

## بررسی آستانه مساحت شیب خندق‌ها در حوزه آبخیز ظهیرآباد شازند-استان مرکزی

حشمت‌اله آقارزی<sup>۱</sup>، علی‌اکبر داودی‌راد<sup>۲</sup>، مهدی مردیان<sup>۳\*</sup> و مجید صوفی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> مربی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، <sup>۲</sup> دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، <sup>۳</sup> دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و <sup>۴</sup> دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۱۱

### چکیده

شناخت فرآیندهای موثر در فرسایش به‌خصوص آستانه‌ها یکی از راه‌کارهای مهم مدیریتی منابع آب و خاک محسوب می‌شود. فرسایش خندقی یکی از مهمترین منابع رسوبدهی حوزه‌های آبخیز است که برای آن آستانه‌های مختلف از جمله مساحت-شیب یا توپوگرافی تعریف شده است. در این پژوهش به تحلیل آستانه توپوگرافی خندق‌ها در حوزه آبخیز ظهیرآباد شازند پرداخته شد. ابتدا بر اساس عملیات میدانی و مدل رقومی ارتفاع، مشخصات مورفومتری ۱۴ خندق همراه با نمونه‌برداری خاک و خصوصیات پوشش گیاهی اندازه‌گیری شد. سپس با تحلیل‌های عاملی و خوشه‌ای، خندق‌های همگن منطقه مطالعاتی تعیین شد و رابطه توانی مساحت-شیب برای آن‌ها تهیه شد. طبق نتایج، همبستگی قوی بین مساحت با شیب آبخیز خندق‌ها مشاهده نشد. به‌طوری‌که ضریب تبیین از نقطه ایجاد و نقطه گسترش کل خندق‌های مطالعاتی به ترتیب برابر ۰/۱۱۱ و ۰/۱۸۱ به دست آمد. با توجه به نتایج، فرآیند غالب در ایجاد و گسترش خندق‌های منطقه ظهیرآباد مربوط به تمرکز جریان و فرسایش خطی است که بر روی دامنه‌های شیب‌دار منجر به تشکیل و توسعه خندق شده است. با توجه به غالبیت بافت لومی خاک، تغییر کاربری و تخریب پوشش گیاهی در منطقه، پیشنهاد می‌شود تا ضمن بررسی الگوی استفاده از اراضی منطقه، بهینه‌سازی کاربری و تقویت پوشش گیاهی دامنه‌ای به‌منظور کنترل فرسایش خندقی انجام گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** آستانه توپوگرافی، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، رسوبدهی، فرایند فرسایش

### مقدمه

به حساب می‌آید (Bayati Khatibi و همکاران، ۲۰۱۱)، Zhou (۲۰۰۸). پیامدهای فرسایش شامل تلفات خاک، ته‌نشینی رسوب در مخازن و از بین رفتن زمین‌های زراعی و پوشش گیاهی می‌باشد (Rahnema Rad و همکاران، ۲۰۱۰، Lindsay و Evans، ۲۰۱۰). از میان انواع مختلف فرسایش آبی، فرسایش خندقی

خطر فرسایش خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌ویژه در محدوده‌های کوهستانی از موارد قابل توجه در آمایش سرزمین است. فرسایش خاک در این مناطق از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی و یا به‌طور کلی از آثار بارز تغییرات محیطی و اکولوژیک

ایجاد یا پیشروی خندق لازم است. نتایج تحقیقات در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که رابطه توانی پیشنهادی برای آستانه توپوگرافی برای بسیاری از مناطق خندقی وجود دارد. 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. در این زمینه Rahi (۱۹۹۸) عوامل اصلی تشکیل خندق در بندر گناوه را مقدار املاح فراوان در خاک منطقه و شیب مناطق عنوان کرده است. Mahdipour و همکاران (۲۰۰۷)، نتیجه گرفتند که مساحت آبخیز واقع در بالادست پیشانی خندق‌ها تأثیر بیشتری نسبت به شیب بر توسعه و پیشرفت خندق دارد.

نتایج پژوهش Soufi و Abolverdi (۲۰۰۸) 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. Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۰) دریافتند که به‌علت مثبت شدن نمای رابطه توانی، فرآیند رواناب زیرسطحی در گسترش خندق‌های منطقه کنار تخته استان فارس غالب است. Yasrebi و همکاران (۲۰۱۰) در دره شهر استان ایلام نتیجه گرفتند که رابطه توانی منفی بین شیب و مساحت زهکش واقع در بالادست پیشانی خندق‌های پنجه‌ای، بیانگر تأثیر رواناب سطحی در گسترش خندق است. Mahdavi و همکاران (۲۰۱۱) در حوزه آبخیز بدره ایلام نشان دادند که اراضی با شیب دو تا پنج درصد، به‌عنوان طبقه شیب بحرانی از نظر آستانه توپوگرافی و فیزیوگرافی نسبت به سایر طبقات شیب برای رخداد فرسایش خندقی می‌باشد.

Desmet و همکاران (۱۹۹۹) دریافتند، بهترین نتیجه برای تعیین روند پیشرفت خندق زمانی حاصل می‌شود که توان  $b$  بزرگ باشد و حد بهینه این توان بین  $۰/۷$  و  $۱/۵$  بوده و برای شروع خندق توان  $۰/۲$  بهترین نتیجه را داده است. Vandekerckhove و همکاران (۲۰۰۰) با تحلیل رابطه شیب و مساحت بالای پیشانی خندق‌های مناطق مدیترانه‌ای اروپا

یکی از مهمترین رخدادهای مؤثر در نابودی خاک، تغییر منظر زمین و تخریب منابع آبی و پسرقت اراضی است. این نوع فرسایش از دو جنبه بر محیط زیست تأثیر می‌گذارد. الف) با تخریب افق‌های سطحی و زیرین خاک، موجب تولید رسوب در حجم زیاد و نابودی بستر تولید می‌شود، ب) باعث تشدید در تخلیه رواناب‌های سطحی و کاهش حجم جریان آب‌های زیرزمینی از طریق کوتاه کردن ارتباط بین مناطق بالادست و پایین‌دست می‌شود (Nazari Samani و همکاران، ۲۰۰۹). در این بین یکی از راه‌کارهای مدیریتی، تحلیل آستانه‌های اثرگذار بر فرسایش خندقی است. این آستانه‌ها به‌عنوان آستانه هیدرولیکی، بارندگی، توپوگرافی، خاک‌شناسی و کاربری زمین معرفی شده‌اند (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳).

مفهوم آستانه فرسایش خندقی به‌وسیله رواناب سطحی، برای اولین بار توسط Horton در سال ۱۹۴۵ بیان شد و پس از آن در مطالعات Oskam در سال ۱۹۷۵ این مفهوم تکمیل شد (Mahdavi و همکاران، ۲۰۱۱). در ساده‌ترین تعریف، آستانه، نقطه‌ای است که پس از آن رفتار سیستم تغییر می‌کند (Phillips، ۲۰۰۶). یکی از آستانه‌های مورد بررسی در فرسایش خندقی، آستانه مساحت-شیب یا توپوگرافی است. در بررسی‌های صورت گرفته برای تعیین آستانه توپوگرافی، عنوان شده که برای ایجاد و گسترش خندق، یک حد آستانه برای سطح زهکشی ( $A$ ) و شیب ( $S$ ) در بالای نقطه ایجاد (خروجی خندق) و یا پیشانی گسترش (Headcut) وجود دارد. شکل کلی این روابط به‌صورت زیر است (Vandekerckhove و همکاران، ۱۹۹۸).

$$S = aA^b \quad (۱)$$

$$SA^b > t \quad (۲)$$

که در آن‌ها،  $a$  و  $b$  بر اساس شرایط محیطی تعیین می‌شوند و  $t$  عدد آستانه توپوگرافی می‌باشد. در روابط فوق سطح زهکشی به‌عنوان 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

آبخیزی که با بحران این نوع از فرسایش روبرو هستند، ضروری است. این مسئله در حالی است که بیشترین فرسایش آبی در کمربندهای اقلیمی نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب دیده می‌شود. حوزه آبخیز ظهیرآباد شازند در استان مرکزی نیز در منطقه‌ای با اقلیم نیمه-خشک سرد قرار گرفته است که به دلیل مشکلاتی اعم از تخریب پوشش گیاهی طبیعی و ضعف مدیریت اراضی نظیر شخم در جهت شیب، با خطر توسعه فرسایش خندقی روبرو است. بدین منظور در این پژوهش، آستانه مساحت-شیب در خندق‌های این منطقه بررسی شد تا با شناسایی عوامل تأثیرگذار در ایجاد و پیشروی خندق‌ها، بتوان برنامه‌های مدیریتی مناسب را پیشنهاد نمود.

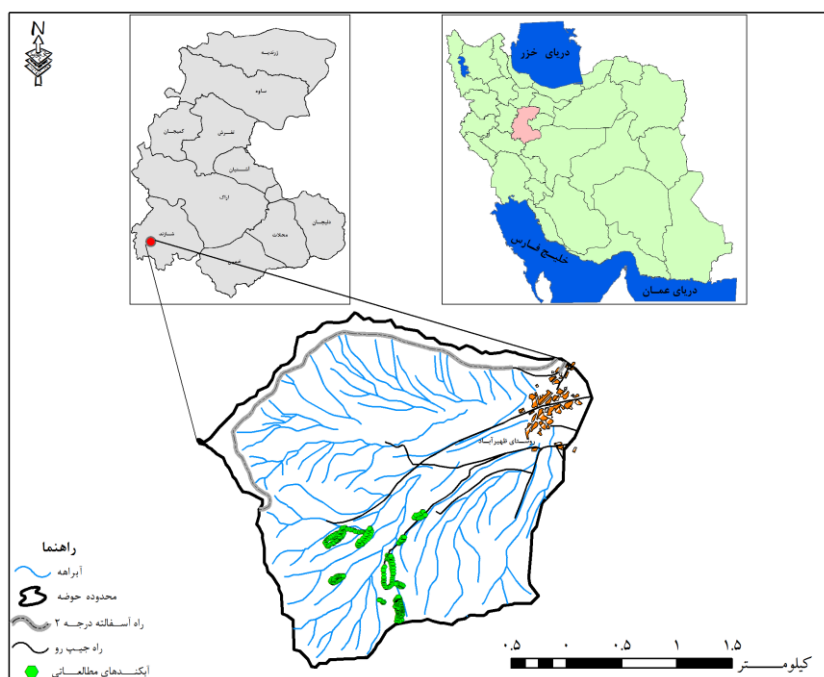
### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد پژوهش:** ابتدا با توجه به طرح طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک خندق‌های استان مرکزی (Davoudirad و همکاران، ۲۰۰۸)، حوزه آبخیز ظهیرآباد شازند به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. شکل ۱ موقعیت و جدول ۱ مشخصات این منطقه را نشان می‌دهد.

نشان دادند که رابطه معکوس شیب با مساحت، نشانه تأثیر رواناب سطحی در ایجاد خندق‌ها و رابطه مثبت نشانه تأثیر رواناب زیرسطحی در ایجاد آن است. Nachtergaele و Poesen (۲۰۰۲) در کمربند لسی بلژیک متوجه شدند، توان  $b$  خندق‌های عمیق بزرگ‌تر است که نشان‌دهنده عملکرد موثر رواناب سطحی در تعمیق بیشتر این خندق‌ها است.

Vandekerckhove و همکاران (۲۰۰۳) در پژوهشی دیگر به‌منظور بررسی پیشروی طولی خندق‌های جنوب‌شرقی اسپانیا دریافتند 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 نشان‌دهنده افزایش اهمیت سطح آبخیز (رواناب سطحی) در گسترش خندق‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است. Wilson و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی تأثیر رواناب بر فرسایش خندقی در اندونزی نتیجه گرفتند که تحت شرایط جریان لوله‌ای رواناب، میزان هدررفت خاک تقریباً ۲۰ برابر هدررفت خاک ناشی از فرسایش سطحی بوده است.

با توجه به اهمیت موضوع، شفاف‌سازی آستانه عوامل اثرگذار در فرسایش خندقی در حوزه‌های



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز ظهیرآباد شازند در استان مرکزی

جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز ظهیرآباد شازند

پارامتر	مقدار
مساحت (کیلومتر مربع)	۷/۰۶
محیط (کیلومتر)	۱۱/۳۹
ارتفاع متوسط (متر)	۲۲۳۷
شیب متوسط سطح (درصد)	۱۵/۹۴
متوسط بارش سالیانه (میلی متر)	۴۵۷
متوسط دمای سالیانه (سانتی گراد)	۱۱/۷
اقلیم به روش آمبرژه	نیمه خشک سرد

### اندازه‌گیری مساحت و شیب بالادست خندق‌ها:

پس از تعیین منطقه مطالعاتی، بر اساس عملیات صحرایی با استفاده از GPS<sup>۱</sup>، شیب‌سنج و همچنین، مدل رقومی ارتفاع تهیه‌شده از لایه ۱:۲۵۰۰۰ منحنی‌های میزان در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10، شیب و مساحت بالادست هر یک از خندق‌ها از نقطه ایجاد (خروجی) و نقطه گسترش (هدکت) محاسبه شد.

**تعیین مشخصه‌های فیزیکی-شیمایی:** هم‌زمان با اندازه‌گیری‌های شیب و مساحت آبخیز خندق‌های مطالعاتی، ویژگی‌های هندسی و مورفومتریک هر یک از خندق‌ها از قبیل پارامترهای طول، عمق، شیب بستر، مساحت و محیط، عرض کف و بالای بستر و جهت شیب نیز اندازه‌گیری شد. همچنین، نمونه‌برداری از خاک در نقطه هدکت خندق‌ها انجام شد و با انتقال به آزمایشگاه آب و خاک مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، مشخصه‌های بافت، pH و EC نمونه‌ها تعیین شد. علاوه بر این با استفاده از رینگ مضاعف<sup>۲</sup>، نفوذپذیری خاک منطقه در محل نمونه‌برداری، اندازه‌گیری شد. همچنین، نوع کاربری و وضعیت پوشش آبخیز هر خندق نیز یادداشت شد.

**گروه‌بندی خندق‌های همگن:** در مرحله بعد به کمک نرم‌افزار SPSS 17 اقدام به گروه‌بندی خندق‌های همگن بر اساس تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای شد. در تحلیل عاملی برای تعیین و تشخیص

مناسب بودن داده‌ها از ضریب KMO<sup>۳</sup> استفاده شد. به‌منظور استخراج عامل‌ها از روش تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد. در تحلیل خوشه‌ای علاوه بر پارامترهای موثر حاصل از تحلیل عاملی، از پارامتر نوع کاربری بالادست خندق نیز به جهت اهمیت بالای آن در ایجاد و گسترش خندق استفاده شد. لذا پس از تعیین عوامل موثر همراه با عامل نوع کاربری بالادست خندق، اقدام به گروه‌بندی خندق‌ها به روش تحلیل خوشه‌ای شد. بدین منظور پس از استاندارد کردن داده‌ها به روش Z-SCORE، گروه‌بندی با روش طبقاتی تجمعی و محاسبه فاصله اقلیدسی انجام گرفت که به تدریج، خندق‌های مشابه منطقه مطالعاتی طی فرآیند جمع‌آوری در یک گروه با هم ادغام شدند.

**تعیین رابطه مساحت-شیب خندق‌ها:** پس از تعیین مساحت و شیب آبخیز هر خندق و نیز همگن‌بندی خندق‌ها، رابطه بین مساحت-شیب در هر دو حالت مساحت (از نقطه ایجاد و از نقطه گسترش) برقرار شد و ضرایب  $a$  و  $b$  و عدد آستانه توپوگرافی محاسبه شد. این روابط برای خندق‌های همگن و کل منطقه مطالعاتی تهیه شد.

### نتایج و بحث

مشخصات مورفومتری ۱۴ خندق حوزه آبخیز ظهیرآباد در جدول ۲ آمده است. با توجه به اندازه‌گیری‌های صحرایی و آزمایشگاهی، جدول ۳ مشخصات خاک و پوشش گیاهی خندق‌های حوزه آبخیز ظهیرآباد را نشان می‌دهد. بر اساس مطالعات صحرایی، خندق‌ها در واحد اراضی تپه‌ها و تراس‌های فوقانی گسترش دارند که با پراکنش نامنظمی بر روی دامنه‌های با شیب‌های متوسط تا تند تشکیل شده‌اند. خاک محدوده خندق‌های این منطقه کم‌عمق تا نیمه‌عمیق، سنگ‌ریزه‌دار غیریکنواخت با بافت لومی رسی است. میزان هرزآب سطحی در این اراضی زیاد و نفوذپذیری متوسط و از ۲/۱ تا ۴/۹ سانتی‌متر در ساعت متغیر است. در مطالعات صحرایی میانگین درصد تاج‌پوشش ۵۹/۳ درصد، خاک لخت ۱۲ درصد،

<sup>۱</sup> Global Position System

<sup>۲</sup> Double-Ring

<sup>۳</sup> Kaiser-Meyer-Olkin

سنگ و سنگ‌ریزه ۲۵/۸ درصد و خار و خاشاک سه درصد برآورد شد.

جدول ۲- مشخصات مورفومتریک خندق‌های مطالعاتی حوزه آبخیز ظهیرآباد

کد	طول خندق (متر)	عمق متوسط (متر)	شیب بستر (درصد)	مساحت آبخیز از نقطه خروجی (مترمربع)	مساحت آبخیز از نقطه هدکت (مترمربع)	مساحت خندق (مترمربع)	شیب آبخیز خندق (درصد)
۵۰۵	۱۵	۰/۷	۳۲	۱۲۰۳	۱۰۰۱	۴۸	۳۷
۵۰۷	۱۰۹	۲/۵	۳۸	۹۸۱۸	۵۷۷۰	۲۷۵	۳۵
۵۰۷B	۴۰	۰/۷	۳۷	۴۵۷۲	۴۰۵۵	۱۲۱	۳۲
۵۰۸	۸۸	۴/۳	۲۹	۵۶۳۴	۱۸۳۰	۸۹۰	۱۸
۵۱۰	۹۷	۱/۲	۲۹	۸۸۹۳	۴۰۸۵	۳۸۸	۲۶
۵۱۱	۵۷	۰/۹	۳۳	۱۲۷۰۰	۵۵۸۰	۲۲۸	۱۹
۵۱۲	۴۳	۱/۲	۱۲	۶۳۲۹	۴۵۹۸	۱۷۲	۱۱
۵۱۳	۱۴۲	۱/۴	۱۵	۱۱۰۴۳	۳۸۹۰	۵۶۸	۹
۵۱۴	۱۱۴	۱/۱	۲۱	۷۸۷۹	۴۲۳۶	۳۴۲	۲۱
۵۱۵	۲۵	۱	۴	۶۴۴	۱۲۱	۲۵	۴
۵۱۶	۸	۱	۲۰	۹۲	۲۱	۸	۱۰
۵۱۷	۳۸	۱/۱	۱۳	۳۱۸۵	۱۳۲۸	۹۵	۲۱
۵۱۸A	۷۳	۱	۸	۱۵۰۴۹	۱۲۰۳۴	۲۱۹	۸
۵۱۸	۱۵۱	۱/۱	۱۷	۸۰۵۵	۲۴۳۱	۱۶۶	۲۸

جدول ۳- مشخصات خاک و پوشش گیاهی خندق‌های حوزه آبخیز ظهیرآباد

کد	خاک				پوشش
	بافت غالب	pH	EC (ds/m)	نفوذپذیری (cm/hr)	
۵۰۵	لومی شنی	۷/۶	۰/۹۵	۲/۱	وضعیت پوشش فقیر تا متوسط
۵۰۷	لومی شنی	۷/۶	۰/۹۸	۲/۳	وضعیت پوشش فقیر تا متوسط
۵۰۷B	لومی رسی	۷/۵	۰/۹۵	۲/۸	وضعیت پوشش فقیر تا متوسط
۵۰۸	لومی رسی	۷/۵	۰/۱۶	۲/۷	وضعیت پوشش فقیر تا متوسط
۵۱۰	لومی شنی	۷/۷	۰/۹۵	۳/۸	وضعیت پوشش فقیر تا متوسط
۵۱۱	لومی	۷/۵	۰/۶۳	۳/۸	متناوب (لخت و متراکم) زراعی
۵۱۲	لومی رسی	۷/۵	۰/۵۷	۲/۷	متناوب (لخت و متراکم) زراعی
۵۱۳	لومی رسی	۷/۶	۰/۴۸	۳/۸	متناوب (لخت و متراکم) زراعی
۵۱۴	لومی	۷/۶	۰/۴۴	۴/۹	متناوب (لخت و متراکم) زراعی
۵۱۵	لومی شنی	۷/۶	۰/۹۳	۳/۷	مرتع-زراعی-جاده فقیر تا متوسط
۵۱۶	لومی شنی	۷/۶	۱/۰۷	۲/۴	مرتع-زراعی-جاده فقیر تا متوسط
۵۱۷	لومی رسی	۷/۷	۰/۵۱	۳/۲	مرتع-زراعی-جاده فقیر تا متوسط
۵۱۸A	لومی رسی	۷/۷	۰/۴۹	۳/۵	متناوب (لخت و متراکم) زراعی
۵۱۸	لومی شنی	۷/۶	۰/۴۶	۲/۳	مرتع فقیر تا متوسط

جدول ۴، درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های موثر در خندق‌های حوزه آبخیز ظهیرآباد را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که مقدار قابل قبول عدد KMO بایستی بیش از ۰/۵ باشد، حد ویژه مقدار برابر ۰/۸ در نظر گرفته شد که بر این اساس چهار عامل موثر در منطقه مطالعاتی مشخص شد.

جدول ۴، درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های موثر در خندق‌های حوزه آبخیز ظهیرآباد را نشان می‌دهد. با توجه به این‌که مقدار قابل قبول عدد

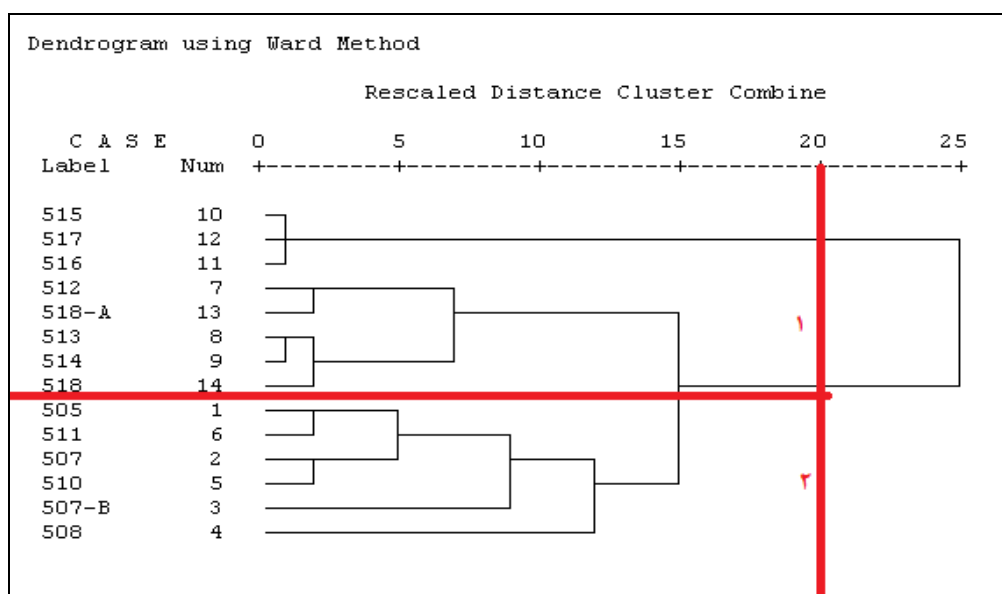
<sup>1</sup> Eigenvalue

گروه‌های همگن تعیین شود تا تعداد نمونه‌ها در گروه بیشتر شود. این امر باعث می‌شود تا رابطه مساحت-شیب با ضریب اطمینان بالاتر ایجاد شود.

شکل ۲، دندروگرام خندق‌های همگن از نظر خصوصیات مورفومتری را در حوزه آبخیز ظهیرآباد نشان می‌دهد. در این دندروگرام سعی شد، حداقل

جدول ۴- درصد واریانس و مقادیر ویژه عامل‌های موثر در خندق‌های ظهیرآباد

مولفه	عامل موثر	درصد واریانس	درصد تجمعی	کل
۱	طول خندق	۳۱/۱۵۹	۳۱/۱۵۹	۲/۸۰۴
۲	عمق خندق	۲۸/۸۹۶	۶۰/۰۵۵	۲/۶۰۱
۳	شیب خندق	۲۰/۶۶۴	۸۰/۷۱۹	۱/۸۶۰
۴	عرض کف خندق	۱۱/۸۰۰	۹۲/۵۱۹	۱/۰۶۲
۵		KMO		۰/۵۱۸



شکل ۲- دندروگرام خندق‌های همگن از نظر خصوصیات مورفومتری در حوزه آبخیز ظهیرآباد

خندق‌های همگن گروه ۱ و نیز کل خندق‌ها، ضریب  $a$  کمتر از یک و ضریب  $b$  مثبت است. در حالی که در گروه ۲، ضریب  $a$  بیشتر از یک و ضریب  $b$  نیز منفی است.

جدول ۵، روابط مساحت-شیب خندق‌ها را برای هر یک از گروه‌های همگن و کل خندق‌های منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که طبق شکل ۲، به دو گروه همگن تقسیم شده‌اند. با توجه به نتایج این جدول، در

جدول ۵- روابط مساحت-شیب خندق‌ها در حوزه آبخیز ظهیرآباد

گروه	مبنا	رابطه مساحت شیب	ضریب تعیین
خندق‌های همگن گروه ۱	از نقطه خروجی	$S = 0.664A^{0.364}$	۰/۱۱۱
	از نقطه هدکت	$S = 0.783A^{0.263}$	۰/۱۲۷
خندق‌های همگن گروه ۲	از نقطه خروجی	$S = 2.615A^{-0.469}$	۰/۲۵۶
	از نقطه هدکت	$S = 1.715A^{-0.150}$	۰/۰۱۹
کل خندق‌ها	از نقطه خروجی	$S = 0.682A^{0.438}$	۰/۱۱۱
	از نقطه هدکت	$S = 0.765A^{0.383}$	۰/۱۸۱

نظر آستانه توپوگرافی عنوان شد، ولی نتایج این تحقیق نشان داد که در صورتی که فرآیند غالب در ایجاد و توسعه خندق‌ها مربوط به تمرکز جریان و فرسایش خطی باشد (و نه انحلال)، دامنه بایستی از شیب‌های بالاتری برخوردار باشد. در بررسی‌های میدانی این پژوهش مشاهده شد که تشکیل خندق در دامنه‌های با شیب تند که با تغییر کاربری و یا تخریب پوشش گیاهی، احتمال تمرکز جریان در سطوح آن‌ها وجود دارد، شکل گرفته است. این فرآیند باعث شده تا با شکل‌گیری متمرکز جریان و پیمایش مسافتی کوتاه، فرسایش‌های شیاری به خندق تغییر شکل یابند.

در پژوهش Desmet و همکاران (۱۹۹۹) توان  $0.2$  به‌عنوان آغازگر خندق و توان  $0.7$  تا  $1/5$  معرف روند پیشرفت خندق عنوان شد. در حالی که توان تمامی روابط حاصل از این پژوهش کمتر از  $0.7$  بود که می‌تواند نشان‌دهنده جوان بودن خندق‌ها باشد. با این‌که در پژوهش‌های Soufi و Abolverdi (۲۰۰۸)، Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۰)، Yasrebi و همکاران (۲۰۱۰) و Vandekerckhove و همکاران (۲۰۰۰)، رابطه  $S = aA^b$  در شناسایی فرآیند غالب جریان زیرسطحی در ایجاد و گسترش خندق مناطق مطالعاتی کارا بود، ولی به‌نظر می‌رسد در حوزه آبخیز ظهیرآباد که واجد توپوگرافی پیچیده و فاقد زمین‌شناسی املاح‌دار است، رابطه مذکور که همبستگی پایینی داشت، کارایی لازم را نداشته باشد. اما با توجه به بحران آب و خشکی اکوسیستم‌های کشور و تخریب اراضی زراعی به‌وسیله خندق‌ها، لازم است تا با شناخت فرآیندهای هیدرولوژیک موثر بر ایجاد و گسترش خندق‌ها، راه‌کارهای موثر در پیش‌گیری از ایجاد و پیشروی این نوع از فرسایش شناسائی شوند. از آن‌جا که به‌نظر می‌رسد، بافت خاک عامل اصلی ایجاد و توسعه خندق‌های حوزه آبخیز ظهیرآباد باشند، بنابراین بهترین اقدامات مدیریتی در این زمینه می‌تواند در ارتباط با الگوی استفاده از اراضی انجام گیرد.

بدین منظور بهینه‌سازی کاربری اراضی با اهداف چندگانه در قالب مدل برنامه‌ریزی خطی می‌تواند به‌کار گرفته شود و اهدافی از قبیل کاهش فرسایش

طبق نتایجی که حاصل شد، رابطه مساحت-شیب در خندق‌های همگن گروه ۱، گروه ۲ و نیز کل ۱۴ خندق، از ضریب همبستگی ضعیفی برخوردار است. طبق نتایج، ضرائب  $a$  و  $b$  در گروه همگن ۱ و کل خندق‌ها با گروه همگن ۲ وضعیتی متفاوت داشته‌اند و هر کدام به نوعی بر فرآیند جریان سطحی و زیرسطحی در ایجاد و گسترش خندق اشاره دارند. با این حال در هر سه حالت (گروه ۱، گروه ۲ و کل ۱۴ خندق) به‌دلیل ضریب همبستگی پایین، نمی‌توان با قطعیت این روابط را برای منطقه به‌کار برد و باید به‌دنبال شفاف‌سازی دلایل شکل‌گیری و گسترش خندق‌های حوزه آبخیز ظهیرآباد بود.

در این زمینه، Soufi و Abolverdi (۲۰۰۸) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که در مناطق شیب‌دار، ضریب تبیین کاهش پیدا می‌کند که در مورد حوزه آبخیز ظهیرآباد نیز این نتیجه حاصل شد. با توجه به تحلیل‌های صورت گرفته در مورد فیزیوگرافی، خاک و پوشش منطقه مشاهده شد، آبخیز خندق‌ها بر روی دو کاربری زراعی دیم و مرتع گسترش دارند که خندق‌های با آبخیز کم‌شیب، غالباً بر روی کاربری زراعی دیم توسعه یافته‌اند؛ در حالی که خندق‌های با آبخیز شیب تند، کاربری مرتعی دارند.

با توجه به نتایج آنالیز خاک حوزه آبخیز ظهیرآباد و همچنین، نوع سازند زمین‌شناسی منطقه که از واحدهای دگرگونی ژوراسیک نظیر فیلیت می‌باشد، خاک منطقه فاقد املاح و شوری است. لذا پدیده انحلال در ایجاد خندق‌های حوزه آبخیز ظهیرآباد نقشی ندارد. این در حالی است که در پژوهش‌های گوناگون از جمله Rahi (۱۹۹۸) عامل اصلی تشکیل خندق، انحلال ناشی از مقدار املاح فراوان خاک عنوان شده است. بررسی‌ها نشان داد که فرآیند اصلی در ایجاد و گسترش خندق‌های منطقه ظهیرآباد مربوط به تمرکز جریان و فرسایش خطی است که در ارتباط با بافت خاک می‌باشد. بر اساس مطالعات خاک‌شناسی، بافت لومی که حساس‌ترین گروه به فرسایش می‌باشد، در تمامی واحدهای کاری منطقه غالب است.

هر چند در پژوهش Mahdavi و همکاران (۲۰۱۱) شیب دو تا پنج درصد، به‌عنوان طبقه شیب بحرانی از

نیز مورد بررسی قرار گیرند تا طراحی و اجرای بهترین اقدامات مدیریتی، با دقت و صحت بالا انجام گیرد.

### تشکر و قدردانی

این مقاله در قالب طرح پژوهشی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی به انجام رسیده است. بدین وسیله نویسندگان مقاله از مساعدت‌های این مرکز کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

خاک، کاهش هدرروی عناصر مغذی خاک، کاهش پتانسیل سیل‌خیزی، توسعه و تقویت مراتع، افزایش درآمد آبخیزنشینان و افزایش تنوع زیست محیطی منطقه را به دنبال داشته باشد.

همان‌طور که اشاره شد، علاوه بر آستانه توپوگرافی آستانه‌های دیگر نظیر عوامل هیدرولیکی نیز بر ایجاد و گسترش خندق تأثیرگذارند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود با توجه به نقش بالای این نوع از فرسایش در تولید رسوب حوزه‌های آبخیز، سایر آستانه‌های موثر

### منابع مورد استفاده

1. 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).
2. Davoudirad, A.A., M. Soufi, N.G., Ebrahimi and A. Najimi. 2008. A morpho-climatic classification of gullies in the Markazi Province. Research project report, Agricultural and Natural Resources Research Center, Markazi Province, Iran, 102 pages (in Persian).
3. 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.
4. 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.
5. Mahdavi, Y., M. Kazemi, P. Rezaie and F. Nor Mohamadi. 2011. Checking term extent area-slope and rainfall index with volume of gully erosion using GIS, case study: Badreh watershed. *Journal of Applied RS and GIS Techniques in Natural Resources*, 2(3): 39-51 (in Persian).
6. Mahdipour, A., M. Soufi, M. Bani Asadi and M. Alizadeh. 2007. Gully development and topographic threshold, case study: Khabar region, Southeast of Kerman Province. 3th National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, 8 pages (in Persian).
7. Nachtergaele J. and J. Poesen. 2002. Spatial and temporal variations in resistance of loess-derived soils to ephemeral gully erosion. *European Journal of Soil Science*, 53(3): 449-463.
8. 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 Karih watershed, Boushehr. *Journal of Physical Geography Research Quarterly*, 69: 19-34 (in Persian).
9. Phillips, J.D. 2006. Evolutionary geomorphology: thresholds and nonlinearity in landform response to environmental change. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 731-742.
10. Poesen, J., J. Nachtergaele, G. Verstraeten and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50: 91-133.
11. Rahi, G. 1998. Investigation of mechanism and reason of gully establishment in the Genaveh Port. MSc Thesis, Tarbiat Modares University, 102 pages (in Persian).
12. 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).
13. Soleimanpour, S.M., M. Soufi and H. Ahmadi. 2010. Determining effective factors on gully development in Konartakhte region, Fars Province. *Journal of Water and Soil*, 23(1): 131-141 (in Persian).
14. Soufi, M. and Z. Abolverdi. 2008. Investigation of topographic threshold in development of gullies in the Fars Province. 1st National Conference of Management and Agricultural Development in Iran, 4 pages (in Persian).
15. Vandekerckhove, L., J. Poesen, D. Oostwoud, J. Nachtergaele, C. Kosmas, M.J. Roxo and T. De-Figueiredo. 2000. Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 1201-1220.
16. Vandekerckhove, L., J. Poesen and G. Govers. 2003. Medium-term gully headcut retreat rates in South-east Spain determined from aerial photographs and ground measurements. *Catena*, 50: 329-352.



17. 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.
18. 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.
19. Yasrebi, B., F. Nour Mohammadi, M. Soufi and S.H.R. Sadeghi. 2010. Investigation of topographic threshold gully erosion in the Darreh Shahr-Ilam Province. 4th National Conference on Erosion and Sediment, Tarbiat Modarres University, 8 pages (in Persian).
20. Zhou, P. 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*, 75: 319-325.

## Investigation of area slope threshold of gullies in the Zahirabad Watershed, Shazand, Markazi Province

Heshmatolah Agharazi<sup>1</sup>, Aliakbar Davudirad<sup>2</sup>, Mahdi Mardian<sup>\*3</sup> and Majid Soufi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Markazi, Iran, <sup>2</sup> PhD Student, Faculty of Natural Resources, Tarbat Modares University, Iran, <sup>3</sup> PhD Student, Faculty of Natural Resources, Sari University, Iran and <sup>4</sup> Associate Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, Fars, Iran

Received: 02 December 2013

Accepted: 22 February 2014

### Abstract

Recognition of effective processes of erosion, especially, threshold is one of the most important strategies in water and soil resources management. Gully erosion is one of the most important sources of sediment yield in watersheds that is defined as different thresholds like area-slope or topography. In this paper, the area- slope threshold was investigated in Zahirabad Watershed in Markazi province, Iran. First, based on field surveys and digital elevation model, morphometric characteristics of 14 gullies were measured, accompanied by soil sampling and vegetation cover measurements. Second, homogeneous groups of gullies were defined by factor and cluster analysis and power relations of area-slope was prepared. Results demonstrated that there was no considerable correlation between area and slope of gully watersheds. So, coefficient of determination of creation point and head-cut of gullies were 0.111 and 0.181, respectively. According to the results, the dominant process in creation and head cut development of gullies in Zahirabad was related to flow concentration and rill erosion of high slopes. Considering the prevail of loamy texture of soils land use changes and deterioration of vegetation cover, it is suggested to investigate the optimization of land use schemas, and land cover improvement on sloppy lands with the objective of gully control.

**Key words:** Cluster analysis, Erosion process, Factor analysis, Sediment yield, Topography threshold

---

\* Corresponding author: mehdimardian@gmail.com