



تعیین محل رخداد فرسایش خندقی بر اساس آستانه ژئومورفولوژیک و عوامل موثر بر

آن (مطالعه موردی: چم‌ژاب دره شهر، ایلام)

محسن توکلی^{۱*}، قباد رستمی‌زاد^۱، علی‌اکبر نظری سامانی^۳

^۱ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام

گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

چکیده

فرسایش خندقی از مهمترین فرسایش‌های آبی است که موجب تخریب اراضی و برهم خوردن تعادل در اراضی می‌گردد. تخریب اراضی، برهم خوردن منظر زمین، تعادل اکولوژیک و به مخاطره افتادن منابع زیستی، از جمله مواردی است که پژوهش در مورد فرسایش خندقی را گریزناپذیر و الزامی می‌کند. این مطالعه با هدف تعیین آستانه توپوگرافی و گسترش خندق و همچنین پیش‌بینی مناطق مساعد تشکیل فرسایش خندقی انجام شده است. بدین منظور ۳۶ خندق در منطقه مورد مطالعه انتخاب و پس از تفکیک داده‌ها، میزان تاثیر عوامل کاربری اراضی، انواع مکانیسم فعال برای ایجاد و گسترش خندق و روش مورد استفاده برای استخراج داده‌های سطح و شیب با استفاده از عکس‌های هوایی، اندازه‌گیری صحرایی و تحلیل‌های GIS مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد مقدار ضریب تبیین از ۰/۱۶۲ به ۰/۲۱۴ برای داده‌های کاربری اراضی کشاورزی افزایش یافته است. اما برای داده‌های کاربری اراضی رها شده این مقدار برابر ۰/۰۴۳ و غیر معنی‌دار (۰/۵۴) بدست آمد. با توجه به ضریب تبیین ۰/۲۶۷ برای داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صحرایی و مقدار ۰/۱۶۲ برای داده‌های حاصل از برآوردهای GIS می‌توان گفت با وجود معنی‌داری هر دو رابطه (در سطح ۵ درصد) اما استفاده از روش صحرایی و اندازه‌گیری مستقیم نتایج بهتری را ارائه خواهد داد. علاوه بر این، توانایی مدل برای پیش‌بینی مناطق مساعد تشکیل خندق با استفاده از منحنی ROC مورد بررسی قرار گرفت. سطح زیر منحنی ROC برابر با ۰/۷۴۸ محاسبه گردید و نشان داد که مدل از توانایی مناسبی برای پیش‌بینی مناطق مساعد تشکیل خندق برخوردار است.

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۹۲/۰۷/۰۱

اصلاح: ۹۲/۰۹/۰۸

پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۰

واژگان کلیدی:

فرسایش خندقی

آستانه توپوگرافیک

پیش‌بینی

عکس‌های هوایی

منحنی ROC

مقدمه

خطر فرسایش خاک در مناطق نیمه خشک، به ویژه در محدوده‌های کوهستانی نیمه خشک از موارد قابل توجه در آمایش سرزمینی است (پوزن و همکاران، ۲۰۰۳؛ ازچی و همکاران، ۲۰۰۰؛ ویلسون و همکاران، ۲۰۰۸). فرسایش خاک در این محدوده‌ها از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی، و یا به طور کلی از آثار بارز تغییرات محیطی و اکولوژیک است (رستمی‌زاد، ۱۳۹۳؛ یثربی و همکاران، ۱۳۹۰؛ لونا و همکاران، ۲۰۰۰؛ پوژن و همکاران، ۱۹۹۸). یکی از مهمترین انواع فرسایش آبی، فرسایش خندقی است که به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان و در مواردی که بهره‌برداری از منابع آب و خاک مبتنی بر اصول صحیح و متناسب با توان طبیعی و شرایط محیطی نباشد

موجب تغییرات قابل ملاحظه در اراضی و پیامدهای زیان بار اقتصادی و اجتماعی می‌شود (خایر و همکاران، ۲۰۰۶؛ مارکر و همکاران، ۲۰۰۸؛ دسمت و همکاران، ۱۹۹۹). آنچه توسط اکثریت قریب به اتفاق پژوهشگران فرسایش خاک درباره فرسایش خندقی مهم قلمداد شده است پیچیده بودن چگونگی شکل‌گیری و روند رشد و گسترش و کنترل خندق‌ها در شرایط مختلف محیطی و اقدامات متفاوت انسان در بهره‌برداری از منابع آب و خاک و گیاهان است. به طوری که این نوع فرسایش خاک را نمی‌توان تنها محدود به نوع معینی از سازندهای زمین‌شناسی، وضعیت توپوگرافی، خصوصیات خاک، استفاده از اراضی، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های آب و هوایی دانست (باردمن و همکاران، ۲۰۰۳). به همین دلیل نیز در نتایج پژوهش‌های منتشر شده نظرات متفاوتی درباره شکل‌گیری، گسترش و کنترل خندق‌ها بر حسب خصوصیات مناطق مختلف ارائه شده است که در برخی موارد نیز در تضاد با یکدیگر هستند. در بسیاری از نقاط ممکن است عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی تا حدودی همگن و مشابه بوده، اما رشد و گسترش فرسایش خندقی از منطقه یا ناحیه‌ای به ناحیه دیگر متفاوت است و تابع عوامل یکسان، همگون و مشترک نیست (رستمی‌زاد، ۱۳۹۳؛ سلیمان‌پور، ۱۳۹۰). در ایران نیز فرسایش خندقی به عنوان یکی از مهمترین انواع فرسایش‌ها قلمداد شده که باعث تخریب اراضی بسیاری گردیده است، به طوری که این تهدیدها تنها محدود به ایجاد تغییرات ناهنجار در منظر زمین، تخریب اراضی و از بین رفتن خاک و عدم امکان فعالیت‌های کشاورزی و بهره‌برداری اقتصادی از عرصه‌های طبیعی نشده است. بلکه با رخداد و گسترش این نوع فرسایش، جاری شدن رواناب‌ها و سیل، جابجایی حجم قابل توجهی از رسوبات و پیامدهای ناشی از آن و بالاخره غیر قابل استفاده شدن اراضی تشدید می‌گردد (رستمی‌زاد، ۱۳۹۳؛ سلیمان‌پور، ۱۳۹۱).

با توجه به مطالب فوق، شناخت فرآیندهای مؤثر در فرسایش به خصوص آستانه‌ها یکی از راهکارهای مهم مدیریتی منابع آب و خاک محسوب می‌شود. فرسایش خندقی نیز یکی از مهم‌ترین منابع رسوبدهی حوزه‌های آبخیز است که برای آن آستانه‌های مختلف از جمله مساحت-شیب یا توپوگرافی تعریف شده است. در بررسی‌های صورت گرفته برای تعیین آستانه توپوگرافی، عنوان شده که برای ایجاد گسترش خندق، یک حد آستانه برای سطح زهکشی (A) و شیب (S) در بالای نقطه ایجاد (خروجی خندق) و یا گسترش پیشانی^۱ وجود دارد. شکل کلی این روابط به صورت زیر است (وندکرف و همکاران، ۲۰۰۳).

$$S = \alpha A^b \quad (1)$$

$$SA^b > t \quad (2)$$

که در آنها، α و b توان منطقه‌ای بوده که بر اساس شرایط محیطی تعیین می‌شوند، t عدد آستانه پستی و بلندی و S و A به ترتیب شیب و سطح حوزه آبخیز بالادست خندق می‌باشند. در روابط فوق سطح زهکشی به عنوان جانشینی برای حجم رواناب سطح تولیدی در بالای نقطه ایجاد و یا بالادست پیشانی خندق مطرح شده است. رابطه (۱)، نشان می‌دهد که با افزایش مساحت زهکشی در بالای نقطه خندق، شیب کمتری برای کنش ذرات خاک در ایجاد یا پیشروی خندق لازم است. با تحلیل رابطه شیب و مساحت بالای پیشانی خندق‌های مناطق مدیترانه‌ای اروپا نشان داده شد که رابطه معکوس شیب با مساحت، نشانه تأثیر رواناب سطحی در ایجاد خندق‌ها و رابطه مثبت نشانه تأثیر رواناب زیرسطحی در ایجاد آن است (رستمی‌زاد، ۱۳۹۳؛ وندکرف و همکاران، ۲۰۰۰). در کمربند لسی بلژیک برآورد شد که توان b خندق‌های عمیق بزرگتر است که نشان دهنده عملکرد مؤثر رواناب سطحی در تعمیق بیشتر این خندق‌ها است (مونت‌گومری و دیتریچ، ۱۹۹۴). در پژوهشی دیگر به منظور بررسی پیشروی طولی خندق‌های جنوب شرقی اسپانیا ثابت شد که حجم فرسایش خندقی رابطه توانی با مساحت آبخیز بالادست دارد و نمای b آن با تغییر مقیاس زمانی از کوتاه به بلندمدت افزایش می‌یابد که نشان دهنده افزایش اهمیت سطح آبخیز (رواناب سطحی) در گسترش خندق‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است (وندکرف و همکاران، ۲۰۰۳). بهترین نتیجه برای

تعیین روند پیشرفت خندق زمانی حاصل می‌شود که توان b بزرگ باشد و حد بهینه این توان بین $0/7$ و $1/5$ بوده و برای نقطه شروع خندق توان $0/2$ بهترین نتیجه را داده است (کانوستی و همکاران، ۲۰۱۳). در غالب مناطق بررسی شده، نمای رابطه توانی دارای علامت منفی است که نشان از غالب بودن فرآیند هیدرولوژیک سطحی در ایجاد کنش بوده است و همچنین، مقدار عددی این نما بر حسب تغییر کاربری و نوع خاک تغییر کرده است (آقارضا و همکاران، ۱۳۹۲). محققان دیگر با بررسی تاثیر رواناب بر فرسایش خندقی در اندونزی نتیجه گرفتند که میزان هدر رفت خاک تقریباً ۲۰ برابر هدررفت خاک ناشی از فرسایش سطحی بوده است (وندکرف و همکاران، ۱۹۹۸). آبخیز واقع در بالادست پیشانی خندق‌ها تأثیر بیشتری نسبت به شیب بر توسعه و پیشرفت خندق دارد (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰). نتایج پژوهش دیگر در بررسی گسترش خندق‌های جنوب فارس نشان داد توان b منفی است که نشان از تأثیر و عملکرد فرآیند رواناب سطحی در گسترش خندق‌های این مناطق دارد (صوفی، ۱۳۹۱). به علت مثبت شدن نمای رابطه توانی، نقش فرآیند رواناب زیرسطحی در گسترش خندق‌های منطقه کنارتخته استان فارس غالب است (پیری صحراگرد، ۱۳۹۳). در حوزه آبخیز بدره ایلام نشان داده شد که اراضی با شیب دو تا پنج درصد، به عنوان طبقه شیب بحرانی از نظر آستانه توپوگرافی و فیزیوگرافی نسبت به سایر طبقات شیب برای رخداد فرسایش خندقی می‌باشد (صوفی، ۱۳۹۱).

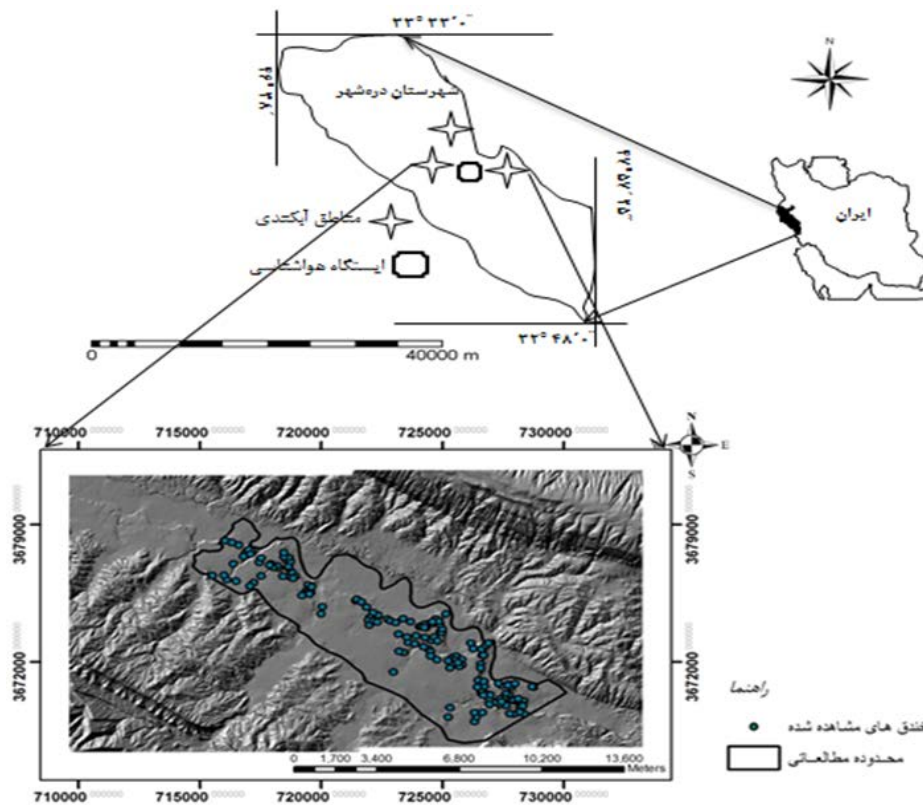
با توجه به مطالب فوق، می‌توان بیان نمود که نتایج پژوهش‌ها حاکی از آن است که فرسایش خندقی موضوع جدی در مدیریت اراضی در اکثر نقاط جهان است (نچترگال و همکاران، ۲۰۰۱؛ پوزن و همکاران، ۲۰۰۳). به همین دلیل نیز تلاش‌های فراوانی در زمینه چگونگی شکل-گیری، گسترش و کنترل فرسایش خندقی با هدف دستیابی به راهکارهای کاهش خسارات ناشی از این نوع فرسایش در نقاط مختلف جهان در حال انجام است.

این تحقیق با توجه به حساسیت منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود سازندهای فرسایش پذیر، تغییر کاربری اراضی و کشاورزی بر سازندهای حساس، فرسایش خندقی به رخساره‌های معمول در اراضی کشاورزی و مرتعی تبدیل گردیده است که سالانه اراضی کشاورزی حاصلخیز زیادی با پتانسیل تولید بالا به دلیل تخریب به وسیله این پدیده فرسایشی از بین می‌روند. از سوی دیگر واقع شدن این منطقه در حاشیه رودخانه سیمره باعث شده است که رسوبات تولید شده به طور مستقیم وارد این رودخانه شده که در نهایت در دریاچه سد سیمره و کرخه رسوب می‌کنند. بنابراین شناخت فرآیندها و هم چنین عرصه‌هایی که فرسایش خندقی رخ می‌دهد، به منظور اعمال مدیریت بهتر بر عرصه‌ها می‌تواند راه گشا باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان ایلام با مساحتی در حدود ۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع، $1/2$ درصد وسعت کشور را شامل شده و در جنوب غربی ایران واقع شده است (۳). پهنه‌های خندقی متعددی در استان وجود دارد که در این تحقیق منطقه چم‌ژاب دره شهر مورد بررسی قرار گرفته است. این منطقه در شهرستان دره شهر و در شرق استان ایلام واقع گردیده است. محدوده جغرافیایی آن بین $30^{\circ}08'47''$ تا $31^{\circ}03'46''$ طول شرقی و $14^{\circ}12'33''$ تا $33^{\circ}23'03''$ عرض شمالی قرار دارد. سازند زمین‌شناسی عمدتاً از رسوبات دریاچه‌ای تشکیل شده که ناشی از زمین لغزش بزرگ سیمره است. اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد است که براساس آمار ایستگاه سینوپتیک دره شهر دمای متوسط منطقه ۲۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش منطقه ۴۹۷ میلی‌متر است. مساحت منطقه مورد مطالعه ۵۹۸۸ هکتار، ارتفاع متوسط از سطح دریا ۴۲۷ متر و شیب متوسط ۱۲ درصد است (شکل ۱).



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

روش تحقیق

آمار و اطلاعات پایه مورد نیاز شامل نقشه‌های 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 از مراجع اخذ شده است. خصوصیات مربوط به هر یک از نقشه‌های پایه در نقاط آموزشی (تعلیمی) با استفاده از دستگاه GPS^۱ 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 در هر یک از نقاط آموزشی (تعلیمی) موارد مذکور مستقیماً از طریق اندازه‌گیری میدانی مشخص و در مرحله تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنها جهت تعیین خصوصیات مکانی مناطق خندقی استفاده شد. بعد از آن محدوده آبخیز هر خندق از طریق عملیات میدانی (با استفاده از GPS) و همچنین با استفاده از نقشه توپوگرافی و عکس‌های هوایی (سال ۱۳۸۱ و مقیاس ۱:۴۰۰۰۰) به منظور تعیین مساحت بالادست هر خندق مشخص شد.

با توجه به اینکه روش مورد استفاده برای اندازه‌گیری مساحت و شیب از عوامل موثر در ضرایب معادله $S = \alpha A^{-\beta}$ قلمداد می‌شود، برای مقایسه بین نتایج تحقیقات مختلف نوع روش مورد استفاده باید مد نظر باشد. بنابراین نتایج حاصل از

^۱ - Global Positioning System

تحلیل‌های GIS^۱ و اندازه‌گیری میدانی مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش نیز با استفاده از GIS مقدار شیب برای سلول‌های با ابعاد ۱۰*۱۰ متر محاسبه شد، در حالیکه در اندازه‌گیری صحرایی تنها شیب محدوده ۲ الی ۳ متری بالای خندق محاسبه شد. بنابراین اندازه‌گیری مقدار شیب با استفاده از GIS به واقعیت نزدیکتر است. هر چند که حتی استفاده از یک ابزار ولی با الگوریتم‌های مختلف می‌تواند سبب تفاوت در ضرایب معادله شود. از این رو برای بررسی رابطه شیب و مساحت، روش اندازه‌گیری شیب بر اساس الگوریتم تورن و زونبرگن (زونبرگن و تورن، ۱۹۸۷) و استفاده از عکس‌های هوایی و جریان تجمعی نیز برای اندازه‌گیری مساحت مورد استفاده قرار گرفته است. در نهایت چون اساس رابطه شیب و مساحت به عنوان آستانه توپوگرافی و استفاده از آن برای پیش‌بینی مناطقی است که به فرسایش خندقی حساس هستند، ناگزیر اساس کار بر مبنای تحلیل‌های GIS خواهد بود. چون عملاً اندازه‌گیری شیب به صورت محلی برای تمام منطقه امکان‌پذیر نیست. بنابراین در این تحقیق به ناگزیر از امکانات و تحلیل‌های GIS استفاده شده است. بر همین اصل کلیه تجزیه و تحلیل‌های پیش‌رو در زمینه آستانه توپوگرافی بر مبنای داده‌های حاصل از تحلیل‌های GIS خواهد بود.

در منطقه مورد مطالعه با توجه به دو نوع کاربری اراضی (کشاورزی و اراضی رها شده) اقدام به گروه‌بندی خندق‌های منطقه شده و خندق‌ها در دو گروه مجزا قرار گرفتند. سپس اقدام به تعیین رابطه آستانه شیب - مساحت و ضرایب آن گردید. مناطق حساس به فرسایش خندقی با استفاده از مفهوم آستانه توپوگرافی (رابطه شیب و مساحت) در هر منطقه و تحت کاربری اراضی مشخص، نقاطی از زمین را که برای ایجاد خندق مساعد می‌باشند، مشخص شدند. بدین صورت که پس از محاسبه رابطه آستانه شیب - مساحت، با استفاده از GIS نقشه مساحت (هکتار) و شیب بحرانی ایجاد خندق برای هر پیکسل از طریق اعمال معادله آستانه توپوگرافی به دست آمد.

بعد از اینکه نقشه پیش‌بینی مناطق حساس به فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه تعیین شد لازم بود که دقت این نقشه سنجیده شود که این کار از طریق منحنی مشخصه عملکرد (ROC)^۲ مورد بررسی قرار گرفت. منحنی راک روابط بین نسبت حضورهایی که به درستی پیش‌بینی شده (حساسیت) و نسبت عدم حضورهایی که به درستی پیش‌بینی شده است (۱- اختصاصی بودن) را توصیف می‌کند. به منظور خلاصه‌کردن عملکرد پیش‌بینی در میان تمام حدود آستانه، می‌توان سطح زیر منحنی راک را اندازه گرفت که توافق بین مشاهدات مربوط به حضور و عدم حضور انجام شده و پیش‌بینی را نشان می‌دهد. دامنه سطح زیر منحنی از صفر تا یک می‌باشد که امتیاز یک نشان دهنده تشخیص عالی، ۰/۵ نشان‌دهنده پیش‌بینی است که بهتر از حدس تصادفی نیست و مقادیر کمتر از ۰/۵ عملکرد بدتر از حالت تصادفی را نشان می‌دهد (جدول ۳-۴).

جدول (۳-۴): طبقه‌بندی سطح زیر منحنی (AUC)؛ اسویت؛ (۱۹۸۸)

دامنه	طبقه‌بندی ضرایب
-------	-----------------

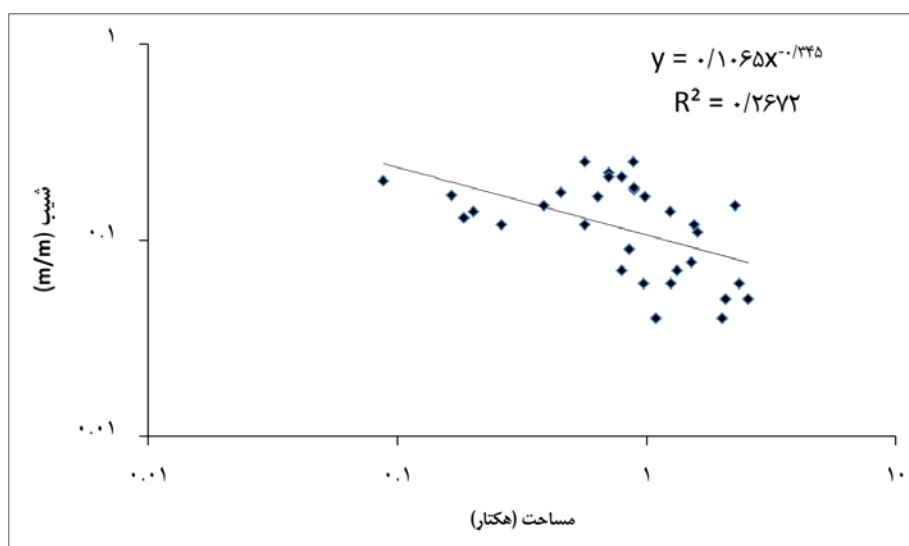
^۱ - Geographic Information System

^۲ - Receiver operating characteristic

ضعیف	۰/۵-۰/۶
متوسط	۰/۶-۰/۷
خوب	۰/۷-۰/۸
خیلی خوب	۰/۸-۰/۹
عالی	۰/۹-۱

نتایج

نتایج حاصل از بررسی رابطه شیب - مساحت برای خندق‌های مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است. همچنین جدول (۱) نتایج آماری این رابطه را نشان می‌دهد.



شکل ۲: رابطه شیب - مساحت آبخیز بالادست برای کل خندق‌های مطالعاتی

بر اساس نتایج شکل (۲) حداقل مساحت آبخیز برای فعالیت خندق ۳۸۸۷ متر مربع (با شیب ۱۵٪) می‌باشد. همچنین مقدار شیب متوسط منحنی برازش داده شده ابر نقاط برابر ۱۳/۲۱ درصد می‌باشد. بنابراین در منطقه مطالعاتی مقدار آستانه شیب برابر ۱۳ درصد است. با قرار دادن مقدار ۱۳٪ در رابطه ناشی از منحنی شکل (۲) مقدار مساحت آستانه برابر ۱۱۴۲ متر مربع بدست آمد. همچنین نتایج شکل (۲) و جدول (۱) بیانگر وجود همبستگی معنی‌دار بین شیب و مساحت آبخیز بالادست می‌باشد.

جدول ۱: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل همبستگی بین شیب و مساحت آبخیز برای خندق‌های مورد مطالعه

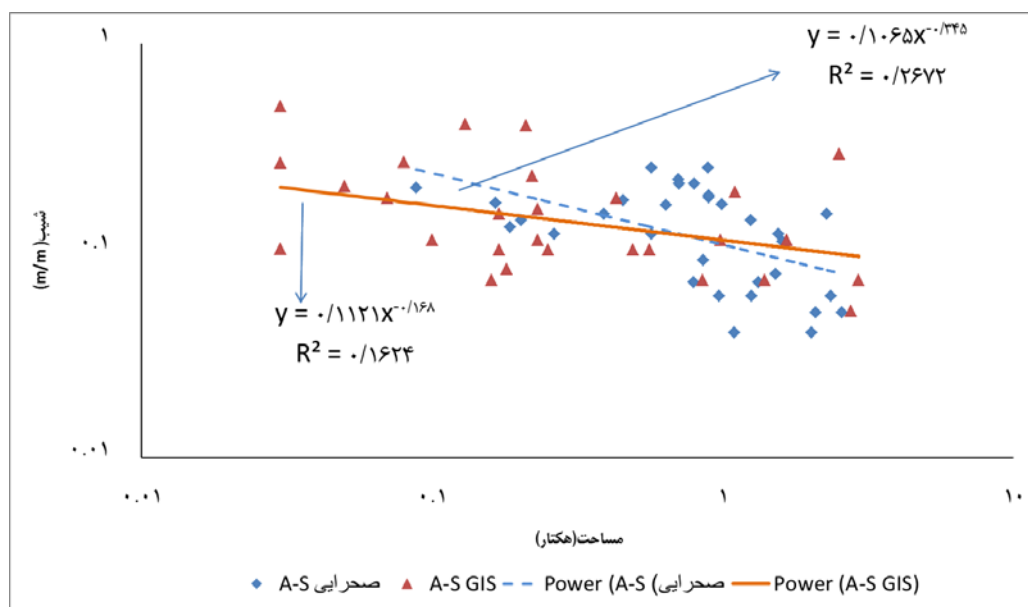
ضریب α	ضریب β	ضریب تبیین (R^2)	مقدار F	سطح معنی‌داری
۰/۱۰۶۵	-۰/۳۴۵	۰/۲۶۷	۱۰/۹۴	۰/۰۰۲

همانطور که قبلاً ذکر شد رابطه شیب و مساحت و ضرایب آن (α و β) تحت اثر عوامل مختلفی است که عمده‌ترین این عوامل عبارتند از: شرایط محیطی (زمین‌شناسی، اقلیم، کاربری اراضی و پوشش)، انواع مکانیسم فعال برای ایجاد و گسترش خندق و نوع روش مورد استفاده برای استخراج داده‌های A و S (اندازه‌گیری صحرایی و GIS). در مورد منطقه مورد مطالعه نیز به دلیل

ثابت بودن شرایط اقلیم و سنگ‌شناسی، می‌تواند دلیل تغییرات در ضرایب رابطه شیب - مساحت را به عواملی همچون نوع مکانیسم تشکیل و گسترش خندق و نوع کاربری اراضی نسبت داد. بنابراین برای تحلیل نتایج لازم است تا موارد ذکر شده مد نظر قرار بگیرند.

تأثیر نوع روش استخراج داده‌های شیب و مساحت روی آستانه توپوگرافی

نتایج حاصل از تحلیل‌های GIS و اندازه‌گیری میدانی در جدول (۲) و شکل (۳) آورده شده است. با اتکا بر این نتایج برای داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی و GIS رابطه معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بین شیب و مساحت آبخیز بالادست خندق-های مورد مطالعه قابل اثبات می‌باشد. در رابطه با دقت روابط همبستگی با استناد به ضریب تبیین ۰/۲۶۷ برای داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صحرایی و مقدار ۰/۱۶۲ برای داده‌های حاصل از GIS به طور قطع می‌توان گفت با وجود معنی‌داری هر دو رابطه (در سطح ۵ درصد)، اما استفاده از روش صحرایی و اندازه‌گیری مستقیم نتایج بهتری ارائه خواهد داد.



شکل ۳: رابطه شیب - مساحت آبخیز بالادست برای داده‌های اندازه‌گیری شده و بدست آمده از GIS

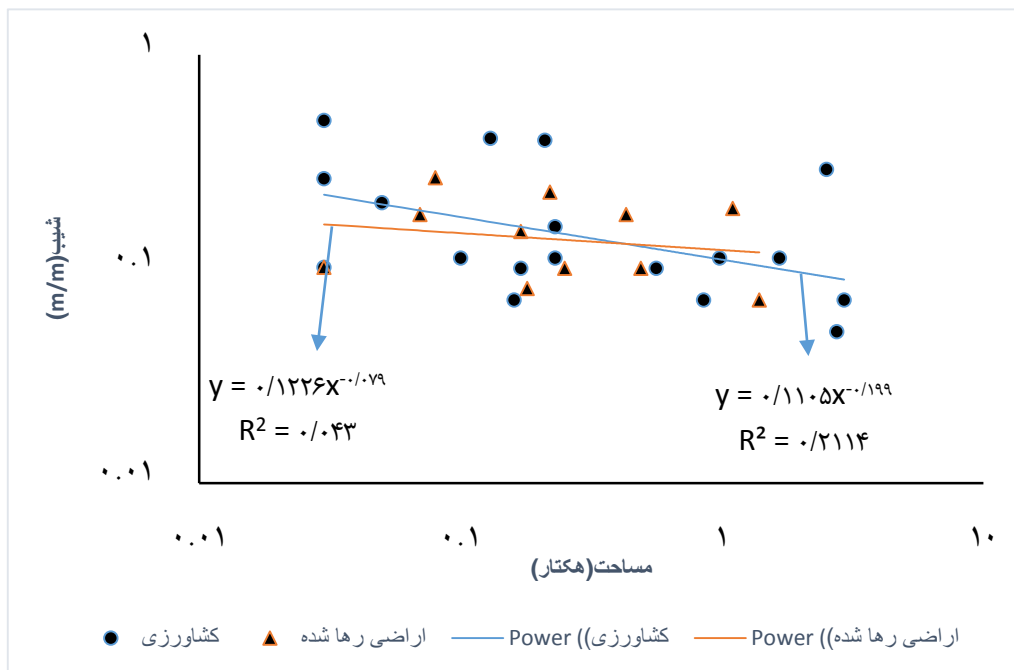
جدول ۲: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل همبستگی نمایی بین شیب و مساحت آبخیز بالادست

نوع روش	ضریب α	ضریب β	ضریب تبیین (R^2)	مقدار F	سطح معنی‌داری
GIS	۰/۱۱۲۱	-۰/۱۶۸	۰/۱۶۲	۵/۲۳	۰/۰۳۰
اندازه‌گیری	۰/۱۰۶۵	-۰/۳۴۵	۰/۲۶۷	۱۰/۹۴	۰/۰۰۲

نقش کاربری اراضی در تشکیل خندق و تأثیر آن بر روی رابطه آستانه توپوگرافی

با وجود اینکه مقدار ضریب تبیین رابطه همبستگی شیب و مساحت برای تمام داده‌ها از معنی‌داری بالایی برخوردار است اما پراکندگی مشاهده شده در ابر نقاط حاکی از تأثیر عوامل دیگر در این رابطه می‌باشد. بر این اساس در منطقه مورد مطالعه با

توجه به دو نوع کاربری اراضی (کشاورزی و اراضی رها شده) اقدام به گروه‌بندی خندق‌های منطقه شده و خندق‌ها در دو گروه مجزا قرار گرفتند. سپس اقدام به تعیین رابطه آستانه شیب - مساحت و ضرایب آن گردید. نتایج حاصل از تفکیک داده‌ها بر اساس نوع کاربری در جدول (۳) و شکل (۴) ذکر شده است.



شکل ۴: نمودار پراکنش به همراه خط برازش یافته به داده‌های شیب - مساحت برای خندق‌ها به تفکیک کاربری‌های کشاورزی و مرتع

جدول ۳: همبستگی بین شیب و مساحت آبخیز خندق‌ها به تفکیک کاربری اراضی

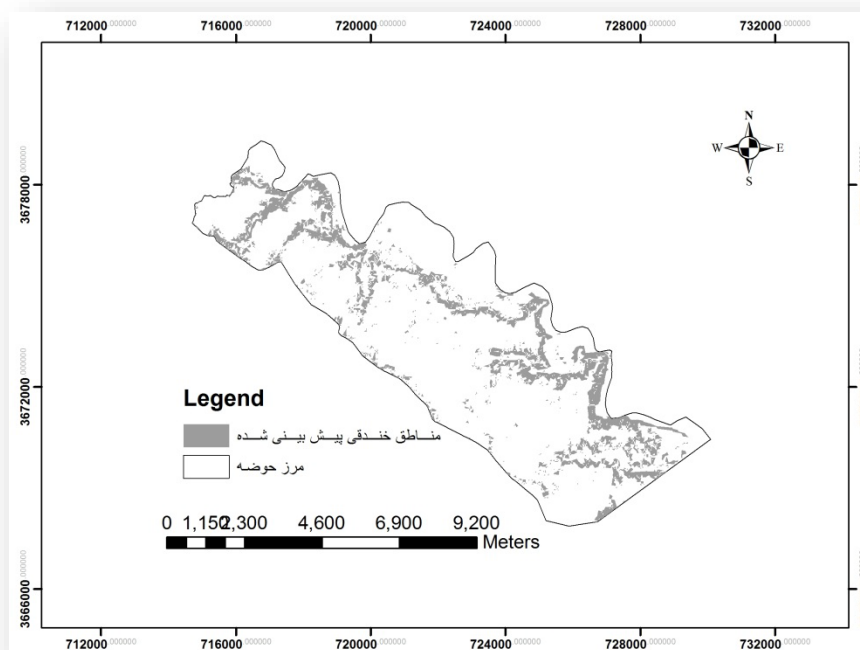
نوع داده‌ها	ضریب α	ضریب β	ضریب تبیین (R^2)	سطح معنی‌داری
تمام خندق‌ها	۰/۱۱۲۱	-۰/۱۶۸	۰/۱۶۲	۰/۰۳۰
خندق‌های موجود در اراضی کشاورزی	۰/۱۱۰۵	-۰/۱۹۹	۰/۲۱۴۱	۰/۰۴۸
خندق‌های موجود در اراضی رها شده	۰/۱۲۲۶	-۰/۰۷۹	۰/۰۴۳	۰/۰۵۴

بر اساس نتایج فوق با تفکیک داده‌ها مقدار ضریب تبیین از ۰/۱۶۲ به ۰/۲۱۴۱ برای داده‌های کاربری اراضی کشاورزی افزایش یافته است. اما برای داده‌های کاربری اراضی رها شده این مقدار برابر ۰/۰۴۳ و غیر معنی‌دار ($p=0.054$) بدست آمده است. این یافته‌ها به روشنی بیان‌کننده نقش اثر نوع فرآیند غالب در رابطه شیب - مساحت به عنوان آستانه توپوگرافی به شمار می‌آید.

پیش‌بینی مناطق مساعد تشکیل و شروع فرسایش خندقی بر اساس آستانه توپوگرافی

پس از محاسبه رابطه آستانه شیب - مساحت، با استفاده از GIS نقشه مساحت (هکتار) و شیب بحرانی ایجاد خندق برای هر پیکسل از طریق اعمال معادله ($S = 0.1121A^{-0.168}$) به دست آمد. به نقل از نظری سامانی (۱۳۸۷) بر اساس نظریه پاتون و شیوم (۱۹۷۵) هرگاه شیب زمین از این مقدار آستانه بیشتر و یا حتی مساوی شود این محدوده برای ایجاد فرسایش خندقی از نظر

توپوگرافی دارای استعداد کافی می‌باشد. از این طریق محدوده اراضی حساس به فرسایش خندقی در کل منطقه مورد مطالعه بدست آمد (شکل ۵).

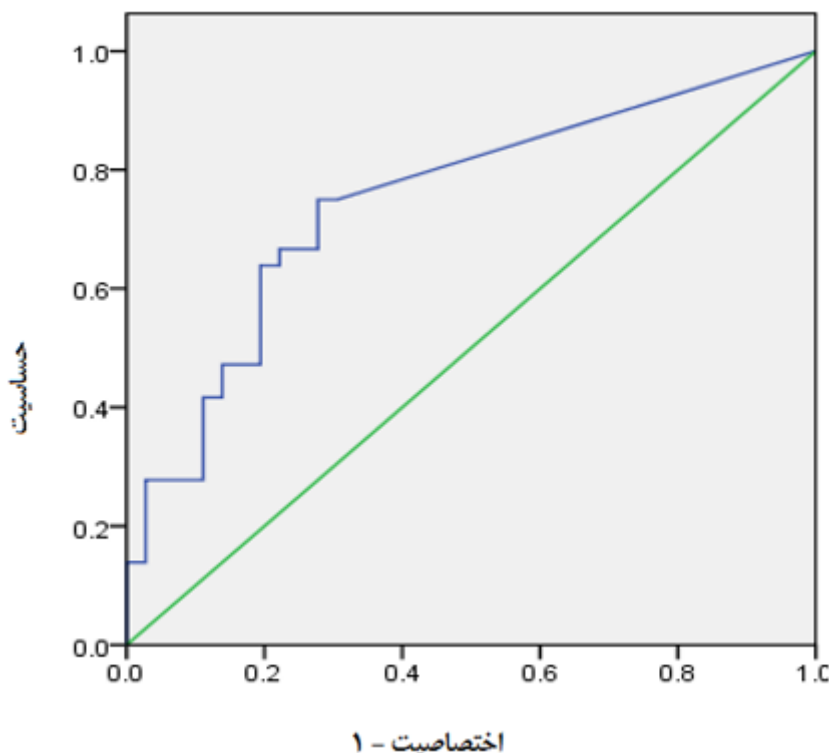


شکل ۵: نقشه پیش‌بینی مناطق مساعد تشکیل فرسایش خندقی با استفاده از رابطه آستانه توپوگرافی

علاوه بر این، توانایی پیش‌بینی مدل آستانه توسط سطح زیر منحنی ROC (شکل ۶) ارزیابی شد. در ارزیابی به روش ROC هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد دقت مدل بیشتر است که مقدار آن بین ۰/۵ تا ۱ متغیر است. سطح زیر منحنی در این تحقیق برابر با ۰/۷۴۸ محاسبه گردید (جدول ۴). همچنین درجه اهمیت مجانبی مدل ۰/۰۰ بدست آمده است که با توجه به اینکه این مقدار بایستی کمتر از ۰/۰۵ باشد، نشان‌دهنده دقت مناسب مدل در پیش‌بینی مناطق حساس به فرسایش خندقی است.

جدول ۴: سطح زیر منحنی ROC مربوط به فراوانی خندق‌ها و تجزیه و تحلیل آن

فواصل اطمینان مجانبی ۰/۹۵		درجه اهمیت مجانبی ^b	انحراف معیار ^a	سطح زیر منحنی
حد پایینی	حد بالایی			
۰/۶۶۳	۰/۸۶۳	۰/۰۰	۰/۰۵۹	۰/۷۴۸



شکل ۶: منحنی ROC جهت تعیین دقت نقشه پیش‌بینی مناطق مساعد تشکیل فرسایش خندقی

بحث و نتیجه‌گیری

آستانه توپوگرافی خندق‌های مورد مطالعه از طریق رابطه شیب - مساحت مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج شکل (۲) حداقل مساحت آبخیز برای شروع فعالیت خندق ۱۸۵۶ متر مربع (با شیب ۱۳٪) می‌باشد. همچنین مقدار شیب متوسط سر خندق‌های مورد مطالعه برابر ۱۳/۲۱٪ می‌باشد. بنابراین در منطقه مطالعاتی مقدار آستانه شیب برابر ۱۳٪ است. با قرار دادن مقدار ۱۳٪ در رابطه آستانه ($S = 0.1065A^{-0.345}$) مقدار مساحت آستانه حوزه آبخیز بالادست برابر ۱۱۴۲ متر مربع بدست آمد. همچنین همبستگی بین شیب و مساحت آبخیز بالادست مورد بررسی قرار گرفت که نتایج بیانگر وجود همبستگی معنی‌دار بین شیب و مساحت آبخیز بالادست می‌باشد ($p=0.002$). این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های دیگر (صوفی و ابولوردی، ۱۳۸۷)، (نظری سامانی، ۱۳۸۷) و (مهدی‌پور و همکاران، ۱۳۸۶) مطابقت دارد.

با توجه به اینکه رابطه شیب و مساحت و ضرایب آن (α و β) تحت اثر عوامل مختلفی است (شرایط محیطی (زمین‌شناسی، اقلیم، کاربری و پوشش)، انواع مکانیسم فعال برای ایجاد و گسترش خندق و نوع روش مورد استفاده برای استخراج داده‌های A و S (عکس‌های هوایی، اندازه‌گیری صحرایی و GIS)، در منطقه مورد مطالعه به دلیل ثابت بودن شرایط اقلیم و سنگ‌شناسی، می‌توان دلیل تغییرات در ضرایب رابطه شیب - مساحت را به عواملی همچون نوع سازوکار تشکیل و گسترش خندق و نوع کاربری اراضی نسبت داد.

نتایج حاصل از روش GIS و اندازه‌گیری صحرایی و تاثیر آنها بر رابطه شیب - مساحت در جدول ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است. با اتکا بر این نتایج برای داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صحرایی و GIS رابطه معنی‌داری (در سطح ۵ درصد) بین شیب

و مساحت آبخیز بالادست خندق‌های مورد مطالعه قابل اثبات می‌باشد. در خصوص دقت روابط همبستگی با استناد به ضریب تبیین ۰/۲۶۷ برای داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صحرایی و مقدار ۰/۱۶۲ برای داده‌های حاصل از GIS می‌توان گفت با وجود معنی‌داری هر دو رابطه (در سطح ۵ درصد)، اما استفاده از روش زمینی و اندازه‌گیری مستقیم نتایج بهتری ارائه خواهد داد. محققان زیادی در نقاط مختلف دنیا نیز به این نتیجه رسیده‌اند و بر این باورند که روش اندازه‌گیری صحرایی در مقایسه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و GIS از دقت بالاتری برخوردار هستند (مارکر و همکاران، ۲۰۰۸؛ پروسر و آبرنتی، ۱۹۹۶؛ پوزن و همکاران، ۲۰۰۳؛ کانوستی و همکاران، ۲۰۱۳؛ پوزن و همکاران، ۲۰۰۲؛ رستمی‌زاد، ۱۳۹۳؛ مهدی‌پور و همکاران، ۱۳۸۶). علت این موضوع ناشی از ساختار سلولی به همراه ابعاد آنها در محیط GIS اعلام شده است.

نقش کاربری اراضی در تشکیل خندق و تاثیر آن روی رابطه آستانه شیب - مساحت نیز مورد بررسی قرار گرفت. با تفکیک داده‌ها به دو گروه کاربری اراضی رهاشده و کشاورزی و براساس نتایج بدست آمده، مقدار ضریب تبیین از ۰/۱۶۲ به ۰/۲۱۴۱ برای داده‌های کاربری اراضی کشاورزی افزایش یافته است. اما برای داده‌های کاربری اراضی رهاشده این مقدار برابر ۰/۰۴۳ و غیر معنی‌دار ($p=0/05$) بدست آمده است. این یافته‌ها به روشنی بیان‌کننده اثر نوع فرآیند غالب در رابطه شیب - مساحت به عنوان آستانه توپوگرافی به شمار می‌آید و با یافته‌های محققان دیگر (رستمی‌زاد، ۱۳۹۳؛ مهدی‌پور و همکاران، ۱۳۸۶؛ مارکر و همکاران، ۲۰۰۸؛ وندکرخف و همکاران، ۲۰۰۰؛ مونت گومری و دیتریچ، ۱۹۹۴؛ پوزن و همکاران، ۱۹۹۸) مطابقت دارد. از آنجایی که خندق‌های فعال با حرکات توده‌ای در روی دامنه‌ها از پایین دست و مناطق کم شیب شروع شده‌اند و خود را به بالادست گسترش داده‌اند، بنابراین برای فعالیت خود نوع فرآیند مربوط به رواناب سطحی با حرکات زیرسطحی و ریزشی بالاکند جایگزین شده است. از طرفی چون رابطه شیب - مساحت برای حرکات توده‌ای معکوس ولی برای حرکات زیرسطحی مثبت است، بنابراین این دو اثر همدیگر را خنثی می‌کنند و همین امر سبب شده است در کاربری اراضی رهاشده که اکثر خندق‌های تشکیل شده در آن تحت فرآیند حرکات توده‌ای و البته همراه با حرکات زیر سطحی تشکیل شده‌اند، رابطه شیب - مساحت معنی‌دار نشود. این یافته‌ها با نتایج ارائه شده توسط محققان دیگر (رستمی‌زاد، ۱۳۹۳؛ مهدی‌پور و همکاران، ۱۳۸۶؛ وندل و همکاران، ۱۹۹۶) مطابقت دارد.

در این تحقیق مناطق حساس به فرسایش خندقی با استفاده از رابطه آستانه توپوگرافی (رابطه شیب و مساحت) تعیین شدند. بر این اساس حدود ۹۱۵ هکتار از سطح منطقه به عنوان مناطق حساس به فرسایش خندقی شناسایی شد. این محدوده برای ایجاد فرسایش خندقی از نظر توپوگرافی دارای استعداد کافی می‌باشد. علاوه بر این، توانایی پیش‌بینی مدل توسط سطح زیر منحنی ROC مشخص شد. سطح زیر منحنی در این تحقیق برای نقشه پیش‌بینی مناطق حساس به فرسایش خندقی برابر با ۰/۷۴۸ محاسبه گردید که بر اساس جدول (۴) دقت آن در کلاس خوب قرار دارد. همچنین درجه اهمیت مجانبی مدل ۰/۰۰ بدست آمده است که با توجه به اینکه این مقدار بایستی کمتر از ۰/۰۵ باشد، نشان‌دهنده دقت مناسب مدل در پیش‌بینی مناطق حساس به فرسایش خندقی است. این یافته‌ها با نتایج محققان دیگر (بابروویتسکایا، ۲۰۰۰؛ رستمی‌زاد، ۱۳۹۳) مطابقت دارد.

منابع

۱. آقارزی، ح.، داودی‌راد، ع.، مردیان، م.، صوفی، م.، ۱۳۹۲. بررسی آستانه مساحت شیب خندق‌ها در حوزه آبخیز ظهیرآباد شازند- استان مرکزی. نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز. ۶(۱): ۹-۱۱ص.
۲. پیری صحراگرد، ح.، ۱۳۹۲. ارزیابی کارایی مدل‌های آماری برای پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی (مطالعه موردی: مراتع استان قم). رساله دکترا، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۱۵۹ ص.
۳. رستمی‌زاد، ق.، ۱۳۹۳. مدل‌سازی ویژگی‌های هندسی (ژئومتری) فرسایش خندقی (مطالعه موردی: شهرستان دره‌شهر)، رساله دکترا، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۲۰۹ ص.
۴. سلیمان‌پور، س.م.، صوفی، م.، احمدی، ح.، ۱۳۸۹. تعیین عوامل موثر بر گسترش خندق در منطقه کنار تخت استان فارس. مجله آب و خاک. ۲۳(۱): ۱۴۱-۱۳۱ ص.
۵. سلیمان‌پور، م.، ۱۳۹۱. تعیین آستانه‌های مختلف خندق در استان فارس، رساله دکترا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات. ۲۳۷ ص.
۶. صوفی، م.، ۱۳۹۱. بررسی ویژگی‌های مرفولوژیاتیک آبکنده‌های استان فارس، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران. ۱۳۲ص.
۷. صوفی، م.، ابولوردی، ز.، ۱۳۸۷. بررسی آستانه توپوگرافی در گسترش خندق‌ها در استان فارس. اولین کنفرانس ملی مدیریت و توسعه کشاورزی در ایران. ۴ ص.
۸. مهدوی، ی.، کاظمی، م.، رضایی، پ.، نورمحمدی، ف.، ۱۳۹۰. بررسی رابطه آستانه شیب مساحت و مولفه‌های مهم بارندگی با حجم فرسایش آبکندی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بدره - ایلام). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی. ۲(۳): ۵۱ - ۳۹ ص.
۹. مهدی‌پور، ا.، صوفی، م.، بانی اسدی، م.، علیزاده، م.، ۱۳۸۶. گسترش خندق و آستانه توپوگرافی (مطالعه موردی: منطقه خبر جنوب شرقی استان کرمان). سومین کنفرانس ملی مدیریت حوزه آبخیز و مدیریت منابع آب و خاک. ۸ ص.
۱۰. نظری سامانی، ع.، ۱۳۸۷. بررسی ساز و کارهای موثر در فرسایش خندقی به منظور تعیین آستانه‌های توپوگرافی، رواناب و سهم رسوب حاصل از آن، رساله دکترا، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۲۳۷ص.
۱۱. یثربی، ب.، نورمحمدی، ف.، صوفی، م.، صادقی، س. ح.، ر.، ۱۳۸۹. بررسی آستانه توپوگرافی فرسایش خندق در شهرستان دره‌شهر- استان ایلام. چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب. دانشگاه تربیت مدرس. ۸ ص.
12. Amsler, L. M., C. G. Ramonell & H. A. Toniolo. (2005). Morphologic changes in the Parana river channel in the light of the climate variability during the 20th century, *Geomorphology*, 65, p 56-70
13. Boardman, J., A. J. Parsons & R. Holland., P. J. Holmes, Washington. (2003). Development of badlands and gullies in the Sneeuwberg, Great Karoo, South Africa, *Catena*, 50, 165- 184.
14. Bobrovitskaya, N.N. (2000). Hydrological, meteorological and morphological aspects of studying gully erosion in period of global change, *International Symposium on Gully Erosion under Global Change*, 35.
15. 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

16. Desmet, P.J.J., J. Poesen, G. Govers and K. Vandaele. (1999). Importance of slope gradient and contributing area for optimal prediction of the initiation and trajectory of ephemeral gullies. *Catena*, 37: 377-392.
17. Ezechi, J.I. (2000). The influence of runoff, lithology and water table on the dimensions and rates of gulling processes in Eastern Nigeria, International Symposium on Gully Erosion under Global Change, 60.
18. Kheir, Rania Bou., Olivier Cerdan & Chadi Abdallah. (2006). Regional soil erosion risk mapping in Lebanon, *Geomorphology*, 82, 347-359.
19. Luna, E., Vanderlinden, K., de haro, J.M., Laguna, A., Poesen, J., Giraldez, J.V. (2000). Monitoring of long term gully head advance in south-east Spain using GIS, International Symposium on Gully Erosion under Global Change, 53.
20. Marker, M., Angeli, L., Bottai, L., cCostantini, R. (2008). Assessment of land degradation susceptibility by scenario analysis. *Geomorphology*, 93, p120-129.
21. Montgomery DR and Dietrich WE (1994) Channels initiation and the problem of landscape scale. *Science* 255: 826-830.
22. Nachtergaele, J., Poesen, J., Steegen, A., Takken, I., Beuselinck, L., Vandekerckhove, L., Govers, G. (2001). The value of a physically based model versus an empirical approach in the prediction of ephemeral gully erosion for loess-derived soils, *Geomorphology* 40: 237-252.
23. Poesen J, Vandekerckhove L, Nachtergaele J, Oostwoud Wijdenes D, Verstraeten G, and van Wesemael B (2002) Gully erosion in dryland environments. In: Bull LJ and KirkbyM (Eds) *Dryland Rivers: Hydrology and Geomorphology of Semi-Arid Channels*. Chichester: Wiley, 229-262.
24. Poesen, J., K. Vandaele and B. Wesemael (1998). Gully erosion: importance and model implications. In : Boardman, J., Favis - Mortlok, D.T. (Eds.) *Modelling Soil Erosion by Water* Springer - Verlag, Berlin NATO - ASI Series, 1-55 : 285-311
25. Poesen, J., Nachtergaele, G. Verstraeten & C. Valentin. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs, *Catena*, 50, 91- 133.
26. Prosser, I.P., Abernethy, B., (1996). Predicting the topographic limits to a gully network using a digital terrain model and process thresholds. *Water Resources Research* 32 (7), 2289- 2298.
27. Vandaele, K., Poesen, J., Govers, G., van Wesemael, B., (1996). Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision. *Geomorphology* 16 (2), 161- 173.
28. Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud wijdenes, D., Nachtergaele, J., Kosmas, C., Roxd, M.J., Figueiredo, T.De., (2000). Thresholds for Gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe, *Earth surface processes and land forms*. 25: 1201-1220.
29. Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud wijdenes, D., Nachtergaele, J., Kosmas, C., Roxd, M.J., Figueiredo, T.De., (2000). Thresholds for Gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe, *Earth surface processes and land forms*. 25: 1201-1220.
30. Vandekerckhove, L., J. Poesen and G. Govers. (2003). Medium-term gully headcut retreat rates in Southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements. *Catena*, 50: 329-352.
31. Vandekerckhove, L., J. Poesen, D. Oostwoud and T. De-Figueiredo. (1998). Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean. *Catena*, 33: 271-292.
32. Wilson, G.V., R.F. Cullum and M.J. Romkens. (2008). Ephemeral gully erosion by preferential flow through a discontinuous soil-pipe. *Catena*, 73: 98-106.
33. Zevenbergen, L. W., and Thorn, C.R., (1987). Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surf. Process. Landforms*, 12: 47-56.



Hormozgan University

Environmental Erosion Researchjournal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>**Determine the location of Gully erosion occurred based on the Geomorphology threshold and factors affecting it (case study: Cham-e- Zhab of Darrehshahr , Ilam)**Tavakoli, M.^{1*}, Rostamizad, GH.¹, Nazari Samani, A.A.³¹ *Department of Range & Watershed Management, Faculty of Agricultural & Natural Resources, Ilam University*³ *Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran***Abstract**

Gully erosion is the most important water erosion which causes land degradation and imbalance in lands. Land degradation, broken ecological balance of landscapes and sensitive condition of biological resources are among reasons of gully erosion study. This study performed with the goal of determining the topographical threshold of gully erosion and expansion and also predicting sensitive areas to this kind of erosion. Therefore, 36 gully in the study area selected and after data separation, impact of land use factors, various active mechanisms for gully expansion and method of data extraction of area and slop using aerial photographs, field measurement and GIS were investigated. Results showed that R^2 coefficient has increased from 0.162 to 0.214 for agricultural land use data. But for abandoned land use, this value was equal to 0.043 and non-significant ($P=0.54$). R^2 coefficient of 0.267 for the field measurements data and 0.162 for the GIS derived data, show that in spite of the significant relationship for both method (at significant level of 5%), use of field methods and direct measurement will lead to better results. In addition, the ability of model about sensitive areas predicting to gully erosion was studied using ROC curve. Area under the ROC curve was equal to 0.748 and indicated that this model is suitable for prediction of sensitive area for gully erosion.

Article History:
*Received:**Revised:**Accepted:***Keywords:***Gully erosion,
Topographical
threshold,
Prediction, Aerial
photos, ROC curve*

* Corresponding Author Email: mohtavakoli2003@yahoo.com