پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، شماره‌ی ۲، پاییز ۱۳۹۱
صص. ۵۲-۳۵

پهنه‌بندی حسّاسیّت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه‌ی زوّاریان استان قم

مهران مقصودی ـ دانشیار دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران
صمد شادفر ـ استادیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری
محمّد عبّاسی* ـ کارشناس ارشد رشته‌ی ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۷/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

چکیده

یکی از انواع فرسایش آبی که موجب تخریب اراضی و برهم‌خوردن تعادل در پهنه‌های منابع طبیعی و اراضی کشاورزی می‌شود و خسارات سنگینی به‌بار می‌آورد، پدیده‌ی فرسایش خندقی است. برای کنترل این پدیده، شناخت عوامل مؤثّر و پهنه‌بندی حساسیت اراضی نسبت به آن، اهمیت ویژه‌ای دارد. تخریب اراضی، برهم خوردن منظر زمین و تعادل اکولوژیک و به مخاطره افتادن منابع زیستی در این مناطق، ازجمله موارد دیگری است که پژوهش درباره‌ی فرسایش، به‌ویژه فرسایش خندقی در اراضی استان قم را گریزناپذیر و الزامی می‌کند. در همین راستا، حوضه‌ی آبخیز زوّاریان در استان قم، برای انجام پژوهش انتخاب شده است. روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی حسّاسیّت اراضی به فرسایش خندقی وجود دارد. در این پژوهش از شاخص همپوشانی برای پهنه‌بندی در منطقه استفاده شد. برای تهیّه‌ی نقشه‌ی حسّاسیّت فرسایش خندقی از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ و برای عملیّات میدانی از GPS استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد که جنس زمین، شیب، منابع و قابلیّت اراضی، جهت شیب و کاربری اراضی، عوامل اصلی مؤثّر در وقوع فرسایش خندقی هستند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که واحدهای سنگ‌شناسی Q_2 (تراس‌های جوان و مخروط‌افکنه‌های درشت‌دانه ـ دوره‌ی کواترنری) ۹۴/۴۱ درصد و تیپ اراضی دشتی و تپه‌ماهوری ۹۹/۹۶ درصد از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی را به خود اختصاص داده‌اند، درضمن طبقه‌ی شیب ۰-۱۰ درصد (۸۴/۸۷ درصد)، جهت شیب شمال، مشرق و جنوب‌شرقی با (۶۹/۰۶ درصد) و کاربری مراتع متوسّط و زمین‌های کشاورزی(۹۸/۸۵ درصد) دارای بیشترین گسترش مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه هستند.

کلیدواژه‌ها: *ژئومورفولوژی، حسّاسیّت اراضی، فرسایش خندقی، شاخص همپوشانی، حوضه‌ی زوّاریان قم.*

---

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۷۰۳۵۰۴۸ E-mail: Abbasi_1353@yahoo.com

مقدمه

مشهورترین شکل فرسایش خاک که منجر به کاهش توان تولید خاک و ایجاد محدودیت در کاربری اراضی شده و می‌تواند خطر جدّی برای راه‌ها، حصارها و سازه‌های مختلف باشد، فرسایش خندقی است. خندق به کانال یا درّه‌ی کوچکی با شیب نسبی تند گفته می‌شود که به‌وسیله‌ی آبهای سطحی بعد از بارش‌های شدید یا در طول ذوب برف در اثر فرسایش آبی ایجاد می‌شود.

فرسایش خاک به‌وسیله‌ی آب و پیامدهای ناشی از آن، از دیرباز مورد توجّه پژوهشگران حفاظت خاک بوده است. از میان انواع مختلف اشکال فرسایش آبی، فرسایش خندقی یکی از عوامل مهم و تهدیدکننده‌ی تعادل منابع زیست‌محیطی و پایداری آن به‌شمار می‌رود، به‌گونه‌ای که این تهدید تنها محدود به ایجاد تغییرات نابهنجار در منظر زمین، تخریب اراضی و از بین رفتن خاک و عدم امکان فعّالیّت‌های کشاورزی و بهره‌برداری اقتصادی از عرصه‌های منابع طبیعی نمی‌شود؛ بلکه با رخداد و گسترش این نوع فرسایش، جاری شدن تندآبها و سیل، جابه‌جایی حجم قابل توجّهی از رسوبات و پیامدهای ناشی از آن و درنهایت، غیرقابل استفاده شدن اراضی تشدید می‌شوند (قدوسی و همکار ۱۳۸۴: ۳۸۹-۳۸۲).

طباطبایی (۱۳۷۹: ۶۷-۶۳) عوامل طبیعی تأثیرگذار در بروز پدیده‌ی فرسایش خندقی را در اراضی جنوب‌شرقی شهرستان شوشتر، وجود لایه‌های مارنی و گچی در سازندهای میشان و آغاجاری، رسوب‌های ریزدانه کواترنر متشکّل از ذرّات ریزدانه‌ی ماسه، سیلت و رس، پایداری کم خاک، ساختمان ضعیف خاک‌دانه‌ها، کمبود مواد آلی، وجود املاح گچ و آهک، بارندگی و تبخیر زیاد و دخالت‌های انسانی تأثیرگذار در بروز پدیده‌ی فرسایش خندقی، چرای مفرط دام‌ها، شخم اراضی در جهت شیب و آبیاری غیراصولی در اراضی کشت آبی عنوان کرده است.

قدوسی (۱۳۸۲: ۳۶۸)، در پژوهشی با هدف مدل‌سازی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر در منطقه‌ی زنجان، به این نتیجه رسیده است که میزان حسّاسیّت اراضی به فرسایش خندقی، تابعی از ویژگی‌های ۶ عامل لیتولوژی، خاک، شیب، بارندگی، حفاظ روی خاک و نوع استفاده از اراضی است.

شهریور (۱۳۷۶: ۱۲۴)، بر اساس مطالعات انجام شده بر این نکته تأکید کرده که در بین عوامل بررسی شده، مساحت حوزه‌ی بالادست خندق و درصد املاح محلول، از لحاظ آماری رابطه‌ی قابل قبولی با حجم خندق داشتند.

احمدی (۱۳۷۴: ۶۰۵) آثار تخریبی خندق‌ها را افزون‌بر میزان تولید رسوب، پرشدن و تخریب شبکه‌های آبیاری، از دسترس خارج شدن هرزآبها، تخریب جاده‌ها، پل‌ها، زمین‌های کشاورزی و مراتع می‌داند.

چنگ[1] و همکاران (۲۰۰۶: ۱۹۳-۱۸۴)، در مطالعه‌ی خندق‌هایِ موقّتیِ حوضه‌یِ آبخیزِ کوچکِ مرتفعی در فلات مغولستان در شمال چین، با تعیین مورفولوژی این خندق‌ها و با استفاده از GPS، آثار فرسایش خاک بر میزان محصول اراضی زراعی و ترکیبات گیاهی در زمین‌های تحت آیش را بررسی کرده است. سپس به بررسی گودال‌های موقّتی خندق، واقع در میان شبکه‌خندق‌های موقّت با عرض و عمق بیش از ۰/۵ متر پرداخته و درنهایت به یک نشانگر اساسی

1. Cheng et al.

برای برآورد موقعیّت رأس خندق‌های گودالی موقّت دست یافتند و به پیش‌بینی مکان‌هایی پرداختند که امکان استقرار خندق‌های موقّتی در آن وجود دارد.

فرناندا مارتینلی کاستا[1] و همکاران (۲۰۰۶: ۲۳۸–۲۳۰) در مقاله‌ای با عنوان "تحلیل تأثیر فرسایش خندقی در الگوی جریان حوضه‌ای در جنوب‌شرقی برزیل"، برای تحلیل فرسایش در برابر رفتار هیدرولوژیکی رودخانه‌های کوچک، دو حوضه‌ی مشابه و مجاور را هم انتخاب کرده و نتیجه گرفتند که تنها اختلاف قابل توجّه بین آنها، وجود خندقی است که تا ۴۲درصد یکی از حوضه‌ها را (حوضه‌ی فرسایش یافته) اشغال می‌کند. میزان بارندگی، سرعت جریان و داده‌های شیمیایی، در طول یک سال آب شناختی به‌دست آمده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که حوضه‌ی فرسایش یافته سرعت‌های کمتری نشان داده، اما تغییر جریان‌های ناگهانی بیشتری را با عمر کوتاه به نمایش می‌گذارد. این تمایز رژیم جریان به خندق نسبت داده می‌شود که عاملی برای عقب‌نشینی جزئی خاک پوششی و برونزد سنگ‌های هوازده است.

لس چن[2] و همکاران (۲۰۰۷: ۱۲۱–۱۱۰)، در پژوهش‌هایی که با هدف شناخت مناطق آسیب‌پذیر برای فرسایش خندقی در منطقه‌ی نیمه‌خشک در جنوب‌شرقی اسپانیا انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که میزان فرسایش خندقی در زمین‌های رها شده، نسبت به زمین‌های تحت کشت بیشتر است. آنها با اِعمال مدل‌سازی در این عرصه‌ها، درنهایت بدین نتیجه رسیدند که بیشتر زمین‌های آسیب‌پذیر، اطراف رأس خندق‌ها قرار دارند.

ایرناسز[3] (۲۰۰۷: ۸۲–۴۱) طیّ بررسی‌های انجام شده روی خندق‌های کوچک در فلات جنوبی لهستان، مشخّص کرد که خندق‌های کوچک به‌روش‌های مختلف در کف درّه‌ها یا در شیب آنها تشکیل می‌شوند. در ته درّه‌ها اشکال فرسایشی، اغلب در فاصله‌های اندکی از یکدیگر تشکیل شده‌اند و در این زمان خندق‌های کوچک به‌شکل منفرد یا طولی ترکیب می‌شوند. برحسب شرایط محلّی، مانند نیمرخ شیب، شیب‌ها ممکن است فرسایش فوقانی یا تحتانی را نشان دهند. شیب خندق‌ها ممکن است به سمت درّه‌ها که نتیجه‌ی پهنا و عمق تدریجی و کم آنهاست، تغییر شکل داده باشند. نرخ متوسّط فرسایش خندق کوچک در سیستم قدیمی خندق $۰/۶۳m/year$ مطالعه شده بود. در شیب‌ها نرخ متوسّط خندق $۰/۲۱–۰/۵۲\ m/year$ و در کف درّه‌ها $۱/۹۸ – ۰/۱۸\ m/year$ است.

مندز ـ دارت و همکاران[4] (۲۰۰۷: ۲۷۸–۲۶۷) روی کانال‌های ایجاد شده‌ی شبه‌جزیره‌ی ایبری شمالی مطالعه کردند. آنها درکل ۱۳۳ کانال دائمی را با شواهدی از فرسایش خندقی به مساحت ۷۱/۸ کیلومترمربّع در دامنه‌ی شیب‌دار شمالی این رشته‌کوه به ثبت رساندند. این پژوهش بعضی از روابط بین عوامل برجسته، نوع لایه‌های زیرین و گسترش فرسایش خندقی را این‌گونه شرح می‌دهد: ۱– تطابق (همبستگی) قوی بین مورفومتری، عارضه و شدّت فرسایش وجود دارد. ۲– فرسایش خندقی به‌طور قوی متأثّر از حضور رگولیت عمیق است. ۳– فرم‌های فرسایشی (لایه‌های زیرین) در روابط توصیفی مطالعه شده، بیانگر اینست که گسترش فرسایش (آبی، خندقی) با فرایند زمین‌لغزش مرتبط هستند.

1. Fernanda Martineli Costa
2. Lesschen et al
3. Ireneusz, Malik
4. R. Menéndez-Duarte et al

آشن[1] و همکاران (۲۰۰۸: ۲۳۵–۲۲۵) وقوع فرسایش خندقی را در منطقه‌ای به‌وسعت ۱۳۰۰۰ کیلومترمربّع در جنوب‌شرق تانزانیا مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین حسّاسیّت واحدهای چشم‌انداز به این نوع فرسایش را با تعیین متغیّرهای آستانه‌ی توپوگرافیکی به‌دست آوردند. آنها نتیجه گرفتند که خندق‌ها در تمام واحدهای چشم‌انداز پراکنده‌اند. وقوع این خندق‌ها با زبری سطح، رابطه‌ی مثبت و با تراکم جمعیّت رابطه‌ی منفی داشتند. در این منطقه وجود جادّه‌ها بر وقوع خندق‌ها تأثیر داشتند و این ارتباط با حسّاسیّت بالای منطقه به این نوع فرسایش، توضیح داده شده است.

ویا[2] و همکاران (۲۰۰۸: ۲۵۱–۲۳۶) با استفاده از داده‌های GPS در منطقه‌ی هوای خاک‌های سیاه در شمال‌شرق چین مطالعه‌ای را برای میزان گسترش خندق‌ها انجام دادند. نتایج نشان دادند که اندازه‌ی رسوب در فصل بارانی بالاتر (میانگین ۵۶ درصد) بود. مقدار فرسایش از خندق‌های موقّتی و دائمی، کمابیش ۱/۵ برابرِ مقدارِ رسوب از انواع دیگر فرسایش سطحی بود. همچنین در فصل بهار و هنگام ذوب شدن برف‌ها، سرعت گسترش خندق‌ها افزایش می‌یافت.

به‌طورکلّی فرسایش خندقی وسعتی حدود ۱۰۸۵/۸۰ هکتار از سطح حوضه و نزدیک به ۷/۷۷ درصد از اراضی زراعی منطقه‌ی مطالعاتی را شامل می‌شود. تلاش بر این است تا با استفاده از داده‌های سنجش از دور، روش‌های سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و داده‌های حاصل از مطالعات میدانی، عوامل مؤثّر بر ایجاد فرسایش خندقی، رشد و گسترش این نوع فرسایش، بررسی و تجزیه و تحلیل شود. برای دستیابی به اهداف پژوهش، پهنه‌بندی خطر مناطق حسّاس به فرسایش خندقی به شرح زیر انجام گرفته است:

الف) تعیین و مشخّص کردن مهم‌ترین عوامل مؤثّر در شکل‌گیری، رشد و گسترش فرسایش خندقی در منطقه‌ی مورد مطالعه و میزان و شدّت تأثیر هر یک از عوامل و رابطه بین آنها از دیدگاه ژئومورفولوژی.

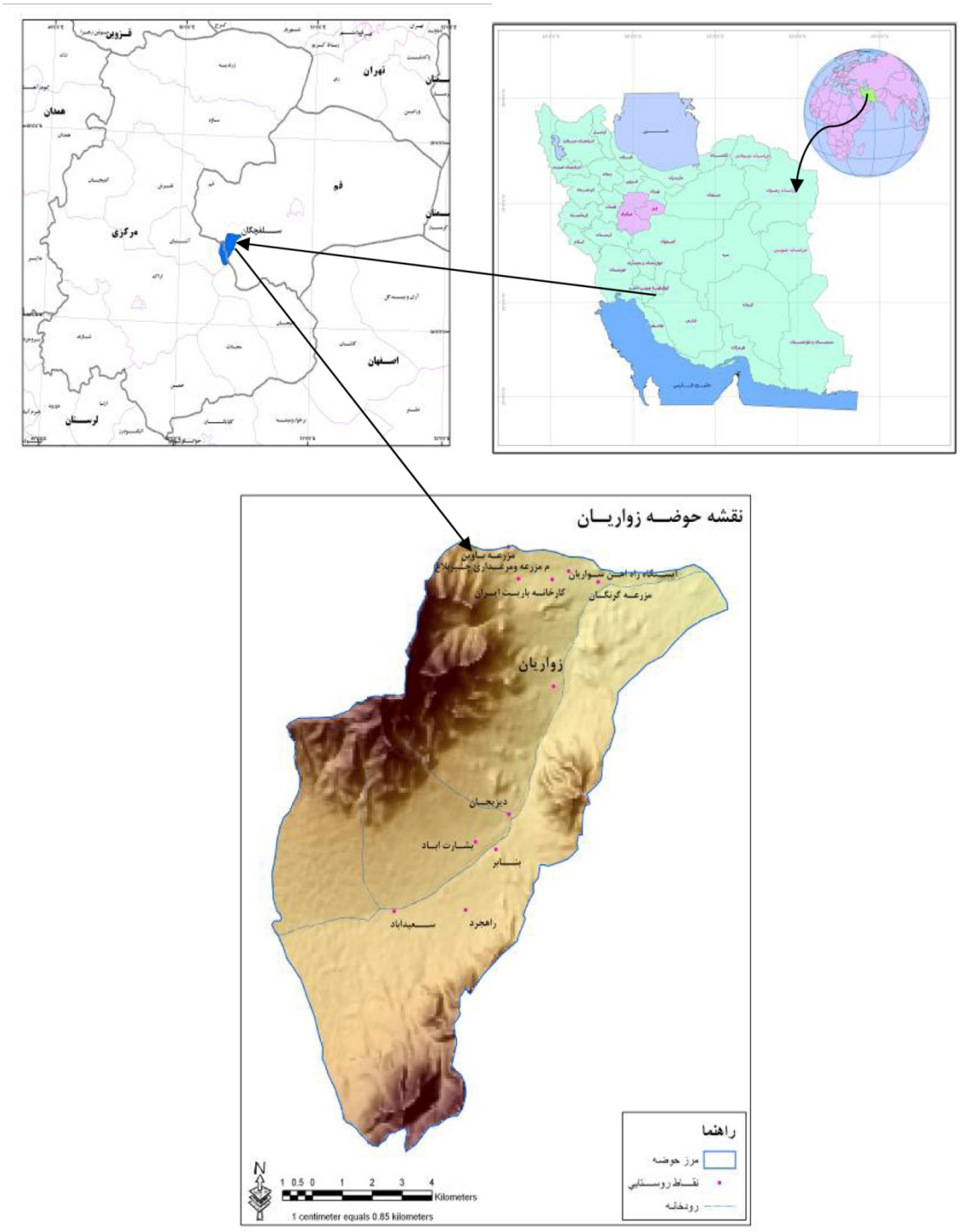
ب) ارائه‌ی راهکارهای کاربردی مورد نیاز برای پیشگیری و مهار فرسایش خندقی در سازگاری و تطبیق با میزان و شدّت تأثیر هر یک از عوامل مؤثّر در شکل‌گیری، رشد و گسترش فرسایش خندقی.

ج) مشخّص کردن حسّاس‌ترین مناطق به فرسایش خندقی.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحت ۱۳۹۶۰/۷۲ هکتار در جادّه‌ی سلفچگان در محدوده‌ی "۵۷ '۱۷ °۵۰ تا "۴۱ '۲۷ °۵۰ طول شرقی و "۵۴ '۱۸ °۳۴ تا "۵۷ '۲۷ °۳۴ عرض شمالی در شرق و جنوب‌شرقی شهر قم و در فاصله‌ی ۱۱ کیلومتری قم در مسیر جادّه‌ی سلفچگان و قسمتی از غرب آشتیان استان مرکزی واقع شده است (شکل شماره‌ی ۱). این منطقه از شمال به کوه‌های یزدان، کاسه‌کمر، زردکمر، دگوله، گلستان، تختی، خاکو و روستای منصورآباد (خارج از مرز محدوده) از شمال‌غرب به کوه سیاه‌خانی، از غرب به روستاهای هزارآباد کردیجان (داخل محدوده)، از جنوب‌غرب به کوه ماهور، از جنوب به کوه‌های میل قاچ خانم، سخت حصار، کولپ، زنبوره و از شرق به تپّه‌های زبرون محدود می‌شود.

1. Achten et al
2. Wua eat al



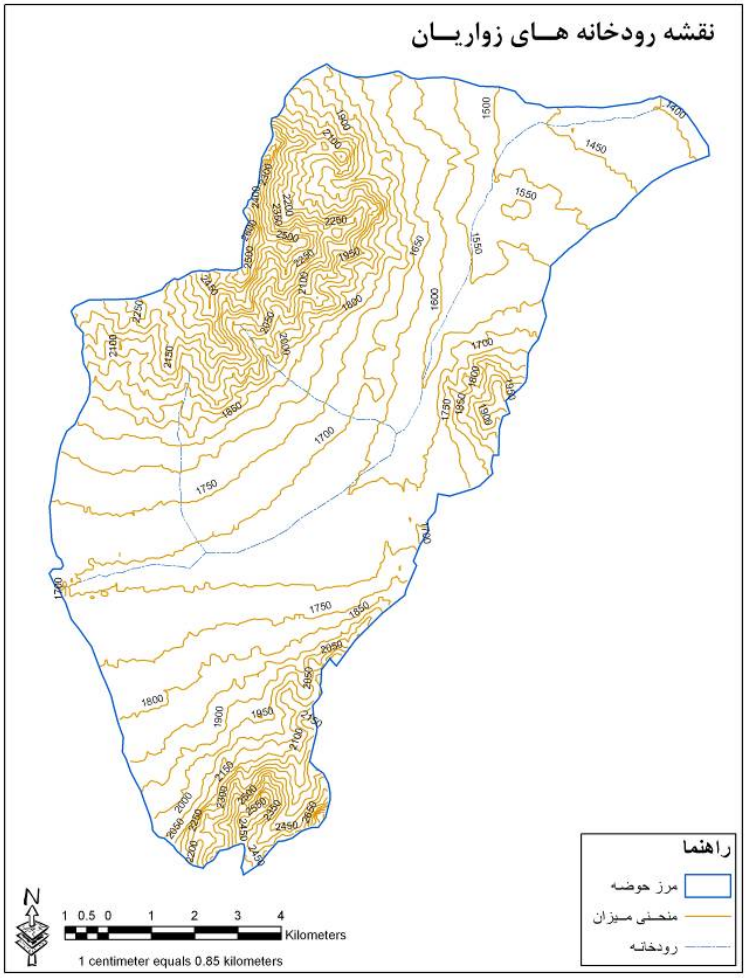
شکل ۱. نقشه‌ی موقعیّت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان قم

اطلاعات مورد نیاز بر اساس مطالعات و بررسی‌های چند نوبته‌ی کتابخانه‌ای، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و عملیّات میدانی به‌دست آمده که برای تهیّه‌ی نقشه‌های خندق‌های منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده شده است. از نظر لیتولوژی بیشتر مساحت حوضه از واحدهای Q_2 (تراسه‌های جوان و

مخروط افکنه‌های درشت‌دانه ـ دوره‌ی کواترنری) mpV (لاپیلی توف و برش آندزیتی خاکستری تیره ـ دوران سنوزوئیک) و از لحاظ ژئومورفولوژیکی از واحد تراس‌های جوان و مخروط‌افکنه‌های درشت‌دانه ـ دوره‌ی کواترنری تشکیل شده است.

برای تهیّه‌ی نقشه‌ی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی از عکس‌های هوایی ۱/۲۰۰۰۰ (سال ۱۳۷۳) و ۱/۴۰۰۰۰ (سال ۱۳۸۰)، تصاویر ماهواره‌ای IRS هند و سیستم موقعیّت‌یاب جهانی[1] استفاده شده است.

برای انجام پژوهش پیش رو، پس از رقومی کردن لایه‌های زمین‌شناسی، اجزای اراضی، شیب، کاربری اراضی و جهت شیب در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزار ILWIS، متغیّرها طبقه‌بندی و سپس ارتباط عوامل گفته شده با خندق‌های حوضه بررسی شدند. در گام بعدی با تعیین درصد مناطق خندقی شده در هر طبقه، هر یک از عوامل وزن‌دهی و نقشه‌های وزنی مورد نیاز آماده و با یکدیگر تلفیق شدند. درنهایت با استفاده از روش شاخص همپوشانی و تطبیق آن با شرایط موجود، حسّاسیّت اراضی به فرسایش خندقی پهنه‌بندی شده و نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شد.



شکل ۲. نقشه‌ی شبکه‌ی زهکشی حوضه‌ی زوّاریان استان قم

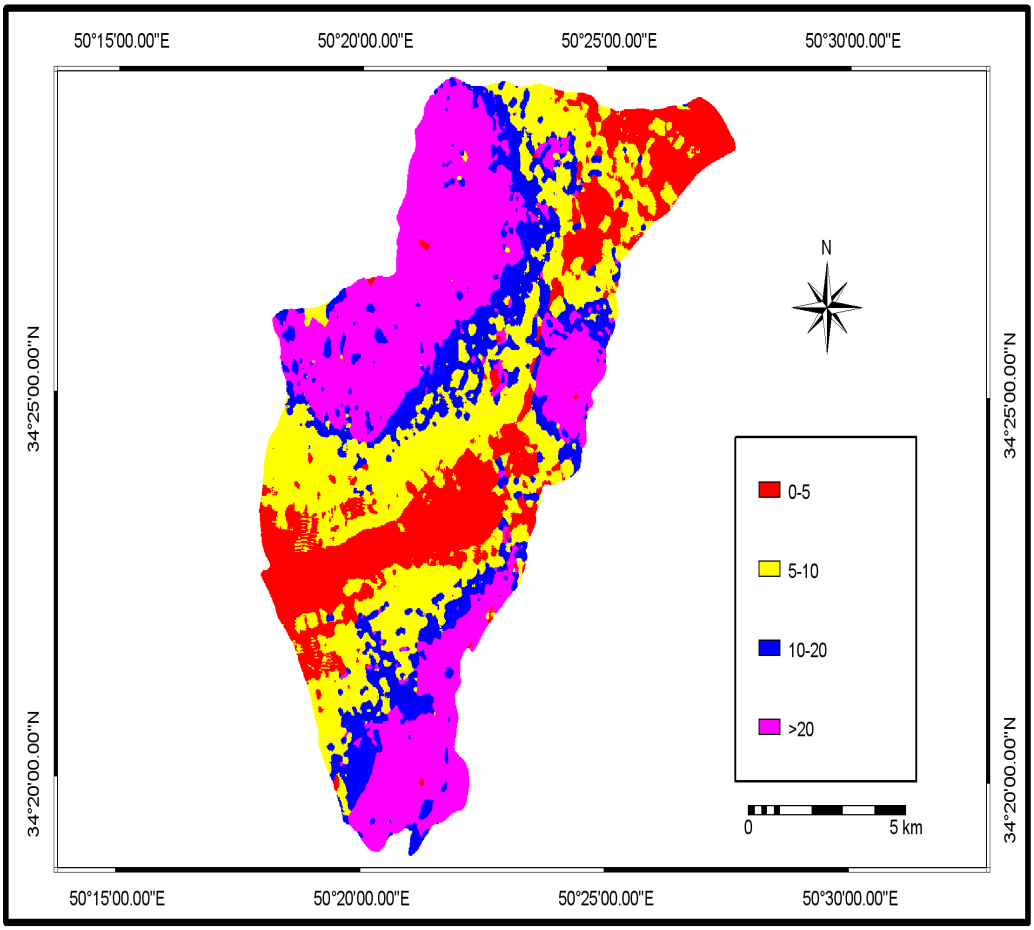
1. GPS

یافته‌های تحقیق

در این پژوهش برخی از مهم‌ترین عواملی که در ایجاد فرسایش خندقی و ارتباط آنها با خندق‌ها تأثیرگذار بوده مورد بررسی قرار گرفته است.

شیب

شیب، سرعت فرسایش و شکل زمین را از طریق خصوصیّات مورفولوژیکی تحت تأثیر قرار می‌دهد. بررسی ارتباط بین شیب و مناطقی که تحت تأثیر فرسایس خندقی قرار گرفته، بیانگر این بوده که بیشترین فراوانی نسبی فرسایش خندقی در زمین‌هایی با شیب بین صفر تا ۲۰ درصد (برابر ۹۸/۵۷ درصد از کلّ اراضی خندقی شده در منطقه‌ی مورد مطالعه) بوده است. همچنین بیشترین میزان فراوانی نسبی مشاهده شده‌ی فرسایش خندقی در زمین‌هایی با شیب صفر تا ۱۰ درصد (۸۴/۸۷ درصد) رخ داده‌اند. جدول شماره‌ی ۱ توزیع طبقات شیب و میزان مساحت خندقی شده و شکل شماره‌ی ۳ نقشه‌ی شیب حوضه‌ی زوّاریان را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقشه‌ی شیب حوضه‌ی زوّاریان استان قم

جدول ۱. توزیع طبقات شیب و میزان مساحت خندقی شده و درصد خندق در حوضه‌ی زوّاریان قم

طبقات شیب	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
۰ -۵	۲۹۲۸/۶۱	۲۰/۹۸	۴۷۶/۲۸	۴۳/۸۶
۵ -۱۰	۴۰۳۷/۳۳	۲۸/۹۲	۴۴۵/۲۴	۴۱/۰۱
۱۰ -۲۰	۲۳۴۴/۵۲	۱۶/۷۹	۱۴۸/۷۲	۱۳/۷۰
۲۰<	۴۶۵۰/۲۶	۳۳/۳۱	۱۵/۵۶	۱/۴۳

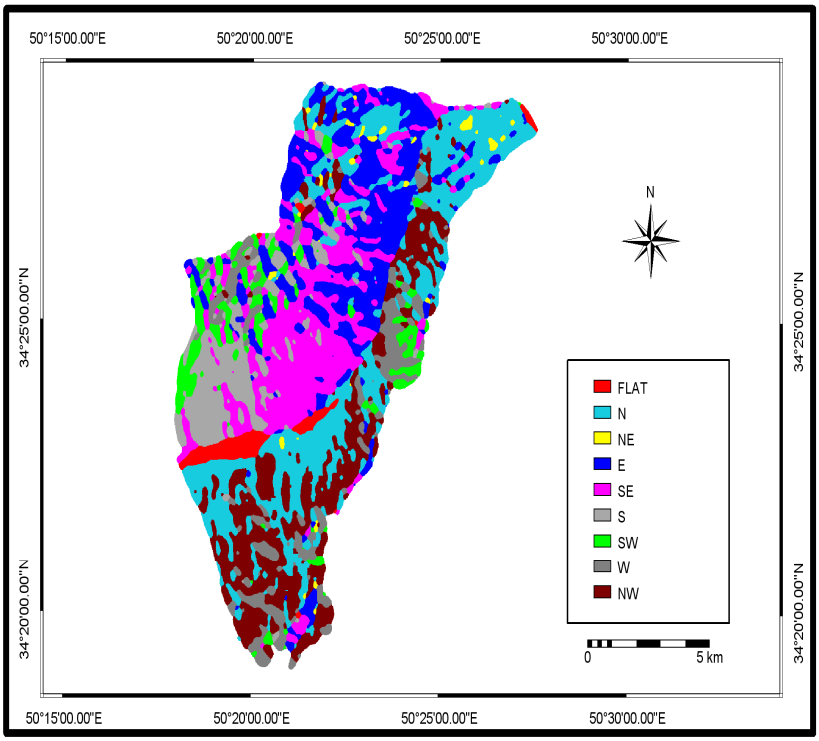
جهت شیب

جهت شیب اثر غیرمستقیمی در آبدوی و فرسایش دارد. شیب‌های هم‌درجه ولی با جهت‌های متفاوت یک منطقه، به‌طور یکسان با خطر فرسایش روبه‌رو نیستند. اثر عمده‌ی جهت شیب در میزان آبدوی و فرسایش، به‌دلیل اختلاف میکروکلیمای موجود در شیب‌های مختلف است (قهرودی، ۱۳۸۲: ۹۵).

نتیجه‌ی ارتباط بین جهات شیب با خندق‌ها بیان می‌کند که بیشترین درصد خندق‌ها در این حوضه (۶۹/۰۶ درصد از اراضی خندقی شده) در دامنه‌هایی با جهت‌های رو به شمال، شرق و جنوب‌شرق قرار دارند. اراضی با جهت‌های جنوبی، مسطّح و شمال‌غربی از نظر فراوانی نسبی شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در منطقه‌ی مورد مطالعه در رتبه یا درجه‌ی دوم (۲۷/۵۸ درصد از اراضی خندقی شده) قرار دارند و در نهایت اراضی با جهت شمال‌شرقی، جنوب‌غربی و غرب در درجه‌ی سوم (با میزان ۳/۳۶ درصد از اراضی خندقی شده) قرار می‌گیرند. جدول شماره‌ی ۲، توزیع طبقات جهت شیب و میزان مساحت خندقی شده و شکل شماره‌ی ۴، نقشه‌ی جهت شیب حوضه زوّاریان را نشان می‌دهد.

جدول ۲. توزیع طبقات جهت شیب و میزان مساحت خندقی شده و درصد خندق در حوضه‌ی زوّاریان

طبقات جهت شیب	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
FLAT	۳۱۸/۶۰	۲/۲۸	۷۷/۴۰	۷/۱۳
N	۳۲۰۵/۱۲	۲۲/۹۶	۱۷۴/۳۲	۱۶/۰۵
NE	۱۲۲/۵۱	۰/۸۸	۲/۶۴	۰/۲۴
E	۲۴۴۲/۳۵	۱۷/۴۹	۲۳۲	۲۱/۳۷
SE	۲۴۵۱/۰۹	۱۷/۵۶	۳۴۳/۵۲	۳۱/۶۴
S	۱۲۲۹/۰۶	۸/۸۰	۱۴۸	۱۳/۶۳
SW	۷۹۰/۸۵	۵/۶۶	۱/۲۰	۰/۱۱
W	۱۰۷۸/۹۶	۷/۷۳	۳۲/۶۴	۳/۰۱
NW	۲۳۲۲/۱۴	۱۶/۶۴	۷۴/۰۸	۶/۸۲



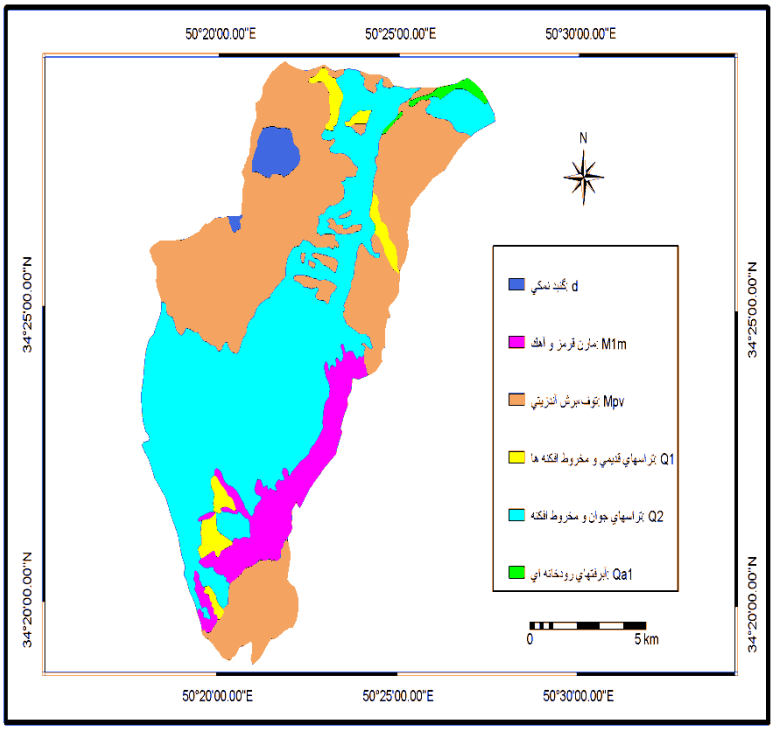
شکل ٤. نقشه‌ی جهت شیب حوضه‌ی زوّاریان استان قم

لیتولوژی

بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به شکل‌گیری و گسترش مکانی فرسایش خندقی منطقه‌ی مطالعاتی در رابطه با جنس زمین، نشان‌دهنده‌ی اینست که در حوضه‌ی زوّاریان از مجموع ۱۰۸۵/۸۰ هکتار مساحت خندقی شده، بیشترین درصد (۹۴/۴۱ درصد) مربوط به سازندهای تراس‌های جوان و مخروطه‌افکنه‌های درشت‌دانه ـ دوره‌ی کواترنر و کمترین آن (۰/۲۴ درصد) مربوط به تراس‌های قدیمی و مخروط افکنه‌های بلند دوره‌ی کواترنر است. جدول شماره‌ی ۳ توزیع طبقات سنگ‌شناسی، میزان مساحت خندقی شده و درصد خندق و شکل شماره‌ی ۵ نقشه‌ی لیتولوژی حوضه‌ی زوّاریان را نشان می‌دهد.

جدول ۳. توزیع طبقات سنگ‌شناسی، میزان مساحت خندقی شده و درصد خندق در حوضه‌ی زوّاریان قم

جنس زمین	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق (درصد)
گنبد نمکی	۲۶۸/۸۷	۱/۹۳	۰	۰
مارن قرمز و آهک	۱۱۹۰/۲۳	۸/۵۳	۵/۳۲	۰/۴۹
توف، برش آندزیتی	۵۷۶۰/۷۳	۴۱/۲۶	۵۲/۷۶	۴/۸۶
تراس‌های قدیمی و مخروط‌افکنه	۴۴۴/۴۲	۳/۱۸	۲/۶۰	۰/۲۴
تراس‌های جوان و مخروط‌افکنه	۶۲۰۲/۳۹	۴۴/۴۳	۱۰۲۵/۱۲	۹۴/۴۱
آبرفت‌های رودخانه‌ای	۹۴/۰۸	۰/۶۷	۰	۰



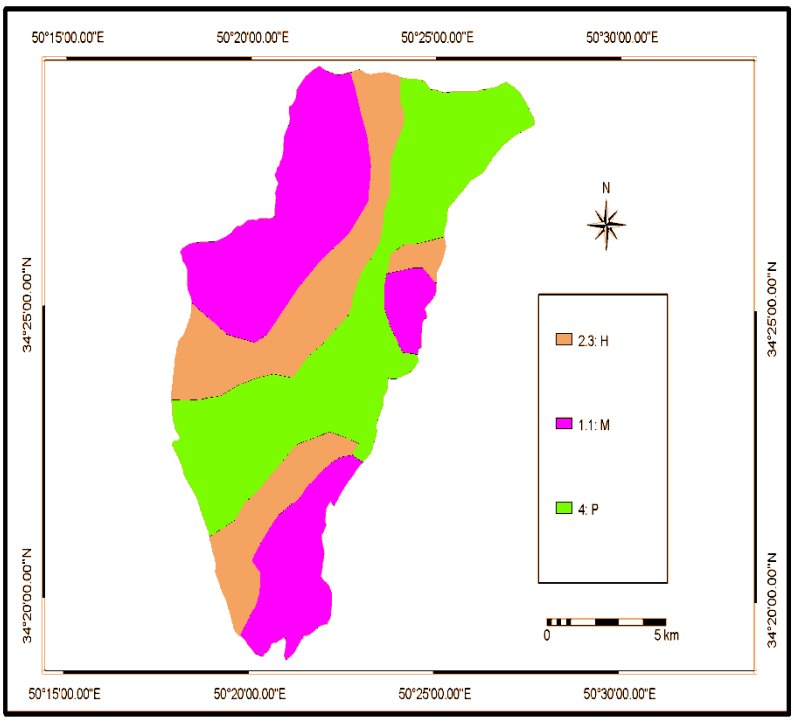
شکل ۵ . نقشه‌ی سنگ‌شناسی حوضه‌ی زوّاریان استان قم

منابع و قابلیّت اراضی

نتیجه‌ی بررسی ارتباط منابع و قابلیّت اراضی با مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی، نشان می‌دهد که حدود ۶۹/۶۹ درصد از خندق‌ها در واحد اراضی ۴ (دشت‌ها)، ۳۰/۲۷ درصد در واحد اراضی ۲/۳ (تپّه‌ماهور که به‌ترتیب شامل دشت‌های سیلابی با پستی و بلندی کم، شیب ملایم و تعداد زیادی آبراهه‌های کم‌عمق موازی با سطوح کم‌شیب، دشت‌های دامنه‌ای کمابیش مسطّح و بدون پستی و بلندی با شوری کم تا متوسّط و خاک‌های عمیق و بافت سنگین) و حدود ۰/۰۴ درصد از خندق‌ها در واحد اراضی ۱/۱ (مناطق کوهستانی با شیب زیاد) هستند. جدول شماره‌ی ۴ توزیع طبقات منابع، قابلیّت اراضی، میزان مساحت خندقی شده و درصد خندق و همچنین شکل شماره‌ی ۶ نقشه‌ی منابع و قابلیّت اراضی حوضه‌ی زوّاریان را نشان می‌دهد

جدول ٤. توزیع طبقات منابع، قابلیّت اراضی، میزان مساحت خندقی شده و درصد خندق در حوضه‌ی زوّاریان قم

طبقات منابع و قابلیّت اراضی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق(درصد)
۲/۳ (تپّه‌ماهور)	۳۶۵۵/۱۲	۲۶/۱۸	۳۲۸/۶۸	۳۰/۲۷
۱/۱ (کوهستان)	۵۰۳۸/۰۳	۳۶/۰۹	۰/۴۸	۰/۰۴
۴ (دشت)	۵۲۶۷/۵۷	۳۷/۷۳	۷۵۶/۶۴	۶۹/۶۹



شکل ٦. نقشه‌ی منابع و قابلیّت اراضی حوضه‌ی زوّاریان استان قم

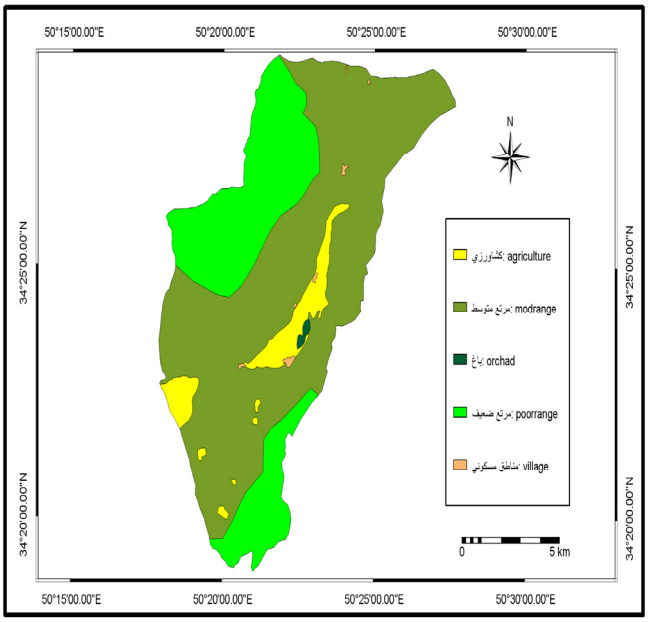
کاربری اراضی

نتایج بررسی‌های انجام شده در زمینه‌ی عوامل مؤثّر در رخداد فرسایش و رسوب، نشان داده است که در بیشتر حوضه‌های آبخیز، استفاده از اراضی نقش مهمّی در رخداد و تشدید فرسایش و تولید رسوب دارد (قدوسی و همکاران، ۱۳۸۵).

نتایج حاصل از تلفیق نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه‌ی زوّاریان با نقشه‌ی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی، نشان داد که بیشترین میزان خندق (۹۸/۸۵ درصد) در مراتع متوسّط و زمین‌های کشاورزی و کمترین آن (۱/۱۵ درصد) در باغ‌ها و مناطق مسکونی رخ داده است. از آنجاکه مراتع ضعیف در مناطق کوهستانی با شیب زیاد قرار گرفته‌اند، فرسایش خندقی در آن رخ نداده است. جدول شماره‌ی ۵ توزیع طبقات کاربری اراضی، میزان مساحت خندقی شده و درصد خندق و شکل شماره‌ی ۷، نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه‌ی زوّاریان را نشان می‌دهد

جدول ۵. توزیع طبقات کاربری اراضی، میزان مساحت خندقی شده و درصد خندق در حوضه‌ی زوّاریان قم

طبقات کاربری اراضی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندق (هکتار)	خندق(درصد)
کشاورزی	۸۴۲/۵۲	۶/۰۴	۳۷۹/۰۴	۳۴/۹۱
مراتع متوسّط	۸۹۷۷/۲۴	۶۴/۳۰	۶۹۴/۲۸	۶۳/۹۴
باغ‌ها	۳۳/۸۰	۰/۲۴	۱/۰۴	۰/۱۰
مراتع ضعیف	۴۰۶۹/۶۴	۲۹/۱۵	۰	۰
مسکونی	۳۷/۲۸	۰/۲۷	۱۱/۴۴	۱/۰۵

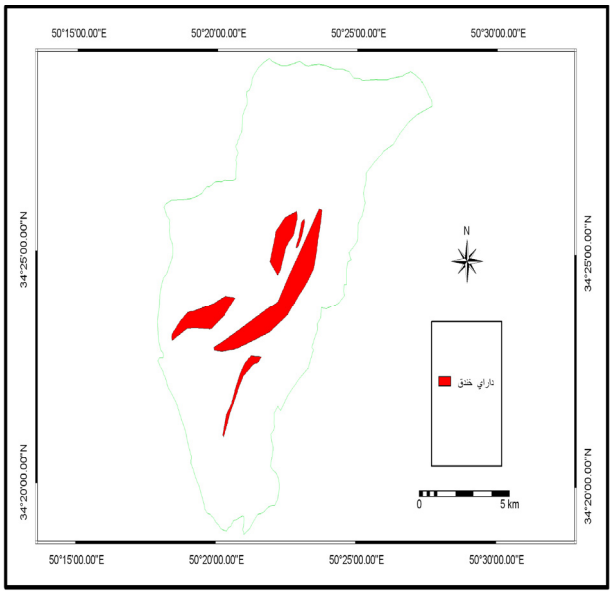


شکل ۷. نقشه‌ی کاربری اراضی در حوضه‌ی زوّاریان

منبع: تصاویر ماهواره‌ای ETM^+ سال ۲۰۰۲ و عکس‌های هوایی

مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی

نقشه‌ی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی از تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و عملیّات گسترده‌ی میدانی با استفاده از GPS تهیّه و میزان مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در حدود ۱۰۸۵/۸۰ هکتار برآورد شده است. شکل شماره‌ی ۸ نقشه‌ی مناطق فرسایش خندقی حوضه‌ی زوّاریان را نشان می‌دهد.



شکل ۸ . نقشه‌ی مناطق خندقی حوضه‌ی زوّاریان استان قم

شکل‌های ۹ تا ۱۲ نمونه‌ای از خندق‌هایی که در منطقه‌ی مورد مطالعه رخ داده است را نشان می‌دهند.

شکل ۹. خندق از نوع خطّی

شکل ۱۰. فرسایش خندقی از نوع V شکل

شکل ۱۱. خندق از نوع متوسّط

شکل ۱۲. نمونه‌ای از یک هدکت

پهنه‌بندی حسّاسیّت اراضی حوضه به فرسایش خندقی

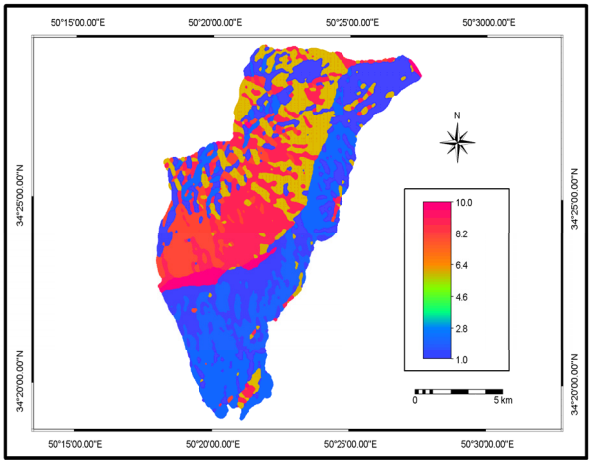
پس از این که متغیّرهای لیتولوژی، کاربری اراضی، جهت شیب، منابع و قابلیّت اراضی و جهت شیب در محیط GIS تهیّه و رقومی شدند با استفاده از مدل شاخص همپوشانی (Bonham – Carter, 1996) طیّ مراحل زیر، حسّاسیّت اراضی حوضه‌ی زوّاریان به فرسایش خندقی تعیین شد.

۱- تلفیق متغیّرهای مستقل با متغیّر وابسته برای محاسبه‌ی مساحت خندقی شده در طبقات عوامل؛

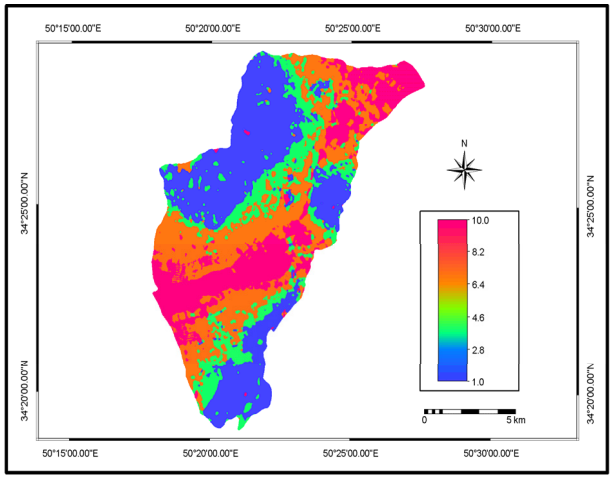
۲- وزن‌دهی به طبقات عوامل بر اساس شاخص همپوشانی بین ۰ تا ۱۰؛

۳- تهیّه‌ی نقشه‌های وزنی متغیّرها.

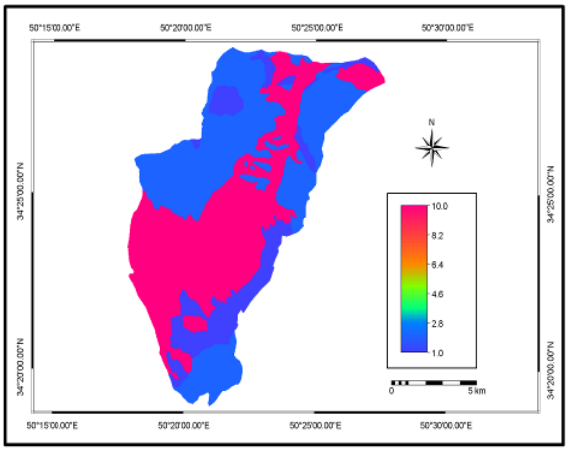
شکل‌های ۱۳ تا ۱۷ نقشه‌های وزنی متغیّرهای مورد مطالعه در حوضه‌ی زوّاریان را نشان می‌دهند.



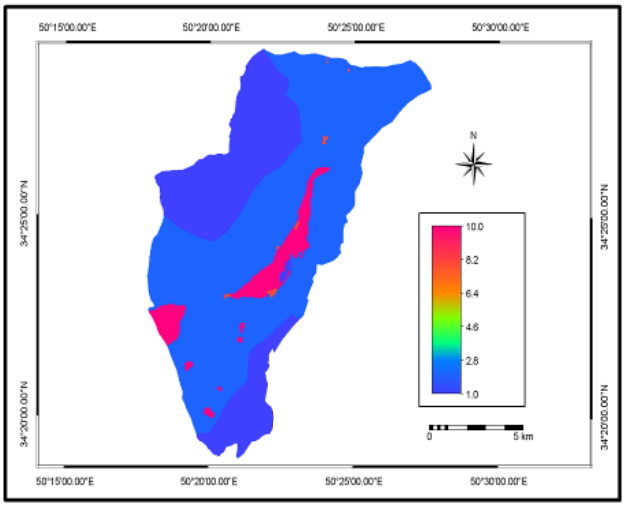
شکل ۱۳. نقشه‌ی وزن‌دهی جهت شیب حوضه‌ی زوّاریان



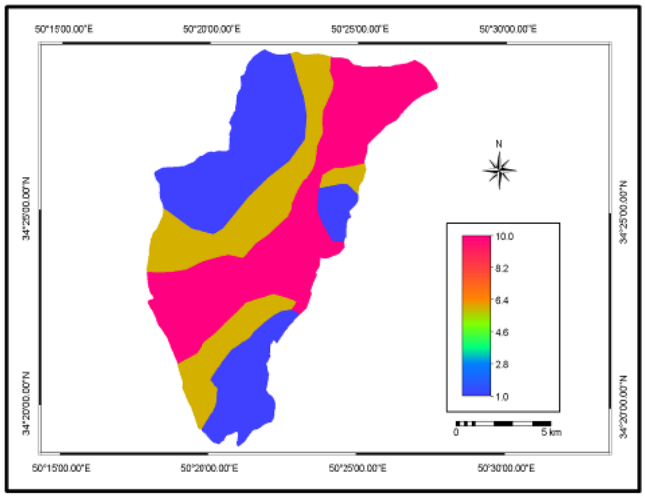
شکل ۱۴. نقشه‌ی وزن‌دهی شیب حوضه‌ی زوّاریان



شکل ۱۵. نقشه‌ی وزن‌دهی کاربری اراضی حوضه‌ی زوّاریان



شکل ۱۶. نقشه‌ی وزن‌دهی سنگ‌شناسی حوضه‌ی زوّاریان

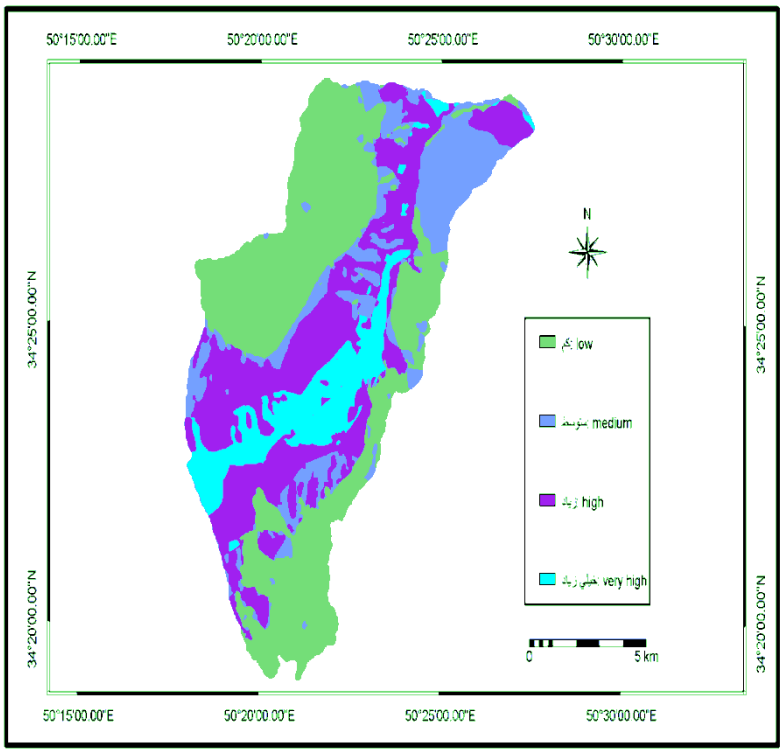


شکل ۱۷. نقشه‌ی وزن‌دهی منابع و قابلیّت اراضی حوضه‌ی زوّاریان

در ادامه نقشه‌های وزنی با یکدیگر تلفیق شدند و درنهایت، نقشه‌ی پهنه‌بندی حسّاسیّت اراضی حوضه‌ی زوّاریان به فرسایش خندقی به‌دست آمد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که در منطقه‌ی مورد مطالعه ۵۱/۵۷ درصد خندق‌ها با مساحت ۵۵۹/۹۶ هکتار در مناطق با حسّاسیّت خیلی زیاد، ۴۰/۲۷ درصد خندق‌ها با مساحت ۴۳۷/۲۴ هکتار در مناطق با حسّاسیّت زیاد، ۷/۰۷ درصد در مناطق با حسّاسیّت متوسّط و ۱/۰۹ درصد در مناطق با حسّاسیّت کم رخ داده است. با بررسی مطالب گفته شده می‌توان نتیجه گرفت که حدود ۹۱/۸۴ درصد خندق‌های حوضه‌ی مورد مطالعه در مناطق با خطر خیلی زیاد و زیاد رخ داده است که هشدار جدّی برای منطقه‌ی مورد مطالعه، به‌ویژه زمین‌های کشاورزی، روستاهای منطقه، باغ‌ها و جادّه‌های مواصلاتی به‌شمار می‌رود و پیشگیری از خسارات جبران‌ناپذیر این رخداد، نیازمند تدوین راهکارها و برنامه‌ریزی‌های اساسی است. جدول شماره‌ی ۶ درصد مساحت طبقات نقشه‌ی پهنه‌بندی به‌روش شاخص همپوشانی و شکل شماره‌ی ۱۸ نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش خندقی را در اراضی حوضه‌ی زوّاریان نشان می‌دهد.

جدول ٦. درصد مساحت طبقات نقشه‌ی پهنه‌بندی به‌روش شاخص همپوشانی حوضه‌ی زوّاریان قم

طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندقی شده (هکتار)	خندق (درصد)
کم	۵۹۰۳/۴۱	۴۲/۲۹	۱۱/۸۸	۱/۰۹
متوسّط	۲۳۳۷/۰۲	۱۶/۷۴	۷۶/۷۲	۷/۰۷
زیاد	۴۰۸۶/۶۱	۲۹/۲۷	۴۳۷/۲۴	۴۰/۲۷
خیلی زیاد	۱۶۳۳/۶۸	۱۱/۷۰	۵۵۹/۹۶	۵۱/۵۷



شکل ۱۸. نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی در حوضه‌ی زوّاریان استان قم

بحث و نتیجه‌گیری

از بررسی متغیّرهای مؤثر در رخداد فرسایش خندقی و تجزیه و تحلیل نمودارها، جداول، مدل پهنه‌بندی، ارزیابی مدل و عملیّات میدانی، نتایجی به شرح زیر به‌دست آمد.

به‌طورکلّی شرایط طبیعی حوضه‌ی زوّاریان مانند، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی و... بستر مناسبی را برای رخداد فرسایش خندقی به‌وجود آورده که وقوع ۵ مورد با وسعت حدود ۱۰۸۵/۸۰ هکتار در منطقه این گفته را تأیید می‌کند.

براساس بررسی‌های به‌عمل آمده در حوضه‌ی زوّاریان، حدود ۱۰۷۰/۲۴ هکتار (۹۸/۵۷ درصد) از خندق‌ها در طبقه‌ی شیب صفر تا۲۰ درصد رخ داده‌اند که بیشترین میزان فراوانی آن با مساحت ۹۲۱/۵۲ هکتار (۸۴/۸۷ درصد) در

شیب صفر تا ۱۰ درصد بوده است. به‌طور معمول در شیب‌های بسیار زیاد، جنس مصالح سنگی است و استحکام و مقاومت بیشتری دارند. نتیجه اینکه شیب رابطه‌ی مستقیمی با فرسایش خندقی نداشته و در شیب‌های ۲۰ درصد به بالا با افزایش اندازه‌ی شیب، از میزان فرسایش خندقی کاسته می‌شود. با توجّه به سنگ‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه و حسّاسیّت متفاوت واحدهای سنگی به فرسایش خندقی، سنگ‌شناسی نقش مؤثّری در وقوع فرسایش خندقی در حوضه‌ی زوّاریان داشته است و به‌دلیل دارا بودن نهشته‌های حاصل از تشکیلات مارن، رس و سیلت ـ که مقاومت کمتری دارند ـ بیشتر خندق‌های فعّال حوضه، روی واحدهای سنگ‌شناسی Q_2 (تراس‌های جوان و مخروط‌افکنه‌های بلند ـ دوره‌ی کواترنری) با میزان ۱۰۲۵/۱۲ هکتار (۹۴/۴۱ درصد) رخ داده است.

بررسی‌ها نشان داده است که فرسایش خندقی در کاربری از نوع مراتع متوسّط حدود ۶۹۴/۲۸ هکتار (۶۳/۹۴ درصد) و در کاربری کشاورزی حدود ۳۷۹/۰۴ هکتار (۳۴/۹۱ درصد) ایجاد شده است. درصد بالای فرسایش خندقی در مناطق مرتعی و کشاورزی حوضه، می‌تواند از یکسو به‌دلیل وسعت زیاد این کاربری‌ها و از سوی دیگر ناشی از قرار گرفتن این واحدها بر روی تشکیلات مارن، رس و سیلت باشد.

در حوضه‌ی مورد مطالعه بیشترین فراوانی جهت شیب را جهت شمالی، به‌میزان ۳۲۰۵/۱۲ هکتار (۲۲/۹۶ درصد) دارد؛ ولی بیشترین میزان فرسایش خندقی در جهت جنوب‌شرقی و شرق، به‌ترتیب به‌میزان ۳۴۳/۵۲ هکتار (۳۱/۶۴ درصد) و ۲۳۲ هکتار (۲۱/۳۷ درصد) رخ داده است که بیانگر این است که جهت‌های شرقی و جنوب‌شرقی به‌دلیل برخورداری از رطوبت کمتر، استعداد فرسایش خندقی بیشتری دارند و جهت‌های شمالی و غربی به‌دلیل رطوبت بیشتر، استعداد رخداد فرسایش خندقی کمتری دارند. همچنین با بررسی ارتباط منابع و قابلیّت اراضی با مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی مشخّص شد که حدود ۷۵۶/۶۴ هکتار (۶۹/۶۹ درصد) از خندق‌ها در واحد اراضی از نوع تیپ ۴ (دشت‌ها) و ۳۲۸/۶۸ هکتار (۳۰/۲۷ درصد) از خندق‌ها در واحد اراضی از نوع ۲/۳ (تپّه‌ماهور که به‌ترتیب شامل دشت‌های سیلابی با پستی و بلندی کم، شیب ملایم و تعداد زیادی آبراهه‌های کم‌عمق موازی با سطوح کم شیب) رخ داده است که نشان می‌دهد در منطقه‌ی مورد مطالعه، شکل‌گیری خندق‌ها به‌دلیل وجود املاح زیاد محلول در خاک، به‌ویژه در پای تپّه‌ها، دشت سرها و دشت بین تپّه‌ای متداول است.

استفاده از روش شاخص همپوشانی نیز نشان داد که در طبقات پهنه‌بندی کم و متوسّط، ۸/۱۶ درصد از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی قرار گرفته‌اند، در صورتی‌که حدود ۹۱/۸۴ درصد از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در پهنه‌های دارای حسّاسیّت زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند.

منابع

Achten, W. M. J., Dondeyne, S., Mugogo, S., Kafiriti, E., Poesen, J., Deckers, J. and Muys, B., 2008, **Gully Erosion in South Eastern Tanzania: Spatial Distribution and Topographic Thresholds,** Zeitschrift für Geomorphologie, Vol. 52, No. 2, PP. 225-235.

Ahmadi, H., 1995, **Applied Geomorphology, Vol 1: Water Erosion,** University of Tehran Press.

Bonham-Carter, G. F., 1996, **Geographic Information System for Geoscientists (Modeling for GIS),** Pergamum Publication, USA.

Cheng, H., Wu, Y., Zou, X., Si, H., Zhao, Y., Liu, D and Yue, X., 2006, **Study of Ephemeral Gully Erosion in a Small Upland Catchment on the Inner-Mongolian Plateau,** Soil & Tillage Research, No. 90, PP. 184-193.

Costa, F.M., Bacellar, L. de Almeida Prado, 2006, **Analysis of the Influence of Gully Erosion in the Flow Pattern of Catchment Streams, Southeastern Brazil,** Vol. 69, No. 3, PP. 230-238.

Lesschen, J.P., Kok, K., Verburg, P.H., Cammeraa, L.H., 2007, **Identification of Vulnerable Areas for Gully Erosion under Different Scenarios of Land Abandonment in Southeast Spain,** Catena, Vol. 71, No. 1, PP. 110-121.

Malik, I., 2007**, Dating of Small Gully Formation and Establishing Erosion Rates in Old Gullies under Forest by Means of Anatomical Changes in Exposed Tree Roots (Southern Poland),** Geomorphology, Vol. 93, No. 4, PP.421-436.

Menéndez-Duarte, R., Marquínez, J., Fernández-Menéndez, S., Santos, R., 2007, **Incised Channels and Gully Erosion in Northern Iberian Peninsula: Controls and Geomorphic Setting**, Catena, Vol. 71, No. 2, PP. 267-278.

Qodousi, J., 2003, **Morphology Modeling of Gully Erosion and its Hazard Zoning (a Case Study in Zanjanroud Basin),** Ph.D. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

Qodousi, J., Davari, M., 2005, **Impact of Soil Chemical and Physical Characteristics in Gully Erosion and Gullies Morphology,** 3rd National Conference on Erosion and Sediment, Soil Conservation & Watershed Management Research Center.

Qodousi, J., Feyznia, S., Ahmadi, H., Shabani, M., Sarreshtedari, A., 2006, **A Study on Relation between Changing Land Use Type and Soil Erosion and Sediment,** Journal of Research and Development, Vol. 73, PP. 123-130.

Qohroudi, M., 2003, **Model of Hazard Zonation Due to Gully Erosion Expansion in Bijar Basin by Using GIS and RS**, Research Project in Deprtment of Energy, Tehran.

Shahini, GH., 2005, **The Role of Vegetation in Gully Erosion Control,** Proceeding of the Second National Conference on Erosion and Sediment, PP. 341-346.

Shahrivar, A., 1997, **Factors Effecting Gully Erosion and Model Presentation in Souq-Dehdasht,** Master's Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

Wua, Y., Zhengb, Q., Zhanga, Y., Liud, B., Chenga, H. and Wan, Y., 2008, **Development of Gullies and Sediment Production in the Black Soil Region of Northeastern China,** Vol. 72, No. 3, PP: 236-251.