

## تغییرات رواناب و رسوب در خاک‌های با مقادیر رس متفاوت طی دو بارش متوالی

مهدی بشری<sup>۱</sup>، حمیدرضا مرادی<sup>۲\*</sup>، میر مسعود خیرخواه<sup>۳</sup> و مجید جعفری خالدی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، <sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، <sup>۳</sup> دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و <sup>۴</sup> استادیار، دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۲۵

### چکیده

بررسی فرسایش خاک، بدون ساده‌سازی شرایط آزمایش، مشکل و گاهی غیرممکن است. محتوی رس خاک با پایداری خاک‌دانه‌ها و نفوذ، ارتباط معنی‌داری دارد که در مقادیر مختلف رس به صورت معکوس یا مستقیم نمایان می‌شود. خصوصیات خاک نیز طی رگبارهای متوالی تغییر یافته و در نتیجه بر میزان تولید رواناب و رسوب اثر می‌گذارند. از این رو پژوهش حاضر تلاش نمود با استفاده از شبیه‌ساز باران و کرت‌های فرسایشی تولید رواناب و رسوب طی رگبارهای متوالی در خاک‌های با محتوی رس مختلف را بررسی نموده و اثر سایر عوامل متداخل را حذف کند. در این راستا کرت‌های ۱/۵ مترمربعی با ترکیب صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصدی از خاک رس در خاک فاقد رس، هر کدام در سه تکرار (مجموعاً ۱۸ کرت) به مدت نیم ساعت تحت دو آزمون متوالی بارش به شدت ۷۰ میلی‌متر در ساعت و با فاصله زمانی ۲۴ ساعته قرار گرفتند. نمونه‌برداری و حجم‌سنجی رواناب طی رگبارها در هر ۲/۵ دقیقه انجام گرفت. با توجه به مقادیر مشاهده‌ای، غلظت رسوب در آزمون دوم ۱/۵ تا ۲ برابر بالاتر از آزمون اول بود (میانگین کل برای آزمون‌های اول و دوم به ترتیب ۹/۲ و ۱۵ گرم در لیتر)، اما حجم رواناب تولیدی از ترکیب صفر و ۱۰ درصدی خاک رس، در آزمون اول بالاتر (به ترتیب مقادیر ۲۶۱۳ و ۲۰۴۵ میلی‌لیتر) و در سایر ترکیب‌ها، حجم رواناب در آزمون دوم بالاتر بود (مقادیر ۲۶۹۴، ۲۶۷۷، ۲۳۱۵ و ۲۷۵۲ میلی‌لیتر به ترتیب برای ترکیب‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد رس). نهایتاً تحلیل‌های آماری نیز نشان داد که در تمامی درصدهای ذکر شده از ترکیب رس، اختلاف مقادیر رواناب و رسوب بین آزمون‌های بارش اول و دوم معنی‌دار ( $P < 0/01$ ) است. نتایج موید تغییرات معنی‌دار در ویژگی‌های عرصه پژوهش طی زمان و نیز اثر بالای محتوی رس خاک در کمیت و کیفیت پدیده فرسایش است.

**واژه‌های کلیدی:** آزمون‌های متوالی، درصد رس، شبیه‌ساز باران، فرسایش خاک، کرت آزمایشی

### مقدمه

دنیا است. به طوری که تاثیر تخریبی آن بر اکوسیستم‌های مرتعی، جنگلی و کشاورزی از طریق کاهش توان تولید و حاصلخیزی خاک و در اکوسیستم‌های آبی از طریق کاهش کیفیت آب و

نگاهی به مساله فرسایش خاک و هدر رفت منابع آب و خاک ناشی از آن، مشخص می‌کند که این موضوع از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی در تمامی نقاط

می‌شود (Feng-Ling و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به آنچه ذکر شد، بررسی بیشتر در زمینه کارکردهای محتوی رس خاک طی فرایند فرسایش ضرورت می‌یابد.

همسو با پژوهش پیش‌رو، مطالعات مختلفی انجام گرفته است. از آن جمله می‌توان Erpul و Canga (۱۹۹۹) را نام برد که به بررسی اثر بارش‌های شبیه‌سازی شده و متوالی روی رواناب و فرسایش پرداختند. بررسی دو بارش متوالی با شدت ۶۰ میلی-متر در ساعت نشان داد که اثر بارش و نوع خاک بر رواناب، نفوذ و رسوب و میزان پاشمان معنی‌دار است و نیز مقدار رسوب و رواناب در بارش دوم از اولی بالاتر است. در پژوهشی Fohrer و همکاران (۱۹۹۹) در شرایط آزمایشگاهی به مطالعه تغییرات خاک و شرایط سطحی آن در خلال رگبارهای منفرد و متوالی پرداختند. شدت بارش ۳۰ میلی‌متر در ساعت برای رگبار منفرد انتخاب شد و برای بارش متوالی، ۶۰ میلی‌متر بارش در پنج بازه مساوی تقسیم و ایجاد شد. نتایج نشان داد که میزان نفوذ با افزایش تجمعی انرژی بارش، کاهش می‌یابد. همچنین، عوامل اثرگذار در فرسایش، شامل مدت و شدت وقایع بارش منفرد است. Lal و Rimal (۲۰۰۹) به مطالعه هدررفت خاک در پنج تیمار مدیریتی با استفاده از شبیه‌ساز باران پرداختند. نتایج دو آزمایش با شرایط رطوبتی تر و خشک روی نمونه‌ها با فاصله ۲۴ ساعت از یکدیگر نشان داد که در آزمون خشک عمدتاً اختلاف معنی‌داری در میزان رواناب سطحی تیمارها وجود ندارد. هدررفت خاک نیز در طول یک ساعت شبیه‌سازی بارش، اختلاف معنی‌داری را در دو آزمون تر و خشک به دلیل عامل تراکم خاک نشان داد.

در زمینه بررسی اثر بافت و محتوی رس خاک بر کمیت و کیفیت فرایند فرسایش خاک و تولید رواناب نیز می‌توان مطالعه Bruce-okine و Lal (۱۹۷۵) را برشمرد که فرسایش‌پذیری را در انواع مختلف خاک‌ها و در شرایط طبیعی بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد فرسایش‌پذیری با محتوی ماسه به‌طور مستقیم و با محتوی رس به‌طور معکوس تغییر می‌یابد. همچنین، Karimi و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی پایداری خاک‌دانه‌ها و پتانسیل فرسایش خاک در بافت‌های

افزایش منابع آلوده‌کننده آن‌ها قابل درک است (Javadi و همکاران، ۲۰۱۱). حال آن‌که کمی کردن فرسایش خاک یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در منابع طبیعی و طرح‌های محیط زیست می‌باشد (Bhuyan و همکاران، ۲۰۰۲). مطالعه فرایند فرسایش و عوامل کنترل‌کننده آن از مهم‌ترین پیش‌نیازهای مدیریت منابع آب و خاک است و ضروری است تا با انجام پژوهش‌های دقیق و بررسی‌های مقایسه‌ای نقش عوامل موثر در تولید رواناب و رسوب به طریق صحیح و اصولی مطالعه و درک شود (Javadi و همکاران، ۲۰۱۱).

عوامل مختلفی برای تشریح رفتارهای هیدرولوژیکی و فرسایشی خاک مورد توجه قرار گرفته‌اند و یکی از متغیرهای مهم و قابل بررسی در رخداد رواناب و فرسایش خاک، ویژگی‌های خاک می‌باشد (Kavian و همکاران، ۲۰۱۰). میزان فرسایش خاک همبستگی مثبتی را با حجم رواناب نشان داده و تحت تاثیر متغیرهای خاک از جمله بافت قرار دارد (Commandeur، ۱۹۹۲). مطالعات آزمایشگاهی با شبیه‌ساز باران نشان داده که هدررفت خاک به‌وسیله تغییرات در بافت خاک می‌تواند تحت تاثیر قرار بگیرد (Rejman و همکاران، ۱۹۹۸). افزایش فشردگی سطح خاک موجب افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک و کاهش تخلخل و نفوذپذیری خاک شده و در پایان موجب می‌شود که حجم بیشتری از رواناب جاری شود (Kavian و همکاران، ۲۰۱۰). از سویی دیگر، رس عامل مهمی در پیوند خاک‌دانه‌ها بوده و ذرات را به شکل کلوخه در کنار هم نگه می‌دارد. لذا حساسیت خاک به هدررفت با میزان رس موجود در خاک متفاوت است و ممکن است که محتوی رس در خاک، دو اثر متفاوت در فرسایش داشته باشد. رس همانند یک ماده سیمانی ذرات خاک را در کنار هم نگه می‌دارد ولی با کاهش میزان نفوذ، باعث افزایش رواناب نیز می‌شود. افزایش محتوی رس در خاک با افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها ارتباط معنی‌داری دارد. اما این ارتباط در مقادیر مختلف به دلیل عامل پخشیدگی<sup>۱</sup> رس، به‌صورت معکوس یا مستقیم نمایان

<sup>1</sup> Dispersion

مطالعات فرسایش بسیار گسترده است که دلیل آن عملیات آسان، هزینه کمتر، قابلیت کنترل و سرعت عمل بالا (Mahmoodabadi و همکاران، ۲۰۰۷) می‌باشد. در نتیجه این امکان را فراهم می‌کند تا داده‌ها تحت شرایط کنترل شده و دوره زمانی کوتاه‌تری به‌دست آیند و نتایج آزمایش‌های شبیه‌سازی باران برای اهداف مقایسه‌ای به‌کار روند (Arnaez و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین، برای بررسی پارامترهای موثر در فرسایش آبی از کرت‌های آزمایشی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. چرا که استفاده از کرت‌های آزمایشی فرسایش خاک به‌دلیل درک فرایند حاکم، انجام مطالعات مقایسه‌ای و ارزیابی کارایی مدل‌های برآورد فرسایش خاک حائز اهمیت فراوان است (Sadeghi و همکاران، ۲۰۱۰).

کاستی‌های عمده که در بررسی پیشینه پژوهشی هم‌راستا با موضوع حاضر وجود دارد، تداخل سایر عوامل تاثیرگذار بر فرسایش در آزمایشات انجام گرفته و عدم بررسی محتوی رس در رده‌های بافتی منظم و بارش‌های متوالی می‌باشد. لذا این پژوهش تلاش نموده با استفاده از شبیه‌سازی باران و عرصه تحقیق در محیط آزمایشگاه، اثر سایر عوامل را حذف نموده و در رده‌های بافتی مشخص، به مطالعه واکنش خاک‌های دارای محتوی رس متفاوت نسبت به رگبارهای متوالی بپردازد.

### مواد و روش‌ها

**انتخاب خاک و شدت بارش:** برای انتخاب خاک مناسب در راستای انجام پژوهش، اقدام به نمونه‌گیری از منابع قرضه در دسترس شد. عملیات بافت‌سنجی در آزمایشگاه با روش هیدرومتری روی نمونه‌ها انجام شد و دو نمونه مناسب از بین خاک‌های مطالعه شده شامل خاک فاقد رس و خاک رسی مناسب با خصوصیات شیمیایی مشابه و هر دو فاقد سنگ و سنگ‌ریزه، انتخاب شدند. لازم به ذکر است که خاک بدون رس از منطقه سرخه در نزدیکی شهر سمنان و خاک رسی مناسب از معادن رس حاشیه اتوبان تهران-ساوه تهیه شدند. درصد ماسه، سیلت و رس در

مختلف، بین شاخص حساسیت خاک‌ها به فرسایش و نسبت سیلت به رس و ماسه ارتباط مثبت و معنی‌داری به‌دست آوردند. علاوه بر آن با فرسایش لایه سطحی به‌دلیل داشتن خاک‌دانه‌های پایدارتر، میزان فرسایش افزایش یافت. پژوهش Feng-Ling و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی محتوی رس خاک و سرعت ترشدگی آن در فرسایش بین‌شیاری پرداخت. این مطالعه با شدت بارشی برابر ۶۰ میلی‌متر در ساعت و کرت‌های کوچک با محتوی رس ۵۸ تا ۱۱۷ گرم بر کیلوگرم انجام شد. نتایج آن‌ها تفاوت‌های کلی در نفوذ و سله‌ای شدن خاک را در پاسخ به سرعت ترشدگی خاک با محتوی رس مختلف نشان داد. به‌طوری‌که در مقادیر کم رس، خاک‌دانه‌ها ناپایدار و نفوذ بالا بود و در محتوی بالای رس، خاک‌دانه‌ها پایدار ولی نفوذ به‌دلیل شکستگی رس<sup>۱</sup> کاهش یافت. در پژوهشی Moradi و Saidian (۲۰۱۰) به مقایسه عوامل اثرگذار در فرسایش و تولید رسوب درون کاربری‌های مختلف پرداختند. بررسی شدت‌های مختلف بارش نشان داد که در شدت‌های بارش ۰/۷۵، یک و ۱/۲۵ میلی‌متر در دقیقه، به‌ترتیب عوامل بافتی خاک شامل شن، شن خیلی‌ریز و رس مهم‌ترین نقش را در تولید رسوب ایفا می‌کنند. همچنین، Chartier و همکاران (۲۰۱۳) اثر رس و کربن آلی را بر فرسایش بررسی نمودند. این مطالعه با استفاده از شبیه‌ساز باران و کرت‌های کوچک در سه پوشش مرتعی انجام گرفت. بررسی تولید رواناب و رسوب ناشی از بارشی به شدت ۱۱۰ میلی‌متر بر ساعت و به‌مدت ۳۰ دقیقه نشان داد که خصوصیات سطحی خاک عامل تغییرات مکانی در نرخ هدررفت خاک است. همچنین، میزان هدررفت رس در مراتع دست‌نخورده به‌طور معنی‌داری بالاتر از مراتع تخریب یافته است.

پژوهش حاضر با استفاده از شبیه‌سازی باران و عرصه اجرا شد. چرا که اندازه‌گیری میزان رواناب و فرسایش خاک تحت شرایط طبیعی بارندگی، زمان‌بر و پرهزینه است، لذا بهره‌گیری از شبیه‌سازی باران می‌تواند در حل این دشواری کارگشا باشد (Kavian و همکاران، ۲۰۱۰). استفاده از شبیه‌ساز باران در

<sup>2</sup> Experimental Plot

<sup>1</sup> Slaking

تکیه بر سابقه مطالعات فرسایش خاک درون کرت و برابری با شیب غالب در اراضی کشاورزی دارای مشکل فرسایش (Lafren و Moldenhauer، ۲۰۰۳؛ Rimal و Lal، ۲۰۰۹) در نظر گرفته شد. همچنین، مشخص شده که ظرفیت رواناب از شیب‌های همگن در خلال رگبارهای متوسط تا شدید معمولاً برای حمل تمامی مواد جدایش یافته در درجه شیب‌های بالای دو تا سه درصد کافی است (Lal و Rimal، ۲۰۰۹).

اندازه‌گیری یکنواختی بارش با استفاده از ضریب یکنواختی کریستینسن (CU)<sup>۲</sup> انجام گرفت (Maroufpoor و همکاران، ۲۰۱۰). میزان ۸۰ درصد و بالاتر را می‌توان مقدار مناسبی در ضریب یکنواختی بارش‌های تولید شده به‌وسیله شبیه‌ساز باران برشمرد (Esteves و همکاران، ۲۰۰۰)، لذا شدت بارش در پژوهش حاضر بر اساس ضریب یکنواختی مناسب، تولید مقادیر مناسبی از رواناب در زمان محدود و بررسی سوابق پژوهشی موجود (Saghafian، ۲۰۰۲) برابر ۷۰ میلی‌متر در ساعت انتخاب شد که حدی میانگین از شدت‌های باران‌های فرساینده مشاهده‌ای در کشور نیز می‌باشد (Saghafian، ۲۰۰۲).

#### انجام عملیات آزمایشگاهی برآورد غلظت

**رسوب:** نمونه‌برداری از رواناب با توجه به حجم عملیات هر ۲/۵ دقیقه و تا پایان رگبار انجام گرفت. جهت تعیین گل‌آلودگی نمونه‌ها، ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه، مستقیماً از رواناب خروجی از کرت برداشت شد. با توجه به حجم و تعداد نمونه‌ها، برای فیلتراسیون از صافی‌های واتمن<sup>۳</sup> نمره ۴۲ استفاده شد (Lal و Rimal، ۲۰۰۹). این نوع صافی در بین کاغذهای فیبر سلولزی، به‌عنوان استاندارد جهانی برای آنالیز بافت‌سنجی دقیق و جدانمودن ریزترین ذرات است، لذا برای آنالیز مواد معلق خاک در آب بسیار مناسب می‌باشد (Tiso، ۲۰۱۳). پس از صاف نمودن، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس قرار گرفت تا رطوبت احتمالی آن‌ها حذف شود، سپس نمونه‌های خشک شده توزین شد تا وزن رسوب در حجم نمونه مشخص شده (Seeger، ۲۰۰۷) و غلظت رسوب محاسبه شود. تغییرات حجمی رواناب

خاک اول به‌ترتیب ۵۰، ۵۰ و صفر درصد و در خاک دوم به‌ترتیب ۱۴، ۳۶ و ۵۰ درصد بود که برای تهیه خاک‌های مورد آزمایش، دو خاک پایه با نسبت‌های صفر، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد از خاک رسی در خاک بدون رس، به‌وسیله مخلوط کن بتون<sup>۱</sup> با یکدیگر ترکیب شدند. درون هر کرت به ضخامت ۷/۵ سانتی‌متر فیلتری شنی قرار گرفته و روی آن با ۲۰ سانتی‌متر از خاک مورد تحقیق پر شد (شکل ۱-الف). سپس خاک کرت‌ها با هدف نزدیک شدن به شرایط طبیعی، از طریق مجرای تحتانی با آب اشباع شده، به‌مدت ۲۴ ساعت رها شدند (Peyvasteه و همکاران، ۲۰۱۰) و سپس آزمون اول روی آن‌ها انجام گرفت. با توجه به این‌که کرت‌ها طی شبیه‌سازی بارش در آزمون اول، مجدداً به حالت اشباع می‌رسند و تولید رواناب می‌نمایند، با ۲۴ ساعت رهاسازی این کرت‌ها، آب مازاد مجدداً به‌صورت ثقلی از مجرای کف کرت تخلیه شد تا به شرایط رطوبت اولیه همسان با آزمون اول برسند و نهایتاً آزمون دوم شبیه‌سازی بارش روی همان کرت‌ها اجرا شد (Srinivasan و همکاران، ۲۰۰۷؛ Lal و Rimal، ۲۰۰۹؛ Martinez و همکاران، ۲۰۱۰). در نتیجه، با توجه به شرایط رطوبتی و بارش همسان، تنها متغیر، ویژگی‌های خاک طی فرسایش می‌باشد که اثر آن در تولید رواناب و رسوب در مقادیر رس متفاوت، در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار گرفته است.

برای شبیه‌سازی فرایند باران از شبیه‌ساز مدل FEL3 موجود در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری استفاده شد که یک شبیه‌ساز دارای صفحه گردان است. ابعاد شبیه‌ساز (شکل ۱-ب) برابر ۲/۶۵ متر ارتفاع، ۲/۳ متر عرض و ۱/۶ متر طول می‌باشد (Armfiel، ۱۹۹۸). با توجه به ابعاد شبیه‌ساز باران، کرت‌های فلزی به‌طول ۱/۵ و عرض یک متر ساخته شد و با هدف تسریع آزمایشات و استفاده از شرایط یکسان در آزمون سه تکرار مطالعاتی در هر تیمار و عدم امکان جابه‌جایی شبیه‌ساز باران، این سه کرت به‌صورت چرخ‌دار و قابل جابه‌جایی ساخته شدند. شیب کرت در این مطالعه ثابت و به‌میزان نه درصد با

<sup>۲</sup> Christiansen Uniformity

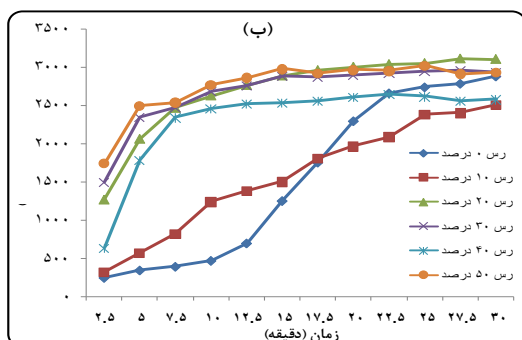
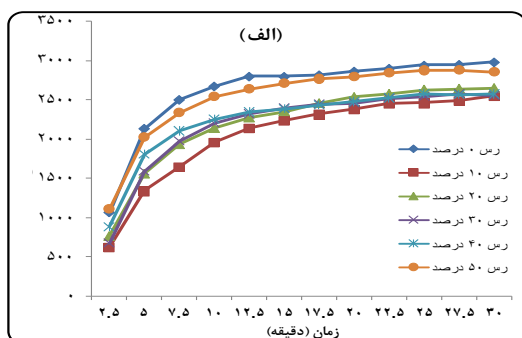
<sup>۳</sup> Whatman

<sup>۱</sup> Concrete Mixer

نیز همزمان با نمونه‌برداری در فواصل ۲/۵ دقیقه‌ای در خروجی کرت ثبت شد.



شکل ۱- نمایی از کرت آزمایشی (الف) و شبیه‌ساز باران (ب)



شکل ۲- روند تغییرات رواناب طی رگبار در آزمون‌های شبیه‌سازی اول (الف) و دوم (ب)

نتایج ارائه شده در شکل ۲ مشخص می‌نماید که تغییرات رواناب در دو آزمون متوالی همواره افزایشی بوده است. در پنج دقیقه ابتدایی رگبار، رواناب سریعاً افزایش می‌یابد و پس از آن سرعت اوج‌گیری ملایمی را نشان می‌دهد. لذا به نظر می‌رسد طی این دو آزمون ساختمان خاک هنوز شکل نگرفته است، چرا که خاک‌های دارای ساختمان غالباً به‌وسیله جریان‌های

تحلیل‌های آماری: پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌های غلظت رسوب و حجم رواناب مشاهداتی در محیط نرم‌افزاری Excel به‌دلیل قابلیت سازگاری و ورود فایل‌های آن در تمامی نرم‌افزارهای آماری، برای تجزیه آماری از نرم‌افزار PASW<sup>۱</sup> بهره‌گیری شد. در نخستین مرحله، با استفاده از داده‌های میانگین سه تکرار، نمودارهای روند تغییرات رواناب و رسوب در دو آزمون متوالی تهیه شد. نهایتاً با توجه به توزیع داده‌ها، در تحلیل‌های آماری به‌منظور بررسی اختلافات مقادیر رواناب و غلظت رسوب بین دو شبیه‌سازی متوالی، از آزمون ناپارامتری ویلکاکسون<sup>۲</sup> استفاده شد (Bihamta و Zare-Chahouki, ۲۰۱۰).

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از روند تغییرات حجم رواناب (میلی‌لیتر) مشاهداتی در فواصل زمانی ۲/۵ دقیقه‌ای در طول رگبار نیم‌ساعته و دو آزمون متوالی در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین، تغییرات زمانی غلظت رسوب (میلی‌گرم بر لیتر) مشاهده‌ای نیز طی رگبار مذکور برای دو آزمون متوالی، در شکل ۳ ارائه شده است.

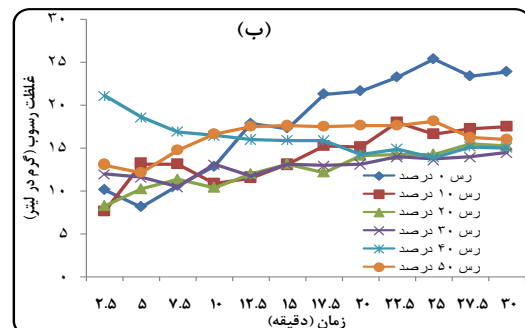
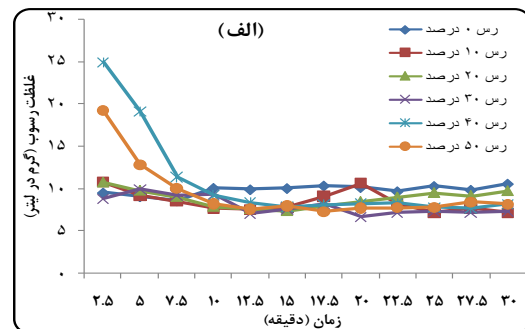
<sup>۱</sup> Predictive Analytics Software

<sup>۲</sup> Wilcoxon Test

اما مشاهده تغییرات غلظت رسوب مشاهده‌ای طی رگبار (شکل ۳) نشان می‌دهد که غلظت رسوب در آزمون اول روندی نزولی داشته که میزان این افت در درصد‌های بالای رس بسیار بیشتر است، اما در آزمون دوم تغییرات غلظت رسوب طی رگبار روند مشخصی را از خود نشان نمی‌دهد و تا حدودی به ثبات رسیده است. تنها در خاک فاقد رس میزان غلظت رسوب مشاهده‌ای همچنان افزایشی است.

در ادامه شاخص‌های آماری داده‌های مشاهده‌ای در ۱۲ بازه زمانی اندازه‌گیری و سه تکرار انجام گرفته (در مجموع ۳۶ داده) در هر یک از آزمون‌های متوالی و درصد‌های مختلف ترکیب خاک رس در خاک فاقد آن محاسبه شد. این شاخص‌ها برای داده‌های رواناب (میلی‌لیتر) و غلظت رسوب (گرم در لیتر) در دو آزمون متوالی به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در تمامی مقایسات زوجی داده‌های حجم رواناب و غلظت رسوب بین دو آزمون متوالی، اختلافاتی با معنی‌داری بالا ( $p < 0.01$ ) به دست آمد. در زمان‌های اولیه شروع رواناب، غلظت رسوب بیشینه بوده و با گذشت زمان به سرعت کاهش یافته تا به یک حالت تقریباً ثابت می‌رسد. این روند تغییر غلظت رسوب با زمان در مطالعات زیادی مشاهده شده است و به نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل در ایجاد نقطه اوج اولیه تلفات خاک، وجود مقداری ذرات ریز مجزا در سطح خاک است که با شروع رواناب به یک‌باره شسته می‌شود (Peyvasteh و همکاران، ۲۰۱۰). نتایج آزمون‌ها نشان داد که فرایند بارش منجر به غلظت بالای رسوب در ابتدای فرایند فرسایشی می‌شود که به‌عنوان زمانی که جریان سطحی در انتهای کرت نمایان می‌شود یا به‌عنوان اثر تخلیه اولیه<sup>۲</sup> تعریف می‌شود (Jomaa و همکاران، ۲۰۱۲). این اثر توجیهی بر اختلافات بسیار زیاد بین مقادیر حداقل و حداکثر غلظت رسوب مشاهده‌ای طی شبیه‌سازی است. همچنین، افزایش بخش‌های ریزتر می‌تواند ناشی از کنش مواد ریز از خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر و پایدار در اثر ضربه قطرات باران باشد (Asadi و همکاران، ۲۰۰۶)، چرا که خاک‌دانه‌های بزرگ در خلال وقایع بارش

سریع آب در حفرات بزرگ مشخص می‌شوند (Oygaraden و همکاران، ۱۹۹۷)، در نتیجه این عامل در نتایج به‌دست آمده می‌تواند خیلی ضعیف قلمداد شود و روند مذکور را باید به تغییرات محتوی رطوبتی خاک طی شبیه‌سازی و نیز میزان نفوذپذیری نسبت داد. با توجه به تغییرات حجم رواناب مشاهده‌ای با گذشت زمان، می‌توان نتیجه گرفت که در ابتدای آزمایش، شدت تغییرات رواناب به دلیل این‌که خاک نفوذپذیری خوبی دارد، کم است. بنابراین، بخش زیادی از آب باران رسیده به سطح، در خاک نفوذ می‌کند. با گذشت زمان و ادامه بارش، بر اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک و تخریب ذرات خاک، سله سطحی<sup>۱</sup> تشکیل شده روی سطح خاک، مانع از نفوذ آب شده و میزان رواناب ایجاد شده سریعاً افزایش می‌یابد. پس از این مرحله میزان نفوذ ثابت گشته و در نتیجه حجم رواناب تولیدی نیز به وضعیتی پایدار می‌رسد. اختلافات بالا بین مقادیر حداقل و حداکثر حجم رواناب مشاهده‌ای طی بارش نیز موید وجود این فرایندهای متوالی در تولید رواناب است.



شکل ۳- روند تغییرات غلظت رسوب طی رگبار در آزمون‌های شبیه‌سازی اول (الف) و دوم (ب)

<sup>2</sup> First-Flush Effect

<sup>1</sup> Surface Sealing

تخریب شده و به بخش‌های کوچک‌تری تبدیل می‌شوند (Boix-Fayos و همکاران، ۱۹۹۸).

جدول ۱- شاخص‌های آماری داده‌های رواناب (میلی‌لیتر) و نتایج مقایسات آماری در آزمون‌های متوالی

درصد رس	نوع آزمون	تعداد داده	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر	سطح معنی‌داری آزمون		
							نرمالیته	T جفتی	ویلکاکسون
۰	اول	۳۶	۲۶۱۳	۵۶۶	۷۷۵	۳۲۳۳	۰/۰۶۱	-	-
۰	دوم		۱۵۴۰	۱۰۸۱	۲۱۰	۳۰۹۵	۰/۱۳۰	۰/۰۰۰	-
۱۰	اول		۲۰۴۵	۶۰۹	۵۳۰	۳۰۴۵	۰/۳۲۷	۰/۰۰۰	-
۱۰	دوم		۱۵۷۹	۸۰۱	۱۶۰	۳۰۲۰	۰/۹۶۱	۰/۰۰۰	-
۲۰	اول		۲۲۰۵	۶۰۲	۵۸۰	۳۰۳۰	۰/۷۲۹	۰/۰۰۰	-
۲۰	دوم		۲۶۹۴	۵۴۷	۱۲۳۵	۳۳۲۰	۰/۱۳۹	۰/۰۰۰	-
۳۰	اول		۲۱۸۴	۵۴۶	۵۹۰	۲۶۵۵	۰/۰۲۹	-	۰/۰۰۰
۳۰	دوم		۲۶۷۷	۴۱۷	۱۴۰۰	۳۰۱۵	۰/۰۳۱	-	۰/۰۰۰
۴۰	اول		۲۲۳۸	۴۷۴	۸۴۵	۲۶۸۰	۰/۰۵۲	-	۰/۰۰۲
۴۰	دوم		۲۳۱۵	۵۶۹	۶۰۰	۲۷۵۰	۰/۰۰۱	-	۰/۰۰۲
۵۰	اول		۲۵۲۷	۵۰۷	۹۷۵	۲۹۶۰	۰/۰۳۷	-	۰/۰۰۰
۵۰	دوم		۲۷۵۲	۳۵۹	۱۶۰۰	۳۱۵۵	۰/۰۱۱	-	۰/۰۰۰

جدول ۲- شاخص‌های آماری داده‌های غلظت رسوب (گرم در لیتر) و نتایج مقایسات آماری در آزمون‌های متوالی

درصد رس	نوع آزمون	تعداد داده	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر	سطح معنی‌داری آزمون		
							نرمالیته	T جفتی	ویلکاکسون
۰	اول	۳۶	۹/۸	۱/۲	۷/۱	۱۲/۱	۰/۶۳۶	-	-
۰	دوم		۱۸/۰	۶/۶	۵/۷	۲۷/۵	۰/۵۰۷	۰/۰۰۰	-
۱۰	اول		۸/۴	۱/۶	۶/۱	۱۳/۶	۰/۴۳۱	۰/۰۰۰	-
۱۰	دوم		۱۴/۱	۴/۸	۵/۰	۲۳/۸	۰/۵۷۲	۰/۰۰۰	-
۲۰	اول		۸/۹	۲/۲	۶/۲	۱۴/۳	۰/۱۲۸	۰/۰۰۰	-
۲۰	دوم		۱۲/۶	۲/۴	۷/۳	۱۸/۴	۰/۹۷۵	۰/۰۰۰	-
۳۰	اول		۷/۹	۱/۴	۶/۲	۱۲/۰	۰/۵۳۰	۰/۰۰۰	-
۳۰	دوم		۱۲/۸	۱/۶	۹/۶	۱۶/۳	۰/۳۴۱	۰/۰۰۰	-
۴۰	اول		۱۰/۷	۷/۸	۶/۵	۴۷/۶	۰/۰۰۰	-	۰/۰۰۰
۴۰	دوم		۱۶/۱	۴/۰	۱۱/۳	۳۳/۶	۰/۱۲۶	-	۰/۰۰۰
۵۰	اول		۹/۴	۳/۴	۷/۱	۲۱/۱	۰/۰۰۳	-	۰/۰۰۰
۵۰	دوم		۱۶/۲	۲/۰	۱۰/۷	۱۸/۴	۰/۱۲۱	-	۰/۰۰۰

رس می‌شود (Kuhn و Bryan، ۲۰۰۴)، همچنین، افزایش جزئی در محتوی رطوبت خاک‌دانه‌ها پایداری آن‌ها را افزایش می‌دهد (Boix-Fayos و همکاران، ۱۹۹۸). در آزمون شناسایی نوع کانی‌های رس موجود در خاک‌های مطالعاتی به روش XRD<sup>۱</sup> دو نوع کانی

به‌طور کلی، غلظت رسوب در آغاز شبیه‌سازی دارای مقادیر حد خود است. روند کلی غلظت رسوب، کاهش ناگهانی را در بازه‌های زمانی اولیه دارد. دلیل عمده برای این مشاهدات، تغییر محتوی رطوبتی خاک نیز می‌باشد. با افزایش محتوی رطوبتی خاک، ذرات رس خودشان را مجدداً سازماندهی می‌نمایند که منجر به سفت‌شدگی و افزایش چسبندگی بین ذرات

<sup>۱</sup> X Ray Diffraction

حدودی یکنواخت است (Asadi و همکاران، ۲۰۰۶). علاوه بر آن، خاک‌های رسی وقتی جدایش یابند به ذرات غیرچسبنده تبدیل می‌شوند که در این حالت حمل آن‌ها تابعی از خصوصیات ذرات منفرد است (Quansah, ۱۹۸۱). عمدتاً ذرات رسی همانند سیمان در خاک‌دانه‌ها عمل کرده و به دلیل داشتن ویژگی چسبندگی، موجب افزایش ثبات خاک‌دانه‌ها و در نتیجه کاهش فرسایش می‌شوند. همچنین، جزء رس خاک می‌تواند به خاک‌دانه‌سازی و افزایش پایداری ساختمان خاک و کاهش میزان هدررفت خاک نیز کمک نماید (Kavian و همکاران، ۲۰۱۰). طبق نتایج Le Bissonais و همکاران (۱۹۹۵)، شکست مکانیکی خاک‌دانه‌ها در خاک مرطوب با محتوی رس مرتبط بوده و در نتیجه رواناب و فرسایش تحت شرایط خاک مرطوب به محتوی رس وابسته است. همچنین Rasiah و همکاران (۱۹۹۲) نتیجه گرفتند که رس و ماده آلی بیش از ۸۰ درصد از نوسانات در پایداری خاک‌دانه‌های مرطوب را باعث می‌شود و طبق نتایج Biox-Fayos و همکاران (۲۰۰۱) رابطه مثبتی بین خاک‌دانه‌سازی ریز مقیاس<sup>۴</sup> و محتوی رس وجود دارد. با توجه به آنچه گفته شد، اختلاف در میزان خاک جدایش و حمل یافته از انواع خاک‌ها می‌تواند به توزیع اندازه ذرات منسوب شود و مقادیر کمتر جدایش یافته از خاک‌های حاوی رس نسبت به خاک فاقد رس، دلالت می‌کند که این خاک‌ها پایدارتر هستند (Quansah, ۱۹۸۱).

نوع خاک از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در هدررفت خاک و رواناب است و مطالعات مشابه به این تحقیق که عموماً تحت عنوان فرسایش بین‌شیاری نامیده می‌شوند، نشان‌دهنده فرایند فرسایش از حمل ذرات خاک جدایش یافته به وسیله قطرات باران هستند. رس بالا در خاک، از سویی نفوذپذیری را کاهش و میزان رواناب سطحی را افزایش می‌دهد اما از سوی دیگر، وجود رس با افزایش چسبندگی خاک میزان فرسایش را پایین می‌آورد (Harrilal و Ekwue, ۲۰۱۰). رفتار رسوب معلق غالباً تابعی از شرایط انرژی است، لذا رسوب در شدت کم جریان ذخیره شده و تحت شرایط

رسی تشخیص داده شده در آن، شامل ایلیت<sup>۱</sup> و کلریت<sup>۲</sup> بودند که هر دو جزء پایدارترین کانی‌های رسی بوده و تورم ناپذیر می‌باشند. لذا، اثرات کانی‌شناسی رس در پدیده فرسایش و رسوب نمی‌تواند دخیل باشد. همچنین، رطوبت پیشین خاک عاملی مهم و تاثیرگذار در میزان رواناب است (Kavian و همکاران، ۲۰۱۰)، اما در هر دو آزمون این عامل در نگاه کلی از وضعیت یکسانی برخوردار بوده است. لذا اثر رس را عمدتاً در خصوصیات دانه‌بندی آن باید دانست. اما باید توجه داشت که اثر تغییرات در ترکیب بافتی خاک‌ها تا حدودی برخی دیگر از خصوصیات خاک مانند وزن مخصوص ظاهری<sup>۳</sup> و ظرفیت آبی آن را نیز تحت اثر قرار می‌دهد (Rejman و همکاران، ۱۹۹۸).

در این پژوهش، خاک فاقد رس، به‌طور معنی‌داری غلظت رسوب بالاتری را در مقایسه با دیگر سطوح محتوی رس از خود نشان داد که به دلیل فراوانی جزء سیلت در سطح خاک و فقدان چسبندگی ذرات در نبود رس است. در مطالعات پیشین مشاهده شده که نوع خاک می‌تواند رواناب را تحت تاثیر قرار دهد (Zhang و همکاران، ۲۰۰۷) و نتایج آزمون شبیه‌سازی باران اختلاف زیادی را در پاسخ‌های هیدرولوژیکی خاک‌ها بین مقادیر مختلف رس خاک نشان داد. در این راستا Ben-Hur و همکاران (۱۹۸۵) دریافتند که اثر محتوی رس خاک روی حساسیت خاک‌ها به تشکیل سل و هدررفت خاک با محتوی رس آن‌ها متفاوت است. پژوهش Harrilal و Ekwue (۲۰۱۰) نیز نشان داد که خاک با حدود ۳۰ درصد رس، کمترین هدررفت را به‌واسطه ترکیب متعادل اجزاء ماسه، سیلت و رس دارا است، چون علاوه بر کم کردن فرسایش پاشمانی به دلیل چسبندگی مناسب ذرات، نفوذپذیری پایداری را نیز به خاک می‌بخشد.

با توجه به داده‌های مشاهداتی، در این مطالعه درصد رس ارتباط مثبتی با میزان فرسایش نشان نداد. دلیلش آن است که در خاک‌های با ساختمان ضعیف، غلظت مواد حمل یافته در رده‌های مختلف اندازه، تا

<sup>1</sup> Illite

<sup>2</sup> Chlorite

<sup>3</sup> Bulk Density

<sup>4</sup> Microaggregation



همکاران (۲۰۰۸) نیز با فرسایش لایه سطحی به دلیل داشتن خاک‌دانه‌های پایدارتر، میزان فرسایش افزایش یافت. همچنین، در سطوح زیر، تمرکز جریان و نیروی بالقوه برای شیاری شدن افزایش می‌یابد (Romkens و همکاران، ۲۰۰۱) که می‌تواند دلیلی بر بالاتر بودن مقادیر غلظت رسوب در آزمون دوم باشد. نکته دیگر این‌که با افزایش درصد رس، داده‌های رواناب و نیز غلظت رسوب مشاهداتی نوسانات بالاتری را از خود نشان می‌دهند. این در حالی است که در مقادیر پایین رس، داده‌های حاصله از همگنی بالاتری برخوردار می‌باشند. این اختلاف‌ها نشان می‌دهد که شرایط ناهمگون اولیه سطح خاک که از خاک‌های دست‌خورده<sup>۱</sup> ناشی شده است الگوی فرسایش را در کوتاه‌مدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (Verbist و همکاران، ۲۰۱۰) و پس از زمان کوتاه اولیه است که متغیرها اثر خود را بر رواناب و رسوب آشکار می‌سازند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر این‌گونه می‌توان جمع‌بندی نمود که محتوی رس و به‌طور کلی بافت خاک در کیفیت و کمیت فرایند فرسایش خاک تاثیر زیادی دارد. همچنین، اختلاف مقادیر رواناب و رسوب درون یک رگبار و نیز در رگبارهای متوالی، حاکی از ناپایداری و تغییرات بالای شرایط عرصه مطالعاتی طی زمان است. این نتایج نیاز به دقت نظر بیشتر در مطالعات زمانی فرسایش خاک و نیز بازبینی مطالعات برای لحاظ نمودن تغییرات زمانی ویژگی‌های خاک در مدل‌های فرسایش خاک را بیان می‌نماید. نهایتاً در راستای پژوهش حاضر، بررسی‌های بیشتر در زمینه تغییرات زمانی فرسایش در بافت‌های مختلف خاک، توالی‌های بیشتری از رگبار و نیز زمان-های طولانی‌تری از آزمایش‌های شبیه‌سازی بارش پیشنهاد می‌شود.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا مراتب قدردانی را از راهنمایی‌های بی‌دریغ آقایان دکتر عرب‌خردی و دکتر پیروان و نیز همکاری پرسنل تلاش‌گر پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور در

دبی بالاتر حمل می‌یابد (Beca, ۲۰۰۲)، علاوه بر آن، همچنان‌که رویداد بارش ادامه می‌یابد، سطح خاک مجدداً برای دستیابی به شرایطی پایدار تغییر می‌یابد و نرخ فرسایش نیز متعاقباً تعدیل می‌شود (Jomaa و همکاران، ۲۰۱۲).

نتایج آنالیزهای آماری بین داده‌های رواناب و رسوب به‌دست آمده از آزمون‌های متوالی نشان داد که در تمامی رده‌های ترکیبی خاک رس، مقادیر به‌دست آمده از رواناب و رسوب با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان می‌دهند. چرا که توسعه پوسته یا لایه‌ای چسبنده در خاک رویی منجر به سله سطحی می‌شود که میزان نفوذ را کاهش و رواناب را افزایش می‌دهد. به‌طور کلی داده‌های رواناب حاصل از دو آزمون متوالی تفاوت‌های چندانی در روند تغییرات خود ندارند، اما در مقادیر صفر و ۱۰ درصد اختلاط رس، رواناب در آزمون اول بالاتر از آزمون دوم می‌باشد، در حالی‌که در رده‌های اختلاط ۲۰ تا ۵۰ درصد، آزمون دوم رواناب بالاتری را ایجاد نموده است. دلیل این نتایج را می‌توان به نقش مثبت رس در چسبندگی خاک و خاک‌دانه-سازی نسبت داد. در محتوی پایین رس، اشباع اولیه کرت‌ها منجر به خاک‌دانه‌سازی چندانی نشده است، در نتیجه طی شبیه‌سازی، ضربه قطرات باران سله سطحی را سریعاً شکل داده و حجم رواناب را افزایش می‌دهد. اما در آزمون دوم، ساختمان خاک در اثر مرور زمان بهبود و زبری سطحی نیز در اثر رگبار اول افزایش یافته است، در نتیجه نفوذ افزایش و رواناب کاهش می‌یابد. اما در محتوی بالای رس عکس این فرایند وجود دارد. به‌طوری‌که اشباع اولیه منجر به خاک‌دانه‌سازی شده است. اما این خاک‌دانه‌ها طی رگبار اول متلاشی و میزان رس خاک سطحی نیز در اثر فرسایش آزمون اول کاسته شده است، لذا طی بارش دوم، تشکیل سله سریع‌تر و در نتیجه حجم رواناب تولیدی بالاتر از بارش اول است. همچنین، مقادیر غلظت رسوب مشاهده‌ای در آزمون دوم ۱/۵ تا دو برابر بیشتر از مقادیر حاصل از آزمون اول می‌باشد. در همین راستا Rejman و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند میانگین هدررفت خاک از خاک‌های فرسایش یافته، دو برابر بیشتر از هدررفت خاک‌های با فرسایش یافتگی اندک و متوسط است. در پژوهش Karimi و

<sup>1</sup> Remolded Soils

مراحل مختلف عملیاتی اعلام نمایند. همچنین، از پژوهش حاضر سپاس‌گزاری می‌شود.  
همکاری صمیمانه آقای دکتر زمانی در ارتقاء کیفی

#### منابع مورد استفاده

1. Armfield, Ltd. 1998. Instruction manual of rainfall simulator FEL3. Formerly FES issue, 8: 1-24.
2. Arnaez, J., T. Lasanta, P. Ruiz-Flano and L. Ortigosa. 2007. Factors affecting runoff and erosion under simulated rainfall in Mediterranean vineyards. *Soil and Tillage Research*, 93: 324-334.
3. Asadi, H., H. Ghadiri, H. Rouhipour and C. Rose. 2006. Interaction between rain and runoff processes during rainstorm erosion events. 14<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Conference, Marrakech, Morocco, 14-19 May, 5 pages.
4. Beca, P. 2002. Temporal variability of suspended sediment availability during rainfall-runoff events in a small agricultural basin. ERB and Northern European FRIEND Project 5 Conference, Demanovska dolina, Slovakia, 3 pages.
5. Ben-Hur, M., I. Shainberg, D. Bakker and R. Keren. 1985. Effect of soil texture and CaCO<sub>3</sub> content on water infiltration in crusted soils as related to water salinity. *Irrigation Science*, 6: 281-284.
6. Bhuyan, S.J., K. Prasanta, K. Kaith, A. Janssen and L.B. Philip. 2002. Soil loss predictions with three erosion simulation models. *Environmental Modelling and Software*, 17(2): 137-146.
7. Bihamta, M.R. and M.A. Zare-Chahouki. 2010. Principles of statistics for the natural resources science. 2<sup>nd</sup> Edition, University of Tehran Press, 300 pages (in Persian).
8. Biox-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A.C. Imeson and M.D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena*, 44: 47-67.
9. Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A.C. Imeson, M.D. Soriano-Soto and I.R. Tiemessen. 1998. Spatial and short-term temporal variations in runoff, soil aggregation and other soil properties along a mediterranean climatological gradient. *Catena*, 33: 123-138.
10. Bruce-okine, E. and R. Lal. 1975. Soil erodibility as determined by a raindrop technique. *Soil Science*, 119: 149-159.
11. Chartier, M.P., C.M. Rostagno and L.S. Videla. 2013. Selective erosion of clay, organic carbon and total nitrogen in grazed semiarid rangelands of northeastern Patagonia, Argentina. *Journal of Arid Environments*, 88: 43-49.
12. Commandeur, P.R. 1992. Soil erosion studies using rainfall simulation on forest harvested areas in British Columbia. Erosion, Debris Flows and Environment in Mountain Regions Proceedings of the Chengdu Symposium, 5-9 July, IAHS Pub. No. 209: 21-28.
13. Ekwue, E.I. and A. Harrilal. 2010. Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 105: 112-118.
14. Erpul, G. and M.R. Canga. 1999. Effect of subsequent simulated rainfalls on runoff and erosion. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23: 659-665.
15. Esteves, M., O. Planchon, J. Marc Lapetite, N. Silvera and P. Cadet. 2000. The 'EMIRE' large rainfall simulator: design and field testing. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 681-690.
16. Feng-Ling, Y., S.H. Zhi-Hua, C. Chong-Fa and L. Zhao-Xia. 2010. Wetting rate and clay content effects on interrill erosion in ultisols of southeastern China. *Pedosphere*, 20(1): 129-136.
17. Fohrer, N. J. Berkenhagen, J.M. Hecker and A. Rudolph. 1999. Changing soil and surface conditions during rainfall single rainstorm subsequent rainstorms. *Catena*, 37: 355-375.
18. Javadi, M.R., Gh. Zehtabian, H. Ahmadi, Sh. Ayobi and M. Jafari. 2011. Comparison and estimation of potential runoff and suspended sediment production by using rainfall simulator (a case study: Nومه Rood Watershed). *Journal of Sciences and Techniques in Natural Resources*, 6(2): 1-14 (in Persian).
19. Jomaa, S., D.A. Barry, A. Brovelli, B.C.P. Heng, G.C. Sander, J.Y. Parlange and C.W. Rose. 2012. Rain splash soil erosion estimation in the presence of rock fragments. *Catena*, 92: 38-48.
20. Karimi, H., M. Soufi, Gh. Haghnia and R. Khorasani. 2008. Investigation of aggregate stability and soil erosion potential in some loamy and sandy clay loam soils: case study in Lamerd watershed (south of Fars province). *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 14 (6): 11-20 (in Persian).
21. Kavian, A., A. Azmodeh, K. Soleimani and Gh. Vahabzadeh. 2010. Effect of soil properties on runoff and soil erosion in forest lands. *Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources*, 63(1): 89-104 (in Persian).
22. Kuhn, N.J. and R.B. Bryan. 2004. Drying, soil surface condition and interrill erosion on two Ontario soils. *Catena*, 57: 113-133.

23. Laflen, J.M. and W.C. Moldenhauer. 2003. The USLE Story. World Association of Soil and Water Conservation (WASWC), Special Publication No.1, 54 pages.
24. Le Bissonnais, Y., B. Renaux and H. Delouche. 1995. Interactions between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. *Catena*, 25: 33-46.
25. Mahmoodabadi, M., H. Rouhipour, M. Arabkhedri and H.G. Rafahi. 2007. Calibration, spatial distribution and rain characteristics of rainfall simulation, case study: Soil Conservation and Watershed Management Research Institute rainfall simulator. *Journal of Iranian Watershed Management Science and Engineering*, 1(1): 40-50 (in Persian).
26. Maroufpoor, E., A. Faryabi, H. Ghamarnia and G. Moshrefi. 2010. Evaluation of uniformity coefficients for sprinkler irrigation systems under different field conditions in Kurdistan province (Northwest of Iran). *Soil and Water Research*, 5(4): 139-145.
27. Martinez, R., J.V. Giraldez and J. A. Gomez. 2010. Use of a mesoplot rainfall simulator to characterize the hydrological behavior of runoff plots under two different soil management techniques. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU General Assembly 2010, Held 2-7 May, Vienna, Austria, page 4908.
28. Moradi, H.R. and H. Saidian. 2010. Comparing the most important factors in the erosion and sediment production in different land uses, case study: Gachsaran and Aghajari Formations. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 4(11): 1-12.
29. Oygarden, L., J. Kvaerner and P.D. Jenssen. 1997. Soil erosion via preferential flow to drainage systems in clay soils. *Geoderma*, 76: 95-86.
30. Peyvasteh, F., H. Asadi and M. Akef. 2010. Relationship between aggregate stability and surface sealing formation and its effect on soil erosion in the laboratory condition. *Iranian Watershed Management Science and Engineering*, 10: 1-9 (in Persian).
31. Quansah, C. 1981. The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport. *European Journal of Soil Science*, 32(2): 215-224.
32. Rasiyah, V., B.D. Kay and T. Martin. 1992. Variation of structural stability with water content: influence of selected soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 1604-1609.
33. Rejman, J., R. Turski and J. Paluszek. 1998. Spatial and temporal variations in erodibility of loess soil. *Soil and Tillage Research*, 46: 61-68.
34. Rimal, B.K. and R. Lal. 2009. Soil and carbon losses from five different land management areas under simulated rainfall. *Soil and Tillage Research*, 106: 62-70.
35. Romkens, M.J.M., K. Helming and S.N. Prasad. 2001. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness and soil water regimes. *Catena*, 46: 103-123.
36. Sadeghi, S.H.R., M. Bashari-Seghaleh and A.S. Rangavar. 2010. Determination of proper size of plots for runoff and sediment estimation from small watersheds in Sanganeh watershed, Khorasan Razavi province. *Journal of Water and Soil Sciences (Agriculture and Natural Resources)*, 14(52): 39-48 (in Persian).
37. Saghafian, B. 2002. Study on determining the laboratory rainfall simulator design criteria proportionate to climate conditions of Iran. Final research project report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, 70 pages (in Persian).
38. Seeger, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.
39. Srinivasan, M.S., P.J.A. Kleinman, A.N. Sharpley, T. Buob and W.J. Gburek. 2007. Hydrology of small field plots used to study phosphorus runoff under simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality*, 36: 1833-1842.
40. Tiso, N. 2013. Filter papers and membranes. Padova University Press, Italy, 69 pages.
41. Verbist, B., J. Poesen, M. Van-Noordwijk, D. Widiyanto-Suprayogo, F. Agus and J. Deckers. 2010. Factors affecting soil loss at plot scale and sediment yield at catchment scale in a tropical volcanic agroforestry landscape. *Catena*, 80: 34-46.
42. Zhang, M.K., L.P. Wang and Zh.l. HE. 2007. Spatial and temporal variation of nitrogen exported by runoff from sandy agricultural soils. *Journal of Environmental Sciences*, 19: 1086-1092.

## Variations of runoff and sediment in soils containing different clay contents under two successive events

Mehdi Bashari<sup>1</sup>, Hamid Reza Moradi<sup>\*2</sup>, Mir Masoud Kheirkhah<sup>3</sup> and Majid Jafari Khaledi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> PhD Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran, <sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran, <sup>3</sup> Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran and <sup>4</sup> Assistant Professor, Faculty of Mathematical Sciences, Tarbiat Modares University, Iran

Received: 16 July 2013

Accepted: 04 January 2014

### Abstract

Study of soil erosion without simplification of experimental conditions is difficult and sometimes impossible. Soil clay content has significant relationships with soil aggregates stability and infiltration, that these relationships in various clay contents may be positive or negative. Many properties of soil in successive rainfalls can be changed and also affect on runoff and sediment production. Hence, this study attempted to investigate the effect of soil clay content on runoff and sediment production during successive rainfalls under rainfall simulator using erosion plots and eliminates the effects of the overlapping factors. To achieve these aims, 1.5 m<sup>2</sup> erosion plots containing soil without clay, combined with 0, 10, 20, 30, 40 and 50 percent of clay soil in three replications, respectively (totally 18 plots) and then were subjected to two successive runs under 70 mmh<sup>-1</sup> rainfall intensity for 30 minutes and 24-hours intervals. Sampling and measuring the volume of runoff during rainfall was done each 2.5 minutes. Based on observed data, the amounts of observed sediment in the second runs were 1.5 to 2 times higher than those found in first runs (with a total average of 9/2 and 15/0 grams per liter, respectively for first and second runs), but amounts of runoff in 0 and 10 percent of clay soil mixtures were higher in first runs (2613 and 2045 volumes in milliliters, respectively), whereas for the other mixtures, runoff volume in second runs were higher (2694, 2677, 2315 and 2752 volumes in milliliters for 20, 30, 40 and 50 percent of clay mixtures, respectively). Finally, the statistical analysis showed that in both successive runs in all mentioned soils containing various clay soil mixtures, runoff and sediment values were different significantly ( $p < 0.01$ ). The results showed that there are significant temporal variations within soil properties and also soil clay content has great effects on the quality and quantity of soil erosion process.

**Key words:** Clay percent, Experimental plot, Rainfall simulator, Soil erosion, Successive runs

---

\* Corresponding author: hrmoradi@modares.ac.ir