19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

حساسیت خاک‌های با بافت مختلف به فرسایش آبکندی در حوزه آبخیز تهم

علی‌رضا واعظی[1*]، علیرضا رفیعی آتانی[2]، نسرین نوروزی[3]

۱*-استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان * پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله
vaezi.alireza@znu.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۳-دانشجوی کارشناسی گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

چکیده

فرسایش آبکندی یکی از فرآیندهای تخریب خاک در مناطق نیمه‌خشک است که می‌تواند به کاهش بهره‌وری اراضی و انتقال رسوبات به منابع آبی منجر شود. منطقه تهم در استان زنجان به‌عنوان یکی از مناطق حساس به این نوع فرسایش نیازمند بررسی دقیق است. هدف این پژوهش تحلیل حساسیت خاک‌های با بافت‌های مختلف به فرسایش آبکندی در حوزه آبخیز تهم است. این تحقیق با استفاده از داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای به شناسایی ابعاد آبکندها و ویژگی‌های فیزیکی خاک در ۱۲ آبکند مختلف پرداخت. آزمایش‌ها شامل اندازه‌گیری‌های ماده آلی، نفوذپذیری، بافت و سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک با روش‌های استاندارد بود. نتایج نشان داد که بیش‌ترین حساسیت به فرسایش آبکندی در خاک با بافت لوم‌رس سیلتی و در رتبه بعدی خاک رسی است و کم‌ترین حساسیت در خاک با بافت رس سیلتی است. این خاک‌ها به دلیل ویژگی‌هایی مانند مقدار اندک ماده آلی و نفوذپذیری پایین، حساسیت زیادی برای گسترش آبکندها دارند. نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی پیش‌بینی وقوع فرسایش آبکندی و ارائه راه‌کارهای جلوگیری از آن مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: بافت خاک، پوشش گیاهی، تخریب خاک، ویژگی‌های فیزیکی خاک

مقدمه

آبکندها، گودی‌های عمیقی و دراز هستند که توسط جریان آب در دامنه‌ها به‌وجود می‌آیند. تمرکز جریان در برخی نقاط زمین و ناپایداری خاک عللی هستند که در انتقال شدید خاک نقش دارند. آبکندها پس از شکل‌گیری، تبدیل به گذرگاه سریع جریان و انتقال رسوب می‌شوند. این آبراهه‌ها صرفاً در اثر فرسایش آبی به‌وجود آمده‌اند و از این‌رو نباید آنها را با دره‌ها اشتباه گرفت. عمق آبکندها بر خلاف شیارها بیش‌تر از ۳۰ سانتی‌متر است. آبکندها منجر به اتصال بخش بالادست حوزه آب‌خیز (ارتفاعات) به بخش‌های پایین‌دست حوزه آبخیز (رودخانه اصلی) می‌شوند و از این‌رو نقش مهمی در انتقال مواد فرسایش‌یافته از بخش‌های بالادست حوزه آبخیز ایفا می‌کنند. آب‌کندها علاوه بر انتقال مواد فرسایش‌یافته از زمین‌های بالادست، مکان‌هایی برای فرسایش خاک و تولید رسوب هستند (واعظی، ۱۴۰۳، صفحه۳۴۳) و سهمی بین ۱۰ تا ۹۴ درصد در تولید رسوب کل آبخیزها در کشوورهای مختلف دارد (Poesen et. ,2003).

تشکیل آبکند تحت تأثیر عوامل مختلفی است و برای تشکیل و گسترش آن باید این عوامل از یک حد آستانه فراتر روند (Poesen et al. ,2003). ویژگی‌های آبکند مانند طول، عرض، عمق، مساحت، حجم و عوامل محیطی مانند توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری زمین از جمله عوامل مؤثر در تشدید تخریب خاک و وقوع فرسایش آبکندی است (Valentin et al. ,2005). در پژوهش‌های مختلف علل و وقوع آبکندها مورد بررسی قرار گرفته‌است. در این راستا لس‌چن و همکاران (Lesschen et al.2007) با مطالعه زمین‌های اطراف پیشانی آبکندها، آسیب‌پذیری به فرسایش آبکندی در مناطق نیمه‌خشک جنوب شرق اسپانیا را مورد بررسی قراردادن و گزارش کردند فرسایش آبکندی در زمین‌های دیم رها شده نسبت به زمین‌های کشاورزی بیش‌تر است. مقصودی و همکاران (Maghsoudi et al. ,2011) در مطالعه‌ای به‌منظور پهنه‌بندی حساسیت خاک به آبکند فرسایش آبکندی در حوزه زواریان قم گزارش نمودند بیش‌تر آبکندها در زمین‌های مرتعی و کشاورزی ایجاد و گسترش‌یافته است و زمین‌های با کاربری باغی و مسکونی کم‌ترین عوارض تشکیل آبکند را دارند. تانگچان و همکاران (Tangchun et al. ,2018) در مطالعه‌ای به منظور بررسی اثر ویژگی‌های فیزیکی خاک روی گسترش ۱۹ گالی در کشور چین مهم‌ترین عوامل موثر بر گسترش آبکندها را مقدار رس خاک، توپوگرافی (از جمله ارتفاع محل و فاصله از رأس آبکند) عنوان کردند. امیراحمدی (AmirAhmadi, A, 2017) در مطالعه‌ای با هدف تعیین آستانه عوامل موثر بر رشد طولی آبکندها در حوزه آبخیز سنگانه کلات با استفاده از فن داده‌کاوی گزارش کرد که ضعف پوشش گیاهی و وجود سیلت زیاد و نفوذپذیری اندک خاک از عوامل شکل‌گیری فرسایش آبکندی است. به طور کلی بررسی پژوهش‌های انجام گرفته نشان دهنده تأثیر عوامل مختلف طبیعی از جمله شدت بارندگی، پوشش گیاهی، رطوبت، توپوگرافی، شیب زمین و ویژگی های خاک بر گسترش فرسایش آبکندی است.

از آن جا که منطقه تهم در استان زنجان در اقلیم نیمه‌خشک واقع شده است، با ویژگی‌هایی نظیر بارش‌های کوتاه‌مدت ولی شدید، پوشش گیاهی کم‌تراکم و خاک‌های با مقاومت پایین در برابر فرسایش مواجه است. در چنین مناطقی، تمرکز رواناب به‌سرعت منجر به فرسایش شدید و شکل‌گیری آبکندهای فعال می‌شود. بررسی‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای در منطقه تهم نشان می‌دهند که فرسایش آبکندی یکی از فرآیندهای اصلی تخریب خاک در این منطقه است. با توجه به وجود خاک‌هایی با بافت متنوع، تحلیل حساسیت این بافت‌ها به فرسایش آبکندی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت منابع خاک ارائه کند. بر این اساس، ضرورت انجام پژوهش حاضر در آن است که با تحلیل دقیق بافت خاک در منطقه تهم، میزان آسیب‌پذیری هر نوع خاک نسبت به فرسایش آبکندی مشخص شده و مناطق بحرانی شناسایی گردند. این اطلاعات می‌توانند پایه‌ای برای برنامه‌ریزی‌های حفاظت خاک، بهبود کاربری اراضی و اجرای عملیات آبخیزداری باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز تهم‌چای واقع در فاصله ۱۰کیلومتری شمال‌غرب شهرستان زنجان بود که در ′48°17 تا ′48°37 طول شرقی و ر ′36°46 تا ′36°53 عرض شمالی قرار گرفته‌است. مساحت حوزه آبخیز حدود ۲۲۸۱۶ هکتار و متوسط ارتفاع حوزه ۲۰۸۵ متر از سطح دریا می‌باشد. بارندگی سالیانه آبخیز بر اساس دوره ۵۰ ساله (۱۳۳۹ تا ۱۳۸۹) برابر ۳۸۷ میلی‌متر و متوسط دمای حوزه ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم حوزه آبخیز بر اساس روش دومارتن نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Vaezi and Abbasi. 2012). اراضی دیم رها شده و یا کم بازده که قسمت عمده فرسایش را به خود اختصاص می‌دهد با

مساحتی حدود ۷۴۶۳ هکتار، ۷/۳۲ درصد از کل سطح حوضه را دربر می‌گیرد (Vaezi and Mazloom Aliabadi. 2018). به منظور بررسی ویژگی های آبکند ابتدا در نرم‌افزار Google Earth آبکندهای گسترش یافته در دامنه‌های با شیب ۸تا۱۰ درصد شناسایی شدند. بر این اساس ۱۲ عارضه فرسایش آبکندی در منطقه برای بررسی رابطه بین تشکیل آبکند و ویژگی‌های خاک مورد مطالعه قرار گرفت. موقعیت دقیق جغرافیایی و ارتفاع آبکند ها توسط عملیات میدانی با استفاده از جی‌پی‌اس Garmin بدست‌آمد. عمق، عرض، طول، مساحت سطح زهکش آبکندها اندازه‌گیری شدند. عمق و عرض در سه نقطه در طول شاخه‌های آبکند (پایین‌دست، میان‌دست و بالادست) اندازه‌گیری و سپس میانگین آنها محاسبه شد برای تعیین طول آبکند مجموع طول تمام شاخه‌های آبکند از رأس آبکند تا نقطه خروجی آن تعیین شد. مساحت سطح مقطع آبکند نیز بر مبنای شکل مقطع که عموماً سهمی شکل بود، با استفاده از داده‌های عرض و عمق آبکند در سه موقعیت در طول آبکند تعیین و میانگین آن به عنوان سطح مقطع عرضی آبکند محاسبه شد (Vaezi et al. 2016). برای تعیین مقدار هدر رفت خاک از آبکند (فرسایش آبکندی) با استفاده از رابطه‌های زیر به‌دست‌آمد.

$$V_g = (\frac{1}{2}\overline{W} \times \overline{H}) \times L \quad (۱)$$

که در آن V_g حجم آبکند (مترمکعب)، $\overline{W}$ میانگین عرض آبکند (متر) و $\overline{H}$ میانگین عمق آبکند (متر)، و **L** طول آبکند (متر) است.

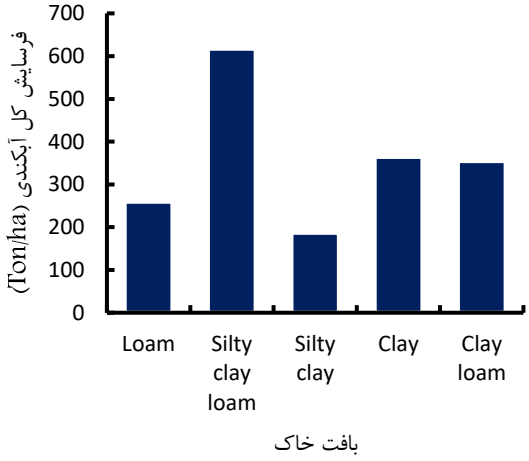
$$GE = \frac{V_g \times BD}{A} \quad (۲)$$

که در آن GE فرسایش آبکندی (تن در کیلومترمربع)، BD چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب) و A مساحت سطح زهکش آبکند (کیلومتر مربع) است (May and Gresswell, 2003).

برای تعیین ویژگی‌های خاک آبکندها نمونه‌برداری خاک در سه نقطه مختلف آبکند (پایین‌دست، میان‌دست و بالادست) از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه دست‌خورده انجام گرفت. ویژگی‌های خاک شامل ماده آلی، آهک، سنگ‌ریزه، چگالی ظاهری، نفوذپذیری، متوسط اندازه خاکدانه، پایداری خاکدانه با روش‌های رایج آزمایشگاهی اندازه گیری شدند. در این راستا توزیع اندازه ذرات (درصد شن، سیلت و رس) به روش هیدرومتری، درصد سنگ‌ریزه به روش وزنی، کربنات کلسیم به روش تیتراسیون با اسید کلریدریک یک نرمال، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر، چگالی ظاهری به روش سیلندر فلزی تعیین شدند. همچنین نفوذپذیری خاک بر اساس سرعت نفوذپذیری نهایی به روش استوانه مضاعف در صحرا اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

میانگین فرسایش آبکندی در این مطالعه از ۱۸۶/۸۰ تن در هکتار تا ۶۱۷/۵۳ تن در هکتار متغیر بود و میانگین آن ۳۵۶/۵۰ تن در هکتار گزارش شد (شکل ۱). همانطور که شکل۱ نشان می‌دهد، بیشترین حساسیت به فرسایش آبکندی در خاک با بافت لوم‌رس سیلتی و در رتبه بعدی خاک رسی است و کمترین حساسیت در خاک با بافت رس سیلتی است.



شکل۱- مقدار فرسایش کل آبکندی در بافت‌های مختلف

ویژگی‌های فیزیکی و شیمایی خاک عرصه‌های زهکش آبکندهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج خاک‌های مورد بررسی در ۱۲ آبکند با توجه به درصد نسبی ذرات شن، سیلت و رس، در پنج گروه بافتی رس سیلتی، لوم‌رس سیلتی، لوم، لوم رسی و رس قرار گرفتند. خاک‌های حاوی مقادیری سنگ‌ریزه از ۱۲/۷ تا ۱۷/۳۸ درصد هستند. محتوای ماده آلی از ۰/۷۸ تا ۱/۱۵ درصد متغیر است که نشان‌دهنده فقر و کمبود ماده آلی می‌باشد. مقدار کربنات کلسیم معادل از ۱۱/۷۳ تا ۱۶/۷۲ درصد تغییر می‌کند که نشان‌گر آن است که خاک آبکندها در گروه خاک‌های آهکی قرار دارند. بررسی شاخص میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها نشان می‌دهد که مقدار آن از ۱/۱۶ تا ۱/۴۴ میلی‌متر تغییر می‌کند و بیان‌گر ناپایداری ساختمانی خاک آبکندها است. پایداری اندک خاکدانه‌ها می‌تواند عامل مهم در افزایش حساسیت خاک‌ها به فرآیند های فرسایش آبی از جمله فرسایش آبکندی باشد. خاک‌ها از نظر نفوذپذیری در محدوده ۳/۴۷ تا ۴/۲۸ سانتی‌متر بر ساعت قرار دارند و مطابق با عامل فرسایش‌پذیری خاک در گروه خاک‌های با نفوذپذیری متوسط قرار دارند.

جدول۱-و یژگی‌های فیزیکی و شیمایی خاک

ویژگی های خاک / بافت خاک	Silty clay	Silty clay loam	Loam	Clay loam	Clay
شن (٪)	15	16.3	43.6	31.33	35.4
سیلت (٪)	43	46	30.6	33.83	21.7
رس (٪)	42	37.6	25.6	34.83	42.8
سنگ‌ریزه (٪)	13.83	13.8	12.7	16.13	17.38
ماده‌آلی (٪)	0.96	0.78	0.96	1.08	1.15
کربنات کلسیم معادل (٪)	14.19	12.96	11.73	16.08	16.72
چگالی ظاهری ($\frac{gr}{cm^3}$)	1.48	1.32	1.36	1.36	1.43
متوسط اندازه خاکدانه (mm)	1.4	1.16	1.26	1.43	1.44
پایداری خاکدانه (mm)	1.06	0.84	0.95	1.27	1.15
نفوذپذیری ($\frac{cm}{h}$)	4.28	3.87	3.82	3.83	3.47

از بررسی‌های جدول ۱ و داده‌های میانگین فرسایش آبکندی می‌توان دریافت که بیش‌ترین حساسیت به فرسایش آبکندی در خاک با بافت لوم‌رس سیلتی و در رتبه بعدی خاک رسی است و کمترین حساسیت در خاک با بافت رس سیلتی است. مقایسه ویژگی‌های خاک در بافت‌های مختلف نشان می‌دهد که خاک‌های با بافت رسی و لوم‌رس سیلتی از مواد آلی اندکی برخوردار هستند که باعث کاهش چسبندگی و حساسیت خاک به فرسایش آبکندی می‌شود. همچنین، نفوذپذیری خاک‌ها در این بافت‌ها کمتر از بافت‌های شنی و لوم است که این امر می‌تواند نقش مهمی در تجمع آب و در نتیجه تسریع فرسایش داشته باشد. به‌علاوه، چگالی ظاهری بالا در برخی از بافت‌ها، مانند بافت‌های رسی، به عنوان عامل دیگری در افزایش حساسیت این خاک‌ها به فرسایش آبکندی شناخته شده است. مطالعات مشابه در مناطق دیگر نیز نشان‌دهنده این است که خاک‌های با بافت رسی و لوم‌رس سیلتی نسبت به بافت‌های شنی و لوم، فرسایش پذیری بیشتری دارند. پژوهش‌های انجام شده توسط (Poesen et al. 2003,) و (Valentin et al. ,2005) نیز این نتیجه را تایید کرده‌اند که خاک‌های با ساختار فشرده‌تر و کربنات کلسیم بالاتر در برابر فرسایش آبکندی آسیب‌پذیرتر هستند. در این مطالعه، به‌طور خاص ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مختلف نظیر اندازه ذرات و نفوذپذیری به عنوان عوامل تعیین‌کننده در ایجاد و گسترش آبکندها شناسایی شدند. وجود بافت ریز و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، می‌تواند زمینه را برای کاهش چسبندگی ذرات و انتقال آنها فراهم آورد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده این است که، خاک‌های با درصد رس بالا مستعد فرسایش آبکندی هستند با نتایج پژوهش (Tangchun et al. 2018,) که درصد رس را به عنوان عامل مؤثر بر تشکیل آبکندها بیان کرده بود، تأیید می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌ترین حساسیت به فرسایش آبکندی در خاک‌ها با بافت لوم‌رس سیلتی و در رتبه بعدی خاک رسی است. کم‌ترین حساسیت در خاک با بافت رسی سیلتی است. بافت‌های لوم‌رس

سیلتی و رسی با ویژگی‌هایی همچون مقدار اندک ماده آلی، چگالی ظاهری بالا و نفوذپذیری پایین، حساسیت بالایی را برای شکل‌گیری و گسترش آبکندها فراهم می‌کنند. بنابراین، برای مدیریت منابع خاک در حوزه آبخیز تهم، ضروری است که برنامه‌های حفاظت خاک به‌طور ویژه بر این نوع خاک‌ها متمرکز شود. همچنین، از آنجایی که فرسایش آبکندی می‌تواند منجر به انتقال حجم زیادی از رسوبات و کاهش کیفیت خاک‌های زراعی شود، مدیریت اصولی و صحیح منابع طبیعی در این منطقه می‌تواند نقش مهمی در جلوگیری از تخریب بیشتر این اراضی ایفا کند. این تحقیق می‌تواند پایه‌گذار طرح‌های آبخیزداری و حفاظت از خاک باشد که به‌ویژه در مناطقی با ویژگی‌های مشابه مفید خواهد بود.

فهرست منابع

امیراحمدی، ابوالقاسم. (۱۳۹۶). کاربرد دو روش ناپارامتریک در تعیین آستانه‌ی عوامل مؤثر بر رشد طولی آبکندها با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز سنگانه‌ی کلات). هیدروژئومورفولوژی, ۴(۱۲), ۱۳۱-۱۵۲.

مقصودی، مهران، شادفر، صمد و عباسی، محمد. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی حسّاسیّت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه‌ی زوّاریان استان قم. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی, ۱(۲), ۳۵-۵۲.

واعظی، علی‌رضا. (۱۴۰۳). فرسایش آبی (فرآیندها و مدل‌ها). چاپ سوم، انتشارات دانشگاه زنجان، زنجان، ۵۰۰ص.

واعظی، علی‌رضا، قره‌داغلی، حکیمه و مرزوان، سعیده. (۱۳۹۵). بررسی نقش شیب و ویژگی‌های خاک در ایجاد فرسایش شیاری در دامنه‌ها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تهم‌چای، شمال‌غرب زنجان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک, ۲۳(۴), ۸۳-۱۰۰.

واعظی، علی‌رضا، عباسی، محمد. (۱۳۹۱). کارایی روش شماره منحنی رواناب (CN- SCS) در برآورد رواناب در حوزه آبخیز تهم چای، شمال غرب زنجان. علوم آب و خاک, ۱۶(۶۱), ۲۰۹-۲۱۹.

واعظی، علی‌رضا، مظلوم علی آبادی، یونس. (۱۳۹۷). تغییرات زمانی دبی جریان و هدررفت عناصر غذایی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز تهم‌چای. علوم آب و خاک, ۲۲(۱), ۲۹-۴۴

Lesschen, J.P., Kok, K., Verburg, P.H., & Cammeraa, L.H. (2007). Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in southeast Spain. Catena, 71(1), 110-121.

May, C., & Gresswell, R. (2003). Processes and rates of sediment and wood accumulation in headwater streams of the Oregon coast range, USA. Earth Surface Processes and Landforms, 28, 409–424.

Poesen, J., Nachtergale, J., Vertstraeten, G., & Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. Catena, 50(2–4), 91–134.

Tangchuan, L., Mingan, S., Yuhua, J., Xiaoxu, J., & Laiming, H. (2018). Profile distribution of soil moisture in the gully on the northern Loess Plateau, China. Catena, 171, 460-468.

Valentin, C., Poesen, J., & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. Catena, 63(2–3), 132–153.

The susceptibility of Different Soil Textures to Gully Erosion in the Taham Catchment

Ali Reza Vaezi[1*], Alireza Rafiei Atani[2], Nasrin Norozi[3]
1.*Professor of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University
Corresponding author: vaezi.alireza@znu.ac.ir *
2. B.A. student of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan
3. B.A. student of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

Abstract
Gully erosion is one of the soil degradation processes in semi-arid regions that can lead to reduced land productivity and the loss of sediments to water sources. The Taham region in Zanjan province, as an area sensitive to this type of erosion, requires precise investigation. The aim of this research is to analyze the sensitivity of soils with different textures to gully erosion in the Taham catchment. This study utilized field data and satellite imagery to identify gully dimensions and soil physical properties in twelve different gullies. Experiments included standard measurements of organic matter, permeability, soil texture, and other physical characteristics. The results showed that the highest susceptibility to gully erosion was in silty-clay loam, followed by clay soil, and the lowest susceptibility was in silty clay soil. These soils, due to characteristics such as low organic matter content and low permeability, provide suitable conditions for gully expansion. Significant differences in the extent of gully erosion were observed across different textures, which can be effective in conservation planning and soil resource management. The results of this research can be used in planning for predicting gully erosion and providing solutions to prevent it.

Keywords: Soil texture, vegetation cover, soil degradation, soil physical properties