

هدفمند شدن اعتبارات دستگاه‌های اجرایی است.

واژگان کلیدی: حجم فرسایش خندقی، کرانه لسی رودخانه
اترک، فتوگرامتری، نقشه‌برداری پهپادی، Civil3D

مقدمه

فرسایش خندقی از جمله اشکال ویژه و مخرب فرسایش خاک به شمار رفته که نقش قابل توجهی در تخریب اراضی ایفا کرده است. ابعاد، اشکال، هندسه و عوامل ایجادکننده این فرسایش در ایران [۱۱]، و در سطح بین‌الملل [۱۴] به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است. خندق‌ها نه تنها در اراضی مارنی بلکه در سطح جهانی تر در خاک‌های لسی کمر بند اروپایی [۹] فلات لسی چین [۱۷، ۱۶ و ۸] آمریکای شمالی و ایران و خاک‌های شنی (منطقه ساحلی، شمال شرقی تایلند) یا در خاک‌هایی که مستعد تونلی شدن هستند، مانند خاک‌های واگرا نیز وجود دارند. اغلب اوقات، فرایند خندقی شدن به دلیل اثر سیستم‌های نامناسب کشت و آبیاری، چرای بیش از حد، مسیرهای حمل الوار، جاده‌سازی و شهرنشینی ایجاد می‌شوند. پژوهش صوفی و همکاران [۱۱] نشان داد که خندق‌های ایران با مساحتی بیش از ۱،۴۲۰،۰۰۰ هکتار بیش تر در مناطقی با بارندگی ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر رخ داده‌اند. خندق‌ها بیش تر در آب‌وهوای نیمه‌خشک، خشک و مدیترانه‌ای غالب هستند. اکثر آبکندهای ایران در ارتفاع صفر تا ۵۰۰ و ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده‌اند. چرای بیش از حد و تغییر کاربری از مراتع و جنگل‌ها به زمین‌های زراعی از علل اصلی فرسایش آبکندی بوده‌اند. پژوهش صوفی و همکاران [۱۱] عنوان داشت که آبکندهای ایران با طول و عمق متوسط ۵۷۰ متر و ۲/۸ متر، ۲۱ مترمکعب در متر رسوب در واحد طول آبکنند، تولید می‌کنند. بر اساس گزارش آرمین و همکاران [۲] بافت غالب خاک‌های لسی استان گلستان سیلتی لوم، شوری بیشینه ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر، متوسط pH ۷/۸، دامنه مواد آلی این خاک‌ها بین ۰/۱ تا ۵/۹ درصد و میزان آهک آن‌ها بین پنج تا ۲۸ درصد در تغییر است. هم‌چنین، عرب‌خدری [۱] رسوب‌دهی سالانه اراضی حوزه آبخیز رودخانه اترک را که عمدتاً متشکل از اراضی بدلدنی لسی است، ۶۱۶ تن در کیلومتر مربع برآورد کرده که نشان از نقش فرسایش خندقی در ایجاد این میزان از فرسایش است. از طرفی، روش‌های بررسی ابعاد و میزان هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی به‌مرور زمان

تعیین احجام فرسایش خندقی در کرانه‌های لسی رودخانه اترک به روش نقشه‌برداری پهپادی (UAV) و نرم‌افزار Civil3D

محمد رضا غریب‌رضا^{۱*}، مجید زارعی^۲، فهیمه رسولی^۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۵/۱۶ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۹/۱۳

DOI/ 10.22034/WMI.2025.2068286.1124

چکیده

این پژوهش باهدف ارائه توانمندی روش‌های فتوگرامتری و هوشمند در برآورد میزان هدررفت خاک فرسایش خندقی در طبقات لسی کرانه‌های رودخانه اترک انجام شده است. فرسایش پیشرفته خندقی به شکل پنجه‌ای و تونلی عمودی - افقی به حدی است که اراضی پیرامون رودخانه اترک کاملاً تخریب شده و بخشی از آبراه‌ها از طریق تونل‌ها به سمت پائین رودخانه با شییبی تا پنج درصد متصل می‌شوند. فتوگرامتری به‌عنوان روش داده‌برداری مطمئن شامل ایجاد شبکه بنج‌مارک، زمین مرجع‌سازی آن‌ها، تعیین ردیف و ارتفاع پرواز، اجرای پرواز، ثبت تصاویر و ترازسازی آن‌ها، ایجاد ابرنقاط، مرجع‌سازی تصاویر با نقاط کنترل زمینی، تولید مدل رقومی ارتفاعی و تولید ارتوفتو در این پژوهش استفاده شد. مراحل پردازش داده‌ها برای محاسبه احجام از طریق نرم‌افزار Civil3D به‌وسیله ماژول متعادل‌سازی خط پروژه تا رسیدن به مقادیر برداشت/پرسازی به انجام رسید. مدل رقومی ارتفاعی و ارتوفتو منطقه با دقت مکانی شش سانتی‌متر تولید شد. ارتوفتوها شناسایی پراکنش و تعداد تونل‌های فرسایشی را نیز میسر ساخته است. احجام خندق‌های واقع در پنج حوزه آبخیز مشرف بر رودخانه اترک با استفاده از روش یاد شده تعیین شد. مجموع هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی و تونلی در کرانه‌های رودخانه اترک، ۱۶۲۷۶۴۹/۵۶ مترمکعب محاسبه گردید. خروجی روش یاد شده، برنامه‌ریزی عملیات تثبیت و

- ۱- دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی Email: gharibreza4@yahoo.com
- ۲- کارشناس نقشه‌برداری، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- ۳- کارشناس ارشد مدیریت و کنترل بیابان، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.



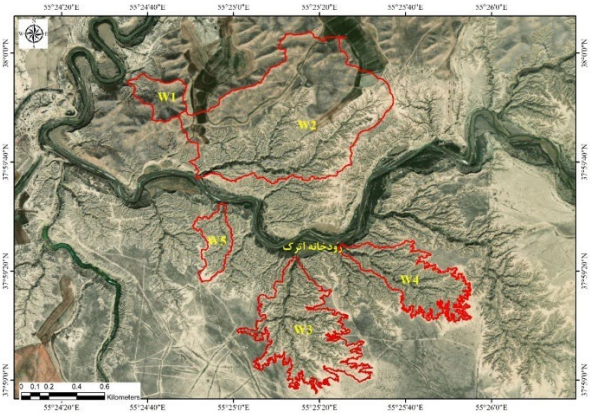
شکل ۲: مراحل ساخت نقاط مرجع ماندگار



شکل ۳: مراحل زمین مرجع سازی پنج‌مارک‌های ماندگار

اترک در مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). عملیات فتوگرامتری و نقشه‌برداری پهنای یکی از گام‌های اساسی این پژوهش به شمار می‌رود. برای انجام این مهم، یک شبکه جغرافیایی به تعداد ۱۰ نقطه مرجع با انسجام هندسی مناسب و با فواصل یک کیلومتر جهت ایجاد پنج‌مارک مبنا طراحی شد. سپس به ایجاد پنج‌مارک‌های ماندگار با ابعاد مشخص $60 \times 40 \times 40$ طبق استاندارد سازمان نقشه‌برداری اقدام (شکل ۲) و تلاش شد تا دقیق‌ترین و قوی‌ترین هندسه برای مکان‌یابی پنج‌مارک‌ها ترسیم شود. پس از مکان‌یابی پنج‌مارک‌ها، مختصات این نقاط با استفاده از یک دستگاه DGPS RAYMAND و مدل STATIC با ارجاع به پنج‌مارک چندمنظوره و درجه یک سازمان نقشه‌برداری واقع در روستای هوتن به شماره GLGAM267238 با مختصات $55^{\circ}46'17''$ شرقی و $37^{\circ}54'36''$ شمالی و ارتفاع $102/335$ متر ثبت شدند (شکل ۳).

مرحله بعد، ایجاد نقاط هدف کمی موسوم به تارگت‌ها (شکل ۴) در سطح زمین قبل از پرواز پهنای بود که این مرحله به روش Base & Rover توسط گیرنده Raymand به انجام رسید. فاصله تارگت‌ها نیز با توجه به استانداردها و ارتفاع پرواز هم‌چنین استفاده از ماژول PPK بین ایستگاه‌های ماندگار کم‌تر از ۳۰۰ متر و در این پروژه ۱۰۰ متر تنظیم شد. عملیات فتوگرامتری با استفاده از پهنای Phantom 4 Pro و ساختار از حرکت^۳ (SfM) برای تولید ارتوفتو و مدل دیجیتال سطح زمین^۴ (DSM) به انجام رسید. ارتوفتو ادغام نهایی و یکپارچه تصاویر رنگی واقعی عکس‌های هوایی است، درحالی‌که DSM ارتفاع سطح زمین را از سطح دریا توضیح می‌دهد. پهنای بر فراز منطقه مورد مطالعه با ارتفاع ۱۰۰ متر و تصاویر با همپوشانی ۸۰ درصد به پرواز درآمد و تصویربرداری انجام شد.



شکل ۱: خندق‌ها مورد مطالعه در پنج حوضه آبخیز منتخب

ارتقاء یافته است که از این بین استفاده از فناوری‌های نقشه‌برداری پهنای^۱ جایگاه ویژه‌ای یافته است [۱۵ و ۱۲]. هواپیماهای بدون سرنشین یک فناوری نوین هستند که می‌توانند گزینه‌ای برتر در به دست آوردن داده‌های از راه دور با زمان و هزینه کم‌تر و هم‌چنین ایمنی بالاتر در مقایسه با سایر روش‌های نقشه‌برداری ارائه دهند؛ بنابراین هدف این پژوهش، تعیین میزان هدر خاک‌های لسی در تعدادی از فرسایش‌های خندقی واقع در کرانه‌های رودخانه اترک با استفاده از به روش نقشه‌برداری پهنای بوده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شمال استان گلستان، شهرستان گنبدکاووس و در جنوب شرق محدوده‌ای موسوم به چات گنبد و بین عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ}59'$ تا $38^{\circ}10'$ درجه شمالی و طول‌های جغرافیایی $55^{\circ}43'40''$ تا $55^{\circ}46'55''$ واقع شده است.

بارش دوره ۳۰ ساله (منتهی به سال ۱۴۰۳) دارای دامنه تغییرات مکانی ۲۰۹ تا ۴۴۶ میلی‌متر است. دبی پیک لحظه‌ای رودخانه اترک با دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب ۷۸۳، ۹۱۰ و ۱۰۳۹ مترمکعب بر ثانیه است. میانگین دبی رسوب معلق سالانه این رودخانه در بازه زمانی ۱۳۶۰ تا شش ماه نخست سال ۱۴۰۱ حدود شش میلیون تن در سال است. عرض رودخانه بین حدود ۳۰ تا ۸۰ متر، شعاع انحنا بین ۳۰ تا ۱۶۰ متر و طول محور پهنانورد بین ۸۰ تا ۳۵۰ متر متغیر است. هم‌چنین، پوشش گیاهی این حوزه‌های آبخیز مرتع تُنک و بعضاً فاقد هرگونه پوشش گیاهی است [۵].

برای دستیابی به هدف پژوهش از وضعیت خندق‌های ایجاد شده، بازدید میدانی گسترده‌ای در بازه‌ای مورد مطالعه پیرامون رودخانه اترک انجام شد، تعداد پنج حوزه آبخیز بلافاصل مشرف به رودخانه اترک انتخاب (شکل ۱) و وضعیت توسعه خندق در رأس^۲، عمق برش پادگانه آبرفتی در کرانه رودخانه، خصوصیات هندسی و از همه مهم‌تر پتانسیل انتقال رسوب ناشی از فرسایش خندقی به رودخانه

3. Structure from Motion (SfM)
4. Digital Surface Model (DSM)

1. Unmanned Aerial Vehicles, UAV
2. Headcut

برای هر خندق و شبکه آن، خط پروژه‌ای^۳ بین کد ارتفاعی نقاط بنچمارک و کد ارتفاعی بستر خندق‌ها تعریف و احجام هدررفت کل خاک در پنج حوزه آبخیز منتخب محاسبه شد. برای بارزسازی شبکه خندق‌های پیرامون خندق اصلی، از نرم‌افزار Surfer نسخه ۱۰ و ابزار Shaded relief map استفاده شده است. این روش وسعت نفوذ مخاطره فرسایش خندقی برای بهره‌برداران محلی و دستگاه‌های اجرایی مسئول را آشکار می‌سازد. شکل (۵)، روندنمای عملیات فتوگرامتری انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

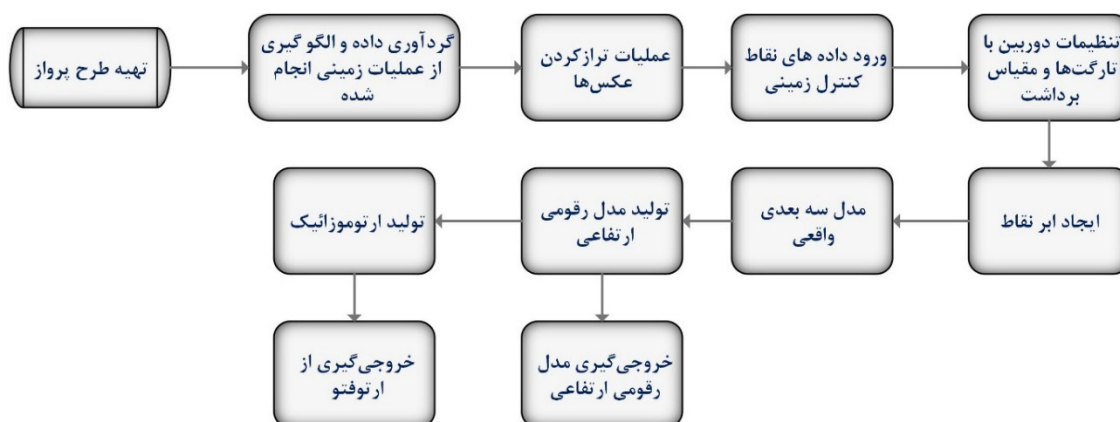


شکل ۴: ایجاد تارگت در سطح منطقه مورد نقشه‌برداری با استفاده از DGPS

نتایج و بحث

خندق‌های مورد بررسی به دلیل قرارگیری در حوزه‌های آبخیز کوچک و مشرف بر رودخانه اترک دارای ویژگی خاصی هستند. ارتفاع پادگانه رودخانه بین ۲۰ تا ۴۰ متر (شکل ۶) در تغییر است و یک شیب هیدرولیکی بسیار تند بین رأس خندق تا رودخانه برقرار است. مرفولوژی این خندق‌ها در رأس پنجه‌ای، با مقطع V شکل و با توسعه بیش‌تر U شکل و بسیار عمیق هستند. از طرفی، خندق‌ها دارای رابطه پیدایشی مستقیمی با فرسایش تونلی در جای‌جای طبقات و نهشته‌های لسی کرانه رودخانه اترک هستند. میانگین بارش ۳۰ ساله ایستگاه هوتن در نزدیک‌ترین موقعیت به خندق‌های مورد بررسی، ۲۸۸ میلی‌متر است. استان گلستان از جمله استان‌هایی است که نهشته‌های لسی دارای وسعت بسیار زیادی از دامنه‌های شمالی البرز [۴] تا مرز شمالی استان با کشور ترکمنستان [۱۱ و ۶] خواستگاه فرسایش خندقی در اشکال و ابعاد مختلف هستند. مطالعه غریب‌رضا و همکاران [۴] نشان داد که ارتفاعات تا ۵۰۰ متر از سطح دریا در استان گلستان دارای بافت و ساختار کاملاً مشابه لُس‌های شمال استان هستند. وضعیت بارشی با بیشینه وسعت خندق‌های ایران و استان گلستان که توسط صوفی و همکاران [۱۱] گزارش شده تطابق دارد. هم‌چنین، ایشان گزارش دادند که حجم خندق در واحد طول (متر) یا به تعبیری هدررفت خاک در خندق‌های استان گلستان بیش از ۲۹ مترمکعب می‌رسد. سطح پوشش

ارتوفتو و DSM از طریق فرایند تراز کردن عکس‌ها و موزاییک‌سازی عکس‌های هوایی خام تولید شدند. این مهم پس از ورود نقاط کنترل زمینی تصاویر زمین مرجع شده و ابر متراکم نقاط در ابعاد شبکه‌ای مشخص حاصل آمده است. شایان‌ذکر است، هم‌ترازی عکس‌ها برای تولید مدل سه‌بعدی اولیه با استفاده از نقاط کنترل زمینی به‌عنوان نقاط مرجع انجام‌شده است. مدل سه‌بعدی در واقع ترکیبی از ابر نقطه‌ای متراکم شامل میلیون‌ها نقاط با ارتفاع مشخص است. این ابر نقطه‌ای متراکم به شبکه متصل شده و سپس به‌صورت بافت ترسیم شد تا مدل سه‌بعدی فیزیکی منطقه مورد مطالعه به دست آید. فیلتر نویز و هموارسازی سطح در تولید DSM با وزن‌دهی معکوس فاصله اعمال شد. نقشه خروجی به مقیاس ۱:۵۰۰ و وضوح مکانی نهایی DSM و ارتوفتو شش سانتی‌متر است. این وضوح خوب ارتوفتو، ترسیم فرسایش خندقی را میسر ساخت. در آخرین گام روش پژوهش، میزان حفر و فرسایش خندقی در هر خندق بر اساس کد ارتفاعی نزدیک‌ترین بنچمارک ایجادشده، محاسبه شد. برای انجام این مهم از نرم‌افزار Civil3D استفاده شده است. این نرم‌افزار قابلیت انجام فرایند متعادل‌سازی^۱ خط پروژه تا رسیدن به مقادیر برداشت/پرسازی^۲ برای محاسبه احجام را دارد. بر این اساس،



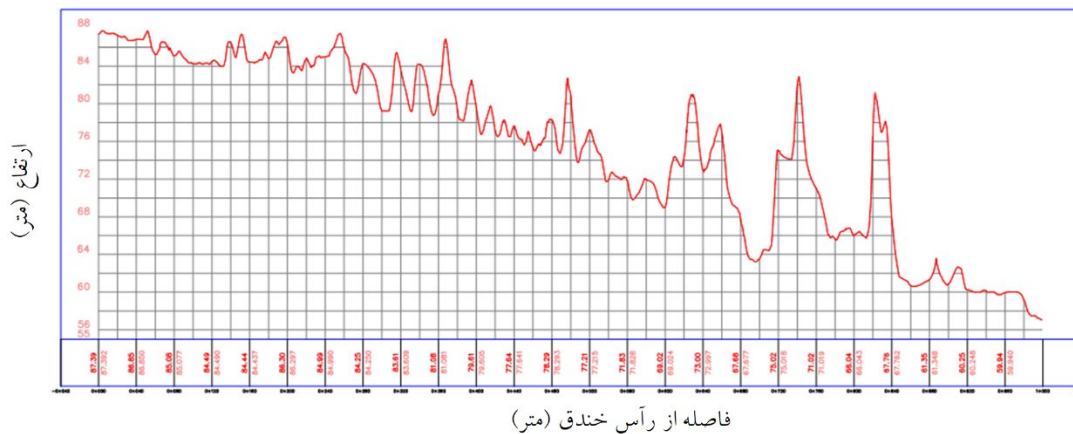
شکل ۵: روندنمای عملیات فتوگرامتری انجام‌شده در منطقه مورد مطالعه

3. Feature line

1. Balancing
2. Cut and Fill



شکل ۶: وضعیت خندق‌ها و فرسایش تونلی توسعه‌یافته در کرانه‌های لسی رودخانه اترک در منطقه چات گنبدکاووس



شکل ۷: نیم‌رخ طولی طولانی‌ترین خندق‌ها زیر حوزه W3 به طول ۱۰۰۰ متر، اختلاف ارتفاع ۳۲ متر و شیب ۳/۲ درصد

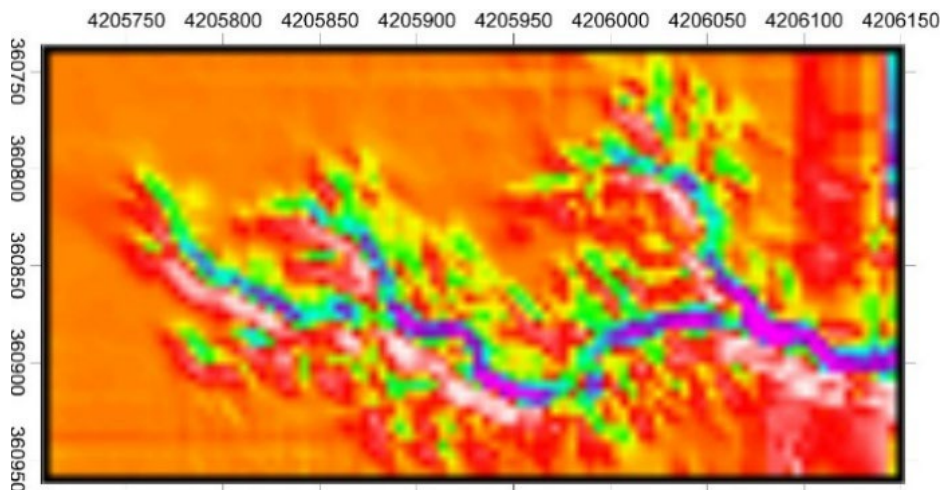
در پنج سامانه خندقی در کرانه‌های رودخانه اترک، ۱۶۲۷۶۴۹/۵۶ مترمکعب به‌دست‌آمده است. در خصوص برآورد حجم هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی در کشور تحقیقات انجام‌شده [۱۰]، ۷ و ۳ با استفاده از داده‌های مکانی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، اندازه‌گیری میدانی با دقت بسیار کم‌تر از پژوهش حاضر و از روابط برآورد نسبی که توسط تیبو و همکاران [۱۳] ارائه‌شده استفاده کرده‌اند. از این رو، پژوهش حاضر از لحاظ مبانی تحقیق، روش‌های اندازه‌گیری و برآورد حجم در نوع خود نوآورانه است.

جدول ۱: حجم خالص هدررفت خاک در سامانه خندق‌های موردبررسی در منطقه مورد مطالعه

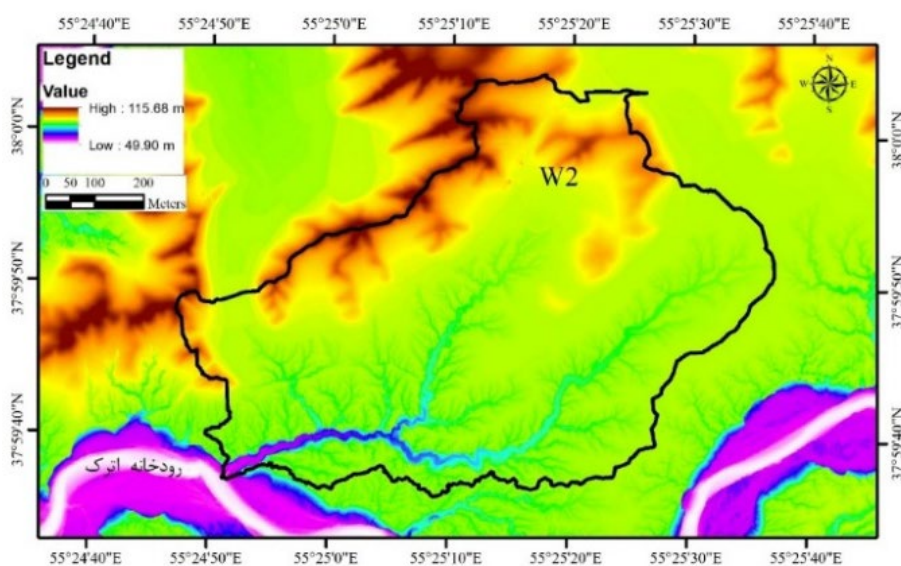
نام زیر حوزه	حجم هدررفت خاک (مترمکعب)
W1	۳۷۳۷۸/۷۱
W2	۶۳۴۴۲/۵
W3	۴۸۸۸۲۳/۱۶
W4	۳۶۶۸۸۳/۴۷
W5	۱۰۰۱۴۱/۷۲

این حوزه‌های آبخیز بررسی‌شده، مرتع تُنک است که تحت یک چرای پیوسته و بی‌رویه توسط دام‌های سبک و سنگین (شتر) قرار دارند. شکل (۷)، نیم‌رخ طولی بلندترین خندق متصل به بستر رودخانه اترک را نشان می‌دهد که بخش‌های مختلف بستر خندق از طریق تونل‌هایی به هم متصل شده است. از طرفی، این تونل‌ها به تونول‌های عمودی یا نسبتاً عمودی نیز متصل هستند. به‌طور مثال، نیم‌رخ طولی طولانی‌ترین خندق‌ها در زیر حوزه W3 به طول ۱۰۰۰ متر، اختلاف ارتفاع ۳۲ متر و شیب ۳/۲ درصد را نشان می‌دهد (شکل ۷). علاوه بر این شکل (۸)، بارز نمایی تراکم خندق‌های پیرامون آبراهه اصلی حوزه W5 برای شناسایی و عملیات تثبیت را نشان می‌دهد. بارز نمایی تراکم خندق‌های پیرامون آبراهه اصلی حوزه W2 در نقشه DEM ارتفاعی در شکل (۹) ارائه‌شده است.

مهم‌ترین دستاورد این پژوهش، دستیابی به حجم هدررفت خاک از سامانه فرسایش خندقی در پنج عرصه موردبررسی بوده است (جدول ۱). مجموع هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی و تونلی



شکل ۸: بارز نمایی تراکم خندق‌های پیرامون آبراهه اصلی حوضه W5 برای شناسایی و عملیات تثبیت



شکل ۹: بارز نمایی تراکم خندق‌های پیرامون آبراهه اصلی حوضه W2 در نقشه ارتفاعی DEM

می‌شود. بر این اساس، مجموع هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی و تونلی در پنج سامانه خندقی در کرانه‌های رودخانه اترک ۱۶۲۷۶۴۹/۵۶ مترمکعب به دست آمده است. پیشنهاد می‌شود، این روش برای برآورد حجم فرسایش خندقی به‌ویژه برای خندقی‌های عمیق که امکان دسترسی مستقیم وجود ندارد، استفاده شود. توصیه می‌شود از نرم‌افزارهای Surfer و ArcGIS به‌عنوان محیط پشتیبان برای نقشه‌سازی داده‌های مکانی استفاده شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله، از مجموعه تحقیقات سازمان اتکاء و مزارع نوین ایرانیان که این پژوهش را حمایت مالی و پشتیبانی کردند صمیمانه تشکر می‌کنند. همچنین، نویسندگان از همکاری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان در حمایت از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌کنند.

نتیجه‌گیری

روش فتوگرامتری و نقشه‌برداری پهپادی به‌عنوان روشی مطمئن و دقیق داده‌برداری با قدرت تفکیک مکانی سانتی‌متر برای برآورد حجم فرسایش خندقی استفاده‌شده در این پژوهش که در نوع خود در کشور کم‌نظیر است، برای مدیریت فرسایش خاک در حوضه توصیه می‌شود. روش فتوگرامتری و نقشه‌برداری پهپادی و تولید ارتوفتو، تفکیک نقش فرسایش خندقی و تونلی را در مدیریت فرسایش خاک میسر می‌سازد. از محدودیت‌های به‌کارگیری این روش، می‌توان به مشکلات اخذ مجوز پرواز برای برخی مناطقی است که در مجاور کاربری‌های حساس و مناطق مرزی اشاره کرد. نرم‌افزار Civil3D به‌عنوان یک روش هوشمند در برآورد حجم فرسایش خندقی برای اولین بار در این پژوهش استفاده‌شده است. کاربرد این نرم‌افزار در برآورد حجم فرسایش خندقی به‌ویژه خندقی‌های عمیق و پیشرفته که امکان برداشت دستی در آن نیست، به‌عنوان نرم‌افزار کارآمد معرفی

- 10- Soleimani, F., Kalehhouei, M., and Asgari, A. 2023. Estimation of Soil Loss Volume Due to Gully Erosion and its Relationship with Soil and Watershed Characteristics in Sharif and Haddam Watersheds of Khuzestan Province. 36 (1): 80-95. (In Persian).
- 11- Soufi, M., Bayat, R., and Charkhabi, A. H. 2020. Gully Erosion in I. R. Iran: Characteristics, Processes, Causes, and Land Use. In P. K. Shit, H. R. Pourghasemi, & G. S. Bhunia (Eds.), Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions (pp. 357-368). Cham: Springer International Publishing.
- 12- Stöcker, C., Eltner, A., and Karrasch, P. 2015. Measuring gullies by synergetic application of UAV and close range photogrammetry — A case study from Andalusia, Spain. CATENA, 132, 1-11.
- 13- Tebebu, T. Y., Abiy, A. Z., Zegeye, A. D., Dahlke, H. E., Easton, Z. M., Tilahun, S. A., and Steenhuis, T. S. 2010. Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion near Lake Tana in the northern highlands of Ethiopia. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14(11), 2207-2217.
- 14- Valentin, C., Poesen, J., and Li, Y. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. CATENA, 63(2), 132-153.
- 15- Wang, R., Sun, H., Yang, J., Zhang, S., Fu, H., Wang, N., and Liu, Q. 2022. Quantitative Evaluation of Gully Erosion Using Multitemporal UAV Data in the Southern Black Soil Region of Northeast China: A Case Study. Remote Sensing, 14(6), 1479.
- 16- Yuan, S., Fan, W., Jiang, C., Chang, Y., and Zheng, W. 2024. Active Gully Head Erosion Rates Characteristics on the Loess Plateau: InSAR-Based Calculation and Response to Extreme Rainfall. Land Degradation & Development, n/a(n/a).
- 17- Zhang, B., Guo, J., Fang, H., Wu, S., Feng, H., & Siddique, K. H. M. 2024. Soil erosion projection and response to changed climate and land use and land cover on the Loess Plateau. Agricultural Water Management, 306, 109187.
- 1- Arabkhedri, M. 2021. 2021. The Status of Water Erosion and Sedimentation in Iran, Statistical and Comparative Analysis. Journal of Strategic Research in Agricultural Sciences and Natural Resources 6(2): 139-156.
- 2- Armin, M., Najafinejad, A., and Ghorbania, V. 2023. Relation between erodibility factor and some soil physical properties in Loess soils of Golestan Province. 18th National Conference on the Watershed Sciences and Engineering, Yasouj (In Persian).
- 3- Chobin, B., Rahmati, A., Soleimanpour, S. M., and Shadfar, S. 2025. Modeling soil loss due to gully erosion in the data-scarce regions. Iranian Journal of Soil and Water Research. 55(11): 2173-2189. (In Persian).
- 4- Gharibreza, M., Zaman, M., Porto, P., Fulajtar, E., Parsaei, L., and Eisaei, H. 2020. Assessment of deforestation impact on soil erosion in loess formation using ^{137}Cs method (case study: Golestan Province, Iran). International Soil and Water Conservation Research, 8(4), 393-405.
- 5- Gharibreza, M., Tababaei, M., Ghermezcheshmeh, B., Kornejadi, A., and Zarei, M. 2024. The Identification Studies, Positioning and desing of sediment trap, water resouvoire and pumping station in Atrak River, (Eds), Ebrahimi, A., Gharshasbi, P. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, 227p.
- 6- Hosseinalizadeh, M., Kariminejad, N., Campetella, G., Jalalifard, A., and Alinejad, M. 2018. Spatial point pattern analysis of piping erosion in loess-derived soils in Golestan Province, Iran. Geoderma, 328, 20-29.
- 7- Mohammad_Ebrahimi, M., Javadi, M., and Vafakhah, M. 2017. Determination of effective factors on the occurrence of digitated gully erosion in the AghEmam watershed. 30 (6), 1978-1992. (In Persian).
- 8- Lei, Z., Zhang, S., Zhang, W., Zhao, X., and Gao, J. 2024. Multi-Scale Effect of Land Use Landscape on Basin Streamflow Impacts in Loess Hilly and Gully Region of Loess Plateau: Insights from the Sanchuan River Basin, China. Sustainability, 16(23), 10781.
- 9- Rodzik, J., Kołodyńska-Gawrysiak, R., Franczak, Ł., Zgłobicki, W., and Poesen, J. 2024. Impact of land use changes on collapsed pipes development in the loess gully (Lublin Upland, East Poland). Quaestiones Geographicae, 43(4), 17-33.



Abstract

Determining the Volume of Gully Erosion on the Loess Banks of the Atrak River Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Surveying and Civil 3D Software

M.R. Gharibreza^{1*}, M. Zarei² and F. Rasooli³

Received: 2025/08/07 Accepted: 2025/12/04

The present study aimed to demonstrate the capability of photogrammetric and intelligent methods in measuring the amount of soil loss due to gully erosion in the loess layers of the Atrak River's banks. Advanced gully erosion, in the form of claws and vertical-horizontal tunnels, has progressed to the extent that the lands around the Atrak River are degraded, and parts of the waterways are connected to the downstream section of the river through tunnels with a slope of up to 5%. Photogrammetry is a reliable data generation method that includes creating a benchmark network, georeferencing, determining the flight row and height, flying, recording images, aligning them, creating point clouds, referencing with ground control points, producing elevation models, and orthophotos were used in this study. The data processing steps for calculating volumes were carried out using Civil3D software through the project line and balancing module for the complete construction of the cut/fill. The digital elevation model and orthophotography of the area were produced with a spatial resolution of 6 centimeters. Orthophotos have also enabled the identification of the distribution and number of erosional tunnels. The volumes of gully erosion located in the five immediate watersheds overlooking the Atrak River have been determined using the mentioned method. The total soil loss due to gully and tunnel erosion on the banks of the Atrak River has been calculated as 1,627,649.56 m². The output of using the recommended method involves programming for gully erosion control and guiding the responsible organizations' budget consumption.

Keywords: Atrak river loess bank, Civil3D, Photogrammetry, Unmanned aerial vehicle (UAV) surveying, Volume of gully erosion.

1. *Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)

2. Surveying expert, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)

3. Master of Desert Management and Control, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO)