

## مدل سازی مشخصات ژئومتری فرسایش خندقی

### (مطالعه موردی: استان ایلام)

- ❖ **قباد رستمی زاد\***: استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران.
- ❖ **علی سلاجقه**: استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ **علی اکبر نظری سامانی**: دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
- ❖ **جمال قدوسی**: استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.

#### چکیده

یکی از انواع فرسایش های آبی که موجب تخریب اراضی و بر هم خوردن تعادل در پهنه های منابع طبیعی می شود، پدیده فرسایش خندقی است. تخریب اراضی، بر هم خوردن منظر زمین و تعادل اکولوژیک و به مخاطره افتادن منابع زیستی در این مناطق، از جمله موارد دیگری است که پژوهش در مورد فرسایش خندقی به ویژه در شهرستان دره شهر را گریزناپذیر و الزامی می کند. در همین راستا تعداد ۳۶ خندق در پهنه خندقی دره شهر در استان ایلام انتخاب شدند. سپس عوامل محیطی، خصوصیات فیزیکی-شیمیایی خاک، پوشش و هیدرولوژیکی خندق های مورد آزمون با استفاده از عکس های هوایی، نقشه های رقومی مربوطه و عملیات های میدانی مشخص شدند. برای تعیین میزان اثرگذاری این عوامل بر روی هریک از مشخصات ژئومتری خندق با استفاده از منطق فازی و نظریه اطلاع، تابع عضویت و وزن تابع عضویت هریک از عوامل محاسبه شد. سپس رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل با استفاده از رگرسیون چند متغیره بدست آمد. نتایج بررسی های آماری با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره گام به گام نشان داد که طول خندق با مساحت بالادست خندق، عرض بالا و پایین و سطح مقطع خندق با ضریب گردی حوضه، عمق خندق با ضریب گردی حوضه و انحنای دامنه، ارتفاع پیشانی خندق با شیب محلی سر خندق و شیب جداره خندق با درصد تاج پوشش رابطه معنی داری دارند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که مشخصات ژئومتری خندق در منطقه مورد مطالعه تابعی از سطح بالادست، ضریب گردی حوضه، انحنای دامنه، شیب محلی سر خندق و درصد تاج پوشش حوزه آبخیز خندق خواهد بود.

**کلید واژگان:** خصوصیات ژئومتری، رگرسیون چندمتغیره، فرسایش خندقی، منطق فازی، نظریه اطلاع

## ۱. مقدمه

فرسایش آبی یک مشکل در سراسر جهان بوده که باعث پدیده تخریب اراضی در مناطق نیمه مرطوب تا خشک می شود [۵ و ۶]. فرسایش خندقی به دلیل تخریب اراضی و غیر قابل استفاده کردن آن ها یکی از خطرناک ترین نوع فرسایش های آبی می باشد. به طوری که در صورت رخداد و گسترش فرسایش خندقی مبارزه با آن افزون بر هزینه بر بودن در بسیاری از موارد با مشکل روبرو می شود [۱]. با توجه به این که فرسایش خندقی غالباً در شیب های زیر ۱۵٪ اتفاق می افتد و اراضی واقع در این شیب معمولاً از نظر اقتصادی و اجتماعی برای انسان ها بسیار با اهمیت می باشند و چون محل گسترش مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی هستند، مطالعه پیرامون این نوع از فرسایش و تعیین میزان هدر رفت خاک ناشی از آن از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود. فرآیندی که منجر به ایجاد خندق و توسعه آن در سطح می گردد با جاری شدن آب و فرسایش صفحه ای و ایجاد شیارهای سطحی متأثر از فرسایش شیاری با شیب هم سان نسبت به دامنه آغاز شده و با گذشت زمان و با عمیق شدن شیارها ادامه می یابد [۱۴]. خطر فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه خشک، به ویژه در محدوده های کوهستانی از موارد قابل توجه در آمایش سرزمین است. فرسایش خاک در این مناطق از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی و یا به طور کلی از آثار بارز تغییرات محیطی و اکولوژیک به حساب می آید [۴ و ۲۳]. پیامدهای فرسایش شامل تلفات خاک، ته نشینی رسوب در مخازن و از بین رفتن زمین های زراعی و پوشش گیاهی می باشد [۸ و ۲۰]. از میان انواع مختلف فرسایش آبی، فرسایش خندقی یکی از مهم ترین رخداد های مؤثر در نابودی خاک، تغییر منظر زمین و تخریب منابع آبی و پسرفت اراضی است. این نوع فرسایش از دو جنبه بر محیط زیست تأثیر می گذارد. الف) با تخریب افق های سطحی و زیرین خاک، موجب تولید رسوب در حجم زیاد و نابودی بستر تولید می شود، ب) باعث تشدید در تخلیه رواناب های سطحی و

کاهش حجم جریان آب های زیرزمینی از طریق کو تاه کردن ارتباط بین مناطق بالادست و پایین دست می شود [۱۶].

یکی از مهم ترین مسائل در بحث پایش و ارزیابی فرسایش خندقی تعیین معیاری جهت استخراج و شناخت این نوع از فرسایش است. در پژوهشی در منطقه کیا سر 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 ویژگی های 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 (رابطه ۱) بین عوامل مذکور شد. در نهایت به این نتیجه رسیدند که چهار متغیر لیتولوژی، کاربری زمین، خاک و شاخص رطوبت توپوگرافی به عنوان مؤثرترین عوامل و فاکتورهای زمینه ساز در فرآیند فرسایش خندقی انتخاب و بر اساس میزان همبستگی هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته ضرایب مربوطه محاسبه گردید [۹].

تحقیقات در حوضه دشت کهور لامرد، نشان می دهد 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 خندق های منطقه قرار دارد [۲].

بررسی علل توسعه فرسایش خندقی در حوزه آبخیز علی آباد استان گیلان نشان داد که سنگ شناسی و تیپ اراضی از عوامل تأثیرگذار در وقوع فرسایش خندقی هستند [۲۱]. عوامل اصلی مؤثر در فرسایش خندقی در جنوب هند، زمین شناسی، کاربری اراضی و کمبود پوشش گیاهی و مکان به وجود آمدن برخی از انواع خندق ها به صورت متفاوت بر سطح دره ها و کوهپایه ها ذکر شده است [۸]. مقایسه فرسایش خندقی در کاربری های زراعی و مرتعی

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 سازه‌ها و گچساران نشان داد که دو عامل درصد نمک‌های محلول و مساحت حوضه خندق بیشترین تأثیر را در ایجاد فرسایش خندق داشته است [۲].

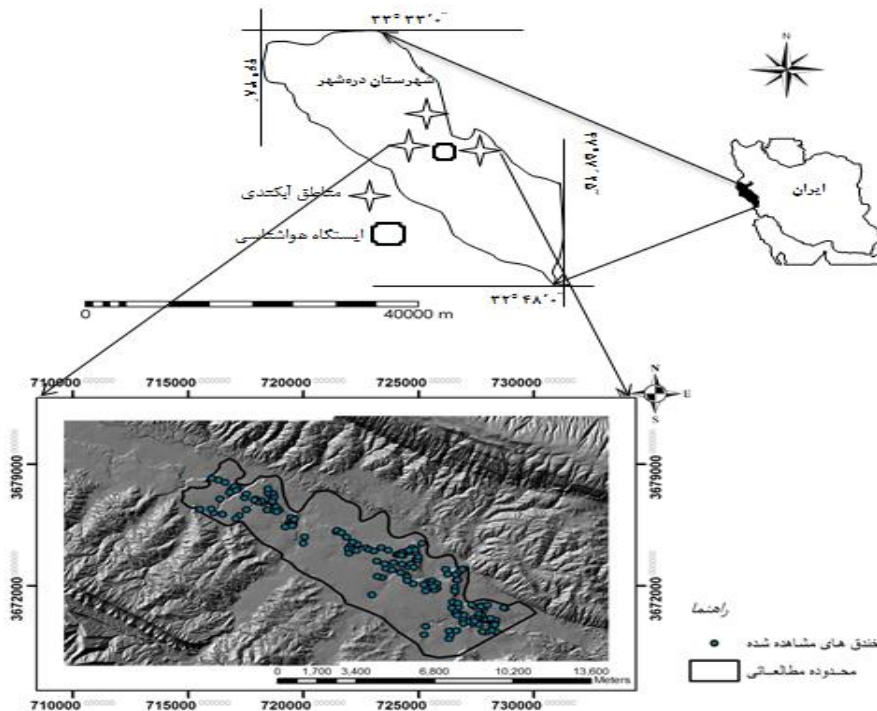
باتوجه به اهمیت و نقش فرسایش خندقی در میزان هدر رفت خاک و تخریب اراضی افزون بر تولید رسوب به ویژه در منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود اراضی حاصلخیز کشاورزی با پتانسیل بالای تولید و نزدیکی این اراضی به مناطق شهری شهرستان دره‌شهر، هدف از انجام این تحقیق مشخص نمودن عوامل محیطی مؤثر در گسترش خصوصیات ژئومتری فرسایش خندقی و همچنین پیش‌بینی آن‌ها می‌باشد. بنابراین شناسایی عوامل مؤثر در گسترش این فرایند می‌تواند رهیافتی جهت کمک به مدیران و مسئولان برای مهار و جلوگیری از گسترش فرسایش خندقی باشد.

## ۲. روش‌شناسی

### ۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

پهنه‌های خندقی متعددی در استان وجود دارد که در این تحقیق پهنه دره‌شهر مورد بررسی قرار گرفت. این پهنه در شهرستان دره‌شهر و در شرق استان ایلام واقع گردیده است. محدوده جغرافیایی آن بین  $30^{\circ}08'47''$  تا  $33^{\circ}03'46''$  طول جغرافیایی و  $14^{\circ}12'33''$  تا  $23^{\circ}03'33''$  عرض جغرافیایی قرار دارد. سازند زمین‌شناسی از رسوبات دریاچه‌ای تشکیل شده که ناشی از زمین لغزش بزرگ سیمره است [۱۷]. اقلیم پهنه نیمه‌خشک سرد است که براساس ایستگاه سینوپتیک دره‌شهر دمای متوسط منطقه  $21^{\circ}$  درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش منطقه  $497$  میلی‌متر است. مساحت پهنه خندقی مورد مطالعه  $5988$  هکتار، ارتفاع متوسط پهنه از سطح دریا  $427$  متر و شیب متوسط  $12$  درصد است (شکل ۱).

در حوزه آبخیز رباط ترک مورد بررسی قرار گرفت. بافت، مواد آلی، درصد گچ و آهک، هدایت الکتریکی و SAR نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. با نقشه‌برداری از خندق‌ها، خصوصیات مورفومتری و ژئومتری آن‌ها اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که میزان SAR و کاتیون سدیم سبب پخشیدگی ذرات خاک و تشدید فرسایش خندقی در هر دو واحد کاری شده است. در واحد کاری زراعی میزان ماده آلی از  $34/4$  تا  $99/1$  درصد و در واحد کاری مرتعی میزان ماده آلی از  $93/4$  الی  $33/4$  درصد تغییر می‌کند. در واحد کاری مرتعی در یک سطح مشخص تعداد خندق‌ها بیشتر و نسبت به واحد کاری زراعی فعال‌تر هستند. ضمناً نتایج نشان داد که عواملی مانند pH و EC نیز در واحد کاری مرتعی بیشتر از واحد زراعی می‌باشند. در هر دو واحد نسبت عرض به عمق در تمامی خندق‌ها بیش از یک بوده و میزان نفوذ پذیری خاک در واحدهای کاری زراعی و مرتعی به ترتیب  $92/4$  و  $42/3$  سانتی‌متر بر ساعت می‌باشند [۲۲]. در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز رودخانه ماگازولو تجزیه و تحلیل شرایط حساسیت به پدیده فرسایش خندقی و تست کردن روشی که امکان انتخاب عوامل محرک را فراهم آورد، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ارزیابی کمی حساسیت به فرسایش خندقی، روابط آماری بین توزیع مکانی سطح مؤثر خندق‌ها و مجموعه‌ای از  $20$  متغیر محیطی تجزیه و تحلیل شد. برای هر یک از این متغیرها، DEM  $40$  متری تهیه شده و همچنین متغیرهای توپوگرافی بر اساس مقادیر انحراف معیار طبقه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که تفاوت‌های زیاد مقدار دقت و صحت از طریق محاسبه شاخص‌های ژئومتری منحنی‌های اعتبارسنجی تأیید شد (منحنی‌های مقدار موفقیت و پیش‌بینی؛ منحنی‌های ROC) برای هر یک از مدل‌های تک متغیره رسم شد. 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



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان ایلام

## ۲،۲. روش تحقیق

### ۱،۲،۲. جمع آوری و تهیه آمار و اطلاعات

آمار و اطلاعات پایه مورد نیاز شامل نقشه‌های پایه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان‌های جغرافیایی ارتش و سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه منابع اراضی و خاک‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مؤسسه حفاظت آب و خاک می‌باشد. داده‌های هواشناسی شامل کلیه ایستگاه‌های باران‌نگاری، باران‌سنجی و دما در منطقه تحقیق به منظور مشخص نمودن خصوصیات تفصیلی پارامترهای بارش و دما در منطقه و استفاده از آن‌ها در تجزیه و تحلیل هیدرولوژی مناطق خندقی شده مورد استفاده قرار گرفت. خصوصیات مربوط به هریک از نقشه‌های پایه در نقاط آموزشی (تعلیمی) با استفاده از دستگاه GPS در کل منطقه تحقیق شامل سنگ‌شناسی، نوع تراکم پوشش با استفاده از پلات‌های استاندارد ارزیابی مراتع (۱\*۱) متر و

ترانسکت، کاربری اراضی و همچنین اندازه‌گیری شیب در محل نقاط تعلیمی با استفاده از شیب‌سنج انجام گرفت. به این ترتیب هر یک از موارد مذکور مستقیماً از طریق اندازه‌گیری میدانی مشخص شده و در مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها از آن‌ها جهت تعیین خصوصیات مکانی مناطق خندقی شده استفاده شد.

### ۲،۲،۲. عملیات‌های میدانی (صحرایی)

#### ۱،۲،۲،۲. اندازه‌گیری خصوصیات ژئومتری و

##### توپوگرافی خندق‌ها

اندازه‌گیری خصوصیات ژئومتری خندق‌ها شامل عمق، طول، عرض بالا و پایین، سطح مقطع، شیب جانبی، از طریق نقشه‌برداری در عرصه با استفاده از دوربین نقشه‌برداری توتال در سه مقطع (رأس خندق، میانه و دهانه خروجی خندق) انجام گرفت. سپس به کمک نرم‌افزار AutoCad و AutoCad Land Civil3D مدل ابعادی هریک از خندق‌ها در محیط نرم‌افزار طراحی گردید و بعد از آن

دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت [۱۵].

$$Q=1/360CiA \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این معادله:  $i$ : شدت بارندگی بر حسب سانتی متر بر ساعت،  $A$ : سطح حوضه (هکتار)،  $C$ : ضریب رواناب،  $Q$ : حداکثر دبی رواناب (مترمکعب در ثانیه) می‌باشد. برای به دست آوردن شدت‌های بارش با دوره بازگشت‌های مختلف نیز از رابطه بل (۱۹۶۹) استفاده شد [۳].

$$\text{رابطه (۵)}$$

در این فرمول  $t$  مدت بارندگی بر حسب دقیقه،  $T$  دوره بازگشت بر حسب سال،  $P_{1060}$  مقدار باران یک ساعته با دوره بازگشت ده سال بر حسب میلی‌متر و  $PTt$  مقدار باران  $t$  دقیقه‌ای مورد نظر بر حسب میلی‌متر با دوره بازگشت  $T$  (سال) می‌باشد. مقدار  $P_{1060}$  به صورت زیر برای نقاط مختلف ایران محاسبه شده است [۳].

$$P_{1.0}^{60} = 2.26(P_{24hr})^{0.1374}(P_{year})^{-0.3072} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن (P24h) متوسط حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته و (Pyear) متوسط بارندگی سالانه منطقه بر حسب میلی‌متر می‌باشد. با استفاده از روابط فوق، بارش با شدت و دوره بازگشت‌های مختلف و همچنین دبی با دوره بازگشت‌های مختلف به دست آمد.

### ۳،۲،۲. تجزیه و تحلیل آماری

رابطه بین گسترش طولی و حجمی خندق با خصوصیات زمین محیطی در شرح فوق بر اساس روش‌های تجزیه و تحلیل همبستگی ساده و چندگانه و مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی همبستگی بین متغیرهای وابسته و مستقل با استفاده از

مشخصات ژئومتری خندق‌ها استخراج شد. محدوده آبخیز هر خندق از طریق عملیات میدانی (با استفاده از GPS) و همچنین با استفاده از نقشه توپوگرافی و عکس‌های هوایی به منظور تعیین مساحت بالادست هر خندق مشخص شد.

### ۲،۲،۲.۲. نمونه‌برداری و تعیین فاکتورهای فیزیکی

#### و شیمیایی خاک

جهت مشخص کردن فاکتورهای خاک‌شناسی در سه مقطع (رأس، وسط و خروجی) در طول هر یک از خندق‌ها و در هر مقطع سه نمونه خاک در بخش سطحی (۵۰-۰ سانتی‌متر)، بخش عمقی (۵۰ تا کف) و کف تهیه گردید که هر نمونه پس از برداشت خاک و همگن‌سازی آن استخراج شد. نمونه‌های خاک پس از برداشت از صحرا در سایه خشک گردیده و سپس با یک چکش چوبی کوبیده و پس از عبور از الک ۲ میلی‌متری به آزمایشگاه منتقل گردید. با انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، آنالیزهای مختلف بر روی آن‌ها انجام گرفت و به ترتیب بافت خاک به روش هیدرومتری بویکس و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با دستگاه هدایت سنج الکتریکی EC Meter Genwey مدل ۳۳۱۰ تعیین گردید. اندازه‌گیری مقدار یون سدیم در عصاره اشباع خاک به روش فلایم فتومتری و اندازه‌گیری مقدار یون کلسیم و منیزیم در عصاره اشباع به روش تیتراسیون برگشتی با ورسین و سپس میزان نسبت جذب سدیم (SAR) محاسبه گردید (رابطه ۳). همچنین تعیین اسیدیته خاک در گل اشباع به وسیله الکتروود شیشه به کمک دستگاه pH سنج مدل ۷۴۴ تعیین شد. مقدار آهک نمونه‌های خاک به روش کلسی‌متری انجام گرفت و جهت اندازه‌گیری مقدار گچ نمونه‌های خاک از روش حذف آب کریستالی استفاده گردید. همچنین مقادیر مواد آلی نمونه‌های خاک از روش اکسیداسیون تر بدست آمد.

### ۳،۲،۲.۲. وضعیت هیدرولوژیکی خندق‌ها

وضعیت هیدرولوژیکی هر یک از خندق‌ها با استفاده از روش استدلالی در اراضی خندقی شده با در نظر گرفتن

$$K = 1 + 2.2 \log N \quad (۸)$$

$$a = \frac{R}{k} = \frac{X_{max} - X_{min}}{K} \quad (۹)$$

$$b = X_{max} - a \quad (۱۰)$$

$$\mu(x) = \frac{x-a}{b} \quad (۱۱)$$

که در آن ها، K: تعداد طبقات، N: حجم جامعه، R: دامنه تغییرات، Xmax و Xmin به ترتیب حد بالا و پایین داده‌ها،  $\mu(x)$ : تابع عضویت و a: فاصله طبقات می‌باشد.

بر اساس روابط ذکر شده تعداد طبقات، فاصله طبقات، دامنه طبقات، تابع عضویت و ارزش وزنی برای هر یک از متغیرهای وابسته (عوامل ژئومتری خندق) و متغیرهای مستقل که با متغیرهای ژئومتری رابطه معنی‌داری داشتند، محاسبه شد. بعد از این مرحله، اقدام به رسم اسکالوگراف و تابع عضویت هر عامل گردید و سپس با توجه به شکستگی‌های موجود در اسکالوگرام طبقات و دامنه آن‌ها را مشخص شد. از این طریق می‌توان پارامترهای مؤثر در گسترش خندق را شناخته و رابطه بین آن‌ها را به دست آورد. برای این منظور از روش‌های رگرسیون چندگانه گام‌به‌گام جهت به دست آوردن روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته استفاده شد.

#### ۵.۲.۲. اعتبارسنجی مدل

برای اعتبارسنجی مدل ساخته و ارائه شده، از اطلاعات خندق‌هایی که قبلاً در ساخت و توسعه مدل از داده‌ها و آمار و اطلاعات آن استفاده نشده و دارای شرایط محیطی مشابه منطقه بودند استفاده شد. برای این منظور تعداد ۸ خندق در منطقه شناسایی شد و مدل ابداعی در آبخیز خندق‌های انتخاب شده اجرا شده و خروجی آن با داده‌های واقعی (اندازه‌گیری شده در همان خندق) با

نرم‌افزار SPSS، از ضریب همبستگی پیرسون (چون داده‌ها پیوسته بوده) استفاده شد. لازم به ذکر است که برای این منظور نرمال بودن داده‌ها با استفاده از تست کلموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت که نشان داد داده‌ها نرمال بوده (حدود اعتماد آن‌ها بیشتر از ۰/۰۵) و سپس ماتریکس همبستگی آن‌ها به دست آمد.

#### ۴.۲.۲. مدل‌سازی ژئومتری

مدل‌سازی با استفاده از خروجی‌های بند قبل و با به کارگیری منطق فازی مبتنی بر روش اسکالوگرام انجام گرفت. در تحقیق حاضر با توجه به به کارگیری روش منطق فازی، از سیستم وزن‌دهی بر اساس نظریه اطلاع استفاده شد (رابطه ۷). به این ترتیب با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل فراوانی رخداد فرسایش خندقی و رابطه آن با هر یک از عواملی که منتهی به تبیین مدل مفهومی گردیده، به عنوان داده یا اطلاع مشاهده شده از یک طرف و از رابطه بین وجود یا عدم وجود شرایط لازم برای رخداد پدیده مورد نظر از طرف دیگر، استفاده شد.

$$Wi = 1 - e^{-2(I)} \quad (۷)$$

که در آن: I: تابع عضویت و Wi: ارزش وزنی فازی با توجه به مطالب بیان شده برای انجام محاسبات مورد نیاز از داده‌های مربوط به منطقه تحقیق و نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل آن‌ها و خروجی نقشه‌هایی که حاصل از اعمال قواعد و روابط مدل مفهومی تبیین شده می‌باشد، اقدام به طبقه‌بندی متغیرهای مستقل (پارامترهای زمین محیطی مؤثر بر فرسایش خندقی) و متغیرهای وابسته (پارامترهای ژئومتری خندق) در شش طبقه شامل خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم، خیلی کم و ناچیز گردید. بر همین اساس، فاصله طبقات داده‌ها با استفاده از قانون استورجس<sup>۲</sup> [۱۱] مشخص گردیده و سپس مقادیر تابع عضویت، ارزش عضویت فازی و ارزش وزنی هر یک از طبقات بر اساس نظریه اطلاع متقابل (رابطه ۷) محاسبه شد.

<sup>3</sup> Fuzzy membership Function

<sup>1</sup> Information theory

<sup>2</sup> Sturges Rule

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰، DEM منطقه با ابعاد پیکسل ۱۰×۱۰ متر استخراج گردید. DEM استخراج شده به عنوان پایه‌ای برای محاسبه شیب و مساحت حوزه آبخیز خندق مورد استفاده قرار گرفت. همچنین نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، جهت و انحنای دامنه منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزارهای Arcview و Arc GIS تهیه شد. پس ارتوتو کردن عکس‌های هوایی منطقه به صورت موزائیک در کنار هم قرار داده شدند و تصویری با دقت مکانی ۱×۱ متر و خطای (RMSE) کمتر از یک پیکسل به دست آمد. سپس با استفاده از این تصویر نقشه دقیق پراکنش خندق‌ها و حوزه آبخیز آن‌ها به دست آمد. اندازه‌گیری خصوصیات ژئومتری خندق‌ها از طریق عملیات‌های میدانی و با استفاده از روش‌های عنوان شده در مواد و روش‌ها انجام شد که متوسط ۳۶ خندق به تفکیک هر سطح مقطع در جدول ۱ آورده شده است.

استفاده از روش‌های مختلف زیر برای تعیین میزان عدم قطعیت محاسبه گردید. برای انجام اعتبارسنجی از شاخص‌های عمومی اعتبارسنجی زیر استفاده گردید.

$$\text{رابطه (۷)} \quad MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{S_{ob} - S_{es}}{S_{es}} \right) * 100$$

$$\text{رابطه (۸)} \quad MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_{ob} - S_{es})^2$$

$$\text{رابطه (۹)} \quad RMSE = \left( \frac{1}{n} \sum (S_{ob} - S_{es})^2 \right)^{1/2}$$

که در آن‌ها: MRE: میانگین خطای نسبی، MSE: میانگین توان دوم خطا، RMSE: جذرمیانگین توان دوم خطا، Sob: مقدار مشاهده شده، Ses: مقدار محاسبه شده با استفاده از مدل و n: تعداد داده‌ها.

### ۳. نتایج

جدول ۱. میانگین مشخصات ژئومتری خندق‌ها در هر یک از مقطع‌های اندازه‌گیری شده

پارامتر مقطع	طول (متر)	عرض بالا (متر)	عرض پایین (متر)	عمق (متر)	شیب جداره (درصد)	سطح مقطع (مترمربع)
سطح مقطع ۱	۷/۲۲	۲/۳۵	۱/۰۷	۱/۳	۱۹۵/۴۳	۲/۱۲
سطح مقطع ۲	۱۶/۷۶	۲/۷۷	۰/۹۸	۱/۴۷	۱۸۳/۲۲	۲/۴۱
سطح مقطع ۳	۲۷/۱۲	۲/۴۹	۰/۸۷	۱/۲۷	۱۵۲/۶۷	۲
متوسط خندق	۲۷/۱۲	۲/۵۴	۰/۹۸	۱/۳۵	۱۷۷/۱	۲/۱۸

جهت شناخت فاکتورهای خاک شناسی در سه مقطع (رأس، وسط و خروجی) در طول هر یک از خندق‌ها و در هر مقطع سه نمونه خاک در بخش سطحی (۵۰-۰ سانتی‌متر)، بخش عمقی (۵۰ تا کف) و کف تهیه گردید. نتایج آزمایشگاهی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک ۳۶ خندق به تفکیک هر سطح مقطع در جدول ۳ آورده شده است.

مشخصات توپوگرافی خندق‌ها شامل مساحت بالادست و مساحت کل (از طریق پیمایش صحرایی و با استفاده از GPS)، شیب سر خندق، متوسط شیب بالادست (با استفاده از شیب سنج و GIS)، انحنای دامنه و ضریب گردی حوزه آبخیز بالادست خندق (با استفاده از GIS و فرمول‌های مربوطه) اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. میانگین مشخصات توپوگرافی خندق‌ها در هر یک از مقطع‌های اندازه‌گیری شده

پارامتر مقطع	مساحت بالادست	مساحت کل	شیب سرخندق	شیب سطح بالادست	انحنای دامنه	ضریب گردی
--------------	---------------	----------	------------	-----------------	--------------	-----------

متوسط	۰/۹۸	۱/۰۸	۹/۴۱	۱۳/۵۸	-۰/۱۴	۰/۳۴
-------	------	------	------	-------	-------	------

جدول ۳. متوسط پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک در هریک از مقطع‌های اندازه‌گیری شده در خندق‌ها

پارامتر مقطع	Sand (%)	Silt (%)	clay (%)	O.M (%)	Gyps (%)	Lim (%)	EC (ds.cm)	PH (ppm)	Ca+Mg	Na	SAR
۱	۱۸/۵۸	۳۵/۰۷	۴۶/۳۵	۰/۷۷	۰/۰۴	۳۲/۷۰	۰/۶۰	۷/۴۹	۵/۱۸	۱/۴۳	۰/۹۷
۲	۱۶/۲۹	۳۵/۱۳	۴۸/۸۸	۰/۸۱	۰/۰۴	۳۳/۰۳	۰/۸۷	۷/۸۲	۵/۹۶	۱/۹۷	۰/۳۱
۲	۱۷/۱۵	۳۵/۰۵	۴۷/۷۸	۰/۸۷	۰/۰۴	۳۳/۵۰	۰/۸۴	۷/۸۸	۵/۵۸	۱/۴۹	۰/۹۵
متوسط	۱۶/۲۹	۳۵/۱۳	۴۸/۸۸	۰/۸۱	۰/۰۴	۳۳/۰۳	۰/۸۷	۷/۸۲	۵/۹۶	۱/۹۷	۰/۳۱

مختلف نیز از رابطه بل (۱۹۶۹) استفاده شد. مقدار  $P_{10}^{60}$  نیز با استفاده از رابطه پیشنهادی علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) برای ایران، محاسبه شد (جدول ۴).

وضعیت هیدرولوژیکی هر یک از خندق‌ها با استفاده از روش استدلالی در اراضی خندقی شده با در نظر گرفتن دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ ساله مورد بررسی قرار گرفت. برای به دست آوردن شدت‌های بارش با دوره بازگشت‌های

جدول ۴. متوسط شدت بارندگی و دبی با دوره بازگشت‌های مختلف در هر یک از خندق‌ها

مقدار	$P_{10}^{60}$	$P_2$	$P_5$	$P_{10}$	$P_{25}$	$P_{50}$	$P_{100}$	$Q_2$	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{25}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$
	۱۳۰/۹	۶۱	۷۸/۶	۹۱/۹	۱۰۹/۶	۱۲۲/۹	۱۳۶/۲	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۷

مقدار سیلت خاک، درصد پوشش گیاهی و درصد خاک لخت

- عرض پایین خندق: ضریب گردی حوضه بالادست و مقدار سیلت خاک
- عمق خندق: درصد خاک لخت، ضریب گردی حوضه بالادست، مقدار سیلت خاک، درصد پوشش گیاهی و انحنای دامنه
- ارتفاع پیشانی خندق: شیب متوسط حوضه بالادست خندق و شیب محلی خندق
- نسبت عرض به عمق خندق: مقدار آهک خاک و انحنای دامنه
- شیب جداره خندق: درصد پوشش گیاهی و درصد خاک لخت

رابطه خصوصیات زمین محیطی خندق‌ها با خصوصیات ژئومتری شامل عمق، طول، عرض بالا و پایین، سطح مقطع، ارتفاع پیشانی و شیب جانبی، با خصوصیات زمین محیطی در شرح فوق بر اساس روش‌های تجزیه و تحلیل همبستگی ساده و چندگانه و مدل‌های رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول (۵) عوامل محیطی تأثیر گذار در مشخصات ژئومتری خندق (طول، عرض بالا، عرض پایین، عمق، ارتفاع پیشانی، نسبت عرض متوسط به عمق، شیب جداره و سطح مقطع) به صورت زیر مشخص شده‌اند.

- طول خندق: مساحت حوضه بالادست پیشانی و مساحت کل خندق
- عرض بالا خندق: ضریب گردی حوضه بالادست،



آن‌ها را به دست آورد. مدل‌سازی با به کارگیری منطق فازی مبتنی بر روش اسکالوگرام انجام گرفت. برای هر متغیر وابسته و مستقل تابع عضویت فازی، ارزش عضویت فازی و ارزش وزنی هر یک از طبقات بر اساس نظریه اطلاع متقابل محاسبه شد (جدول ۶).

• سطح مقطع: ضریب گردی حوضه بالادست و مقدار سیلت خاک بعد از اینکه همبستگی بین متغیرهای مستقل و وابسته مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان پارامترهای مؤثر در خصوصیات ژئومتری خندق را شناخته و رابطه بین

جدول ۵. نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی متغیرهای وابسته و مستقل در خندق‌های مورد مطالعه (۳۶ خندق)

Lim	Silt	BS	C	BC	Cu	Sh	S <sub>Ap</sub>	Ao	Ap	CS	Ss	W/H	Hh	H	Wd	Wu	L	
/۰.۱۵	-/۰.۷۴	/۲۷۱	-/۲۳۶	/۰.۷۹	/۰.۵۹	/۲۷۱	/۰.۸۲	/۳۸۵*	/۳۳۷*	/۰.۱۳	-/۴۶**	-/۰.۲۵	-/۰.۵۴	/۰.۶۲	/۰.۰۹	/۰.۷۳	۱	L
-/۰.۴۶	/۳۹۳*	/۳۱۸*	-/۳۱*	/۴۹۵**	-/۰.۷۵	/۱۲۶	/۲۴۹	-/۲۷۱	/۲۷۲	/۸۶۶**	/۰.۴۴	-/۲۸۸	/۵۴۱**	/۷۹۲**	/۷۱۲**	۱		Wu
-/۰.۹۲	/۴۳۹**	/۱۳۶	-/۱۷۳	/۴۸**	/۱۲۳	-/۰.۳۲	-/۰.۵۲	-/۰.۱	-/۰.۸۱	-/۸۱۵**	/۰.۹۸	-/۱۷۲	/۳۵۲*	/۶۶۷**	۱			Wd
-/۲۱۲	/۳۸۴*	/۳۳*	-/۳۰۴*	/۴۵۳**	/۴۱۹*	/۱۰۹	/۲۲۴	-/۲۰۴	-/۱۹۱	/۸۵**	/۱۲۴	-/۷۲۹**	/۶۷۵**	۱				H
-/۰.۷۱	-/۰.۴۱	/۰.۷۶	-/۰.۳	/۱۶۱	-/۲۲۴	/۴۴۸**	/۴۴۳**	/۱۷۴	-/۱۸	/۶۲۴**	/۱۶۳	/۴۷۳**	۱					Hh
-/۴۲۳*	/۱۶۶	-/۲۴۶	/۱۸۷	-/۲۱۷	/۵۳۹**	-/۰.۲۰	-/۱۹۸	-/۰.۱۱	-/۰.۳	-/۴*	-/۳۱	۱						W/H
-/۰.۷۷	-/۱۳۷	/۴۴۷**	-/۴۸۱**	-/۳۷	-/۰.۹۲	-/۲۰۱	-/۲۵۹	-/۰.۱۳	/۰.۱۹	/۰.۶۷	۱							Ss
-/۱۴۳	/۳۹۷*	/۲۱۹	-/۱۹۴	/۴۷۹**	-/۱۶۶	/۱۱۴	/۱۵۲	-/۱۵۲	-/۱۵۱	۱								CS
-/۱۶۱	-/۰.۶۳	/۱۴۷	-/۱۴۱	/۱۸۴	/۰.۹۳	/۰.۹۵	-/۱۶۶	/۹۹۴**	۱									Ap
-/۱۴۷	-/۰.۳۸	/۱۶۲	-/۱۵۴	-/۱۸۵	/۰.۹۵	/۱۲۱	-/۱۶۱	۱										Ao
-/۰.۲۷	/۲۲۵	/۲۶۴	-/۲۷۳	/۱۰.۸	-/۲۲۵	/۶۱۶**	۱											S <sub>Ap</sub>
/۰.۲۷	/۰.۱۷	/۱۹۱	-/۱۹۴	/۰.۱۸	-/۰.۶۵	۱												Sh
/۱۶۱	/۱۳	-/۱۵۹	/۰.۹	/۱۴۷	۱													Cu
-/۱۲۲	-/۳۶۹*	/۲۸۳	-/۳۲۷	۱														BE
/۰.۹۱	/۱۰.۶	-/۹۴۲**	۱															C
-/۱۲۹	-/۱۶۶	۱																BS
/۲	۱																	Silt
۱																		Lim

L: طول خندق، Wu: عرض بالایی خندق، Wd: عرض پایینی خندق، H: عمق خندق، Hh: ارتفاع پیشانی خندق، W/H: نسبت عرض به عمق خندق، Ss: شیب جداره، CS: سطح مقطع، Ap: مساحت بالادست پیشانی، Ao: کل مساحت حوزه آبخیز خندق، S<sub>Ap</sub>: شیب متوسط مساحت بالادست پیشانی، Sh: شیب محلی سر خندق، Cu: انحنای دامنه، Lim: درصد آهک، BC: ضریب گردی حوزه آبخیز خندق، C: درصد تاج پوشش، BS: درصد خاک لخت حوزه آبخیز خندق، Rang: درصد اراضی مرتعی حوضه بالادست خندق، Agri: درصد اراضی کشاورزی حوضه بالادست خندق، Silt: درصد سیلت خاک کناره خندق، Lim: درصد آهک خاک.

جدول ۶. نتایج محاسبات فازی مربوط به طول خندق و متغیر مستقل مؤثر بر آن

متغیرها	متغیر وابسته	متغیر مستقل
ردیف	طول	سطح بالادست
	$\bar{\mu}(x)$	$\bar{\mu}(x)$
۱	۰/۰۶	۰/۰۵
۲	۰/۱۴	۰/۱۶
۳	۰/۲۷	۰/۳۱

۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۳۹-۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۳۸	۰/۳۲-۰/۴۳	۴
۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۵۶-۰/۷۵	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۴۳-۰/۵۶	۵
۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۷۵-۱	۰/۸۲	۰/۸۷	۰/۵۶-۱	۶

$\mu(x)$ : طبقه تابع عضویت،  $W_i$ : ارزش وزنی،  $\bar{u}(x)$ : متوسط تابع عضویت

تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره گام به گام اقدام به مدل سازی شد. به این ترتیب مدل مربوط به هر یک از متغیرهای وابسته و میزان اثر گذاری هر یک از متغیرهای مستقل مؤثر بر آن تعیین شد (جدول ۷).

این محاسبات برای هر یک از متغیرهای وابسته و مستقلی که همبستگی بالایی با متغیر وابسته داشت، انجام شد. بعد از اینکه تابع فازی و ارزش وزنی متغیرهای مستقل و وابسته محاسبه شد، از طریق نرم افزار SPSS و

جدول ۷. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره مدل فازی خصوصیات ژئومتری خندق با متغیرهای مستقل زمین محیطی

متغیر وابسته	متغیر مستقل	مدل رگرسیونی فازی	r	R <sup>2</sup>	سطح معنی داری
L(m)	Ap(ha)	L=0/918(Ap)-0/002	۰/۹۸۶	۰/۹۷۳	<۰/۰۰۱
Wt(m)	BE	Wu=1/109(BE) -0/083	۰/۹۸۴	۰/۹۶۸	<۰/۰۰۱
Wb(m)	BE	Wd=1/257(BE)-0/28	۰/۹۳۷	۰/۸۷۹	۰/۰۰۶
D(m)	BE, Cu	D= 0/281(Cu)+0/984(BE)-0/167	۰/۹۹۳	۰/۹۸۶	۰/۰۰۲
Hh(m)	Sh	Hh=1/035(Sh)-0/101	۰/۹۹۳	۰/۹۸۶	۰/۰۰۱
Ss(%)	C	Ss= 0/704(C)+0/205	۰/۹۸۵	۰/۹۷۰	<۰/۰۰۱
CS(m <sup>2</sup> )	BE	CS=0/846(BE)-0/017	۰/۹۴۳	۰/۸۹	۰/۰۰۵

طول (L)، عرض بالا (Wt)، عرض پایین (Wb)، عمق (D)، ارتفاع پیشانی خندق (Hh)، شیب جداره (Ss)، سطح مقطع (CS)، Ap: مساحت حوزه آبخیز بالادست خندق، BE: ضریب کشیدگی حوضه، Cu: انحنای دامنه مشرف به خندق، lim: درصد آهک خاک، Sh: شیب محلی سر خندق، C: درصد تاج پوشش

سازند قابل تقسیم است. بنابراین برای بررسی بیشتر، تحلیل فراوانی جدول های متقاطع و با توزیع کای اسکور پیرسون قابل بررسی است. برای این منظور ابتدا خندق های مورد مطالعه بر اساس شکل سطح مقطع و کاربری متفاوت گروه بندی شده و سپس جدول متقاطع و ضریب کای اسکور پیرسون میزان همبستگی آن ها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۸ و ۹).

با توجه به اینکه از یک سو همه خندق ها در اراضی با سازند کواترنر واقع شده و از سوی دیگر اقلیم منطقه نیز به طور یکسان بر همه آن ها اثر می کند، لذا تفاوت موجود در مرفولوژی و ژئومتری خندق ها اعم از مقطع عرضی (U و V) و همچنین پلان آن ها می تواند معلولی از عامل های زمینی باشد. عامل های زمین محیطی به دو دسته عمده کاربری اراضی و ویژگی های مربوط به خاک و

جدول ۸. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل فراوانی شکل مقطع و کاربری اراضی مناطق خندقی شده

آماره	میزان	درجه آزادی	سطح معنی داری
کای اسکور پیرسون	۰/۹۶۳	۱	۰/۳۲۶
نسبت درست نمایی	۰/۹۶۸	۱	۰/۳۲۵

جدول ۹. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل فراوانی شکل مقطع و سازند زمین شناسی مناطق خندقی شده

آماره	میزان	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
کای اسکور پیرسون	۰/۰۴۰	۱	۰/۸۴۱
نسبت درست نمایی	۰/۰۴۰	۱	۰/۸۴۱

بررسی‌های بدست آمده از تحلیل فراوانی نشان می‌دهد که بین شکل عرضی خندق‌ها و نوع کاربری ارتباط معنی‌داری وجود ندارد (۰/۳۲۶). همچنین بین شکل عرضی خندق‌ها و سازند زمین‌شناسی نیز این رابطه معنی‌دار نشد (۰/۸۴۱).

با توجه به آماره‌های ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها، نتایج اعتبارسنجی مدل‌های مشخصات ژئومتری خندق با استفاده از شاخص‌های آماری مختلف به تفکیک محاسبه شد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های مشخصات ژئومتری خندق در خندق‌های مورد آزمون

ردیف	مدل	آماره MRE	آماره MSE	آماره RMSE
۱	طول	۱۲/۳۰	۰/۰۱	۰/۱
۲	عرض بالا	۱۰/۳۹	۰/۰۳	۰/۱۷
۳	عرض پایین	۱۱/۱	۰/۰۴۴	۰/۰۶
۴	شیب جداره	۱۰/۷۷	۰/۰۰۵	۰/۰۷
۵	سطح مقطع	۱۰/۶۷	۰/۰۰۵	۰/۰۷
۶	عمق	۱۱/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۳
۷	ارتفاع پیشانی	۸/۶۳	۰/۰۰۲	۰/۰۴

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی‌های تجزیه و تحلیل همبستگی بین مشخصات ژئومتری خندق و عوامل زمین محیطی نشان داد که طول خندق با مساحت حوضه بالادست پیشانی و مساحت کل خندق، عرض بالا خندق با ضریب گردی حوضه بالادست، مقدار سیلت خاک، درصد پوشش گیاهی و درصد خاک لخت؛ عرض پایین خندق با ضریب گردی حوضه بالادست و مقدار سیلت خاک؛ عمق خندق با درصد خاک لخت، ضریب گردی حوضه بالادست، مقدار سیلت خاک، درصد پوشش گیاهی و انحنای دامنه؛ ارتفاع پیشانی خندق؛ شیب متوسط حوضه بالادست خندق و شیب محلی خندق؛ نسبت عرض به عمق خندق؛ مقدار آهک خاک و انحنای دامنه؛ شیب جداره خندق؛ درصد پوشش گیاهی و درصد خاک لخت و سطح مقطع خندق با ضریب گردی حوضه بالادست و مقدار سیلت خاک بالایی

دارند. بر این اساس نوع رابطه مساحت حوضه بالادست پیشانی و مساحت کل خندق، ضریب گردی حوضه خندق، درصد خاک لخت، درصد سیلت، انحنای دامنه، شیب متوسط حوضه بالادست خندق و شیب سرخندق با مشخصات ژئومتری خندق مثبت بوده یعنی با افزایش مقدار این پارامترها، تغییرات مشخصات ژئومتری (ابعاد) خندق بیشتر است. ولی رابطه درصد پوشش گیاهی و درصد آهک خاک با مشخصات ژئومتری خندق معکوس بوده یعنی با افزایش مقدار این پارامترها، تغییرات مشخصات ژئومتری (ابعاد) خندق کمتر خواهد بود.

بر اساس مدل مفهومی رابطه بین خصوصیات ژئومتری خندق با عوامل زمین محیطی مشخص شد که خصوصیات ژئومتری خندق تابعی است از ضریب گردی حوضه آبخیز خندق، انحنای دامنه، مساحت بالادست خندق، درصد تاج پوشش و شیب محلی سر خندق. از بین عوامل فوق نوع رابطه مشخصات ژئومتری با انحنای دامنه معکوس و با بقیه

خاک کمتر بوده، در نتیجه هر چه دامنه محدبتر باشد عمق خندق کمتر خواهد بود.

میزان تأثیرگذاری کاربری اراضی و سازندهای منطقه بر مشخصات ژئومتری خندق‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور خندق‌های مورد مطالعه بر اساس شکل سطح مقطع و سازندهای متفاوت گروه‌بندی شدند. با توجه به اینکه مشخصه‌های کاربری، سازند و شکل مقطع خندق‌ها از نظر آماری در رده مقیاس‌های اسمی هستند (که در نهایت قابل تبدیل به مقیاس رتبه‌ای می‌باشند) بنابراین برای بررسی بیشتر تحلیل فراوانی با استفاده از جدول‌های متقاطع با توزیع کای اسکور پیروان انجام شد. بررسی‌های بدست آمده از تحلیل فراوانی نشان داد که بین شکل عرضی خندق‌ها و نوع کاربری ارتباط معنی‌داری وجود ندارد (۰/۳۲۶). همچنین بین شکل عرضی خندق‌ها و سازند زمین‌شناسی نیز این رابطه معنی‌دار نشد (۰/۸۴۱). بنابراین عوامل کاربری اراضی و سازندهای زمین‌شناسی در منطقه تحقیق تأثیری بر روی تغییرات مشخصات ژئومتری خندق ندارند. این نتایج با نتایج بدست آمده حاصل از تحقیقات محققان دیگر مطابقت ندارد [۱۹، ۱۸ و ۱۱].

اعتبار سنجی مدل‌ها نیز با استفاده از میانگین خطای نسبی (MRE)، میانگین توان دوم خطا (MSE) و جذر میانگین توان دوم خطا (RMSE) مورد بررسی قرار گرفت. برای مدل‌های مشخصات ژئومتری خندق (طول، عرض بالا و پایین، عمق، شیب جداره و سطح مقطع) مقادیر میانگین خطای نسبی، میانگین توان دوم خطا و جذر میانگین توان دوم خطا به ترتیب کمتر از ۰/۱۰، ۰/۰۱ و ۰/۱ بدست آمد که نشان می‌دهند مدل‌ها از اعتبار خوبی برخوردار هستند و از آن‌ها می‌توان برای پیش‌بینی میزان تغییرات ابعاد خندق برای مناطقی با شرایط مشابه منطقه مورد مطالعه بهره گرفت.

نتایج تجزیه تحلیل رگرسیونی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک با مشخصات ژئومتری خندق در منطقه مورد مطالعه حاکی از این است که رابطه معنی‌داری بین

عوامل به صورت مستقیم (مثبت) به دست آمد. به عبارت دیگر هر چه ضریب گردی حوضه بیشتر (به یک نزدیکتر باشد) باعث می‌شود که ارتفاع و سرعت رواناب بیشتر شده و در نتیجه افزایش حجم دبی عبوری از خندق و همچنین جاری شدن رواناب حاصل از سطح حوضه بالادست خندق به سمت خندق در یک زمان می‌شود و به این ترتیب باعث تغییرات بیشتری در مشخصات ژئومتری خندق نسبت به حوضه‌های کشیده می‌شود.

در مورد سطح بالادست که رابطه مثبت با طول خندق داشته، نشان می‌دهد که هرچه سطح بالادست خندق بیشتر باشد سطح جمع‌آوری رواناب بیشتر شده و در نتیجه باعث افزایش حجم و انرژی حاصل از آن شده و قدرت کنش آن بیشتر می‌شود در نتیجه طول نیز افزایش می‌یابد. عرض بالا، عرض پایین، عمق و سطح مقطع خندق نیز رابطه مثبتی با ضریب گردی حوضه دارند و افزایش این ضریب (هرچه به ۱ نزدیکتر باشد حوضه گردتر خواهد بود) باعث افزایش عرض، عمق و سطح مقطع خندق می‌شوند. شیب جداره خندق نیز رابطه مثبتی با درصد تاج پوشش محدوده خندق دارد. چون پوشش گیاهی باعث جذب رطوبت خاک، به هم چسپیدن ذرات خاک و در نتیجه جلوگیری از ریزش بیشتر کناره‌های خندق می‌شود. بنابراین هرچه پوشش گیاهی بیشتر باشد شیب جداره خندق بیشتر و عمودتر خواهد بود. ارتفاع پیشانی خندق نیز رابطه مثبت با شیب محلی سر خندق دارد. شیب محلی سر خندق معمولاً در فاصله ۲ تا ۳ متری از پیشانی خندق به سمت مرز حوضه بالادست تا فاصله حدود سه متری اندازه‌گیری می‌شود. هرچه این شیب بیشتر باشد باعث افزایش سرعت و در نتیجه افزایش انرژی رواناب ریزشی از سر خندق که به صورت آبشار ریزش می‌کند، می‌شود. در نتیجه باعث کنش بیشتر و افزایش ارتفاع پیشانی خندق می‌شود. انحنای دامنه رابطه منفی با عمق خندق دارد. این می‌تواند به این دلیل باشد که چون هرچه دامنه محدب‌تر باشد (انحنای منفی باشد) شیب بیشتر می‌شود و در شیب‌های تند معمولاً عمق

معنی‌داری بر تغییرات ژئومتری خندق ندارند که با نتایج محققان دیگر مطابقت دارد [۱۰ و ۱۳].

این پارامترها با مشخصات ژئومتری خندق وجود نداشت. به عبارت دیگر پارامترهای شیمیایی و فیزیکی خاک تأثیر

## References

- [1] Abasi, M., (2008). Susceptibility zonation of Zvaryan Qom province to Gully erosion catchment areas, M.Sc. thesis, Physical Geography trend Geomorphology in environmental planning, Tehran University, Faculty of Geography. 118 Pages (in Persian).
- [2] Ahmadi, M., (2011). Analysis factors affecting the formation and expansion of Gully erosion (Case Study: Mesquite Plains Lamerd Basin, Gulf. M.Sc. Thesis, faculty of Geography, Tehran University. 113 Pages (in Persian).
- [3] Alizadeh, A. (2010). Application hydrology, ver.30, press Astan- e- ghodse razavi.673pp (in Persian).
- [4] Bayati Khatibi, M., M. Rajabi and F. Karami. (2011). Investigation of topographic thresholds and analyzing role of surface materials on gully development in the hillslope of semi-arid areas, case study: Shoorchay. Geography and Environmental Planning Journal, 22(1): 15-34 (in Persian).
- [5] Bou Kheir R, Wilson J, and Deng Y (2007) Use of terrain variables for mapping gully erosion susceptibility in Lebanon. Earth Surf ProcLand 32:1770–1782.
- [6] Buttafuoco G, Conforti M, Aucelli PPC, Robustelli G, and Scarciglia, F (2012) Assessing spatial uncertainty in mapping soil erodibility factor using geostatistical stochastic simulation. Environ Earth Sci 66:1111–1125.
- [7] Conoscenti. C., V. Agnesi. S. Angileri., C. Cappadonia., and E. Rotigliano., (2013). A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy. Environ Earth Sci., 70:1179–1195
- [8] Evans, M. and J. Lindsay. (2010). High resolution quantification of gully erosion in upland peat lands at the landscape scale. Earth Surface Processes and Landforms, 35(8): 876-886.
- [9] Farajzadeh, M., Afzali, A., Khalili, Y., and Ghalichi, A., (2012). Gully erosion sensitivity evaluation by using multivariate regression model (Case study: South East province; Kiasar). Journal of environmental degradation. 2 (6): 42-57(in Persian).
- [10] Ghodousi, J and Davari, M., (2005). Investigate the effect of physical and chemical properties of soils in Gully erosion occurrence. 3th National Conference on Erosion and Sedimentation. 8pp (in Persian).
- [11] Ghodousi, J., (2003). Modeling of gully erosion morphology and hazard zonation its, Ph.D. Thesis, Department of Natural Resources, Tehran University.450pp (in Persian).
- [12] Ireneusz, M. (2008). 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 93, pp: 421 – 436.
- [13] Kalantari, kh. (2003). Processing and data analysis in economic– social research, publishing Sharif. 388pp (in Persian).
- [14] Keller .Edward A., (2011). Environmental Geology, University of California, Pearson, ISBN-13: 978-0-321-64375-9
- [15] Mahdavi, M. (2005). application hydrology, ver 2, press university of Tehran.401pp(in Persian)
- [16] Nazari Samani, A.A., H. Ahmadi, M. Jafari and J. Ghodoosi. (2009). Investigation of factors affecting sediment yield from gully erosion in small watersheds, case study: Dareh Kareh watershed, Boushehr. Journal of Physical Geography Research Quarterly, 69: 19-34 (in Persian).
- [17] Noor Mohamadi, F., (2006). Allometry and sediment production of DarrehShahr Gullies in the part of Ilam province. MSc thesis, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University. 95 pp (in Persian).
- [18] Rahi, G. (1998). Investigation of mechanism and reason of gully establishment in the Genaveh Port. MSc Thesis, Tarbiat Modares University, 102 pages (in Persian).

- [19] Rahi, Gh. Nazari samani, A.A., Ahmadi, H., and Salagegheh, A., (2009). Effects of Soil Characteristics on kind of gullies mechanism and morphology it in Ganaveh area. *Iranian Journal of Natural Resources*, 62(4): 459-472(in Persian).
- [20] Rahnema Rad, j., F. Khosravi and S. Rigi Nejad. (2010). Chemical specifications of soil for creation and development of gully in the Dashtyari region, Chabahar. *Journal of Applied Geology*, 6(1): 9-16 (in Persian).
- [21] Shadfar, S., and SobheZahedi. Sh., (2007). Investigate the cause's development of Gully erosion in watershed Aliabad Gilan province. 4<sup>th</sup> Conference Science and Engineering of Watershed, faculty of Natural Resources, Tehran University. 8 pages (in Persian).
- [22] Shadfar, S., Davoodirad, A.A., and Peiravan, H.R. (2014). Analysis and Comparison of Gully erosion features on agricultural and pasture land, a Case Study: Roubat Tourk Watershed. *Journal of Engineering and Watershed Management*. 4(4): 222-217(in Persian)
- [23] Zhou, P. (2008). Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*, 75: 319-325.