

## تعیین آستانه‌های اقلیمی و توپوگرافیکی برای شروع فرسایش خندقی در شیب‌های نواحی نیمه‌خشک (مطالعه موردی: حوضه اوجان‌چای، دامنه‌های شرقی کوهستان سه‌پند)

مریم بیاتی خطیبی<sup>۱</sup> - استاد دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۹

### چکیده

انرژی حاصل از شیب و فشار برشی آب و عدم حفاظت کامل دامنه‌ها توسط پوشش گیاهی سبب شده است دامنه‌ها به شدت آشفته شوند و رسوبات زیادی را در اختیار آب‌های جاری قرار دهند. دامنه‌ها در حوضه اوجان‌چای واقع در موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ} 54'$  تا  $37^{\circ} 44'$  عرض شمالی و  $46^{\circ} 50'$  تا  $46^{\circ} 31'$  طول شرقی تحت فرسایش خطی شدید قرار گرفته است. در این مطالعه با استفاده از رابطه HTK آستانه اقلیمی پهنه‌ها تعیین شده و با استفاده از رابطه A و R و همچنین با بکارگیری پارامترهای مانند، مساحت و شیب زیرحوضه‌های جمع‌آوری آب، آستانه‌های فرسایشی در پهنه‌های مختلف محاسبه و مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد سطح دامنه‌های محدوده مورد مطالعه در بعضی از ماه‌های سال برای شروع فرسایش خندقی بسیار مساعد است. نقشه و نمودارهای ترسیمی نشان می‌دهد بیشتر بخش‌های حوضه اوجان‌چای برای فرسایش خندقی بسیار مستعد است. شیب و مساحت حوضه‌های جمع‌آوری آب زمینه مناسبی برای تشکیل شیارها و خندق‌ها فراهم می‌سازد. بررسی میدانی نیز حاکی از این است که دیواره خندق‌های محدوده مورد مطالعه بسیار ناپایدار است و با ورود رواناب‌ها از بخش‌های بالایی مواد دیواره‌ای به داخل خندق‌ها فرومی‌ریزند.

واژگان کلیدی: آستانه‌های اقلیمی، آستانه‌های فرسایش، حوضه اوجان‌چای، فرسایش خطی، فرسایش خندقی.

### مقدمه

در محدوده‌های نیمه‌خشک، فرسایش خندقی و شیاری از اشکال مهم فرسایش خطی یا فرسایش آبی محسوب می‌شوند. در بین اشکال مهم فرسایش خطی، فرسایش شیاری، به‌ویژه فرسایش خندقی، از مهم‌ترین اشکال فرسایش خاک است که در سال‌های اخیر به لحاظ تغییرات آب و هوایی و دستکاری دامنه‌ها به دست انسان تشدید شده است و همچنین به لحاظ رهاکردن حجم عظیمی از خاک به آب‌های جاری بیشتر مورد توجه متخصصان قرار گرفته است. این نوع فرسایش بیشتر در نواحی خشک و نیمه‌خشک، که دامنه‌ها به‌طور کامل توسط پوشش گیاهی حفاظت نمی‌شوند، دیده می‌شود و محصول توأم عوامل مختلفی از جمله عوامل اقلیمی، لیتولوژی، ویژگی‌های خاک، عوامل توپوگرافی، هیدرولوژیکی، و تغییرات در نوع کاربری است. فرسایش خندقی به انتقال حجم عظیمی از خاک کانال‌های باریک و عمیق منجر می‌شود و جابه‌جایی خاک دامنه‌ها در چنین فرسایشی بیشتر از هر نوع فرسایش خاک ناشی از سایر رواناب‌های جاری و حتی فرسایش شیاری است. آن‌ها از خطرناک‌ترین اشکال فرسایش محسوب می‌شوند که با تشکیل و گسترش آن‌ها خاک تخریب می‌شود و مزارع از بین می‌روند. حضور خندق‌ها به معنی افزایش میزان حجم رسوبات در رودخانه‌ها و درنهایت در

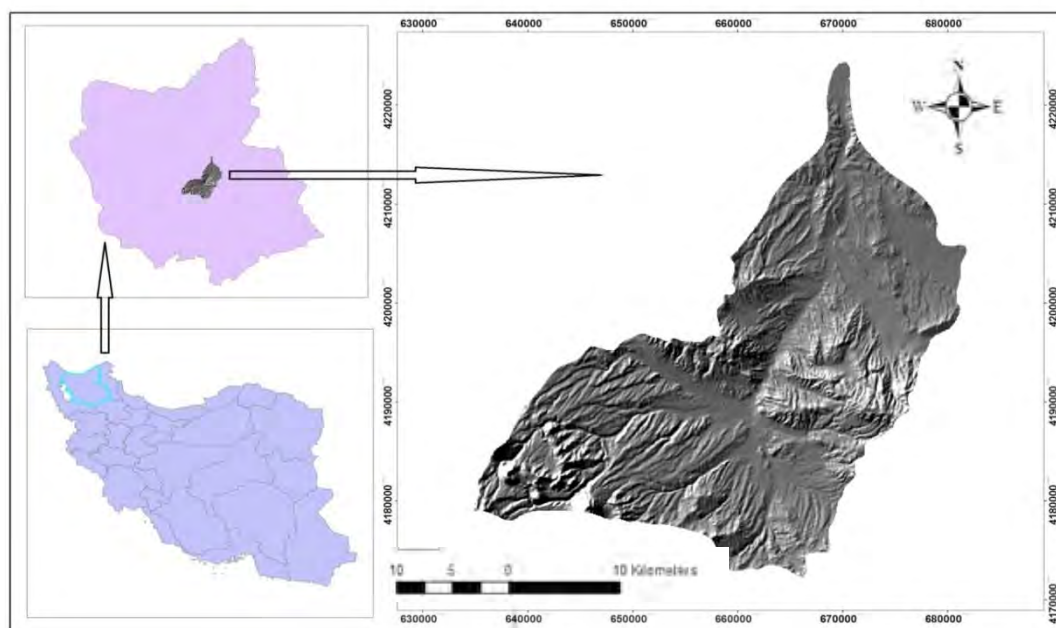
پشت سدهاست. در بعضی از مناطق، خندق‌ها و شیپارها با تغییرات آب و هوایی در رابطه‌اند. این اشکال با عمق ۰.۵ تا ۳۰ متر در پای دامنه‌ها دیده می‌شوند. هرچه شرایط برای توسعه آن‌ها در محدوده مورد نظر فراهم باشد، پهنا و عمق آن‌ها افزایش می‌یابد.

محدوده مورد مطالعه، به لحاظ حاکمیت شرایط اقلیمی، ویژگی‌های سازندهای سطحی و توپوگرافیک و گاه کشت و دستکاری‌های غیراصولی دامنه‌ها توسط انسان تحت فرسایش شدید خطی قرار گرفته است. خندق‌های عمیق در پای دامنه‌ها تشکیل شده و در محدوده‌های مساعد تا بخش‌های پُرشیب دامنه‌ها پیش رفته‌اند؛ در اثر توسعه سریع آن‌ها به طرف بالای دامنه‌ها، حجم زیادی از مواد دامنه‌ای به پایین دامنه‌ها فرومی‌ریزد. در شیب‌های تندتر منطقه، که حالت پرتگاهی دارند، بر روی سطوح دامنه‌ها شیپارهای نزدیک به هم دیده می‌شود که حاکی از وجود شرایط مساعد برای تشکیل فرسایش شیاری است. با عنایت به اینکه دشت و دامنه‌های پُرشیب محدوده مورد مطالعه تحت کشت انواع محصولات زراعی قرار گرفته و همچنین از محل‌های مهم چرا محسوب می‌شود، فرسایش خندقی می‌تواند خاک‌های این محدوده کوهستانی را به‌راحتی و در زمان بسیار کوتاهی در اختیار آب‌های جاری قرار دهد و مسائل و مشکلات متعددی برای دامنه‌ها و دشت‌های مشرف پدید آورد.

محققان کوشیده‌اند، با به‌کارگیری تکنیک‌های جدید و روش‌های کمی، علل این نوع فرسایش را بررسی و میزان فرسایش ناشی از آن را برآورد کنند. در این مورد می‌توان به مطالعات اوارد و همکاران (۲۰۱۰: ۴۲) و رودریگز-بلانکو و همکاران (۲۰۱۰: ۱۸۲) اشاره کرد؛ این محققان سعی کردند، با به‌کارگیری روش‌های کمی، میزان رسوبات ناشی از فرسایش شیاری در طی وقوع رگبارها در سطوح دامنه‌ها را برآورد کنند. فنق و همکاران (۲۰۱۰: ۲۳۹) و هنتاتی و همکاران (۲۰۱۰: ۵۶) تغییرات در میزان رسوبات ناشی از تغییرات کاربری (به ترتیب) در محدوده تپه‌ماهورهای چین و تونس را بررسی کردند و توانستند تأثیر این کاربری‌ها در افزایش حجم رسوبات را ثابت کنند. خیرالامانی و موسی‌زاده (۲۰۱۱: ۶۵۱)، راید و همکاران (۲۰۱۰: ۱۵۶) و وایت‌فورد و همکاران (۲۰۱۰: ۳۳۱) از دیگر محققانی هستند که فرسایش خندقی در محدوده‌های خشک را مطالعه کرده‌اند. محققان داخلی نیز هرچند پراکنده در این زمینه نتایج تحقیقات خود را در قالب طرح‌های تحقیقاتی و مقالات ارائه داده‌اند (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰؛ ۱۳۸۵ و ...). که، با توجه به شرایط حاکم بر جای‌جای کشور و بالا بودن میزان فرسایش و تغییرات اقلیمی پیش‌رو، به‌نظر می‌رسد باید به این موضوع از تحقیقات از سوی مؤسسات علمی و ... بهای بیشتری داده شود.

### موقعیت محدوده مورد مطالعه

حوضه اوجان‌چای از زیرحوضه‌های مهم آجی‌چای است که از غرب به زیرحوضه سعیدآباد و از شرق به زیرحوضه‌های دیگری که از رودخانه‌های دامنه‌های شرقی سهند تغذیه می‌شوند محدود می‌شود. این حوضه در موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ} 37' 0''$  تا  $37^{\circ} 44' 0''$  عرض شمالی و  $50^{\circ} 46'$  تا  $31' 46''$  طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). حداکثر ارتفاع آن در بخش جنوب-جنوب غربی، یعنی بزداغ، با ارتفاع ۳۵۴۰ متر قرار گرفته و حداقل ارتفاع آن در محل پیوست رودخانه اوجان به آجی‌چای دیده می‌شود.

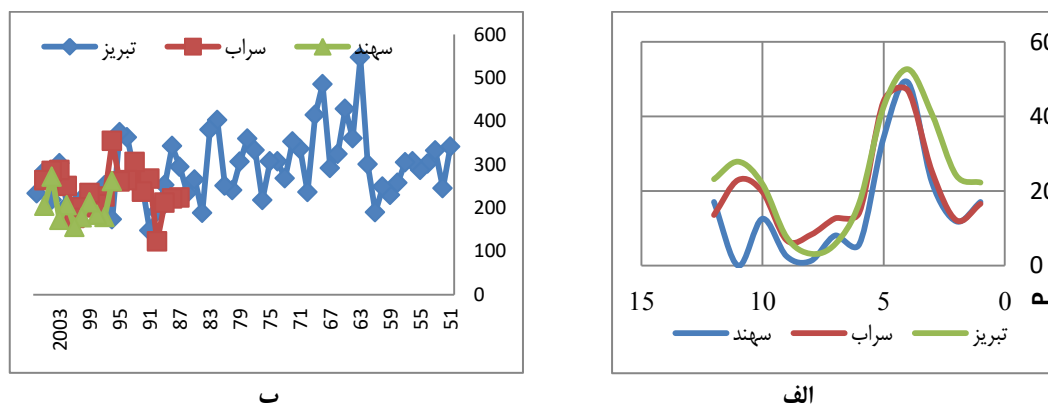


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه اوجان چای

طبق طبقه‌بندی اقلیمی انجام گرفته، نوع اقلیم حوضه اوجان چای نیمه‌خشک سرد است (کرمی، ۱۳۸۵: ۳۷) که به سمت ارتفاعات با اقلیم نیمه‌مرطوب سرد تغییر می‌کند. بر اساس آمار ایستگاه‌های موجود، متوسط بارش سالانه در ایستگاه ليقوان ۳۲۷ میلی‌متر، سعیدآباد ۴۴۴.۳۴ میلی‌متر، ارشتاب ۲۹۹.۲ میلی‌متر، و بستان‌آباد ۲۶۷.۳ میلی‌متر است که توزیع آن در طول سال به‌طور یکسان انجام نمی‌گیرد. متوسط سالانه دما در ایستگاه‌های ليقوان، سعیدآباد، ارشتاب، و بستان‌آباد به‌ترتیب ۶.۱۲، ۷.۰۹، ۷.۰۷، و ۸.۲ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است (شکل ۲) و تغییرات دما در طول سال در ایستگاه‌های موردبررسی زیاد است.

از نظر لیتولوژی، محدوده مورد مطالعه بسیار متنوع است. سنگ‌های آذرین و پیروکلاستیک و سنگ‌های رسوبی مربوط به دوره‌های مختلف زمین‌شناسی در ارتفاعات و محدوده‌های پست حوضه مورد مطالعه گسترش یافته‌اند. تشکیلات ولکانوسدیمانترها بخش وسیعی از حوضه اوجان چای را دربر گرفته است. این تشکیلات شامل خاکسترها، اسکوری‌ها ایگنمبریت‌ها، سینریت‌ها، آگلومراها، توف‌های آلوویونی، و لاهارمی است. بخش مهمی از حوضه توسط سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است. سنگ‌های رسوبی میوسن شامل سازند قرمز تحتانی و واحدهای متشکل از مارن ژیبسی و ماسه‌سنگ تشکیل شده است. رسوبات کواترنر به شکل تراس‌ها و مخروط‌افکنه‌ها به‌طور عمده در قسمت‌های شمالی حوضه دیده می‌شوند. جنس این نهشته‌ها از نوع رودخانه‌ای، همراه با گل و لای، رس و ماسه‌های تخریب‌شده از سنگ‌های حوضه محسوب می‌شوند.

خاک‌های منطقه اغلب از نوع سنگین‌اند و به لحاظ نفوذناپذیری آبکندهای متعددی در سطح آن‌ها تشکیل شده است و کشت ردیفی در شیب‌های منطقه در تشکیل رواناب‌های اولیه و تشکیل آبکندهای عمیق نقش مهمی ایفا می‌کنند.



شکل ۲- الف. توزیع بارش ماهانه؛ شکل ۲- ب. روند بارش در پنج دهه اخیر در ایستگاه‌های مجاور حوضه اوجان‌چای (منبع: مؤلفان)

## مواد و روش‌ها

در این مقاله، برای تعیین آستانه‌های شروع فرسایش خطی در دامنه‌های محدوده مورد مطالعه، از داده‌های اقلیمی، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، و از نرم‌افزارهای مختلف مانند SPSS، EXCELL، و ARCVIEW بهره‌گیری شده است.

با عنایت به اینکه پارامترهای اقلیمی از عوامل زمینه‌ساز و گاه از عوامل اصلی تشکیل و توسعه فرسایش خطی در سطوح شیب‌هاست، در این مقاله سعی شده است با استفاده از روابط مناسب از جنبه پارامترهای اقلیمی، پتانسیل دامنه‌ها برای تشکیل اشکال مختلف فرسایش خطی، مانند فرسایش خندقی و شیاری بررسی شود. یکی از این روابط معتبر رابطه HTK است (زاخار، ۱۹۸۲؛ ناکامورا و کیکوجی، ۱۹۹۶؛ اوانس، ۱۹۹۳؛ ۱۳۲) که با توسل به آن می‌توان آستانه اقلیمی برای شروع فرسایش خندقی را در محدوده مورد مطالعه تعیین کرد (مقدار آستانه از ۱.۲۵ تا ۲.۵).

$$HTK = \frac{\sum R}{\sum t} \cdot 10 \quad \text{رابطه ۱}$$

$HTK$  آستانه اقلیمی برای شروع فرسایش خندقی است،  $\sum R$  متوسط بارش سالانه، و  $\sum t$  جمع دمای بالای ۱۰ درجه.

با توجه به اینکه رواناب‌های فرسایش‌دهنده با شدت رگبارها در رابطه‌اند، در این مقاله، شدت بارش محدوده مورد مطالعه نیز با استفاده از داده‌های بارش و با به‌کارگیری رابطه زیر تعیین شده است (رابطه ۲).

$$I = p/t \quad \text{رابطه ۲}$$

$I$  شدت بارش،  $P$  بارش در مدت زمان مورد نظر، و  $t$  در طیف زمانی مورد نظر است.

شیب در هدایت رواناب‌های سطحی و وسعت حوضه جمع‌آوری در توان فرسایشی آب‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند. با توجه به چنین نقشی، می‌توان با توسل به این دو پارامتر از این جنبه نیز پتانسیل دامنه‌ها را برای فرسایش خطی تعیین نمود و آستانه‌های فرسایش خطی را مشخص کرد (راید، ۲۰۱۰: ۱۵۹). در این مقاله از دو رابطه مهم استفاده شده است (رابطه‌های ۱ و ۲).

$$A \approx 6As/10000$$

رابطه ۳

و

$$r = SAs^{0.4}(6/10000)^{0.4} > 0.025$$

رابطه ۴

$r, A$  آستانه فرسایش است،  $As$  مساحت بالادست به متر مربع، و  $S$  = شیب به درصد.

در نهایت، با توسل به روش‌های آماری و با توسل به داده‌های خود منطقه، آستانه‌های سایش تعیین و محدوده مورد مطالعه از نظر فرسایش خطی پهنه‌بندی شده است (با ضریب ۰.۷۶).

$$S = 1.077764 A^{0.014762}$$

رابطه ۵

### یافته‌های پژوهش

در محدوده‌های نیمه‌خشک، مانند محدوده مورد مطالعه، یکی از عمده‌ترین علل افزایش میزان رسوب رواناب‌ها، افزایش میزان سایش دامنه‌ای و افزایش فرسایش خندقی و شیاری است (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰: ۳۵). این اشکال سایشی، حجم قابل ملاحظه‌ای از مواد دامنه‌ای را وارد آب‌های جاری در پایین‌دست دامنه‌ها می‌کنند. در محدوده مورد مطالعه، فرسایش خندقی و شیاری به نحو بارزی قابل مشاهده است. انباشتگی مواد حاصل از فرسایش خندقی در پای دامنه‌ها و شست‌وشوی این مواد در اثر سیلاب‌های فصلی و تخلیه آن‌ها به رودخانه‌ها باعث افزایش میزان رسوبات رودخانه‌های جاری در حوضه اوجان‌چای می‌شود (شکل ۳).



شکل ۳. تخلیه مواد دامنه‌ای حاصل از فرسایش خندقی به آبراهه‌ها و افزایش میزان رسوب آب‌های جاری

در محدوده یادشده، خندق‌های عمیق و شیارهای متراکم در بخش‌های پایینی سطوح کشت‌شده و در دامنه‌های تندتر بالای بخش‌های تحت کشت تشکیل و در حال توسعه‌اند. به دلیل اینکه آبخیز اوجان‌چای از محدوده‌های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی کوهستان سهند به‌شمار می‌آیند، فرسایش خندقی و شیاری تشدید و تسریع شده می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری در پی داشته باشد. از این نظر بررسی و شناسایی محدوده‌های تحت فرسایش خاک در اثر توسعه خندق‌ها و شیارهای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

خاک‌های محدوده مورد مطالعه خاک‌هایی از نوع خیلی عمیق‌اند که در بخشی بدون شوری و قلیایی و در بخشی از اراضی با شوری و قلیابیت نسبتاً زیاد است. بافت خاک متوسط تا سنگین و ساختمان آن فشرده است. این خاک در بخش‌های شیب‌دار بستر مناسبی برای تشکیل خندق‌های عمیق و گسترده فراهم می‌کنند. در اغلب بخش‌های دامنه‌ای حوضه اوجان‌چای، هم در بخش‌های شمالی هم در بخش‌های جنوبی و در محدوده‌هایی که سازندهای دامنه‌ای متشکل

از مارن‌ها و سیلت‌ها هستند، خندق‌های عمیق و طولیل و در بخش‌های پُرشیب‌تر شیارهای متراکم تشکیل شده‌اند (شکل ۴). بیشتر خندق‌های تشکیل شده بسیار فعال‌اند و از بخش انتهایی به طرف شیب‌ها در حال پیشروی‌اند.



ب

الف

شکل ۴. تشکیل خندق‌های عمیق بر روی سطوح دامنه‌ای با خاک سنگین در حوضه اوجان‌چای

در محدوده مورد مطالعه، پارامترهایی مانند اقلیم، شیب، نوع سازند سطحی، و مساحت حوضه زهکشی بالادست حوضه از جمله پارامترهایی هستند که در آشفتگی دامنه‌ها نقش ایفا می‌کنند. به لحاظ نقش این پارامترها در آشفتگی دامنه‌ها، در این مقاله، نقش آنها مدنظر قرار گرفته و با استفاده از روابط متناسب سهم آنها در فرسایش خندقی برآورد شد.

### ویژگی‌های اقلیمی و تعیین آستانه‌های اقلیمی برای شروع فرسایش خندقی در حوضه اوجان‌چای

پارامترهای اقلیمی، به‌ویژه بارش و دما، نقش اولیه و مهمی در بسترسازی سطوح شیب‌دار برای وقوع فرسایش خندقی ایفا می‌کنند. به همین دلیل و با توجه به اهمیت متغیرهای اقلیمی، در این بررسی، ضرایب معتبر و کاربردی زیادی برای تعیین آستانه‌های اقلیمی برای شروع فرسایش خندقی مطالعه شده و در نهایت یکی از ضرایب معتبر استفاده شده است.

نتایج حاصل از بررسی روند بارش در ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه، حاکی از این است که طی پنجاه سال اخیر به‌طور محسوسی در منطقه بارش کاهش یافته است. یعنی تقریباً متوسط بارش سالانه از ۳۵۰ میلی‌متر به ۲۵۰ میلی‌متر رسیده است. این کاهش بارش به‌منزله کاهش درصد پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش حفاظ دامنه‌ها، پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی، و همچنین کاهش رطوبت موجود در خاک سطحی است که موجب می‌شود دامنه‌ها بیشتر در معرض فرسایش دامنه‌ای و به‌طور اخص در معرض فرسایش خندقی و شیاری قرار گیرد. نتایج بررسی روند دما نیز نشان می‌دهد که روند دما در محدوده مورد مطالعه افزایشی بوده؛ یعنی از متوسط سالانه (۱۲.۵ درجه) به ۱۳.۵ درجه رسیده است (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰: ۳۵).

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته، می‌توان گفت زمانی که بارش‌های محلی شروع می‌شود (ماه‌های فروردین و اردیبهشت) میزان رسوب در رودخانه نسبت به ماه‌های دیگر سال به مراتب بیشتر است که دلیل این امر عدم حفاظت دامنه‌ها توسط پوشش گیاهی است. برعکس، زمانی که سطح زمین به عبارت بهتر سطح دامنه‌ها زیر پوشش برف است میزان رسوب به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. یکی از عوامل اصلی فرسایش خندقی کمیت و شدت بارش است. با استفاده از رابطه شدت بارش (I) می‌توان شدت بارش (با استفاده از پارامترهای بارش و زمان) را در حوضه اوجان‌چای برآورد کرد (جدول‌های ۱ و ۲). بررسی شدت بارش نشان می‌دهد که در ماه‌های خرداد، مهر، و آبان شدت بارندگی در محدوده مورد مطالعه بیشتر است (جدول ۲). این بدین معنی است که سطح دامنه‌ها در چنین ماه‌هایی بیشتر توسط رواناب‌ها تحت فرسایش قرار می‌گیرند.

علاوه بر شدت بارش، نوسانات اقلیمی و شرایط دمایی و بارشی از دیگر عواملی است که شرایط را برای شروع

خندق‌ها مساعد می‌کنند. با توجه به اهمیت پارامترهای اقلیمی در تشکیل خندق‌ها، در محدوده مورد مطالعه برای تعیین آستانه‌های اقلیمی- جهت شروع فرسایش خندقی- از ضریب هیدروترمال<sup>۱</sup> یا HTK بهره‌گیری شده است. برای تعیین این آستانه اقلیمی- برای شروع فرسایش خندقی- از آمار متوسط بارش و دمای سه ایستگاه تبریز، سهند، و سراب استفاده شده است. نتایج محاسبات در جدول‌های ۳ و ۴ و ۵ درج و در شکل ۵ نمایش داده شده است. طبق این ضریب، بیشتر خندق‌ها در مناطقی با محدوده HTK بین ۱.۲۵ و ۲.۵۰ اتفاق می‌افتد. بررسی جدول‌های ۳ و ۴ و ۵ و همچنین نمودار ترسیمی (شکل ۵) مربوط به محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که از نظر شرایط اقلیمی و ضرایب آستانه به کار گرفته شده فقط بعضی از ماه‌های سال مانند اکتبر، به‌ویژه ماه می، برای تشکیل خندق‌ها مساعد است. اگر روند کاهش بارش- که در واقع به معنی افت سطح آب‌های زیر قشری و کاهش درصد پوشش گیاهی سطوح دامنه‌هاست- نیز در نظر گرفته شود، یکی از دلایل تشدید فرسایش خندقی در منطقه می‌تواند تغییرات در پارامترهای اقلیمی باشد. بررسی‌های میدانی و همچنین بررسی داده‌های مربوط به سطح آب‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که آب‌های زیرزمینی افت قابل ملاحظه‌ای را در دهه اخیر تجربه کرده‌اند. خط سیزی که در گذشته در دامنه‌ها مستقر بود، اکنون از بین رفته و دامنه‌ها را در مقابل رواناب‌ها و در نتیجه فرسایش آبی بی‌حفاظ گذاشته است.

جدول ۱. میزان P (بارش متوسط) در سه شرایط مختلف در حوضه اوجان چای (منبع: مؤلفان)

شرایط	میزان P
خشک	۱۳.۶۵
مرطوب	۶۲.۹۴
متوسط	۴۴.۴۶

جدول ۲. شدت بارش در ماه‌های مختلف سال

خندق	P24	i	P1
فروردین	۵۱.۲	۱.۵۹	۲.۱۳
اردیبهشت	۴۴	۱.۸۳	۱.۸۳
خرداد	۶۴.۶	۲.۶۹	۲.۶۹
تیر	۳۴	۱.۴۱	۱.۴۱
مرداد	۷۰.۶	۰.۸۳	۲.۹۴
شهریور	۲۶.۹	۱.۲	۱.۱۲
مهر	۸۸	۳.۶۶	۳.۶۶
آبان	۵۴	۲.۲۵	۲.۲۵

جدول ۳. میزان HTK در ایستگاه تبریز

پارامتر / ماه	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر
$\Sigma R$	۵۲.۷	۴۲.۶	۱۶.۹	۲۶.۰	۳.۲	۷.۶	۲۱.۹	۲۷.۹
$\Sigma t$	۵۴۲.۶	۹۱۳.۲	۱۰۶۹.۳	۱۲۱۹.۹	۱۴۱۶.۹	۱۱۷۰.۴	۷۴۳.۴	۱۱.۴
HTK	۰.۹۷	۰.۴۶	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۰۲۲	۰.۰۶۴	۰.۲۹	۲۴.۴۷

گاه در دامنه‌های منطقه بعد از تجربه یک دوره خشک و ترک‌خوردگی خاک‌های سطحی، با شروع فصول بارندگی و تشکیل رواناب‌ها، آبراهه‌های اولیه تشکیل می‌شود (شکل ۶) و در واقع این آبراهه‌ها با عمیق‌تر شدن در سطوح شیب‌دار،

1. Hydrothermal coefficient

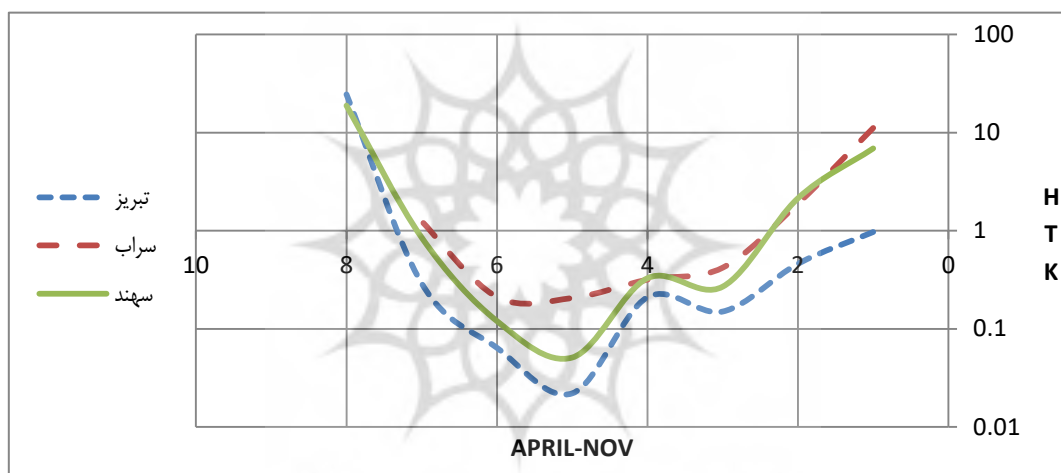
خندق‌های اولیه را تشکیل می‌دهند. بنابراین، عامل اقلیمی یکی از پارامترهای اصلی در تشکیل آبکندهای اولیه و توسعه خندق‌های بعدی است.

جدول ۴. میزان HTK در ایستگاه سراب

پارامتر / ماه	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر
$\Sigma R$	۲۵.۲	۴۴.۱	۱۴.۳	۱۲.۷	۸.۳	۶.۸	۱۹.۸	۲۳
$\Sigma t$	۴۲.۲	۲۳۲.۸	۳۳۹.۹	۴۰۰.۳	۴۰۲.۷	۳۲۱.۴	۱۵۸.۳	-
HTK	۱۱.۱۳	۱.۸۹	۰.۴۲	۰.۳۱۷	۰.۲۰۶	۰.۲۱۱	۱.۲۵	-

جدول ۵. میزان HTK در ایستگاه سهند

پارامتر / ماه	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر
$\Sigma R$	۴۹.۲	۳۴.۳	۵.۸	۸.۱	۱.۳	۲.۵	۱۲.۶	۲۰.۵
$\Sigma t$	۷۱.۴	۱۶۰.۲	۲۱۵.۲	۲۴۶.۷	۲۵۴.۷	۲۰۷.۱	۱۴۷.۸	۱۰.۹
HTK	۶.۸۹	۲.۱۴	۰.۲۶۹	۰.۳۲۸	۰.۰۵۱	۰.۱۲	۰.۸۵	۱۸.۸۰



شکل ۵. مقدار HTK در سه ایستگاه مجاور حوضه اوجان چای



ب



الف

شکل ۶. تشکیل آبراهه‌های اولیه در سطح خاک‌های ترک‌خورده (الف) و عمیق تر شدن آن‌ها در بارش‌های بعدی (ب)

### تعیین آستانه‌های فرسایش خندقی در سطح حوضه در رابطه با شیب و مساحت سطوح

شیب و محدوده جمع‌آوری آب‌های بالادست تک‌آبراه‌های پایینی نقش مهمی در توسعه خندق‌ها ایفا می‌کند (شکل ۷). با توجه به سهم پارامتر شیب و مساحت زیر حوضه‌ها، سهم این دو پارامتر در تشکیل آبکندهای اولیه مورد بررسی قرار گرفت. در محدوده مورد مطالعه، برای تعیین آستانه فرسایش خندقی در رابطه با شیب و مساحت سطوح بالادست، از رابطه



$r^1$  استفاده شده است. ارقام حاصل از محاسبه مقدار آستانه با استفاده از رابطه  $r$  در نمودار مربوطه به‌نمایش درآمده است (شکل‌های ۸ و ۹). طبق رابطه آستانه فرسایش، اگر مقادیر حاصل از رابطه (رابطه آستانه) از مقدار  $0.025$  بیشتر باشد، سطوح دامنه‌ها دارای پتانسیل بالا نسبت به وقوع فرسایش خندقی است. طبق اطلاعات ارائه‌شده در شکل ۸، می‌توان گفت، به غیر از چهار مورد یا چهار نقطه در سطح حوضه، بقیه قسمت‌های محدوده مورد مطالعه طبق آستانه یادشده از پتانسیل بالایی برای فرسایش خندقی برخوردارند.

مقادیر آستانه توسط وانداله (۱۹۹۶، به نقل از بیاتی خطیبی، ۱۳۹۰) رقم  $0.486$  تعیین شده است ( $SAs^{0.4} > 0.486$ ).

پتانسیل منطقه برای شروع فرسایش خندقی با آستانه ارائه‌شده توسط وانداله نیز بررسی شده و نتایج محاسبات در نمودار (شکل ۸) ارائه شده است. نتایج حاصل از محاسبه مقادیر و مقایسه با این آستانه نیز حاکی از این است که سطح حوضه برای وقوع فرسایش خندقی از پتانسیل بالایی برخوردار است. طبق این آستانه، در مقایسه با آستانه قبلی بخش‌های زیادی در زیر این آستانه قرار می‌گیرند؛ یعنی در این محدوده‌ها نمی‌توان شاهد فرسایش خندقی بود.

همچنان که شکل ۸ و ۹ نشان می‌دهد، بیشتر بخش‌های حوضه طبق آستانه ارائه‌شده دارای پتانسیل بالا برای وقوع فرسایش خندقی است. به غیر از انتهای بخش‌های جنوبی، تقریباً همه بخش‌ها نسبت به وقوع فرسایش خطی مستعد است. در دامنه‌هایی که شیب امکان جمع‌آوری آب‌های سطحی را به‌وجود آورد (شکل ۷) آب‌های سطحی پراکنده در کانال جمع می‌شود و اگر مواد سطحی امکان عمیق‌تر شدن را فراهم کنند، خندق‌هایی در بخش‌های پایین‌تر تشکیل می‌شود.

بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد در قسمت‌هایی که سطوح از شیب ملایمی برخوردارند خندق‌ها طویل و عمق آن‌ها از ۴ متر بیشتر نیست. اما در بخش‌هایی که شیب دامنه‌ها افزایش یافته است شیارهای متراکم تشکیل و در بخش‌هایی که شدت فرسایش شیاری بیشتر بوده دامنه‌ها به‌شدت گسیخته شده‌اند. معمولاً خندق‌های منطقه دیواره‌های پُرشیبی دارند و شکل اغلب آن‌ها به‌صورت V است. چنین خندق‌هایی با ریزش از طریق دیواره‌ها حجم زیادی از مواد دامنه‌ای را در اختیار بخش تحتانی قرار می‌دهند. این خندق‌ها اغلب در شیب‌های تند تشکیل شده‌اند.



شکل ۷. شیب و محدوده جمع‌آوری آب‌های جاری به خندق‌های پایین دست

### تعیین آستانه‌های فرسایش خندقی در محدوده خندق‌های بزرگ حوضه اوجان‌چای

برای تعیین آستانه‌های فرسایش خندقی در محدوده خندق‌های بزرگ از رابطه  $r^2$  مانند کل حوضه استفاده شده است. در این بررسی، به جای به‌کارگیری مساحت زیرحوضه، از مساحت بالادست تشکیل خندق استفاده شده است. در محدوده

1.  $r = SAs^{0.4} (6/10000)^{0.4} > 0.025$

2.  $r = SAs^{0.4} (6/10000)^{0.4} > 0.025$

مورد مطالعه رابطه مستخرج از پرداز آماری و مدل توانی به صورت زیر قابل طراحی است.

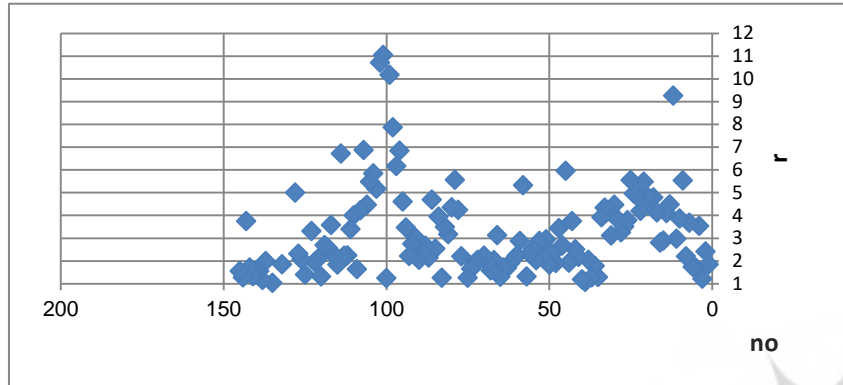
$$S=1.077764 A^{0.014762}$$

بر اساس جدول تحلیل واریانس مدل رگرسیون بر مبنای متغیر با مقدار  $\text{signiF} = 0.000007$  است که از مقدار  $0.05$  کمتر است و صحت انتخاب متغیر را نشان می‌دهد.  $R \text{ Square} = 0.997$  همچنین نشان می‌دهد که  $99\%$  تغییرات متغیر پاسخ به وسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود. بررسی داده‌های حاصل از محاسبات نشان می‌دهد که در این محدوده نیز میزان آستانه‌ها از خط  $0.4$  گذشته است؛ یعنی پتانسل برای وقوع فرسایش در این محدوده بالاست (شکل‌های ۹ و ۱۰).

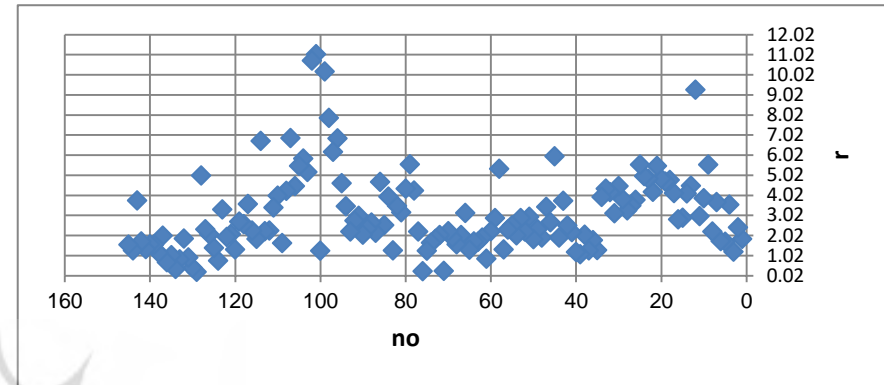


شکل ۸. تشکیل خندق‌های عمیق در محدوده حوضه اوجان چای

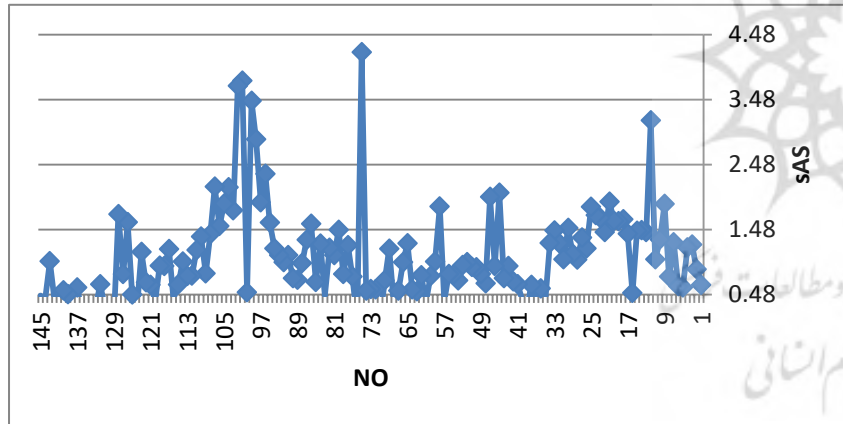
به کارگیری ضریب آستانه فرسایش در محدوده خندق‌های بزرگ منطقه نشان می‌دهد که میزان  $r$  و  $a$  در محدوده خندق‌های بزرگ با هر دو آستانه تعیین شده حکایت از استعداد بالای منطقه برای ایجاد فرسایش خندقی دارد (شکل ۱۱- الف و ب) و همه نقاط حاصل از برآورد در بالای آستانه  $0.4$  و  $0.14$  قرار گرفته‌اند.



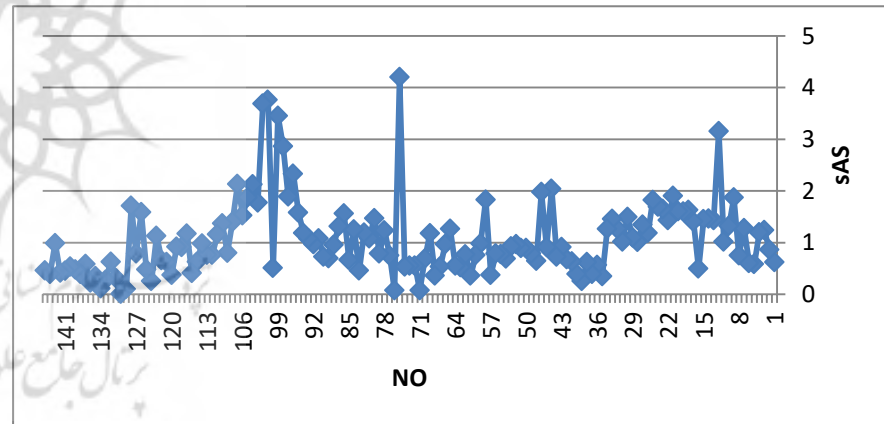
ج



الف

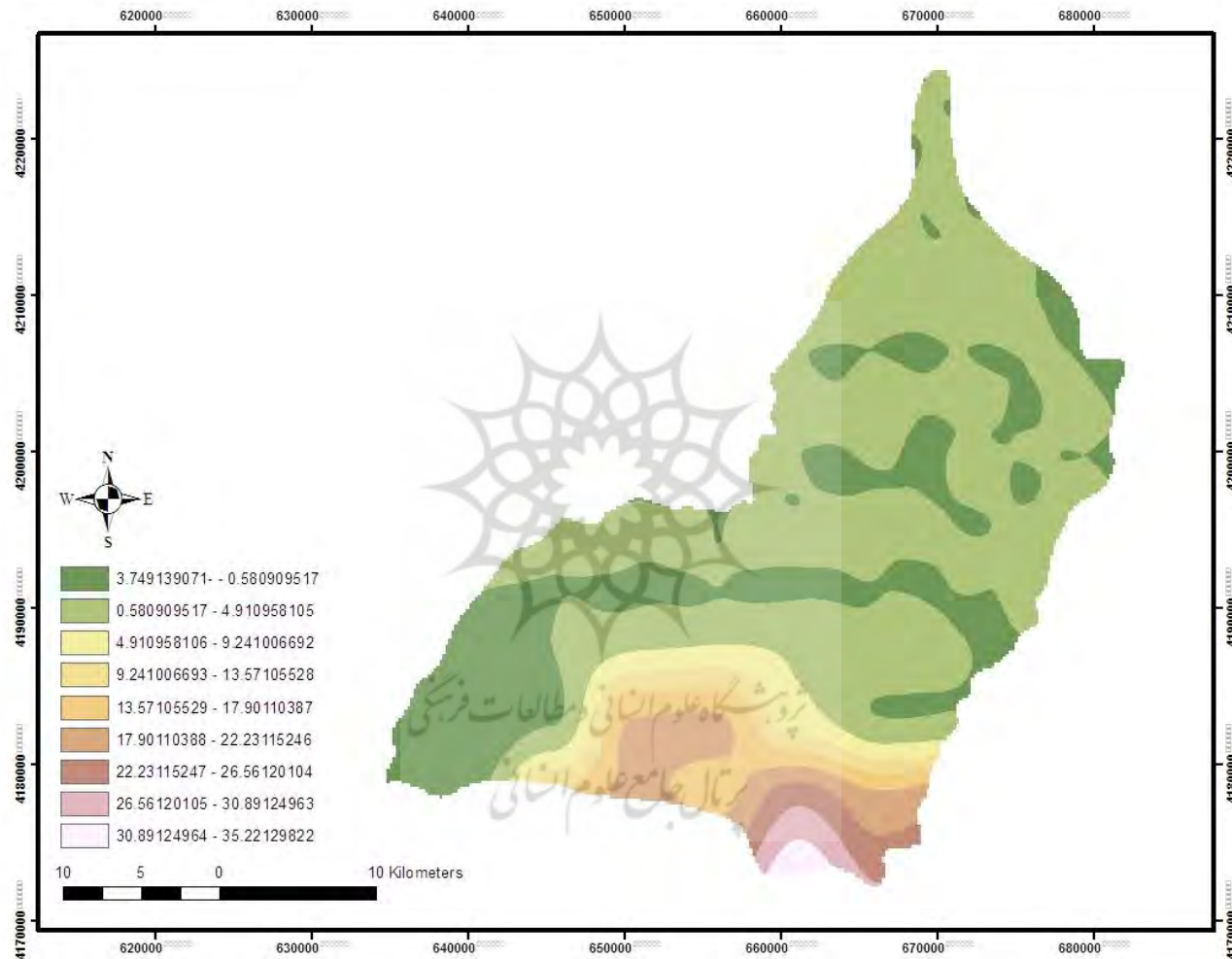


ت

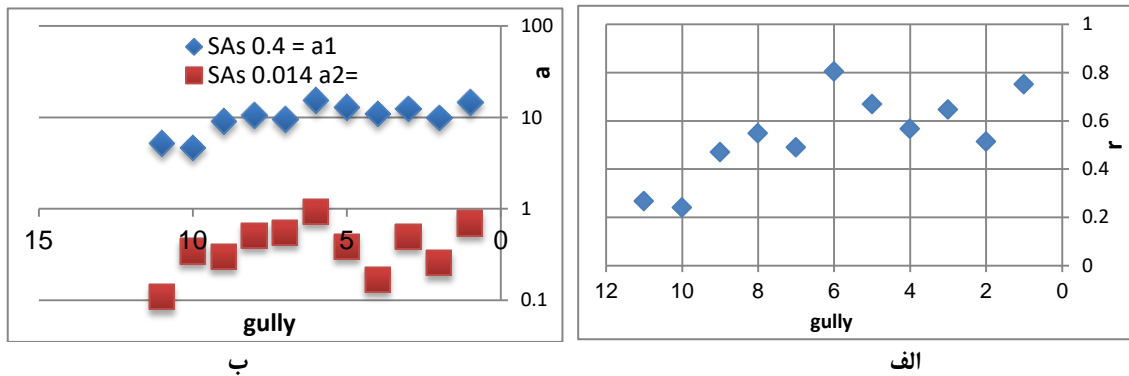


پ

شکل ۹- الف. میزان آستانه ایجاد فرسایش خندقی (r) در کل سطح حوضه با آستانه‌های بالایی؛ شکل ۹- ب. میزان آستانه ایجاد فرسایش خندقی (r) در کل سطح حوضه با آستانه‌های زیرین؛ شکل ۹- ج. مقدار آستانه فرسایش خندقی وانداله در سطح حوضه اوجان چای با آستانه‌های بالایی؛ شکل ۹- ت. مقدار آستانه فرسایش خندقی وانداله در سطح حوضه اوجان چای با آستانه‌های بالایی



شکل ۱۰. آستانه فرسایش خندقی در رابطه با شیب و سطح زیرحوضه بالادست در حوضه اوجان چای



شکل ۱۱- الف. مقادیر حاصل از برآورد آستانه فرسایش خندقی در محدوده خندق‌های بزرگ حوضه اوجان‌چای؛ شکل ۱۱- ب. مقایسه مقادیر حاصل از برآورد آستانه فرسایش با دو رابطه متفاوت در محدوده خندق‌های بزرگ حوضه

## نتیجه‌گیری

فرسایش، به‌ویژه فرسایش خطی، در سطوح دامنه‌های محدوده‌های خشک و نیمه‌خشک یکی از مشکلات عمده دهه‌های اخیر و دهه‌های بعدی خواهد بود. اگر علل چنین فرسایشی مشخص و تدابیری اصولی اتخاذ نشود، خاک‌های دامنه‌ها (تنها بخش بارزش کشت) در اختیار آب‌های سطحی قرار خواهند گرفت و خود مشکلی بر تأسیسات مستقر در مسیر رودخانه‌ها خواهند افزود. حوضه اوجان‌چای واقع در دامنه‌های شرقی سه‌پند از جمله حوضه‌های مورد مثال در این زمینه است. در این حوضه، دامنه‌ها شدیداً توسط فرسایش خطی آشفته شده و به تناسب شیب تحت فرسایش شیاری و خندقی قرار گرفته‌اند و با توجه به ویژگی‌های محلی یا بر پهنای آن‌ها در مدت کوتاهی افزوده شده یا عمق آن‌ها به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته، می‌توان گفت در خندق‌هایی که عمق آن‌ها افزایش یافته است در بخش انتهایی با ایجاد پرتگاه‌های نسبتاً مرتفع بر قدرت سایشی آب‌های متمرکز یافته افزوده شده و در نتیجه، با به عمق رفتن بیشتر کف خندق‌ها، دیواره‌های ناپایدار حجم زیادی از خاک‌ها را وارد کف خندق‌ها کرده‌اند و در نتیجه با وقوع رگبارهای بعدی مواد کف خندق‌ها به رودخانه‌ها تخلیه می‌شود و در واقع با یک رگبار خاک بارزش دامنه‌ها در اختیار آب‌های جاری قرار می‌گیرد. پارامترهای متعددی از جمله، مساحت حوضه‌های جمع‌آوری آب‌ها (به هر یک از آبکندها)، شیب دامنه‌ها و همچنین نوع خاک سطحی در فرسایش دامنه‌ها نقش اولیه ایفا می‌کنند. وقوع رگبارها - درست قبل از اینکه دامنه‌ها با پوشش گیاهی پوشانده شوند - در ایجاد شیارهای اولیه و در سال‌های بعدی در توسعه آبکندها و در نتیجه خندق‌ها سهم مهمی دارند. خاک سنگین و نفوذناپذیر، که به رواناب‌های بیشتر اجازه تشکیل می‌دهد - از دیگر عوامل تشدید فرسایش خطی در منطقه است. با عنایت به اینکه تشکیل خندق‌ها به معنای تلف شدن حجم عظیمی از خاک در مدتی کوتاه است و همچنین اینکه با تشکیل خندق‌ها توسعه آن‌ها به‌طور باورنکردنی سریع انجام می‌گیرد و کنترل رشد آن‌ها نیز بسیار دشوار است، لازم است علل تشکیل و رشد آن‌ها با توجه به ویژگی‌های محلی بررسی شود و تدابیر اصولی با توجه به ویژگی خندق‌های هر محل صورت گیرد.

## منابع

بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۳). نگرشی بر نحوه تحول دامنه‌ها و تحلیل سیستمی آن‌ها، نشریه علوم انسانی و اجتماعی، شماره ۱۵، صص ۹-۳۶.

بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۵). بررسی علل تشکیل و توسعه پیچان ها در دره های نواحی کوهستانی، رشد آموزش جغرافیا، شماره ۷۵، صص ۲۷-۴۰.

بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۵). بررسی و تحلیل فرسایش آبراهه‌ای با استناد به شواهد ژئومورفولوژیکی و با استفاده از روش‌های کلاسیک و کمی، مطالعه موردی، حوضه فرانقوچای، مدرس علوم انسانی، شماره ۲، صص ۵۹-۸۳.

بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۵). ویژگی‌ها و عوامل کنترل‌کننده فرسایش خندقی، جغرافیا و توسعه، شماره ۷، صص ۱۱۵-۱۳۵.

بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۹۰). نقش ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های دامنه‌ای در فرسایش خاک نواحی کوهستانی، مدرس علوم انسانی، شماره ۱، صص ۳۳-۵۶.

کرمی، فریبا (۱۳۸۵). مخاطرات ژئومورفیک ناشی از ساخت و توسعه راه‌های روستایی با تاکید بر حرکات توده‌ای و ایجاد خندق‌ها، مطالعه موردی روستاهای شهرستان سراب، فصلنامه فضای جغرافیایی، شماره ۱۶، صص ۲۵-۴۰.

یمانی، مجتبی و علمی‌زاده، هیوا (۱۳۹۰). بررسی علل ناپایداری آبراهه‌ها در سطح دلتای رود کل، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۸، صص ۱-۱۵.

Duvert, C.; Gratiot, Nicolas; Evrard, Olivier; Navratil, Oldrich; Némery, Julien; Prat, Christian and Esteves, Michel (2010). Drivers of erosion and suspended sediment transport in three headwater catchments of the Mexican Central Highlands, *Geomorphology*, 123: 243-256.

Evans, R. (1993). *Sensitivity of British landscape to erosion*, John Wiley and Sons.

Evrard, O.; Némery, Julien; Gratiot, Nicolas; Duvert, Clément; Ayrault, Sophie; Lefèvre, Irène; Poulendar, Jérôme; Prat, Christian; Bonté, Philippe and Esteves, Michel (2010). Sediment dynamics during the rainy season in tropical highland catchments of central Mexico using fallout radionuclides, *Geomorphology*, 124: 42-54.

Feng, X.; Wang Yafeng; Chen, Liding; Fu, Bojie and Bai, Gangshuan (2010). Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau, *Geomorphology*, 118: 239-248.

Hentati, A.; Kawamura, Akira; Amaguchi, Hideo and Iseri, Yoshihiko (2010). Evaluation of sedimentation vulnerability at small hillside reservoirs in the semi-arid region of Tunisia using the Self-Organizing Map, *Geomorphology*, 122: 56-64.

Imaizumi, F; Tsuyoshi, Hattanji; and Yuichi, Hayakawa (2010). Channel initiation by surface and subsurface flows in a steep catchment of the Akaishi Mountains, Japan, *Geomorphology*, 115: 32-42.

Kertész, Á. and Gergely, J. (2011). The 2nd International Geography Symposium GEOMED2010 Gully erosion in Hungary, review and case study, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19: 693-701.

Khairulmaini, Osman Salleh and Mousazadeh, Fatemeh (2011). Gully erosion in semiarid regions, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19: 651-661.

Lubo, G.; Lei, Yun; Yi, Ren; Zhewei, Cui and Huaxing, Bi (2011). Spatial and temporal change of landscape pattern in the Hilly-gully region of Loess Plateau *Procedia Environmental, Sciences*, 8: 103-111.

- Maeda, E.; Petri, Pellikka, Mika- Siljander and Barnaby, Clark (2010). Potential impacts of agricultural expansion and climate change on soil erosion in the Eastern Arc Mountains of Kenya, *Geomorphology*, 123: 279-289.
- Motahaeh, H. S.; Naseri, M.A. and Golkarian, K.A. (2012). Identification of the most effective elements on rill erosion in the southwestern of mashhad district, *Geography and environmental hazards*, 2: 71-83.
- Nakamura, F. and Kikuchi, S. (1996). Some methodological development in the analysis of sediment transport processes using age distribution of floodplain deposits, *Geomorphology*, 16: 139-145.
- Nyssen, J. and Vermeersch, Dominiek (2010). Slope aspect affects geomorphic dynamics of coal mining spoil heaps in Belgium, *Geomorphology*, 123: 109-121.
- Reid, L.; Nicholas, J.; Dewey, Thomas and Lisle, Hilton (2010). The incidence and role of gullies after logging in a coastal redwood forest, *Geomorphology*, 117: 155-169.
- Rodríguez-Blanco, M.; Taboada-Castro, M.M.; Palleiro, L. and Taboada-Castro, M.T. (2010). Temporal changes in suspended sediment transport in an Atlantic catchment, NW Spain, *Geomorphology*, 123, 181-188.
- Whitford, J.; Newham, O.; Vigiak, A.R.; Melland, A.R. and Roberts, A.M (2010). Rapid assessment of gully sidewall erosion rates in data-poor catchments: A case study in Australia, *Geomorphology*, 118: 330-338.
- Zachar, D. (1982). *Soil erosion*, Elsevier pub.