرسیون و آمار بارش‌های روزانه طیّ دوره‌ی زمانی ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۵ در اسپانیا" به محاسبه‌ی احتمال رویداد فرسایش کنار دیواره‌ای خندق در یک ناحیه‌ی مشخص پرداختند. از نظر آنها میزان رسوب‌ها در فرسایش کنار دیواره‌ای به‌طور مستقیم در ارتباط با ویژگی‌های بارش است.

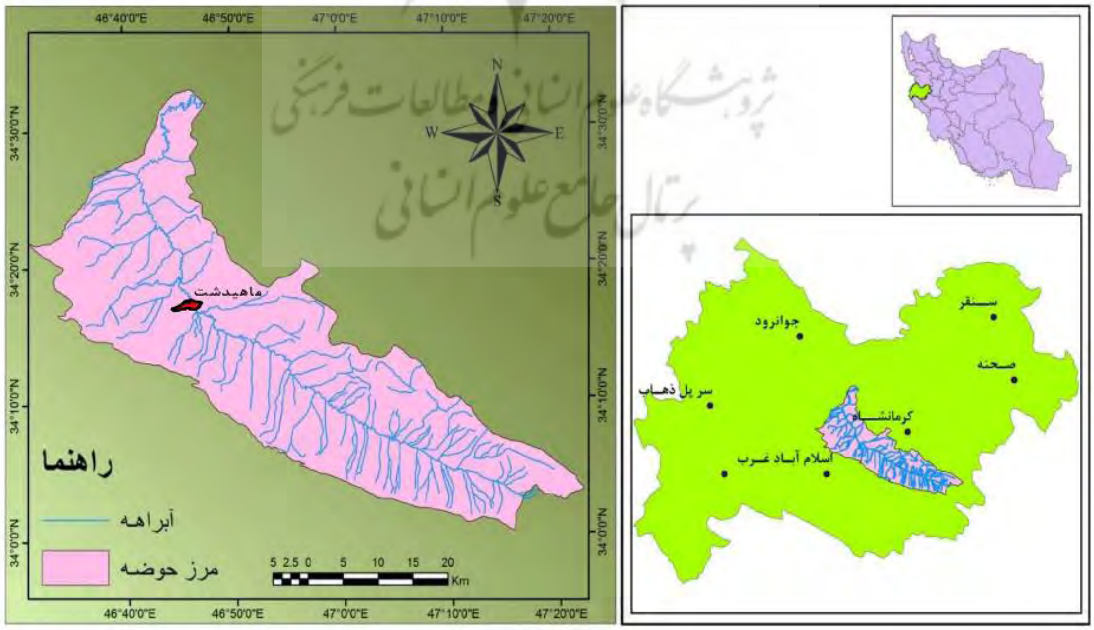
مارتینز کاسانوواس (۲۰۰۳) پژوهشی با عنوان "رویکرد تکنولوژی اطلاعات فضایی برای تهیه‌ی نقشه و اندازه‌گیری فرسایش خندقی در منطقه‌ای از کاتالونیای اسپانیا" انجام دادند. بر اساس نتایج این پژوهش میزان رسوب در دوره‌ی ۱۹۹۳– ۱۹۵۷ برآورد شد.

کاکمبو و همکاران (۲۰۰۳)، روابط بین پدیده‌ی خندق‌زایی و متغیّرهـای توپـوگرافی را بـا اسـتفاده از مـدل رقـومی ارتفاعی جست‌وجو کردند. آنها مقایسه بین نواحی با قابلیت خندق‌زایـی زیـاد و نـواحی واقعـی موجـود بـا تـوان معمـولی خندق‌زایی با استفاده از شاخص توان آبراهه‌ای که جانشینی برای تنش برشی جریان آب است، به‌عمل آوردنـد. از طریـق عملیات میدانی مناطق خندقی واقعی و مناطق مستعد تشخیص داده شده به‌روش SPI برای ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج انجام دادند. هفتادوپنج درصد مناطق خندقی در نواحی رها شده کـه دارای سـطوح مقعـر بـوده شناسـایی شـدند. از SPI مناطق مستعد برای تشکیل خندق شناسایی شدند.

اما در این پژوهش هدف، امکان شبیه‌سازی مناطق مستعد ایجاد فرسایش خندقی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و لایه‌های رستری، به‌عنوان ابزاری برای شناسایی مناطق مستعد خندق در حوضه‌ی رودخانه‌ی مِرگ است.

منطقه‌ی مورد مطالعه

درّه‌ی مِرگ در جنوب شهر کرمانشاه واقع شده است. شیب و جهت عمومی آن بـه‌سـمت شـمال‌غربـی اسـت. بـه نظـر می‌رسد جهت عمومی درّه به‌سمت یک فروافتادگی ساختمانی باشد یا در محل فرود محوری یـک تاقـدیس، رودخانـه‌ی مِرگ آن را قطع کرده باشد. راه دسترسی به این منطقه، از راه کرمانشاه به اسلام‌آباد و همچنـین از مسـیر کرمانشـاه بـه سرونو فراهم است. شهر ماهی‌دشت ازجمله مراکز جمعیتی این حوضه است. این منطقه در حدود ۱۴۶۶/۱۵ کیلومتر مربع مساحت دارد. با آگاهی از اینکه زاگرس به واحدهای مورفوتکتونیک با درجه‌هـای متفـاوتی از چـین‌خـوردگی، رورانـدگی فرسایش و رسوب‌گذاری تقسیم می‌شود، منطقه‌ی مورد مطالعه بین زاگرس چین خورده و رورانده واقع شده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

ساختار لیتولوژی عمده‌ی دامنه‌های رو به شمال حوضه‌ی مِرگ، یعنی کوه نسار، سی ولکس و لعل‌آباد، از سیلتستون، گِلسنگ، ماسه‌سنگ، گنگلومرا و مارن است. بیش از ۴۰۰۰۰ هکتار از مساحت حوضه، از سازندهای مذکور تشکیل شده است؛ یعنی بیش از ۹۵ درصد دامنه‌های رو به شمال کوه‌های قلعه قازی، لعل آباد، سی ولکس، کله مل و کوه نسار از این نوع تشکیلات ساخته شده‌اند. یادآور می‌شود بخش قابل توجهی از سطح مورد اشاره، توسط پوشش جنگلی خاص مناطق زاگرس پوشیده شده است. وجود پهنه‌های لغزشی قدیمی و فعالیت مجدد آنها در دامنه‌های مورد اشاره در کنار توسعه‌ی خندق‌ها، ازجمله مهم‌ترین ناپایداری‌ها هستند (موقعیت منطقه در شکل شماره‌ی ۱ نشان داده شده است). متوسط دمای سالانه‌ی آن ۱۲/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه، حدود ۵۵۰ میلی‌متر برآورد شده است.

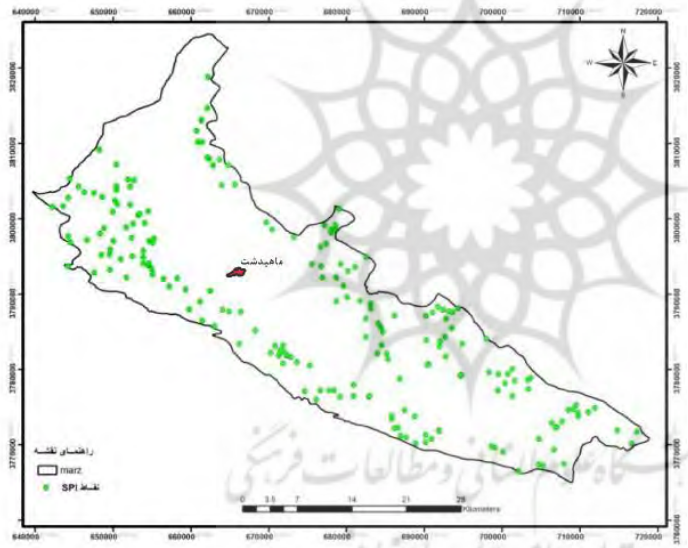
مواد و روش‌ها

در این پژوهش در گام نخست، پس از بازدید میدانی، لایه‌های رقومی ارتفاعی منطقه فراهم شد. در ادامه لایه‌های شیب، جهت دامنه‌ها، انحناهای زمین، لیتولوژی، فاصله از جاده‌ها و آبراهه‌ها و کاربری اراضی تولید شدند. از دستگاه موقعیت‌یاب GPS MAP 330 برای برداشت موقعیت خندق‌های موجود در منطقه استفاده شد. از نرم‌افزارهای ARC GIS، گوگل ارث[1]، ادریسی[2] و اکسل[3] (از مجموعه نرم‌افزار آفیس) در تحلیل داده‌ها بهره گرفته شد. با حصول اطمینان از وجود خندق در حوضه، لایه‌های مورد نیاز با استفاده توابع موجود در آرک‌مپ از مدل رقومی ارتفاعی (DEM)[4] ۹۰ متر تهیه شدند. لایه‌ی توزیع مکانی شاخص توان آبراهه‌ای (SPI)[5] با استفاده از نرم‌افزار ادریسی تولید شد. این شاخص نسبت بین مساحت بالادست یک نقطه و شیب زمین در بالادست آن را به‌گونه‌ای نشان می‌دهد که نیمرخ عرضی و نیمرخ طولی یک آبراهه را منعکس کند. از سوی دیگر، مناطق دارای تجمع رطوبت را نیز نشان می‌دهد. شاخص مذکور از طریق توابع موجود در ARC GIS و با داشتن Accumulation sin α محاسبه می‌شود. لایه‌ی انحنای شیب زمین تغییرات گرادیان ارتفاعی (انحنای زمین به‌صورت عمود بر منحنی میزان‌ها و موازی با منحنی میزان‌ها) و تأثیر این تغییرات در خندق‌زایی منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. لایه‌ی انحنای شیب در جهت عمود بر منحنی‌های تراز در پنج کلاس از مقادیر منفی تا مثبت (۱/۳۲- تا ۱/۰۳+) تشکیل شده بود. لایه‌ی انحنای شیب افقی نیز وضعیت مشابه لایه‌ی قبلی است. محدوده‌ی کاربری اراضی کشاورزی و جنگل و مرتع، با استفاده از تصاویر گوگل ارث به روش بصری مشخص و به پنج نوع کاربری (اراضی دیم، اراضی دیم ـ مرتع با غلبه‌ی اراضی دیم، اراضی مرتعی، اراضی مرتع ـ دیم با غلبه‌ی اراضی مرتعی، اراضی جنگلی و اراضی آبی) تقسیم شدند. ایجاد محدوده در لایه‌ی آبراهه‌ها و جاده‌ها برای بررسی نقش فاصله از عوارض خطی در ایجاد خندق است. درنهایت تهیه و تصحیحات مربوط به لایه‌ی لیتولوژی منطقه که از این لحاظ منطقه‌ی مورد مطالعه از یازده نوع جنس تشکیل شده است. از این نقشه برای بررسی تأثیر جنس سنگ در ایجاد خندق استفاده شد.

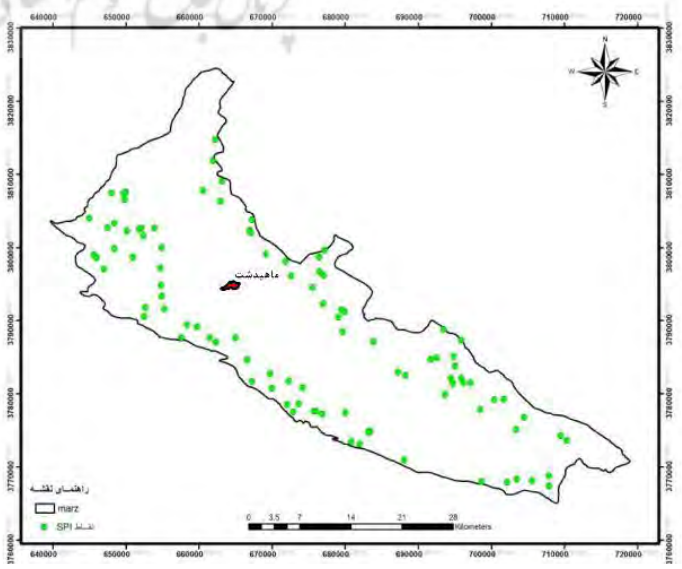
1. Google earth
2. IDRISI
3. Excel
4. Digital Elevation Model
5. Stream Power Index

شبیه‌سازی نقاط مستعد تولید خندق

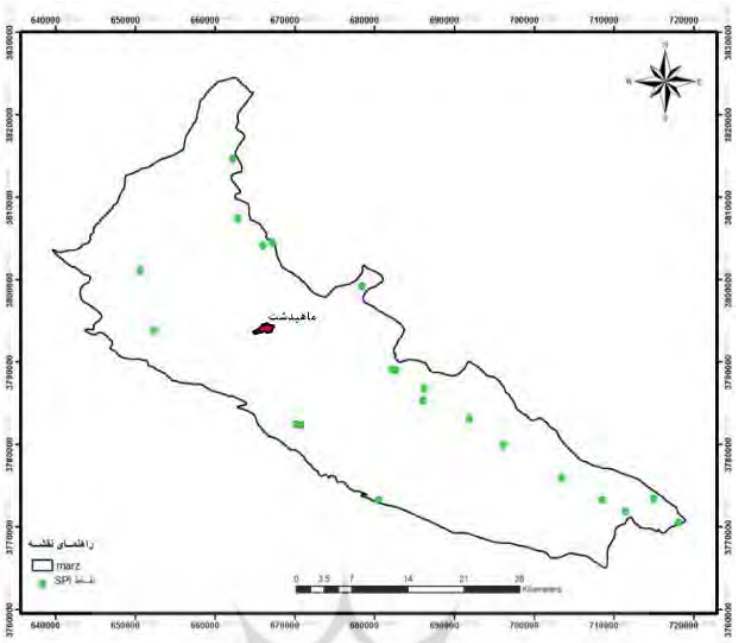
همان‌طور که در پیشینه‌ی پژوهش بیان شد، در تشخیص مناطق مستعد خندق از شاخص توان آبراهه‌ای استفاده شده است. برای تولید این شاخص به تانژانت شیب و لایه‌ی جریان تجمعی نیاز است که از مدل رقومی ارتفاعی استخراج می‌شوند. گفتنی است در لایه‌ی جریان تجمعی، جهت جریان از نظر توپوگرافی ترسیم می‌شود. این لایه براساس مدل رقومی ارتفاعی منطقه و با استفاده از تابع‌های موجود در Arc Ttoolbox ترسیم شد. این لایه‌ها در تحلیلگر مکانی فراخوانی شدند و عملیات ریاضی روی آنها اِعمال شد. خروجی به‌دست‌آمده لایه‌ی رستری با ارزش مکانی متفاوت است، در موقعیت‌هایی که زمین حالت تقعر و شیب بیشتری دارد، ارزش مکانی نیز بزرگتر خواهد بود. بر حسب تجربه و دانش به‌دست آمده، نقاطی که دارای ارزش مکانی بین ۶ تا ۹ بود با اعمال شروط منطقی (جدول شماره‌ی ۱) از رستر اولیه محاسبه شد (شکل‌های شماره‌ی ۲، ۳ و ۴).



شکل۲. نقشه‌ی نقاط SPI بر اساس شرط اول



شکل ۳. نقشه نقاط SPI براساس شرط دوم



شکل٤. نقشه نقاط SPI شرط سوم

جدول۱. شروط و تعداد نقاط SPI برای حوضه‌ی مِرگ

نوع شرط	مضمون شروط	تعداد نقاط SPI
شرط اول	SPI ≥ ۶ and SPI≤ ۷	۲۰۹
شرط دوم	SPI ≥ ۷ and SPI≤ ۸	۹۷
شرط سوم	SPI ≥ ۸ and SPI≤ ۹	۲۱

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

وزن‌دهی

نقاط SPI تولید شده در مرحله‌ی قبل با لایه‌های اطلاعاتی فراهم شده همپوشانی شدند. توزیع نقاط در کلاس هر لایه در اینجا مورد نظر بوده است. تعداد نقاط واقع در کلاس لایه‌های مختلف و مساحت کلاس به نرم افزار اکسل منتقل و وزن‌های مثبت و منفی در هر لایه محاسبه شد. از میان کلاس‌ها، کلاس مؤثر در ایجاد خندق به‌کمک رابطه‌ی شماره‌ی ۱ تعیین شد. بزرگترین مقدار به‌دست آمده از این نسبت به‌عنوان شاخص تعیین‌کننده کلاس یا طبقه‌ی مؤثر در هر لایه انتخاب می‌شود.

رابطه‌ی ۱)
$$C/S = \frac{ST - Sd - SPI\ t + SPI\ d}{\sqrt{(+w) + (-w)}}$$

ST: مساحت کل هر لایه‌ی مورد بررسی؛

sd: مساحت هر کلاس از لایه‌ی مورد بررسی؛

$SPI\ t$: تعداد کل نقاط؛

$SPI\ d$: تعداد نقاط موجود در هر کلاس،

$+W$: وزن مثبت؛

$-W$: وزن منفی.

آزمون نتایج

تعداد نقاط واقع‌شده در هر کلاس و مساحت آن، در انتخابش به‌عنوان کلاس مؤثر مد نظر بوده است. حال این سؤال مطرح می‌شود که رویداد نقاط واقع‌شده در کلاس مورد نظر تصادفی بوده یا عاملی غیر از شانس تأثیر گذاشته است؟ برای رد یا اثبات شانس، از آزمون غیر پارامتریک کای اسکوئر استفاده شد. ازجمله موارد استفاده‌ی این آزمون، زمان تصمیم‌گیری در مورد اینکه آیا یک توزیع فراوانی ناشی از علّت معینی است یا درکل به‌صورت تصادفی ظاهر شده است. بر این اساس می‌توان توزیع واقعی را با یک توزیع نظری مقایسه کرد (جباری، ۱۳۸۵: ۱۹۵). با تشکیل جدول توافقی چند طرفه‌ی مقادیر مشاهداتی، مقادیر مورد انتظار محاسبه شد. با مقایسه‌ی مقادیر کای جدول و کای محاسبه شده، سطح معنادار بودن کلاس یا طبقه مؤثر مشخص می‌شود.

کنترل نتایج از طریق انجام مطالعات میدانی

برای کنترل و مقایسه‌ی نتایج به‌دست‌آمده، پس از انجام آزمون کای‌دو با وضعیت واقعی، بازدیدهای پراکنده به‌عمل آمد و تعداد ۳۱ خندق شناسایی و مختصات جغرافیایی خندق‌ها با استفاده از دستگاه GPS MAP 330 ثبت شد.

یافته‌های پژوهش

با همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی با نقاط SPI ستون یا فیلدی جدیدی به جدول توصیفی لایه اضافه شد. در این ستون تعداد نقاط SPI داخل هر کلاس از لایه‌ها درج شده است. برای شرط اول ۲۰۹ نقطه SPI تولید شد که به‌طور نابرابر در کلاس‌های مختلف قرار گرفتند. برای نمونه، در جدول شماره‌ی ۲ نتایج همپوشانی نقاط SPI با لایه‌ی رستری شیب مشاهده می‌شود، در سایر لایه‌ها نیز محاسبات به همین شیوه انجام شده است. دومین کلاس به‌دلیل بزرگی به‌عنوان مؤثرترین کلاس تشخیص داده شد. طبقه‌ی شیب ۳/۵۳ – ۱/۴۸، میزان نسبت C/S در آن ۹/۷۸۸ است. این نسبت مربوط به نقاط SPI تولیدشده با شرط اول است که از مجموع ۲۰۸ نقطه‌ی تولید شده با این شرط، ۱۲۱ مورد از آن درون این طبقه قرار گرفته است. به‌گفته‌ای ۲۹۰/۰۵ کیلومتر مربع یا ۱۹/۷ درصد از مساحت منطقه از این ویژگی برخوردار است (جدول شماره‌ی ۲).

جدول ۲. وزن‌دهی نقاط SPI شرط اول در طبقه‌های شیب حوضه‌ی مِرگ

۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
شیب به درجه	نقاط SPI	درصد وقوع	تعداد پیکسل‌ها در هر محدوده	درصد محدوده	نسبت	w+	w-	Ce	s2(w)	s2(W-)	S (c)	C/s©
– ۰ ۱/۴۸	۱۲	۵/۷۷	۷۴۰۵۷	۴۳/۴۰	۰/۱۳	-۲/۰۱۸	۰/۲۰۵	-۲/۲۲۳	۰/۱۰۲	۰/۰۰۲	۰/۳۰۶	-۸/۲۶۷
۱/۴۸- ۳/۵۳	۱۲۱	۵۸/۱۷	۳۳۷۶۱	۱۹/۷۸	۲/۹۴	۱/۰۷۹	۰/۰۹۸	۰/۹۸۰	۰/۳۳۵	۰/۰۰۲	۰/۱۷۷	۹/۷۸۸
۳/۵۳- ۶/۱۱	۴۶	۲۲/۱۲	۱۹۱۸۶	۱۱/۲۴	۱/۹۷	۰/۶۷۷	۰/۰۹۵	۰/۵۸۱	۰/۱۱۳	۰/۰۰۲	۰/۱۸۵	۴/۳۷۳
۶/۱۱ - ۹/۰۴	۱۵	۷/۲۱	۱۴۹۱۲	۸/۷۴	۰/۸۳	-۰/۱۹۲	۰/۰۲۲	-۰/۲۱۴	۰/۰۳۳	۰/۰۰۲	۰/۲۷۸	-۰/۷۵۲
۹/۰۴ - ۱۲/۴۲	۷	۳/۳۷	۱۱۷۲۳	۶/۸۷	۰/۴۹	-۰/۷۱۴	۰/۰۱۳	-۰/۷۲۶	۰/۰۲۹	۰/۰۰۲	۰/۳۹۱	-۱/۹۲۰
۱۲/۴۲ -۱۶/۴۸	۷	۳/۳۷	۷۶۴۰	۴/۴۸	۰/۷۵	-۰/۲۸۵	-۰/۰۲۱	-۰/۲۶۴	۰/۰۱۹	۰/۰۰۲	۰/۳۹۱	-۰/۷۶۰
۱۶/۴۸ - ۲۱/۴۷	۰	۰	۴۸۱۳	۲/۸۲	۰	–	-۰/۰۴۵	–	۰/۰۲۰	۰/۰۰۲	–	–
۲۱/۴۷ - ۲۷/۸۱	۰	۰	۲۹۸۷	۱/۷۵	۰	–	-۰/۱۰۸	–	۰/۰۱۴	۰/۰۰۳	–	–
۲۷/۸۱- ۴۴	۰	۰	۱۵۷۲	۰/۹۲	۰	–	-۰/۱۴۲	–	-۰/۰۵۰	۰/۰۰۳	–	–
کل نقاط	۲۰۸											

با همین روش مؤثرترین کلاس در لایه‌ی جهت دامنه، جهت جنوب غربی بوده است. جهت مذکور براساس شرط سوم تولید نقاط SPI به‌دست‌آمده و مقدار C/S آن برابر با ۲/۲۱۱ است. از مجموع ۲۱ نقطه‌ی ایجاد شده با این شرط، ۸ نقطه در این جهت واقع شده است. ۲۳۵/۵۷ کیلومترمربع یا ۱۶ درصد از مساحت منطقه دارای جهت شیب جنوب غربی است.

به‌طور کلی انحنای زمین بین مقادیر مثبت (محدب) و منفی (مقعر) و صفر (تخت) در نوسان است. در لایه‌ی انحنای عمودی، مؤثرترین کلاس (۰/۰۶-) – (۰/۲۷-) از انحنای مقعر زیادی برخوردار است. در حالی‌که در لایه‌ی انحنای زمین موازی با منحنی‌های تراز، مؤثرترین کلاس (۰/۲۱) – (۰/۰۶) دارای انحنای محدب نزدیک به صفر است. در لایه‌ی کاربری نیز، کلاس مورد نظر بر اساس معیار نسبت C/S مشخص شد. مؤثرترین کلاس در اینجا اراضی دیم به‌دست آمد. از مجموع ۲۰۹ نقطه SPI، ۱۲۴ نقطه در این کلاس قرار گرفته است. در لایه‌ی فاصله از آبراهه‌ها و جاده‌ها، مؤثرترین کلاس به‌ترتیب در فاصله‌ی ۳۸۸۶/۱۲ – ۲۴۱۰/۰۷ متر و ۵۲۲/۲۲- ۰ متر واقع شده است. در لایه‌ی سنگ‌شناسی، جنس آهک ـ مارن است.

جدول۳. خلاصه‌ی نتایج عوامل و شرایط مؤثر در ایجاد خندق در منطقه‌ی مورد مطالعه

عوامل مورد بررسی	کلاس مؤثر	نسبت C/S	شرط مؤثر	تعداد نقاطSPI در کلاس مؤثر	کل نقاط SPI شرط مؤثر
شیب به درجه	۳/۵۳ – ۱/۴۸	۹/۷۸	اول	۱۲۱	۲۰۸
جهت شیب	جنوب غرب	۲/۱۱	سوم	۱۳	۲۱
انحنای شیب عمودی زمین	(۰/۰۶-) – (۰/۲۷-)	۲/۴۵	اول	۲۵	۲۰۵
انحنای شیب افقی زمین	۰/۲۱ – ۰/۰۶	۲/۰۶	دوم	۱۶	۹۶
کاربری اراضی	اراضی دیم	۳/۵۵	اول	۱۲۴	۲۰۹
فاصله از جاده‌ها به متر	۳۸۸۶/۱۲ – ۲۴۱۰/۰۷	۲/۸۳	اول	۲۵	۲۰۵
فاصله ازآبراهه‌ها به متر	۵۲۲/۲۲ – ۰	۱/۸۳	اول	۱۹۲	۲۰۵
لیتولوژی	مارن ـ آهک	۴/۱۳	اول	۲	۲۰۹

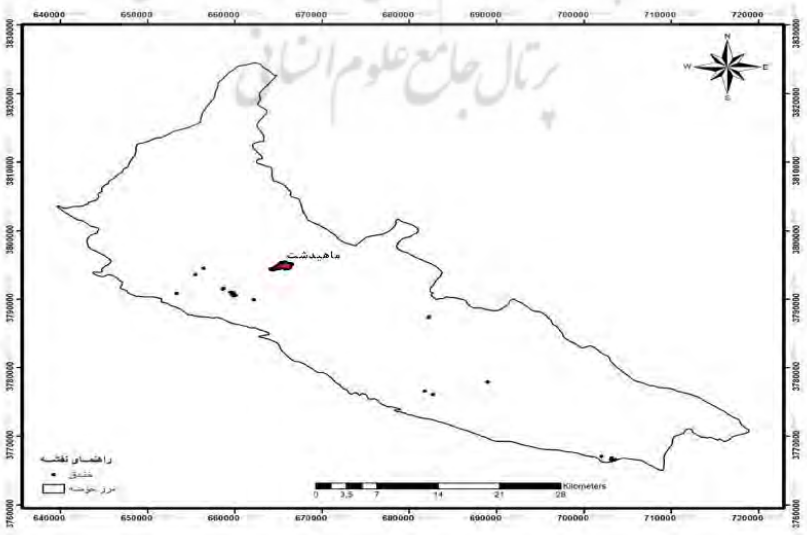
آزمون نقاط SPI شبیه‌سازی شده

پس از همپوشانی لایه‌های نقاط توان آبراهه‌ای با لایه‌های بیان شده در بالا، کلاسی از هر لایه که در ایجاد فرسایش خندقی مؤثر است، شناسایی شد. تک‌تک کلاس‌ها در قالب جدول شماره‌ی ۳ آمده است. برای اطمینان از صحت این روش در شبیه‌سازی خندق‌ها، نقاط واقعی خندقی شناسایی و برداشت موقعیت می‌شد. جهت انجام این امر با مراجعه‌های میدانی، تعداد ۳۱ خندق با ابعاد متفاوت در سطح حوضه شناسایی و موقعیت آنها توسط دستگاه GPS ثبت شد (شکل شماره‌ی ۵).

علاوه‌بر برداشت مختصات خندق‌ها، ابعاد هندسی آنها با استفاده از متر اندازه‌گیری و ثبت شد. برای برآورد میانگین حجم خندق در امتداد طول آن، چندین بار از عمق و پهنای خندق اندازه‌گیری به‌عمل آمد. نتیجه‌ی اندازه‌گیری ابعاد خندق‌ها در جدول شماره‌ی ۴ آمده است.

جدول ٤. موقعیت و مشخصات خندق‌های ثبت شده در حوضه‌ی رودخانه‌ی مِرگ

شماره‌ی خندق‌ها	عرض به UTM	طول به UTM	میانگین عرض خندق به متر	میانگین عمق خندق به متر	طول خندق به متر	حجم خاک برداشت شده به متر مکعب
۱	۳۷۹۰۸۲۴	۳۸۶۵۳۳۷۵	۴۱/۵	۱/۵۶	۱۱۴	۹۶۲/۱۱
۲	۳۷۹۰۷۹۳	۳۸۶۵۳۳۶۶	۴/۰۳	۰/۸۸	۳۴	۱۲۰/۵۷
۳	۳۷۹۱۵۱۹	۳۸۶۵۸۷۷۱	۷/۳	۱/۴۱	۱۶۱	۱۶۵۷ /۱۷
۴	۳۷۹۱۴۱۹	۳۸۶۵۸۶۵۳	۸/۶۲	۲/۱۲	۱۰۳	۱۸۸۲ /۲۶
۵	۳۷۹۱۵۶۶	۳۸۶۵۸۷۸۷	۱/۶۶	۰/۳۸	۳۵/۵	۲۲/۳۹
۶	۳۷۹۰۶۶۰	۳۸۶۵۹۷۶۱	۱۰/۹۶	۱/۹۵	۱۱۳	۲۴۱۵ /۰۳
۷	۳۷۹۰۷۳۸	۳۸۶۵۹۷۸۵	۵	۱/۰۱	۱۸	۹۰/۹
۸	۳۷۹۰۶۰۶	۳۸۶۵۹۹۰۲	۸/۲۷	۲/۷۳	۱۳۶/۴	۳۰۷۹/۵۱
۹	۳۷۹۰۵۴۷	۳۸۶۶۰۱۴۳	۱۰/۰۳	۱/۸۹	۴۹	۹۲۸/۸۷
۱۰	۳۷۹۰۵۲۰	۳۸۶۵۹۸۳۰	۴/۸۴	۰/۵	۳۸	۹۱/۹۶
۱۱	۳۷۸۹۸۹۶	۳۸۶۶۲۲۱۷	۶/۸	۰/۹۸	۸۴	۵۵۹ /۷۷
۱۲	۳۷۸۷۳۹۸	۳۸۶۸۲۲۶۸	۷/۸۶	۲/۱۴	۲۰۸/۳	۳۵۰۳/۶۸
۱۳	۳۷۸۷۳۷۱	۳۸۶۸۲۲۲۴	۹/۱۵	۱/۸۳	۱۷۰/۵	۲۸۵۴/۹۳
۱۴	۳۷۷۷۸۷۴	۳۸۶۸۸۹۵۹	۳/۰۳	۰/۵۳	۱۰	۱۶/۰۵
۱۵	۳۷۷۷۸۶۵	۳۸۶۸۹۰۲۹	۱/۴	۰/۸۷	۱۷/۵	۲۱ /۳۱
۱۶	۳۷۹۶۸۱۵	۳۸۷۰۳۱۸۱	۲/۹۴	۰/۳۸	۲۳/۴	۲۷/۱۴
۱۷	۳۷۶۶۶۴۷	۳۸۷۰۳۱۹۶	۷/۱۷	۱/۴۷	۴۰۱/۳	۴۲۲۹ /۶۶
۱۸	۳۷۶۶۴۱۸	۳۸۷۰۳۱۹۸	۹/۰۳	۰/۸	۴۷/۳	۱۱۱ /۲۴
۱۹	۳۷۶۶۴۸۷	۳۸۷۰۳۱۸۱	۳/۸۶	۰/۶۱	۱۰۵	۲۴۷/۲۳
۲۰	۳۷۶۶۵۶۹	۳۸۷۰۳۱۲۷	۴/۶۷	۰/۵۵	۱۰۴/۶	۲۶۸ /۶۶
۲۱	۳۷۶۷۰۵۸	۳۸۷۰۲۰۳۴	۶/۷۱	۱/۴۳	۲۹۳	۲۸۱۱ /۴۲



شکل۵. پراکنش نقاط نمونه‌برداری از خندق در منطقه‌ی مورد مطالعه

نقاط خندقی واقعی به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی با لایه‌ی نقشه‌ای موجود همپوشانی شدند. از نقاط واقع شده در طبقه یا کلاس سرشماری به‌عمل آمد و به‌طور دقیق مشابه با نقاط SPI، محاسبات مربوط به تشخیص کلاس مؤثر در توزیع نقاط خندقی انجام گرفت. نتایج حاصل از این مرحله نیز در جدول شماره‌ی ۵ ارائه شده است. در چهار کلاس نتایج مشابه با روش SPI به‌دست آمد. در کلاس‌های شیب، جهت شیب نتایج تا حدی به روش SPI نزدیک هستند. در لایه‌ی جاده، کلاس فاصله کاهش یافته است.

جدول ۵. نتایج وزن‌دهی نقاط خندقی مشاهده شده با لایه‌های مورد بررسی

عوامل مورد بررسی	کلاس مؤثر	خندق‌های موجود در این کلاس	نسبت C/S
شیب به درجه	۹/۰۴ – ۱۲/۴۲	۹	۳/۸۱
جهت شیب	شمال غرب	۲	۳/۳۹
انحنای شیب عمودی	(۰/۱۷) – (۰/۰۳)	۱۶	۲/۲
انحنای شیب افقی	(۰/۲۱) – (۰/۰۶)	۸	۲/۵۳
کاربری اراضی	اراضی دیم– مرتع	۱۶	۸/۹۶
فاصله ازجاده‌ها به متر	۵۶۸/۰۵ – ۱۳۶۸/۰۶	۱۲	۱/۴
فاصله ازآبراهه‌ها به متر	۰ – ۵۲۲/۲۲	۳۱	–
لیتولوژی	مارن– آهک	۲	۱۲/۸۶

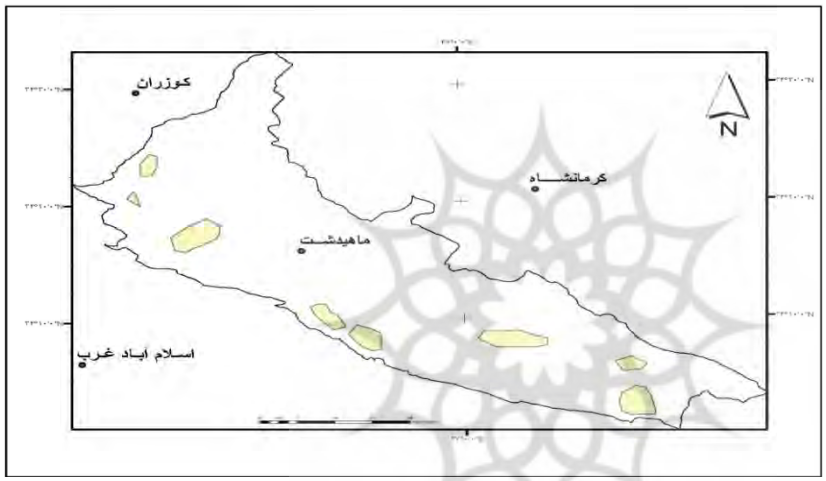
آزمون استقلال مشروط روی نقاط خندقی حاصل از SPI

با ترکیب دو یا چند نقشه، به‌کمک مدل بی سین الگوی‌هایی حاصل می‌شود که در این الگوها، ایده‌ی تقدم و تأخر احتمالات، یکی از مفاهیم مهم مدل به‌شمار می‌رود. بر اساس الگوهای ترکیبی فراوانی‌های مشاهده‌ای و مورد انتظار و عدم وابستگی در عمل قدری نوسان دارد. به شرطی که دو الگو به طور مشروط مستقل باشند، یعنی مقادیر کای اسکوئر محاسباتی و جدول با یک درجه آزادی مقایسه شوند، اگر مقادیر محاسباتی بزرگتر یا مساوی از کای جدول باشند استقلال مشروط دو الگو پذیرفته می‌شود. در اینجا به این منظور فراوانی مورد انتظار بر حسب فراوانی مشاهدات از طریق جداول توافقی محاسبه شده است. نتایج به‌دست‌آمده در جدول شماره‌ی ۳ ارائه شده است.

جدول ٦. محاسبه‌ی آزمون کای اسکور نقاط SPI در حوضه‌ی مِرگ

عوامل بررسی شده	انحنای شیب افقی	انحنای شیب عمودی	فاصله از جاده‌ها	فاصله از آبراهه‌ها	جهت شیب	شیب	کاربری اراضی	لیتولوژی	جمع سطر
تعداد نقاط SPI کلاس مؤثر	۱۶	۲۵	۲۵	۱۹۲	۸	۱۲۱	۱۲۴	۲	۵۱۳
نقاط SPI خارج از کلاس مؤثر	۸۰	۱۸۰	۱۸۰	۱۳	۱۳	۸۷	۸۵	۲۰۷	۸۴۵
نقاط SPI موجود در شرط مؤثر	۹۶	۲۰۵	۲۰۵	۲۰۵	۲۱	۲۰۸	۲۰۹	۲۰۹	۱۳۵۸
فراوانی مورد انتظار	۳۶/۲۷	۷۷/۴۴	۷۷/۴۴	۷۷/۴۴	۷/۹۳	۷۸/۵۷	۷۸/۹۵	۷۸/۹۵	
کای اسکوئر محاسباتی	۱۱/۳۲	۳۵/۵۱	۳۵/۵۱	۱۶۹/۴۷	۰/۰۰	۲۲/۹۱	۲۵/۷	۷۵/۰۰	

با مقایسه‌ی کای محاسباتی و کای مستخرج از جدول، مشخص شد که در لایه‌ی انحنای شیب عمودی زمین، کلاس فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراهه‌ها، کلاس شیب، کاربری اراضی دیم، لیتولوژی آهک ــ مارن، از مقدار کای جدول بیشتر بوده و درنتیجه وقوع نقاط SPI در آنها معنادار است، اما مقدار کای محاسباتی برای لایه‌های انحنای شیب افقی و جهت شیب، کمتر از مقدار کای جدول است. در نتیجه وقوع نقاط SPI در این لایه‌ها بیشتر تصادفی است تا اینکه علت دیگری داشته باشد. براساس نتایج حاصل از محاسبه‌ی آزمون کای اسکوئر (کلاس‌هایی از لایه‌هایی که رویداد نقاط SPI معنادار است) و با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS، مناطق مساعد خندق‌زایی در حوضه‌ی مِرگ در شکل شماره‌ی ۶ در قالب هشت محدوده آورده شده است که بخش‌هایی از آن با نقشه‌ی خندق‌های موجود (شکل شماره‌ی ۵) مطابقت دارد.



شکل ٦. شبیه‌سازی پهنه‌های مستعد خندق‌زایی در حوضه‌ی مِرگ براساس نتایج محاسبه‌ی کای اسکوئر

بحث و نتیجه‌گیری

وجود دانش فنی و نظری برای تشخیص خندق‌ها موضوعی است که به تمیز مناطق خندقی در گذشته روی نقشه‌ی توپوگرافی و مدل رقومی آن کمک می‌کند. به‌هرحال، توانایی استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی (مدل رقومی ارتفاعی) برای شناسایی موقعیت خندق‌ها، نیازمند دانش لازم در مورد فرایند خندق‌زایی و فراوانی خندق‌ها است. توزیع کای اسکوئر به ما کمک می‌کند که تا چه حد اختلاف بین فراوانی‌های تجربی و نظری را می‌توان به تصادف نسبت داد. یعنی قبول کرد که ادعا صحیح است یا آن را رد کرد (تاجداری، ۱۳۶۸: ۶۷).

شبیه‌سازی نقاط مستعد خندق‌زایی بر این دانش استوار است که خندق‌ها به‌طور معمول در مکان‌های دارای جریان آب و رطوبت متمرکز می‌شوند. ویژگی چنین مکان‌هایی مورفولوژی مقعر و کمابیش تخت است. عوامل دیگری نیز این ویژگی را تشدید می‌کنند، برای مثال نوع لیتولوژی و خاک، بستر مناسبی برای افزایش یا کاهش نقش مورفولوژی زمین شکل‌ها در تمرکز خندق‌ها است. از آنجاکه انحنای مقعر زمین شکل‌ها می‌تواند به‌دلیل فرسایش باشد، خود نیز در آینده بستری برای توسعه‌ی فرسایش‌های دیگر، ازجمله خندق می‌شود. توسعه‌ی جاده و راه‌های ارتباطی عاملی دیگری است که در قالب فاصله‌ی نقاط مستعد خندقی یا خندق‌های واقعی ارزیابی شد. به‌گونه‌ای که عامل فاصله، مؤثر تشخیص داده شد. از سویی با کمک داده‌های واقعی، نتایج حاصل از روش SPI آزمون شدند. نتایج حاصل از این مرحله (جدول

شماره‌ی ۵) نشان داد که شبیه‌سازی مناطق مستعد خندق با داده‌های واقعی، در چهار کلاس نتایج مشابه با روش SPI دارند، در دو کلاس شیب و جهت شیب نتایج تا حدی به روش SPI نزدیک هستند. در لایه‌ی جاده، کلاس فاصله کاهش یافته است. تفاوت به دو دلیل تفسیر می‌شود، یکی به‌روزبودن داده‌ها و دیگری تفاوت مقیاس داده‌ی برداشت شده با موقعیت‌یاب، نسبت به داده‌های حاصل از نقشه‌ی توپوگرافی است. اندازه‌ی پیکسل سایز مدل رستری ارتفاعی در این تحلیل ۹۰ متر بوده است، این مورد اخیر در مکان‌گزینی خندق‌ها بی‌تأثیر نیست. فاصله‌ی خندق‌ها در بعضی جاها کمتر از ۴۰ متر مشاهده شد (روستای بانلرینی) و درنتیجه در نقشه با پیکسل سایز ۹۰ متر، برخی از این خندق‌ها نادیده گرفته می‌شوند، در حالی‌که وجود دارند. پس از همپوشانی عوامل مختلف مکانی (لایه‌های نقشه‌ای) با نقاط خندقی مصنوعی و واقعی کلاس‌ها و طبقه‌های زیر، در توزیع مکان‌های مستعد خندق مؤثر تشخیص داده شدند:

- نقشه‌ی انحنای شیب عمودی کلاس (۰/۰۶-) – (۰/۲۷-)، فاصله از جاده ۳۸۸۶/۱۲ – ۲۴۱۰/۰۷ متر.
- فاصله از آبراهه‌ها ۵۲۲/۲۲- ۰ متر، لایه‌ی شیب، کلاس ۳/۵۳ – ۱/۴۸ درجه، کاربری اراضی از نوع کشاورزی دیم، لایه‌ی لیتولوژی، جنس آهک ـ مارن. با توجه به اینکه مقدار کای محاسبه شده برای لایه‌های انحنای شیب افقی و جهت شیب، به‌ترتیب برابر ۹/۹۷ و ۱۳/۹۵ است، بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که روی دادن نقاط SPI در این لایه‌ها تصادفی است.
- عموماً تغییرات توپوگرافی هم با پدیده‌ی زمین‌لغزش و هم با پدیده‌های فرسایشی مشاهده می‌شود. برای تفکیک و تمیز این دو پدیده، یادآوری می‌شود که پدیده‌ی فرسایش با تشکیل شیارها، گالی‌های عمیق و کانال، و آبراهه‌ها و دره‌ها مشخص می‌شود. عمل برش و حفر مواد دامنه‌ای توسط فرایندهای فرسایشی نیز، روی شکل منحنی‌های تراز مشخص شده است. بنابراین با کمک مدل سه‌گانه‌ی انحنای شکل دامنه‌ها، امکان شناسایی مناطق فرسایشی از مناطق زمین‌لغزشی فراهم می‌شود.
- امروزه در دنیا به‌سبب اینکه خاک بستری برای رشد گیاه و محصولات کشاورزی است، به آن همچون یک سرمایه‌ی ملی نگریسته می‌شود. خاک مناسب، ازدسته عوامل پیشرفت اقتصادی به‌شمار می‌رود که نگهداری و حفاظت از این ثروت بر ساکنان هر منطقه ضروری است. ازجمله آثار فرسایش خندقی در منطقه‌ی مورد بررسی، خارج کردن مقدار قابل توجهی خاک از منطقه هنگام عملیات میدانی در منطقه‌ی سرفیروزآباد ماهی‌دشت است. در این رابطه مشاهده شد تعدادی از خندق‌ها در اراضی زراعی شکل گرفته و مقدار متنابهی خاک قابل کشت را از زمین خارج کرده‌اند. مطابق اطلاعات مندرج در جدول شماره‌ی ۴، کوچکترین خندق ثبت شده در منطقه با ۱۰ متر طول، میانگین عرض ۳ متر و میانگین عمق ۰/۵ متر، باعث خروج ۱۶ متر مکعب خاک از منطقه شده است! یا طویل‌ترین خندق با طول ۴۰۱ متر، میانگین عرض ۷/۱۷ متر و میانگین عمق ۱/۴۷ متر ۴۲۲۹/۶۶ متر مکعب خاک را از منطقه خارج کرده است.
- زهکشی آبهای زیر سطحی و تا حدودی زیرزمینی: این عامل در مناطقی با سطح ایستابی بالا رخ می‌دهد. این اثر نیز باعث افت سطح آبهای زیرسطحی و خشکی منطقه شده و درنتیجه سبب ایجاد مسائل اقتصادی و اجتماعی برای ساکنان منطقه می‌شود. این حالت در قسمت شرق حوضه‌ی مِرگ مانند اطراف روستای بان لرینی مشهود است.

منابع

بافکار، ع.، مجردی، ح. ر. (۱۳۸۵). **حفاظت آب وخاک**، انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه.

براتی، غ. (۱۳۸۳). **جغرافیای خاک‌ها و مدیریت محیطی منابع خاک**، انتشارات طاق‌بستان، کرمانشاه.

تاجداری، پ. (۱۳۶۸). **مقدمه‌ای بر آمار**، انتشارات اتا، تهران.

ثروتی، م. ر.، قدوسی، ج.، دادخواه، م. (۱۳۸۷). **عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها**، پژوهش و سازندگی، شماره‌ی ۷۸، صص. ۳۳- ۲۰.

جباری، ا. (۱۳۸۵). **روش‌های آماری در علوم محیطی و جغرافیایی**، انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه.

جعفری گرزین، ب.، دومهری، ع. ر.، صفایی، م.، احمدیان، ح. (۱۳۸۴). **معرفی مدل‌هایی برای پیش‌بینی رشد حجم خندق در حوضه‌ی سرخ آباد مازندران**، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره‌ی ۷۵، صص. ۱۱۷- ۱۰۹

خطیبی، م. (۱۳۸۳). **تحلیل و بررسی نقش عوامل توپوگرافی و مورفوژنز در خندق زایی**، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۴۹، صص. ۷۰- ۵۳.

راهی، غ. ر.، صوفی، م.، طوسی، ط.، جعفری، ع. (۱۳۸۴). **بررسی ویژگی‌های آبکندها در حوضه‌های آبخیز سمل و گناوه در استان بوشهر**، مجموعه مقالات همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، صص.۳۱۳- ۳۱۰.

عابدینی، م. (۱۳۸۴). **پژوهش در وقوع فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب‌غرب دشت هادی‌شهر در شمال‌غرب آذربایجان شرقی از طریق روش‌ها و تکنیک‌های جدید**، مجله‌ی جغرافیا وتوسعه، سال سوم، شماره‌ی ۶، صص. ۱۳۳-۱۱۳.

قدوسی، ج.، داوری، م. (۱۳۸۴). **تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش خندقی و مورفولوژی آبکندها**، مجموعه مقالات همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، صص.۳۸۹- ۳۸۲.

قرلی، ح. ر.، فتاحی، م. م. (۱۳۸۴). **بررسی خصوصیات اقلیمی و مورفولوژیکی آبکندها**، مجموعه مقالات همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، صص. ۳۹۳- ۳۹۰.

مورگان، آر. پی. سی. (۱۳۶۸). **فرسایش و حفاظت خاک**، ترجمه‌ی امین علیزاده، آستان قدس رضوی، مشهد.

نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۵۰۰۰۰ استان کرمانشاه، تهیه شده توسط سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

نیکویی‌مهر، م.، امامی، ن. (۱۳۸۶). **مهم‌ترین ویژگی‌های شکل‌شناسی خندق ها در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک تحت تأثیر فرسایش خندقی (مطالعه‌ی موردی: استان چهار محال و بختیاری)**، پژوهش و سازندگی، شماره‌ی ۷۷، صص ۹۲- ۸۴.

Abedini, M., 2006, **Survey for Gully Erosion Happened in West South Elevations Hadishahr in West North of Eastern Azerbaijan by New Methods and Techniques**, Geography and Development, Vol. 3, No. 6, PP. 113-133.

Bafkar, A., Mojradi, H.R., 2007, **Water and Soil Conservation**, University Razy, Kermanshah.

Barati, GH, R., 2005, **Soils Ggogarphy and Environmental Managements of Soils Resources**, Taghebostan, Kermanshah.

Betts, H.D. & Derose, R.C., 1999, **Digital Elevation as Tool for Monitoring and Measuring Gully Erosion**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol.1, No. 2, PP. 91-101.

Gabris, G., Kertesz, A., Zambo, L., 2003, **Landuse Change and Gully Formation Over the Last 200 Year in Hilly Catchment**, Elsevier, Vol. 50, No. 2-4, PP. 151-164.

Geographical's Conformation of Armed Forces, **Topography Maps of Study Area in 1:50000 Scale**.

Gherli, H., Fatahi, M. M., 2006, **Survey of Climatically and Morphology's Feature of Gullys,** Dissertation's Collection of Nationality Convention about Erosion and Sediment, Research Center Soil Conservation and Watershed Management, Tehran.

Ghodusi, J., Davari, M., 2006, **Effect Characters of Physical and Chemical's Soil in Gully Erosion and Gully's Morphology**, Dissertation's Collection of Nationality Convention about Erosion and Sediment, Research Center Soil Conservation and Watershed Management, Tehran.

Jabari, I., 2007, **Statistical Methods in Environmental Geographical Sciences**, University Razy, Kermanshah.

Jafari Gorzin, B. and Et al., 2006, **Introducing Some Models for Predicting Gully Volume Growth (A case Study in Sorkh-Abad Watershed Mazandaran)**, Pajouhesh & Sazandegi, No. 75, PP. 108-117.

Kakembo, V., Et al., 2003, **Topographic Thresholds in Gully Development on the Hillslopes of Communal Areas in Ngqushwa Local Municipality**, Eastern Cape, South Africa, Department of Gepsciences, Nelson Mandela Metropolitan Unniversity, Port Elizabeth, South Africa.

Khatibi Bayati, M., 2005**, the Analysis and Research on Role of Topographical and Morphological on Gulling (A Case Study Northern Slope on Gushe Dagh)**, Geographical Research, No. 49, PP. 53-70.

Martinez-Casanovas, J.A. and Et al., 2004, **Assessmentu of Sidewall Erosion in Large Gullies Using Multi-Temporal DEM and Logistic Regression Analysis**, Geomorphology, Vol. 58, PP. 305-321.

Martinez-Casanovas، J.A., 2003, **A Spatial Technology Approach for the Mapping and Quantification of Gully Erosion**, Catena, Vol. 50, PP. 293-308.

Morgan, R. P. C., 1990, **Erosion and Soil Conservation**, Translate by Alizadeh Amin, Astane Ghods e Razavi, Mashhad.

Nikoeimehr, M. Emami, N., 2008, **More Important Properties Gullys Morphology in Climatically Classification Affected of Gully Erosion (A Case Study Chaharmahal Va Baktyari)**, Pajouhesh & Sazandegi, No. 77, PP. 84-92.

Rahi, M. R. and Et al., 2006, **Survey the Gully's Attributes for Samel and Genaveh Catchments in Boushehr**, Dissertation's Collection of Nationality Convention about Erosion and Sediment, PP. 310-313.

Sarvati, M. R. and Et al., 2009, **Factors Effecting Initiation and Advancement of Gully Erosion Loesses,** Pajouhesh & Sazandegi, No. 78, PP. 20-33.

Sidrochuk, A., 2003, **Gully Erosion Modeling and Landscape Response in Mbulozi River Catchment of Swaziland**, Catena, Vol. 50, PP. 507- 522.

Tagdari, P., 1990, **Introduction to the Statistics**, Ata, Tehran.

Valenti, C., Poesen, J., Yong, L., 2005, **Gully Erosion Impact, Factor and Control**, Catena, Vol. 63, No. 2-3, PP. 132- 153.