

کمی سازی گسترش فرسایش شیاری در خاک های مارنی در حوزه آبخیز زنجان رود در شمال غرب زنجان

علی رضا واعظی^{۱*} - حکیمه قره داغلی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۴/۲

چکیده

مدل های پیش بینی کننده فرسایش خاک از دیدگاه مدیریت حفاظت خاک و آب دارای اهمیتی فراوان می باشند. فرسایش شیاری مهمترین جزء فرآیندهای فرسایش خاک دامنه ای است. بنابراین پیش بینی فرسایش خاک در دامنه ها نیازمند آن است که درک درستی از فرسایش شیاری به دست آید. در این پژوهش تلاش بر این بود که بتوان گسترش فرسایش شیاری را به طور تجربی در دامنه ها کمی کرد. مشخصه های شیاری شامل عرض، عمق، سطح مقطع، طول، حجم، هدرفت خاک، تراکم شیارها و میزان فرسایش شیاری در کنار مشخصه های شیب دامنه (تندی و طول) و ویژگی های خاک در ۲۷ شیار رخ داده در ۹ دامنه در سازندهای مارنی واقع در حوزه آبخیز زنجان رود در شمال غرب زنجان مورد بررسی قرار گرفتند. تمام مشخصه های شیاری به جز طول آن همبستگی معنی دار با تندی شیب و ویژگی های خاک شامل توزیع اندازه ذرات، نسبت جذب سدیمی، پایداری خاکدانه و هدایت هیدرولیکی اشیاع نشان دادند. عمق شیار نسبت به سایر مشخصه های شیاری به طور قابل اطمینانی در دامنه ها کمی شد. این مشخصه بالاترین رابطه را با تندی شیب و هدایت هیدرولیکی اشیاع خاک نشان داد ($R^2 = 0.67$ و $p < 0.001$). میزان فرسایش شیاری برخلاف مشخصه های شیب دامنه، با مقدار رس خاک مرتبط بود ($R^2 = 0.56$). این پژوهش نشان داد که ارائه رابطه ای مطمئن برای پیش بینی فرسایش شیاری در سطح حوزه آبخیز در کنار ویژگی های خاک منوط به بررسی تمام مشخصه های دامنه می باشد.

واژه های کلیدی: مشخصه های دامنه، مشخصه های شیاری، میزان فرسایش شیاری، ویژگی های خاک

مقدمه

اصلی بخش شیمیایی مارن های تبخیری است. این نوع مارن ها رنگی هستند (۴) و فرسایش خاک به وسیله آب در آن ها بسیار فعال است (۱). وجود سدیم و املاح با قابلیت انحلال بالا و کانی های تورم پذیر از علل اصلی فرسایش پذیری زیاد خاک های مارنی هستند. فرسایش شدید خاک و عدم وجود رطوبت کافی در خاک طی دوره رشد به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک موجب می شود پوشش گیاهی مناسبی در خاک های مارنی به وجود نیاید. این مسئله به نوبه خود میزان فرسایش آبی در این سازندها را به شدت بالا می برد.

فرسایش شیاری^۳ به طور گسترده در زمین های شیب دار به ویژه در مارن های تبخیری در مناطق خشک و نیمه خشک ایران مشاهده می شود (۴). فرسایش شیاری عبارت از جدا شدن و انتقال رسوب به وسیله جریان متمرکز آب در کانالی باریک و فرسایش پذیر است (۱۰). در زمین های شیب دار هنگامی که سرعت نفوذ آب به خاک به حد کمتر از شدت بارندگی برسد، جریان های سطحی پراکنده به وجود

مارن به عنوان خاک یا تشکیلات شبه سنگی حاوی حدود ۳۵ تا ۶۵ درصد مواد آهکی و متغیر از نظر مقدار رس تعریف می گردد (۲۷). تصور می رود تشکیل خاک های مارنی نتیجه هوادیدگی فیزیکی و شیمیایی سنگ های مادری آهکی مانند سنگ آهک، دولومیت و ماسه سنگ کربناتی باشد (۶). مواد کربناتی موجود در مارن ها، بسیار حلال و از نظر شیمیایی فعال و به آسانی قابل تبلور مجدد می باشند. رفتار مارن ها بسیار پیچیده بوده (۵) و به این دلیل مارن ها تغییرات گسترده ای از نظر خصوصیات دارند (۷). بر اساس گزارش ها، مارن های ایران در دو دسته عمده شامل مارن های تبخیری و مارن های غیر تبخیری قرار می گیرند. گچ، انیدریت و نمک از اجزاء

۱ و ۲- استادیار و دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

(Email: vaezi.alireza@gmail.com

*) نویسنده مسئول:

مشخصه‌های شیار از جمله سطح مقطع و حجم شیار شناختی بهتر از وضعیت فرسایش شیاری در حوزه آبخیز به دست می‌دهد با این وجود این کار به نوبه خود دشوار، پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد (۱۵). از آنجا که مشخصه‌های فرسایش شیاری تحت تاثیر ویژگی‌های دامنه (شیب، پوشش گیاهی و خاک) می‌توانند قرار گیرند، شناخت عوامل موثر بر فرسایش شیاری در حوزه‌های آبخیز می‌تواند در کمی کردن مشخصه‌های شیار و دستیابی به رابطه‌ای برای پیش‌بینی آن‌ها سودمند واقع گردد. بررسی همزمان تاثیر ویژگی‌های مختلف دامنه بر گسترش فرسایش شیاری کاری دشوار است. با این حال در سازندهای مارنی واقع در مناطق نیمه‌خشک که به دلیل کمبود بارندگی و ناپایداری ساختمان خاک، پوشش گیاهی تشکیل نشده است، می‌توان تاثیر شیب و ویژگی‌های خاک بر فرسایش شیاری را بهتر مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش تلاش بر این بود تا تاثیر مشخصه‌های شیب دامنه (تندی و طول) و ویژگی‌های خاک بر گسترش ابعاد شیار و فرسایش شیاری در سازندهای مارنی مورد بررسی قرار گیرد و تا حد امکان روابطی برای کمی کردن میزان گسترش آن در منطقه ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در بخش شمالی حوزه آبخیز زنجان رود انتخاب شد (شکل ۱). زنجان رود یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان زنجان و یکی از زیرحوزه‌های هشت‌گانه سفیدرود است. این رودخانه دایمی که ۱۴۲ کیلومتر طول داشته و ارتفاع سرچشمه آن ۱۷۸۰ متر است، از آبخیزهای جنوب شرقی زنجان سرچشمه گرفته و پس از حرکت به سوی شمال غرب و عبور از عرصه‌های مارنی در آخر به رودخانه قزل اوزن می‌ریزد. ارتفاع ریزشگاه این رودخانه ۱۱۰۰ متر و شیب متوسط آن ۰/۵ درصد است (۲). میانگین بارندگی سالانه ۳۱۵ میلی‌متر و اقلیم منطقه به روش دمارتن، نیمه‌خشک می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی این منطقه بر روی رسوبات کواترنری واقع شده است (۳). سازندهای مارنی، گستره وسیعی از منطقه شمالی زنجان رود را در بر گرفته‌اند. فرسایش خاک در غرب و شرق این منطقه بسیار فعال می‌باشد. به طوری که گزارش‌ها نشان می‌دهد که گستره‌ای به مساحت ۵۸۰۰ هکتار تحت تاثیر فرسایش شیاری و آب‌کندی قرار دارد (۳). این منطقه یکی از منابع مهم تولید رسوب در حوزه آبخیز زنجان-رود و سفیدرود می‌باشد.

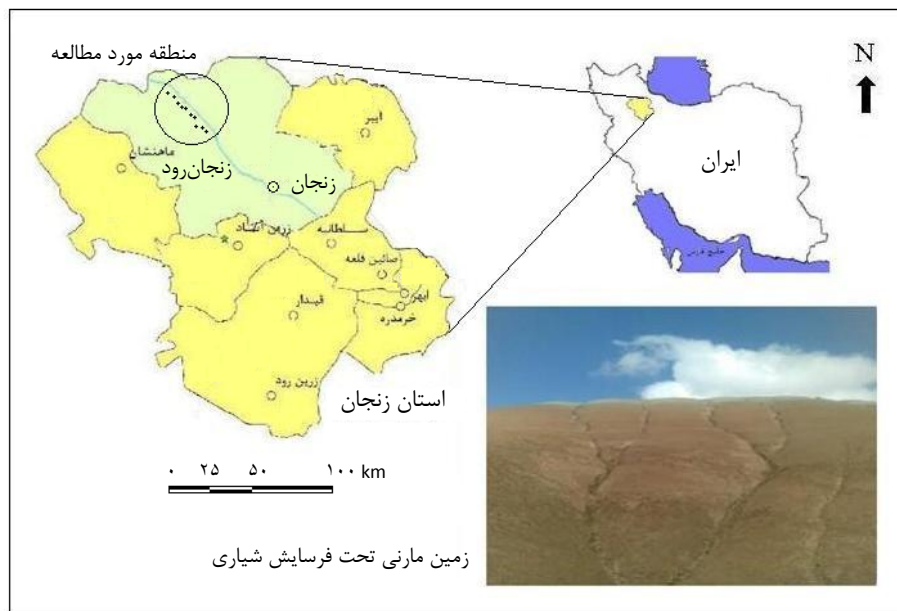
بررسی فرسایش شیاری

برای مطالعه فرسایش شیاری در منطقه، ابتدا لازم بود نقشه‌های شیب (اندازه و جهت) منطقه استخراج گردد.

می‌آیند. با تداوم بارندگی و به هم پیوستن آن‌ها به دلیل ناهمواری‌های سطح، جریان‌های متمرکز آب^۱ شکل می‌گیرند. با دور شدن از نقطه مرزی شروع جریان‌های متمرکز، سرعت و حجم جریان‌ها به تدریج افزایش می‌یابد. در نقطه‌ای از مسیر جریان که نیروی برشی جریان از مقاومت خاک فزونی یافت، ذرات مسیر برداشته شده و انتقال می‌یابد. انتقال ذرات از بستر منجر به آشکار شدن شیارهایی در امتداد مسیر جریان می‌گردد. در برخی منابع فرسایش شیاری، یک فرآیند حدواسط بین فرسایش ورقه‌ای و فرسایش آب‌کندی اشاره شده است (۲۰). نسبت عرض به عمق شیارها معمولاً بیش‌تر از ۱ بوده و عمق آن‌ها حداکثر ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد (۱۲). این نوع فرسایش خاک، منبع و فرآیند عمده تولید رسوب در دامنه‌های شیب‌دار (۱۶) به ویژه تحت بارندگی‌های شدید است (۱۳). وقوع فرسایش شیاری فرآیندی بسیار پیچیده می‌باشد. از این رو تعیین کمی چگونگی تاثیر رواناب بر فرسایش خاک تحت شرایط مختلف باران و سطح خاک دشوار است (۳۵). به هر حال آشکار است که فرسایش شیاری در اثر غلبه آب جاری بر مقاومت خاک پدیدار می‌شود (۲۴). لذا عواملی که در تشکیل جریان متمرکز آب و مقاومت خاک موثر می‌باشند بر میزان وقوع فرسایش شیاری اثر می‌گذارند. گزارش‌ها نشان می‌دهد که این مشخصه فیزیکی خاک تقریباً تحت تاثیر هر ویژگی خاک می‌تواند قرار گیرد (۲۶). مقاومت خاک را با مفهومی دقیق‌تر به نام فرسایش‌پذیری شیاری خاک می‌توان بیان کرد. فرسایش‌پذیری شیاری نشان دهنده مقدار هدررفت خاک به ازای نیروی برشی جریان آب است. به نظر می‌رسد چسبندگی ذرات به یکدیگر و تشکیل خاکدانه‌های پایدار در کاهش فرسایش شیاری موثر واقع شود. نوع ذرات خاک و عوامل پیوند دهنده ذرات (ماده آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم و غیره)، در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها نقش دارند. بررسی‌ها نشان داده است که بیشترین مقدار فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های با مقدار بالای سیلت و شن بسیار ریز و کمترین مقدار آن در خاک‌های با مقدار بالای رس (بیش از ۳۶ درصد) می‌باشد (۳۱). تولید جریان متمرکز آب در کنار عواملی مانند شیب، پوشش گیاهی و ناهمواری‌های سطح به نوبه خود تحت تاثیر نفوذپذیری خاک قرار می‌گیرد. نفوذپذیری خاک نیز در بیشتر مواقع تحت تاثیر ساختمان خاک قرار می‌گیرد. وجود خاکدانه‌های درشت و پایدار در افزایش نفوذپذیری خاک موثر می‌باشند. اهمیت این ویژگی خاک در بروز فرسایش شیاری نیز بررسی شده است. به دلیل بالا بودن پایداری خاکدانه‌ها در پایین دست شیب‌ها، شدت فرسایش شیاری کمتر از بخش‌های بالاتر بود (۲۲).

برای بررسی فرسایش شیاری در هر منطقه، بررسی مشخصه‌های شیار (طول، عرض، عمق و حجم) ضروری است. اندازه‌گیری مستقیم

1- Concentrated water flows



شکل ۱- موقعیت منطقه و شیپارهای مطالعاتی

ارزیابی فرسایش شیاری در بسیاری از منابع تاکید شده است (۱۱، ۱۴ و ۱۷)، بر مبنای شکل مقطع با استفاده از داده‌های عرض و عمق شیاری در سه نقطه در طول شیاری تعیین و میانگین آن محاسبه شد. شکل مقطع عمومی شیپارهای مورد بررسی سهمی بود. حجم شیاری نیز که از مشخصه‌های مهم در پیش‌بینی فرسایش شیاری بیان شده است (۱۵)، از ضرب طول شیاری در میانگین سطح مقطع شیاری به دست آمد. مقدار هدررفت خاک در هر شیاری (تن در هکتار) که بیان‌گر سهم این فرسایش در تخریب خاک در زمین‌های شیپدار می‌باشد، بر مبنای حجم شیاری و چگالی ظاهری خاک شیاری محاسبه شد. برای تعیین چگالی ظاهری خاک شیاری، با استفاده از سیلندر فلزی در سه نقطه در طول شیاری نمونه خاک برداشت گردید و از نسبت جرم خاک خشک (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت) به حجم سیلندر، چگالی ظاهری خاک در هر نقطه به دست آمد و میانگین آن برای هر شیاری محاسبه شد. برای تعیین سطح محدوده زهکش شیاری، مرز خطوط تقسیم آب عرصه تحت پوشش شیاری با استفاده از GPS پیمایش شد و سپس مساحت آن محاسبه گردید. فرسایش شیاری بر اساس هدررفت خاک (تن) در واحد سطح محدوده زهکش شیاری (هکتار) بر حسب تن در هکتار به دست آمد. از آنجا که امکان تعیین دقیق زمان ایجاد شیاری وجود نداشت، سرعت فرسایش شیاری قابل محاسبه نبود. تراکم شیاری نیز بر اساس مجموع طول شیاری در واحد سطح به دست آمد.

برای این منظور نقشه رقومی شیب حوضه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. دامنه‌های با تندی شیب ۴۰ تا ۶۰ درصد بیشترین فراوانی را در منطقه مورد مطالعه داشتند و تشکیل شیاری در آن‌ها آشکار بود. با توجه به تأثیر جهت دامنه بر فرسایش شیاری، دامنه‌های با جهت شیب یکسان انتخاب شدند. برای این منظور از بین دامنه‌های مذکور، دامنه‌های رو به جنوب به دلیل تراکم پایین‌تر پوشش گیاهی نسبت به دامنه‌های رو به شمال، استخراج گردید و مختصات جغرافیایی آن‌ها تعیین گردید. با بازدید از منطقه و با استفاده از یک دستگاه سیستم مکان‌یاب جهانی (GPS) مدل Gardin76S پیمایش نقاط انجام گرفت. در هر دامنه، درجه یا تندی شیب در امتداد تشکیل شیاری به وسیله دستگاه شیب‌سنج دستی اندازه‌گیری شد. به این ترتیب دامنه‌هایی که در محدوده شیب تعیین شده (۴۰ تا ۶۰ درصد) قرار داشته و دارای شیب رو به جنوب بوده و فاقد پوشش گیاهی بودند، شناسایی شدند. از بین دامنه‌های مذکور تعداد ۹ دامنه که دارای حدود سه عارضه فرسایش شیاری بودند و دارای تنوع نسبی خاک (رنگ، بافت، ساختمان و غیره) بودند، انتخاب شدند. طول دامنه‌های مورد بررسی از حدود ۱۲ متر تا ۳۸ متر متغیر بود. فرسایش شیاری در ۲۷ شیاری در منطقه، مورد بررسی قرار گرفت.

طول هر شیاری از سرآغاز آن تا پایین‌ترین نقطه آن با استفاده از متر در هر دامنه اندازه‌گیری شد. عرض و عمق هر شیاری نیز در سه نقطه (پایین دست، میان دست و بالادست) با استفاده از متر اندازه‌گیری شدند. مساحت مقطع شیاری نیز که به عنوان مشخصه‌ای مهم در

تعیین ویژگی‌های خاک شیاریها

برای تعیین ویژگی‌های خاک در هر شیاری، نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در سه نقطه در طول هر شیاری (پایین دست، میان‌دست و بالادست) برداشت و با هم مخلوط و یک نمونه مرکب تهیه شد. در مجموع تعداد ۲۷ نمونه خاک از کل شیاری‌ها تحت بررسی تهیه و پس از هواخشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متر در آزمایشگاه مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند. برای این منظور توزیع نسبی اندازه ذرات به روش هیدرومتري (۱۸)، درصد سنگریزه (قطر ۲ تا ۸ میلی‌متر) به روش وزنی، پایداری خاکدانه در خاکدانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب به روش الک تر (۸) برای مدت یک دقیقه، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (۲۸)، رطوبت اشباع به روش وزنی، واکنش خاک (pH) در گل اشباع به وسیله pH متر، هدایت الکتریکی (EC) در عصاره گل اشباع به وسیله EC متر، ماده آلی به روش والکی و بلاک (۳۲)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش خنثی‌سازی به وسیله اسیدکلریدریک نرمال (۲۹)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش باور (۲۳)، درصد سدیم تبادلی (ESP) به روش استات آمونیوم (۲۳) و در ادامه نسبت جذب سدیمی (SAR) تعیین شدند.

تحلیل داده‌ها

برای آگاهی از وجود یا فقدان تفاوت بین زمین‌های مورد بررسی از نظر مشخصه‌های شیاری (عرض، عمق، طول، سطح مقطع عرضی، حجم و هدرفت خاک، تراکم و فرسایش شیاری)، از آزمون دانکن استفاده شد. ویژگی‌های خاک موثر بر مشخصه‌های شیاری با استفاده از روش ماتریس همبستگی به روش پیرسون استخراج شدند. رابطه بین مشخصه‌های فرسایش شیاری و ویژگی‌های استخراج شده با استفاده از روش تجزیه رگرسیون خطی چندگانه تعیین شد. پیش از تحلیل داده‌ها، نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها به روش هیستوگرام و با تحلیل چولگی و کشیدگی داده‌ها مورد آزمون قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ استفاده شد.

نتایج و بحث

فرسایش شیاری در دامنه‌ها

بررسی مشخصه‌های شیاری در منطقه (جدول ۱) نشان داد که شیاریها دارای عرضی بین ۲۳ تا ۸۶ سانتی‌متر و عمقی بین ۵ تا ۳۵ سانتی‌متر بودند. طول شیاریها از حدود ۶ تا ۲۹ متر متغیر بود. هدرفت خاک به ازای هر شیاری از ۰/۱۴ تا ۳/۰۳ تن تغییر یافت. تراکم شیاریها در ۹ دامنه مورد بررسی به طور میانگین ۷۸۷ متر در هکتار بود. میزان فرسایش شیاری از ۴/۴ تن در هکتار تا ۸۵/۹ تن در هکتار متغیر بود و میانگین آن در منطقه مورد بررسی ۵۸/۰۸ تن در هکتار بود.

نتایج نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین زمین‌های مورد بررسی از نظر عرض شیاری ($p < 0/05$)، عمق شیاری ($p < 0/001$)، طول شیاری ($p < 0/01$)، حجم شیاری ($p < 0/05$) و میزان هدرفت خاک در هر شیاری ($p < 0/05$) وجود داشت (جدول ۲). با توجه به این که دامنه‌های مورد بررسی از نظر میزان بارندگی، پوشش گیاهی و جهت شیب شرایطی یکسان داشتند، تفاوت در مشخصه‌های شیاری بین دامنه‌ها به دلیل تفاوت در ویژگی‌های خاک یا تفاوت در مشخصه‌های شیب دامنه (تندی و طول) بین دامنه‌های مورد بررسی بود.

جدول ۳ ویژگی‌های خاک و اندازه شیب در زمین‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، خاک‌های مورد بررسی در ۲۷ شیاری در چهار گروه بافتی لوم، لوم رسی، لوم رس سیلنتی و رس سیلنتی قرار داشتند. مقدار ماده آلی در خاک‌ها بسیار پایین (کمتر از ۱/۱۰ درصد) بود. تمامی خاک‌ها حاوی مقدار زیادی کربنات کلسیم بوده (بیش از ۱۴/۶۳ درصد) و در گروه خاک‌های آهکی قرار داشتند و واکنش (pH) آن‌ها با بیشتر از ۷ بود. خاک‌ها به دلیل حضور زیاد یونهای سدیم عمدتاً دارای نسبت جذب سدیمی بالایی (بیشتر از ۱۴/۳۴) بودند و به این دلیل در گروه خاک‌های سدیمی نیز قرار داشتند. مقدار سنگریزه در خاک‌ها بالا بود. خاکدانه‌ها دارای پایداری اندکی بودند. این موضوع به دلیل مقدار اندک ماده آلی و از طرفی میزان زیاد کاتیون‌های سدیم در خاک بود.

جدول ۱- مشخصه‌های شیاریها در دامنه‌های مارنی در حوزه آبخیز زنجان‌رود

متغیر	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار
عرض شیاری (متر)	۰/۲۳	۰/۸۶	۰/۴۱	۰/۱۶
عمق شیاری (متر)	۰/۰۵	۰/۳۵	۰/۱۶	۰/۰۹
طول شیاری (متر)	۶/۵۵	۲۸/۸۵	۱۶/۴۸	۶/۸۶
سطح مقطع عرضی شیاری (مترمربع)	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۰۵
حجم شیاری (متر مکعب)	۰/۱۳	۲/۷۷	۰/۸۰	۰/۷۱
هدرفت خاک شیاری (تن)	۰/۱۴	۳/۰۳	۰/۹۴	۰/۸۲
تراکم شیاریها (متر در هکتار)	۱۸۵/۹۴	۱۷۲۷/۵۸	۷۸۷/۱۶	۲۳۷/۸۵
فرسایش شیاری (تن در هکتار)	۴/۳۶	۸۵/۸۸	۴۳/۷۷	۲۲/۸۷

جدول ۲- تجزیه واریانس تفاوت مشخصه‌های شیار بین دامنه‌های مارنی در حوزه آبخیز زنگان رود^۱

متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی داری
عرض شیار	۰/۳۳۱	۸	۰/۰۴۱	۲/۴۷۰	۰/۰۴۶
عمق شیار	۰/۱۶۶	۸	۰/۰۲۱	۶/۷۹۷	۰/۰۰۰
سطح مقطع عرضی شیار	۰/۰۴۴	۸	۰/۰۰۶	۵/۵۵۶	۰/۰۰۱
طول شیار	۸۸۳/۰۹۸	۸	۱۱۰/۳۸۷	۶/۴۱۱	۰/۰۰۱
حجم شیار	۶/۹۱۶	۸	۰/۸۶۵	۲/۶۲۴	۰/۰۴۵
هدررفت خاک شیار	۱۰/۱۹۴	۸	۱/۲۷۴	۳/۲۵۷	۰/۰۱۹

۱- با توجه به این که تراکم شیارها و فرسایش شیار برای کل سطح دامنه بر مبنای مجموع داده‌های شیارهای موجود در آن بیان شد، امکان مقایسه میانگین بین دامنه‌های مورد بررسی وجود نداشت.

جدول ۳- ویژگی‌های خاک و مشخصات شیب دامنه (تندی و طول) در حوزه آبخیز زنگان رود

متغیر	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار
شن (%)	۲/۸۰	۵۶/۱۵	۳۷/۱۹	۱۵/۷۶
سیلت (%)	۲۴/۰۶	۵۸/۰۴	۴۲/۹۳	۷/۸۱
رس (%)	۱۴/۸۷	۴۸/۴۹	۲۹/۴۹	۱۰/۰۰
سنگریزه (%)	۲۴/۰۴	۶۲/۲۷	۴۰/۶۲	۹/۷۷
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۰/۹۰	۱/۳۹	۱/۱۵	۱/۴۲
واکنش	۷/۷۰	۸/۹۰	۸/۰۲	۰/۲۲
شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۰۴	۳/۴۷	۱/۹۹	۰/۵۹
ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم)	۲۲/۴۱	۴۲/۵۳	۳۲/۲۳	۶/۱۹
ماده آلی (%)	۰/۳۷	۱/۱۰	۰/۷۰	۰/۰۵
آهک (%)	۱۴/۶۳	۵۰/۰۱	۲۹/۹۷	۸/۲۴
نسبت جذب سدیمی (میلی‌اکی‌والان در لیتر) ^{۰/۵}	۰/۹۴	۳۳/۴۱	۱۴/۳۴	۱۱/۴۱
پایداری خاکدانه	۰/۵۴	۲/۷۹	۱/۴۵	۰/۱۲
هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت)	۰/۸۱	۴/۹۲	۲/۶۶	۰/۲۳
تندی شیب دامنه (%)	۲۷/۰۰	۵۸/۰۰	۴۲/۰۸	۹/۱۲
طول شیب دامنه (متر)	۱۲/۲۵	۳۸/۱۷	۲۴/۳۶	۸/۴۵

کانی‌شناسی رس‌ها در این تحقیق فراهم نشد لیکن بروز ناهم‌آهنگی‌ها و شکاف‌ها در سطح خاک منطقه احتمال وجود رس‌های تورم‌پذیر (مونت‌موریلونیت و اسمکتیت) را نشان می‌داد. حضور این رس‌ها یکی از عوامل مهم تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری و تشدید فرسایش بود. ناپایداری ساختمان خاک در دامنه‌های مارنی در کنار نوع کانی‌های رسی متأثر از شوری بالا نیز می‌تواند باشد. در اثر بارندگی و جذب آب ساختمان خاک دچار فروریختگی و پاشمان می‌شود به طوری که نشانه‌های تشکیل سله نیز در سطح این دامنه‌ها مشهود است. تشکیل سله کاهش نفوذپذیری خاک را در پی داشته و احتمال تشکیل جریان‌های سطحی و تولید جریان متمرکز آب و به دنبال آن میزان وقوع فرسایش شیار را بالا می‌برد. ذرات شن بر خلاف ذره دیگر نقشی موثر در کاهش فرسایش شیار در خاک‌های منطقه داشتند. نقش این ذرات در افزایش نفوذپذیری خاک از یک سو و انتقال‌پذیری نسبتاً دشوار آن‌ها از سوی دیگر موجب شد که این ذرات به نوبه خود اثری منفی بر فرسایش شیار در خاک‌های

بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر هر یک از مشخصه‌های شیار (جدول ۴) نشان داد که مشخصه‌های شیار عمدتاً تحت تأثیر درصد ذرات معدنی (شن، سیلت و رس)، نسبت جذب سدیمی، پایداری خاکدانه و هدایت هیدرولیکی اشباع قرار داشتند. گسترش ابعاد شیارها در خاک‌هایی که دارای مقدار بالایی سیلت و رس بودند، زیاد بود. ذرات سیلت از یک سو به دلیل قابلیت چسبندگی پایین و از سوی دیگر انتقال‌پذیری نسبتاً آسان، حساسترین ذرات خاک نسبت به فرسایش آبی هستند. در برخی تحقیقات پیشین، تأثیر ذرات سیلت در افزایش حساسیت خاک به فرسایش (فرسایش‌های سطحی و شیار) و در نتیجه افزایش فرسایش‌پذیری خاک (۱۴ و ۳۴) نشان داده شده است. ذرات رس می‌توانند در پیوند سایر ذرات و تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها موثر باشند. اهمیت ذرات رس و نوع کانی‌های رسی در پایداری خاکدانه‌ها در بسیاری از تحقیقات نشان داده شده است (۲۱، ۲۵، ۳۳ و ۳۶). با این وجود این پژوهش نشان داد که با افزایش ذرات رس در خاک، پایداری خاکدانه‌ها به شدت کاهش یافت. گرچه امکان

منطقه داشته باشند.

طول شیب) و ویژگی‌های خاک نشان داد که از بین مؤلفه‌های مورد بررسی شیار (عرض، عمق، طول، سطح مقطع، حجم و هدررفت خاک)، عمق شیار رابطه‌ای قوی‌تر با عوامل مؤثر (تندی شیب و ویژگی‌های خاک) داشت. همانطور که جدول ۵ نشان می‌دهد عمق شیار رابطه‌ای معنی‌دار با تندی شیب و عکس هدایت هیدرولیکی اشباع خاک داشت ($R^2 = 0.67$ و $p < 0.01$). با افزایش درصد شیب زمین و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک شیار، عمق شیارها بیشتر شد. با بهره‌گیری از رابطه به دست آمده می‌توان گسترش شیارها را از لحاظ عمق در خاک‌های منطقه تا حد امکان پیش‌بینی کرد.

بررسی رابطه تراکم شیارها و نیز فرسایش شیاری با مشخصه‌های دامنه و ویژگی‌های خاک (شکل ۲) نیز نشان داد که تراکم شیارها رابطه‌ای معنی‌دار تنها با طول دامنه داشت ($R^2 = 0.47$). وجود این رابطه دور از انتظار نبود چرا که تراکم شیارها در دامنه مستقیماً مرتبط با طول شیارها می‌باشد و طول شیار نیز به نوبه خود غالباً تحت تاثیر طول دامنه افزایش می‌یابد. میزان فرسایش شیاری نیز تنها با میزان رس خاک به طور معنی‌داری مرتبط شد ($R^2 = 0.56$). احتمال حضور رس‌ها تورم پذیر در خاک، از علل مهم منجر ناپایداری ساختمان خاک در برابر نیروهای فرساینده می‌تواند باشد.

در بسیاری از خاک‌ها افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی به عنوان یکی از عوامل کاهش فرسایش‌پذیری خاک بیان شده است (۹). در این پژوهش نیز همبستگی منفی آن با تراکم شیارها مشاهده شد. حضور یون‌های سدیم (Na^+) و در نتیجه بالا بودن SAR در خاک‌های ماری مورد مطالعه یکی دیگر از عوامل مهم گسترش ابعاد شیارها بود. حضور زیاد این یون‌ها منجر به پراکنش رس‌ها از همدیگر و جلوگیری از تشکیل ساختمان مناسب می‌گردد (۱۹).

بررسی تأثیر تندی شیب بر هر یک از مشخصه‌های شیار (جدول ۴) نیز نشان داد که تندی شیب به عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر بر مشخصه‌های شیار و میزان فرسایش شیاری است. افزایش شیب زمین با تاثیر بر شیب هیدرولیکی جریان، در افزایش سرعت و حجم جریان و به دنبال آن افزایش نیروی برشی جریان، منجر به بروز فرسایش شیاری می‌گردد. ظرفیت انتقال ذرات به وسیله جریان در شیارها که تابعی از نیروی هیدرولیکی جریان می‌باشد، به مجموعه‌ای از عوامل به ویژه تندی شیب شیار بستگی دارد (۳۰). بر اساس نتایج برخی مشخصه‌های شیار (طول، حجم، هدررفت خاک و تراکم) تحت تاثیر طول دامنه قرار گرفتند. در دامنه‌های طولانی به دلیل ایجاد شیارهایی با طول بزرگتر، حجم شیار، هدررفت خاک در شیار و نیز تراکم شیارها در دامنه بیش‌تر بود.

بررسی رابطه مشخصه‌های شیار با مشخصه‌های دامنه (تندی و

جدول ۴- همبستگی بین مشخصه‌های شیار و ویژگی‌های خاک و مشخصه‌های دامنه در دامنه‌های ماری

ویژگی‌های خاک و مشخصه‌های دامنه (تندی و طول شیب) ^۲												مشخصه‌های شیار ^۱
SL	SS	Ks	MWD	SAR	CEC	CCE	OM	Gr	Cl	Si	Sa	
-0.15	0.52**	-0.48*	-0.53**	-0.39*	0.23	0.11	-0.15	0.18	0.47*	0.23	-0.39*	عرض شیار
-0.06	0.78***	-0.62**	-0.61**	0.61**	0.23	0.24	-0.12	0.38	0.71**	0.42*	-0.64**	عمق شیار
0.93***	0.10	-0.21	0.10	-0.05	-0.20	-0.04	0.24	-0.05	0.02	0.26	-0.13	طول شیار
-0.21	0.69**	-0.59**	-0.60**	0.57**	0.27	0.16	-0.19	0.32	0.64**	0.33	-0.55**	سطح مقطع عرضی شیار
0.40*	0.59**	-0.60**	-0.41*	0.42*	0.11	0.12	-0.01	0.27	0.52**	0.52**	-0.58*	حجم شیار
0.38*	0.67**	-0.64**	-0.44*	0.49*	0.17	0.14	0.03	0.31	0.62**	0.54*	-0.64**	هدررفت خاک شیار
0.67*	0.07	-0.06	-0.05	-0.28	-0.21**	-0.07	-0.39	-0.23	-0.12	0.20	-0.01	تراکم شیارها
0.30	0.69*	-0.61**	-0.70*	0.54	0.27	0.19	-0.29	0.55	0.74*	0.56	-0.71*	فرسایش شیاری

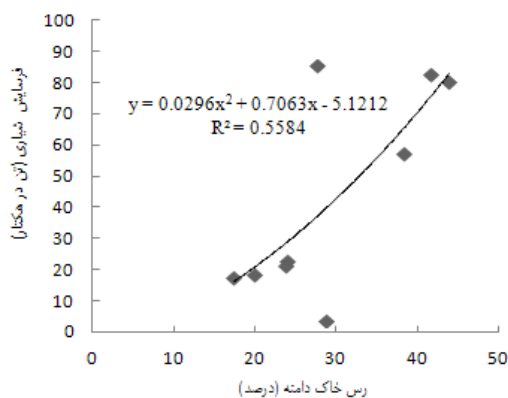
* همبستگی معنی‌دار در سطح 0.05، ** همبستگی معنی‌دار در سطح 0.01 و *** همبستگی معنی‌دار در سطح 0.001.

۱- همبستگی بین فرسایش شیاری و ویژگی‌های خاک و شیب برخلاف سایر مشخصه‌های شیار که در ۲۷ داده به دست آمده در ۹ دامنه ارائه شده است.

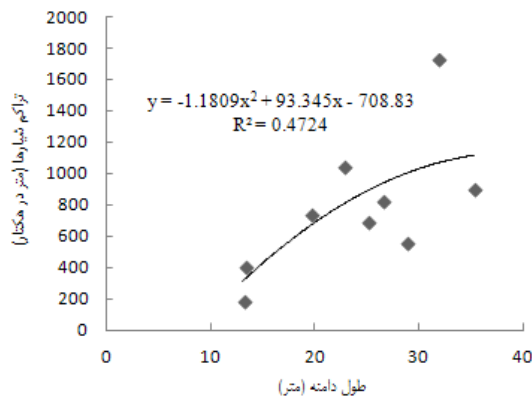
۲- Sa: شن، Si: سیلت، Cl: رس، Gr: سنگریزه، OM: ماده آلی، CCE: کربنات کلسیم معادل، CEC: ظرفیت تبادل کاتیونی، SAR: نسبت جذب سدیمی، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب، Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع، SS: تندی شیب دامنه و SL: طول شیب دامنه.

جدول ۵- تجزیه رگرسیونی رابطه عمق شیار با تندی شیب و هدایت هیدرولیکی اشباع ($R^2 = 0.67$ و $p < 0.01$)

عامل	ضریب غیر استاندارد	انحراف معیار	ضریب استاندارد	t	معنی‌داری
مقدار ثابت	-0.115	0.052	-	-2.233	0.026
شیب (%)	0.005	0.002	0.557	3.258	0.003
عکس هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت) ^{-1/5}	0.109	0.055	0.327	1.970	0.061



(ب)



(الف)

شکل ۲- رابطه بین تراکم شیار و طول دامنه (الف) و فرسایش شیباری و مقدار رس خاک (ب) در دامنه‌های مارنی

خاک بر گسترش فرسایش شیباری در دامنه‌های مارنی نشان داد که تمام مشخصه‌های شیار به جز طول آن همبستگی معنی‌دار با تندی شیب و ویژگی‌های خاک (توزیع اندازه ذرات، نسبت جذب سدیمی، پایداری خاکدانه و هدایت هیدرولیکی اشباع) نشان دادند. عمق شیار مشخصه مهم شیارها در دامنه‌ها بود که بالاترین رابطه را با تندی شیب و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نشان داد. میزان فرسایش شیباری در دامنه‌ها رابطه‌ای معنی‌دار با مشخصه‌های دامنه نداشت و تنها به مقدار رس خاک مرتبط شد. این عامل تنها ۵۶ درصد تغییرات فرسایش شیباری در دامنه‌ها را تبیین کرد. این موضوع نشان داد که سایر مشخصات دامنه از جمله ویژگی‌های سطح و شکل دامنه‌ها نیز در گسترش فرسایش شیباری در دامنه‌ها مؤثر بودند. با این حال امکان بررسی آن‌ها در این پژوهش فراهم نشد. از این رو ارائه رابطه‌ای مطمئن برای پیش‌بینی فرسایش شیباری در سطح حوزه آبخیز در کنار ویژگی‌های خاک منوط به بررسی تمام مشخصه‌های دامنه می‌باشد.

از سوی دیگر ذرات رس در صورت جدا شدن به دلیل جرم پایین به آسانی جابه‌جا می‌شوند. از این رو حضور این ذرات در خاک دامنه عاملی مهم در تشکیل شیار و در نتیجه گسترش فرسایش شیباری بود. به هر حال تنها ۵۶ درصد تغییرات فرسایش شیباری در دامنه‌های مورد بررسی را می‌توان بر اساس تغییرات میزان رس خاک تبیین کرد. در واقع ارائه رابطه‌ای قابل اطمینان برای برآورد فرسایش شیباری دشوار می‌باشد چرا که از یک سو تعیین ویژگی از خاک که بیانگر حساسیت یا مقاومت خاک در برابر وقوع فرسایش شیباری باشد، کاری آسان نیست. تاکنون نیز مفهوم فیزیکی مقاومت خاک در برابر جریان متمرکز به درستی روشن نشده است (۲۴) و از سوی دیگر عواملی دیگر مانند شکل و ویژگی‌های سطح دامنه در هر یک از مولفه‌های شیار (عرض، عمق، طول، مقطع، حجم و هدررفت خاک) و در نتیجه گسترش فرسایش شیباری مؤثر بودند که امکان بررسی آن‌ها در این پژوهش فراهم نبود.

نتیجه‌گیری

بررسی تأثیر مشخصه‌های شیب (تندی و طول) و ویژگی‌های

منابع

- ۱- پیروان ح.ر. و اسدی ت. ۱۳۸۴. مروری بر نقش عوامل فیزیکوشیمیایی مؤثر بر اشکال فرسایش در پهنه‌های مارنی. نهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، ۳-۱.
 - ۲- تبیان. ۱۳۹۱. رودخانه‌ها و آبشارهای استان زنجان. قابل دسترس در سایت اینترنتی: <http://www.Tebyan-Zn.ir>.
 - ۳- عبدی پ. ۱۳۷۹. بررسی خصوصیات زمین‌شناختی نهشته‌های کواترنری دشت زنجان به منظور تعیین محل‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، ۱۲۰ صفحه.
 - ۴- قدیمی عروس محله ف.، پورمتین ا. و قدوسی ج. ۱۳۷۸. بررسی رابطه بین اشکال فرسایش با خصوصیات فیزیکی- شیمیایی مارن‌ها، مجله پژوهش و سازندگی، ۴۲: ۹۵-۹۹.
- 5- Ahmed H.R. 1996. Characterization and stabilization of eastern Saudi marls. MS Thesis. Dhahran, Saudi Arabia:

- Dept. of Civil Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals.
- 6- Aiban S.A., Al-Abdul Wahhab H.I., Al-Amoudi O.S.B. and Ahmed H.R. 1998. Performance of a stabilized marl base: a case study. *Construction and Building Materials* 12, 329-340.
 - 7- Al-Amoudi O.S.B., Khan K. and Al-Kahtani N.S. 2010. Stabilization of a Saudi calcareous marl soil. *Construction and Building Materials*, 24:1848–1854.
 - 8- Angers D.A. and Mehuys G.R. 1993. Aggregate stability to water. In: Carter, M.R. (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, pp: 651–657.
 - 9- Ariathurai R. and Arulanandan K. 1978. Erosion rates of cohesive soils. *Journal of the Hydraulics Division*, 104(2): 279-283.
 - 10- Bagnold R.A. 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. US Geological Survey Paper 422-1, Washington.
 - 11- Bennett S.J., Casahí J., Robinson K.M. and Kadavy K.C. 2000. Characteristics of actively eroding ephemeral gullies in an experimental channel. *Trans. ASAE*, 43(3): 641–649.
 - 12- Blanco H. and Rattan L. 2008. *Principles of soil conservation and management*. Springer, pp. 23-24.
 - 13- Bonilla C.A. and Johnson O.I. 2012. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile. *Geoderma*, 189-190:116-113.
 - 14- Bryan R.B. 1987. Rill erosion. Processes and Significance, *Catena Supplement*, vol. 8. Catena Verlag, Cremlingen.
 - 15- Casahí J., Loizu J., Campo M.A., De Santisteban L.M. and Ivarez-Mozos J.A. 2006. Accuracy of methods for field assessment of rill and ephemeral gully erosion. *Catena*, 67:128 – 138.
 - 16- Cerdan O., Le Bissonnais Y., Couturier A., Bourennane H. and Souchère V. 2002. Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events in Normandy, France. *Soil and Tillage Research*, 67(1):99–108.
 - 17- De Santisteban L.M., Casahí J. and López J.J. 2004. Evaluation of rill and ephemeral gully erosion in cultivated areas of Navarre (Spain). *Final Proceedings 3rd Int. Symposium on Gully Erosion*, Oxford (Mississippi), USA.
 - 18- Gee G.W. and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Klute, A. (Ed). Agron. Monogr. 9. American Society Agronomy. Madison. WI, pp: 383-411.
 - 19- Hanson B., Grattan S.R. and Fulton A. 1999. *Agricultural Salinity and Drainage*. University of California Irrigation Program. University of California, Davis.
 - 20- Jackson J.A. 1997. *Glossary of Geology*. American Geological Institute, Alexandria.
 - 21- Kaewmano C., Kheoruenromne I., Suddhiprakarn A. and Gilkes R.J. 2009. Aggregate stability of salt-affected kaolinitic soils on the North-east Plateau, Thailand. *Soil Research*, 47(7):697–706.
 - 22- Kimaro D.N., Poesen J., Msanya B.M. and Deckers J.A. 2008. Magnitude of soil erosion on the north slope of the Uluguru Mountains, Tanzania: Interrill and Rill erosion. *Catena*, 75:38-44.
 - 23- Klute A. 1986. *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
 - 24- Knapen A., Poesen J., Govers G., Gyssels G. and Nachtergaele J. 2007. Resistance of soils to concentrated flow erosion: a review. *Earth Science Reviews*, 80(1–2): 75–109.
 - 25- Mamedov A.I., Levy G.J., Wagner L.E., Huang C. and Norton L.D. 2009. Soil-structural stability as affected by clay mineralogy, soil texture and polyacrylamide application. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 11, EGU2009-3895-8.
 - 26- Nachtergaele J. and Poesen J. 2002. Spatial and temporal variations in resistance of loess-derived soils to ephemeral gully erosion. *European Journal of Soil Science*, 53: 449–463.
 - 27- Netterberg F. 1982. *Geotechnical properties and behavior of Calcretes in South and Southwest Africa*, ASTM STP 777. Philadelphia: American Society for Testing and Materials; p. 296–309.
 - 28- Page A.L. 1982. *Method of soil analysis*. Part 2: chemical and microbiological properties. Soil Science Society of American Madison, Wisconsin, USA.
 - 29- Page A.L., Miller R.H. and Keeney D.R. 1986. *Methods of soil analysis*. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
 - 30- Polyakov V.O. and Nearing M.A. 2003. Sediment transport in rill flow under deposition and detachment conditions. *Catena*, 51: 33-43.
 - 31- Romero C.C., Stroosnijder L. and Guillermo A.B. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena*, 70:105-113.
 - 32- Walkley A. and Black C.A. 1947. Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. *Soil Science* 63, 251–264.
 - 33- Winterwerp J.C., Cornelisse J.M., and Kuijper C. 1990. Parameters to Characterize Natural Muds in Abstract Volume, Int. Workshop on Cohesive Sediments, Brussels, KBIN, Brussels, p. 103-105
 - 34- Wischmeier W.H. and Smith D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning*. United States Department of Agriculture Agricultural Handbook 537. U.S. Government Printing Office, Washington D.C, USA.
 - 35- Yan L.J., Yu X.X., Lei T.W., Zhang Q.W. and Qu L.Q. 2008. Effects of transport capacity and erodibility on rill erosion processes: A model study using the Finite Element method. *Geoderma*, 146: 114–120.

- 36- Young R.A. and Onsdad C.A. 1982. The effect of soil characteristics on erosion and nutrient loss. Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield, Proceedings of the Exeter Symposium, IAHS Publ. No. 137.

Archive of SID



Quantification of Rill Erosion Development in Marl Soils of Zanjanroud Watershed in North west of Zanjan, Iran

A.R. Vaezi^{1*} - H. Gharehdaghi²

Received:29-09-2012

Accepted:23-06-2013

Abstract

Soil erosion prediction models are of great significance for soil and water conservation management. Rill erosion is the most important component of hillslope soil erosion processes. Therefore, predicting hillslope erosion requires that rill erosion is well understood and predictable. The study was conducted to empirical quantification of rill development in the hillslopes. Rill characteristics consist of width, depth, cross section area, length, volume and soil loss, density of the rills and soil erosion rate along with slope characteristics (steepness and length) and soil properties were determined in 27 rills occurred on 9 hillslopes in marl formations of the Zanjanroud watershed, north west of Zanjan, Iran. All rill characteristics except the length showed significant correlation with both slope steepness and some soil properties including particle size distribution, sodium adsorption ratio, aggregate stability and saturated hydraulic conductivity. Rill depth as compared to other rill characteristics was reliably quantified in the hillslopes. This parameter had the highest relationship with slope steepness and saturated hydraulic conductivity ($R^2 = 0.67$, $p < 0.001$). Rill erosion rate contrary to the slope characteristics significantly related to clay content ($R^2 = 0.56$). This result revealed that in order to develop a model to predict rill erosion, it is vital that investigate all hillslope characteristics a long with soil properties in the watershed surface.

Keywords: Hillslope characteristics, Rill characteristics, Rill erosion rate, Soil properties

1,2- Assistant Professor and Former M.Sc. Student of Soil Science Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan

(*- Corresponding Author Email: vaezi.alireza@gmail.com)