

مقاله علمی-پژوهشی

## بررسی تغییرات زمانی جریان سطحی و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در برخی خاک‌های منطقه نیمه خشک

علی‌رضا واعظی<sup>۱\*</sup>، ناصر فکوری ایوند<sup>۲</sup>، فرشته آذری‌فام<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰

### چکیده

جریان سطحی عامل اصلی فرسایش خاک است که در شیب‌های ملایم باعث فرسایش ورقه‌ای و بین‌شیاری می‌شود. ویژگی‌های خاک از عوامل مهم در مقدار و سرعت جریان سطحی طی بارندگی است. این مطالعه به منظور بررسی نقش ویژگی‌های خاک در مقدار تولید جریان سطحی و تغییرات زمانی آن در بافت‌های مختلف خاک انجام شد. هشت بافت مختلف خاک در کرت‌های ۱ متر × ۱/۲ متر و تحت هفت بارندگی شبیه‌سازی شده با شدت ۶۰ میلی‌متر در ساعت به مدت ۶۰ دقیقه قرار گرفتند و نمونه‌های جریان سطحی در هر رویداد جمع‌آوری شدند. نتایج نشان داد که جریان سطحی تولید شده در بین شیاریها تحت تأثیر بافت خاک قرار گرفت ( $p < 0.01$ ) و بیشترین جریان سطحی در خاک رسی و کمترین آن در خاک سنی بود. مقدار تولید جریان سطحی به طور موقت در طی بارندگی افزایش یافت و پس از رسیدن به مقدار اوج روند ثابتی داشت. زمان رسیدن به جریان اوج در خاک‌های ریزبافت کوتاه بود. تحلیل همبستگی نشان داد که جریان سطحی به طور معنی‌داری تحت تأثیر برخی ویژگی‌های خاک (شن، سیلت، رس، چگالی ظاهری، سنگ‌ریزه، هدایت هیدرولیکی، کربنات کلسیم، گچ و درصد سدیم تبادل) است. با افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، جریان سطحی به‌طور معنی‌داری در خاک‌ها کاهش یافت. تحلیل رگرسیون خطی نشان داد که درصد شن مهم‌ترین عامل مؤثر بر جریان سطحی در خاک‌های منطقه نیمه-خشک است. بنابراین مهار جریان سطحی در خاک‌های با درصد بالایی از سیلت و رس برای جلوگیری از فرسایش بین‌شیاری در خاک‌های نیمه‌خشک ضروری است.

**واژه‌های کلیدی:** باران شبیه‌سازی شده، بافت خاک، رواناب، فرسایش بین‌شیاری، هدایت هیدرولیکی

### مقدمه

نفوذ کند و به دلیل شیب در سراسر سطح زمین جاری می‌شود (Perlman, 2016). این پدیده نقشی مهم در هدررفت خاک و عناصر غذایی دارد (Xue et al., 2021) و تحقیقات نشان می‌دهد مقدار جریان سطحی و رسوب در دیم‌زارها بیشتر از اراضی دیگر است دلیل این موضوع، حذف پوشش گیاهی طبیعی و ایجاد پوشش زراعی غیردائمی است. پوشش زراعی اغلب غیردائمی بوده و تراکم کافی برای جلوگیری از فرسایش خاک ندارد. بنابراین برای ارائه راه‌حل مناسب جهت حفاظت از خاک‌های این مناطق بررسی آن از اهمیت زیادی برخوردار است. در این راستا احمدیان و همکاران (۱۳۸۴) با مقایسه فرسایش خاک در کاربری‌های دیم، دیم‌زار رها شده، مرتع و جنگل نشان دادند فرسایش سطحی و شیاری در دامنه‌های دیم‌زار بیشتر از عرصه‌های دیگر است. همچنین نتایج پژوهش ابراهیمی (۱۳۸۰) در بررسی تأثیر بهره‌برداری‌های مختلف اراضی در فرسایش و رسوب حوزه آبخیز کهریز اراک نشان داد میانگین فرسایش در اراضی

پاشمان قطرات و جریان سطحی دو عامل مهم در جدا شدن ذرات از سطح خاک هستند (Shih and Yang, 2009). فرآیند جدا شدن ذرات به‌وسیله جریان‌های سطحی وقتی اتفاق می‌افتد که تنش برشی و یا قدرت جریان برای کندن ذرات از بستر خاک، به اندازه کافی بزرگ باشد (Zhang et al., 2003). تشکیل جریان سطحی نتیجه آن بخش از بارش وارد شده بر سطح خاک است که در خاک نتوانسته

- ۱- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
  - ۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
  - ۳- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
- (\*- نویسنده مسئول: Email: vaezi.alireza@gmail.com)

زاده و همکاران زمان آغاز و مقدار جریان سطحی در خاک‌های ریزبافت (رسی و لوم رسی) بیشتر از خاک‌های درشت بافت (شن لومی و شنی) بود در خاک لوم نیز به دلیل تخلخل درشت و هدایت هیدرولیکی کم مقدار جریان سطحی بیشتر بود (Hasanzadeh et al., 2013). واعظی و همکاران با بررسی فرسایش پذیری خاک نشان دادند که مقادیر فرسایش پذیری خاک از کمترین مقدار در شن و لوم شنی تا بیشترین مقدار در خاک لوم سیلتی متفاوت بود. این تفاوت‌ها به تغییرات جریان سطحی در خاک‌ها نسبت داده شد (Vaezi et al., 2016). بررسی‌های واعظی و همکاران نشان داد بافت خاک و شیب سطح اثر معنی‌داری بر زمان آغاز و شدت جریان سطحی دارد (Vaezi et al., 2017). بررسی‌های اسدی و همکاران با بررسی تغییرات غلظت رسوب در فرسایش شیبی نشان دادند که غلظت رسوب در دقایق اولیه آزمایش زیاد بود و با گذشت زمان کاهش یافت و در نهایت به حالت پایدار رسید (Asadi et al., 2007).

بررسی منابع نشان می‌دهد پژوهش‌های گوناگونی بر روی نقش ویژگی‌های خاک در تولید رواناب انجام گرفته است. با این وجود تحقیقات بر روی تغییرات زمانی نفوذ آب به خاک بسیار محدود است. اهمیت این موضوع در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک دوچندان است. آگاهی از این موضوع می‌تواند در تعیین آستانه زمانی وقوع فرسایش خاک سودمند خواهد بود. حدود ۳۹ درصد کشور را مناطق اقلیمی نیمه‌خشک دربرمی‌گیرد (Khaksarfard., 1994). این مناطق از عرصه‌های مهم تحت تأثیر جریان سطحی و فرسایش هستند. بارندگی اندک و پراکنش غیریکنواخت آن طی سال موجب تشکیل پوشش گیاهی ضعیف و پراکنده می‌شود. به این دلیل، در زمان وقوع بارش‌های فصلی به ویژه در اواخر اسفند و اوایل بهار زمینه برای تولید جریان‌های سطحی و فرسایش خاک فراهم می‌شود (Vaezi., 2020). از سوی دیگر، عدم رعایت اصول کشاورزی عامل مهم مدیریتی در تخریب خاک‌ها است. خاک‌ورزی سنتی در اراضی شیبدار، شرایط را برای تشدید تولید جریان سطحی و فرسایش در کشتزارها مهیا می‌کند (Salem et al., 2021). در این میان، تأثیر عملیات خاک‌ورزی موازی شیب، دوچندان است. عدم برگشت بقایای گیاهی به خاک و عدم رعایت اصول کشاورزی (تناوب و آیش)، عواملی دیگر در تضعیف مقاومت خاک‌ها در برابر فرسایش آبی است. شناسایی خاک‌های حساس به جریان سطحی و تعیین آستانه حداکثر تولید جریان سطحی برای شناسایی خاک‌های حساس به فرسایش در این مناطق ضروری است. از این رو این پژوهش با هدف بررسی حساسیت خاک‌های مناطق نیمه‌خشک به تولید جریان سطحی و تغییرات زمانی آن و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک انجام گرفت.

دیم بیشترین مقدار را نسبت به مرتع و زراعت آبی داشت. جریان سطحی حاصل از باران تحت تأثیر عواملی از جمله ویژگی‌های خاک، شدت باران، پوشش گیاهی (Zhang, 2021) و توپوگرافی زمین قرار دارد (Pereze-Latorre et al., 2010). ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک از عوامل مهم نفوذ آب در خاک و ایجاد جریان سطحی روی خاک هستند (Vilayvong et al., 2016).

شرایط خاک طی بارندگی پیوسته دچار تغییر می‌شود و موجب می‌شود فرسایش سطحی نیز دچار تغییرات زمانی گردد. تغییر ساختمان خاک سطحی از علل مهم تغییرات زمانی جریان سطحی و فرسایش است. با آغاز بارندگی، نقش توأم فرآیندهای فیزیکی (خیس شدن) و مکانیکی (ضربه قطرات) موجب تغییر شرایط خاک سطحی می‌شود. شدت این تغییرات به نوع خاک وابسته است. بافت و ساختمان نقش اساسی در این زمینه ایفا می‌کنند (Vaezi and Bakhshi Rad, 2022) که با تأثیر بر هدایت هیدرولیکی، بر تولید رواناب اثر می‌گذارند. خاک‌هایی که از خاکدانه‌های پایدار برخوردارند، دچار تغییرات آشکار طی بارندگی نمی‌شوند. برعکس، در خاک‌های با ساختمان ضعیف، لایه سطحی به شدت تخریب می‌شود. تشکیل اندوده روی سطح خاک و افت نفوذ آب، پدیده آشکار در این خاک‌هاست. رطوبت خاک نیز عامل دیگری در تغییر شرایط خاک طی بارندگی است (Kumar et al., 2021). میزان تغییرات جریان سطحی طی بارندگی به تغییرات شدت باران و ویژگی‌های خاک وابسته است. آگاهی از این موضوع می‌تواند در تعیین خاک‌های حساس به فرسایش و شناسایی آستانه حداکثر فرسایش سودمند باشد.

در پژوهش‌های مختلف به نقش ویژگی‌های خاک در تولید جریان سطحی و فرسایش خاک در اراضی شیبدار اشاره شده است. پژوهش‌های دویکر و همکاران نشان داد روابط معنی‌داری بین جریان سطحی، رسوب و بافت خاک وجود دارد به طوری که با افزایش ذرات سیلت و رس خاک میزان تولید جریان سطحی افزایش می‌یابد (Duiker et al., 2001). همچنین تانچون و همکاران (Tangchuan et al., 2018) در مطالعه‌ای به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک در تولید جریان سطحی و فرسایش در کشور چین، مهم‌ترین عامل موثر در افزایش تولید رواناب و تشدید فرسایش را افزایش درصد رس خاک گزارش کردند. طبق پژوهش آدکالو و همکاران مقدار جریان سطحی با محتوای شن همبستگی منفی داشت، در حالی که میانگین هدررفت خاک با محتوای کلئیدی (رس و ماده آلی) خاک همبستگی مثبت داشت (Adekalu et al., 2007). زارع خورمیزی و همکاران در گرگان گزارش کردند مقدار جریان سطحی با درصد شن ریز، سیلت و آهک همبستگی مثبت معنی‌داری دارند (Zare khormizi et al., 2012). در خاک‌های ریزدانه و آهکی به دلیل خاصیت چسبندگی ذرات، ساختمان نسبتاً پایدار تشکیل می‌شود که نفوذ بارندگی در آن‌ها بیشتر است. بر اساس نتایج پژوهش حسن-

## مواد و روش‌ها

### موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

آزمایش در هشت خاک مختلف در ابعاد کرت (به ابعاد ۱/۲ متر مربع) با سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی در ابتدای فصل پاییز انجام گرفت. خاک‌ها با بافت‌های مختلف از مناطق مختلف استان زنجان واقع بین  $35^{\circ}25'45''$  تا  $37^{\circ}15'24''$  عرض شمالی و  $47^{\circ}1'12''$  تا  $49^{\circ}52'31''$  طول شرقی شناسایی شده و به زمینی با دامنه‌ی شیب‌دار (حدود ۱۰ درصد) در دانشگاه منتقل شدند. منطقه تحت نمونه‌برداری دارای حداقل دمای حدود ۳۰- و حداکثر دمای آن ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط بارندگی در دوره آماری ۳۳ ساله (۱۳۸۵-۱۳۵۲) حدود ۳۰۹ میلی‌متر است و میانگین درجه حرارت سالانه ۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این منطقه براساس روش دومارتن دارای اقلیم خشک است. بافت‌های خاک شامل شنی، شن-لومی، لوم‌شنی، لومی، لوم‌سیلتی، لوم‌رس‌شنی، لوم‌رسی و رسی از مناطق مختلف استان زنجان شناسایی و حدود ۳۰۰ کیلوگرم از هر خاک به زمین مطالعاتی انتقال یافت.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک‌ها

برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات از روش هیدرومتری (Bouyoucos., 1962) استفاده شد. سنگریزه به وسیله غربال با الک‌های ۲ و ۸ میلی‌متر تعیین شد. پایداری خاکدانه‌ها با روش الک‌تر (Kemper and Rosenau, 1986) در خاکدانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر به مدت یک دقیقه و چگالی ظاهری با روش سیلندر فلزی تعیین شد. برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks) از روش بار ثابت استفاده شد (Hazelton and Murphy, 2007). برای اندازه‌گیری واکنش خاک‌ها از دستگاه pH سنج استفاده شد (Thomas, 1996). برای محاسبه درصد سدیم تبادلی (ESP) غلظت سدیم با استفاده از دستگاه فلیم‌فتمتر تعیین شد (Champman and

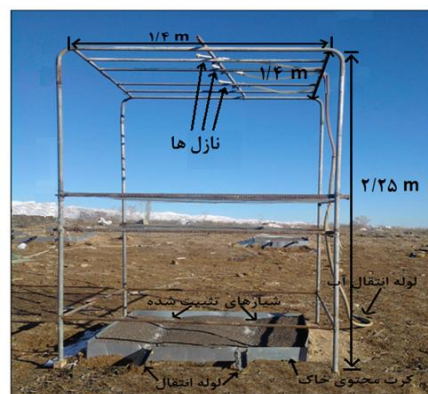
Pratt, 1987). برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی از دستگاه EC سنج استفاده شد (Rhoades, 1996). کربن آلی به روش والکی-بلک (Rowell, 1994)، کربنات کلسیم با روش خنثی‌سازی (Pansu and Gautheyrou, 2006) و گچ با روش استون (Pansu and Gautheyrou, 2006) تعیین شد.

### آماده‌سازی کرت‌های آزمایشی

برای ایجاد کرت‌ها، سطح زمین با استفاده از تسطیح‌کن مکانیکی یکنواخت شد. تعداد هشت قطعه کرت با ابعاد ۱/۲ متر × ۱ متر (به صورت طولی در راستای شیب) با فاصله ۳ متر از هم در عرض شیب ایجاد شدند. قطعات با استفاده از ورق گالوانیزه به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و طول ۴/۴ متر بسته شد. در انتهای هر کرت لوله انتقال رواناب و رسوب تعبیه شد. نمونه‌های هر یک از خاک‌ها به کرت‌ها ریخته و در وسط آن، تحدبی به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و طول افقی ۶۰ سانتی‌متر به سمت کنارها ایجاد شد. در کنارها نیز تحدبی به طول افقی ۳۰ سانتی‌متر به سمت درونی کرت ایجاد شد (شکل ۱ ل.ف). کرت‌ها تحت پنج رخداد باران یکسان با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۶۰ دقیقه قرار گرفتند. برای ایجاد باران، یک دستگاه شبیه‌ساز باران طراحی شد (شکل ۱ ب). باران شبیه‌سازی شده محدودیت‌های باران طبیعی را نداشته و قابلیت تکرار در هر زمان را داد (Truman and Bradford, 1995). مشخصات باران از تحلیل داده‌های شدت و مدت باران منطقه قتلوق طی مدت ۱۰ سال استخراج شد. این باران-ساز دارای ارتفاع ۲/۲۵ متر، صفحه بارش ۱/۴ متر در ۱/۴ متر بود و توان تولید بارانی با شدت ۶۰ میلی‌متر در ساعت با قطر قطره ۲/۵۶ میلی‌متر را داشت. ضریب یکنواختی بر اساس روش کریستینسن (Christiansen, 2013) برابر ۹۸ درصد بود که نشان از یکنواختی مناسب توزیع باران در سراسر سطح کرت بود.



(ب)



(الف)

شکل ۱- نمایشی از کرت‌های ایجاد شده روی زمین مورد بررسی (الف) و دستگاه شبیه‌سازی باران مستقر روی کرت (ب)

### اندازه‌گیری جریان سطحی تحت رخدادهای باران

جریان سطحی تولید شده در فاصله زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰، ۵۵، ۶۰ دقیقه از آغاز بارندگی جمع‌آوری گردید. در فاصله زمانی ۵ دقیقه حجم مخلوط جریان سطحی و رسوب حاصل از هر کرت یادداشت شد. برای تعیین حجم جریان سطحی و رسوب هر کرت از دو ظرف دو لیتری برای فاصله زمانی کوتاه (۱ تا ۵ دقیقه) و از یک دبه ۲۰ لیتری برای فاصله زمانی ۶۰ دقیقه استفاده شد. حجم جریان سطحی از طریق کسر حجم رسوب از کل جریان سطحی رسوب بدست آمد. مقدار جریان سطحی و رسوب برای هر رخداد بارندگی محاسبه شد. بارندگی با فاصله پنج روز با شدت ۶۰ میلی‌لیتر در ساعت و مدت یک ساعت اعمال شد. پیش از اعمال هر باران، نمونه خاک از سه نقطه‌ی طول کرت برداشته شد و رطوبت اولیه خاک در آزمایشگاه تعیین شد. از کل نمونه جمع شده از انتهای هر کرت نمونه همگنی به حجم یک لیتر تهیه شده و در آزمایشگاه جرم رسوب برای هر بافت تعیین شد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای بررسی تفاوت ویژگی‌های خاک‌ها از روش تجزیه واریانس با آزمون دانکن استفاده شد. برای تعیین ویژگی‌هایی از خاک که بر تولید جریان سطحی مؤثر بودند از روش ماتریس همبستگی استفاده شد. مهمترین ویژگی‌های خاک که در تولید جریان سطحی نقش داشتند بر اساس روش رگرسیون خطی چندگانه استخراج به دست

آمد. برای بیان تغییرات زمانی تولید جریان سطحی در خاک‌ها از توابع ریاضی با بالاترین ضریب تعیین ( $R^2$ ) استفاده شد. برای تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت.

### نتایج و بحث

#### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

بررسی ویژگی‌های خاک‌ها (جدول ۱) نشان داد که خاک‌ها اغلب از ماده آلی کم (بین ۰/۲۲ تا ۱/۲۴ درصد) و پایداری خاکدانه پایین (۰/۶۹ میلی‌متر) برخوردارند. خاک رسی دارای بیش‌ترین مقدار سدیم تبادل (۱۱/۵۶ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم) و کم‌ترین هدایت هیدرولیکی اشباع بود (۰/۲۱ سانتی‌متر بر ساعت). خاک لومی دارای بیش‌ترین مقدار ماده آلی (۱/۲۴ درصد) و پایداری خاکدانه (۱/۸۶ میلی‌متر) بود. هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک‌ها از ۰/۲۱ سانتی‌متر بر ساعت (در خاک رسی) تا ۸/۱ سانتی‌متر بر ساعت (در خاک شنی) تغییر کرد. مقدار آهک (کربنات کلسیم معادل) در خاک‌ها از ۵ درصد در خاک شنی تا ۱۵/۲ درصد در خاک رسی تغییر کرد. همچنین نتایج نشان داد که رس‌های کائولینیت، ایلیت، اسمکتیت در خاک رسی وجود دارد. تفاوت معنی‌دار بین خاک‌ها از نظر همه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی وجود داشت (جدول ۱). این نتایج نشانگر آن است که علاوه بر تفاوت در بافت خاک‌ها، در سایر ویژگی‌ها نیز تفاوت‌های اساسی وجود دارد (جدول ۱).

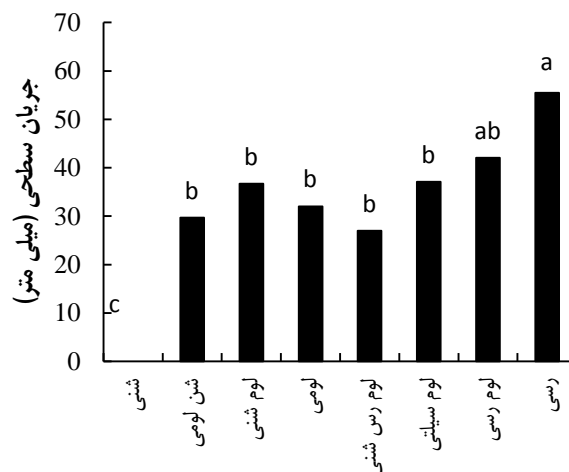
جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی و مقایسه میانگین‌های آن‌ها

میانگین مربعات	بافت خاک								ویژگی‌های خاک
	رسی	لومرسی	لومرسی شنی	لومسیلتی	لومی	لوم شنی	شن لومی	شنی	
۲۶۵۳/۴۸***	۴/۰۰	۴۴/۵۱	۴۶/۵۰	۲۳/۵۵	۴۳/۷۰	۶۹/۰۰	۷۸/۷۰	۹۲/۰۵	شن (%)
۷۳۴/۰۹***	۳۹/۲۴	۲۲/۴۹	۲۷/۳۲	۵۰/۶۳	۳۲/۵۵	۱۲/۵۰	۱۳/۲۰	۵/۴۵	سیلت (%)
۸۷۴/۶۵**	۵۶/۷۶	۳۳/۰۰	۲۶/۱۸	۲۵/۸۲	۲۳/۷۵	۱۸/۵۰	۸/۱۰	۲/۵۰	رس (%)
۱۱۸/۲۶**	۴/۳۱	۱۵/۲۰	۱۶/۱۰	۱۰/۱۲	۱۰/۴۰	۱۹/۰۱	۱۴/۳۰	۲۴	سنگریزه (%)
۰/۰۸۳**	۱/۲۷	۱/۲۲	۱/۵۰	۱/۳۰	۱/۴۲	۱/۳۸	۱/۳۸	۱/۷۴	چگالی مخصوص ظاهری (g/cm <sup>3</sup> )
۰/۶۹۹**	۰/۵۴	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۷۴	۱/۸۶	۰/۵۸	۰/۴۶	۰/۰۰	پایداری خاکدانه (mm)
۲۲/۱۹***	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۶۵	۰/۵۶	۱/۶۸	۰/۹۵	۳/۸۲	۸/۱۰	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/h)
۰/۰۲**	۷/۵۳	۷/۳۶	۷/۴۸	۷/۵۰	۷/۴۹	۷/۳۷	۷/۳۷	۷/۵۶	واکنش
۳۷/۷۹***	۱۲/۶۰	۴/۷۰	۲/۰۲	۳/۰۵	۲/۸۹	۲/۲۳	۳/۷۵	۱/۲۴	هدایت الکتریکی (dS/m)
۱۳/۳۳**	۱۱/۵۶	۱۰/۷۵	۸/۲۳	۹/۷۰	۷/۸۳	۷/۵۸	۶/۳۳	۵/۴۶	درصد سدیم تبادل
۰/۴۷***	۰/۵۲	۰/۷	۰/۸۲	۰/۶۸	۱/۲۴	۰/۹۱	۰/۷۳	۰/۲۲	ماده آلی (%)
۲۴/۷۹***	۱۵/۲۶	۱۱/۹۴	۱۱/۴۰	۱۱/۵۲	۱۰/۴۵	۱۰/۵۴	۹/۳۷	۵/۰۰	آهک (%)
۲۵/۲۵***	۹/۰۱	۶/۷۳	۲/۶۴	۳/۹۲	۱/۳۳	۱/۴۰	۱/۴۱	۰/۶۹	گچ (%)

(۵۴/۰ میلی‌متر) و همچنین نفوذپذیری پایین، میزان تولید جریان سطحی بیش‌ترین بود. ماده آلی از یک سو به دلیل بهبود ساختمان خاک و کاهش فروپاشی آن در اثر باران (Emadi et al., 2009) و از سوی دیگر به دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب (Evrendliek et al., 2004)، در کاهش جریان سطحی و فرسایش خاک مؤثر است. خاک‌های ریز بافت به دلیل خاصیت چسبندگی و تخلخل درشت کم، عموماً نفوذپذیری پایین و توان تولید جریان بیشتری دارند (Santos et al., 2003). در خاک لوم‌سیلتی و لوم‌رسی، پایداری خاکدانه‌ها به دلیل ماده آلی اندک کمتر از خاک لومی بود. این خاک‌ها مقاومت کمتری در برابر اثر تخریب قطرات باران داشتند و تولید جریان سطحی در آن‌ها بیش‌تر از خاک لومی بود. دلیل پایین بودن جریان سطحی در خاک شن لومی و خاک لوم‌رسی می‌تواند به نفوذپذیری بیش‌تر این خاک‌ها مربوط باشد. در مطالعه‌ای بررسی اثرات طول‌کرت و بافت خاک بر جریان سطحی و عملکرد رسوب در شمال ایران نشان دادند که مقدار جریان سطحی و رسوب در خاک رسی بیش‌تر از خاک لومی بود (Jourgholami et al., 2020).

### تولید جریان سطحی در خاک‌های با بافت مختلف

جریان سطحی تولید شده در بین شیپارها تحت تأثیر بافت خاک قرار گرفت ( $p < 0/01$ ). تغییرات در نفوذپذیری خاک دلیل اصلی تفاوت در تولید جریان سطحی در بین شیپارها در خاک‌های با بافت مختلف بود (Borselli et al., 2001). مقایسه میانگین تولید جریان سطحی در خاک‌های با بافت مختلف (شکل ۲) نشان داد که تولید جریان سطحی در خاک رسی بالاترین (۵۵/۵ میلی‌متر) و در خاک شنی کمترین (صفر میلی‌متر) بود. در خاک شنی سرعت نفوذ آب به خاک بیش‌ترین بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که خاک‌های دارای مقادیر بیش‌تر شن، به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیش‌تر، جریان سطحی کمتری تولید می‌کنند (Toy et al., 2002; Santos et al., 2003). عموماً خاک‌های درشت بافت، سرعت نفوذ بیش‌تری نسبت به خاک‌های ریز بافت دارند (Romos, 2003). نتایج نشان می‌دهد که نفوذپذیری خاک تنها متأثر از توزیع اندازه ذرات معدنی (بافت) نبوده، بلکه به نوبه خود تحت تأثیر ماده آلی و ساختمان خاک قرار دارد. در خاک رسی به دلیل ماده آلی کم (۵۲/۰ درصد)، پایداری خاکدانه پایین



شکل ۲- مقایسه میانگین جریان سطحی در هشت بافت خاک

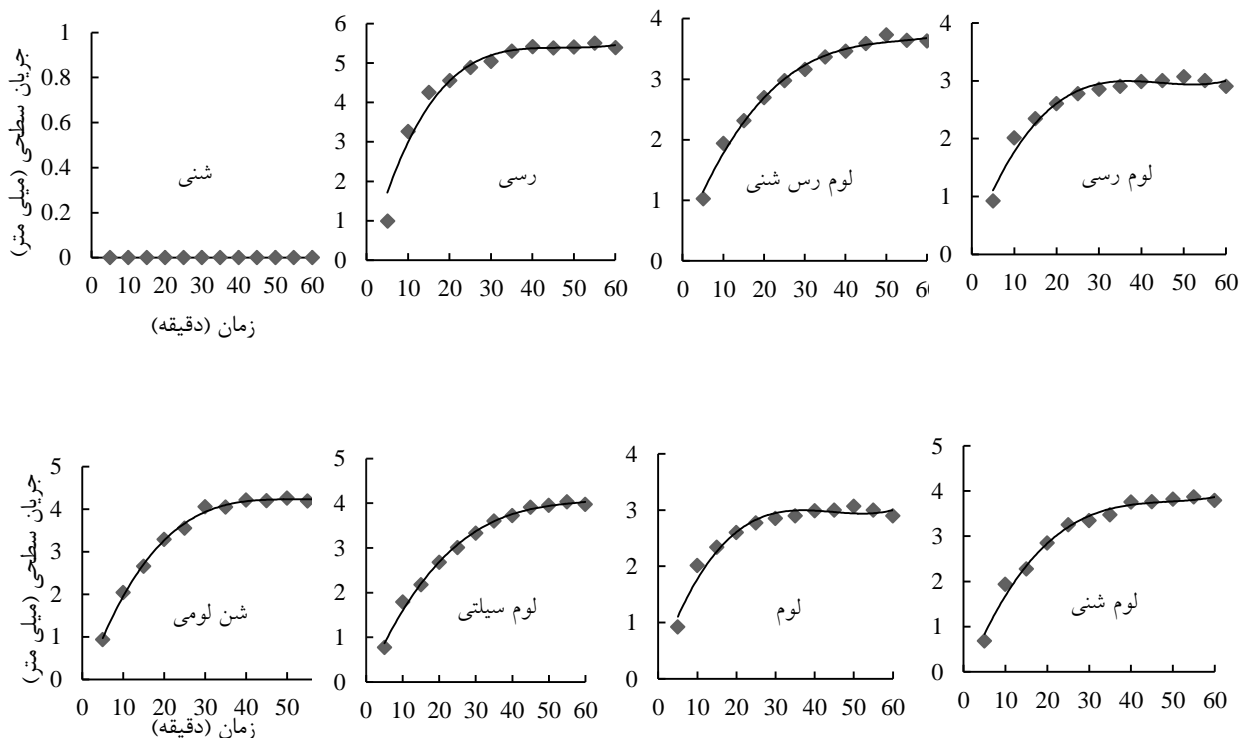
شده و این ذرات به صورت مواد ریزی همراه با جریان ایجاد شده توسط باران در منافذ خاک رسوخ کرده و در نتیجه مقدار نفوذپذیری کاهش یافت. افزایش تدریجی رطوبت خاک در اثر بارندگی نیز عاملی دیگر بود که منجر به کاهش شیب هیدرولیکی خاک شده و در نتیجه نفوذپذیری خاک کاهش یافت. با ثابت شدن نفوذپذیری تولید جریان سطحی در بین شیپارها نیز روند تقریباً ثابتی به خود گرفتند. در هنگام بارندگی به دلیل بسته شدن منافذ خاک در اثر تخریب خاکدانه‌ها، هدایت هیدرولیکی خاک کاهش یافت در نتیجه مقدار نفوذپذیری خاک کاهش یافته و در نهایت نفوذپذیری به حدی ثابت رسید (Alberts et al., 1995).

### تغییرات زمانی جریان سطحی بین شیپارها در خاک‌ها

بررسی تغییرات زمانی تولید جریان سطحی در بین شیپارها نشان داد که میزان جریان سطحی طی زمان بارندگی در خاک‌ها (رسی، لوم رسی، لوم رس شنی، لوم شنی، شن لومی، لوم سیلتی، لومی و شنی) با گذشت زمان افزایش و پس از مدتی به حد تقریباً ثابت رسید (شکل ۳). گرچه چنین منحنی‌هایی تقریباً شبیه منحنی‌های نفوذ آب با فشار ثابت است اما به دلیل نقش قطرات باران در تخریب خاکدانه‌های سطح، شکل منحنی و زمان رسیدن به نفوذ پایه متفاوت می‌باشد و این تفاوت بیش‌تر تحت تأثیر ساختمان خاک است. در حین بارش، قطرات باران با تأثیر بر ساختمان خاک باعث شکسته شدن خاکدانه‌ها

طی تحقیقاتی نشان داده شد که مقاومت به پراکنده شدن و ظرفیت نفوذ بالا در خاک‌های با خاکدانه‌های پایدار، موجب کاهش جریان سطحی و فرسایش در آن‌ها می‌گردد (Romos and Nacci, 1998).

روند تغییرات جریان سطحی طی بارندگی در خاک رسی نسبت به خاک‌های دیگر شدید بود. این موضوع به دلیل پایداری کم و پراکنش‌پذیری زیاد این خاک بود به طوری که در اوایل دوره بارندگی ساختمان خاک به شدت تخریب شد. در خاک لومی به دلیل پایداری خاکدانه نسبتاً بالا شدت جریان سطحی روندی تدریجی داشت. در



شکل ۳- تغییرات زمانی جریان سطحی بین شیارها طی بارندگی در خاک‌های با بافت مختلف

در این آزمایش، از آنجا که شیب زمین در همه کرت‌ها یکسان (۱۰ درصد) بود و رخدادهای یکسانی از باران شبیه‌سازی شده (با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۶۰ دقیقه) بر کرت‌ها اعمال شده بود، تفاوت در تولید رواناب میان کرت‌ها تنها متأثر از ویژگی‌های خاک بود. نتایج تجزیه رگرسیونی میان جریان سطحی و ویژگی‌های خاک مؤثر بر آن نشان داد که درصد شن خاک مهمترین عامل مؤثر بر تولید جریان سطحی در خاک‌های مختلف است (جدول ۳). خاک‌های محتوی شن بیشتر، قابلیت تولید جریان سطحی کمتری داشتند. تأثیر چشمگیر ذرات شن در کاهش جریان سطحی را می‌توان به نقش آن‌ها در افزایش نفوذپذیری خاک نسبت داد. خاک شنی، به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، جریان سطحی کمتری تولید می‌کند (Karamage et al., 2017).

همچنین بررسی همبستگی بین جریان سطحی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها به ترتیب در جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس جریان سطحی همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد سیلت، رس، سنگریزه، چگالی ظاهری، هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم معادل، گچ و درصد سدیم تبادلی داشت. در این بین پایداری خاکدانه‌ها و ماده آلی همبستگی معنی‌داری با جریان سطحی نداشتند. وجود همبستگی مثبت بین رواناب و برخی ویژگی‌های خاک به این دلیل است که خاک‌های رسی مورد آزمایش غالباً حاوی مقادیر بیشتر کاتیون‌های سدیم و کلسیم بودند و همبستگی مثبت میان درصد رس و مقدار سدیم تبادلی، آهک و شوری وجود دارد. چنین خاک‌هایی از یک سو به دلیل نفوذپذیری ذاتی پایین (ناشی از وجود ذرات رس) و از سوی دیگر به دلیل ناپایداری ساختمان (ناشی از سدیم تبادلی و شوری زیاد)، توان تولید رواناب بیشتری دارند.

جدول ۲- همبستگی بین جریان سطحی و ویژگی‌های فیزیکی خاک

متغیر	شن	سیلت	رس	هدایت الکتریکی	سنگریزه	چگالی ظاهری	پایداری خاکدانه	هدایت هیدرولیکی	ماده آلی	آهک	سدیم تبادل	رواناب
شن	۱											
سیلت	-۰/۹**	۱										
رس	-۰/۹**	۰/۶**	۱									
هدایت الکتریکی	-۰/۷**	۰/۴	۰/۸۵**	۱								
سنگریزه	۰/۸**	-۰/۸**	-۰/۸**	-۰/۷۳**	۱							
چگالی ظاهری	۰/۵**	-۰/۵*	-۰/۵*	-۰/۴۱*	۰/۶*	۱						
پایداری خاکدانه	۰/۴	-۰/۵*	-۰/۳	-۰/۱۶	-۰/۶**	-۰/۳	۱					
هدایت هیدرولیکی	۰/۸**	-۰/۷**	-۰/۷**	-۰/۴۱*	۰/۷**	۰/۶**	-۰/۵**	۱				
ماده آلی	-۰/۴	۰/۵*	۰/۲	۰/۰۵	-۰/۵*	-۰/۲	۰/۹**	-۰/۳	۱			
آهک	-۰/۸**	۰/۶**	۰/۸**	۰/۶۴*	-۰/۷**	-۰/۶**	-۰/۸**	۰/۲	۰/۲	۱		
سدیم تبادل	-۰/۸**	-۰/۷**	۰/۸**	۰/۶۳**	-۰/۷**	-۰/۶**	-۰/۷**	۰/۱	۰/۱	۰/۷**	۱	
رواناب	-۰/۷**	۰/۶**	۰/۷**	۰/۷۱**	-۰/۸**	-۰/۶**	-۰/۷**	۰/۱	۰/۱	۰/۷**	۰/۷**	۱

\* و \*\*: معنی داری در سطح ۵٪ و ۱٪

جدول ۳- تجزیه رگرسیون خطی بین عامل جریان سطحی و شن

مدل	ضرایب غیراستاندارد		ضریب استاندارد	t	معنی داری
	B	انحراف معیار			
ثابت معادله	۶۵/۱۹۹	۵/۷۸۸		۱۱/۲۶۴	۰/۰۰۰
شن	-۰/۵۲۴	۰/۱۰۱	-۰/۷۴۳	-۵/۲۱۱	۰/۰۰۰

بر اساس نتایج تجزیه رگرسیونی، رابطه زیر بین تولید جریان سطحی و شن وجود دارد ( $R^2=0/55$ ):

$$\text{Runoff} = 65.199 - 0.524 \text{ Sand} \quad (1)$$

که در آن: Runoff جریان سطحی حاصل از باران (میلی‌متر) با شدت ۶۰ میلی‌متر بر ساعت و Sand درصد شن خاک است.

### نتیجه‌گیری

بررسی توانایی تولید جریان سطحی در خاک‌های با بافت مختلف در منطقه نیمه‌خشک نشان داد که میزان تولید جریان سطحی به شدت تحت تأثیر ویژگی‌های خاک از جمله توزیع اندازه ذرات معدنی است. شدت تولید جریان سطحی طی بارندگی تغییر می‌یابد و این به دلیل کاهش ظرفیت نفوذ آب طی بارندگی است. تخریب ساختمان خاک سطحی و تشکیل اندوده سطحی از یک سو و افزایش محتوای رطوبت خاک از سوی دیگر از علل کاهش فرصت نفوذ آب باران طی

بارندگی است. اهمیت این موضوع در خاک‌های با بافت ریز بیشتر است. در این خاک‌ها به دلیل بالا بودن توان نگهداری آب در خاک، زهکشی خاک کمتر است و به دلیل کاهش شیب هیدرولیکی طی بارندگی، شدت نفوذ آب به خاک دچار افت بیشتری می‌شود. این موضوع باعث می‌شود حداکثر شدت جریان سطحی در خاک‌های ریزبافت در زمان کوتاه‌تری به وقوع بپیوندد. بررسی ماتریس همبستگی بین جریان سطحی و ویژگی‌های خاک نشان داد که جریان سطحی تحت تأثیر درصد ذرات معدنی و سنگریزه، چگالی ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد سدیم تبادل، آهک و گچ خاک است. با این وجود نقش ماده آلی و ساختمان در تولید جریان سطحی چشمگیر نبود. به‌طور کلی درصد ذرات شن مهمترین عامل مؤثر بر تولید جریان سطحی در خاک‌های منطقه نیمه‌خشک است.

## منابع

- watershed model documentation. NSERL Report No. 10, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana, 47907.
- Adekalu, K.O., Olorunfemi, I.A. and Osunbitan, J.A. 2007. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technology*. 98: 912-917.
- Borselli, L., Torri, D., Poesen, J. and Salvador Sanchis, P. 2001. Effects of water quality on infiltration, runoff and interrill erosion processes during simulated rainfall. *Earth Surf. Processes Landforms*, 2: 329-342.
- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 56: 464-466.
- Chapman, H.D. and Pratt, P.F. 1978. *Methods of Analysis for soils, plants and waters*. Division of Agric. Sci. Univ. California, Berkeley, USA, 309.
- Christiansen, J. E. 2013. *Irrigation by Sprinkling California Agricultural Experiment Station Bulletin* 670.
- Duiker, S. W., Flanagan, D. C. and Lal, R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45:103-121.
- Emadi, M., Baghernejad, M. and Memarian, H.R. 2009. Effect of land-use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in northern Iran. *Land Use Policy*, 26: 452-457.
- Evrendilek, F., Celik, I. and Kilic, S. 2004. Changes in soil organic carbon and other physical soil properties along adjacent Mediterranean forest, grassland, and cropland ecosystems in Turkey. *Journal of arid environments*. 59(4): 743-752.
- Hazelton, P. and Murphy, B. 2007. *Interpreting soil test results*. CSIRO publishing. p. 169.
- Jourgholami, M. and Labelle, E.R. 2020. Effects of plot length and soil texture on runoff and sediment yield occurring on machine-trafficked soils in a mixed deciduous forest. *Annals of Forest Science*. 77(1): 1-11.
- Karamage, F., Zhang, C., Liu, T., Maganda, A. and Isabwe, A., 2017. Soil erosion risk assessment in Uganda. *Forests*. 8(2): 52.
- Kemper, W.D. and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*. 5: 425-442.
- Kumar, A., Kanga, S., Taloor, A.K., Singh, S.K. and Durin, B., 2021. Surface runoff estimation of Sind river basin using integrated SCS-CN and GIS techniques. *HydroResearch*, 4: 61-74.
- Pansu, M. and Gautheryou, J. 2007. *Handbook of soil*
- ابراهیمی، ن.ق. ۱۳۸۰. بررسی تأثیر بهره‌برداری‌های مختلف اراضی در فرسایش و رسوب حوزه آبخیز کهریز اراک. مجموعه مقالات مدیریت اراضی. فرسایش خاک و توسعه پایدار. اراک ۲-۴ بهمن ۳۶۲-۳۷۵.
- احمدیان، س. ح. صفایی، م. و جعفری، ب. ۱۳۸۴. مقایسه فرسایش خاک در عرصه‌های دیم‌زار، دیم‌زار رها شده، مرتع و جنگل در حوزه آبخیز کسلیان، مازندران. مجموعه مقالات همایش سومین همایش ملی فرسایش و رسوب. تهران ۶-۹ شهریور ۱۳۸۴: ۴۸۲-۴۸۵.
- اسدی، ح.، محمودی، ش. و حیدری، ا. ۱۳۸۶. اثر تشکیل اندوده سطحی بر دینامیک فرسایش ورقه‌ای. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران کرج. ۱۱۴۸-۱۱۴۹.
- حسن زاده، ح. و اعظمی، ع. و محمدی، م. ۱۳۹۲. تغییرات رواناب در ابعاد کرت در نمونه‌های خاک با بافت مختلف تحت رخدادهای یکسان باران شبیه‌سازی شده. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران). ۴۴(۳): ۲۴۵-۲۵۴.
- خاکسارفر، م. ۱۳۷۳. تلفات آب و روش‌های کاهش آن. نشریه علمی، اجتماعی و فرهنگی آب و فاضلاب کشور. ۹: ۲۵-۲۹.
- زارع خورمیزی، م. نجفی‌نژاد، ع. نورا، ن. و کاویان، ع. ۱۳۹۲. اثر برخی ویژگی‌های خاک بر تولید رواناب و هدررفت خاک در اراضی کشاورزی حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان. ۱۷(۶۴): ۱۷۳-۱۸۳.
- واعظمی، ع. و بخشی‌راد، ا. ۱۴۰۱. بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر تولید رواناب در سه زیرحوضه شمال غرب ایران. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۴(۴): ۴۵۰-۴۶۴.
- واعظمی، ع. ر.، اکبری، س. و محمدی، م. ح. ۱۳۹۳. بررسی فرایندهای فرسایش بارانی در خاکدانه‌ها تحت شرایط آزمایشگاهی در خاک‌های آهکی شمال غرب زنجان. تحقیقات آب و خاک ایران. ۱(۱): ۸۷-۹۴.
- واعظمی، ع. ر.، کرد، م. و مهدیان، م. ح. ۱۳۹۶. تغییرپذیری زمانی تولید رواناب تحت تأثیر شیب در خاک‌های با بافت مختلف. تحقیقات آب و خاک ایران. ۱(۴): ۷۷-۸۵.
- Alberts, E. E., Nearing, M. A., Wertz, M. A., Risse, L. M., Pierson, F. B., Zhang, X. C., Lafren, J. M. and Simanton, J. R. 1995. Chapter 7. Soil component. In: DC Flanagan and MA Nearing (eds.), *USDA-Water Erosion Prediction Project hillslope profile and*



- International Journal of Sediment Research, 24: 46-62.
- Li, T., Shao, M.A., Jia, Y., Jia, X. and Huang, L. 2018. Profile distribution of soil moisture in the gully on the northern loess plateau, China. *Catena*, 171:460-468.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*, 5: 475-490.
- Toy, T.J., Foster, G.R. and Renard, K.G., 2002. *Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control*. John Wiley & Sons.
- Truman, C.C. and Bradford, J.M., 1995. Laboratory determination of interrill soil erodibility. *Soil Science Society of America Journal*. 59(2):519-526.
- Vaezi, A.R., Hasanzadeh, H. and Cerda, A., 2016. Developing an erodibility triangle for soil textures in semi-arid regions, NW Iran. *Catena*. 142: 221-232.
- Vilayvong, K., Yasufuku, N. and Ishikura, R. 2016. Rainfall-induced soil erosion and sediment sizes of a residual soil under 1D and 2D rainfall experiments. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 218: 171-180.
- Xue D., Zhou J., Zhao X., Liu C., Wei W., Yang X., Li Q., Zhao Y. 2021. Impacts of climate change and human activities on runoff change in a typical arid watershed, NW China. *Ecological Indicators* 121: p. 107013.
- Zhang X., Song J., Wang Y., Deng W., Liu Y. 2021. Effects of land use on slope runoff and soil loss in the Loess Plateau of China: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*. 755: 142418.
- Zhang, G. H., Liu, B. Y., Liu, G. B., He, X. W., Nearing, M. A. 2003. Detachment of undisturbed soil by shallow flow. *Soil Science Society of American Journal*. 67: 713-719.
- analysis: mineralogical, organic and inorganic methods. Springer Science and Business Media.
- Perlman, H., 2016. USGS Water Science School. *The World's Water: Water, water, everywhere*.
- Pérez-Latorre, F.J., de Castro, L. and Delgado, A. 2010. A comparison of two variable intensity rainfall simulators for runoff studies. *Soil and Tillage Research*. 107(1): 11-16.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods*. 5: 417-435.
- Romos, M. C. and Nacci, S. 1998. Surface aggregate stability and its relationship with the soil erodibility in the Anoia-Pened (Spain). *Proceedings 16th World Congress of Soil Science. Symposium 20, Ref. 1766, ISSS-AISS-IBG-SICS 1998*, pp. 8, Publicacion en CD-ROM Cirad.
- Romos, M. C., Nacci, S. and Pla, I. 2003. Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregation forces. *Department of Environment and Soil Science, University of Lleida, AlcaldeRoviraRoure*, 191: 25198 Lleida, Spain. *Catena*. 53: 65-376.
- Rowell, D. I. 1994. *Methods and Application*. Longman Group. Harlow, 345.
- Salem, H.M., Ali, A.M., Wu, W. and Tu, Q., 2021. Initial effect of shifting from traditional to no-tillage on runoff retention and sediment reduction under rainfall simulation. *Soil Research*. 60(6): 547-560.
- Santos, F.L., Reis, J. L., Martins, O.C., Castanheria, N.L. and Serralherio, R. P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering*. 86(3): 355-364.
- Shih, H. M. and Yang, C. T. 2009. Estimating overland flow erosion capacity using unit stream power.

## Investigation Temporal Variation of Surface Runoff and Its Relation with Soil Properties in Semi-Arid Soils

A.R. Vaezi<sup>1\*</sup>, N. Fakuri Ivand<sup>2</sup>, F. Azarifam<sup>3</sup>

Received: Sep.10, 2023

Accepted: Nov.01, 2023

### Abstract

Surface runoff is the main factor eroding soil which causes sheet and interrill erosion in gentle slopes. It started when water infiltration would be lower than rainfall intensity during rainfall event. Soil properties can vary amount and rate of surface runoff during rainfall. This study was carried out to investigate the role of soil properties in amount of surface runoff generation and its temporal variations in different soil textures. Eight soil textures placed in 1 m × 1.2 m plots were exposed under seven simulated rainfalls with 60 mm h<sup>-1</sup> in intensity for 60 min. Runoff samples were collected for 5-min intervals during each event. Results indicated that various soil physicochemical properties are different among the soils. Surface runoff varied among the soils and the highest runoff (55.51 mm) was in clay, while sand didn't produce any runoff during rainfall. Surface runoff production rate temporally increased during rainfall and reached to a pick after about 30-50 min. Time to pick was very short (30 min) in fine textured soils. The correlation analysis showed that surface runoff is significantly affected by sand, silt clay, bulk density, gravel, hydraulic conductivity, calcium carbonate, gypsum and ESP. With an increase in soil hydraulic conductivity, surface runoff was inversely differed. Linear regression analysis showed that sand percentage is the most important factor controlling surface runoff in semi-arid soils. Controlling surface runoff in the soils with lower percentage of sand as well as hydraulic conductivity is essential to prevent sheet and interrill erosion in semi-arid soils.

**Key words:** Hydraulic conductivity, Interrill erosion, Runoff, Simulated rain, Soil texture

1- Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2-. Former master's student of the Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3- Ph.D student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

(\*- Corresponding Author Email: vaezi.alireza@gmail.com; vaezi.alireza@znu.ac.ir)