

## تعیین سهم برآمدگی‌های ناگهانی در میزان فرسایش خندقی در سطوح شیب دار

### مطالعه موردی: زیرحوضه اوجان چای

مریم بیاتی خطیبی\* - استاد گروه پژوهشی ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.

فریبا کریمی - استاد گروه پژوهشی ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۱۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۴/۲۵

### چکیده

در کوهستان‌های نیمه خشک آشفستگی دامنه‌ها که اغلب در اثر فرسایش خندقی پدید می‌آید، از رخداد‌های مهمی است که در اثر وقوع تغییرات اقلیمی و دستکاری‌های انسانی تشدید می‌شود. در چنین محدوده‌هایی، خندق‌ها انبوهی از خاک‌های دامنه‌ای را بسوی آب‌های جاری و پای دامنه‌ها سرازیر می‌کنند. در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند، سطوح دامنه‌ها تحت فرسایش خندقی تشدید شده قرار گرفته‌اند. آبخیز اوجان چای واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند (واقع در شمال غرب کشور) از محدوده‌های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی به شمار آیند که تحت فرسایش خطی تشدید و تسریع شده قرار گرفته است. انبوه خاکی که در اثر فرسایش خندقی از دامنه‌ها جدا و تلف می‌شود، می‌تواند پیامدهای منفی بسیاری برای تاسیسات آبی و محدوده‌های کشت داشته باشد. از این نظر، بررسی و شناسایی محدوده‌های تحت فرسایش خاک در اثر توسعه اشکال خطی از نوع فرسایش خندقی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله با استفاده از روش‌های کمی، مقدار خاک تلف شده از فرسایش خندقی برآورد گردیده است. با استفاده از شاخص  $S_i$  شکل خندق‌ها تعیین و سپس با استفاده از معادله فرسایش ( $E$ )، میزان فرسایش خاک محاسبه شده است. با عنایت به نقش نیروی زایی برآمدگی‌ها در مسیر آبکندها، سهم بالآمدگی‌ها در هر خندق در میزان فرسایش با استفاده از رابطه  $K$  تعیین گردیده است. نتایج حاصل از برآورد‌ها نشان می‌دهد که شکل خندق‌های محدوده مورد بررسی در اثر نقش عوامل مختلف بسیار متفاوت است. حتی در طول یک خندق مجزا نیز این تفاوت دیده می‌شود. بیشترین تغییرات در میزان  $S_i$  در مقطع عرضی خندق شماره ۴ و کمترین میزان  $S_i$  در خندق ۷ و ۱۱ مشاهده می‌شود که حاکی از  $V$  شکل بودن خندق‌ها است. بررسی‌ها نتایج نشان می‌دهد که سهم بالآمدگی‌های ناگهانی در میزان فرسایش در خندق ۳ و ۱۰ بیشتر از سایر خندق‌ها است. این سهم در خندق ۱، صفر و در خندق ۵، نزدیک به صفر است. نتایج حاکی از آن است که بطور کلی سهم برآمدگی‌های ناگهانی در سطح شیب‌ها در تشکیل و افزایش میزان فرسایش خندقی منطقه زیاد است و این میزان در سه خندق بزرگ محدوده مورد مطالعه بیش از سایر خندق‌ها برآورد شده است.

واژگان کلیدی: برآمدگی‌های ناگهانی، فرسایش خندقی، فرسایش خاک، حوضه اوجان، کوهستان سهند.

## مقدمه

تشکیل و توسعه اشکال مختلف فرسایش خطی، بویژه فرسایش خندقی در دهه های اخیر در شیب های مناطق نیمه خشک از پدیده های غالب محسوب می شوند. اثرات و پیامدهای منفی وقوع فرسایش خندقی در سطوح شیب دار بسیار زیاد است. افزایش بار رسوبی رودخانه ها، کاهش حاصلخیزی زمین های کشاورزی، تشدید ناپایداری دامنه ها، افت سطح آب های زیرزمینی و در نتیجه کاهش میزان محصولات کشاورزی از جمله پیامدهای منفی فرسایش خندقی در شیب های مناطق نیمه خشک محسوب می شوند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵). برطبق آمار<sup>۱</sup> UNEP، در سال ۲۰۲۵، ۸۳٪ از جمعیت ۸٫۵ میلیاردی جهان در کشورهای توسعه یافته ساکن خواهد شد که این امر به منزله افزایش تقاضا به مواد غذایی و دست اندازی بشر به سطوح شیب دار و در نتیجه افزایش آسفتگی سطوح دامنه ها است. یکی از پیامدهای بسیار منفی آسفتگی دامنه ها، تلف شدن خاک توسط توسعه خندق ها است. خندق ها به عنوان یکی از اشکال مهم ژئومورفولوژیکی، با گسترش خود از بخش سر و فروریزی مواد از کناره ها، مواد دامنه ای را وارد دره ها می سازند و به این ترتیب تنها خاک قابل کشت کوهستان ها را در اختیار آب های جاری قرار می دهند (یادو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳، وایت فورد و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۰، گابت و بوکتو<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸، ص ۳۰۲ و کاسالی<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶، ص ۱۲۸).

در دامنه های شرقی کوهستان سهند، بیشتر سطوح دامنه ها در شکل تسریع شده آن تحت فرسایش آبی قرار گرفته اند. می توان گفت که در بین حوضه های زهکشی واقع در دامنه های شرقی کوهستان سهند، آسفتگی سطوح دامنه ها در آبخیز اوجان چای بیشتر از سایر حوضه های این کوهستان است. در محدوده مذکور، خندق های عمیق و شیارهای متراکم در بخش های پایینی سطوح کشت شده و در دامنه های تندتر بالای بخش های تحت کشت تشکیل و در حال توسعه هستند. به دلیل اینکه آبخیز اوجان چای از محدوده های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی کوهستان سهند به شمار می آید، فرسایش خندقی تشدید و تسریع شده می تواند خسارات جبران ناپذیری در پی داشته باشد. از این نظر بررسی و شناسایی محدوده های تحت فرسایش خاک در اثر توسعه خندق ها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برآمدگی های ناگهانی که در نیمرخ طولی خندق های منطقه مشاهده می شود، به نظر می رسد که در تشدید فرسایش خندقی سهم مهمی ایفا می کنند. در حوضه اوجان چای در محدوده هایی که برآمدگی های ناگهانی در مسیر آبکندها بوجود آمده است، خندق های بزرگ و با عمق قابل ملاحظه تشکیل شده است.

به علت اهمیت برآورد خاک تلف شده از فرسایش خطی در سطوح دامنه ها، از دهه ۱۹۹۰، مدل های مختلفی وارد عرصه تحقیقات فرسایش خاک شده است. یکی از این مدل های مهم، مدل LISEM است که تاکن و همکاران وی<sup>۶</sup> (۱۹۹۹) با استفاده از آن میزان فرسایش در بخش هایی از کشور بلژیک را مورد مطالعه قرار دادند. بریان<sup>۷</sup> (۲۰۰۰) و کوی گاردن<sup>۸</sup> (۲۰۰۳) نیز اثر ذوب برف بر روی تشکیل آبکندها و میزان فرسایش خاک در اثر فرسایش خطی را مورد مطالعه قرار دادند و نقش عوامل مختلف، مانند شیب را با استفاده از مدل جهانی فرسایش خاک (USLE) تحلیل کردند. سردان و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۲) اثر وقوع بارندگی ها بر تشدید فرسایش خطی بر روی دامنه های تحت کشت را، مورد بررسی قرار دادند و نقش

<sup>۱</sup> -United Nations Development Program

<sup>۲</sup> -Yadav et al.,

<sup>۳</sup> -Whitford et al.,

<sup>۴</sup> -Gabet and Booktev

<sup>۵</sup> -Casali et al.,

<sup>۶</sup> -Takken et al., (1999)

<sup>۷</sup> -Bryan (2000)

<sup>۸</sup> -Qygarden (2003)

<sup>۹</sup> -Cerdan et al., (2002)

کشت و کار در تشدید چنین فرسایشی بر روی شیب‌ها را ثابت نمودند. رایس و مارزولف<sup>۱</sup> (۲۰۰۳)، با استفاده از عکس‌های هوایی متوالی رشد خندق‌ها و میزان خاک تلف شده را مورد تحلیل قرار دادند. زینگ و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) الگوی فرسایش خندقی و بطور کلی فرسایش آبی را در فلات چین، پوسن<sup>۳</sup> و ونته (۲۰۰۵) در بلژیک و پژوهشگران به نام مانند وان والگن هیم و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۵)، فرسایش خندقی را در مقیاس حوضه ای و گورس و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۷) و کناپن و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) فرسایش شیاری را در محیط‌های میدانی مورد مطالعه قرار داده‌اند.

با توجه به نتایج حاصل از بکارگیری شاخص‌های مختلف و مدل‌های ریاضی در بررسی خندق‌ها و شیاریها از روش‌های معمول در تحقیقات اخیر محسوب می‌شود. فرناندز و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۰۸) در بررسی خندق‌های شمال اسپانیا، کاکمبو و همکاران<sup>۸</sup> در جنوب آفریقا (۲۰۰۹)، کرتز و گرگلی<sup>۹</sup> (۲۰۱۱) در مجارستان، وایت فورد و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۰) و توری و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۶) و مک کلوکی و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۶) با مطالعه در استرالیا و موریس و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۵) در شمال ایتوپیا، با بررسی فرسایش خندقی در محدوده مورد مطالعه خود، از جمله این محققان هستند که از مدل‌ها و شاخص‌های مختلف برای برآورد فرسایش حاصل از اشکال مذکور استفاده نمودند.

در ایران، مطالعات بر روی فرسایش، بویژه فرسایش خطی از سابقه چندان طولانی برخوردار نیست. مطالعات پراکنده‌ای در این مورد توسط تعدادی از پژوهشگران صورت گرفته است که نتایج این مطالعات در قالب گزارش‌ها، کتاب‌ها، مقاله‌ها و یا در مجموعه مقاله‌های کنفرانس‌ها ارائه شده‌اند. در زمینه فرسایش شیاری و خندقی به مطالعات محققانی مانند ایرانمنش، چرخابی و جلالی (۱۳۸۵) که فرسایش آبی را در جنوب شرق ایران مطالعه کرده‌اند، ابراهیمی (۱۳۹۶) فرسایش خندقی را در محدوده آق امام، صیاد اصغری سراسکاندروود (۱۳۹۶) فرسایش خندقی را در محدوده اسکو مورد مطالعه قرار داده‌اند، می‌توان اشاره نمود. همچنین می‌توان به تحقیقات بیاتی خطیبی (۱۳۸۵) اشاره کرد. در منطقه مورد مطالعه، علل فرسایش خندقی، علی‌رغم گستردگی و پیامدهای اسف‌باری که در پی داشته و دارد، بطور اساسی مورد بررسی قرار نگرفته است. امید است نتایج این مطالعه بتواند، خلع موجود را تا حدی پر نماید.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه اوجان چای که در منطقه شمال غرب کشور و در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند قرار گرفته، از زیرحوضه‌های مهم آجی چای است که در موقعیت جغرافیایی  $37^{\circ} 44'$  تا  $37^{\circ} 54'$  عرض شمالی و  $31^{\circ} 36'$  تا  $36^{\circ} 50'$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این حوضه، از محدوده‌های مهم کشت انواع محصولات دیمی و آبی کوهستان سهند به شمار می‌آید. بخش مهمی از حوضه توسط سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است. سنگ‌های رسوبی میوسن شامل

<sup>۱</sup>-Ries and Marzolf (2003)

<sup>۲</sup>-Zeng et al., (2005)

<sup>۳</sup>-Poesen and Vente (2005)

<sup>۴</sup>-VanWalleghem et al., (2005)

<sup>۵</sup>-Gover et al., (2005)

<sup>۶</sup>-Knapen et al., (2007)

<sup>۷</sup>-Fernandez et al.,

<sup>۸</sup>-Kakembo et al.,

<sup>۹</sup>-Kertez and Grgely

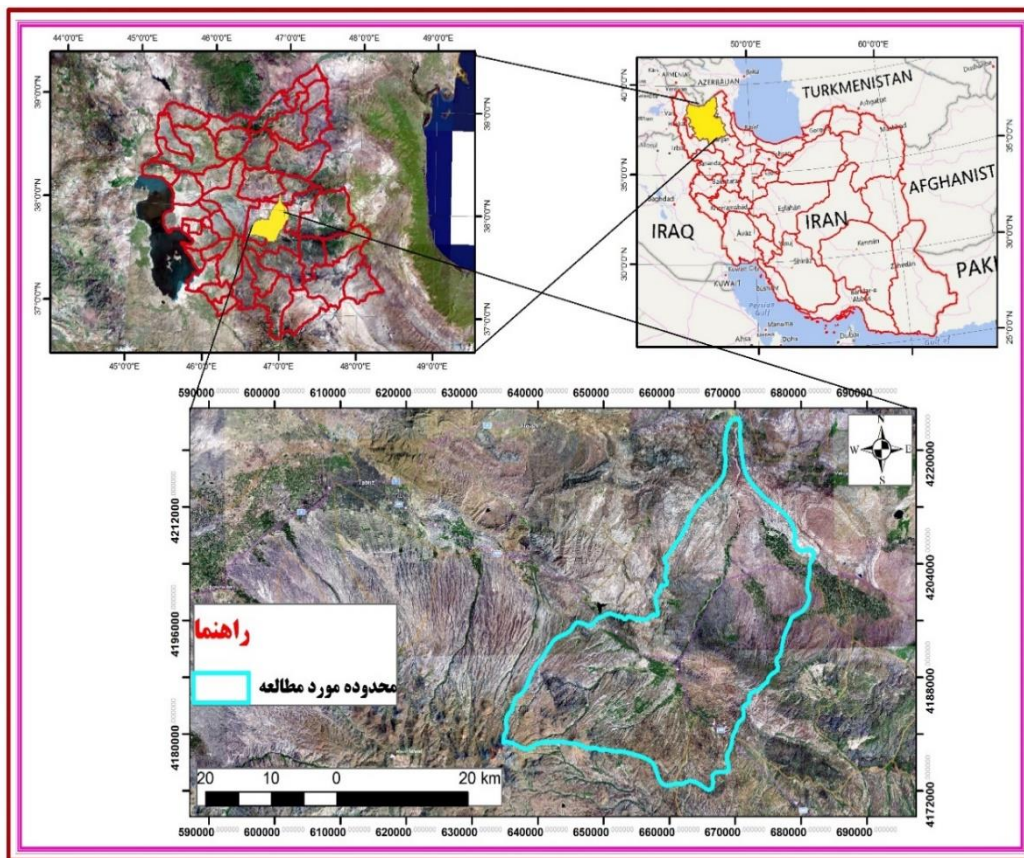
<sup>۱۰</sup>-Whitford et al.,

<sup>۱۱</sup>-Torri et al.,

<sup>۱۲</sup>-McCloskey et al.,

<sup>۱۳</sup>-Monsieurs et al.,

سازندقرمز تحتانی و واحدهای متشکل از مارن ژیبسی و ماسه سنگ هستندجنس این آبرفت ها از نوع رودخانه ای همراه با گل و لای، رس و ماسه های تخریب شده از سنگ های حوضه محسوب می شوند. خاک های محدوده مورد مطالعه، از نوع خیلی عمیق هستند که در بخشی از محدوده، بدون شوری و قلیائی و در قسمتی از اراضی با شوری و قلیائیت نسبتا زیاد است. در بخش هایی از حوضه، بافت خاک متوسط تا سنگین و ساختمان آن فشرده است (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵). بررسی داده های حاصل از افق های خاک نیز حاکی از این است که در بخش های سطحی درصد سیلت و رس در بافت خاک زیاد است که این ساختار، خاک را در برابر فرسایش آبی بسیار حساس می کند. حضور ماسه زیاد در بخش سطحی نیز دیواره خندق های تشکیل شده بر روی چنین خاکی هایی را بسیار ناپایدار می سازد.

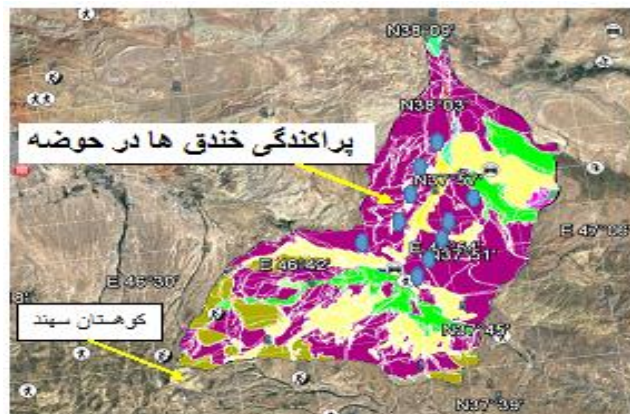


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه اوجان چای

## مواد و روش ها

برای تعیین بررسی نقش بالآمدگی ها در تشدید فرسایش سطوح شیب دار و یا سهم آنها در فرسایش خندقی، سعی شده است با استفاده از نقشه های توپوگرافی (۱: ۵۰۰۰۰)، نقشه های زمین شناسی، عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای (۲۰۱۰)، ویژگی های خندق های بزرگ محدوده اوجان، بررسی شده و داده های لازم با استفاده از نقشه ها و تصاویر و همچنین پیمایش و سنجش های میدانی بدست آمده است. برای اندازه گیری برخی از پارامترهای لازم به بررسی های میدانی اقدام شده و داده های لازم مانند تعیین موقعیت برآمدگی ها و اندازه گیری طول و عرض و .. خندق ها از این طریق بدست آمده است. برای تعیین سهم نقش بالآمدگی های ناگهانی (تکتونیک و یا لیتولوژیک) در تشدید فرسایش خندقی لازم بود که ابتدا شکل خندق ها، سپس میزان فرسایش کل و در نهایت سهم بالآمدگی های ناگهانی در فرسایش خندقی تعیین شود. در این بررسی ۱۱ خندق بزرگ در محدوده مورد مطالعه انتخاب و اندازه گیری پارامترهای مورد نظر، برای این

خندق‌ها به صورت میدانی بدست آمده است که دلیل انتخاب این ۱۱ خندق، بزرگی، حضور برآمدگی‌ها و رشد سریع آنها در شیب‌ها بوده است (شکل ۲). مراحل تحقیق به صورت زیر طی شده است:



شکل ۲: پراکندگی ۱۱ خندق در حوضه اوجان چای (دوایر نشان‌دهنده خندق‌ها)

### مشخص نمودن شکل کلی خندق‌های حوضه اوجان چای

برای مشخص نمودن شکل مقطع عرضی خندق از یک رابطه ساده استفاده می‌شود که این رابطه با در نظر گرفتن پهنا و عمق ویژه ای شکل می‌گیرد (رابطه ۱). این رابطه برای هر مقطعی و در هر محدوده‌ای به صورت زیر قابل محاسبه است (Gabet, 2008, 302):

$$Si = W_{25} / W_{top} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)  $Si$  = شکل مقطع عرضی خندق،  $W_{25}$  = پهناي خندق در یک فاصله از عمق که ۲۵٪ حداکثر عمق است و  $W_{top}$  = پهناي خندق در بالای خندق با استفاده از مقدار بدست آمده  $Si$  می‌توان قضاوت نمود که شکل خندق  $u$  و یا  $v$  شکل است (شکل ۳). مقدار بالای  $Si$  نشان دهنده شکل  $u$  است (نزدیک به ۱ و یا بالاتر). با عنایت به این که بیشتر خندق‌های محدوده مورد مطالعه طویل هستند و در طول یک خندق گاه شکل‌های  $U, V$  را بطور همزمان در مقاطع عرضی یک خندق می‌توان مشاهده نمود، لذا سعی شده است که از مقاطع مختلف خندق‌ها اندازه‌گیری‌های متعدد صورت گیرد و شکل‌های عرضی در طول یک خندق مورد بررسی و مقایسه گردد و در نهایت نتیجه‌گیری‌ها براساس چند اندازه‌گیری مختلف صورت گیرد (جدول ۱). (به دلیل محدودیت در صفحات مقاله، در اینجا فقط به مقادیر  $Si$  در مقطع یک خندق اشاره شده است.)



شکل (۳): الف) سنجش‌های میدانی در خندق‌های تشکیل شده در شیب‌های حوضه اوجان چای، ب) پارامترهای مورد سنجش در یک خندق بزرگ برای تعیین شکل خندق و پ) پارامترهای مربوط به برآورد میزان فرسایش در معادله فرسایش

جدول ۱: مقدار Si در مقاطع مختلف خندق ۱

مقطع	H	W <sub>TOP</sub>	W <sub>25</sub>	Si
۱	۳,۲	۲,۲	۲	۰,۹۰
۲	۲,۲	۱,۸۰	۱,۳۰	۰,۷۲
۳	۱,۲۰	۱,۳۰	۰,۵	۰,۳۸
۴	۱,۴۳	۲,۳۰	۱,۸۰	۰,۷۸

## برآورد فرسایش خندقی در روی شیب های مختلف

برای برآورد میزان فرسایش، داده های مربوط به شیب در هر خندق اندازه گیری شده است. شیب در فرسایش خندقی، نقش اولیه و بسیار مهمی را بازی می کند. زمانی که شیب افزایش می یابد، انرژی جنبشی باران ثابت می ماند، اما توان حمل مواد به طرف پای دامنه افزایش و زمان آن تسریع می شود. زمانی که شیب به بیش از ۱۵ درصد می رسد انرژی جنبشی باران به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. در سال ۱۹۴۰ زینگ (Zingg) دریافت که میزان تلفات خاک از سطوح دامنه ها با افزایش شیب، بطور نمایی (با نمای ۱,۴) افزایش می یابد. معادلاتی که طراحی شد، میزان فرسایش را طبق تغییرات شیب در سطح دامنه، برآورد می نمود. در این تحقیق از این معادله (poesen, 2002) استفاده شده است (رابطه ۲).

$$E = KS^{1.4} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۲)،  $E$  = فرسایش به تن در سال،  $K$  = سهم بالآمدگی ها در فرسایش و  $S$  = شیب به درصد با عنایت به اینکه در رابطه بالا  $K$  ابتدا قابل محاسبه نیست، بنابراین لازم است که مقدار فرسایش از رابطه دیگری محاسبه شود و مقدار  $K$  برآورد شده در معادله وارد شود. فرسایش در زمین هایی که بطور اصولی کشت نشده اند نسبت به زمین های برهنه بسیار سریع تر است و با استفاده از فرمول زیر فرسایش خاک را محاسبه نمود:

$$E = \sqrt{L}/100(0.76 + 0.53S + 0.076S^2) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه (۳)،  $E$  = فرسایش به تن در سال در متر مربع،  $S$  = شیب دامنه به درصد،  $L$  = طول دامنه به متر در روابط فوق، برای جایگذاری داده ها در پارامترهای ارائه شده، از داده های حاصل از سنجش های زمینی و داده های برگرفته از نقشه ها بهره گیری شده است (شکل ۲).

برآورد مقدار  $K$  و تعیین سهم برآمدگی های ناگهانی در فرسایش

برآمدگی های ناگهانی<sup>۱</sup>، در واقع برآمدگی های (ناشی از علل لیتولوژیکی و یا تکتونیکی) تشکیل شده در مسیر طولی آبکندهای سطوح شیب دار هستند که حضور آنها فرسایش در این آبکندها را تسریع می کند. برآورد مقدار  $K$  طبق این پیش فرض صورت می گیرد که بخشی از فرسایش خندقی مربوط به بالآمدگی های ناگهانی در سطوح شیب دار است. طبق معادله زیر می توان سهم این برآمدگی ها را در فرسایش خندقی برآورد نمود (vacarecel, 2003):

$$K = E/A_m S_n \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴)،  $E$  = فرسایش،  $A$  = مساحت حوضه بالادست خندق و  $S$  = شیب دامنه (شکل ۲، پ)  $m$ ،  $n$  ارقام ثابتی هستند که طبق پردازش های آماری در محدوده مورد مطالعه  $m = ۰,۵۶۲۵$  و  $n = ۲,۱۸۵$  (می باشد)

<sup>۱</sup> - Knickpoint

## بحث و یافته‌ها

عوامل متعددی در فرسایش خندقی سطوح شیب دار نقش ایفا می‌کنند که با توجه به ویژگی‌های هر محدوده‌ای نقش هر یک می‌تواند بر جسته‌تر شود و به همین دلیل می‌توان در شیب‌های متعدد اشکال مختلفی از خندق‌ها را مشاهده نمود. در بین پارامترهای مختلف، شکل خندق‌ها از پارامترهای مهمی است که در بررسی نحوه فرسایش دامنه‌ها به آن توجه می‌شود. شکل خندق‌ها علاوه بر این که نشان‌دهنده ویژگی‌های سطوح شیب‌دار هستند، بلکه حاکی از نحوه گسترش بعدی خندق‌ها در پای دامنه‌ها و همچنین نشان‌دهنده نحوه عمل عاملین شکل‌زایی در شیب‌ها می‌باشند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۵).

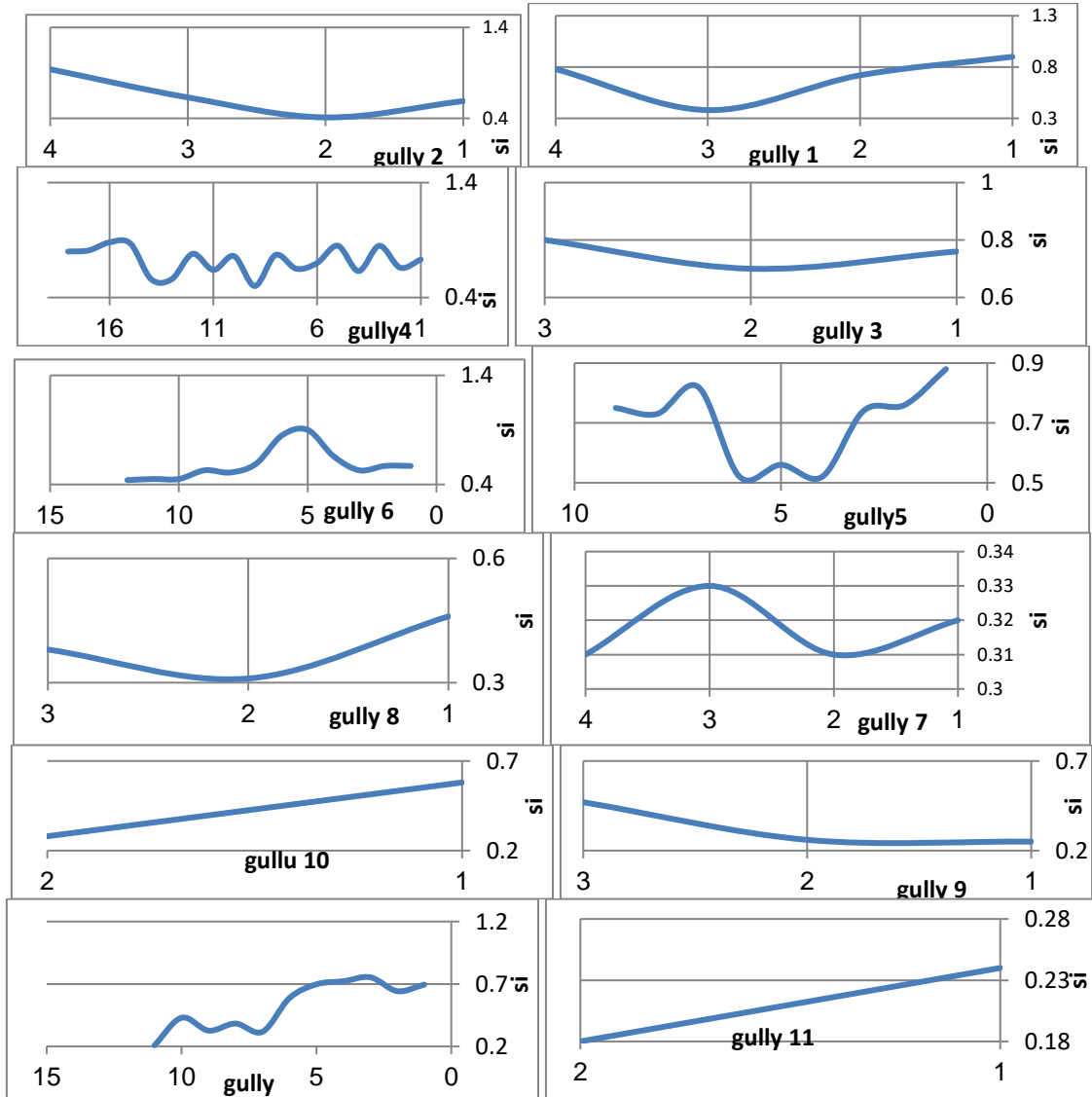
## الف- تعیین شکل کلی خندق‌های حوضه اوجان چای

برای مشخص نمودن شکل کلی خندق‌های منطقه از رابطه  $SI$  استفاده شده است و به دلیل اینکه بعضی از خندق‌های منطقه طولانی بوده و در مسیر طولیل خندق‌ها ممکن است به لحاظ تغییر بعضی از شرایط، شکل خندق نیز در طول مسیر تغییر یابد، برداشت داده‌های زمین در طول یک خندق مجزا تکرار شده و به این ترتیب شکل خندق در مقاطع مختلف طول مسیر مشخص شده است. نتایج این برداشت‌ها و محاسبات در شکل ۴، ارائه شده است. بررسی داده‌های حاصل از برآوردها حاکی از این است که در حالت کلی میزان  $SI$  در خندق‌های بزرگ محدوده مورد بررسی مقدار بالایی را نشان نمی‌دهد و همچنین مقادیر  $SI$  در طول یک خندق مجزا، تغییرات قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. خود این تغییرات در مقدار  $SI$  در طول یک خندق حاکی از وجود تغییرات ناگهانی است. بطور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که مقدار  $SI$  در خندق‌های مورد بررسی بسیار متفاوت است (شکل ۴). مقدار  $SI$  در خندق ۴ زیاد است و بالاترین مقدار  $SI$  در مقطعی از خندق، مربوط به خندق ۲ است. بیشتر تغییرات  $SI$  نیز در طول یک خندق از نظر شکل مقطع عرضی در خندق ۲ دیده می‌شود. این امر در خندق ۲ مربوط به نوع لیتولوژی است که این خندق بر روی آن تشکیل شده است. با توجه به اشکال ارائه شده (شکل‌های ۴و۵) می‌توان گفت که، بیشترین تغییرات در  $SI$  در مقطع عرضی خندق شماره ۴ دیده می‌شود. خندق ۱، ۲، ۴، ۶ با توجه به مقادیر مورد محاسبه نشان‌دهنده شکل  $U$  در این خندق‌ها است. کمترین میزان  $SI$  در خندق ۷، ۱۱، مشاهده می‌شود که حاکی از  $V$  شکل بودن خندق‌ها است. اگر متوسط مقادیر حاصل از محاسبه  $SI$  از مقاطع مختلف خندق‌ها مدنظر قرار گیرد (شکل‌های ۴و۵) مشخص می‌شود که مقاطع خندق‌ها نه خیلی به حالت  $U$  است و نه زیاد شکل  $V$  دارد. در این مطالعه آنچه که مهم است، تغییرات در شکل مقطع می‌باشد که با استفاده از مقدار  $SI$  قابل اثبات است. این امر در خندق‌های بزرگ و فعال محدوده مورد مطالعه صادق است. در خندق‌های منطقه مورد مطالعه این تغییرات زیاد است که خود از واقعیات دیگری حکایت می‌کند که به آن اشاره می‌شود. مقایسه مقدار  $SI$  در مقاطع مختلف خندق‌ها نشان می‌دهد که شکل خندق‌های محدوده مورد مطالعه با یکدیگر کاملاً متفاوت است (شکل‌های ۴و۵).





شکل ۴: خندق U شکلی (تصویر سمت راست) و تشکیل شده (خندق V شکل باز (تصویر سمت چپ) در حوضه اوجان چای



شکل ۵: مقدار  $S_i$  در مقاطع مختلف خندق های مختلف و متوسط  $S_i$  در ۱۱ خندق بزرگ اوجان چای (محور افقی مربوط به تعداد مقاطع اندازه گیری میدانی در طول یک خندق است)

**ب- بررسی نقش بالا آمدگی ها در فرسایش در مسیر خندق های بزرگ محدوده مورد مطالعه**

بررسی های میدانی در محدوده تشکیل خندق های بزرگ منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که بالا آمدگی های متعددی در مقطع طولی آبراهه ها و خندق های طویل تشکیل شده، که وجود این بالا آمدگی ها با تغییرات شیب در مسیر



آبراهه‌ها همراه است (شکل ۵). این تغییرات شیب در تشدید فرسایش خندقی نقش مهمی ایفا می‌کند. بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که فرسایش در زمین‌هایی که بطور غیر اصولی کشت شده اند نسبت به زمین‌های برهنه بسیار سریع‌تر است و در زمین‌هایی که بالآمدگی‌های تکتونیکی در مسیر آبراهه صورت می‌گیرد، برآمدگی‌هایی<sup>۱</sup> در مسیر خندق‌های بزرگ پدید می‌آید که این محل‌ها به عنوان محل تشدید فرسایش خطی عمل کنند. برای بررسی نقش و سهم این برآمدگی‌ها در فرسایش خندقی معادله‌ای طراحی شده است که می‌توان با استناد به آنها فرسایش خندقی را از بعد دیگری مورد بررسی قرار داد. منتها قبل از تعیین سهم این بالآمدگی‌ها در فرسایش، باید میزان فرسایش خندقی محاسبه و سپس سهم فرسایش ناشی از بالآمدگی در فرسایش خندقی محاسبه شود. یکی از این معادلات، معادله E<sup>۲</sup> است که با استفاده از آن میزان فرسایش خاک را می‌توان در محدوده خندق‌ها محاسبه نمود. میزان فرسایش در محدوده مورد مطالعه طبق معادله مذکور برآورد گردیده است. نتایج محاسبات که در شکل (۷) نمایش داده شده، نشان می‌دهد که میزان فرسایش در محدوده مورد مطالعه بالا است. در محدوده خندق‌های بزرگ مانند خندق‌های نوع ۴ و ۱۱ مقدار آن بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. انطباق مقادیر مورد محاسبه از ۱۱ خندق بزرگ محدوده مورد مطالعه، با شواهد زمینی و اطلاعات برگرفته از پیمایش‌های میدانی نشان می‌دهد که خندق‌های کوتاه، اما مستقر در سطوحی با شیب زیاد و با دیواره‌های بسیار ناپایدار بیشترین مواد دامنه‌ای را در اختیار بخش‌های پایین قرار می‌دهد (شکل ۸). در بخش‌های بالادست این خندق‌ها کشت و کار صورت می‌گیرد که این امر خود از علل عمده تمرکز سریع رواناب‌ها و در نتیجه افزایش قدرت سایشی آنها در سطح دامنه‌ها است. رواناب‌ها از بخش انتهایی این خندق‌ها با اختلاف ارتفاع چند متری وارد کف خندق‌ها می‌شوند و خندق‌ها از این بخش است که سریعاً به طرف بالا درست دامنه‌ها پیشروی می‌کنند (۸). بررسی نتایج حاصل از محاسبات با معادله مربوطه که در شکل (۷) ارائه شده، نشان می‌دهد که در مقدار فرسایش در خندق‌های شماره ۲ و ۳ و ۴ و همچنین ۱۱ به مراتب بیشتر از سایر خندق‌ها است (شکل ۷).

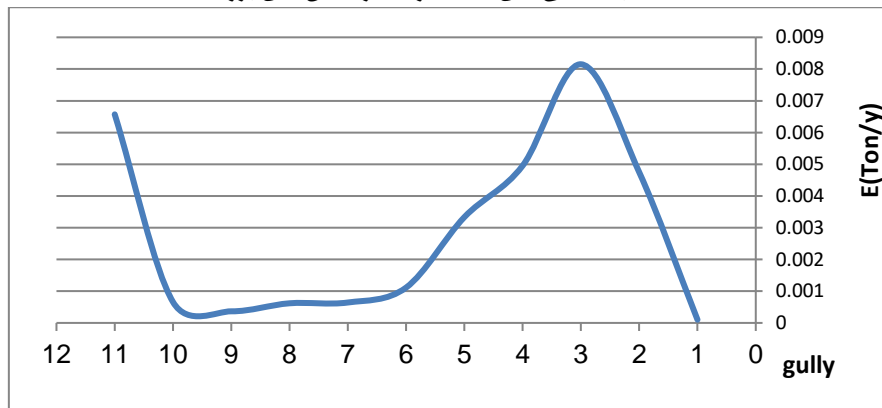
بررسی‌های میدانی نشان می‌دهد که در خندق ۲ و همچنین در خندق ۳ شیب بسیار زیاد بوده و دیواره خندق‌ها بسیار ناپایدار بوده و با هر ورود آب از بالادست حجم زیادی از خاک دامنه‌ای وارد خندق‌ها می‌شود (شکل ۸). این خندق‌ها U شکل هستند. به همین دلیل در نمودار (شکل ۷) در رده خندق‌های بسیار رسوب‌زا دیده می‌شود. در خندق ۱۱ طول دامنه زیاد است و این پارامتر در جلوه نمودن آن به عنوان یک خندق رسوب‌زا نقش ایفا کرده است. این خندق V شکل است و دیواره‌های نسبتاً پایدار دارد (شکل ۸). ناپایداری دیواره‌های خندق‌ها نه تنها در قسمت دیواره‌های کناری آنها دیده می‌شود بلکه سرخندق‌ها بسیار فعال است و گاه بخش اعظم رسوب‌زایی خندق‌ها از این بخش صورت می‌گیرد. ردیابی مسیر رواناب‌ها نشان می‌دهد که، اگر رواناب‌ها از یک قسمت مجزا به آبراهه‌های از قبل تشکیل شده وارد شوند، خندق‌های یکسر تشکیل می‌شوند، در غیر این صورت با ورود رواناب‌ها از چند جهت به بخش‌های برش یافته قبلی، خندق‌های چند سر شکل می‌گیرند. خندق‌های اخیر از نوع بسیار خطرناک بوده و در واقع از چند جبهه به دامنه‌ها حمله می‌کنند.

<sup>۱</sup> Knick point

<sup>۲</sup> E =  $\sqrt{L/100(0.76+0.53S+0.076S^2)}$



شکل ۶: بالآمدگی های متعدد در مسیر خندق های بزرگ



شکل ۷: مقدار فرسایش در محدوده خندق های بزرگ حوضه اوجان چای (محور افقی تعداد خندق ها را نشان می دهد)



(ب)

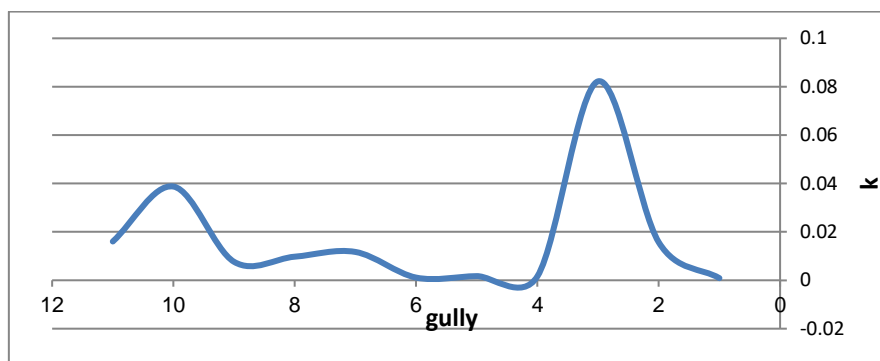
(الف)

شکل ۸: خندق شماره ۲ (الف) و خندق شماره ۱۱ (ب) در محدوده مورد مطالعه

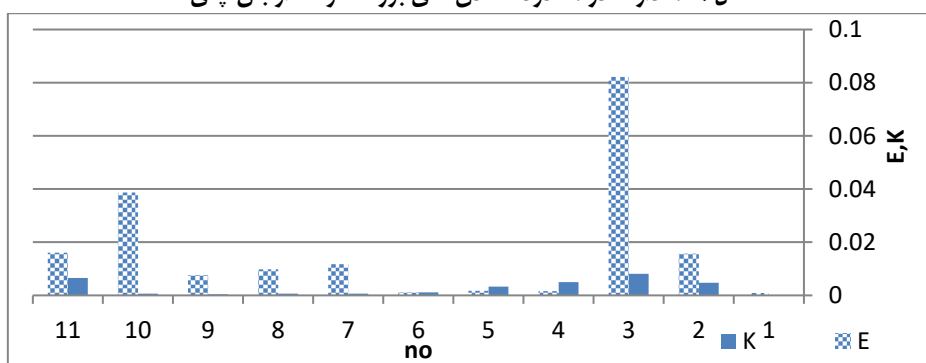
### پ-تعیین میزان و سهم بالآمدگی ها در سطوح شیب دار در فرسایش خندقی (برآورد K)

در محدوده مورد مطالعه، خندق هایی مشاهده می شود که در طول آنها برآمدگی های متعددی تشکیل شده است. بررسی های میدانی نشان می دهد که حضور این برآمدگی ها در اغلب قسمت ها، قابل توجیه با فعالیت های تکتونیکی (منطبق با خطوط گسل) در شیب های منطقه هستند. در طول این خندق ها، فرسایش به شدت افزایش می یابد. دلیل این امر این است که هریک از این برآمدگی ها انرژی مضاعفی را برای رواناب های جاری در طول خندق ها (برای فرسایش

بیشتر) فراهم می‌سازند. مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که دیواره این خندق‌ها بسیار ناپایدار بوده و حجم خاک حاصل از فرسایش زیاد است. در بررسی فرسایش خطی در سطوح دامنه‌ها، برآورد  $K$  طبق این پیش‌زمینه ذهنی صورت می‌گیرد که بخشی از فرسایش خندقی مربوط به بالآمدگی‌ها در مقطع طولی خندق‌های منطقه است. مخصوصاً در خندقی‌هایی که دارای برآمدگی‌های ناگهانی هستند. طبق رابطه ۴، نقش و سهم این برآمدگی‌ها در فرسایش خندقی برآورد شده است (شکل ۹). بررسی اطلاعات ارائه شده نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن مساحت زیر حوضه‌های بالادست خندق‌های بزرگ ( $AS$ ) و شیب ( $S$ )، سهم بالآمدگی‌ها در خندق ۳ و ۱۰ بیشتر است. این سهم در خندق ۳ به مراتب بیشتر از سایر خندق‌ها است. در خندق‌های دیگر هم سهم بالآمدگی‌ها در فرسایش مشاهده می‌شود. این سهم در خندق ۱ صفر و در خندق ۵ نزدیک به صفر است (شکل ۸). مقایسه سهم بالآمدگی‌ها در فرسایش خندق‌های بزرگ با مقدار فرسایش کلی در محدوده تشکیل خندق‌های بزرگ منطقه، نشان دهنده سهم این برآمدگی‌ها در تشدید فرسایش خندقی است (شکل ۱۰).



شکل ۹: مقدار  $k$  در محدوده خندق‌های بزرگ حوضه اوجان چای



شکل ۱۰: مقادیر  $K, E$  در محدوده خندق‌های بزرگ اوجان چای

اگر نیمرخ خاکی‌هایی که خندق‌های بزرگ در آن تشکیل شده‌اند، نیز مورد مطالعه قرار گیرند مشخص می‌شود که درصد سیلت در این نوع خاک‌ها بیشتر است که این امر خود حاکی از آن است که این نوع خاک‌ها نسبت به فرسایش آبی فوق‌العاده حساس هستند. اگر شیب ناشی از بالآمدگی‌های ناگهانی در نیمرخ طولی با این عامل اضافه شود، خندق‌های بسیار فعال در شیب‌ها شکل می‌گیرند که سریعاً از قسمت سر به بالای دامنه‌ها در حال پیشروی هستند.

### نتیجه‌گیری

بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که فرسایش آبی در سطوح دامنه‌های حوضه زهکشی اوجان چای -بویره در بخش‌های خروجی حوضه در حد تشدید شده آن -به علت اصلی تلف شدن خاک مبدل شده است. در محدوده مورد مطالعه، با دارا بودن ویژگی‌های حاکم بر نواحی کوهستانی، بخش بسیار کوچکی از حوضه، یعنی کناره دره‌ها و محدوده

بسیار کوچکی از شیب های منتهی به دره ها، از خاک های قابل کشت برخوردارند. یعنی محدوده هایی که مستعدترین بخش برای فرسایش خطی هستند. حفظ این خاک ها مستلزم شناسائی عوامل آشفته کننده دامنه ها و عوامل تشدید کننده فرسایش خاک ها در این محدوده ها است. محدوده مورد مطالعه از بخش های مهم دامپروری محسوب می شود. چرای مفرط در عین حال که تشدیدکننده فرسایش است، تلف شدن خاک های سطحی از علل اصلی فقیر شدن پوشش گیاهی چراگاه ها است. طبق محاسبات، میزان خاکی که از کوهستان ها توسط فرسایش خندقی سالانه تلف می شود  $142 \pm 1322$  تن در هکتار است. در محدوده مورد مطالعه این مقدار برای هر خندق بطور متوسط  $0.3$  تن در سال می باشد که برای خندق های بزرگ که رشد سریعی دارند به  $0.8$  تن در سال می رسد. در مورد دامنه های شرقی سهپند، تلف شدن چنین خاکی در واقع محرومیت این محدوده از یک ثروت ملی و کاهش در ارزش محصولات محسوب می شود. بررسی های صورت گرفته و برآورهای حاصل از بکارگیری معادلات نشان می دهد که سهم بالا آمدگی ها در فرسایش خاک دامنه ای در محدوده مورد مطالعه برای هر خندق بسیار متفاوت است. برای خندق هایی که این برآمدگی ها عمده بودند سهم آنها در فرسایش به بیش از نصف رسیده است (مانند خندق ۱۱،۵ و ۴) که این مقدار سهم در فرسایش قابل ملاحظه است. حضور این برآمدگی ها در طول مسیر خندق ها که موجب می شوند برش آب های جاری از بخش سر با توان بیشتری صورت گیرد، فرسایش سریع در خاک دامنه ای را موجب می شوند. بررسی خندق های اوجان چای نشان می دهد که در محدوده هایی که برآمدگی ها بیشتر خود نمایی کرده اند شکل عرضی خندق ها حتی در طول یک خندق مجزا تغییر پیدا کرده است و اغلب چنین خندق هایی به خندق های عمیق و به شکل U در آمده اند. در محدوده مورد مطالعه، چنین خندق هایی که عمق پیدا می کنند، دیواره های بسیار ناپایداری دارند که در نهایت در اثر ریزش به زخم های بزرگی در شیب ها تبدیل می شوند درحوزه ای به مانند اوجان چای که به لحاظ ویژگی های اقلیمی حاکم و عدم حفظ دامنه ها توسط پوشش گیاهی و بروز آشفتهگی های بدون ملاحظه دامنه ها توسط انسان، نقش برآمدگی ها در مقدارخاک تلف شده به نظر می رسد به مراتب بیشتر است و باید جدی گرفته شود. مطالعه پیامدهای ناشی از افزایش فرسایش و ازدیاد میزان رسوبات ناشی از تغییر در ویژگی های هیدرولوژیکی رودخانه اوجان چای و بررسی سایر تغییرات ناشی از آن مانند فعال نمودن سایر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی، که در مواردی زمینه ساز بروز مخاطرات جدی دیگری در محدوده های سکونتگاه های انسانی می باشند، از مواردی هستند که باید با جدیت تمام مدنظر قرار گیرند. بطور کلی می توان گفت که، مدیریت کامل حوضه های نیمه خشک، باید با نگرشی جامع به حوضه و تمامی اجزاء آن (بستر رودخانه ها، کلیه سرشاخه ها، دامنه های مشرف به دشت های سیلابی و...) صورت گیرد. تلف شدن خاک به عنوان بستری برای تمامی حیات در حوضه ها، در واقع مختل کننده کارکرد تمامی اجزاء سیستم و اثر گذار در کارکرد کلیه اکوسیستم ها است. از این نظر، بررسی فرسایش خندقی و شیاری به عنوان علل اصلی فرسایش خاک دامنه ها مهم بوده و مطالعه عوامل سهیم در تشدید آن از ضروریات است.

## منابع

- ابراهیمی، مریم، ۱۳۹۶، شناسایی علل وقوع فرسایش خندقی با تاکید به خصوصیات خاک مطالعه موردی حوضه آبخیز آق تمام، نشریه حفاظت منابع آب خاک، شماره دوم، صص ۱-۱۳.
- اصغری سراسکاندرو، ۱۳۹۶، تحلیل عوامل موثر در شکل گیری و گسترش فرسایش خندقی در محدوده اسکو، فضای جغرافیایی، شماره ۵۱، صص ۲۸۵-۳۰۱.
- بیاتی خطیبی، مریم، ۱۳۸۵، پژوهشی پیرامون علل تشکیل و توسعه آبکندها در کوهستان های نیمه خشک، علوم زمین، شماره ۶۰، صص ۲۰-۳۹.
- بیاتی خطیبی، مریم، ۱۳۸۵، بررسی و تحلیل فرسایش آبراهه ای با استناد به شواهد ژئومورفولوژیکی، مدرس علوم انسانی، شماره ۴۵، صص ۳۶-۵۲.

- **Beavis, G.Sara** .,2000.*Structural controls on the orientation of erosion gullies in mid-western New South Wales, Australia, Geomorphology* 33 \_2000. 59–72.
- **Chiverrell ,R.C., A.M. Harvey, G.C. Foster.**,2007.*Hillslope gullying in the Solway Firth — Morecambe Bay region,Great Britain: Responses to human impact and/or climatic deterioration? Geomorphology* 84 (2007) 317–343.
- **Crokea ,Jacky, Simon Mocklera, Peter Fogartyb, Ingrid Takken.**,2005.*Sediment concentration changes in runoff pathways from a forest road network and the resultant spatial pattern of catchment connectivity, Geomorphology* 68 (2005) 257–268.
- **Eriksson ,M.G. , J.M. Olley , R.W. Payton.**,2000.*Soil erosion history in central Tanzania based on OSL dating of colluvial and alluvial hillslope deposits, Geomorphology* 36 \_2000. 107–128.
- **Faulkne,Hazel.**,2008.*Connectivity as a crucial determinant of badland morphology and evolution, Geomorphology* 100 (2008) 91–103.
- **Kakembo ,V., W.W. Xanga, K. Rowntree.**,2009.*Topographic thresholds in gully development on the hillslopes of communal areas in Ngqushwa Local Municipality, Eastern Cape, South Africa, Geomorphology* 110(2009) 188–194.
- **Kasai ,Mio.**, 2006.*Channel processes following land use changes in a degrading steep, headwater stream in North Island, New Zealand, Geomorphology* 81 (2006) 421–439.
- **Hobbs,S.D.,Paull,D.J and D.A. Clarke**, 2017,*Testing the water hypothesis: Quantitative morphological analysis of terrestrial and martian mid-latitude gullies, Geomorphology* 295 (2017) 705.
- **McCloskey, G. L. ,Wasson, R. J., Boggs, G. S and M.Douglas**,2016, *Timing and causes of gully erosion in the riparian zone of the semi-arid tropical Victoria River, Australia: Management implications, Geomorphology*,V,266, Pages 96-104.
- **Nachtergaele ,Jeroen, J. Poesen, A. Steegen, I. Takken, L. Beuselinck,L. Vandekerckhove, G. Govers.**, 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 Ž2001. 237–252.
- **Poesen,Nyeeen.J.**2003.*Impact of road building on gully erosion risk,Earth,surf,process,landfo*,27:1267-1883.
- **Perroy,Ryan L.,Bodo Bookhagen,Gregory P.Asner,Oliver A.Chadwick.**, 2010.*Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California, Geomorphology* 118 (2010) 288–300.
- **Piccarreta ,Marco, Hazel Faulkner, Mario Bentivenga, Domenico Capolongo.**,2006 .*The influence of physico-chemical material properties on erosion processes in the badlands of Basilicata, Southern Italy, Geomorphology* 81 (2006) 235–251.
- **-Rothwell ,J.J. , M.G. Evans, L.C. Liddaman, T.E.H. Allott.**,2007.*The role of wildfire and gully erosion in particulate Pb export from contaminated peatland catchments in the southern Pennines, U.K. Geomorphology* 88 (2007) 276–284.
- **Schiefer ,Erik , Robert Gilbert.**,2007.*Reconstructing morphometric change in a proglacial landscape using historical aerial photography and automated DEM generation, Geomorphology* 88 (2007) 167–178.
- **Torri ,D. , J. Poesen , L. Borselli , A. Knapen.**,2006.*Channel width–flow discharge relationships for rills and gullies, Geomorphology* 76 (2006) 273–279.
- **Valcarecel,M.**2003.*Ephemeral gully erosion in Northwestern Spain, Catena*.50:199-216.
- **Vanwalleghema ,T., M. Van Den Eeckhautb, J. Poesen, J. Deckersc. Nachtergaele, K. Van Oost, C. Slenters.**,2003.*Characteristics and controlling factors of old gullies under forest in a temperate humid climate: a case study from the Meerdaal Forest (Central Belgium), Geomorphology* 56 (2003) 15–29.

- **Vanwalleghem, T., J. Poesena, J. Nachtergaele, G. Verstraeten.**, 2005. *Characteristics, controlling factors and importance of deep gullies under cropland on loess-derived soils*, *Geomorphology* 69 (2005) 76–91.
- **Whitford, J.A., L.T.H. Newham, O. Vigiak, A.R. Melland, A.M. Roberts.**, 2010. *Rapid assessment of gully sidewall erosion rates in data-poor catchments: A case study in Australia*, *Geomorphology* 118 (2010) 330–338.
- **Wu, Yongqiu, Qihong Zheng, Yongguang Zhang, Baoyuan Liu, Hong Cheng, Yanzai Wang** ., 2008. *Development of gullies and sediment production in the black soil region of northeastern China*, *Geomorphology* 101 (2008) 683–691.