

ارزیابی میزان حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی: جنوب شرق استان مازندران؛ کیاسر)

منوچهر فرج زاده، عباسعلی افضلی، یاسر خلیلی، عبادالله قلیچی

چکیده

فرسایش خندقی زمانی مطرح می‌شود که فرآیندهای ایجابی آن در شدیدترین حالت عمل کرده و به بیان دیگر مساعدترین شرایط برای عملکرد فرآیندهای ایجابی مهیا باشد. یکی از مهم‌ترین مسائل در بحث پایش و ارزیابی فرسایش خندقی تعیین معیاری جهت استخراج و شناخت این نوع از فرسایش است. در این مقاله با قراردادن فاکتور شیار و آبراهه به عنوان خندق و انتخاب آن به عنوان متغیر وابسته و انتخاب معیارهایی چون لیتولوژی، کاربری زمین، خاک؛ و معیارهای مستخرج از ویژگی‌های فیزیوگرافیکی منطقه (شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاکتور طول دامنه و فاکتور قدرت جریان) به عنوان متغیرهای مستقل یا عوامل زمینه ساز، با استفاده از روش آماری رگرسیون چند متغیره بر اساس بیشترین همبستگی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل مبادرت به استخراج معادله رگرسیونی بین عوامل مذکور گردید. بر اساس روش به کار برده شده در این آماره در نهایت چهار متغیر لیتولوژی، کاربری زمین، خاک و شاخص رطوبت توپوگرافی به عنوان مؤثرترین عوامل و فاکتورهای زمینه‌ساز در فرآیند فرسایش خندقی انتخاب و بر اساس میزان همبستگی هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته ضرایب مربوطه محاسبه گردید. با توجه به معادله مذکور و دخالت دادن هر یک از ضرایب در فاکتورهای زمینه ساز در محیط نرم افزار ArcGIS نقشه حساسیت به فرآیند خندقی شدن تهیه شد. در قدم بعد، حساسیت به فرسایش خندقی به پنج طبقه تقسیم بندی شده و با بررسی نتایج مشخص گردید که بیشترین سهم از نظر حساسیت به خندقی شدن به ترتیب به فاکتورهای لیتولوژی، خاک، شاخص رطوبت توپوگرافی و کاربری زمین اختصاص دارد. بر اساس طبقه‌بندی در راستای میزان حساسیت به فرسایش خندقی بیشترین مساحت به طبقه فرسایش کم و کم‌ترین سهم متعلق به طبقه فرسایش خیلی زیاد است.

واژه های کلیدی

فرسایش خندقی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، رگرسیون چند متغیره، کیاسر.

۱. دانشیار گروه سنجش از دور دانشگاه تربیت مدرس

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی دانشگاه تربیت مدرس

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی دانشگاه تربیت مدرس

۴. دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی دانشگاه تربیت مدرس

Manuchehr Farajzadeh, Abasali Afzali, Yaser Khalili, Ebadolah Gelichi

Abstract

Gully erosion when it comes to positive processes in the most severe operating conditions and the most favorable conditions for the performance of other words is a positive process. One of the most important issues discussed gully erosion monitoring and evaluation of benchmarking is to extract and identify the type of erosion. In this paper the groove factor and drainage ditches, and selected as the dependent variable and measures such as lithology, land use, soil. figures from the Regional Physiographic characteristics (slope, aspect, topographic wetness index, the amplitude factor and the power factor) as independent variables or risk factors using multivariate regression methods based on maximum correlation between the dependent variable and variables regression equation between the factors we extract an independent venture. Independent variables with the dependent variable was dedicated channel to each of the factors underlying coefficients. Susceptibility to erosion in the ditch next step was divided into five categories and the results became clear that the greatest contribution in terms of sensitivity to ditch the factors lithology, soils, topography and land were allocated to the moisture index. line with the classification based on floor area of greatest sensitivity to erosion, gully erosion, low and lowest share belongs to the class is too much erosion.

Keywords:

erosion trench, geographic information systems, multivariable regression, Kiasar

1. Masters in Geomorphology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
2. Masters in Geomorphology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3. Masters in Geomorphology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
4. Associated Professor of Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

۱- مقدمه

فرسایش خندقی از فرآیندهای مهم تخریب خاک است که در اقالیم مختلف سبب تلفات قابل ملاحظه خاک و تولید مقادیر فراوان رسوب می شود. از طرف دیگر این نوع فرسایش، یکی از مخرب ترین و پیچیده ترین انواع فرسایش آبی محسوب می گردد (شادفر، ۱۳۸۹). خاکی که از ناحیه خندق دچار فرسایش می شود، با ترسیب در آبراهه ها، مخازن

سدها، آبگیرها و عرصه بنادر و کاهش ظرفیت آبرگیری آنها، زیان‌های اقتصادی فراوانی به بار می‌آورد. طبق تعریف، خندق آبراهه‌ای است نسبتاً دائمی با دیواره‌های جانبی قائم که جریان‌های موقت آب در هنگام بارندگی از آن می‌گذرد (علیزاده، ۱۳۶۸). خندق‌ها در اثر توسعه در طول خطوط زه‌کشی و از بزرگ شدن آبراهه‌ها نیز حاصل می‌شوند (احمدی، ۱۳۹۰).

فرآیندی که منجر به ایجاد خندق^۱ و توسعه آن در سطح می‌گردد با جاری شدن آب و فرسایش صفحه‌ای^۲ و ایجاد شیارهای سطحی متأثر از فرسایش شیاری^۳ با شیب همسان نسبت به دامنه (Keller, 2011) آغاز شده و با گذشت زمان و با عمق گرفتن شیارها ادامه می‌یابد؛ تا جایی که شیارهای با عمق چند سانتیمتر به خندق‌هایی با عمق چند متر (با شیبی کمتر از دامنه) تبدیل می‌گردد و هرچه دامنه دارای طول و شیب بیشتری باشد خندق‌هایی با عمق و طول بیشتر شکل خواهند گرفت (Keller, 2011).

برادفورد^۴ و همچنین انجمن علوم خاک آمریکا (۸۴-۱۹۸۰)، خندق را آبراهه عمیقی می‌دانند که توسط شخم عادی از بین نمی‌رود. برخی از محققان سعی نموده‌اند با استفاده از ابعاد کانال، خندق‌ها را شناسایی نمایند. هید^۵ (۱۹۷۰) در تحقیق خود در منطقه کلرادوی آمریکا به این نتیجه رسیده‌است که شکل خندق به فرآیندهای ایجاد کننده آن برمی‌گردد و اولین مرحله در ارزیابی علل رخداد خندق، بررسی شکل‌شناسی خندق می‌باشد. وی همچنین خندق‌ها را به دو دسته پیوسته و ناپیوسته تقسیم‌بندی کرده‌است. به طوری که پوسن و گورس^۶ (۱۹۹۰) با به کارگیری عکس‌های هوایی برای محاسبه حجم خندق‌ها به این نتیجه دست یافته‌اند که اصولاً مطالعه طولانی مدت و دقیق فرسایش خندقی تنها از طریق استفاده از عکس‌های هوایی میسر می‌باشد.

نتایج حاصل از تحقیقات ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) مبین این موضوع است که شکل‌گیری و شدت گسترش فرسایش خندقی در اراضی لسی منطقه تحقیق، تابعی از ارتفاع متوسط، بارندگی و دمای متوسط سالانه هوا، شیب و جهت اراضی، سازند زمین‌شناسی، منابع اراضی، نوع خاک و ویژگی‌های مربوط به آن، نوع و تیپ پوشش گیاهی، نحوه استفاده از اراضی و متوسط سالانه ارتفاع رواناب‌های سطحی می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی‌ها و تحقیقات انجام شده در ایران، نشانگر متفاوت بودن عوامل و میزان تأثیر آنها در ایجاد فرسایش خندقی و رشد و گسترش آن در نقاط مختلف ایران است. نتایج بدست آمده از پژوهش‌های پیشین در کشور حاکی از این است که به طور مثال تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در سازند گچساران نشان داد که دو عامل (درصد نمک‌های محلول و مساحت حوضه خندق) بیشترین تأثیر را در ایجاد فرسایش خندق داشته است (احمدی، ۱۳۹۰). به نظر قدوسی (۱۳۸۲) در حوضه آبخیز سد سفید رود که حدود ۲۸ درصد از وسعت ۶ میلیون

Gully^۱

Sheet erosion^۲

Rill erosion^۳

Bradford^۴

Heede^۵

Poosen and Govers^۶

هکتاری آن تحت تأثیر فرسایش خندقی است؛ خندق‌ها اکثراً در پهنه‌های مارنی و رسوبات جدید و قدیم کواترنر ایجاد شده‌اند. همچنین مبتنی بر تحقیق شهریور (۱۳۷۶) مشخص شده‌است که در زیر حوضه آبخیز سوق واقع در شهرستان دهدشت در استان کهگیلویه و بویر احمد فرسایش خندقی به طور عمده در اراضی زراعی با شیب صفر تا ۶۰ درصد متشکل از رسوبات جدید و قدیم کواترنر ایجاد شده و گسترش یافته‌است. یافته‌های پژوهشی توسط خلیلی (۱۳۷۶) گویای این واقعیت است که در منطقه سمل واقع در حوزه آبخیز رودخانه اهرم در استان بوشهر، فرسایش خندقی به طور عمده بر روی رسوبات قدیم و جدید کواترنر و تعداد اندکی نیز در اراضی تپه ماهوری متشکل از سازند بختیاری ایجاد شده‌است.

قدوسی (۱۳۷۳) در تحقیقی تحت عنوان رشد و گسترش خندق‌ها در منطقه سرچم زنجان به این نتیجه رسیده‌است که گسترش خندق‌ها رابطه مستقیمی با میزان املاح موجود در خاک، تمرکز روانابهای سطحی، خصوصیات افق‌های خاک، شدت بارندگی و پوشش گیاهی، سازندهای زمین شناسی، نوع خاک و کاربری اراضی و سایر اقدامات انسانی از جمله احداث غیر اصولی راه‌های روستایی و درون مزرعه‌ای و خطوط انتقال نیرو دارد. احمدی (۱۳۹۰) بر این عقیده است که عواملی نظیر حساسیت سازندهای زمین شناسی، تغییر در استفاده از زمین و استفاده بیش از حد از اراضی کشاورزی، بهره‌برداری بی‌رویه از مراتع و تخریب پوشش گیاهی در اثر چرای دام‌ها، افزایش رواناب‌های سطحی، تغییر در شرایط آب و هوایی، در برهم خوردن تعادل هیدرولوژیک و اکولوژیک و در نتیجه در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی مؤثر می‌باشند. کریمی (۱۳۷۷) با ارزیابی مدل **FAO** برای برآورد رشد طولی خندق‌ها در منطقه قائن خراسان به این نتیجه رسید که عوامل مؤثر در تشکیل خندق‌ها و رشد طولی آن‌ها، مساحت حوزه واقع در بالادست پیشانی خندق‌ها، شدت بارندگی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به ویژه میزان املاح محلول موجود در آن، درصد رس و رطوبت موجود در خاک می‌باشد. صوفی (۱۳۸۳) در تحقیقات خود، خندق‌های استان فارس را از لحاظ مورفولوژیکی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفته‌است که خندق‌ها را می‌توان از لحاظ عمق به سه دسته شامل خندق‌های کم عمق (کمتر از ۱ متر)، با عمق متوسط (۱ تا ۱۰ متر) و عمیق (بیشتر از ۱۰ متر) و از لحاظ شکل پلان عمومی به پنج دسته شامل خطی، موازی، حبابی، مرکب و پنجه‌ای تقسیم‌بندی نمود. همچنین نتایج تحقیقات وی نشان می‌دهد که خندق‌های مورد مطالعه عمدتاً از نوع خندق‌های جانبی بوده و در اطراف زهکش‌های طبیعی منطقه تشکیل شده‌اند. نتیجه تحقیقات احمدی (۱۳۹۰) در حوضه دشت کهور لامرد، نشان می‌دهد که از بین عوامل بررسی شده، فاکتور سنگ شناسی، با ضریب ۰/۴۶۶۷، در درجه اول و عامل کاربری اراضی، با ضریب ۰/۲۴۸۳، در درجه دوم اهمیت در ایجاد خندق‌های منطقه قرار دارد.

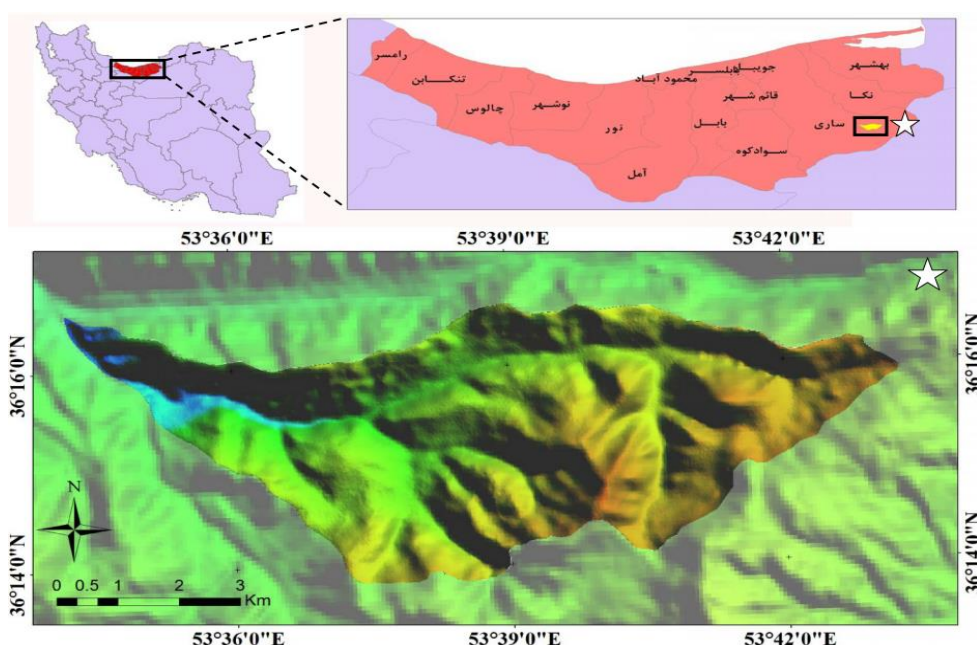
هدف تحقیق حاضر بررسی روش‌های آماری بر پایه‌ی مدل رگرسیون چند متغیره می‌باشد تا با بررسی مجموع فاکتورهای اثرگذار (لیتولوژی، کاربری زمین، خاک، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان و فاکتور طول دامنه) در میزان حساسیت وقوع فرسایش خندقی، اثرگذارترین فاکتورها مشخص و با استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره و با استفاده از ضرایب مستخرج از مدل پهنه‌بندی منطقه نسبت به حساسیت در برابر فرسایش خندقی انجام گیرد.

۲- داده‌ها و روش تحقیق

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه وسعتی برابر ۴۳ کیلومترمربع را در برمی‌گیرد. این منطقه در جنوب شرق استان مازندران، شمال شرقی شهر کیاسر و در جنوب حوزه آبریز رود تجن واقع شده‌است که از نظر مختصات جغرافیایی نیز در طول شرقی ۳۰ ۵۳ تا ۴۵ ۵۳ و عرض شمالی ۱۰ ۳۶ تا ۱۸ ۳۶ قرار دارد (شکل ۱) و توسط رود تجن به سمت دریای خزر زهکش می‌گردد. الگوی زهکشی در بخش شرقی و شمالی آن به صورت شاخه درختی و در سمت غرب و جنوب به صورت داربستی است. تراکم زهکشی منطقه ۴,۸۶ است که گویای تراکم زهکش و حساسیت خندقی شدن نسبتاً بالایی است.

بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی سلیمانینوف منطقه دارای اقلیمی نیمه مرطوب با تابستان‌هایی گرم و متعادل همراه با بارش‌های رگباری همرفتی است، و اکثر بارش‌های زمستانه به صورت برف می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

از نظر سن زمین‌شناسی قدیمی‌ترین برونزد متعلق است به سازند درود مربوط به پرمین زیرین (درویش‌زاده، ۱۳۸۹)، با رخساره‌های ماسه سنگ، شیل و سنگ آهک و اورتوکواتزیت که ۳۳ درصد از منطقه را پوشانده و جدیدترین برونزد نیز مربوط می‌شود به آبرفت‌های کواترن که غالباً در آبراهه‌ها تجمع یافته و حداکثر ۱۱ درصد منطقه را در برمی‌گیرد. از نقطه نظر حساسیت به فرسایش می‌توان رخنمون‌های مربوط به ژوراسیک میانی با رخساره‌های مارن، شیل و ماسه سنگ را در شمال منطقه ذکر نمود که در مجموع این رخساره‌ها ۲۵ درصد از کل منطقه را پوشانده. این رخساره‌ها به شدت توسط جریان‌های سطحی دستکاری شده و بصورت بریده بریده درآمده‌است.

از منظر تکتونیک نیز می‌توان به وجود سه راندگی در جنوب، مرکز و شمال منطقه با روند شرقی- غربی به ترتیب با نام‌های لنگر، گرماب و بادله اشاره نمود. شیب راندگی لنگر به سمت جنوب بوده و بی‌نظمی‌هایی در جنوب و جنوب شرق منطقه ایجاد کرده‌است؛ و شیب راندگی‌های گرماب و بادله به سمت شمال بوده و تأثیرات آن‌ها در سطح را می‌توان در لایه‌های چینه‌شناسی شمال منطقه مشاهده نمود. علاوه بر راندگی‌های مذکور، گسل‌های فرعی نیز در منطقه وجود دارد. تجمع این گسل‌ها بیشتر در بخش شرقی منطقه است؛ که این گسل‌ها نیز به نوبه خود تغییراتی در لایه‌های لیتولوژیک شرق منطقه ایجاد نموده‌اند.

عمدتاً به دلیل وجود رطوبت فراوان و شرایط فرسایشی شدید شیمیایی است که در منطقه عمدتاً مورفولوژی خشن و برونزدهای صخره‌ای قابل مشاهده نبوده و اشکال ژئومورفیک، بویژه در جنوب منطقه به صورت تپه‌ماهوری است و حداکثر شیب نیز در منطقه ۳۳ درجه است که ۲ درصد از کل منطقه را در برمی‌گیرد. عامل دیگری که مولد آشفستگی در مورفولوژی منطقه شده، فعالیت‌های انسانی است؛ که به صورت سکونتگاه و اراضی زراعی و باغی قابل مشاهده است. در مجموع ۱۸ درصد از کل منطقه به طور مستقیم توسط فعالیت‌های انسانی تحت تأثیر قرار گرفته که از مجموع ۱۸ درصد، ۲ درصد مربوط می‌گردد به سکونتگاه‌ها و ۱۶ درصد نیز در بردارنده اراضی زراعی و باغی است. با کمی دقت در الگوی پراکندگی شبکه آبراهه‌ای منطقه بویژه در مناطقی که توسط بشر مورد بهره‌برداری قرار گرفته، الگوی زهکشی متراکمی را می‌توان مشاهده نمود. این فرآیند در زمین‌هایی که به هر دلیلی بعد از کاربری، بدون محافظت سطحی رها شده‌است، شدیدتر و عمیق‌تر است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از لیتولوژی، کاربری زمین، خاک و فاکتورهای شیب، جهت شیب، شاخص قدرت جریان (SPI^V)، شاخص رطوبت توپوگرافیکی (TWI^A) و فاکتور طول دامنه (LSF^q)؛ که به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده‌است.

لیتولوژی از شاخص‌های مهم شکل‌گیری و توسعه فرسایش خندقی است. این لایه اطلاعاتی از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی متعلق به سازمان زمین‌شناسی و همچنین تفسیر عکس‌های هوایی ۱۳۳۴ متعلق به سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح تهیه شد. میزان حساسیت به فرسایش در لایه مذکور با استفاده از استانداردهای در نظر گرفته شده در لایه اطلاعاتی سه ۲۵۰۰۰:۱۱:۲۵۰۰۰ استخراج گردید.

نوع کاربری به طور معنی‌داری فرآیندهای فرسایشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عموماً سطوح عریان و خالی از پوشش گیاهی در مقابل سطوح پوشیده شده از جنگل که قدرت فرسایش‌پذیری خاک را پایین می‌آورد فرسایش سریع‌تر و شدیدتری را تجربه می‌کند (Dai, 2001). این پدیده در کوهستان‌ها در پی تخریب جنگل به وضوح خود را

^V Stream Power Index

^A Topographic Wetness Index

^q Length Slope Factor

نشان می‌دهد (محمودی، ۱۳۸۶). بر همین اساس میزان حساسیت به فرسایش در لایه کاربری با توجه به نوع کاربری استخراج شد.

شیب دامنه اهمیت عمده‌ای در تجمع سرعت بالای رواناب دارد که منتهی به ایجاد شکاف‌ها و شیارها و خندق‌ها می‌گردد (Valentin et al., 2005).

فاکتور خاک که با استفاده از لایه‌های شیب، کاربری و لیتولوژی تهیه گردید؛ نشانگر این موضوع است؛ هر جا خاک با عمق و ساختار مناسب‌تری ایجاد شده باشد فرسایش نیز فعال‌تر عمل خواهد کرد.

جهت شیب مولد فاکتور مهمی در تجزیه و تحلیل پایداری ژئومورفولوژیک با کنترل بعضی از پارامترهای اقلیمی همچون میزان دریافت تابش، باد (خشک، مرطوب) شدت بارش و رطوبت خاک می‌باشد (Carrara et al., 1991) شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) تعیین کننده تأثیر توپوگرافی بر روی میزان سطوح اشباع جهت تولید رواناب است که توسط معادله زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۱) (Lucà, 2011).

$$\text{TWI} = \ln(A_s / \tan \sigma) \quad \text{رابطه ۱}$$

TWI: شاخص رطوبت توپوگرافی؛ که با استفاده از رابطه شماره ۱ به دست می‌آید.

As: مساحت ویژه حوضه (متر) (Lucà, 2011)

σ: درجه شیب

شاخص قدرت جریان؛ گویای میزان قدرت فرساینده‌گی جریان آب است. بر این اساس؛ آبگذری متناسب است با مساحت ویژه حوضه و شیب، که با استفاده از رابطه شماره ۲ به دست می‌آید.

$$\text{SPI} = \ln(A_s / \tan \sigma) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن:

SPI: شاخص قدرت جریان

As: مساحت ویژه حوضه

σ: درجه شیب

فاکتور (LSF)، عبارت از شاخصی است که تأثیر توپوگرافی را بر فرسایش مشخص می‌کند و توسط رابطه

شماره ۳ محاسبه می‌گردد (Lucà, 2011):

$$\text{LSF} = (f_a * \text{Cell_size} / 22.3)^{0.4} * (\sin \sigma / 0.0896)^{1.3} \quad \text{رابطه ۳}$$

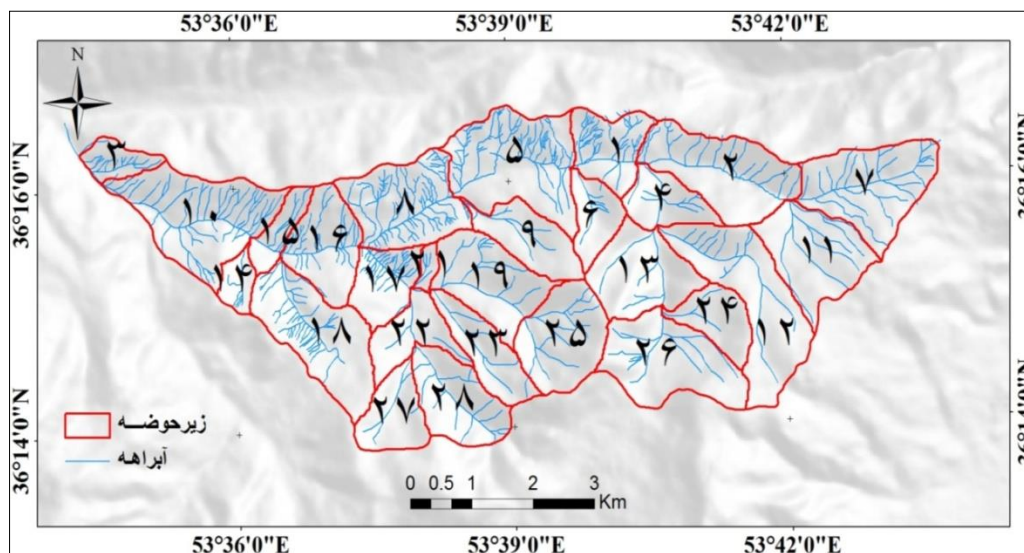
که در آن:

LSF: فاکتور طول دامنه

f_a: تجمع جریان

به منظور تهیه لایه اطلاعاتی فرسایش خندقی به عنوان متغیر وابسته از نظام آبراهه به عنوان میزان فرسایش خندقی استفاده شد (شکل ۲). از این رو ابتدا لایه آبراهه منطقه استخراج و تراکم آنها به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

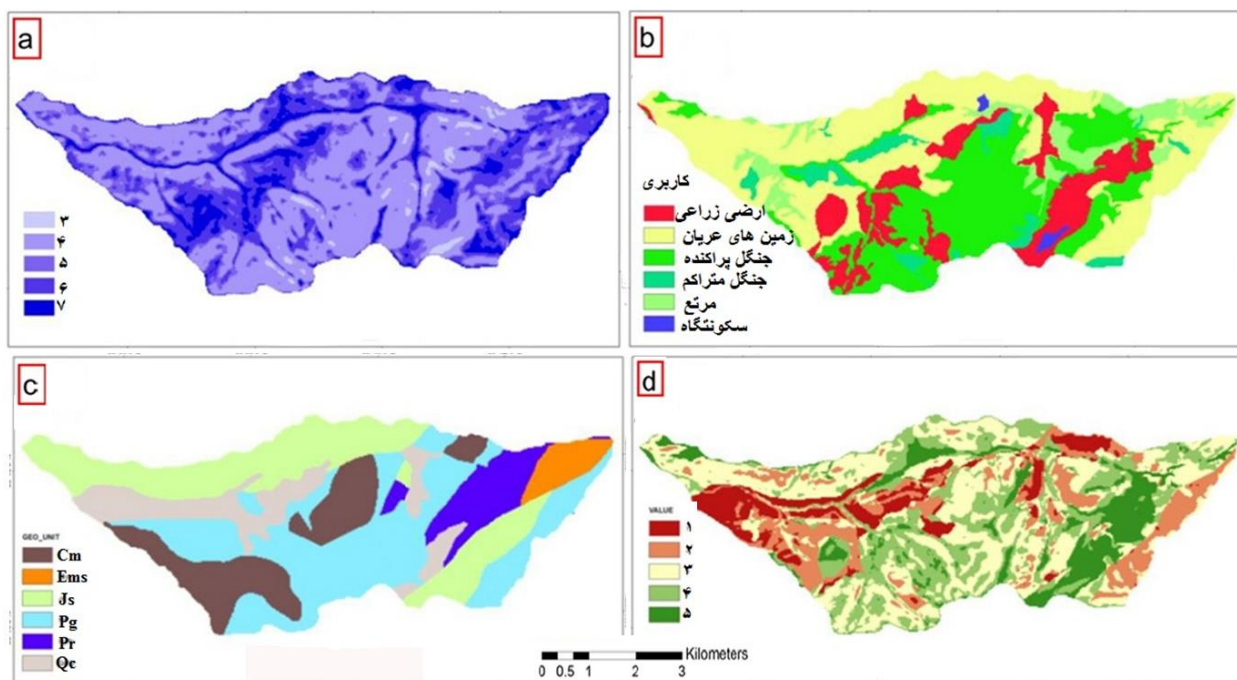
سپس با استفاده از تابع (Watershed) در نرم افزار Globalmapper منطقه به ۲۸ زیر حوضه تقسیم شد (شکل ۲)، و هر یک از این فاکتورها جداگانه برای ۲۸ زیر حوضه محاسبه گردید، و در آخر، معادله به دست آمده برای کل منطقه به کار گرفته شد. جدول شماره ۱ نشان دهنده عوامل مورد استفاده در این مطالعه می باشد که مقادیر آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به صورت میانگین وزنی برای هر یک از زیر حوضه ها محاسبه شده است.



شکل ۲- زیر حوضه ها و آبراهه

جدول ۱- میانگین وزنی شاخص های تاثیرگذار به ازاء زیر حوضه ها

زیرحوزه ها	تراکم آبراهه	لیتولوژی	کاربری اراضی	خاک	جهت شیب	شیب	LSF	SPI	TWI
۱	۸/۹۲	۹/۲	۵/۷	۱۳/۳	۲۰/۱۷	۹/۸۶	۱۰	۳/۹	۵/۲
۲	۵/۰۷	۷/۱	۴	۱۲/۱	۲۰/۷	۱۴/۷۲	۱۸/۷	۲/۲	۴/۵
۳	۷/۵۴	۱۰	۴/۹	۱۴/۷	۲۴۷/۴	۱۱/۲۰	۱۱/۱	۲/۲	۴/۷
۴	۴/۲۵	۶/۹	۴/۸	۱۱/۶	۱۸۸	۱۳/۸۰	۱۶/۸	۲/۵	۴/۶
۵	۶/۷۷	۹/۱	۵/۹	۱۳/۷	۲۴۰/۶	۸/۷۱	۷/۵	۴	۵/۳
۶	۳/۰۴	۶/۶	۲/۲	۱۳/۳	۱۹۵/۸	۱۲/۹۱	۱۴/۲	۱/۹	۴/۵
۷	۵/۶۱	۸/۴	۵/۸	۱۳/۱	۲۴۷/۱	۷/۹۱	۶/۴	۴/۲	۵/۵
۸	۹/۴۷	۸/۶	۶	۱۲/۶	۲۰۹/۸	۹/۹۴	۹/۶	۳/۴	۵/۱
۹	۲/۹۷	۶	۳/۶	۱۲/۶	۲۹۳/۶	۱۰/۱۸	۹/۹	۳/۳	۵
۱۰	۷/۰۶	۸/۱	۶/۷	۱۱/۱	۲۱۷/۹	۱۱/۴۱	۱۱/۶	۲/۳	۴/۷
۱۱	۳/۸۵	۸/۳	۵/۵	۱۴	۲۶۵/۶	۸/۳۷	۶/۹	۳/۷	۵/۴
۱۲	۲/۸۹	۷/۹	۵/۱	۱۳/۵	۲۰۷/۲	۹/۸۴	۱۰	۳/۸	۵/۲
۱۳	۲/۴۰	۷	۳	۱۲/۹	۱۶۲/۷	۱۵/۱۲	۱۹/۲	۱/۹	۴/۴
۱۴	۴/۶۶	۵/۹	۵/۶	۱۰/۶	۱۴۹/۵	۸/۹۵	۷/۵	۲/۹	۵/۲
۱۵	۶/۰۵	۷/۸	۶/۱	۱۱/۱	۱۶۴/۸	۱۲/۷۵	۱۴/۳	۲/۲	۴/۶
۱۶	۶/۵۳	۷/۴	۵/۷	۱۱/۳	۲۳۳/۲	۱۱/۹۶	۱۲/۶	۲/۳	۴/۷
۱۷	۸/۱۴	۶/۱	۵/۸	۱۱/۲	۱۰۲/۷	۸/۳۴	۷/۲	۴/۳	۵/۵
۱۸	۴/۸۹	۶/۳	۵/۶	۱۱/۸	۱۸۲/۵	۷/۷۹	۶/۷	۵	۵/۵
۱۹	۳/۶۴	۶/۲	۴	۱۲/۲	۲۲۱	۱۱/۲۷	۱۲/۴	۳/۴	۵
۲۰	۶/۹۳	۵/۴	۶/۵	۱۰/۸	۲۰۸/۸	۶/۱۴	۴/۲	۵/۹	۶/۱
۲۱	۲/۴۲	۶/۲	۴/۶	۱۳/۳	۱۷۵/۶	۷/۸۵	۶/۶	۴/۶	۵/۵
۲۲	۳/۷۹	۷	۳	۱۴/۳	۲۵۶/۸	۱۱/۳۲	۱۱/۳	۲/۱	۴/۷
۲۳	۲/۰۳	۸/۲	۴/۴	۱۵/۱	۲۷۹/۹	۱۰/۵۲	۱۰/۹	۳/۲	۵/۱
۲۴	۳/۰۸	۷	۱/۲	۱۳/۸	۲۳۵/۲	۱۵/۳۵	۱۸/۹	۱/۴	۴/۲
۲۵	۳/۰۳	۷/۹	۳/۷	۱۴	۲۱۷/۳	۱۲/۵۷	۱۴/۲	۲/۴	۴/۷
۲۶	۱/۸۸	۶/۶	۳/۳	۱۳/۵	۲۰۶/۶	۱۲/۷۳	۱۳/۷	۱/۷	۴/۵
۲۷	۳/۸۷	۶/۵	۲/۱	۱۲/۹	۱۶۵/۱	۱۵/۶۳	۲۰	۱/۵	۴/۳
۲۸	۴/۰۳	۷	۱	۱۳/۸	۲۷۰/۹	۱۵/۲۳	۱۹	۱/۶	۴/۳



شکل ۳- a: شاخص رطوبت توپوگرافی. b: کاربری زمین. c: لیتولوژی. d: خاک

۳-۲- روش مدل سازی

جهت تهیه مدل آماری رگرسیون چندمتغیره، ابتدا تراکم شبکه آبراهه برای ۲۸ زیر حوضه محاسبه گردید. در قدم بعدی برای اینکه بتوان از لایه‌های اطلاعاتی (لیتولوژی، کاربری اراضی و لایه‌های مستخرج از DEM) به عنوان متغیرهای مستقل یا فاکتورها تأثیر گذار در محاسبات زمین آماری استفاده شود، می‌بایست این فاکتورها از حالت توصیفی و نمایی به حالت عددی و وزنی درآیند به همین دلیل طبقه‌بندی هریک از لایه‌ها را بر اساس میزان حساسیت به فرسایش ارزش‌دهی شده، و محاسبات آماری را بر اساس مقادیر وزنی انجام گرفت. این ارزش‌دهی بر مبنای دیدگاه کارشناسی و با مشورت آنان صورت گرفت.

از آنجا که فاکتورهای مورد استفاده به عنوان فاکتورهای مؤثر در فرسایش خندقی و فرسایش خاک در این تحقیق، ۸ فاکتور بوده‌است؛ در قدم بعد میانگین وزنی هریک از لایه‌های اطلاعاتی (فاکتورهای زمینه ساز) در قالب ۲۸ میانگین برای ۲۸ زیر حوضه محاسبه گردید.

۳- نتایج و بحث

در محیط نرم‌افزار SPSS عامل تراکم آبراهه به عنوان متغیر وابسته یا فاکتور تأثیرپذیر و ۸ فاکتور (لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک و لایه‌های مستخرج از DEM) به عنوان متغیرهای مستقل یا فاکتور اثرگذار وارد شده و با انجام آماره رگرسیون چند متغیره جدول ۲ به دست آمد.

با توجه به میزان همبستگی بین متغیر وابسته و فاکتورهای اثرگذار یا متغیرهای مستقل در روش عقب گرد^{۱۰} در نرم افزار SPSS از بین ۸ متغیر مستقل در مجموع ۴ فاکتور لیتولوژی، کاربری زمین، خاک و شاخص رطوبت توپوگرافی (شکل ۳) به عنوان تأثیرگذارترین فاکتورها شناخته شده و متغیرهای مستقل دیگر به علت همبستگی ضعیف با متغیر وابسته به طور خودکار از فرآیند محاسبه حذف شدند.

با استفاده از ضرایب استخراج شده از جدول ۲ و فاکتورهای تأثیرگذار رابطه رگرسیونی استخراج گردید (رابطه ۴).

$$S^{11} = 3.425 + (2.655 * \text{Lithology}) + (-1.308 * \text{Land_Use}) + (-2.355 * \text{Soil}) + (3.648 * \text{TWI}) \quad (4)$$

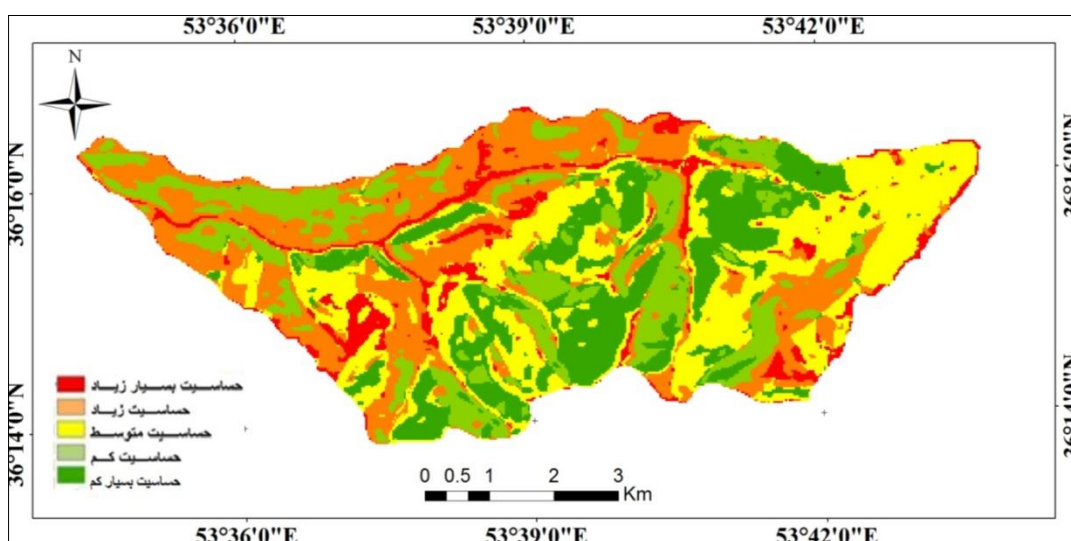
مبتنی بر رابطه رگرسیونی (رابطه ۴) و فاکتورهای اثرگذار (شکل ۳) نقشه حساسیت به فرسایش خندقی استخراج و بر پایه تحلیل‌های مکانی در محیط نرم‌افزاری منطقه مورد مطالعه از نظر حساسیت به خندقی شدن به ۵ طبقه، دسته‌بندی شد (شکل ۴)؛ که بیشترین سهم به طبقه با حساسیت کم و کمترین سهم از نظر مساحت به طبقه با حساسیت خیلی زیاد نسبت داده شد (شکل ۵). با بررسی نقشه و درصد‌های به دست آمده مشخص گردید که بیشترین حساسیت به فرسایش خندقی در بخش‌های شمالی و شرقی و تاحدودی جنوب غرب منطقه پراکنده شده است که در این باره می‌توان گفت؛ فاکتورهای لیتولوژی، خاک و رطوبت توپوگرافی (TWI) در صدر فاکتورهای اثرگذار قرار داشته و بعد از آن فاکتور کاربری زمین در رده بعدی قرار دارد.

از تحلیل‌های آماری به دست آمده این چنین می‌توان استنباط کرد که در مدل رگرسیون چند متغیره بر اساس روش عقب‌گرد (جدول ۲) که تمام متغیرهای مستقل (فاکتورهای تأثیرگذار) از مهمترین تا کم اهمیت‌ترین آن‌ها به صورت مرحله‌ای وارد مدل شدند (فرج زاده، ۱۳۸۸)، فاکتورهای لیتولوژی، خاک، کاربری زمین و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) به عنوان فاکتورهای مورد قبول در ارتباط با ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته در نظر گرفته شدند.

از نظر ضریب تعیین (R^2) می‌توان گفت ۰/۷۳ درصد از تغییرات در متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل لیتولوژی، خاک، کاربری زمین و شاخص رطوبت توپوگرافی قابل توجیه است، و میزان ضریب تغییرات ۲۷ درصد می‌باشد که این ارتباط در سطح ۰/۹۱ معنی دار است؛ که در این ارتباط عامل لیتولوژی بیشترین نقش را داشته است. به طوری که بالاترین درصد از سهم اختصاص داده شده به میزان خندقی شدن در طبقه بسیار زیاد، درون لایه‌های ماری و شیل، رس و ماسه سنگ آهن دار همراه با افق لاتریتی مربوط به ژوراسیک قرار گرفته است (شکل ۶b). از نظر نوع کاربری زمین، بیشترین تجمع آبراه‌های کاربری‌های بایر قرار گرفته است که نشان‌دهنده نوع ارتباط عوامل فرساینده با پوشش سطحی منطقه می‌باشد (شکل ۶a). همچنین از نظر شاخص رطوبت توپوگرافی، می‌توان دریافت که بیشترین

میزان چگالی آبراهه‌ای مربوط می‌گردد به مقادیر بالای رطوبت توپوگرافی؛ و به دلیل همبستگی مثبت بین مقادیر رطوبت توپوگرافیک و میزان رواناب حاصل از بارندگی، هر بخش از یک عارضه توپوگرافیک که دارای بیشترین مقدار رطوبت توپوگرافیک باشد میزان رواناب آن نیز بیشتر بوده و در صورت مهیا بودن عوامل و فاکتورهای دیگر می‌توان در چنین شرایطی شاهد توسعه بیشتر خندق‌ها بود (شکل ۶c). فاکتور خاک نیز به این دلیل که در تشکیل و توسعه، تا حد زیادی وابسته به عامل لیتولوژیک می‌باشد، در فرآیند توسعه فرسایش خندقی، توانسته است اثر چشم‌گیری داشته باشد. به این صورت که هر جا فرآیند خاک‌زایی توانسته به خاک‌هایی با عمق مناسب دست پیدا کند، عوامل فرسایشی نیز این مناطق را دستخوش تغییر نموده اند (شکل ۶d).

ضریب همبستگی فاکتور لیتولوژی در ارتباط با تراکم آبراهه ۰/۱۸ بود (شکل ۷b). این رابطه مابین فاکتور کاربری زمین و تراکم آبراهه به ۰/۴۲ می‌رسد (شکل ۷a) که این موضوع بیانگر ارتباط منطقی‌تر و قوی‌تری بین کاربری و تراکم آبراهه می‌باشد. ارتباط بین فاکتور خاک و متغیر تراکم آبراهه ۰/۱۴ می‌باشد (شکل ۷c) و ضریب همبستگی بین شاخص رطوبت توپوگرافی و تراکم آبراهه ۰/۰۸۷ است (شکل ۷d) که گویای ضعیف‌ترین میزان همبستگی است. نکته قابل ذکر این که تمامی ضرایب مثبت بوده و در واقع رابطه مستقیم و خطی بین این فاکتورها و متغیر تراکم آبراهه وجود دارد که این موضوع مربوط می‌گردد به نوع وزندهی به زیر فاکتورها در برابر حساسیت به فرسایش خندقی. چنانکه این وزندهی در ارتباط با افزایش خندق‌ها روندی رو به رشد داشته باشد نتیجه همبستگی مثبت خواهد بود که در این تحقیق به روشنی قابل مشاهده است. بنابراین می‌توان گفت که به ترتیب فاکتورهای کاربری زمین، لیتولوژی، خاک و شاخص رطوبت توپوگرافی دارای ضریب همبستگی مثبت و نسبتاً بالایی با متغیر تراکم آبراهه هستند. به این علت که کاربری زمین، بالاترین میزان همبستگی را با تراکم آبراهه منطقه به خود اختصاص داده می‌بایست در برنامه‌ریزی‌های محیطی به موضوع کاربری‌ها و مدیریت آن‌ها توجه بیشتری شود.

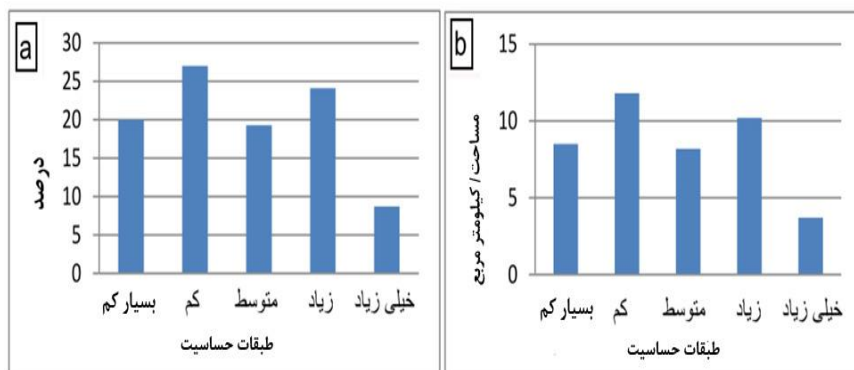


شکل ۴- نقشه طبقه بندی حساسیت به خندقی شدن

جدول ۳:- ضرایب شاخص های موثر

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
5	(Constant)	۳/۴۲	۳/۹۴		۰/۸۶۸	۰/۹۳۴
	Lithology	۳/۶۵	۰/۵۳	۱/۴۰	۴/۹۸	۰
	Land_use	-۱/۳۰	۰/۵۲	-۰/۹۶	-2.482	۰/۰۲۱
	Soil	-۲/۳۵	۰/۵۰	-۱/۳۵	-۴/۶۹	۰
	TWI	۳/۶۵	۱/۱۸	۰/۸۰	۳/۰۹	۰/۰۰۵

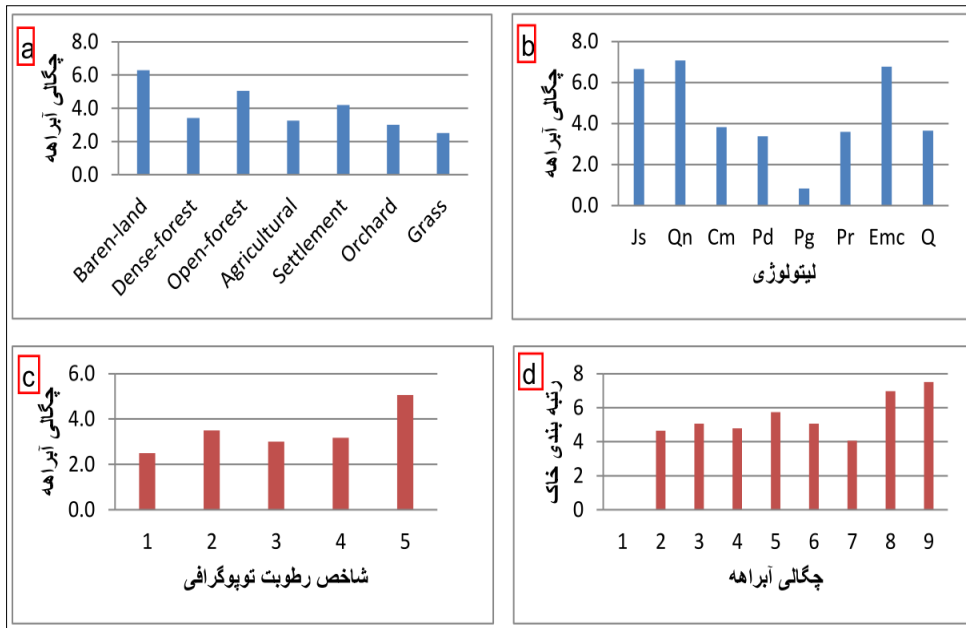
a. Dependent Variable: Density



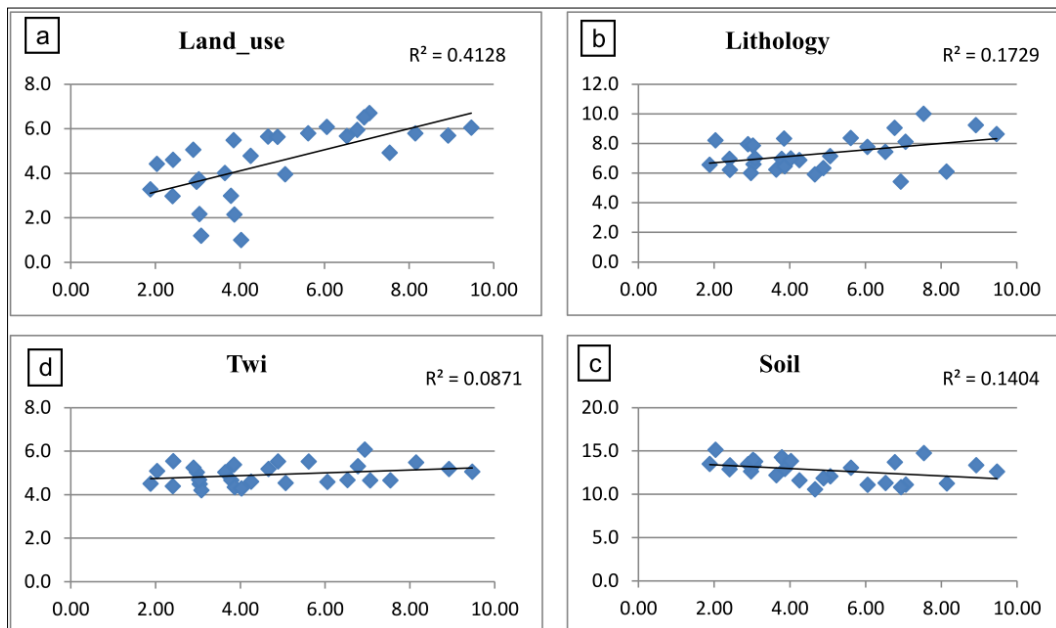
شکل ۵ - a: درصد مجموع طبقات حساسیت / b: میزان مساحت طبقه های حساسیت

جدول ۲- ضرایب فاکتورهای مؤثر

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
۱	۰/۸۸۸	۰/۷۸۸	۰/۶۹۸	۱/۱۸۲۲
۲	۰/۸۷۸	۰/۷۷۰	۰/۶۹۰	۱/۱۹۹۳
۳	۰/۸۶۷	۰/۷۵۲	۰/۶۸۱	۱/۲۱۶۶
۴	۰/۸۶۲	۰/۷۴۳	۰/۶۸۵	۱/۲۰۸۳
۵	۰/۸۵۵	۰/۷۳۱	۰/۶۸۴	۰/۲۰۹۴



شکل ۶ - a: همبستگی کاربری زمین و چگالی آبراهه / b: همبستگی لیتولوژی و چگالی آبراهه c: همبستگی شاخص رطوبت توپوگرافی و چگالی آبراهه d: همبستگی فاکتور خاک و چگالی آبراهه



شکل ۷ - ضرایب همبستگی بین متغیرهای a: کاربری زمین / b: لیتولوژی / c: خاک / d: شاخص رطوبت توپوگرافی

وجود ضریب همبستگی بالا ۸۵ درصد با ضریب تبیین کاملاً توجیه کننده ۷۲ درصد در سطح معنی داری ۹۵ درصد نشانگر نقش عامل توپوگرافی در افزایش شیب کف خندق‌ها و شدت فرسایش خطی می‌باشد. رابطه معکوس بین شیب و طول خندق‌های منطقه با ضریب تبیین ۲۰ درصد و همبستگی منفی ۴۵ درصد وجود دارد، بدین مفهوم که با افزایش محل پیدایش خندق‌ها طول آنها کاهش یافته‌است. در این تحقیق علاوه بر پارمترهای استفاده شده همچون لیتولوژی، کاربری زمین، خاک، شیب، جهت شیب از شاخص‌های دیگری چون شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان و فاکتور طول دامنه نیز استفاده شد. که به علت دقت نامناسب مدل رقومی ارتفاع منطقه در محاسبات آماری و رگرسیون چندمتغیره بین فاکتورهای شاخص قدرت جریان و فاکتور طول دامنه، شیب و جهت شیب و تراکم آبراهه منطقه، همبستگی مناسبی برقرار نشد و به همین علت از بین ۸ فاکتور ۴ فاکتور لیتولوژی، کاربری زمین و خاک و شاخص رطوبت توپوگرافی به عنوان تأثیرگذارترین فاکتورها شناسایی شدند. به بیان دیگر از نقاط قوت این تحقیق جلوگیری از ورود فاکتورهایی با تأثیرگذاری ضعیف به فرآیند محاسبات بودند.

منابع

۱. احمدی، حسن، ۱۳۹۰، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱، (فرسایش آبی) چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۷۶-۲۵۲ صفحه.
۲. احمدی، مهدی، ۱۳۹۰، تحلیل عوامل موثر بر شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوضه دشت کهور لامرد، فارس)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران، صفحه ۱۰۳.
۳. ثروتی، محمدرضا، قدوسی، جمال، دادخواه، معصومه، عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی شماره ۷۸، بهار ۱۳۸۷.
۴. خلیلی، ناصر، ۱۳۷۶، بررسی خصوصیات مرفومتری خندق‌ها در سازندهای مختلف زمین‌شناسی پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۳ صفحه.
۵. درویش زاده، علی، ۱۳۸۹، زمین‌شناسی ایران چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم، انتشارات امیرکبیر، صفحه ۲۴۶.
۶. شادفر، صمد، ۱۳۸۹، مقدمه‌ای بر فرسایش خندقی، نشر انتخاب.
۷. شهریور، عبدل، ۱۳۷۶، بررسی عوامل موثر بر ایجاد فرسایش خندقی و ارائه مدل در منطقه سوق از شهرستان دهدشت - پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۸. صوفی، مجید، ۱۳۸۳: بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک خندق‌های استان فارس، گزارش طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

۹. عابدینی، موسی، پاییز و زمستان ۱۳۸۴: پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادیشهر (شمال غرب آذربایجان شرقی) از طریق روش ها و تکنیک های جدید، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۳۴، ۵۵-۴۴.
۱۰. فرج زاده، منوچهر، ۱۳۸۸، تکنیک های اقلیم شناسی، انتشارات سمت.
۱۱. قدوسی، جمال، ۱۳۷۳، رشد و گسترش خندق ها، انتشارات موسسه تحقیقات، جنگلها و مراتع کشور، گزارش پژوهشی.
۱۲. قدوسی، جمال، ۱۳۸۲، مدل سازی مرفولوژی فرسایش خندقی و پهنه بندی خطر آن (مطالعه موردی در آبخیز زنجان رود) رساله دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۱۳. کریمی، محمد، ۱۳۷۷، بررسی عوامل موثر بر فرسایش خندقی و معرفی مناسب ترین راه های مهار آن در منطقه زهان قائن- پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشکده تربیت مدرس.
۱۴. محمودی، فرج الله، ۱۳۸۶، ژئومورفولوژی دینامیک، انتشارات پیام نور.
۱۵. مورگان، آر. پی. سی. ۱۹۸۶، فرسایش و حفاظت خاک، ترجمه دکتر. ا. علیزاده، ۱۳۶۸، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، صفحات ۴۷-۴۳.
16. Bradford, J. and R. piest, 1980; Erosional development of valley bottom gullies in the upper Midwestern united states, In: coates, D.R., Vited, J.D., Geomorphic thresholds, Dowden and culver, Stroudsburg, Pennsylvania, pp.75-101.
17. Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Land forms*, 16, 427-445
18. Dai, F.C., Lee, C.F., Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environment Geology* 40, 381-391.
19. Federica Lucà, Massimo Conforti, Gaetano Robustelli., 2011, Comparison of GIS-based gully susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy, *Geomorphology*, 134, pp.297-308
20. Federica Lucà, Massimo Conforti, Gaetano Robustelli, 2011: Comparison of GIS-based gully susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics : northern Calabria, south Italy, Elsevier, 134, p 299.
21. Heede, B.H., 1970; Morphology of gullies in the Colorado rocky mountains, *Bulletin of the international association of Scientific Hydrology*. xv, 2: 79-89.
22. Keller, Edward A., 2011. *Environmental Geology*, University of California, Pearson, ISBN-13: 978-0-321-64375-9
23. Lee, S., 2004, Soil erosion assessment and its verification using the Universal Soil Loss Equation and geographic information system : a case study at Boun, Korea. *Environmental Geology*, 45, 457-465.

24. Poesen, J. and G. Govers. 1990; Gully erosion in the loam belt of Belgium. Typology and Control Measures. Soil Erosion on Agricultural Land. Edited by J. Boardman, I.D.L. Foster and J.A. Dearing. John Wiley and sons Ltd. pp.513-530.

Soil science society of America, 1984, Glossary of soil science terms. Madison, Wisconsin.