



## بررسی تولید رواناب و رسوب تحت رخدادهای یکسان بارندگی در خاک کشاورزی با اندازه متفاوت خاکدانه

سیده فاطمه اسلامی<sup>۱</sup> - علی رضا واعظی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۴/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۴

### چکیده

آگاهی از میزان تغییرات رواناب و رسوب در رخدادهای باران می‌تواند در مدل‌سازی تولید رواناب و رسوب مفید واقع شود. از این رو پژوهش با هدف بررسی تولید رواناب و رسوب خاکدانه‌ها طی رخدادهای یکسان باران در خاک کشاورزی به اندازه‌های مختلف خاکدانه انجام رسید. برای انجام این پژوهش، پنج کلاس اندازه خاکدانه از یک خاک لوم‌رسی‌شنی به وسیله الک‌های مربوطه نمونه‌برداری شد. خاکدانه‌ها تا عمق ۱۰ سانتی‌متری به پانزده فلوم با ابعاد ۱۰۰ سانتی‌متر × ۵۰ سانتی‌متر و عمق ۱۵ سانتی‌متر در سه تکرار منتقل شد. سپس فلوم‌های محتوی خاکدانه در شیب ۹ درصد قرار گرفته و تحت ۱۰ رخداد باران شبیه‌سازی شده با شدت یکسان ۶۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۳۰ دقیقه و فواصل زمانی پنج روز قرار گرفتند. در پایان هر رخداد مقدار رواناب و رسوب تولید شده در ظروف انتهایی فلوم‌ها جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین رخدادهای رواناب (p < ۰/۰۵) و غلظت رسوب (p < ۰/۰۰۱) و مقدار رسوب (p < ۰/۰۰۱) وجود داشت. در رخداد اول، به دلیل پایین بودن رطوبت اولیه خاک‌ها و نیز بالا بودن پایداری خاکدانه‌ها، تولید رسوب پایین بود. از رخداد سوم به بعد با افزایش رطوبت اولیه و کاهش مقاومت خاکدانه‌ها، افزایش شدیدی در تولید رواناب و رسوب مشاهده شد و از رخداد هفتم به بعد به دلیل تخریب شدید خاک و افزایش چشمگیر غلظت رسوب، مقدار رسوب نسبت به رواناب (به اندازه ۲/۹۳ برابر) به شدت افزایش یافت و به بیشترین مقدار خود رسید.

واژه‌های کلیدی: باران شبیه‌سازی شده، ساختمان خاک، غلظت رسوب

### مقدمه

بستگی دارد (۱۶). هر یک از این عوامل می‌توانند تحت تأثیر عوامل دیگر قرار گیرند (۲). مطالعات نشان داده است که علاوه بر آن که تولید رواناب و رسوب تحت تأثیر تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک تغییر می‌یابند (۲۸)، قابلیت خاک در تولید رواناب و رسوب در طی زمان نیز ثابت نیست بلکه با تغییرات اقلیم و ویژگی‌های خاک و باران تغییر می‌یابد (۲۶).

در مورد تغییرات زمانی تولید رواناب و رسوب و فرسایش‌پذیری خاک طی رخدادهای باران پژوهش‌های متعددی انجام گرفته است. با این حال مقیاس مطالعه اغلب ماهانه یا فصلی بوده است. به عنوان مثال می‌توان به پژوهش‌های خزایی و همکاران (۲۴) در حوزه جنگلی البرز، محمدی و کاویان (۲۸) در حوضه خامسان در استان کردستان، والاس و همکاران (۳۶) در خاک‌های سویل اسپانیا، هانتینگتن (۲۰) در شرق آمریکای شمالی، اندال و همکاران (۱۳) در نواحی نیمه‌معتدل کاستاریکا در آمریکای شمالی و کربایی و همکاران (۲۵) در خاک‌های سواحل ولز اشاره کرد که همه به نوبه خود نتیجه گرفته‌اند که در فصول تر سال از جمله اواخر پاییز، زمستان و اوایل بهار به دلیل

فرسایش آبی یکی از انواع اصلی فرسایش خاک است. سالانه میلیون‌ها تن خاک در اثر این نوع فرسایش از سطح حوضه‌ها جابه‌جا می‌شود (۱۵). فرسایش آبی شامل فرایندهای جدا شدن و انتقال ذرات و در نهایت رسوب به‌وسیله دو عامل باران و رواناب است (۱۰). رواناب از عوامل مهم انتقال دهنده ذرات خاک از بستر اولیه است. تشکیل رواناب نتیجه آن بخش از نزولات آسمانی وارد شده بر سطح خاک است که در خاک نمی‌تواند نفوذ یابد (۱۲). بررسی تولید رواناب و رسوب یکی از فرایندهای اصلی و مهم فرسایش و هدررفت خاک بوده که آگاهی از ویژگی‌های مؤثر بر آن امری ضروری به نظر می‌رسد. تولید رواناب و رسوب در اثر فرسایش آبی به عواملی هم‌چون بافت خاک، ساختمان و نفوذپذیری خاک و نیز خصوصیات باران

۱ و ۲- به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، شهرستان زنجان

\*- نویسنده مسئول : (Email: vaezi.alireza@gmail.com)

طی رگبارهای متناوب انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### نمونه برداری خاکدانه و پیاده‌سازی طرح آزمایشی

برای اجرای پژوهش، خاک لوم رسی به عنوان بافت خاک غالب منطقه، از زمینی کشاورزی در محدوده دانشگاه زنجان واقع در ۱۱° ۳۶' عرض شمالی و ۳۷° ۰۹' طول شرقی از یک خاک لوم رسی برداشته شد. تعداد پنج کلاس اندازه خاکدانه شامل کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر، ۲ تا ۴/۷۵ میلی‌متر، ۴/۷۵ تا ۵/۶ میلی‌متر، ۵/۶ تا ۹/۷۵ میلی‌متر و ۹/۷۵ تا ۱۲/۷ میلی‌متر که دارای بیشترین فراوانی در خاک بودند، جهت نمونه برداری در نظر گرفته شدند. خاکدانه‌های یاد شده به میزان حدود ۳۰۰ کیلوگرم از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برداشته و به آزمایشگاه فرسایش خاک منتقل شد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی نقطه نمونه برداری خاک را نشان می‌دهد. تعداد پانزده فلوم فلزی محتوی خاکدانه در قالب طرح کاملاً تصادفی برای پنج کلاس خاکدانه به عنوان تیمار در سه تکرار تحت شرایط آزمایشگاهی قرار گرفت (شکل ۲-الف). فلوم‌های محتوی خاکدانه عبارت از فلوم‌هایی به ابعاد ۱۰۰ سانتی‌متر × ۵۰ سانتی‌متر و عمق ۱۵ سانتی‌متر بودند. در انتهای هر فلوم، سوراخی دارای لوله پلیکا جهت خروج مخلوط رواناب و رسوب و در قسمت پایین دست آن ظرف پلاستیکی برای جمع‌آوری آن (با حجم متوسط سه لیتر) تعبیه شد.

### اعمال رخدادهای باران شبیه‌سازی شده

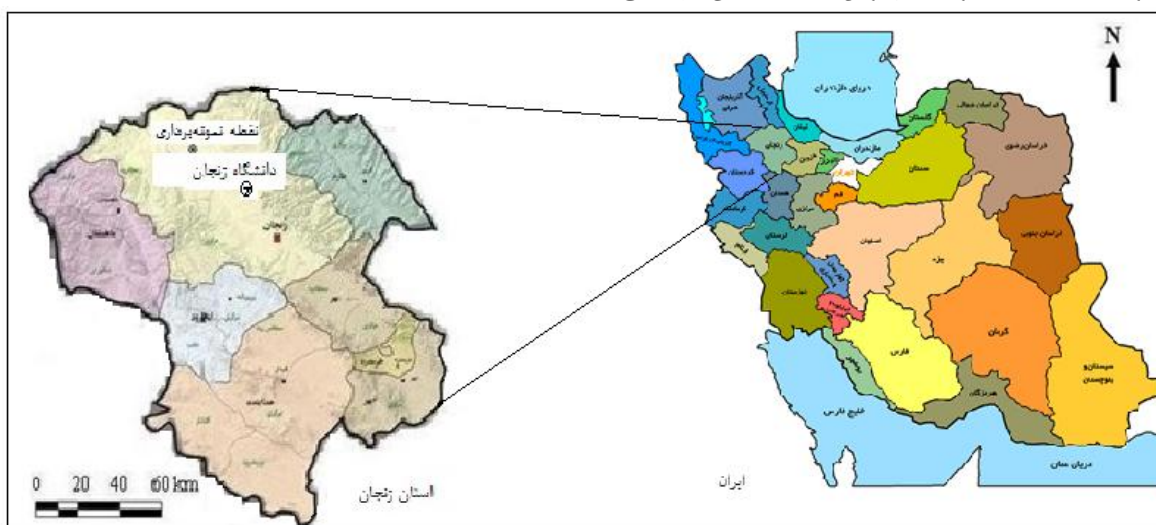
از آنجا که وقوع رخدادهای طبیعی باران (شدت و مدت بارش) به دقت قابل پیش‌بینی نیست و احتمال وقوع رخدادهای مشابه باران نیز بسیار اندک است، لذا برای بررسی میزات تولید رواناب و رسوب از یک دستگاه شبیه‌ساز باران استفاده شد (شکل ۲-ب). دستگاه باران-ساز از یک سطح بارش با حدود ۵۰۰ نازل تشکیل شده بود که در ارتفاع ۲۸۰ سانتی‌متری از سطح زمین قرار داشت. این دستگاه توانایی تولید قطراتی با قطر حدود ۲/۵ میلی‌متر با شدت‌های متغیر (از ۴۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت) را دارا بود. آب تحت فشار ثابت از داخل تانک آب به صفحه بارش وارد شده و به طور یکنواخت بر سطح خاک تحت آزمایش به طور ثقیلی برخورد می‌نمود. برای بررسی تغییرات رواناب و رسوب تولید شده طی رخدادهای متناوب باران، تعداد ۱۰ رخداد بارندگی از اواسط تابستان تا اوایل پاییز ۱۳۹۰ به فاصله پنج روز از هم‌دیگر روی ۱۵ فلوم فلزی اعمال شد. در مجموع تعداد ۱۵۰ رخداد باران در نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. شدت بارندگی برابر با ۶۰ میلی‌متر بر ساعت بود که بر مبنای شدت‌های فرساینده باران در منطقه و از پیش‌آزمایش روی نمونه‌های اولیه به دست آمد. همچنین این شدت بارندگی در محدوده شدت‌های باران منطقه (کمتر از ۱۰ تا

افزایش ذخیره رطوبتی خاک و کاهش نفوذپذیری خاک، تولید رواناب و رسوب بالا بود. پژوهش‌های محدودی در مورد تغییرات رواناب و رسوب در ابعاد رخداد بارندگی در سراسر جهان انجام گرفته است. در پژوهشی حمیدی نهرانی و همکاران (۱۸) تولید رواناب و رسوب در خاک‌های ماری تحت مصرف پلیمر پلی‌وینیل استات را در پنج رخداد باران شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که مقدار رواناب و رسوب تحت تأثیر رخداد بارندگی قرار گرفت ( $p < 0.001$ ) و از رخدادی به رخداد دیگر به دلیل افزایش تخریب و تراکم خاک افزایش یافت. در رخداد پنجم به دلیل کاهش ذرات فرسایش‌پذیر در سطح خاک، تولید رسوب تا اندازه‌ای کاهش پیدا کرد. حسن زاده و همکاران (۱۹) در خاک‌های با بافت مختلف در استان زنجان نیز نشان دادند که از رخداد اول تا رخداد چهارم، رطوبت خاک و تولید رواناب افزایش و زمان آغاز رواناب به طور معنی‌داری کاهش یافت. از رخداد پنجم به بعد، احتمالاً به دلیل به پایان رسیدن نسبی تخریب ساختمان خاک، تفاوت چشمگیری در مشخصه‌های رواناب دیده نشد. بر اساس نتایج، بین زمان آغاز رواناب و نیز عمق رواناب و رطوبت خاک رابطه-ای معنی‌دار (به ترتیب  $p < 0.001$  و  $R^2 = 0.96$ ) و  $p < 0.001$ ،  $R^2 = 0.94$ ) وجود داشت. آسولاین و بن هور (۲) به بررسی نفوذ، رواناب و هدررفت خاک پرداختند و به این منظور از شبیه‌ساز باران در ۵ شب مختلف و دو شدت بارش 24 و 60 میلی‌متر در ساعت استفاده شد. چنگ و همکاران (۱۰)، با استفاده از شبیه‌ساز باران به بررسی رابطه زاویه شیب و سله سطح خاک بر رواناب و هدررفت خاک در مناطق تپه ماهوری فلات لسی چین پرداختند. نتایج بیانگر آن است که با افزایش شیب، ۲۰-۳۰ درجه، رواناب و هدررفت خاک افزایش و با شکستن سطح سله خاک، تولید رواناب و هدررفت خاک کاهش می‌یابد. وهابی و مهدیان (۳۴)، در حوزه طالقان از یک باران‌ساز در پلاتی به ابعاد ۰/۸۹ متر × ۱/۲ متر، به منظور مطالعه اثر شیب، پوشش گیاهی، بافت خاک و رطوبت اولیه خاک بر رواناب استفاده نمودند. آن‌ها گزارش کردند که پوشش گیاهی و رطوبت اولیه خاک در هر دو بارش به ترتیب بیش‌ترین تأثیر منفی و مثبت را بر رواناب دارد ولی درصد شیب همبستگی کمی با رواناب نشان داد. در پژوهشی ویلیامز و همکاران (۳۷) در خاک‌های منطقه تگزاس آمریکا گزارش نمودند که طی رخدادهای باران با افزایش مقدار رواناب تولید رسوب نیز افزایش یافت ( $R^2 = 0.96$ ). دلیل این افزایش کاهش نفوذپذیری آب به خاک بیان شد.

پاسخ خاک در برابر فرآیندهای فرسایشی بسیار پیچیده بوده و از رخدادی به رخداد دیگر به دلیل تغییر خصوصیات خاک مانند ساختمان و شرایط آن مانند رطوبت اولیه می‌تواند متفاوت باشد. این پاسخ را می‌توان در خاک‌های با خاکدانه‌های متنوع (از نظر اندازه) تحت باران‌های شبیه‌سازی شده پایش کرد. بنابراین، این پژوهش به منظور بررسی تغییرات تولید رواناب، رسوب و غلظت آن در خاکدانه‌ها

فلومها نیز در شرایط کاملاً هوا خشک آغاز شد. در رخدادهای بعدی، رطوبت اولیه خاکها پیش از اعمال باران به روش جرمی اندازه‌گیری شد.

۸۰ میلی‌متر بر ساعت) قرار داشته و امکان شبیه‌سازی یکنواخت آن در دستگاه باران ساز فراهم بود. مدت بارندگی در تمام رخدادها نیز ثابت و به مدت ۳۰ دقیقه بود. اعمال اولین رخداد بارندگی بر سطح



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نقطه نمونه‌برداری خاکدانه‌ها  
Figure 1- Geographical location of sampling points of aggregates



(ب)



(الف)

شکل ۲- فلوم‌های فلزی محتوی خاکدانه (الف) و شبیه‌ساز باران مورد استفاده در آزمایش (ب)  
Figure 2- Erosion flume (a) and rainfall simulator used to the erosion experiments (b)

شده در هر رخداد تعمیم داده شد. از تقسیم مقدار رسوب بر حجم مخلوط، غلظت رسوب بر حسب گرم بر لیتر در هر رخداد به دست آمد.

#### تعیین ویژگی‌های خاکدانه‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در هر یک از نمونه‌های خاکدانه‌ها (پنج کلاس) به طور جداگانه در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. برای این منظور درصد ذرات معدنی خاک به روش هیدرومتر، گی و بادر (۱۵) اندازه‌گیری شد. جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر، کالی (۱۱) و جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر، کلوت (۲۶)

#### اندازه‌گیری رواناب، رسوب و غلظت رسوب طی رخدادها

برای اندازه‌گیری رواناب و رسوب تولید شده در هر رخداد، ابتدا حجم مخلوط رواناب و رسوب داخل ظرف پایین دست هر فلوم در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. سپس، ظروف یاد شده را به طور دستی کاملاً به هم زده و نمونه‌ای همگن از مخلوط رواناب و رسوب با حجم حدود نیم لیتر وزن و حجم آن تعیین شد. در آزمایشگاه رسوب داخل نمونه از رواناب با استفاده از کاغذ صافی جدا شد. پس از خشک شدن نمونه‌ها داخل آون (۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت)، رسوب وزن شد. مقدار رسوب هر نمونه به کل مخلوط رواناب و رسوب تولید

رسم شد. نوع رابطه بین رسوب و رواناب و غلظت آن نیز با استفاده از این نرم افزار به دست آمد. پیش از تحلیل داده‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌های رواناب و رسوب و غلظت آن به طور جداگانه به روش تعیین چولگی، کشیدگی و منحنی توزیع فراوانی بررسی شد.

### نتایج و بحث

بر اساس نتایج، خاک مورد مطالعه دارای بافت لومرسی بود. میزان ماده آلی خاک بسیار پایین (۰/۶۱ درصد) و پایداری خاکدانه‌ها (شش تا هشت میلی‌متر) در آب بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه نسبتاً پایین (۱/۱۳ میلی‌متر) بود. خاک مورد مطالعه، آهکی (۱۶/۴۲ درصد کربنات‌ها) بوده و دارای مقدار پایینی از گچ و سدیم تبادلی بود. وجود شن (۴۲/۲۷ درصد) و نیز سنگریزه زیاد (۳۱/۲ درصد) یکی از علل بالا بودن جرم مخصوص ظاهری خاک (۱/۴۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بود (جدول ۱).

نتایج نشان داد که رخدادهای باران اثری معنی‌دار بر تولید رواناب ( $p < 0.05$ )، رسوب ( $p < 0.001$ ) و غلظت رسوب ( $p < 0.001$ ) داشتند (جدول ۲). دلیل این موضوع، تغییرات ساختمان خاک تحت تأثیر باران در رخدادهای مختلف بود. در پژوهشی، ویلیامز و همکاران (۳۷) نیز نشان دادند که رخدادهای یکسان بارندگی (شدت ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر بر ساعت) اثری معنی‌دار ( $p < 0.05$ ) بر تولید رواناب داشت. شکل (۳) تغییرات رواناب و رسوب طی رخدادهای متناوب باران را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج با افزایش رخدادهای باران، تولید رواناب نیز افزایش یافت.

تعیین شد. تخلخل خاک بر اساس جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک محاسبه شد. پایداری خاکدانه در هر کلاس بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار (MWD) به روش الک تر، آمزکتا و همکاران (۶) با استفاده از سری الک‌های مربوطه به مدت یک دقیقه با دور ۲۰ دور در دقیقه تعیین شد. هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت، باور و جکسون (۶) اندازه‌گیری شد. فراوانی سنگریزه (قطر بین دو تا هشت میلی‌متر) در خاکدانه‌ها، از نسبت جرم سنگریزه خاکدانه‌ها به جرم کل خاکدانه‌ها به دست آمد. واکنش خاک در گل اشباع با استفاده از pH متر و هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با استفاده از EC متر در هر یک از خاکدانه‌ها اندازه‌گیری شدند. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاکدانه‌ها به روش استات سدیم یک نرمال در  $pH = 8.2$ ، رودز (۳۱) اندازه‌گیری شد. درصد سدیم تبادلی (ESP) با استفاده از دستگاه فلیتومتتر، چاپمن و پرات (۹) در خاکدانه‌ها تعیین شد. ماده آلی به روش والکی-بلاک، نلسون و سامرس (۲۹)، آهک به صورت کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک یک نرمال، جکسون (۲۱) و گچ نیز به روش استون، ریچارد (۳۲) در هر یک از نمونه‌های خاکدانه اندازه‌گیری شد.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

تفاوت بین رخدادهای بارندگی از نظر تولید رواناب، رسوب و غلظت رسوب به روش مقایسه میانگین بر اساس آزمون دانکن بررسی شد. برای این منظور از نرم افزار SPSS نسخه ۱۸ استفاده شد. همچنین تغییرات تولید رواناب و رسوب تحت تأثیر رخدادهای باران به صورت نمودارهایی با استفاده از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۰

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Physicochemical properties of the soil aggregates

میانگین	ویژگی شیمیایی	میانگین	ویژگی فیزیکی
Mean	Chemical property	Mean	Physical property
7.56	واکنش	42.27	شن (%)
	pH		Sand (%)
1.05	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	23.73	سیلت (%)
	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )		Silt (%)
0.61	ماده آلی (%)	34.00	رس (%)
	Organic matter (%)		Clay (%)
16.42	کربنات کلسیم معادل (%)	31.20	سنگریزه (%)
	Calcium carbonate equivalent (%)		Gravel (%)
3.75	گچ (%)	1.44	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمتر مکعب)
	Gypsum (%)		Bulk density ( $\text{g cm}^{-3}$ )
1.48	درصد سدیم تبادلی	1.13	پایداری خاکدانه در آب (میلی‌متر)
	ESP		Water-stable aggregate (mm)
14.95	ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی والان بر صد گرم)	0.077	هدایت هیدرولیکی اشباع (متر بر روز)
	CEC ( $\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$ )		Saturated hydraulic conductivity ( $\text{m day}^{-1}$ )

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر رخداد بارندگی بر رواناب، رسوب و غلظت رسوب

Table 2- Analysis of variance effect of the rainfall event on runoff, sediment and sediment concentration

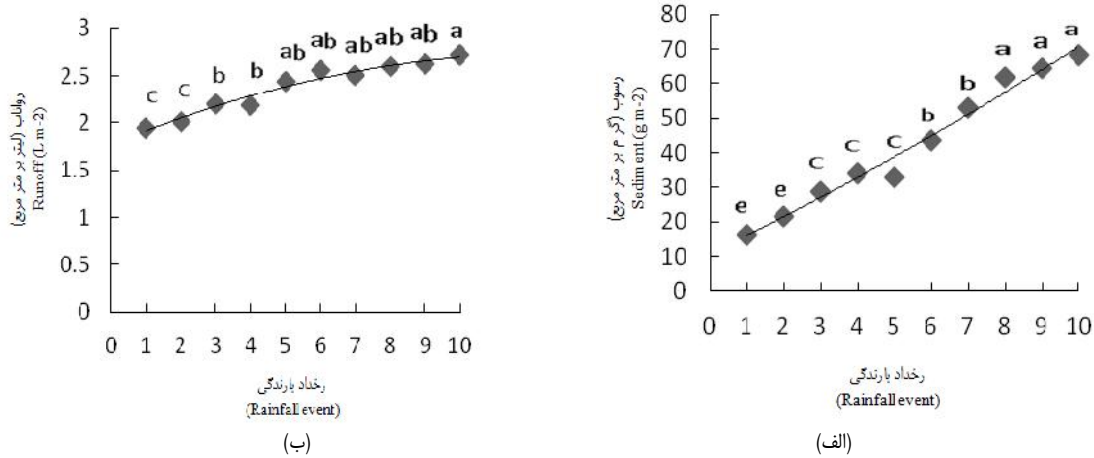
منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مجموع مربعات	سطح معنی داری
Variation resource	DF	MS	SS	Significance
رواناب				
Runoff	9	0.337	3.035	0.036
خطا	140	390720.233	429297225.06	
Error	0.35			
ضریب تغییرات				
Variation coefficient				
مقدار رسوب	9	1463.988	13175.894	0.000
Sediment				
خطا	140	455.017	50051.817	
Error				
ضریب تغییرات	0.11			
Variation coefficient				
غلظت رسوب	9	0.657	5.914	0.000
Sediment concentration				
خطا	140	0.030	3.309	
Error				
ضریب تغییرات	0.09			
Variation coefficient				

(۲۷) بیان کرد که رسوب دهی یک خاک در هر زمان تحت تأثیر مقدار باران و رواناب حاصل از آن قرار داشت.

شکل (۴) تغییرات غلظت رسوب (نسبت رسوب به رواناب) در طی رخدادهای متناوب باران را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که با افزایش رخدادهای باران، غلظت رسوب نیز افزایش یافت. بر اساس نتایج از رخدادی به رخداد دیگر به دلیل این که افزایش تولید رسوب در رخدادهای بارندگی به مراتب بیش تر از افزایش تولید رواناب در رخدادها بود (به اندازه ۲/۹۳ برابر)، در نتیجه غلظت رسوب نیز در طی رخدادها افزایش یافت. این افزایش از رخداد اول تا رخداد ششم بسیار چشمگیر بود. این نتیجه با یافته‌های کاتان و همکاران (۸) مطابقت داشت. نتایج آن‌ها نشان داد که تا رخداد ششم غلظت رسوب به دلیل افزایش بیش تر رسوب نسبت به رواناب افزایش یافت ( $R^2=0/77$ ) و  $p<0/05$ . از رخداد ششم به بعد به دلیل عدم افزایش قابل توجه رواناب، افزایش تولید رسوب نیز شدید نبود.

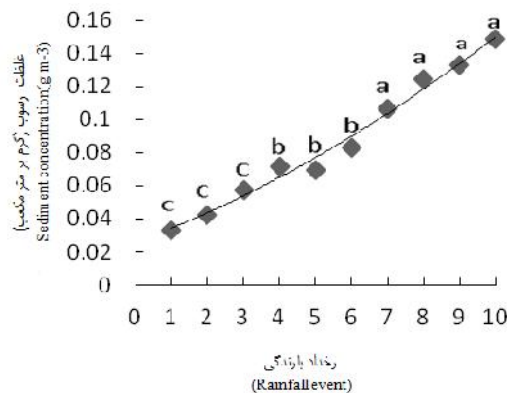
تولید رسوب طی رخدادهای بارندگی، به شدت تحت تأثیر تولید رواناب قرار گرفت ( $p<0/01$  و  $R^2=0/89$ ) و با افزایش رواناب، تولید رسوب نیز افزایش یافت (شکل ۵). یافته‌های کانتون و همکاران (۷) نیز نشان داد که با کاهش سرعت نفوذ در سه رخداد بارندگی، رواناب و به دنبال آن رسوب نیز افزایش یافت. همچنین یافته‌های بایهوا و همکاران (۳) نشان داد که رخداد بارندگی عاملی مهم در تولید رواناب و رسوب بود به طوری که با افزایش رواناب طی پنج رخداد بارندگی، رسوب نیز به طور معنی‌دار ( $p<0/05$ ) افزایش یافت.

در رخدادهای اولیه به دلیل خشک بودن خاک و تخریب کم ساختمان خاک، تولید رواناب پایین بود. یافته‌های ویلیامز و همکاران (۳۷) نیز نشان داد که از رخدادی به رخداد دیگر، با افزایش مقدار رواناب بر تولید رسوب نیز افزوده شد ( $R^2=0/96$ ). افزایش رواناب در پژوهش حاضر به این دلیل بود که با افزایش رخداد باران، تخلخل درشت خاک کم تر شده، بلانکو ول (۵) و نفوذپذیری خاک نیز کاهش یافت گوتتا (۱۷). همچنین کاهش مقاومت خاکدانه‌ها در برابر تخریب باران، وو و همکاران (۳۹) دلیل اصلی افزایش رواناب بود، رابینسون (۳۰). با این وجود از رخداد پنجم تا رخداد دهم اختلاف معنی‌داری بین رخدادها مشاهده نشد. بر اساس نتایج با افزایش رخدادهای بارندگی به دلیل تخریب بیش تر خاک و افزایش رطوبت اولیه خاک همان طور که در پژوهش‌های دویکر و همکاران (۱۲) نشان داده شده است، مقدار خاک فرسایش یافته و در نتیجه تولید رسوب نیز افزایش یافت ( $R^2=0/86$ ). اندال و همکاران (۱۳) گزارش کردند که با افزایش مقدار بارندگی و تعداد رخدادهای بارندگی، فرسایش‌پذیری خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز افزایش یافت. همچنین، دلایل اصلی افزایش رسوب در رخدادهای متوالی باران، کاهش نفوذپذیری در اثر تراکم خاک، افزایش رواناب و در نتیجه شسته شدن ذرات ریز از سطح خاک بود. یافته‌های حمیدی نهرانی و همکاران (۱۸) بر روی یک خاک ماری در استان زنجان نیز نشان داد که با افزایش رواناب در رخدادهای متناوب بارندگی، رسوب هم به طور معنی‌دار ( $p<0/01$  و  $R^2=0/89$ ) افزایش یافت. همچنین، کرامر



شکل ۳- اثر رخدادهای بارندگی بر تولید رواناب و مقایسه آماری بین آن‌ها (الف) و اثر رخدادهای بارندگی بر مقدار رسوب و مقایسه آماری بین آن‌ها (ب)

Figure 3- Effect of rainfall events on the runoff production and statistical comparison between them (a) and effect of rainfall events of the sediment content and statistical comparison between them (b)

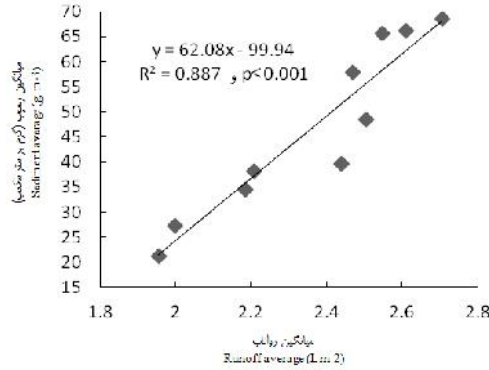


شکل ۴- اثر رخدادهای بارندگی بر غلظت رسوب و مقایسه آماری رخدادهای بارندگی از نظر غلظت رسوب

Figure 4- Effect of rainfall events on the concentration sediment and statistical comparison of rainfall events of the sediment concentration

در تولید رواناب مشاهده نشد در حالی که مقدار رسوب از رخداد هشتم به بعد به روندی تقریباً ثابت رسید. در واقع پایداری پایین ساختمان خاک مورد مطالعه موجب شد که خاکدانه‌ها در رخدادهای اولیه تخریب شده و در نتیجه تولید رواناب و رسوب افزایش یابد. در رخدادهای بعدی به دلیل عدم تغییرات قابل توجه در نفوذپذیری خاک، تولید رواناب تقریباً ثابت بود در حالی که به دلیل وجود ذرات فرسایش‌پذیر، تولید رسوب همچنان روند افزایشی چشمگیری پیدا کرد ژانگ و همکاران (۴۰).

در خاکدانه‌های مورد بررسی در این پژوهش، از رخدادی به رخداد دیگر، ساختمان خاک بیش‌تر تخریب شد. جدا شدن ذرات خاک از یکدیگر و حرکت برخی ذرات ریز به داخل منافذ درشت، نفوذپذیری خاک را کاهش داد و در نتیجه تولید رواناب بیش‌تر شد. از سوی دیگر با جدا شدن ذرات خاک از یکدیگر، انتقال‌پذیری ذرات بیش‌تر شد و تولید رسوب نیز افزایش یافت. از این رو به دنبال افزایش رواناب از رخدادی به رخداد دیگر، هدررفت خاک و تولید رسوب نیز بیش‌تر شد. روند افزایش تولید رواناب طی رخدادهای در مقایسه با تولید رسوب کم‌تر بود، به طوری که پس از رخداد پنجم عملاً افزایش چشمگیری

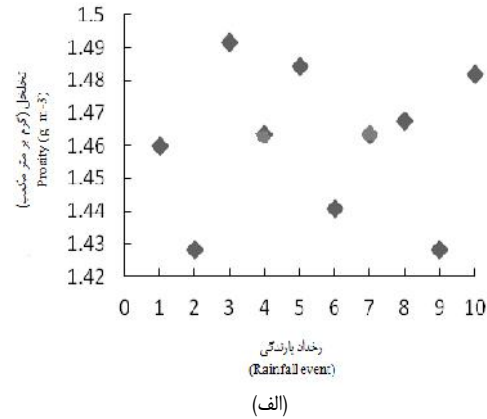
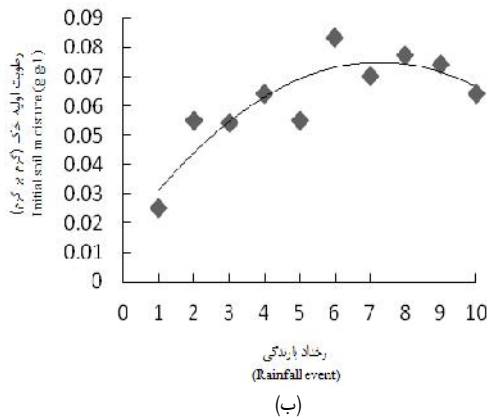


شکل ۵- رابطه بین رسوب و رواناب در خاکدانه‌های طی رخدادهای بارندگی

Figure 5- Relationship between sediment and runoff in the aggregates due the rainfall events

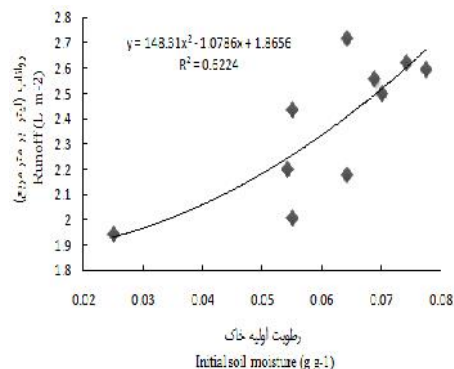
داشت (شکل ۶-ب)، به طوری که با افزایش رطوبت اولیه خاک‌ها، سرعت نفوذ آب به خاک کاهش و تولید رواناب نیز افزایش یافت (شکل ۷). در رخدادهای پایانی به دلیل انتقال ذرات ریز از جمله رس-ها از سطح، نگهداشت آب در خاک کاهش یافت و موجب گردید افزایش چشمگیری در رواناب و رسوب مشاهده نگردد. بررسی‌های وایلی (۳۸) نشان داد که با افزایش تعداد و تداوم رخدادهای باران، ساختمان خاک بیش‌تر تخریب شده و با افزایش رطوبت اولیه خاک نفوذپذیری خاک کاهش و تولید رواناب و رسوب به طور معنی‌دار ( $p < 0.001$ ) افزایش یافت. حسن زاده و همکاران (۱۹) در خاک‌های با بافت مختلف به این نتیجه رسیدند که از رخداد اول تا رخداد چهارم، رطوبت خاک و تولید رواناب افزایش و زمان آغاز رواناب به طور معنی‌داری کاهش یافت.

در این پژوهش علت افزایش رواناب در رخدادهای باران، تغییرات ساختمان خاک و رطوبت اولیه خاک بود. تخریب ساختمان خاک اثر رخدادهای باران منجر به تغییرات قابل توجه در تخلخل کل خاک‌ها نشد (شکل ۶-الف). به هر حال جرم مخصوص ظاهری خاک از رخدادی به رخداد دیگر به دلیل تخریب خاکدانه‌ها و کاهش منافذ درشت خاک کاهش می‌یابد. با این حال، جرم مخصوص حقیقی خاک نیز از رخدادی به رخداد دیگر با فرسایش ذرات ریز و بر جای ماندن ذرات درشت افزایش می‌یابد و افزایش این دو موجب می‌شود روند مشخصی در تخلخل خاک از رخدادی به رخداد دیگر مشاهده نگردد. کاهش تخلخل درشت خاک می‌تواند یکی از دلایل کاهش نفوذپذیری خاک و در نتیجه افزایش تولید رواناب از رخدادی به رخداد دیگر باشد والتیا و همکاران (۳۵). همچنین، نتایج نشان داد که رطوبت اولیه خاک‌ها از رخدادی به رخداد دیگر تغییرات قابل توجهی



شکل ۶- تغییرات تخلخل (الف) و رطوبت اولیه خاک (ب) در رخدادهای بارندگی

Figure 6- Variations of porosity (a) and soil initial moisture (b) in the rainfall events



شکل ۷- رابطه بین رواناب و رطوبت اولیه در رخدادهای بارندگی

Figure 7- Relationship between runoff and initial moisture in the rainfall events

برابر) بود. در رخدادهای پایانی (هفتم تا دهم)، انتقال بیش‌تر ذرات از بستر موجب شد غلظت رسوب به شدت افزایش یابد. به دلیل ناپایداری ساختمان خاک و تخریب بیش‌تر آن طی رخدادهای اولیه، سرعت نفوذ آب به خاک زودتر تقریباً به یک حد ثابتی رسید و از رخداد پنجم به بعد، افزایش قابل توجهی در رواناب مشاهده نشد. انتقال ذرات ریز از جمله رسها از سطح در طی رخدادهای اولیه موجب گردید افزایش چشمگیری در رطوبت خاک در رخدادهای بعدی مشاهده نگردد و حتی در رخداد آخر این میزان دچار کاهش جزئی نیز گردید. علیرغم عدم افزایش قابل ملاحظه رواناب در رخدادهای پایانی، حضور ذرات فرسایش‌پذیر در سطح موجب شد تولید رسوب همچنان تا رخداد هشتم روند افزایشی شدید را نشان بدهد.

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج، تفاوت‌های معنی‌داری بین رخدادهای باران از نظر تولید رواناب ( $p < 0.05$ )، رسوب ( $p < 0.001$ ) و غلظت رسوب ( $p < 0.001$ ) وجود داشت. در رخدادهای اولیه به دلیل پایین بودن رطوبت خاک و تخریب جزئی خاکدانه‌ها، مقاومت آن‌ها در برابر باران و رواناب بیش‌تر بود و در نتیجه میزان تولید رواناب و رسوب پایین بود. در رخدادهای بعدی به دلیل افزایش شدید تخریب ساختمان خاک و کاهش تخلخل درشت خاک نیز و بالا رفتن مقدار رطوبت اولیه، نفوذپذیری خاک به شدت کاهش یافت و در نتیجه با افزایش تولید رواناب، تولید رسوب نیز افزایش چشمگیری یافت. اگر چه تولید رسوب به شدت تحت تأثیر تولید رواناب افزایش یافت ( $p < 0.001$ ) و ( $R^2 = 0.89$ )، لیکن در رخدادهای پایانی (هفتم تا دهم)، روند افزایش تولید رسوب به مراتب بیش‌تر از افزایش تولید رواناب (به اندازه ۳/۰۲

## منابع

- 1- Amézketa E., Singer M.J., and Le Bissonnais Y. 1996. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation, *Soil Science Society of America Journal*, 60: 5,888-894.
- 2- Assouline S. and Ben-Hur M. 2006. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*. 66: 211-220.
- 3- Baihua F., Lachlan, T.H., Newham C.E., and Ramos-Scharrón 2010. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads, *Soil Science Society of America Journal*. 24: 11,834-840.
- 4- Begueria H., Slopa C., Haink F., Aseto D., and Kanin, P. 2006. Water stability of aggregates in subtropical and tropical soils and its relationships with the mineralogy and chemical properties, *Eurasian Soil Science*, 42: 5,415-425.
- 5- Blanco H., and Lal R. 2008. *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer Science, pp: 1-46.
- 6- Bouwer H., and Jackson R.D. 1974. Determining soil properties, pp. 611-627, *Drainage for Agriculture*, ASA Monograph Number 17, Madison, WI.
- 7- Canton Y., Sole-benet A., Asensio C., Chamizo S., and Puigdefabregas J. 2009. Aggregate Stability in range sandy soils relationships with runoff and sediment, Original research article *Catena*, Journal homepage, Elsevier, 14: 8,192-199.
- 8- Cattan D., Lan Z.H., and David AB. 2012. Effect of soil physical on runoff and sediment concentration under rain, *Soil Science Society of America Journal*, 20: 10,531-539.
- 9- Chapman H.D., and Pratt P.F. 1978. *Methods of analysis for soils, plants and waters*, Division of agricultural



- sciences, University of California, United State of America.
- 10- Cheng Q. Ma W., and Cai Q. 2008. The relative importance of soil crust and slope angle in runoff and soil loss: A case study in the hilly areas of the Loess Plateau, North China. *Geo. J.* 71: 117-125.
  - 11- Culley J.L. B. 1993. Density and compressibility, pp. 529-540, soil sampling and methods of analysis, Lewis published in United State of America.
  - 12- Duiker S.W., Flanagan D.C., and Lal R. 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain, *Catena*, 34: 103-121.
  - 13- Endale D. M., Fisher D. S., and Steiner J. L. 2006. Hydrology of a zero-order southern Piedmont watershed through 45 year of changing agricultural land use, Monthly and seasonal rainfall runoff relationship, *Journal of Hydrology*, 316: 1-12.
  - 14- Foltz R.B., Copeland N.S., and Elliot W.J. 2009. Reopening abandoned forest roads in northern Idaho, USA: Qua sediment concentration, infiltration, and interrill erosion parameters, *Journal of Environmental Management*, 90: 2542-2550.
  - 15- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis, pp. 383-411, *Methods of Soil Analysis. Part 1*, ASA and SSSA, Madison, WI.
  - 16- Girmay G., Sing B.R., Nyssen J., and Borrosen T. 2009. Runoff and sediment associated nutrient losses under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia, *Journal of Hydrology*, 376: 70-80.
  - 17- Gupta O.P. 2002. Water in relation to soils and plants. *Agrobios*, India, pp: 31-34.
  - 18- Hamidi Nehrani S., Vaezi A. R., Mohammadi M. H., and Saba G. 2011. Efficiency of polyvinyl acetate in reducing runoff and sediment in a marl soil under rainfall events. *Iranina Journal of Soil and Water Research*, 43 (2), 179-184. (In Persian).
  - 19- Hasanzadeh H., Vaezi A. R., and Mohammadi M. H. 2013. Runoff variation in the same rainfall events in different soil textures. *Iranina Journal of Soil and Water Research*, 44 (3), 243-253. (In Persian).
  - 20- Huntigton T.G. 2003. Climate warming could reduce runoff significantly in New England, USA, *Agricultural and Forest Meteorology*, 117: 193-201.
  - 21- Jackson M.L. 1967. *Soil chemical analysis*, Prentice-Hall of India, Private Limited, New Delhi.
  - 22- Jin K., Cornelis W.M., and Gabriels D. 2008. Soil management effects on runoff and soil loss from field rainfall simulation. *Catena*, 75: 191-199.
  - 23- Keli Z., Shuancai L., and Wenying P. 2002. Erodibility of Agriculture Soils in the Loess Plateau of China, In 12<sup>th</sup> ISCO, Beijing, 551-558.
  - 24- Khazaei M., Sadeghi S. H. R., and Mirnia S. Kh. 2013. Comparison of runoff and soil erosion in forest soils. 6<sup>th</sup>. Nation Seminar on Watershed Management Science and Management. College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University, 8-9 Mars. (In Persian).
  - 25- Kirkby M. J., and Morgan R. P. 2010. *Soil erosion*, John Wiley and Sons, New York.
  - 26- Klute A. 1986. *Methods of soil analysis*, Agron. 9, Part 1, American Society of Agronomy, Madison, WI, United State of America.
  - 27- Kramer G. 2010. Dynamic model of daily rainfall, runoff and sediment yield for a Himalayan watershed, *Soil Science Society of America Journal*, 36: 951-960.
  - 28- Mohammadi. M., and Kavian E. 2010. Temporal variation of runoff and sediment in the plot scale. 12<sup>th</sup>. Iranian Soil Science Congress, Tabriz, 12-14 September. 1786-1788. (In Persian).
  - 29- Nelson D.W., and Sommers L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, pp. 539-579, *Methods of soil analysis*, ASA and SSSA, Madison, WI.
  - 30- Rabinson B.S. 2006. The role of the plant cover in soil resistance and decrease erosion, *Soil Science Society of America Journal*, 19: 41-52.
  - 31- Rhoades J.D. 1982. Cation exchange capacity, pp. 149- 157, *Methods of soil analysis*, Agronomy, Nounber. 9, chemical and mineralogical properties, Society. Agronomy, Madison. WI, USA.
  - 32- Richard L.A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*, USDA Handbook 60, Washington DC, pp. 160.
  - 33- Vaezi. A. R., Bahrami, H., Sadeghi. S. H. R., and Mahdian M. H. 2009. A new nomograph for estimating soil erodibility in some soils of the semi-arid regions in northwest of Iran. 13 (49), 69-79. (In Persian).
  - 34- Vahabi J., and Mahdian M.H. 2008. Rainfall simulation for the study of the effects of efficient factors on runoff rate. *Current Sci.* 95: 1439-1445.
  - 35- Valettea G., Prevosta S., and Lucasa L. 2006. A simulation of soil surface degradation by rainfall. *Computers and Graphics*, 30: 494-506.
  - 36- Wallas P. H., Duson L. J., and Miyer I. G. 2013. Yearly soil erodibility variation in Sevil. *Soil Science Society of America Journal*, 25: 321-329.
  - 37- Williams B.M., Martinez-Menaa S., and Deeksb L. 2004. Exponential distribution theory and aggregate erosion, *Soil Science Society of America Journal*, 6: 382-391.

- 38- Willy K.N. 2011. The role of the aggregate size in soil resistance and decrease erosion, Soil Science Society of America Journal, 10: 111-120.
- 39- Wu S.F., Wu P.T., Feng H., and Bu C.F. 2010. Influence of amendments on soil structure and soil loss under simulated rainfall China's loess plateau. African Journal of Biotechnology, 9(37): 6116-6121.
- 40- Zhang K., Li S., Peng W., and Yu B. 2004. Erodibility of Agricultural Soils and Loess Plateau of China. Soil Till. Res., 76: 157-165.



## Runoff and Sediment Production under the Similar Rainfall Events in Different Aggregate Sizes of an Agricultural Soil

S. F. Eslami<sup>1</sup> - A. R. Vaezi<sup>2\*</sup>

Received: 06-07-2014

Accepted: 13-04-2015

**Introduction:** Soil erosion by water is the most serious form of land degradation throughout the world, particularly in arid and semi-arid regions. In these areas, soils are weakly structured and are easily disrupted by raindrop impacts. Soil erosion is strongly affected by different factors such as rainfall characteristics, slope properties, vegetation cover, conservation practices, and soil erodibility. Different physicochemical soil properties such texture, structure, infiltration rate, organic matter, lime and exchangeable sodium percentage can affect the soil erodibility as well as soil erosion. Soil structure is one of the most important properties influencing runoff and soil loss because it determines the susceptibility of the aggregates to detach by either raindrop impacts or runoff shear stress. Many soil properties such as particle size distribution, organic matter, lime, gypsum, and exchangeable sodium percentage (ESP) can affect the soil aggregation and the stability. Aggregates size distribution and their stability can be changed considerably because of agricultural practices. Information about variations of runoff and sediment in the rainfall events can be effective in modeling runoff as well as sediment. Thus, the study was conducted to determine runoff and sediment production of different aggregate sizes in the rainfall event scales.

**Materials and Methods:** Toward the objective of the study, five aggregate classes consist of 0.25-2, 2-4.75, 4.75-5.6, 5.6-9.75, and 9.75-12.7 mm were collected from an agricultural sandy clay loam (0-30 cm) using the related sieves in the field. Physicochemical soil analyses were performed in the aggregate samples using conventional methods in the lab. The aggregate samples were separately filed into fifteen flumes with a dimension of 50 cm × 100 cm and 15-cm in depth. The aggregate flumes were fixed on a steel plate with 9% slope and were exposed to the simulated rainfalls for investigating runoff and soil loss (sediment). Ten same rainfall events with 60 mm h<sup>-1</sup> in intensity for 30 min were applied using a designed rainfall simulator in the lab. The rainfall simulator had a rainfall plate with a dimension of 100 cm × 120 cm which has been fixed on a metal frame with 3m height from the ground surface. Runoff and sediment samples were collected using a plastic container placed the out-let of the flumes. Runoff generation of each flume was determined based on multiplying total content volume of the tank by volume proportion of water in the sample. Soil loss for each event was determined using multiply the container volume and sediment concentration of the uniform sample. Initial soil moisture was measured in the aggregate samples before each rainfall event in order to investigate its effect on the runoff and sediment variations in the event scales. Runoff, soil loss and initial soil moisture data were evaluated for normality before any statistical analysis using SPSS version 18 software. Differences of runoff and soil loss among different rainfall events were analyzed using the Duncan's test.

**Results and Discussion:** Based on the results, the soil was calcareous having 16% equivalent calcium carbonate. Low amount of organic matter (0.6%). The measured aggregate stability showed to be very low, indicating high susceptibility of the aggregates to water erosion processes. Significant differences were found among the rainfall events in runoff ( $p < 0.05$ ), sediment ( $p < 0.001$ ) and sediment concentration ( $p < 0.001$ ) which were associated with aggregate breakdown by raindrop impacts in the rainfall events. Runoff and sediment were strongly increased from each event to other event. Significant relationship was found between sediment and runoff in the events ( $R^2 = 0.89$ ,  $p < 0.001$ ). However, sediment showed to have higher increasing trend as compared to runoff variation pattern in the event scale. Sediment value was very low in the first rainfall event due to high portions of the water-stable aggregates and low level of soil moisture. Difference in runoff from each event to other event was directly related to variation of infiltration rate. In the final events, aggregate disruption was strongly enhanced and remarkably decreased the soil infiltration rate so runoff and sediment significantly increased. After seventh rainfall event, sediment production was observed to be higher (2.93 times) as compared with runoff production and in consequence sediment concentration strongly increased. The difference in the infiltration rate among the rainfall events was attributed with differences in initial soil moisture and macropores.

**Keywords:** Aggregate, Runoff, Sediment Concentration, Simulated Rainfall

1 and 2- MSc Graguated and Associate Professor Soil Science Department, Agriculture Faculty, University of Zanjan, Zanjan, Iran  
(\*-Corresponding Author Email: vaezi.alireza@gmail.com)