محور مقاله: فرسایش آبی، سیلاب و حفاظت خاک و آب

تأثیر درجه شیب بر تولید جریان و فرسایش شیاری در خاک‌های مختلف منطقه نیمه‌خشک

الهام محمدی[۱*]، علی‌رضا واعظی[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[۲] استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

چکیده

تولید روان‌آب و فرسایش شیاری تحت تأثیر نوع خاک و شیب سطح می‌تواند قرار گیرد. این پژوهش با هدف بررسی وابستگی فرسایش شیاری و روان‌آب به بافت خاک و شیب سطح انجام گرفت. بدین منظور مطالعه‌ای آزمایشگاهی در سه کلاس بافتی خاک (لوم، لوم رسی و لوم رس شنی) و چهار شیب (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. آزمایش در فلومی به ابعاد ۴ متر × ۰/۳۲ متر و عمق ۰/۳ متر با استفاده از جریان شبیه‌سازی شده با دبی ثابت ۰/۵ لیتر بر دقیقه انجام گرفت. تولید روان‌آب و فرسایش شیاری در بازه‌های زمانی ۱ دقیقه، به مدت ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تولید روان‌آب و فرسایش شیاری، تحت تأثیر بافت خاک و شیب سطح قرار دارند. وابستگی فرسایش شیاری به شیب سطح بیش‌تر از تولید روان‌آب بود و با افزایش آن، فرسایش شیاری افزایش یافت. بافت لوم رسی حساس‌ترین خاک به شیب از نظر فرسایش شیاری و خاک لوم رس شنی کم‌ترین تغییرات را به فرسایش شیاری با افزایش شیب نشان داد. با توجه به نتایج پژوهش با آگاهی از شیب و بافت خاک دامنه‌ها می‌توان به قابلیت هدررفت خاک در شیارها پی‌برد.

واژه‌های کلیدی: انتقال ذرات، روان‌آب، غلظت رسوب، هدررفت خاک

مقدمه

فرسایش شیاری در اثر تولید جریان متمرکز در دامنه‌ها آغاز می‌شود و پس از سال‌ها، آبراهه‌ای کم‌عمق (کم‌تر از ۳۰ سانتی‌متر) در امتداد شیب به وجود می‌آید. در تعریفی دقیق‌تر، فرسایش شیاری عبارت از جدا شدن و انتقال رسوب به‌وسیله جریان متمرکز آب در کانالی باریک و فرسایش‌پذیر است (Chen و همکاران، ۲۰۱۷). معمولاً فرسایش در شیب‌های تند و محل‌هایی که طول شیب زیاد است، افزایش پیدا می‌کند، دلیل این موضوع افزایش مقدار و سرعت جریان آب است (Kothyari و همکاران، ۲۰۰۲). بافت خاک نیز به علل مختلف همچون تأثیر آن بر مقاومت، تشکیل سله، ظرفیت نفوذ و محتوای آب خاک، اثرات پیچیده‌ای بر فرسایش شیاری دارد (Wang و Shangguan، ۲۰۱۲). تاکنون مطالعات زیادی در مورد علل و عوامل مؤثر بر فرسایش شیاری در سراسر جهان انجام گرفته است؛ برای مثال می‌توان به مطالعات Shen و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد. این محققین نشان دادند که اثرات شدت باران بر روی فرسایش شیاری بسیار بیش‌تر از اثرات درجه شیب بوده و فرسایش شیاری ۷۴ درصد از هدررفت خاک از دامنه را شامل می‌شود. مطالعات نشان داده است که وابستگی و قابلیت خاک در تولید روان‌آب و رسوب ثابت نیست بلکه با تغییرات ویژگی‌های خاک و باران تغییر می‌یابد (Kemper و Rosenau، ۲۰۰۶). منظور از وابستگی فرسایش شیاری و روان‌آب، تغییرات شدت هدررفت خاک از شیارها تحت شیب‌ها و بافت‌های مختلف است. در این راستا واعظی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی نقش شیب و ویژگی‌های خاک در ایجاد فرسایش شیاری در دامنه‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که غیر از طول شیار، سایر ویژگی‌های شیار تفاوت معنی‌دار بین دامنه‌ها داشتند. هم‌چنین تفاوتی معنی‌دار بین خاک شیارها از نظر شن، سیلت، رس، هدایت هیدرولیکی اشباع و درصد سدیم تبادلی وجود داشت. در مناطق نیمه‌خشک، ضعف پوشش گیاهی و ناپایداری ساختمان خاک از جمله عوامل مهم مؤثر بر تولید روان‌آب و هدررفت خاک طی رگبارهای متوالی هستند. آگاهی از وابستگی فرسایش شیاری و دبی جریان به شیب سطح و بافت خاک بسیار حائز اهمیت است. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی وابستگی فرسایش شیاری و دبی جریان و رابطه آن با شیب‌های مختلف در خاک‌های منطقه نیمه‌خشک انجام گرفت.

*ایمیل نویسنده مسئول: elham.mhm@znu.ac.ir

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سه کلاس بافتی خاک (لوم، لوم رسی، و لوم رس شنی) و چهار سطح شیب (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد) در سه تکرار به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۹۷-۱۳۹۶ به اجرا در آمد. اقلیم منطقه از نوع نیمه‌خشک با میانگین بارندگی حدود ۳۰۹ میلی‌متر (در دوره آماری ۳۳ ساله ۱۳۵۲ تا ۱۳۸۵) و میانگین درجه حرارت سالانه ۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای این منظور نمونه‌هایی از خاک در دامنه‌های تحت فرسایش شیاری در استان زنجان تهیه شد. توزیع اندازه ذرات خاک‌ها به روش هیدرومتری تعیین و کلاس بافتی خاک نیز با استفاده از مثلث بافت مشخص شد. اندازه خاکدانه‌ها در نمونه‌های خاک به روش الک خشک و پایداری خاکدانه به روش الک تر مورد استفاده قرار گرفت. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بار ثابت و درصد سنگریزه به روش وزنی تعیین شد. همچنین مقدار ماده آلی به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری مقدار دبی جریان و فرسایش شیاری، نمونه‌های خاک در فلومی به ابعاد ۴ × ۰/۳۲ و عمق ۰/۳۰ متر ریخته شد.

برای بررسی فرسایش شیاری، از جریان شبیه‌سازی شده با دبی ثابت ۰/۵ لیتر بر دقیقه استفاده شد. ظروف مدرجی در انتهای فلوم برای اندازه‌گیری نمونه‌های جریان و رسوب خروجی قرار داده شد. برای انجام مقایسه میانگین و بررسی اثرات متقابل بین بافت خاک و شیب سطح از آزمون دانکن در سطح پنج درصد در محیط نرم‌افزار SPSS 24 استفاده شده است. همچنین برای تعیین روابط بین فرسایش شیاری و دبی جریان در شیب‌ها و خاک‌های مورد بررسی از توابع ریاضی مانند رابطه خطی استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم افزار Excel 2010 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. خاک‌های منطقه از نظر ماده آلی بسیار فقیر هستند. بررسی ویژگی‌های ساختمانی خاک شامل متوسط اندازه خاکدانه‌ها (۱/۰۷ تا ۲/۴۳ میلی‌متر) و پایداری خاکدانه‌ها در برابر آب (کم‌تر از ۱ میلی‌متر) نشان داد که خاک‌های منطقه از درجه خاکدانه‌سازی و پایداری پایینی برخوردار هستند. با توجه به پایداری پایین ساختمان خاک، انتظار می‌رود خاک مقاومت کمی در برابر نیروهای فرساینده مانند جریان آب داشته باشد. مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌ها بسیار متغیر بود و کم‌ترین مقدار (۲/۸۲ سانتی‌متر بر ساعت) در خاک لوم و بیش‌ترین آن (۸/۲۲ سانتی‌متر بر ساعت) در خاک لوم رسی شنی است. این ویژگی خاک به شدت تحت تأثیر فراوانی ذرات اولیه، ساختمان و چگالی ظاهری قرار دارد و معمولاً در خاک‌های درشت بافت و حاوی سنگریزه زیاد مانند لوم‌رس شنی بیش‌تر است. وجود هدایت هیدرولیکی اشباع زیاد امکان زهکشی سریع آب از خاک را در بارندگی‌های شدید یا وقوع جریان‌های سطحی زیاد روی خاک فراهم می‌آورد.

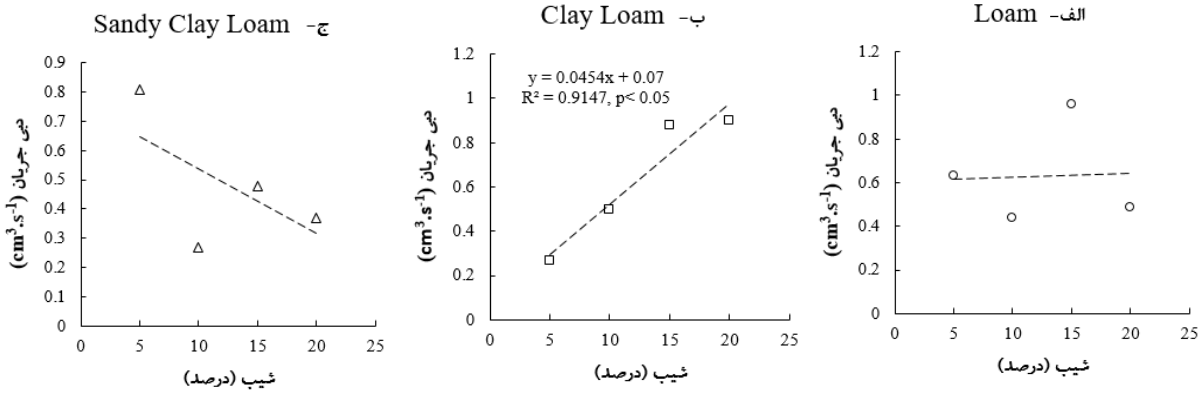
جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی‌های خاک	لوم رسی	لوم رس شنی	لوم
Sand (%)	۲۶/۹۰	۵۵/۰۰	۴۵/۷۳
Silt (%)	۳۵/۶۰	۲۲/۵۰	۳۶/۷۷
Clay (%)	۳۷/۵۰	۲۲/۵۰	۱۷/۵۰
Gravel (%)	۸/۷۰	۱۸/۲۰	۱۵/۶۰
MWDdry (mm)	۱/۰۷	۲/۴۳	۲/۲۲
MWDwet (mm)	۰/۵۲	۰/۹۷	۰/۹۷
Ks ($cm.h^{-1}$)	۵/۳۴	۸/۲۲	۲/۸۲
OM (%)	۰/۴۴	۰/۳۴	۰/۵۸

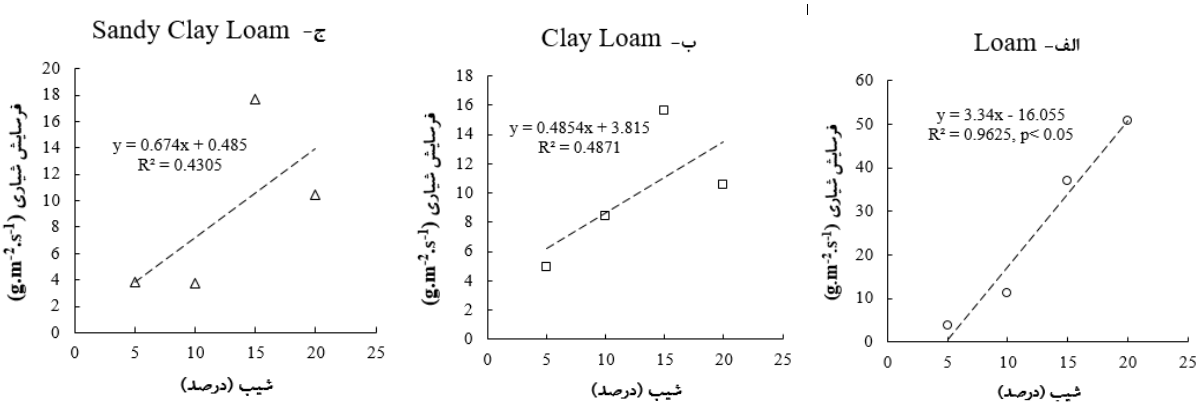
نتایج نشان داد که دبی جریان آب (شکل ۲) و فرسایش شیاری (شکل ۳) هر دو تحت تأثیر شیب سطح و بافت خاک قرار دارند. به جز در خاک لوم رس شنی در دو خاک دیگر با افزایش شیب سطح، دبی جریان در شیارها افزایش یافت و تنها در خاک لوم رسی تأثیر شیب سطح بر دبی جریان معنی‌دار بود ($P<0/05$، $R^2=0/92$). خاک لوم رسی حساس‌ترین و خاک لوم مقاوم‌ترین خاک به تولید جریان با تغییر شیب بود (شکل ۲). در هر سه خاک با افزایش شیب سطح، فرسایش شیاری در شیارها بیش‌تر شد و تنها در خاک لوم رابطه قوی معنی‌داری بین فرسایش شیاری و شیب مشاهده

شد. در واقع خاک لوم حساس‌ترین خاک به شیب از نظر فرسایش شیاری در بین خاک‌های مورد بررسی و خاک لوم رسی مقاوم‌ترین خاک به فرسایش شیاری با تغییر شیب است. این نتایج نشان می‌دهد که حساسیت خاک‌های مورد بررسی به تولید جریان در اثر تغییر شیب با حساسیت آنها به فرسایش شیاری متفاوت است. این موضوع نشان می‌دهد که حساسیت خاک‌ها به فرسایش شیاری در اثر تغییر شیب، به واسطه قابلیت تولید بیش‌تر جریان در شیارها نیست. در واقع حساسیت ذاتی ذرات خاک به انتقال عامل مهم تعیین کننده فرسایش شیاری است و افزایش تولید جریان در شیارها و در نتیجه افزایش تنش برشی جریان دلیلی بر انتقال بیشتر ذرات نمی‌تواند باشد.

خاک لوم رس شنی دارای هدایت هیدرولیکی اشباع بالا ($۸/۲۲cm.h^{-1}$) و نیز درصد سنگریزه بیش‌تری (۱۸/۲۰ درصد) نسبت به دو خاک دیگر بود و در نتیجه دبی جریان در این خاک کم‌ترین است (جدول ۱، شکل ۳). با بررسی همزمان نمودارهای شکل ۲ و ۳ می‌توان استنباط کرد که تنها در خاک لوم رسی وابستگی فرسایش شیاری به تولید جریان بیش‌تر از دو خاک دیگر است. در حالی که در خاک لوم رس شنی این وابستگی ناچیز است. حساسیت خاک‌ها به فرسایش شیاری تحت تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک از جمله توزیع اندازه ذرات، ساختمان و قابلیت نفوذ خاک است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که خاک‌های دارای سرعت نفوذ آب بیش‌تر، روان‌آب کم‌تر (Santos و همکاران، ۲۰۰۳) و در نتیجه فرسایش کم‌تری دارند. خاک لوم رسی نسبت به لوم دارای فرسایش بیش‌تری بود که این نتایج با یافته‌های واعظی و وطنی (۱۳۹۳) مطابقت داشت. تنها در خاک لوم رسی با افزایش شیب، میزان دبی جریان و فرسایش شیاری افزایش یافت. در بسیاری از پژوهش‌ها اثر شیب زمین بر تولید روان‌آب و فرسایش شیاری به اثبات رسیده است (Fang و همکاران، ۲۰۱۴ و Kiani-Harchegani و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین نتایج نشان داده است که بافت خاک نیز عامل مهم مؤثر بر مقدار جریان و فرسایش شیاری است (Romero و همکاران، ۲۰۰۷). بررسی برهمکنش بافت خاک و شیب از نظر تولید جریان و فرسایش شیاری نشان داد که تأثیر شیب بر فرسایش شیاری با تغییر بافت خاک به شدت دچار تغییر می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که وابستگی فرسایش شیاری به شیب بیش‌تر از تولید روان‌آب بود و با افزایش شیب، الگوی افزایشی در فرسایش شیاری در خاک‌ها مشاهده شد. از بین خاک‌ها، خاک لوم رسی حساس‌ترین خاک‌ها به فرسایش شیاری می‌باشد به طوری که در هر چهار شیب از نظر مقدار، بیش‌تر از لوم و لوم رسی شنی می‌باشد. Xiao و همکاران (۳۳) بیان کردند که با افزایش شیب میزان جدا شدن و انتقال ذرات رسوب توسط جریان آب افزایش می‌یابد.



شکل ۲- تغییرات دبی جریان و شیب در خاک‌های با بافت الف- لوم، ب- لوم رسی و ج- لوم رس شنی در منطقه نیمه‌خشک



شکل ۳- تغییرات فرسایش شیاری و شیب در خاک‌های با بافت الف- لوم، ب- لوم رسی و ج- لوم رس شنی در منطقه نیمه‌خشک

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بافت خاک و شیب خاک از عوامل بسیار مهم در تولید روان‌آب و فرسایش شیاری هستند به جز در خاک لوم رس شنی در دو خاک دیگر با افزایش شیب سطح، دبی جریان در شیارها افزایش یافت. با این وجود تنها در خاک لوم رسی تأثیر شیب سطح بر دبی جریان معنی‌دار بود ($P<0/05$، $R^2=0/92$). خاک لوم رسی حساس‌ترین و خاک لوم مقاوم‌ترین خاک به تولید جریان با تغییر شیب بود. در هر سه خاک با افزایش شیب سطح، فرسایش شیاری بیش‌تر شد و تنها در خاک لوم رابطه قوی معنی‌داری بین فرسایش شیاری و شیب مشاهده شد. خاک لوم حساس‌ترین و خاک لوم رسی مقاوم‌ترین خاک به شیب از نظر فرسایش شیاری بودند. حساسیت خاک‌های مورد بررسی به تولید جریان در اثر تغییر شیب با حساسیت آنها به فرسایش شیاری متفاوت است. در واقع حساسیت ذاتی ذرات خاک به انتقال عامل مهم تعیین کننده فرسایش شیاری است و افزایش تولید جریان در شیارها و در نتیجه افزایش تنش برشی جریان دلیلی بر انتقال بیشتر ذرات نمی‌تواند باشد. وابستگی فرسایش شیاری به شیب بیش‌تر از تولید روان‌آب بود. در خاک لوم رسی وابستگی فرسایش شیاری به تولید جریان بیش‌تر از دو خاک دیگر است در حالی که در خاک لوم رس شنی این وابستگی ناچیز است. بر اساس نتایج این پژوهش، برای پیش‌بینی فرسایش شیاری در خاک‌های منطقه نیمه‌خشک، آگاهی از شیب سطح و بافت خاک حائز اهمیت است. این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی مهار فرسایش شیاری در دامنه‌ها مؤثر باشد.

منابع

واعظی، ع.، قره داغلی، ح. و مرزوان، س. ۱۳۹۴. بررسی نقش شیب و ویژگی‌های خاک در ایجاد فرسایش شیاری در دامنه‌ها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تهم چای، شمال غرب زنجان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۳ (۴) :۸۳-۱۰۰.

واعظی، ع.ر. و وطنی، ا. ۱۳۹۳. تعیین فرسایش پذیری شیاری در برخی خاک‌های استان زنجان تحت باران شبیه‌سازی شده. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۹(۷۱): ۵۹-۶۷.

Chen X. Y., Huang Y. H., Zhao Y., Mo B., Mi H. X., and Huang C. H. 2017. Analytical method for determining rill detachment rate of purple soil as compared with that of loess soil. Journal of hydrology, 549, 236-243.

Fang, H., Sun, L., and Tang, Z. 2014. Effects of rainfall and slope on runoff, soil erosion and rill development: an experimental study using two loess soils. Hydrological processes, 29(11), 2649-2658.

Kemper, W. D. and Rosenau, K. 2006. Size distribution of aggregates. Pp: 425-442. Methods of Soil Analysis, Part 1.

Kiani-Harchegani, M., Sadeghi, S. H., Singh, V. P., Asadi, H., & Abedi, M. (2019). Effect of rainfall intensity and slope on sediment particle size distribution during erosion using partial eta squared. Catena, 176, 65-72.

Kothyari, U. C., Jain, M. K., and Ranga Raju, K. G. 2002. Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS/Estimation de la variation temporelle de l'exportation sédimentaire grâce à un SIG. Hydrological Sciences Journal, 47(5), 693-706.

Romero, C. C., Stroosnijder, L., and Baigorria, G. A. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. Catena, 70(2), 105-113.

Santos, F. L., Reis, J. L., Martins, O. C., Castanheira, N. L., and Serralheiro, R. P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigated soils. Biosystems Engineering, 86(3), 355-364.

Shen, H., Zheng, F., Wen, L., Han, Y., and Hu, W. 2016. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. Soil and Tillage Research, 155, 429-436.

Wang, K. and Shangguan, Z. 2012. Simulating the vegetation-producing process in small watersheds in the Loess Plateau of China. Journal of Arid Land, 4(3), 300-309.

Topic for submission: Water Erosion, Flood, Soil and Water Conservation

Effect of slope gradient on flow production and rill erosion in semi-arid soil textures

Mohammadi[*1], E., Vaezi[2], A.R.

[1] M. Sc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran
[2] Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran

Abstract

The runoff production and rill erosion can be influenced by soil type and surface slope. This research was conducted to study the dependency of flow production and rill erosion on slope gradient and soil texture in semi-arid soils. For this purpose, a laboratory study was carried out in three soil texture class (loam, clay loam and sandy clay loam) and four different slopes (5, 10, 15 and 20%) using a completely randomized design with three replications. The experiment was conducted in a flume with dimensions of 4 m × 0.32 m and a depth of 0.3 m using simulated constant flow with 0.5 l/min in discharge. Runoff and rill erosion was measured for 1 to 30 minutes at 1 minute intervals. The results showed that runoff production and rill erosion were affected by soil texture and surface gradient and the interaction between them ($p < 0.001$). The dependency of rill erosion on slope gradient was greater than soil texture, so that rill erosion increased strongly with an increase in slope gradient. Clay loam was the most susceptible soil texture to rill erosion with the change of slope gradient, whereas sandy clay loam showed the lowest variation to rill erosion with increasing slope gradient. As a consequence, information about slope gradient and soil texture is essential to predict the rate of soil loss in the rills.

Keywords: Particle transport, Runoff, Sediment concentration, Soil loss

[*] Corresponding author, Email: elham.mhm@znu.ac.ir