

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۸

M. Entezari, Ph.D
A. Maleki, Ph.D
Kh. Moradi
S. Olfati

مؤگان انتظاری، استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان

امجد ملکی، دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی کرمانشاه

خدیجه مرادی، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان

سعید الفتی، کارشناس ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه یزد

E-mail: entezary54@yahoo.com

شماره مقاله: ۱۰۴۷ صص: ۳۱۲-۲۹۷

وصول: ۹۳/۹/۱۰ پذیرش: ۹۴/۳/۲۱

بررسی فرسایش خندقی حوضه آبریز دیره با استفاده از روش تلفیق وزنی و شاخص توان آبراهه‌ای

چکیده

وجود دانش فنی و نظری برای تشخیص خندق‌ها، به تمیز مناطق خندقی روی نقشه توپوگرافی و مدل رقومی آن کمک می‌کند. به‌هرحال، توانایی استفاده از نقشه توپوگرافی (مدل رقومی ارتفاعی) برای شناسایی موقعیت خندق‌ها نیازمند دانش لازم در مورد فرایند خندق‌زایی و فراوانی خندق‌هاست. پژوهش حاضر به منظور بررسی مناطق مستعد خندق‌زایی در حوضه رودخانه دیره انجام شده است. داده و روش‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل استفاده از لایه‌های مدل رقومی ارتفاع (ام.ای.دی) و لایه‌های ثانویه استخراج شده از آن، شاخص توان آبراهه‌ای (اس.پی.آی)، کاربری اراضی، آبراهه‌ها، سنگ شناسی و راه‌های موجود در حوضه و جمع‌آوری داده‌های میدانی بوده است. داده‌های مذکور در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تجزیه و تحلیل و نتایج حاصل از آن توسط آزمون کای اسکویر بررسی شد. براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش در حوضه آبریز دیره از مجموع ۸ عامل بررسی شده، ۵ عامل (شیب، انحنای افقی شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده‌ها، سنگ شناسی) به عنوان عوامل مؤثر در تولید خندق شناسایی شدند. از میان این پنج عامل، کلاس شیب ۰ تا ۴/۱ درجه که از مجموع مساحت حوضه دیره حدود ۳۳/۲۲ درصد آن در این فاصله قرار گرفته است که بیشترین تأثیر تولید خندق را در این حوضه دارد.

واژه‌های کلیدی: شاخص توان آبراهه‌ای، مدل رقومی ارتفاعی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، کای اسکویر، حوضه آبریز دیره

مقدمه

کلمه فرسایش که در انگلیسی و فرانسه به آن اروژن می‌گویند، از ریشه لاتین ارودریبه به معنی ساییدگی است و عبارت است از ساییده شدن سطح زمین (رفاهی، ۱۳۷۵: ۲-۳). این اصطلاح برای نخستین بار توسط پنک در سال ۱۸۹۴ در زمین‌شناسی و برای توضیح فرایند شکل‌گیری دره‌ها، به کار رفته است (رفاهی، ۱۳۷۵: ۳). فرسایش پدیده‌ای دائمی است؛ ولی در صورتی که میزان آن کمتر از میزان خاک تشکیل شده باشد، بحرانی نیست. هنگامی میزان فرسایش کمتر

از میزان تشکیل خاک یا برابر آن است که خصوصیات خاک، مانند: بافت، عمق و حاصلخیزی آن در طول زمان ثابت بماند (رفاهی، ۱۳۷۵: ۱). به طور کلی، انسان برای ادامه حیات خود به مواد غذایی نیاز دارد که بر اثر وجود آب و خاک به دست می‌آید. از عواملی که وجود آب و خاک را به خطر می‌اندازد، فرسایش است که همواره برای از بین بردن آن عمل می‌کند. به همین جهت است که مبارزه با فرسایش در سطح جهان مورد توجه قرار گرفته است. به طور کلی، فرسایش پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر بوده، نمی‌توان آن را به کلی از بین برد؛ ولی فعالیت‌های انسان می‌تواند آن را تشدید نموده و یا کاهش دهد. پدیده فرسایش و آثار سوء آن شاید در کوتاه‌مدت چندان محسوس نباشد؛ ولی در بلندمدت محسوس خواهد بود. با افزایش جمعیت و بالارفتن تقاضا از سویی میزان بهره‌برداری از زمین افزایش یافته و از سوی دیگر، کشاورزان به دلیل کمبود زمین‌های زراعی، زمین‌های حساس به فرسایش را که زیر پوشش گیاهی مناسبی است زیر کشت می‌آورند (این موضوع در منطقه مورد مطالعه به خوبی محسوس است) و ادامه این کار به تخریب زمین منجر می‌شود (کریمی، ۱۳۷۷: ۲). در رابطه با مطالعه فرسایش خندقی توسط مدل ارتفاع رقومی مطالعات معدودی صورت گرفته است که اکثر آنها به اندازه‌گیری میزان رشد فرسایش خندقی و عوامل مؤثر در آن پرداخته‌اند. در زیر به بیان خلاصه‌ای از آنها پرداخته می‌شود. دسمت^۱ و همکاران (۱۹۹۷) به بررسی ابعاد مختلف فرسایش خندقی با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و با بهره‌گیری از تکنیک‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی افزون بر افزایش دقت نتایج، موجب صرفه‌جویی در زمان و کاهش حجم مدت انجام مطالعات می‌شود. هارلی^۲ و همکاران (۱۹۹۹) از مدل رقومی ارتفاع همراه با ترکیبی از عکس‌های هوایی برای اندازه‌گیری فرسایش خندقی در محیط‌های ناپایدار ژئومورفولوژی در نیوزیلند استفاده کردند. آنها تغییرات انجام شده را در طی دو دوره زمانی ۱۴ و ۳۳ سال مطالعه کردند. سیدروچوک^۳ و همکاران (۲۰۰۳) مدل‌سازی فرسایش خندقی و واکنش طبیعت به آن را در حوضه رودخانه امبولوزی در سوازیلند با استفاده از سنجش از دور بررسی و عامل سنگ شناسی را در فرسایش خندقی مهمترین عامل در ایجاد این فرسایش در حوضه مذکور دانستند. مارتینز^۴ و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی به ارزیابی فرسایش کنار دیواره‌ای در خندق‌های بزرگ با استفاده از نقشه‌های مدل رقوم ارتفاعی ترسیم شده در زمان‌های مختلف، سازماندهی آنالیز رگسیون و آمار بارش‌های روزانه پرداختند و نتیجه گرفتند میزان رسوب در فرسایش کنار دیواره‌ای در ارتباط مستقیم با ویژگی‌های بارش است. سی‌والنتین^۵ و همکاران (۲۰۰۵) بر اساس مطالعات میدانی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی و تغییرات محیطی حاصل از آن را بررسی کردند. نکویی‌مهر و امامی (۱۳۸۶)، ویژگی‌های شکل‌شناسی خندق‌ها در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق دچار فرسایش خندقی در استان چهارمحال بختیاری را بررسی کردند و نتیجه گرفتند طول خندق و عرض بالای آن در مقطع ۵۰ درصد طول، در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک خندق‌ها بیشترین تأثیر را دارد. ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی به عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها در حوضه عرب قره‌حاجی، واقع در استان گلستان با استفاده از فنون سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند و به شناسایی

1 - Desmet

2 - Harly

3 - Sidrochuk

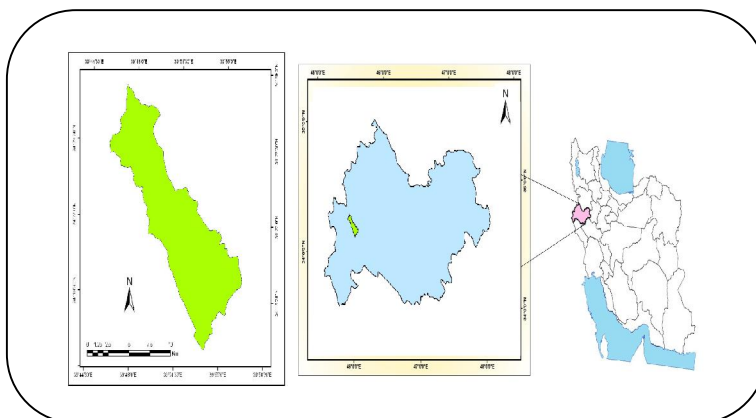
4 - Martinez

5 - valentin

مهمترین این عوامل و راهکارهای مقابله با آن پرداختند. رامشت و همکاران (۱۳۸۸) در مقاله‌ای به معرفی روش‌های ریاضی ارزیابی گالی‌ها پرداختند و پیشنهاد کردند که بر حسب ویژگی‌های آب و هوایی، زمین‌شناسی ژئومورفولوژی و غیره مدل مناسب برای ارزیابی میزان فرسایش خندقی در هر منطقه مشخص شود. احمدی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی به تعیین آستانه‌های هیدرولیک جریان برای شروع فرسایش خندقی با استفاده از شبیه‌سازی جریان پرداختند. نتیجه به دست آمده از پژوهش آنها نشان می‌دهد که تنش برشی بحرانی برای شروع فرسایش در اراضی مرتعی کمتر از اراضی دیمزار و متروک بوده است. همچنین، می‌توان با توجه به اینکه فرسایش خندقی در حوضه رودخانه دیره یکی از مسائل حاد؛ بخصوص در بخش کشاورزی به حساب می‌آید. این پژوهش سعی دارد به مدل‌سازی مناطق مستعد خندق‌زایی و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه از میان عوامل بررسی شده، بپردازد.

داده‌ها و روش پژوهش

حوضه آبریز دیره با مساحت ۱۱۳/۴۱ کیلومتر مربع در غرب ایران، در محدوده سیاسی استان کرمانشاه واقع است. این حوضه از نظر موقعیت جغرافیایی بین مدارهای ۳۴/۱۴ تا ۳۴/۲۹ درجه از شمال خط استوا و بین نصف النهارهای ۴۵/۳۹ درجه تا ۴۵/۵۶ درجه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است.



شکل (۱) نقشه محدوده مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، علاوه بر نقاط مدلسازی شده، لایه‌های مدل رقومی ارتفاع (ام.ای.دی) و لایه‌های استخراج شده از آن با عنوان لایه‌های ثانویه و همچنین، لایه‌های سنگ شناسی، کاربری اراضی، آبراهه‌ها و راه‌های حوضه‌هاست.

در این پژوهش در گام نخست، پس از بازدید میدانی، لایه رقومی ارتفاعی منطقه فراهم شد. در ادامه، لایه‌های مورد نیاز تهیه شد. از دستگاه موقعیت‌یاب جی.پی.اس. مپ ۳۳۰، برای برداشت موقعیت خندق‌های موجود در منطقه و از نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی، گوگل ارث، ادریسی و اکسل در تحلیل داده‌ها بهره گرفته شد. با حصول اطمینان از وجود خندق در حوضه، لایه‌های مورد نیاز با استفاده از توابع موجود در آرک مپ از مدل رقومی ارتفاعی ۹۰ متر تهیه شدند. لایه توزیع مکانی شاخص توان آبراهه‌ای (اس.پی.آی) با استفاده از نرم‌افزار ادریسی تولید شد. این شاخص نسبت بین مساحت بالادست یک نقطه و شیب زمین در بالادست آن را به گونه‌ای نشان می‌دهد که نیمرخ عرضی و نیمرخ طولی

یک آبراهه را منعکس کند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۷). از سوی دیگر، مناطق دارای تجمع رطوبت را نیز نشان می‌دهد. شاخص مذکور از طریق توابع موجود در سامانه اطلاعات جغرافیایی و با داشتن $\text{Accumulation sin } \alpha$ محاسبه می‌شود. لایه انحنای شیب زمین تغییرات گرادیان ارتفاعی (انحنای زمین به صورت عمود بر منحنی میزانها و موازی با منحنی میزانها) و تأثیر این تغییرات در خندق‌زایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. لایه انحنای شیب در جهت عمود بر منحنی‌های تراز از پنج کلاس از مقادیر منفی تا مثبت (۱/۷۲- تا ۱/۹۷) کلاس‌بندی شده‌اند. لایه انحنای شیب افقی نیز در پنج کلاس از (۲/۶۱-) تا (۲/۴) کلاس‌بندی شده است. محدوده کاربری اراضی کشاورزی و جنگل و مرتع با استفاده از تصاویر گوگل ارت به پنج کاربری شامل: اراضی دیم، اراضی مرتعی، اراضی جنگلی، اراضی آبی، اراضی مرتع- جنگل، با غلبه مرتع تقسیم شد. ایجاد بافر در لایه آبراهه‌ها و جاده‌ها به منظور بررسی نقش فاصله از عوارض خطی در ایجاد خندق است. لایه سنگ شناسی: به لحاظ سنگ شناسیک حوضه دیره از هفت نوع جنس آهک دولومیتی، مارن و ماسه‌سنگ، مواد آبرفتی، فلیش و مارن، آهک، آهک و مارن، ژپس و انیدریت تشکیل شده است. هدف از آوردن این نقشه‌ها بررسی تأثیر جنس سنگ‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در ایجاد خندق‌های این منطقه است (شکل ۲).

لایه شیب: این لایه به منظور بررسی تأثیر طبقات مختلف شیب منطقه مورد مطالعه در پیدایش نقاط مستعد خندق‌زایی (اس.پی.آی) استفاده شده است. برای انجام این امر، نقشه شیب حوضه مورد مطالعه به پنج کلاس تقسیم شد (شکل ۳).

لایه جهت شیب: این لایه به منظور بررسی تأثیر جهت‌های مختلف شیب منطقه مورد مطالعه در ایجاد مناطق مستعد خندق‌زایی تهیه و استفاده شد. هر یک از این نقشه‌ها به ده کلاس تقسیم شده‌اند که جهت شیب مسطح هم به عنوان یک جهت از نقشه‌های مذکور معرفی شده است (شکل ۴).

لایه انحنای عمودی شیب: لایه مذکور برای حوضه دیره نیز دارای پنج کلاس و این کلاس‌ها از (۱/۷۲-) تا (۱/۹۷) کلاس‌بندی شده‌اند. در این کلاس‌ها با سیر از اعداد منفی به طرف اعداد مثبت، در جهت عمود بر منحنی میزانها از تقعر زمین کاسته شده و بر تحدب آن افزوده می‌شود (شکل ۵).

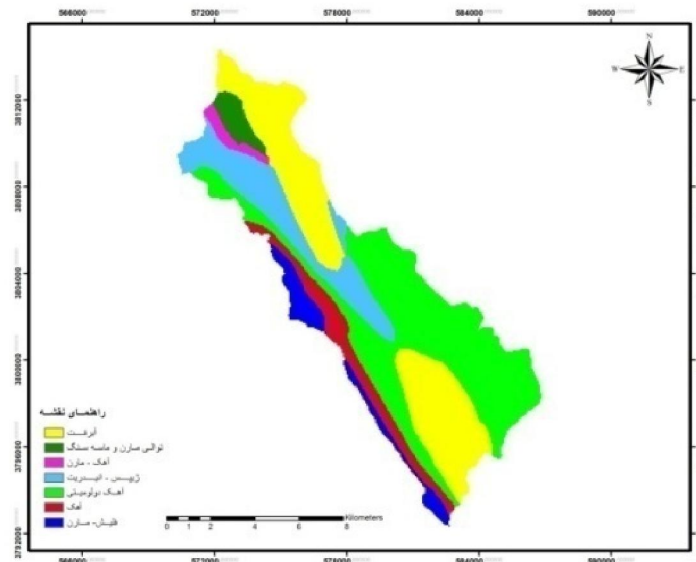
لایه انحنای افقی شیب: این لایه‌ها نیز همانند لایه‌های انحنای شیب عمودی به پنج کلاس تقسیم شده است. سیر اعداد در کلاس‌های آن نیز از اعداد منفی به مثبت است و از کلاس (۲/۶۱-) تا (۲/۴) کلاس‌بندی شده است. این نقشه‌ها تحدب و تقعر زمین را به صورت موازی با منحنی میزانها نشان می‌دهند (شکل ۶).

لایه کاربری راضی: حوضه دیره به پنج کاربری، شامل: اراضی دیم، اراضی مرتعی، اراضی جنگلی، اراضی آبی و اراضی مرتع- جنگل، با غلبه جنگل تقسیم شد (شکل ۷).

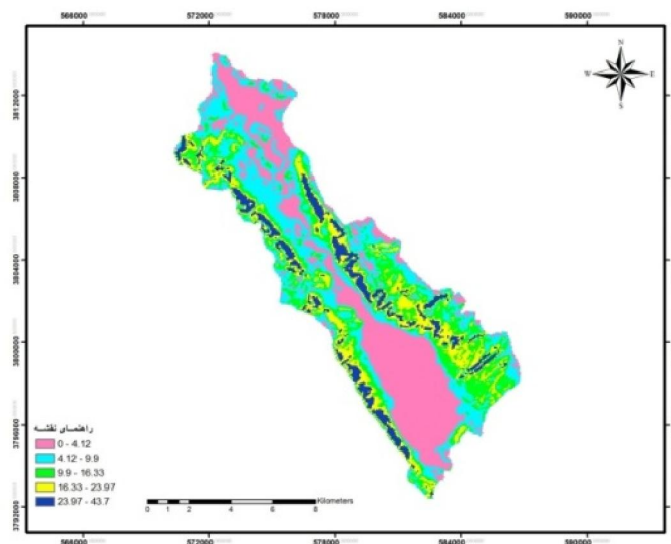
لایه فاصله از جاده‌ها: برای بررسی ارتباط بین تشکیل خندق و میزان فاصله از جاده‌ها، در محیط آرک. مپ، برای جاده‌ها فاصله اقلیدسی^۱ ترسیم شد. در این نقشه، فاصله اقلیدسی برای هر یک از راه‌های داخل حوضه تعریف و در

نهایت، این لایه در پنج کلاس، از ۰ تا ۳۲۱۲/۷۱ در حوضه دیره به متر تهیه شد. هدف از ترسیم نقشه مذکور بررسی ارتباط میان فاصله از جاده و تشکیل خندق است (شکل ۸).

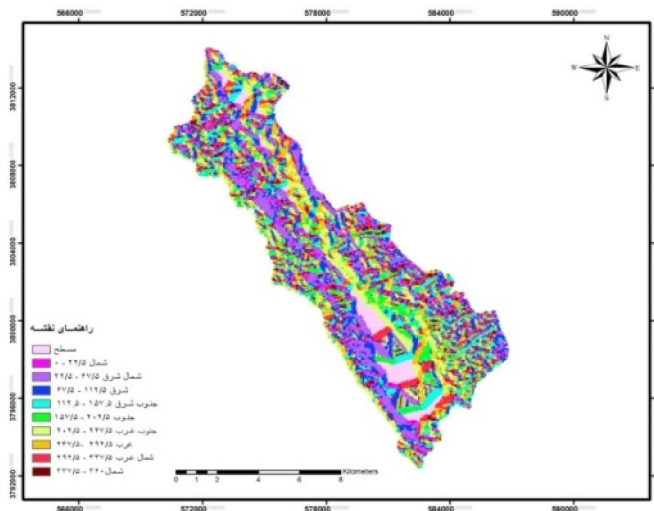
لایه فاصله از آبراهه‌ها: پس از انجام تصحیحات بر روی لایه آبراهه‌ها، فاصله اقلیدسی در پنج کلاس برای آنها ترسیم شد. فاصله برای حوضه دیره از ۰ تا ۱۲۸۷ متر است. این نقشه نیز برای بررسی ارتباط میان فاصله از آبراهه‌ها و تشکیل خندق، بررسی شد (شکل ۹).



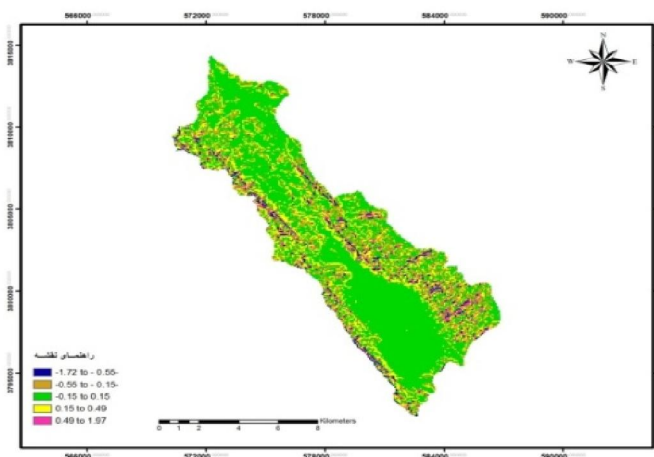
شکل ۲) نقشه سنگ شناسی حوضه دیره



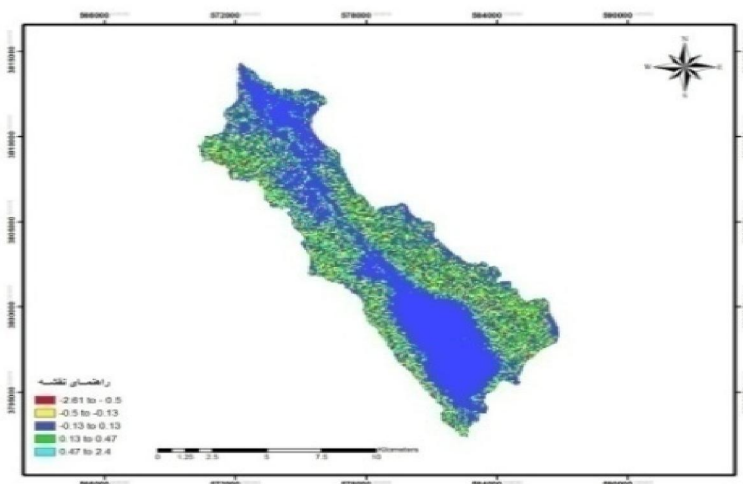
شکل ۳) نقشه شیب حوضه دیره



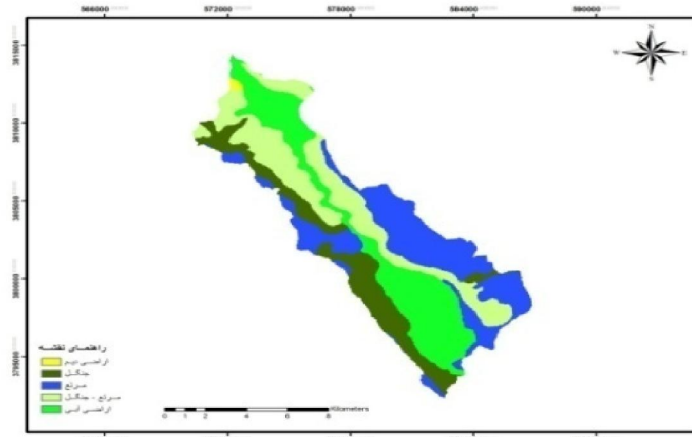
شکل ۴) نقشه جهت شیب حوضه دیره



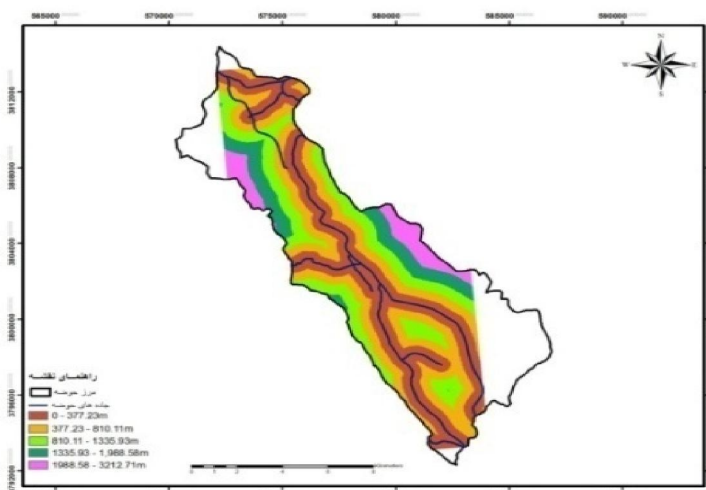
شکل ۵) نقشه انحنای شیب عمودی زمین در حوضه دیره



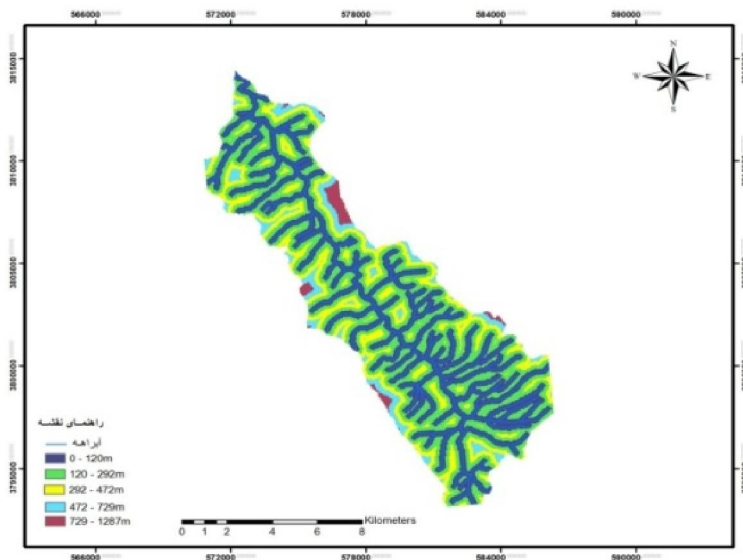
شکل ۶) نقشه انحنای شیب افقی زمین در حوضه دیره



شکل ۷) نقشه کاربری اراضی حوضه دیره



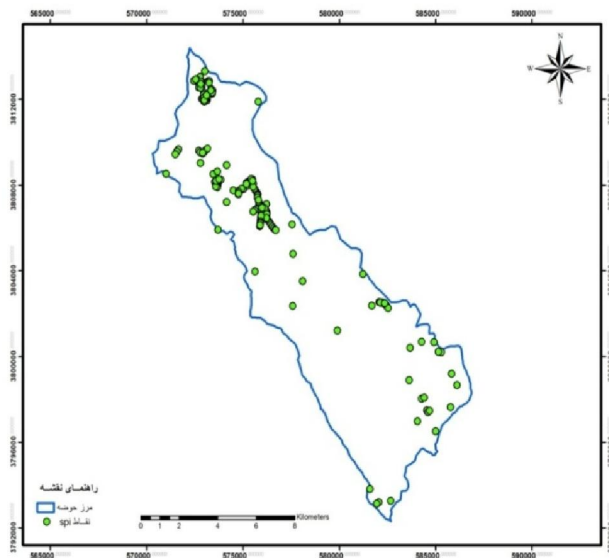
شکل ۸) نقشه فاصله از راه‌های حوضه دیره



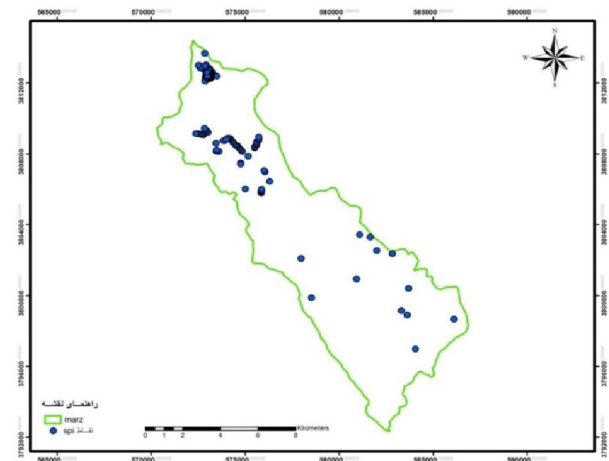
شکل ۹) نقشه فاصله از آبراهه‌های حوضه آبریز دیره

تشخیص مناطق مستعد خندق

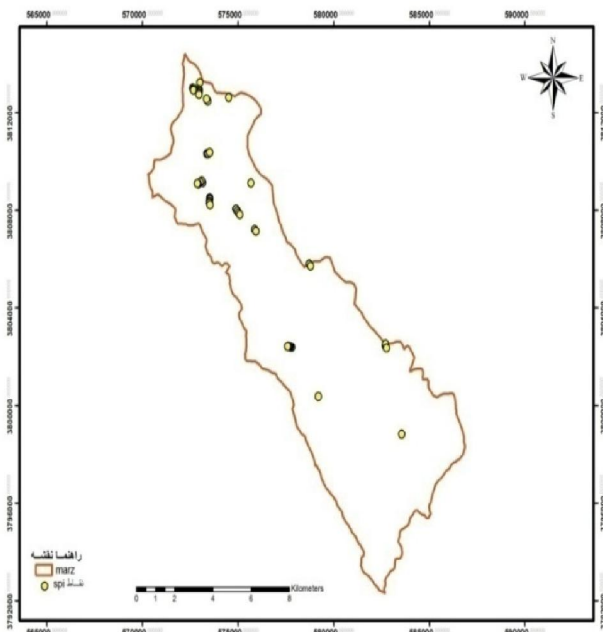
در تشخیص مناطق مستعد خندق از شاخص توان آبراه‌های استفاده شده است. برای تولید این شاخص به تانژانت و لایه جریان تجمعی نیاز است که از مدل رقومی ارتفاعی استخراج می‌شوند. شایان ذکر است در لایه جریان تجمعی، جهت جریان از نظر توپوگرافی ترسیم می‌شود. این لایه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی منطقه و با استفاده از توابع موجود در آرک.تولباکس، ترسیم شد. این لایه‌ها در تحلیلگر مکانی فراخوانی شدند و عملیات ریاضی روی آنها اعمال شد. خروجی به دست آمده لایه رستری با ارزش مکانی متفاوت است. در موقعیت‌هایی که زمین حالت تقعر و شیب بیشتری دارد، ارزش مکانی بزرگتر خواهد بود. بر حسب تجربه و دانش به دست آمده نقاطی که دارای ارزش مکانی بین ۶ تا ۹ بود، با اعمال شروط منطقی (جدول ۱) از رستر اولیه محاسبه گردید.



شکل ۱۰) نقشه شرط اول نقاط اس.پی.آی حوضه دیره (بین ۶ و ۷)



شکل ۱۱) نقشه شرط دوم نقاط اس.پی.آی حوضه دیره (بین ۷ و ۸)



شکل ۱۲) نقشه شرط سوم نقاط اس.پی.آی حوضه دیره (بین ۸ و ۹)

جدول ۱) شروط و تعداد نقاط SPI برای حوضه دیره

نوع شرط	مضمون شرط	تعداد نقاط اس.پی.آی
شرط اول	$SPI \geq 6$ and $SPI \leq 7$	۱۹۱
شرط دوم	$SPI \geq 7$ and $SPI \leq 8$	۱۲۴
شرط سوم	$SPI \geq 8$ and $SPI \leq 9$	۴۳

وزن دهی

نقاط اس.پی.آی تولید شده در مرحله 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 طبقه مؤثر به کمک رابطه زیر تعیین شد. بزرگترین مقدار نسبت تباین به استیودنتايز (C/S) به عنوان شاخص تعیین کننده کلاس یا طبقه مؤثر در هر لایه انتخاب می شود.

$$C/S = \frac{ST - Sd - SPI_t + SPI_d}{\sqrt{(+w) + (-w)}} \quad (1)$$

ST: مساحت کل هر لایه مورد بررسی، Sd: مساحت هر کلاس از لایه مورد بررسی، SPI_t: تعداد کل نقاط SPI:

تعداد نقاط موجود در هر کلاس، +W: وزن مثبت، -W: وزن منفی

با مقایسه مقادیر کای جدول و کای محاسبه شده سطح معنادار بودن کلاس یا طبقه مؤثر مشخص شد.

آزمون نتایج

تعداد نقاط واقع شده در هر کلاس و مساحت آن در انتخاب به عنوان کلاس مؤثر مدّ نظر بوده است. حال این سؤال مطرح می‌شود که نقاط واقع شده در کلاس مورد نظر تصادفی بوده یا عاملی غیر از شانس تأثیر گذاشته است؟ برای رد یا اثبات شانس به سراغ آزمون غیر پارامتریک کای اسکور می‌رویم. از جمله موارد استفاده شده در این آزمون، زمان تصمیم‌گیری در مورد این است که آیا یک توزیع فراوانی ناشی از علت معینی است یا به صورت کاملاً تصادفی ظاهر شده است. بر این اساس، می‌توان توزیع واقعی را با یک توزیع نظری مقایسه نمود (جباری، ۱۳۸۵). با تشکیل جدول توافقی چندطرفه مقادیر مشاهداتی مقادیر مورد انتظار محاسبه شد. با مقایسه مقادیر کای جدول و کای محاسبه شده سطح معنادار بودن کلاس یا طبقه مؤثر مشخص شد.

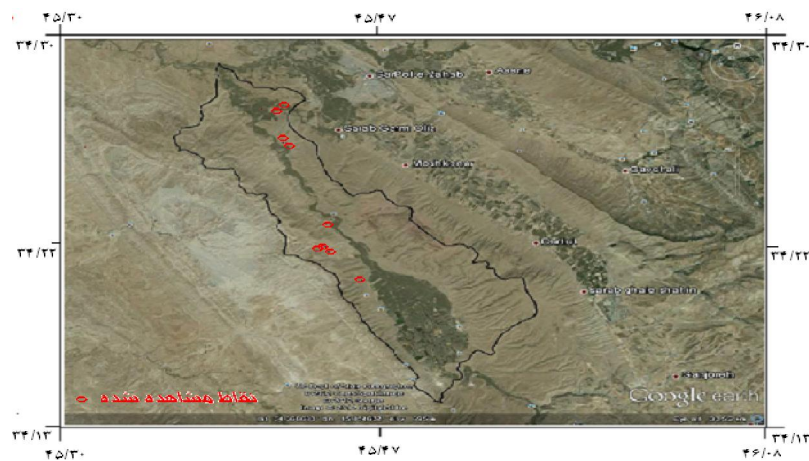
کنترل نتایج از طریق انجام مطالعات میدانی

برای کنترل و مقایسه نتایج به دست آمده پس از انجام آزمون کای دو با وضعیت واقعی، بازدیدهای پراکنده به عمل آمد و تعداد ۱۰ خندق شناسایی و مختصات جغرافیایی آنها با استفاده از دستگاه جی.پی.اس. مپ ۳۳۰، ثبت شد.

یافته‌های پژوهش

پس از همپوشانی لایه نقاط (اس.پی.آی) با نقشه شیب حوضه دیره، نتایج آن در برنامه وزن‌دهی طراحی شده در نرم‌افزار اکسل وارد شد (جدول ۲). از میان پنج کلاس موجود در این نقشه، بالاترین نسبت C/S مربوط به طبقه شیب ۴/۱ تا ۱۰/۴۷ درجه با میزان ۷/۴۷ است. این نسبت مربوط به نقاط (اس.پی.آی) تولید شده با شرط اول است که از مجموع ۱۹۱ نقطه تولید شده با این شرط ۱۳۳ مورد آن داخل این طبقه قرار گرفته است. به عبارتی، ۳۷/۷ کیلومتر مربع یا ۳۳/۲۲ درصد از مساحت حوضه آبریز دیره از این ویژگی برخوردار است.

بر همین روال، مؤثرترین کلاس در لایه جهت دامنه، جهت شمال غرب بوده است. جهت مذکور بر اساس شرط سوم تولید نقاط اس.پی.آی به دست آمده و مقدار C/S آن برابر با ۷/۸۶ است. از مجموع ۴۳ نقطه ایجاد شده با این شرط، ۱۰ نقطه در این جهت واقع شده است. ۱۱/۲ کیلومتر مربع یا ۱/۲۹ درصد از مساحت منطقه دارای جهت شیب شمال غرب است. به طور کلی، انحنای زمین بین مقادیر مثبت (محدب) و منفی (مقعر) و صفر (تخت) در نوسان است. در لایه انحنای عمودی، مؤثرترین کلاس (۰/۱۵) - (۰/۱۵-) از انحنای مقعر زیادی برخوردار است، که ۶۰/۹۲ درصد مساحت حوضه را در بر گرفته است. بالاترین نسبت C/S آن ۳/۹ است که از شرط دوم و از بین ۱۲۴ نقطه که ۱۰۹ نقطه آن در این محدوده بوده، به دست آمده است. این در حالی است که در لایه انحنای زمین موازی با منحنی‌های تراز مؤثرترین کلاس (۰/۱۳) - (۰/۱۳-) دارای انحنای محدب نزدیک به صفر است، که از شرط دوم حاصل شده و از مجموع ۱۲۴ نقطه ۱۰۱ نقطه در کلاس مزبور قرار گرفته است. این کلاس ۵۸/۲ درصد از حوضه را در بر می‌گیرد. در لایه کاربری نیز بر اساس معیار نسبت C/S مؤثرترین کلاس، اراضی آبی است که از شرط دوم حاصل شد. این لایه ۲۷/۵ درصد از مساحت حوضه را اشغال کرده است. از مجموع ۱۲۴ نقطه اس.پی.آی تولید شده با شرط دوم، ۷۳ نقطه در این کلاس قرار گرفته است. در لایه فاصله از جاده‌ها مؤثرترین کلاس فاصله مربوط به فاصله ۰ تا ۳۳۷/۲۳ متر است که نسبت C/S آن ۴/۹۷ است که از شرط اول (نقطه ۱۹۱) به دست آمده است. ۳۴/۸۷ درصد از حوضه در این فاصله قرار گرفته است. در لایه آبراهه‌ها بالاترین نسبت C/S (۳/۱۸) مربوط به فاصله ۰ تا ۱۲۰ متری از شرط دوم (نقطه ۱۲۴) است. بالاترین نسبت C/S در لایه سنگ شناسی، مربوط به لایه آبرفت است با مقدار ۵/۳۲ که از شرط اول (نقطه ۱۹۱) حاصل شده است. این مقدار ۲۹/۸ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود.



شکل ۱۳) تعدادی از خندق‌های موجود در حوضه آبریز دیره

جدول ۳) موقعیت و مشخصات خندق های ثبت شده در حوضه آبریز دیره

شمار خندق ها	عرض جغرافیایی به UTM	طول جغرافیایی به UTM	میانگین عرض خندق به متر	میانگین عمق خندق به متر	طول خندق به متر	حجم خاک برداشت شده به متر مکعب
1	3808847	38576030	3/9	2/5	15/4	150/15
2	3800075	38579612	3/5	2/8	16/68	163/46
3	3811350	38575565	4/38	3/26	24/5	349/83
4	3808883	38575894	5/29	3/49	21/9	404/32
5	3811363	38575086	5/12	3/93	38/57	776/09
6	03803811	38578144	6/32	4/17	30/25	797/23
7	3802552	38578178	4/7	4/74	23/63	526/43
8	3808435	38575941	2/83	2/5	67/21	475/51
9	3802027	38578324	5/7	5/32	124/4	3772/31
10	3800148	38579623	1/65	3/11	28/42	145/84

نقاط خندقی واقعی به عنوان نمونه های تعلیمی با لایه نقشه ای موجود همپوشانی شدند. از نقاط واقع شده در طبقه یا کلاس سرشماری شد و به طور دقیق، مشابه با نقاط اس.پی.آی، محاسبات مربوط به تشخیص کلاس مؤثر در توزیع نقاط خندقی انجام گرفت. در پنج کلاس نتایج مشابه با روش اس.پی.آی به دست آمد:

۱- انحنای شیب افقی زمین کلاس شکل (۰/۱۳) - (۰/۱۳)؛

۲- فاصله ۰ - ۳۳۷/۲۳ متری از جاده ها؛

۳- شیب، کلاس شیب ۰ - ۴/۱ درجه؛

۴- کاربری اراضی، از نوع اراضی آبی؛

۵- سنگ شناسی، جنس آبرفت.

جدول ۴) خلاصه نتایج عوامل و شرایط مؤثر در ایجاد خندق در حوضه آبریز دیره

عوامل مورد بررسی	کلاس مؤثر	نسبت C/S	شرط مؤثر	تعداد نقاط SPI کلاس مؤثر	کل نقاط SPI شرط مؤثر
شیب به درجه	۰ - ۴/۱	۷/۴۷	اول	۱۳۳	۱۹۱
جهت شیب	شمال غربی	۷/۸۶	سوم	۱۰	۴۳
انحنای شیب عمودی زمین	(-۰/۱۵) - (۰/۱۵)	۳/۹۲	دوم	۱۰۷	۱۲۴
انحنای شیب افقی زمین	(-۰/۱۳) - (۰/۱۳)	۳/۷	دوم	۱۰۱	۱۲۴
کاربری اراضی	اراضی آبی	۵/۷۷	دوم	۷۳	۱۲۴
فاصله از جاده ها به متر	۰ - ۳۳۷/۲۳	۴/۹۷	اول	۱۰۹	۱۹۱
فاصله از آبراه ها به متر	۰ - ۱۲۰	۳/۱۸	دوم	۷۱	۱۲۴
سنگ شناسی	آبرفت	۵/۳۲	اول	۱۰۰	۱۲۴

آزمون استقلال مشروط بر روی نقاط خندقی حاصل از اس.پی.آی

با ترکیب دو یا چند نقشه به کمک مدل بی‌سین الگوی‌هایی حاصل می‌شود. که در این الگوها ایده 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 اسکور محاسباتی و جدول با یک درجه آزادی مقایسه شوند. اگر مقادیر محاسباتی بزرگتر از یا مساوی با کای جدول باشند استقلال مشروط دو الگو پذیرفته می‌شود. در اینجا به این منظور فراوانی مورد انتظار بر حسب فراوانی مشاهده‌ای از طریق جداول توافقی محاسبه شد. نتایج حاصل شده در جدول (۵) نمایش یافته است. برای اطمینان از صحت این روش در بررسی خندق‌ها، نقاط واقعی خندقی شناسایی و برداشت موقعیت آنها توسط دستگاه جی.پی.اس ثبت شد. علاوه بر برداشت ۱۰ خندق با ابعاد متفاوت در سطح حوضه شناسایی و موقعیت آنها توسط دستگاه جی.پی.اس ثبت شد. برای برآورد میانگین خندق در امتداد طول آن، چندین بار از عمق و پهناي خندق اندازه‌گیری شد. نتیجه اندازه‌گیری ابعاد خندق در جدول ۳ آمده است.

جدول (۵) محاسبه آزمون کاسکویر نقاط SPI در حوضه آبریز دیره

جمع سطر	سنگ شناسی	فاصله از آبراهه‌ها	فاصله از جاده‌ها	کاربری اراضی	انحنای شیب افقی	انحنای شیب عمودی	جهت شیب	شیب	عوامل بررسی شده
۷۰۴	۱۰۰	۷۱	۱۰۹	۷۳	۱۰۱	۱۰۷	۱۰	۱۳۳	نقاط اس.پی.آی مشاهداتی در کلاس مؤثر
۴۰۹	۹۱	۵۳	۸۲	۵۲	۲۳	۱۷	۳۳	۵۸	نقاط اس.پی.آی خارج از کلاس مؤثر
۱۱۳	۱۹۱	۱۲۴	۱۹۱	۱۲۴	۱۲۴	۱۲۴	۴۳	۱۹۱	نقاط اس.پی.آی موجود در شرط مؤثر
	۱۲۰/۸	۷۸/۴	۱۲۰/۸	۷۹/۰۶	۷۸/۴	۷۸/۴	۲۷/۱۹	۱۲۰/۸	فراوانی مورد انتظار
	۱۵/۵۸	۳/۷	۱۷/۱۵	۲۰/۴۶	۱۶/۴۹	۱۰/۴	۱۰/۸	۲۴/۲۲	کاسکویر محاسباتی

در این حوضه مقدار کادو محاسباتی در لایه‌های:

۱- انحنای شیب افقی زمین کلاس شکل (۰/۱۳) - (۰/۱۳)؛ ۲- فاصله ۳۳۷/۲۳ - ۰ متری از جاده‌ها؛ ۳- شیب، کلاس شیب ۴/۱ - ۰ درجه؛ ۴- کاربری اراضی، از نوع اراضی آبی؛ ۵- سنگ شناسی، جنس آبرفت، از مقدار کای بحرانی بیشتر است. در نتیجه قرار گرفتن نقاط اس.پی.آی در کلاس‌های این لایه‌ها معنی‌دار است؛ اما مقدار کای محاسبه شده برای لایه‌های انحنای شیب عمودی زمین، لایه اصلی از آبراهه‌ها و لایه جهت شیب این حوضه کمتر از مقدار کای دو

جدول است. در نتیجه رخ دادن نقاط اس.پی.آی در کلاس مشخصی از این لایه‌ها بیشتر تصادفی است تا اینکه علت دیگری داشته باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد تا یک روش برای مدل‌سازی مناطق مستعد فرسایش آزمایش شود. برای انجام این امر، ابتدا مدل رقومی ارتفاعی تهیه و سپس براساس این مدل لایه‌های ثانویه، مانند: شیب، جهت شیب، تحدب و تفرع زمین یک بار به صورت موازی و عمود با منحنی میزان‌ها، لایه‌های کاربری اراضی، جاده‌ها، آبراه‌ها و سنگ شناسی استفاده شد. همچنین، براساس مدل رقومی ارتفاع نقاط مستعد فرسایش خندقی (اس.پی.آی) برای منطقه مورد مطالعه، مدل‌سازی شد. براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش در حوضه آبریز دیره از مجموع ۸ عامل بررسی شده، ۵ عامل شیب، انحنای افقی شیب، کاربری اراضی، فاصله از جاده‌ها و سنگ شناسی به عنوان عوامل مؤثر در تولید خندق شناسایی شدند. از میان این پنج عامل، کلاس شیب ۰ تا ۴/۱ درجه که از مجموع مساحت حوضه دیره حدود ۳۳/۲۲ درصد آن در این فاصله قرار گرفته است، بیشترین تأثیر تولید خندق را در این حوضه دارد؛ به‌طوری‌که میزان کای اسکویر محاسبه شده برای این کلاس، ۲۴/۲۲ استخراج شده از جدول است. مهمترین دلیل این امر را می‌توان سازندهای سست موجود در این کلاس از شیب، مانند: گچ و فلیش و مارن دانست که ایجاد خندق بر روی آنها راحت‌تر صورت می‌پذیرد. هر اندازه مقدار کای محاسباتی بیشتر از کای جدول باشد، نشانه تأثیر بیشتر کلاس مذکور بر ایجاد خندق است. اهمیت این کلاس از آنجا مشخص می‌شود که درصد بالایی از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است. از طرفی، علاوه بر این عامل، عامل کاربری اراضی از نوع آبی نیز که حدود ۲۷/۵ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود، در ایجاد فرسایش خندق بسیار مؤثر است. لایه‌های انحنای شیب افقی زمین کلاس شکل (۰/۱۳) - (۰/۱۳-)، سنگ شناسی از نوع آبرفت و کلاس فاصله ۰ تا ۳۳۷/۲۳ متری از جاده‌ها نیز در تولید خندق مؤثر است.

در انتها یادآوری می‌شود که پارامتر بارش و خاک در این مقاله به علت فقدان این لایه‌ها حذف شده است که به عنوان مهمترین محدودیت این پژوهش مطرح است.

منابع

- ۱- احمدی، حسن؛ جعفری، محمد؛ نظری سامانی، علی اکبر؛ قدوسی، جمال و عادل‌پور، عبدالعلی. (۱۳۸۹). تعیین آستانه‌های هیدرولیک جریان برای شروع فرسایش خندقی با استفاده از شبیه‌سازی جریان، مجله پژوهش‌های آبخیزداری، ش ۸۷، صص ۵۲-۶۱.
- ۲- احمدی، حسن. (۱۳۸۸). ژئومورفولوژی کاربردی، ج ۱، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- بیاتی خطیبی، مریم. (۱۳۸۳). تحلیل و بررسی نقش عوامل توپوگرافی و مورفومتر در خندق‌زایی؛ مطالعه موردی: دامنه‌های شمالی قوشه داغ، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، ش ۴۹، صص ۵۳-۷۰.
- ۴- بیاتی خطیبی، مریم. (۱۳۸۵). ویژگی‌های خندق‌ها و عوامل کنترل‌کننده فرایندهای خندق‌زایی؛ مطالعه موردی: محدوده بین اهر - مشکین شهر، مجله جغرافیا و توسعه، ش پیاپی ۷، صص ۱۱۵-۱۳۶.

- ۵- ثروتی، محمدرضا؛ قدوسی، جمال؛ دادخواه، معصومه. (۱۳۸۷). عوامل مؤثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ش ۷۸، صص ۲۰-۳۳.
- ۶- جباری، ایرج. (۱۳۸۵). روش‌های آماری در علوم محیطی و جغرافیایی، انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه.
- ۷- رامشت، محمدحسین. (۱۳۷۵). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- ۸- رامشت، محمدحسین؛ گرجی، لیلا و انتظاری، مژگان. (۱۳۸۸). روش‌های ریاضی ارزیابی گالی، مجله سپهر، ش ۷۰، سال ۱۸، صص ۱۶-۲۰.
- ۹- رفاهی، حسینقلی. (۱۳۷۵). فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۰- علیزاده، امین. (۱۳۶۸). فرسایش و حفاظت خاک، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۱- کریمی، محمد. (۱۳۷۷). بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی و معرفی مناسب‌ترین راه‌های مهار آن در منطقه زهان قائن، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و تأسیسات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۲- ملکی، امجد؛ احمدی، محمد و میلادی، بهزاد. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی مناطق مستعد خندق‌زایی با استفاده از روش SPI در حوضه آبریز مرگ، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ش ۳، صص ۲۳-۳۸.
- ۱۳- نکویی‌مهر، محمد، امامی، سیدنعیم. (۱۳۸۶). طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی (مطالعه موردی استان چهارمحال بختیاری)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ش ۷۷، صص ۸۴-۹۲.
- 14- C. valenti, j. Poesen, Yong. Li. (2005). gully erosion impacts, factors and control. Catena 63, pp:132-153.
- 15- Desmet, P.J.J. and G. Govers. (1997). Two dimensional modelling of the within-field variation in rill and gully geometry and location related to topography. Catena 29, pp: 283-306.
- 16- Harly D. Betts & Rolan. C. Derose. (1999). Digital elevation as tool for monitoring and measuring gully erosion. Jag. Volum1-issue2, pp: 91-101.
- 17- Heathwaite, A. L., T.P. Burt., S. T. Trudgill. (1990). Land-use controls on sediment production in a lowland catchment, south-west England. Soil erosion on agricultural land. John Wiley and sons LTD, pp: 69-86.
- 18- Martinez-Casanovas, J.A., 2003, A Spatial Technology Approach for the Mapping and Quantification of Gully Erosion, Catena, Vol. 50, pp: 293-308
- 19- Nachtergaele, J., Poesen, J., Sidorchuk, A. Torri, D., (2002). Prediction of concentrated flowwidth in ephemeral gully channels, Hydrological Processes 16 (10), pp: 1935-1953.
- 20- Renschler, C.S and J. Harbor. (2002). Soil erosion assessment tools from point to regional scales- the role of geomorphologists in land management research and implementation. Geomorphology. 47, pp: 189-209.
- 21- Saynor, M. J., W. D. Erskine., K.G. Evans and I. Eliot. (2004). Gully ignition and implication for management of scour holes in the vicinity of the Jabilukamine, Australia. Geografiska Annaler. 86, pp: 191-201.
- 22- Sidorchuk, A. (2003). Gully Erosion Modeling and Landscape Response in Mbuluzi River Catchment of Swaziland, Catena, Vol. 50, pp: 507-522.
- 23- Valentin., J. Poesen and Y, Li. (2005). Gully erosion: impacts, factors and control, Catena. 63, pp: 132-153.