

بررسی فرسایش خندقی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در

شهرستان رودبار استان گیلان

صمد شادفر^۱

چکیده

یکی از انواع پدیده‌های ژئومورفولوژیکی که خسارات زیادی به اراضی کشاورزی، مرتعی، جاده‌ها و... وارد می‌نماید و نقش مهمی در افزایش میزان رسوب دارد، فرسایش خندقی می‌باشد که شناسایی علل و مدل‌سازی آن نقش مهمی در مدیریت حوزه‌های آبخیز و جلوگیری از تخریب اراضی دارد. در این تحقیق برای شناسایی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی از عکسهای هوایی به مقیاس ۱:۴۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای IRS هند، بازدید صحرایی و عملیات میدانی با استفاده از GPS، و نقشه پراکنش فرسایش خندقی تهیه گردید. در ابتدا با بررسی سوابق تحقیقاتی، تعدادی از مهمترین عوامل مؤثر در رخداد این نوع فرسایش مانند سنگ شناسی، شیب، منابع و قابلیت اراضی، جهت شیب و کاربری اراضی مورد بررسی قرار گرفتند. در مرحله بعد با به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی، عوامل مؤثر به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه و ضریب وزنی عوامل محاسبه شده است. در نهایت اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی و ارائه مدل در حوزه گردیده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که واحدهای مارن سیلتی و مخروط افکنه‌های قدیمی ۱۰۰ درصد و تیپ اراضی تپه ماهور ۵۷ درصد از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی را به خود اختصاص داده‌اند. ضمناً طبقه شیب ۲۰-۵ درصد (حدود ۹۲ درصد)، جهت شیب جنوبی (۸۲ درصد) و کاربری مرتع فقیر (۱۰۰ درصد) دارای بیشترین گسترش مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در حوزه مورد مطالعه می‌باشند. ضمناً روش تحلیل سلسله مراتبی، به دلیل اولویت‌بندی عوامل، مدل مناسبی جهت پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی به شمار می‌رود.

کلمات کلیدی

فرسایش خندقی، مدل‌سازی، گیلان، ژئومورفولوژی، روش تحلیل سلسله مراتبی

Investigation of Gully Erosion by using the Analytical Hierarchy Process Model Case study: Roudbar, Gilan Province, Iran

Shadfar S^۱

Abstract

Gully erosion is one of the geomorphological phenomenon that causes numerous losses to farmland, rangeland, roads, and increased sediment rate. Recognition of the causes and modeling gully erosion has an important role in watershed management, which aids in preventing the destruction of lands in sustainable development. In this research, a gully erosion map was prepared with the use of airphotos at a scale of 1:40000, IRSatellite images, and a field survey with the use of GPS. Initially, with respect to the lack of comprehensive research and an investigation of prior research, factors such as lithology, slope, land unit, aspect and landuse were studied. Then, by using the analytical hierarchy method, the impacting factors were binary compared with each other. A weighted coefficient for each factor was computed. Finally, we prepared a gully hazard zonation map and watershed model. The results of this investigation showed that marl silt and old Makhroot Afkana (100%) and land type Tapa Mahoor (57%) are effected by gully erosion. In the investigated area, this study showed that the majority of gully erosion influenced: i) land that had a slope of 5%-20% (which consisted of approximately 92% of the entire land area); ii) land that had a southern slope (82%); and iii) poorly covered range land (100%). The analytical hierarchy method is a suitable model for determining gully erosion susceptibility in the Aliabad catchment.

Keywords:

Gully erosion, Modeling, Aliabad watershed, Geomorphology, Analytical hierarchy **method**

مقدمه

یکی از انواع فرسایش آبی که باعث تخریب اراضی، از بین رفتن خاک و جابجایی حجم قابل توجهی از رسوبات در حوزه‌های آبخیز می‌گردد فرسایش خندقی می‌باشد. فرسایش خاک به وسیله آب و پیامدهای ناشی از آن از دیرباز مورد توجه پژوهشگران حفاظت خاک بوده است. از میان انواع مختلف اشکال فرسایش آبی، فرسایش خندقی یکی از عوامل مهم و تهدید کننده تعادل منابع زیست محیطی و پایداری آن محسوب می‌شود. به طوری که این تهدید تنها محدود به ایجاد تغییرات نابهنجار در منظر زمین، تخریب اراضی و از بین رفتن خاک و عدم امکان فعالیتهای کشاورزی و بهره برداری اقتصادی از عرصه‌های منابع طبیعی نمی‌شود، بلکه با رخداد و گسترش این نوع فرسایش، جاری شدن تندابها و سیل، جابجایی حجم قابل توجهی از رسوبات و پیامدهای ناشی از آن و بالاخره غیرقابل استفاده شدن اراضی تشدید می‌شوند (قدوسی و همکار، ۱۳۸۴).

عوامل طبیعی تأثیرگذار در بروز پدیده فرسایش خندقی، در اراضی جنوب شرقی شهرستان شوشتر وجود لایه‌های ماری و گچی در سازندهای میشان و آجاجاری، رسوبهای ریزدانه کوتاه‌تر متشکل از ذرات ریزدانه ماسه و 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 پدیده فرسایش خندقی، چرای مفرط دامها، شخم اراضی در جهت شیب و آبیاری غیراصولی در اراضی کشت آبی می‌باشند (طباطبائی، ۱۳۷۹). شناخت عوامل مؤثر در شکل‌گیری و رشد و گسترش فرسایش خندقی به عنوان روشی کارآمد برای دستیابی به راهکارهای پیشگیری و مهار آن افزون بر ابداع مدل پیش بینی به حساب می‌آید (کرکبای و همکار، ۲۰۰۰). در بررسی مشکلات و تأثیرات فرسایش خندقی در طول رودخانه اتبره سودان واقع در محیط‌های خشک و نیمه خشک به این نتیجه رسیده‌اند که از بین رفتن پوشش گیاهی به دلیل گسترش زمینهای کشاورزی آبی، خاک سطحی منطقه را در معرض فرسایش آبی تشدید شونده قرار داده است و با سرعت تخریب فعلی مواد حمل شده توسط رواناب به رودخانه اتبره، سد خشم الجیرا را به پر شدن تهدید می‌نماید (فضول و همکاران به نقل از دانائیان، ۱۳۸۴). فرسایش خندقی یک سری از اشکال تخریب زمین است که منجر به بیابان زائی می‌گردد. در اثر این نوع از فرسایش، پهنه‌های وسیعی توسط گالیها خاک فوقانی خود را از دست داده و به صورت بالقوه غیر قابل استفاده می‌گردند (دانائیان، ۱۳۸۴). اثرات تخریبی گالیها علاوه بر میزان تولید رسوب، پرشدن و تخریب شبکه‌های آبیاری، از دسترس خارج شدن هرزآبها، تخریب جاده‌ها، پلها، زمینهای کشاورزی و مراتع می‌باشد (احمدی، ۱۳۷۴). نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خندقی نشان داده است که قرق اراضی منجر به استقرار گونه‌های بسیاری در منطقه می‌شود بطوریکه اثری از آنها

در منطقه خارج قرق مشاهده نمی‌شود، همین‌طور گسترش رأس خندقها مقاومت و درصد رطوبت حجمی خاک سطحی و تنوع گونه‌ای با احیای پوشش گیاهی حوزه آنها بطور معنی‌داری نسبت به خندق‌های گروه شاهد بعد از گذشت ۳ سال اختلاف داشته است (شاهینی، ۱۳۸۴). (نصری و همکاران ۲۰۰۸) در استان اصفهان در آبخیز مندرجان به ارزیابی فرسایش و آنالیز رسوب در فرسایش‌های شیاری و خندقی پرداختند و زمین‌شناسی و کاربری اراضی را به عنوان عوامل مهم معرفی نمودند.

بررسی ویژگیهای خندقهای استان هرمزگان و علل ایجاد آنها، نشان داده است که خندقهای استان بیشتر در دشتهای با شیب کم با خاک عمیق که دارای مقدار زیادی سیلت هستند در اراضی زراعی و مرتعی بوجود آمده‌اند که عمدتاً دارای مقطع U شکل هستند و از نظر کلاس عمقی در رده خندقهای عمق متوسط (یک تا ده متر)، با رأس عمودی و پلان عمومی پنجه‌ای می‌باشند. ضمناً عوامل اصلی ایجاد خندق در این مناطق، شدت بالای بارندگی، نوع خاک، سیلگیر بودن، از بین بردن پوشش گیاهی طبیعی و در پی آن انجام کشاورزی غلط و عدم مدیریت صحیح سیلاب می‌باشد (زارع مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۴). انجام تحقیقی تحت عنوان تأثیر ویژگیهای فیزیکی شیمیایی خاک بر روی فرسایش بدلندهای شمال شرقی سوئد مشخص نمود که میزان فرسایش سالانه خاک ارتباط تنگاتنگی را با ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی - شیمیایی خاکهای قلیایی منطقه نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان داد که در دامنه‌های با شیب زیاد و شیب کم میزان فرسایش ورقه‌ای خاک سالیانه به ترتیب ۲۰-۸ و ۹-۶ میلیمتر می‌باشد. در منطقه مورد تحقیق شوری زیاد موجب ناپایداری خاک شده و سبب ایجاد و گسترش فرسایش تونلی شده و با ریزش سقف تونلها، فرسایش خندقی توسعه یافته است (Benito et al, 1993). مطالعه خندقهای موقتی در یک حوزه آبخیز کوچک مرتفع در فلات مغولستان در شمال چین، با تعیین مرفولوژی این گالیها، با استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی اثرات فرسایش خاک بر میزان محصول در اراضی زراعی و ترکیبات گیاهی در زمینهای تحت آیش را بررسی نموده و سپس به بررسی گودالهای موقتی گالی که در میان شبکه گالیهای موقت واقع شده‌اند و عرض و عمق آنها، بیش از ۰/۵ متر است پرداخته و در نهایت به یک نشانگر کلیدی برای تخمین موقعیت رأس گالیهای گودالی موقت دست یافته و به پیش بینی مکان‌هایی که امکان استقرار گالیهای موقتی در آن وجود دارد پرداختند (Cheng et al, 2005). در مقاله‌ای تحت عنوان مؤلفه‌های تصادفی در مدلسازی فرسایش خندقی در روشی ابتکاری، براساس تخمین احتمال مازاد نیروهای اعمال شده در برابر نیروهای مقاومتی که در تقابل ساختار آب و خاک هستند، اینگونه نتیجه‌گیری نمود که در خاک‌های با چسبندگی و تراکم زیاد، میزان جداسازی با افزایش سرعت آب بیشتر می‌گردد. تئوری مذکور، تفاوت‌های زیاد در نوع خاک برای سرعت‌های جریان پایین و بالا را نشان داده و خطاهای بالا در محاسبه نسبت فرسایش خاک حتی با مدل‌های جزئی شده را

توضیح می‌دهد (Siderchuk, 2005). طی بررسی‌هایی که بر روی زمان و عوامل ایجاد فرسایش خندقی در سیستم خندقی لسی در جنوب شرقی لهستان انجام شد با این فرضیه که با دانستن علت و زمان آغاز روند فرسایش خاک منطقه در گذشته، می‌توان به تأثیرات کاربری اراضی در تغییرات زمین منظر پی برد، نهایتاً به این نتیجه رسیدند که در مناطق شنی، فرسایش خاک بر اثر کاربری بی‌رویه زمین و فروپاشی آن بواسطه بارش شدید می‌تواند به طور چشمگیری زمین منظر را تغییر دهد (Schmitt et al, 2006). افق‌های خاک، توزیع مکانی و مرفولوژی گالیها و فاکتورهای کنترل‌کننده پیشرفت آن در مناطق کشت شده در منطقه خاک سیاه جنوب شرقی چین مورد بررسی قرار گرفت و تناوب یخبندان و ذوب یخ در بهار و نوع کشت بر توسعه خندقها مؤثر تشخیص داده شد. همچنین برای تعیین طول گالیهای موقت در منطقه، یک مدل رگرسیون خطی با استفاده از داده‌های میدانی ایجاد گردید که ۵۵ درصد از تغییرات طولی گالی موقت را نشان میداد (Zhang et al, 2007). در تحقیقاتی که با هدف شناخت مناطق آسیب‌پذیر برای فرسایش خندقی در منطقه‌ای نیمه خشک در جنوب شرقی اسپانیا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میزان فرسایش خندقی در زمینهای رها شده نسبت به زمینهای تحت کشت بیشتر است، با اعمال مدلسازی در این عرصه‌ها نهایتاً بدین نتیجه رسیدند که بیشتر زمینهای آسیب‌پذیر اطراف رأس خندقها قرار دارند (Lesschen et al, 2007). فرسایش ناشی از خندقها یکی از مهمترین چالش‌ها بر سر راه تهیه غذا، سلامت انسان‌ها و اکوسیستم است. این تأثیر در مناطقی که تغییرات کاربری اراضی و اقلیم وجود دارد، مشهودتر است. ضمناً خندقها معمولاً زمانی که قدرت جریان از آستانه برشی خاک تجاوز پیدا کند، به وجود می‌آیند (Chaplot et al, 2005). بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی و پهنه‌بندی آن در منطقه نیزار استان قم نشان داد که سنگ‌شناسی و کاربری اراضی از مهمترین عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. ضمناً مدل AHP، مدل مناسبی در بررسی فرسایش خندقی معرفی شده است (گنجعلی، ۱۳۸۸). عواملی مانند حساسیت سازند، شیب، تغییر در استفاده از زمین، جاده‌سازی، سنگ‌شناسی و بافت خاک از جمله عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی می‌باشند (شادفر، ۱۳۸۹). سلیمان‌پور و همکاران (۱۳۸۶) در منطقه بابا عرب جهرم در جنوب استان فارس به بررسی تأثیر پوشش خاک سطحی بر گسترش طولی آبکندها پرداختند. نتایج این تحقیق، تأثیر پوشش سطح خاک در کاهش پیش‌روی خندقها و اثر مخرب خاک لخت بر گسترش طولی آن‌ها را نشان می‌دهد. بررسی پراکنش اقلیمی و ویژگیهای شکل‌شناسی فرسایش خندقی در استان اصفهان مشخص کرد که این پدیده فرسایشی عمدتاً در مناطق مارنی، نهشته‌های کواترنر و در دشت رخ داده و از لحاظ تکاملی بصورت پیوسته می‌باشند (مختاری و همکاران، ۱۳۸۴). با توجه به بررسی‌های انجام شده، این پژوهش با هدف بررسی

تعدادی از عوامل مؤثر بر رخداد فرسایش خندقی و پهنه‌بندی آن با استفاده از AHP، صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

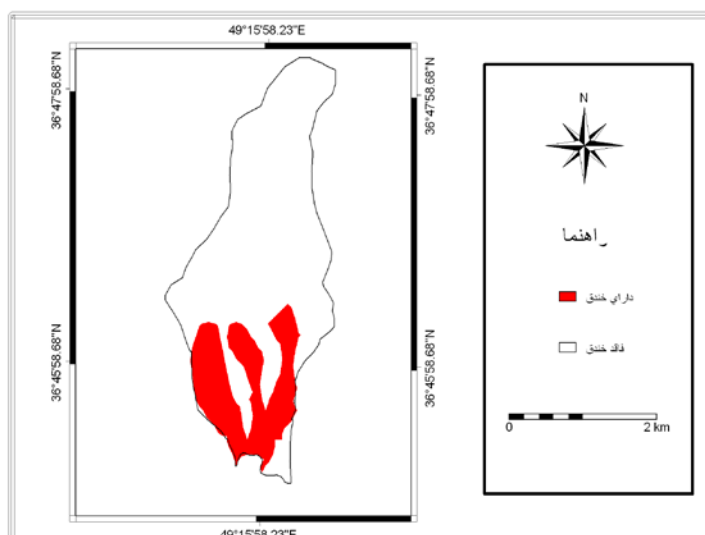
حوزه مورد مطالعه با مساحت حدود ۷۴۸ هکتار در استان گیلان (شهرستان رودبار) قرار دارد. مواد مورد استفاده مبتنی بر مطالعات و بررسیهای کتابخانه‌ای، عکسهای هوایی به مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور، تصاویر ماهواره‌ای IRS هند، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و عملیات میدانی بوده است. از نظر سنگ‌شناسی بیشتر مساحت حوزه از واحدهای Ng1 و Ng2 و از لحاظ ژئومورفولوژیکی از واحدهای کوهستان و تپه ماهور تشکیل شده است. کاربری حوزه مورد مطالعه متشکل از رخنمون‌های سنگی و مراتع فقیر می‌باشد. برای انجام این تحقیق ابتدا حوزه ای که دارای بیشترین مناطق خندقی شده در استان گیلان بود انتخاب گردید. جهت به نقشه درآوردن مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره ای و GPS استفاده گردید. عوامل شیب و جهت شیب با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاعی، سنگ‌شناسی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه، کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای و عکسهای هوایی تهیه گردیدند. سپس به بررسی ارتباط عوامل با خندقها پرداخته شده است. در مرحله بعد مقایسه زوجی عوامل انجام و ضریب وزنی هر یک از متغیرها با بکارگیری مدل AHP، محاسبه گردیده است. در این روش در ابتدا معیارها با استفاده از جدول وزن دهی saaty دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و وزن آنها مشخص می‌گردد. در مرحله نهایی، اولویت‌بندی گزینه‌ها بر مبنای معیارها و وزن آنها انجام می‌گردد. به منظور تعیین ارزش نسبی معیارها از میانگین حسابی استفاده شده است. با تعیین درصد مناطق خندقی شده در هر طبقه اقدام به وزن دهی هر یک از عوامل گردیده و نقشه‌های وزنی مورد نیاز ساخته و با یکدیگر تلفیق شدند. در نهایت اقدام به پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی و نتیجه‌گیری گردید.

نتایج و بحث

برخی از مهمترین عوامل مؤثر در ایجاد فرسایش خندقی و ارتباط آنها با خندقها مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در ادامه نتایج آنها آورده می‌شود.

مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی

نقشه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی با استفاده از تفسیر عکسهای هوایی، تصاویر ماهواره ای و عملیات گسترده میدانی با استفاده از GPS تهیه گردید. میزان مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی حدود ۱۷۱ هکتار محاسبه گردید. شکل شماره ۱ نقشه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی را در حوزه نشان می‌دهد.



شکل ۱- نقشه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی

شیب

شیب، سرعت فرسایش و شکل زمین را از طریق خصوصیات مرفولوژیکی تحت تأثیر قرار می‌دهد. نقشه شیب حوزه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) تهیه و بر اساس روند تغییرات هیستوگرام طبقه‌بندی گردید. ارتباط بین شیب و مناطق تحت فرسایش خندقی نشان داد که حدود ۹۲ درصد از خندقها در شیب ۰ تا ۲۰ درصد رخ داده‌اند. جدول (۱) توزیع طبقات شیب و میزان مساحت خندقی شده را در حوزه نشان می‌دهد.

جدول (۱): توزیع طبقات شیب و میزان مساحت خندقی شده در حوضه علی آباد

خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقات شیب
۳/۸۶	۶/۶۱	۱/۸۲	۱۳/۶۱	۰-۵
۳۷/۷۳	۶۴/۵۹	۱۳/۷۵	۱۰۲/۷۳	۵-۱۰
۴۹/۹۴	۸۵/۴۸	۳۴/۸۸	۲۶۰/۶۳	۱۰-۲۰
۸/۴۷	۱۴/۴۹	۴۹/۵۵	۳۷۰/۳۱	>۲۰

جهت شیب

جهت شیب اثر غیر مستقیمی در آبدوی و فرسایش دارد. شیب‌های هم درجه ولی با جهات متفاوت یک منطقه معمولاً به طور یکسان با خطر فرسایش روبرو نیستند. اثر عمده جهت شیب در میزان آبدوی و فرسایش به علت اختلاف میکروکلیمای موجود در شیبهای مختلف است. شیب‌های آفتابگیر معمولاً نسبت به شیب‌های سایه گیر فرسایش بیشتری ایجاد می‌کنند. زیرا این شیب‌ها گرمتر بوده، بنابراین ذخیره آب خاک کم شده، رشد پوشش گیاهی کمتر است. علاوه بر این در این شیب‌ها خورشید با تجزیه مواد آلی هوموس را از بین می‌برد و در نتیجه

خاک چسبندگی خود را از دست داده، مستعد فرسایش می‌شود (قهرودی، ۱۳۸۲). شکل (۲) توزیع طبقات جهت شیب و میزان مساحت خندقی شده را در حوزه نشان می‌دهد.



شکل ۲- توزیع طبقات جهت شیب و میزان مساحت خندقی شده در حوضه علی‌آباد

سنگ شناسی

ارتباط بین متغیر سنگ شناسی با خندقها نشان داد که کلیه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در قسمتهایی از حوزه که دارای واحدهای سنگ شناسی Ng2 و Qf1 می‌باشند قرار گرفته‌اند. جدول شماره (۳) توزیع طبقات سنگ شناسی و میزان مساحت خندقی شده در حوزه نشان می‌دهد.

جدول (۳): توزیع طبقات سنگ شناسی و میزان مساحت خندقی شده در حوزه علی‌آباد

طبقات سنگ شناسی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندقی (هکتار)	خندق (درصد)
ماسه سنگ سیلتی	۸۲/۹۰	۱۱/۰۹	۰	۰
سنگ آتشفشانی بازیک	۸۲/۲۹	۱۱/۰۱	۰	۰
توف و سنگ رس	۱۶۷/۶۸	۲۲/۴۳	۰	۰
مارن سیلتی	۲۸۸/۰۶	۳۸/۵۳	۱۱۵/۲۴	۶۷/۳۳
مخروط افکنه‌های قدیمی	۹۴/۵۷	۱۲/۶۵	۵۵/۹۳	۳۲/۶۷
مادستون نئوژن	۳۲/۰۳	۴/۲۸	۰	۰

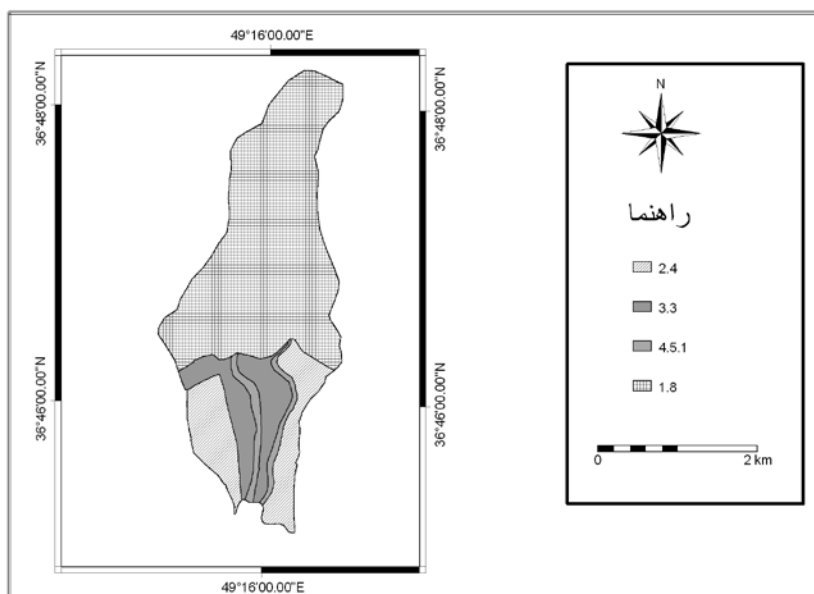
منابع و قابلیت اراضی

بررسی ارتباط منابع و قابلیت اراضی با مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی نشان می‌دهد که حدود ۵۷ درصد از خندقها در واحد اراضی تپه‌های کم ارتفاع بریده بریده و فرسایش یافته متشکل از مارنهای گچی، نمکی و

آهکی (۲,۴) و حدود ۲۶ درصد از خندقها در فلاتها و مخروط افکنه‌های قدیمی (واحد اراضی ۳,۳) واقع شده‌اند. جدول (۴) توزیع طبقات منابع و قابلیت اراضی و میزان مساحت خندقی شده و شکل شماره (۳) نقشه منابع و قابلیت اراضی را در حوزه علی آباد نشان می‌دهد.

جدول (۴): توزیع طبقات منابع و قابلیت اراضی و میزان مساحت خندقی شده در حوضه علی آباد

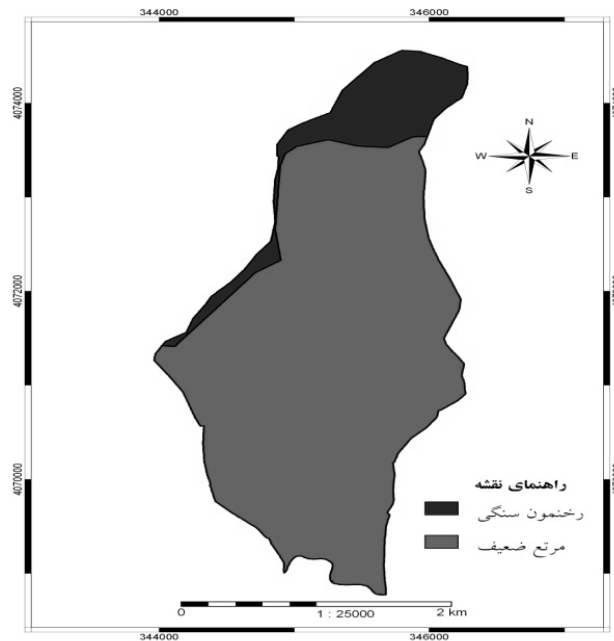
طبقات منابع و قابلیت اراضی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندقی (هکتار)	خندق (درصد)
۱,۸	۴۸۳/۶۹	۶۴/۷۱	۰/۰۱	۰/۰۱
۲,۴	۱۳۳/۹۷	۱۷/۹۲	۹۶/۴۸	۵۶/۳۶
۳,۳	۹۹/۱۸	۱۳/۲۷	۴۴/۱۹	۲۵/۸۱
۴,۵,۱	۳۰/۶۸	۴/۱۰	۳۰/۵۰	۱۷/۸۲



شکل ۳- نقشه منابع و قابلیت اراضی حوزه علی آباد

کاربری اراضی

نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در باره عوامل مؤثر در رخداد فرسایش و رسوب نشانگر این است که در اکثر حوزه‌های آبخیز نوع استفاده از اراضی نقش مهمی در رخداد و تشدید فرسایش و تولید رسوب دارد (قدوسی و همکاران ۱۳۸۵). نتایج حاصل از تلفیق نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز با نقشه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی نشان داد که تمامی خندقها در کاربری مرتع ضعیف رخ داده‌اند.



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی

پهنه‌بندی حساسیت اراضی حوزه به فرسایش خندقی

پس از این که متغیرهای سنگ شناسی، کاربری اراضی، جهت شیب، منابع و قابلیت اراضی و جهت شیب در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقومی گردیدند اقدام به مقایسه زوجی عوامل به شرح جدول (۵) گردید.

جدول (۵): مقایسه زوجی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی

شیب	منابع و قابلیت اراضی	جهت شیب	کاربری اراضی	سنگ شناسی
۷	۶	۵	۳	۱
۵	۴	۴	۱	۱/۳
۴	۳	۱	۱/۳	۱/۵
۳	۱	۱/۳	۱/۴	۱/۶
۱	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۷
۲۰	۱۴/۳۳	۱۰/۵۸	۴/۷۸	۱/۸۳

در این تحقیق از روش میانگین حسابی جهت محاسبه وزن هر عامل از ماتریس مقایسه زوجی استفاده گردیده است.

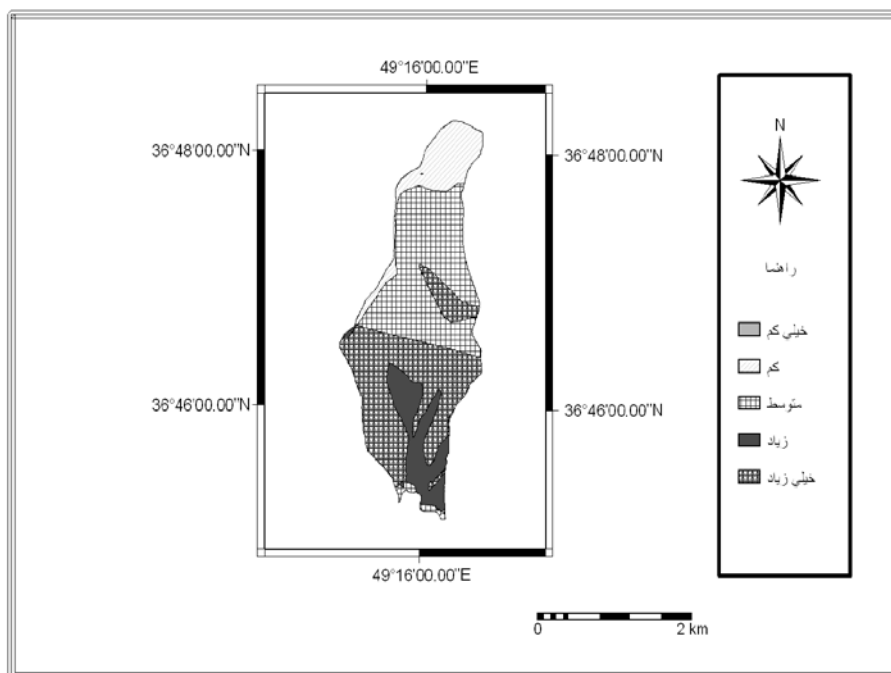
پس از این که وزن دهی طبقات عوامل (جدول ۷) انجام پذیرفت. نقشه وزنی هر عامل را ساخته و بر اساس رابطه زیر این لایه‌های اطلاعاتی را در ضریب وزنی‌های بدست آمده (α_1 تا α) ضرب کرده و با هم جمع نموده که در نهایت نقشه نهایی بدست می‌آید (نقشه ۵). نقشه حاصله بر اساس روند تغییرات هیستوگرام به پهنه‌های مختلف تقسیم گردیده است.

$$Final = 0/4830 * (X_1) + 0/2593 * (X_2) + 0/1364 * (X_3) + 0/0781 * (X_4) + 0/0429 * (X_5)$$

فاکتورهای X_1 تا X_5 به ترتیب مربوط به عوامل سنگ شناسی، کاربری، جهت شیب، منابع و قابلیت اراضی و شیب می‌باشند. جدول (۸) درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی و شکل شماره ۵ نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی با استفاده از مدل AHP را نشان می‌دهد.

جدول (۸): درصد و مساحت طبقات نقشه پهنه‌بندی به روش AHP

طبقات پهنه‌بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه	خندق (هکتار)	خندق (درصد)
خیلی کم	۰/۰۴	۰/۰۱	۰	۰
کم	۹۵/۳۷	۱۲/۷۵	۰/۱۰	۰/۰۶
متوسط	۲۷۷/۷۴	۳۷/۱۳	۴/۰۸	۲/۳۹
زیاد	۹۴/۸۶	۱۲/۶۸	۵۵/۵۵	۳۲/۴۹
خیلی زیاد	۲۷۹/۹۹	۳۷/۴۳	۱۱۱/۲۷	۶۵/۰۷



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی با استفاده از مدل AHP

نتیجه گیری

یکی از مهمترین فرآیندهای تخریب زمین که به شدت بهره برداری از زمین را محدود می کند پدیده فرسایش خندقی می باشد. نتیجه تجزیه و تحلیل داده ها نشان داده است که واحدهای Ng2 و Qf1 دارای بیشترین رخداد فرسایش بوده (۱۰۰ درصد) و ۵۷ درصد از خندقها در واحد اراضی تپه های کم ارتفاع بریده بریده و فرسایش یافته متشکل از مارنهای گچی، نمکی و آهکی (۲،۴) و ۲۶ درصد از خندقها نیز در فلاتها و مخروط افکنه های قدیمی (واحد اراضی ۳،۳) واقع شده اند. ضمناً شیب ۲۰-۵ درصد (حدود ۹۳ درصد)، جهت شیب جنوبی (۸۲ درصد) و کاربری مرتع فقیر (۱۰۰ درصد) از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی را به خود اختصاص داده اند. نتیجه حاصل از مقایسه زوجی و محاسبه ضریب وزنی عوامل نشان داده است که متغیرهای مستقل سنگ شناسی و کاربری اراضی نقش مهمتری نسبت به سایر عوامل در وقوع پدیده فرسایش خندقی در حوزه مورد مطالعه دارند که با نتایج تحقیقات گنجعلی (۱۳۸۸) و شادفر (۱۳۸۹) مطابقت دارد. پهنه بندی حساسیت اراضی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نیز نشان داد که حدود ۹۷ درصد از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در پهنه های دارای حساسیت زیاد و خیلی زیاد واقع شده اند. جهت مقابله با این نوع فرسایش انجام عملیات بیولوژیک در حوزه پیشنهاد می شود.

منابع

- ۱- احمدی، حسن، (۱۳۷۴). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- دانائیان، محمدرضا، (۱۳۸۴). فرسایش خندقی "گالی" و عوامل موثر بر آن، چاپ اول، یزد، انتشارات وصال.
- ۳- زارع مهرجردی، محمد، صوفی، مجید و چوپانی، سعید (۱۳۸۴)، بررسی ویژگی های آبکنده های استان هرمزگان و علل ایجاد آنها، نشریه علمی ترویجی حفاظت آب و خاک، صص ۴۲-۳۵.
- ۴- سلیمان پور، مسعود، ۱۳۸۶. مقایسه رسوب زایی خندق و رابطه آن با ویژگی های حوزه آبخیز و سازند زمین شناسی در اقلیم های مختلف استان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع طبیعی - آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ۱۷۰ صفحه.
- ۵- شادفر، صمد، (۱۳۸۹). مقدمه ای بر فرسایش خندقی، نشر انتخاب، ۱۴۱ صفحه.
- ۶- شاهینی، غلامرضا، (۱۳۸۴). نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خندقی، مجموعه مقالات همایش ملی فرسایش و رسوب، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، چاپ اول، صص ۳۴۶-۳۴۱.
- ۷- طباطبائی، سید محمودرضا، (۱۳۷۹). بررسی تغییرات فرسایش خندقی در استان خوزستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای و سیستم اطلاعات جغرافیائی، دومین همایش ملی فرسایش و رسوب، صص ۷۷-۶۳.

- ۸- قهرودی، منیژه، (۱۳۸۲). مدل پهنه‌بندی خطر ناشی از گسترش فرسایش آب‌کندی در حوزه آب‌کنند کلوچه بیجار با استفاده از GIS و RS. طرح تحقیقاتی وزارت نیرو، صص ۵۳-۵۲.
- ۹- قدوسی، جمال و داوری، مسعود، (۱۳۸۴). تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش خندقی و مرفولوژی خندقها، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، صص ۳۸۹-۳۸۲.
- ۱۰- قدوسی، جمال، فیض نیا، سادات، احمدی، حسن، شعبانی، محمد و سررشته داری، امیر، (۱۳۸۵). بررسی رابطه بین تغییر نوع استفاده از اراضی با مقادیر فرسایش و رسوب، فصلنامه پژوهش و سازندگی شماره ۷۳، صص ۱۳۰-۱۲۳.
- ۱۱- گنجعلی، نرگس، ۱۳۸۸. بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی و پهنه‌بندی آن در منطقه نزار استان قم، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه زابل، ۱۱۶ صفحه.
- ۱۲- مختاری، احمد، صوفی، مجید و چرخابی، امیرحسین، ۱۳۸۴. بررسی ویژگیهای مورفو کليماتیک آب‌کندها در استان اصفهان، دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، صص ۱۲۸۶-۱۲۸۰.
- ۱۳- م فضول، حسن، احمدالصالح، عمادالدین العلی و شینوبوایناگا، (۱۳۸۴). کاربرد سنجش از دور در تهیه نقشه فرسایش خندقی در طول رودخانه اتبره سودان، فرسایش خندقی (گالی) و عوامل مؤثر بر آن، چاپ اول، یزد، انتشارات وصال، صص ۲۲-۹.
- 14- Benito, G.M., Gutierrez and C. Sancho, 1993, the influence of physico- chemical properties on erosion processes in badland areas, Albro Basin, Ne-spain, Zetschrift Fur Geomorphology, 37(2), 199-214.
- 15- 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 90: pp. 184-193.
- 16- Chaplot, V.G., Giboire, P. Marchand and C. Valentin. 2005. Dynamic modeling for gully initiation and development under climate and land-use changes in northern Laos. Catena, 63: 318-328.
- 17- Kirkby, M. J. and L.J. Bull. 2000. Some factors controlling gully growth in fine - grained sediments: a model applied in Southeast Spain. Elsevier, Catena, 40(2000) pp. 127-146.
- 18- 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 71: pp. 110-121.
- 19- Nasri, M., Feiznia, S., Jafari, M., and Ahmadi, H. 2008. Using field indices of rill and gully GULTEM – The model to predict gully thermoerosion and erosion (Theoretical framework), 10th International soil conservation organization meeting, 966-972.

20-Schmitt, A., Rodzik, J., Zglobicki, W., Russolk, C., Dotterweich, M. and Bork, H. 2006. Time and scale of gully erosion in the Jedliczny Dol gully system, South-east Poland, *Catena*, 68: pp. 124-132.

21- Sidorchuk, A., 2005. Stochastic components in the gully erosion modeling, *Catena*., 63: pp. 299-317.

22- Zhang, Y., Wu, Y., Liu, B., Zheng, Q and Yin, J., 2007. Characteristics and factors controlling the development of ephemeral gullies in cultivated catchments of black soil region, Northeast China, *Soil & Tillage Research*, 96: pp. 28-41.