

انتخاب پذیری ذرات رسوب در اثر فرسایش شیاری در خاک‌های با بافت مختلف

نسرين صادقیان* و علیرضا واعظی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۹)

چکیده

انتخاب‌پذیری ذرات رسوب طی فرایند انتقال، اطلاعات اساسی برای برآورد اثرات درون و برون عرصه‌ای فرسایش خاک و توزیع اندازه ذرات رسوب در اثر فرسایش شیاری در اختیار می‌گذارد. اطلاعات اندکی در مورد انتخاب‌پذیری ذرات در فرسایش شیاری به‌ویژه در نوارهای کشت دیم وجود دارد. برای این منظور، انتخاب‌پذیری رسوب در سه بافت خاک شامل لوم، شن لومی و لوم رس شنی تحت شیب ۱۰ درصد با استفاده از باران شبیه‌سازی شده با شدت ۹۰ میلی‌متر در ساعت به مدت ۴۰ دقیقه بررسی شد. نمونه‌های خاک از الک ۱۰ میلی‌متر گذرانده، در فلومی به ابعاد $4\text{m} \times 4\text{m}$ ریخته شد. توزیع اندازه ذرات در رسوب تعیین و با خاک اصلی مقایسه شد و نسبت آن در رسوب به خاک اصلی به‌عنوان معیاری برای انتخاب‌پذیری ذرات در فرسایش شیاری بیان شد. بر اساس نتایج فراوانی ذرات درشت (شن بسیار درشت و درشت) در رسوب در تمام خاک‌ها بیشتر بود و نسبت این ذرات در رسوب به خاک اصلی بزرگ‌تر از یک بود که نشان‌دهنده انتخاب‌پذیری بیشتر این ذرات در فرسایش شیاری بود. خاک لوم شنی حساس‌ترین خاک به فرسایش شیاری بود به طوری که بیشترین شدت دبی رواناب (۰/۰۳۵ متر مربع بر ثانیه) و بار رسوب (۱/۰ کیلوگرم بر متر ثانیه) طی باران را تولید کرد. توزیع اندازه ذرات رسوب در این خاک بسیار شبیه به خاک اصلی بود. به‌طورکلی این پژوهش نشان داد که پایداری خاکدانه مهم‌ترین ویژگی خاک از نظر فرسایش شیاری و انتخاب‌پذیری رسوب در خاک‌های منطقه نیمه‌خشک است. با افزایش پایداری خاکدانه، نفوذپذیری خاک و در نتیجه تنش برشی جریان در شیارها کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: اندازه خاکدانه، بار بستر، توزیع اندازه ذره، قدرت جریان، غلظتین

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nasrin.sadeghian@znu.ac.ir

مقدمه

فرسایش خاک به وسیله آب عامل اصلی تخریب خاک در سراسر دنیا است. این تخریب باعث اثرات منفی در بیرون از عرصه فرسایش بر کیفیت آب به ویژه از نظر وجود بار معلق می شود. این فرسایش شامل سه فرایند: برداشت، انتقال و رسوب گذاری ذرات خاک توسط قطرات باران و رواناب است (۴ و ۵). فرایندهای فرسایشی ناشی از بارندگی را می توان به سه دسته تقسیم کرد که عبارت هستند از: الف) فرایندهای جدا کننده که شامل: ۱) شکسته شدن خاکدانه های ناپایدار، ۲) سائیده شدن خاکدانه های با پایداری زیاد و ۳) ایجاد حفره است. ب) فرایندهای انتقال دهنده ذرات نیز شامل: ۱) پاشمان هوایی، ۲) پاشمان جهشی، ۳) پاشمان خزشی و ۴) تعلیق. پ) فرایندهای جانبی که شامل: ۱) متراکم شدن لایه سطحی خاکرو و ۲) تشکیل اندوده سطحی (۱) می شود. رسوب شامل ذرات اولیه و خاکدانه ها است (۱۷). اندازه ذرات اولیه و خاکدانه ها در یک خاک به نوبه خود تعیین کننده شدت فرایند برداشت و انتقال است. از این رو، توزیع اندازه ذرات رسوب موضوع قابل بررسی است (۲۳ و ۳۱). اندازه ذره ای که می تواند انتقال پیدا کند؛ در کنار عواملی مانند: مقدار در دسترس ذره در عرصه فرسایشی، امکان تولید ذره در طی پدیده فرسایش و انتخابی یا غیر انتخابی بودن فرایندهای انتقال ذرات، تحت تأثیر خصوصیات عامل انتقال دهنده و تنش برشی (قدرت جریان) و شرایط سطح (زبری و موانع) میسر نیز است (۱).

رسوب از دو منظر شامل مقدار و توزیع اندازه ذرات قابل بررسی است. آزمایشات نشان می دهد که در شرایط پایدار، توزیع اندازه ذرات رسوب تا حد زیادی به توزیع اندازه ذرات بستر اولیه خاک شباهت دارد. توزیع اندازه ذرات رسوب بستگی به خصوصیات بارش، پوشش گیاهی، خصوصیات هیدرولیکی جریان، خصوصیات خاک و شیب دارد. این مشخصه به طور وسیعی به دلیل تفاوت در بافت و خاکدانه تغییر می کند (۳ و ۱۴). در خاک های با بافت درشت، جدایش پذیری ذرات با افزایش اندازه ذره کاهش می یابد که دلیل آن افزایش فیزیکی وزن ذره

است، برای ذرات کوچک تر از ۰/۰۵ میلی متر، جدایش پذیری با کاهش اندازه ذرات کاهش می یابد که دلیل آن به افزایش هم چسبی ذرات مربوط می شود (۶). طبق این نتایج قابلیت جدا شدن ذرات در خاک های با رس و شن زیاد کمتر از خاک های با سیلت زیاد است (۸). ذرات سیلت به آسانی از یکدیگر جدا می شوند (۲۳) و معمولاً سهم غالب در رسوب دارند (۲۳ و ۳۱). علاوه بر آن، در خاک های سیلتي که نیروی چسبندگی ضعیفی بین ذرات وجود دارد و تمایل به تشکیل سله نیز بیشتر است که این مسئله منجر به افزایش تولید جریان سطحی و در نتیجه برداشت آسان و زیاد ذرات خاک می شود (۸). شیب عامل دیگر مؤثر بر انتخاب پذیری ذرات خاک در فرسایش و در نتیجه توزیع اندازه ذرات رسوب است. در شیب های تند، ذرات درشت به دلیل نیروی ثقل و نیروهای اینرسی در جهت شیب منتقل می شوند و به دلیل افزایش توان نیروی فرساینده، انتقال ذرات به صورت غلتیدن افزایش می یابد (۲۹). بنابراین اهمیت فرایند انتقال غلتیدن در انتخاب پذیری رسوب طی فرایند فرسایش در شیب های بالا مهم تر از شیب های ملایم است. نوع عامل فرساینده نیز در مقدار انتقال ذرات و انتخاب پذیری ذرات خاک مؤثر است. بارندگی و رواناب به عنوان دو عامل اصلی فرساینده خاک، می توانند در تولید رسوب مؤثر باشند. بارندگی بیشترین اثر خود را روی جدایش ذرات می گذارد و زمینه را برای شسته شدن ذرات فراهم می کند. گزارش ها نشان داد که مقدار ذراتی که در اثر بارندگی جدا می شوند ۵۰ تا ۹۰ برابر مقداری هستند که توسط بارندگی، انتقال می یابند (۲۰). نقش رواناب در تولید رسوب نسبت به پاشمان دارای اهمیت بیشتری است. ذرات که تحت تأثیر پدیده فرسایش از بستر اصلی جدا شده و قابل انتقال گشته اند، می توانند توسط جریان آب به شکل بار معلق و بار بستر انتقال پیدا کنند. فرسایش شیاری یکی از اشکال بارز فرسایش آبی در دامنه ها است. در این فرسایش جریان متمرکز آب منجر به برداشت ذرات در مسیر و ایجاد کانال های باریک در امتداد شیار می شود. جریان متمرکز به عنوان جریان قدرتمند منجر به انتقال اغلب ذرات خاک از بستر می شود. وجود جریان های متمرکز با

می‌توان به تأثیر فرسایش بر کیفیت خاک و باروری آن (اثرات درون‌عرصه‌ای فرسایش) و تأثیر آن بر آلودگی منابع و ترسیب بر سطح اراضی (اثرات برون‌عرصه‌ای فرسایش) اشاره کرد. شناخت دینامیکی توزیع اندازه ذرات رسوب، مبنای برآورد فرسایش‌پذیری خاک در بیشتر مدل‌های فرسایش خاک است. به‌عنوان نمونه مدل‌های WEPP (۱۸)، CREAMS (۷) و GUST (۱۶) خصوصیات رسوب را برای دقت بیشتر در پیش‌بینی حرکت رسوب مورد توجه قرار می‌دهند. اهمیت انتخاب‌پذیری انتقال ذرات در اراضی شیبدار واقع در نواحی نیمه‌خشک که فاقد پوشش گیاهی مناسب هستند، دو چندان است. بسیاری از اراضی در این مناطق دچار تغییر کاربری شدند و به کشت محصولات دیم اختصاص یافته‌اند. هنوز در بسیاری از کشتزارهای دیم، شخم و کشت به موازات شیب انجام می‌گیرد که در این صورت نوارهایی به موازات شیب ایجاد می‌شوند. نوارهای کشت رفتاری شبیه به شیارها داشته و به دلیل تمرکز جریان‌ها در آن، در افزایش قدرت جریان‌ها و در نتیجه تشدید فرسایش خاک مؤثر هستند و به دلیل تمرکز جریان در آنها، احتمال وقوع فرسایش خاک بالاست. اگر چه پژوهش‌های زیادی در مورد انتخاب‌پذیری ذرات خاک در فرسایش پاشمانی انجام گرفته است (۱۸ و ۲۶) اما اطلاعات در مورد این موضوع در نوارهای کشت تحت فرسایش شیاری محدود است. آگاهی از مقدار و توزیع اندازه ذرات رسوب حاصل از این شیارها می‌تواند در ارزیابی شدت تخریب خاک و افت حاصلخیزی آن سودمند باشد. بر این اساس این پژوهش با هدف بررسی مقدار و توزیع اندازه ذرات رسوب در شیارها و رابطه آن با خصوصیات جریان و تعیین فرایند انتقال ذرات در برخی خاک‌های دیم منطقه نیمه‌خشک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک و تعیین ویژگی‌های آن

برای انجام این آزمایش سه خاک با بافت مختلف در منطقه نیمه‌خشک از استان زنجان نمونه‌برداری شدند رفتند.

تنش برشی بیشتر از مقدار آستانه تنش برشی بحرانی باعث می‌شود که انتقال ذرات در اثر این فرسایش غیرانتخابی باشد به‌طوری که حتی خاکدانه و ذرات بزرگ‌تر انتقال می‌یابند (۲۳). اختلاف بزرگی در اندازه ذرات رسوب (شامل خاکدانه و ذرات اولیه) در جریان‌های شیاری وجود دارد. ذرات بزرگ‌تر توسط جریان شیاری نسبت به جریان بین‌شیاری منتقل می‌شوند که این موضوع به دلیل اختلاف اساسی در فرایند برداشت و انتقال است. در فرایند فرسایش شیاری نسبت به فرسایش بین‌شیاری، انتقال ذرات درشت اغلب به دلیل تفاوت در فرایند برداشت و انتقال بیشتر است (۲۵ و ۲۹). در فرسایش حاصل از جریان‌های با قدرت پایین، توزیع اندازه ذرات رسوب تابع دو نمایی دارد. این رفتار از توزیع اندازه ذرات خاک اصلی ناشی نمی‌شود، بلکه دلیل آن شکسته شدن خاکدانه‌ها طی فرایند فرسایش است (۳). برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که توزیع اندازه ذرات رسوب معمولاً ریزتر از توزیع اندازه ذرات خاک اصلی است (۲۳). انتقال‌پذیری ذرات خاک در اثر فرسایش شیاری طی بارندگی دچار تغییر می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت، رسوب در ابتدای آزمایش، قبل از آن که شیار نمایان شود، دارای توزیع اندازه ذرات ریزتری است ولی بعد از تشکیل شیار، توزیع اندازه ذرات رسوب درشت می‌شود (۳۱).

بررسی انجام یافته بر فرایندهای فرسایشی ناشی از جریان‌های سطحی و انتخاب‌پذیری ذرات در شرایط آزمایشگاهی در فلومی به ابعاد $3 \times 0.2 \times 0.05$ m نشان داد که حداقل دو مکانیسم انتقال متفاوت بسته به شرایط هیدرولیکی جریان به‌ویژه قدرت جریان، انتقال ذرات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین نتایج این بررسی نشان داد که در قدرت جریان کوچک‌تر از 0.1 Wm^{-2} ، مکانیسم انتقال سوسپانسیون (معلق) و در قدرت جریان‌های بالاتر از این مقدار مکانیسم غلتیدن فعال است (۳).

آگاهی از توزیع اندازه ذرات انتقال یافته از سطح اراضی می‌تواند از جنبه‌های مختلفی دارای اهمیت باشد که از آن جمله

در داخل فلوم بر اساس جرم مخصوص ظاهری خاک‌ها (جدول ۱) در پنج لایه پنج سانتی‌متری ریخته شدند (۳۴). شدت باران برابر با ۹۰ میلی‌متر در ساعت بود. چنین بارانی جزء رگبارهای شدید در منطقه است که نقش اساسی در هدررفت زیاد آب و خاک طی سال در دامنه‌های تحت فرسایش شیاری دارند (۲۴). دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده در این آزمایش، از دو پایه فلزی با صفحه بارشی به طول ۴/۵ متر و به عرض ۱۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۰۰ سانتی‌متر از سطح خاک داخل فلوم تشکیل شده بود. صفحه بارش شامل ۲۰ قطعه نازل اسپری جت و ساخت کشور آمریکا بود. دستگاه قادر به تولید باران‌های با شدت متفاوت (از ۳۵ تا ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت) بود (شکل ۱).



شکل ۱. نمایی از فلوم مورد استفاده در آزمایش

هدایت الکتریکی آب برابر با ۰/۵ میلی‌موس بر سانتی‌متر است. شیب فلوم برابر با ۱۰ درصد تنظیم شد (شکل ۱). انتخاب این درصد از شیب به دلیل تطابق با شیب کشتزارهای دیم غالب در استان بود. در طول آزمایش، زمان آغاز رواناب برای هر چهار شیار در هر خاک ثبت شد. سرعت جریان با استفاده از پرمنگنات پتاسیم با غلظت ۰/۵ گرم در لیتر در فواصل یک متری اندازه‌گیری شد. این ماده، تغییر رنگ آشکار (بنفش) در جریان آب نمایان می‌سازد که امکان تعیین دقیق سرعت جریان را فراهم می‌کند. حجم و غلظت رواناب تا رسیدن به حالت ماندگار در فواصل زمانی مختلف اندازه‌گیری شد، مدت زمان آزمایش بسته به زمان لازم برای رسیدن به حالت ماندگار، بین ۳۵ تا ۴۵ دقیقه در نظر گرفته شد. رسوب تولید شده از شیارها در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. وجود یا عدم وجود خاکدانه در رسوب، با استفاده از الک بررسی شد و توزیع اندازه ذرات رسوب به روش هیدرومتر برای هفت کلاس اندازه ذرات تعیین شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمایشات مربوط به توزیع اندازه رسوب در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار انجام شد. برای بررسی نرمال بودن

خاک‌ها از کشتزارهای دیم از عمق ۲۰ - ۰ سانتی‌متری نمونه برداری شده و از الک ۱۰ میلی‌متری عبور داده شدند تا خاک‌ها به شرایط طبیعی شبیه‌تر باشند (۳۴). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در آزمایشگاه تعیین شد. در این راستا توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتر (۱۱)، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر فلزی (۱۱)، پایداری خاکدانه به روش الک تر به مدت یک دقیقه در خاکدانه‌های با قطر بین ۵/۶ و ۸ میلی‌متر با حذف بخش شنی و سنگریزه‌ای (۱۰)، سنگریزه به روش (۱۱)، هدایت الکتریکی به وسیله هدایت‌سنج (۱۹)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۲۲) و ماده آلی به روش والکی - بلک (۲۵) تعیین شد.

تعیین توزیع اندازه ذرات در اثر فرسایش شیاری

این آزمایش با استفاده از فلوم به طول ۴ متر، عرض ۰/۴ متر، عمق ۰/۲۵ متر و باران‌سازی که دارای نازل از نوع اسپری جت که به فاصله دو متر از سطح خاک فلوم فاصله داشت، انجام شد. نمونه خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متر به داخل فلوم منتقل شد و پس از تسطیح آن، چهار قطعه شیار به عمق ۵ سانتی‌متر و فاصله ۱۰ سانتی‌متری به مقطع مثلثی شکل ایجاد شد. خاک‌ها

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

خصوصیات خاک	واحد	لوم	شن لومی	لوم رس شنی
شن بسیار درشت	(%)	۰/۵	۰/۹۲	۵/۳۵
شن درشت	(%)	۱/۶۲	۷/۳۶	۲۳/۹۵
شن متوسط	(%)	۲/۶۲	۱۷/۱۸	۳۲/۷۲
شن ریز	(%)	۹/۸۲	۲۶/۱۵	۱۲/۷۵
شن بسیار ریز	(%)	۳۱/۲	۲۲/۵۷	۲/۷۵
سیلت	(%)	۳۶/۸۰	۱۷/۹۳	۲۲/۵۰
رس	(%)	۱۷/۴۸	۷/۵۳	۲۲/۵۰
سنگریزه	(%)	۱۵/۶۰	۲/۰۰	۲۱/۱۸
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار	(mm)	۰/۹۷	۰/۶۴	۱/۰۷
جرم مخصوص ظاهری	g cm ^{-۳}	۱/۲۰	۱/۲۹	۱/۴۰
جرم مخصوص حقیقی	g cm ^{-۳}	۲/۲۶	۲/۵۱	۲/۵۳
مواد آلی	(%)	۰/۹۹	۱/۳۴	۰/۵۸
درصد سدیم تبدلی	(%)	۲/۷۵	۳/۸۰	۲/۳۸
کربنات کلسیم معادل	(%)	۲۷/۰۰	۲۵/۸۳	۲۰/۰۰

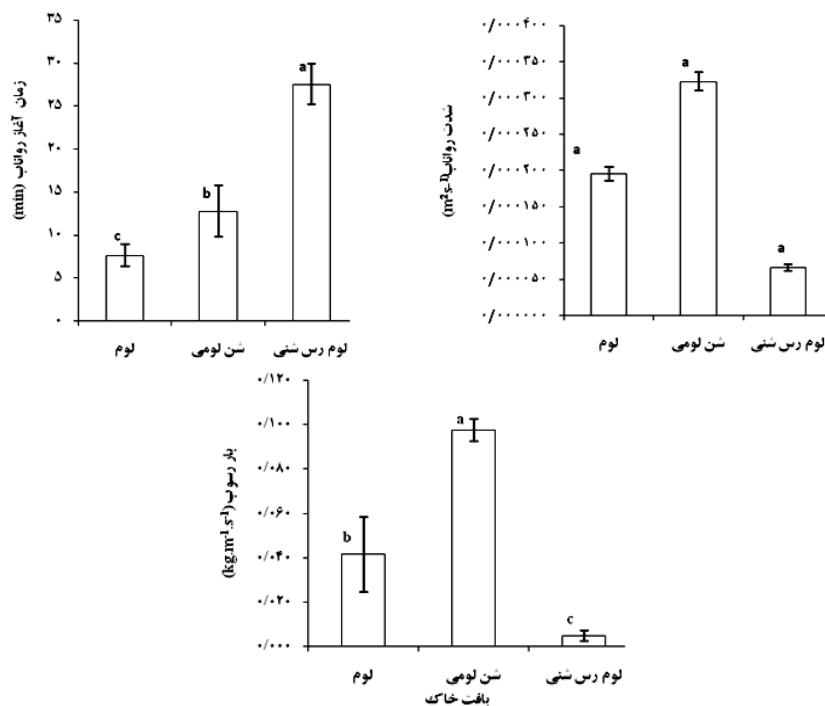
داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک (۲۷) و برای انجام مقایسه میانگین‌ها عامل‌های آزمایش از آزمون دانکن استفاده شد. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

مطابق جدول (۱) در خاک‌های مورد بررسی دامنه تغییرات ذرات شن، سیلت و رس بین خاک لوم، لوم شنی و لوم رس شنی به ترتیب حدود ۲۹، ۱۹ و ۱۵ درصد به دست آمد. از بین اجزای شن در خاک، بیشترین تفاوت بین خاک‌ها از نظر ذرات شن بسیار درشت، درشت و متوسط بود (جدول ۱). مقدار ماده آلی در خاک لوم رس شنی کمترین (۰/۵۸ درصد) و در خاک شن لومی بیشترین (۱/۴۳ درصد) بود. با توجه به محتوای بالای کربنات کلسیم در خاک (بیش از ۲۰ درصد)، خاک‌ها در گروه خاک‌های آهکی قرار می‌گیرند. درصد سدیم تبدلی خاک‌ها از ۷/۵۲ (لوم) تا ۳/۸ (شن لومی) تغییر کرد. خاک لوم رس شنی بیشترین مقدار پایداری خاکدانه (۱/۰۷ میلی‌متر) و خاک شن لومی کمترین مقدار (۰/۶۴ میلی‌متر) را داشت. این موضوع مغایر با محتوای ماده آلی در این خاک‌ها بود. با توجه به

تغییرات رس در خاک‌ها، می‌توان گفت که ذرات رس نقشه اساسی در شکل‌گیری و پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های منطقه مورد بررسی دارد.

شکل (۲) تغییرات زمان آغاز رواناب، دبی جریان و بار رسوب در خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که کمترین دبی جریان در خاک لوم رس شنی است که بیشترین زمان لازم برای آغاز رواناب را دارد. این خاک از یک سو دارای مقدار شن و سنگریزه به ترتیب برابر با ۵۵ و ۲۱/۱۸ درصد است که نسبت به لوم دارای شن و سنگریزه بیشتر و نسبت به خاک شن لومی دارای سنگریزه (۱۱ برابر) بیشتری بود و از سوی دیگر پایداری خاکدانه آن بیشتر از دو خاک دیگر بود. بنابراین خاک لوم رس شنی از نظر تخلخل و نفوذپذیری شرایط بهتری داشته لذا زمان شروع رواناب در آن زیاد است، گزارش‌ها نشان می‌دهد که در خاک‌های با ساختمان ناپایدار، تخریب خاکدانه‌ها به دلیل ضربه قطرات باران منجر به آزاد شدن ذرات ریز می‌شود که این ذرات به عمق خاک حرکت کرده و در عمق ۱۰-۵ میلی‌متر سطح خاک تجمع می‌یابند و به نوبه خود منجر به انسداد منافذ خاک و تشکیل سله سطحی می‌شوند

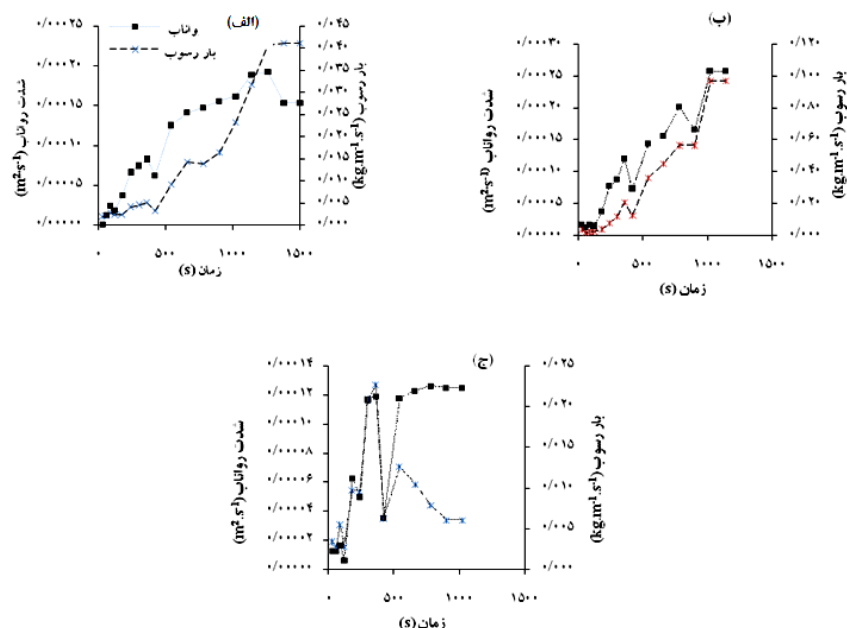


شکل ۲. تغییرات زمان آغاز رواناب، دبی جریان و بار رسوب در خاک‌های مورد بررسی. حروف مشابه دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد نبودند.

لومی، وزن ذرات انتقال یافته نیز بزرگ است. بزرگی بار رسوب در لحظات بعد از رسیدن به حالت ماندگار در خاک شن لومی را نیز می‌توان به ایجاد تلاطم در جریان رواناب، به دلیل نشست ناگهانی در سطح خاک نسبت داد؛ به طوری که باعث کاهش قدرت برشی خاک در لحظات پایان آزمایش می‌شود که با نتایج شی و همکاران (۲۹) و هی و همکاران (۹) مشابه است. توزیع اندازه ذرات خاک‌ها پیش از آغاز آزمایش نشان می‌دهد که خاک شن لومی دارای ذرات ریز کمتر از دو خاک دیگر است و مقدار ذرات درشت بیشتر از دو خاک دیگر است (جدول ۱) که منافذ و ظرفیت نفوذ آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از این رو افزایش رواناب در آن به کندی صورت می‌گیرد و دیرتر از دو خاک دیگر به حالت ماندگار می‌رسد (شکل ۳). غلظت رسوب زیاد که همراه با دبی رواناب پایین در شروع جریان رواناب است، ممکن است به دلیل وجود مقدار زیاد ذرات سست و ریز روی سطح خاک باشد. هنگامی که ذرات سست و ریز تمام می‌شوند، غلظت

(۱۲). برخلاف برخی گزارش‌ها که در آن وجود ذرات ریز اولیه بیشتر (سیلت و رس) خاک را مستعد تشکیل سله کرده، تولید رواناب و برداشت ذرات تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۲)، این پژوهش نشان داد که چنین ذراتی در پیوند با هم در تشکیل خاکدانه‌های پایداری و افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش شیاری مؤثر هستند.

(شکل ۳) نیز نشان می‌دهد، که کمترین میزان دبی رواناب و بار رسوب در طول آزمایش برای خاک لوم رس شنی و لومی و بیشترین مقدار رسوب حمل شده برای خاک شن لومی است که دلیل آن را می‌توان به تنش برشی بالای رواناب نسبت به دو خاک دیگر (جدول ۱) نسبت داد. جریان شیاری در خاک لوم سریع‌تر آغاز شد و این خاک بالاترین نسبت ذرات درشت دانه را در رسوب ظاهر کرد. همچنین پایداری خاکدانه در این خاک کمتر بود. قدرت زیاد جریان باعث انتقال ذرات درشت‌تر می‌شود و از طرفی با توجه به بالا بودن جرم مخصوص حقیقی خاک شن



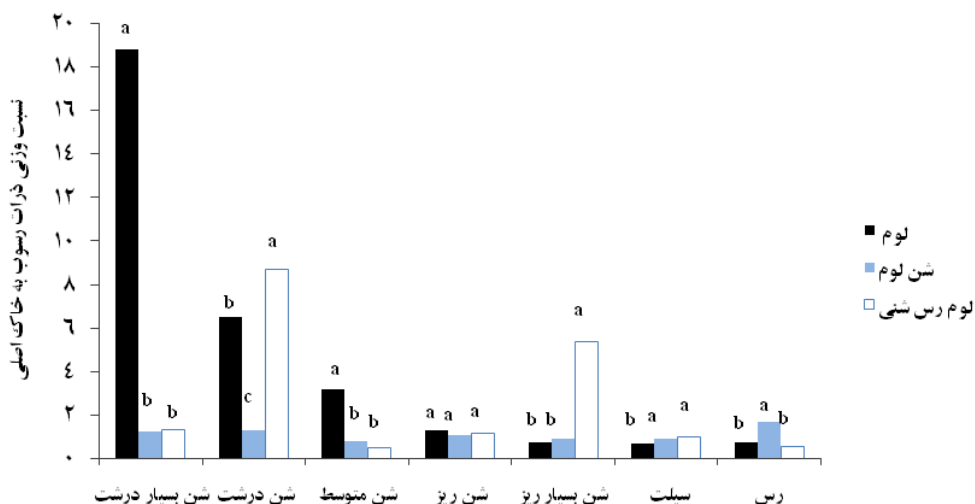
شکل ۳. تغییرات زمانی بار رسوب و دبی در واحد عرض جریان برای سه خاک به ترتیب:

الف) لوم، ب) شن لومی و ج) لوم رس شنی

تمام خاکدانه‌های سطح بر اثر ضربه قطرات باران متلاشی شدند. بررسی توزیع اندازه کل مواد منتقله در رسوب نیز بیانگر این موضوع بود که رسوب فاقد هر گونه ذره ثانویه (خاکدانه) است. از این رو انتخاب‌پذیری ذرات اولیه درشت‌دانه در هر سه خاک به دلیل ماهیت جریان متمرکز در شیاریها بود. جریان متمرکز رخ داده در شیاریها، دارای قدرت کافی برای انتقال ذرات اولیه درشت‌دانه بود. در مطالعات دیگر نشان داده شده است که انتخاب‌پذیری ذرات رس بیشتر از سایر ذرات اولیه است. به‌عنوان نمونه در مطالعه‌ای توزیع اندازه ذرات خاک در سه خاک با پایداری خاکدانه متفاوت در ابعاد فلوم در شرایط آزمایشگاهی تحت بارش با انرژی جنبشی $15/9 \text{ KJ. M}^{-3}$ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شکل منحنی توزیع اندازه ذرات خاک و رسوب مشابه هم هستند. انتقال ذرات رس در خاک‌های دارای خاکدانه ناپایدار بیشتر از خاک‌های با ساختمان پایدار بود (۳۲). تفاوت این نتیجه با نتایج پژوهش حاضر را می‌توان به زمان اندازه‌گیری انتقال ذرات دانست. در زمان‌های

رسوب به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد. در خاک لوم شنی که بیشترین میزان بار رسوب را دارد، توزیع اندازه ذرات رسوب بسیار شبیه به خاک اصلی بود که این یافته با نتایج شی و همکاران همسو است (۲۹).

نسبت اندازه ذرات خاک فرسایش یافته به اندازه همان ذرات در خاک اصلی بیانگر اجزای فرسایشی و انتقال یافته توسط جریان شیاری است (۱۲). این نسبت تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله توزیع اندازه ذرات و ساختمان خاک، شدت بارندگی و خصوصیات جریان قرار دارد. فراوانی ذرات شن بسیار درشت و درشت (۲-۵ mm) در رسوب نسبت به خاک اصلی در هر سه بافت خاک مورد بررسی بزرگ‌تر از یک بود. اگر چه برخی گزارش‌ها نشان می‌دهد که وجود نسبت ذرات بالاتر از یک بیانگر انتقال ذرات به شکل خاکدانه است (۳۱) لیکن در خاک‌های مورد بررسی، تشکیل خاکدانه و پایداری آنها بسیار اندک بود و به دلیل اعمال باران شدید به مدت نسبتاً طولانی (۹۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت بیش از ۳۰ دقیقه)، عملاً



شکل ۴. تغییرات نسبت وزنی ذرات در رسوب به خاک اصلی در سه خاک مورد بررسی. حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد هستند.

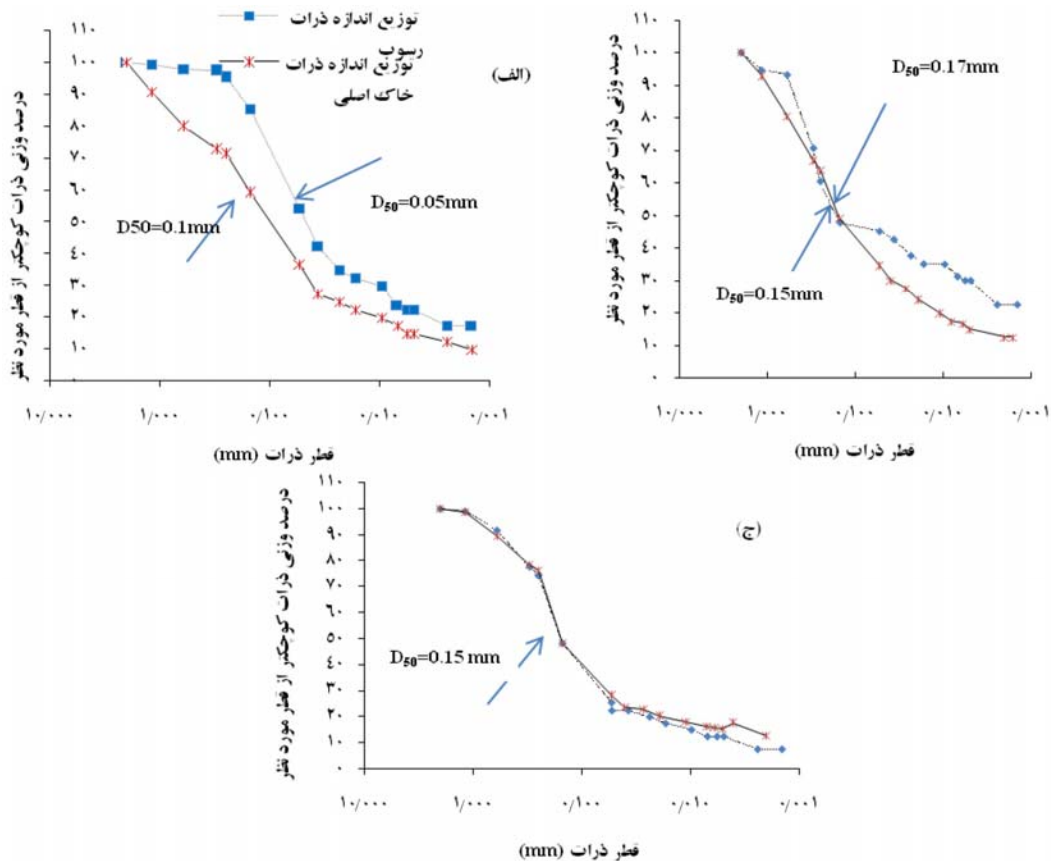
هر سه خاک در محدوده ذرات درشت، بزرگ‌تر از یک است که با توجه به میانگین قطر خاکدانه‌ها در جدول (۱) و بالا بودن شدت باران، ضربه قطرات باران، دبی جریان و تنش برشی، قابلیت انتقال ذرات درشت فراهم بوده و از این رو فراوانی آنها در رسوب بیشتر از خاک اصلی بوده است، قابل توجه است. بیشترین ذرات انتقال یافته در هر سه خاک در محدوده درشت ($2-0.5$ mm) است (شکل ۴).

بافت خاک به شدت توزیع اندازه ذرات رسوب را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد (۳۲). خاک‌های مورد بررسی دارای سیلت بیشتر از ۱۸ درصد بودند، اگر چه، رسوب به‌طور قابل توجهی متشکل از ذرات سیلت نبود. بررسی قطر میانه ذرات (D_{50}) در خاک اصلی و رسوب با استفاده از منحنی دانه‌بندی ذرات نشان داد که D_{50} در خاک لوم، به ترتیب برابر با ۰/۱ و ۰/۰۵ میلی‌متر در خاک لوم رس شنی برابر با ۰/۱۷ و ۰/۱۵ میلی‌متر و در خاک لوم شنی برای هردو حالت برابر با ۰/۱۵ میلی‌متر بود (شکل ۵). خاک لوم و لوم رس شنی به ترتیب دارای ۴۵ و ۵۴/۹ درصد ذرات بزرگ‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر بود در حالی که رسوب آنها به ترتیب دارای ۶۳ درصد و ۶۵ درصد ذرات بزرگ‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر است که دلیل آن را می‌توان به

اولیه انتقال، اغلب ذرات ریزدانه منتقل می‌شوند و در زمان‌های آخر که جریان به حالت ماندگار می‌رسد به دلیل افزایش قدرت جریان و نیز کاهش موجودیت ذرات ریز در شیارها، انتخاب پذیری ذرات درشت‌دانه افزایش پیدا می‌کند.

جریان شیار به دلیل تنش برشی بالاتر، توان انتقال ذرات درشت‌تر (شن و سنگریزه) را دارد. در خاک لوم رس شنی در بخش ذرات رس و در خاک شن لومی در بخش ذرات شن متوسط و شن درشت نسبت مذکور برابر با یک است که نشان می‌دهد که این ذرات به شکل ذرات اولیه انتقال یافته‌اند، وانگ و همکاران (۳۱) در آزمایشات خود روی خاک لوم رسی در باران‌های با انرژی جنبشی مختلف، به این نتیجه رسیدند که در باران‌های با شدت بارش زیاد به دلیل انرژی جنبشی بالای باران، ذرات، به صورت ذرات اولیه منتقل می‌شوند.

در نسبت وزنی ذرات رسوب به ذرات خاک در بافت لوم، ذرات ریز دارای نسبت کوچک‌تر از یک هستند که می‌توان نتیجه گرفت ذرات وارد خاک زیرسطحی شده‌اند. خاک شن لومی که حاوی کمترین مقدار رس بود در رسوب آن، در تمام بخش ذرات ریز نسبت کوچک‌تر از یک و بخش ذرات درشت نسبت بزرگ‌تر از یک است. در کل، نسبت اندازه ذرات برای



شکل ۵. میانگین قطر میانه (D_{50}) برای خاک اصلی و رسوب: الف) خاک لوم، ب) خاک لوم رس شنی و ج) خاک شن لومی

فرسایش شیبی در سه خاک با بافت مختلف با استفاده از باران شبیه‌سازی شده مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که انتخاب‌پذیری ذرات تحت تأثیر توزیع اندازه ذرات و ساختمان خاک و خصوصیات جریان قرار دارد. در شرایطی که جریان شیبی به حالت ماندگار می‌رسد، تفاوت اساسی بین خاک‌ها از نظر تولید رواناب و بار رسوب وجود دارد به طوری که در خاک شن لومی نسبت به دو خاک دیگر شدت رواناب (0.035 متر مربع بر ثانیه) و بار رسوب (0.1 کیلوگرم بر متر ثانیه) به مراتب بیشتر است که دلیل آن را می‌توان به پایداری اندک خاکدانه‌های آن نسبت به دو خاک دیگر نسبت داد. فراوانی ذرات شن بسیار درشت و درشت ($2-5 \text{ mm}$) در رسوب نسبت به خاک اصلی در هر سه بافت خاک مورد بررسی بزرگ‌تر از یک بود که دلیل آن می‌تواند به دلیل وجود قدرت

فرسایش خاک به صورت ذرات اولیه نسبت داد. در خاک لوم شنی ذرات بزرگ‌تر از 0.05 میلی‌متر در خاک اصلی و رسوب یکسان است که دلیل آن پایداری اندک خاکدانه‌ها در این خاک نسبت به دو خاک دیگر است. توزیع اندازه ذرات رسوب لوم و لوم رس شنی دارای ذرات ریز نسبتاً بیشتری هستند. توزیع اندازه ذرات به نوبه خود به فرایند غالب فرسایش وابسته است. در فرسایش شیبی ذرات درشت اولیه و خاکدانه‌هایی که می‌توانند سریع ته‌نشین شوند، توسط جریان شیبی می‌توانند حمل شوند (۲). توزیع اندازه رسوب در این آزمایش به شدت تحت تأثیر بافت خاک است (شکل ۵).

نتیجه‌گیری

فرایندهای فرسایش و انتخاب‌پذیری ذرات خاک تحت فرایند

توزیع اندازه کل مواد منتقله در رسوب نیز بیانگر این موضوع بود که رسوب فاقد هر گونه ذره ثانویه (خاکدانه) است. از این رو انتخاب پذیری ذرات اولیه درشت‌دانه در هر سه خاک به دلیل ماهیت جریان متمرکز در شیارها بود. جریان متمرکز رخ داده در شیارها، دارای قدرت کافی برای انتقال ذرات اولیه درشت‌دانه بود. به‌طورکلی این پژوهش نشان داد که پایداری خاکدانه نقشی مهم در نفوذپذیری خاک و تولید جریان متمرکز ایفا می‌کند. در خاک‌های با ساختمان ناپایدار، شدت تولید جریان و بار رسوب بیشتری بوده و در شرایط برقراری جریان ماندگار، اغلب ذرات درشت‌دانه قابلیت انتقال پیدا می‌کنند.

جریان زیاد و ماهیت فرسایش شیاری باشد. از سوی دیگر به دلیل آن که اغلب ذرات ریزدانه پیش از زمان وقوع جریان ماندگار از طریق جریان شیاری انتقال یافته بودند، در زمان وقوع جریان ماندگار موجودیت ذرات درشت‌دانه در شیار برای انتقال بیشتر بود. در خاک‌های مورد بررسی، تشکیل خاکدانه و پایداری آنها بسیار اندک بود و به دلیل اعمال باران شدید به مدت نسبتاً طولانی (۹۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت بیش از ۳۰ دقیقه)، در عمل تمام خاکدانه‌های سطح بر اثر ضربه قطرات باران متلاشی شدند. تخریب خاکدانه‌ها منجر به کاهش نفوذپذیری خاک تولید جریان شیاری و افزایش بار رسوب شد. بررسی

منابع مورد استفاده

1. Asadi, H. 2005. The study of the processes and basic theories of soil erosion process models. PhD. Thesis, University of Tehran.
2. Asadi, H., A. Moussavi, H. Ghadiri and C. W. Rose. 2011. Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *Journal of Hydrology* 406: 73-81.
3. Asadi, H., H. Ghadiri, C. W. Rose and H. Rouhipour. 2007a. Interrill soil erosion processes and their interaction on low slopes. *Earth Surface Processes Landforms* 32: 711-724.
4. Asadi, H., H. Ghadiri, C. W. Rose, B. Yu and J. Hussein. 2007b. An investigation of flow-driven soil erosion processes at low streampowers. *Journal of Hydrology* 342: 134-142.
5. Drees, L., L. Wilding, P. Owens, B. Wu, H. Perotto and H. Sierra. 2003. Steepland resources: Characteristics, stability and micromorphology. *Catena* 54: 619-636.
6. Farmer, E. E. 1973. Relative detachability of soil particles by simulated rainfall. *Soil Science Society American Journal* 37: 629-633.
7. Foster, G. R., R. A. Young and W. H. Neibling. 1985. Sediment composition for nonpoint source pollution analyses. *American Society of Agricultural Engineers* 28: 133-139.
8. Gumiere, S. J., Y. Le Bissonnais and D. Raclot. 2009. Soil resistance to interrill erosion: Model parameterization and sensitivity. *Catena* 77: 274-284.
9. He, J., X. Li, L. Jia, H. Gong and Q. Cai. 2014. Experimental study of rill evolution processes and relationships between runoff and erosion on clay loam and loess. *Soil Science Society American Journal* 78: 1716-1725.
10. Kemper, W. D. and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. In *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods* (2nd Edition) Agronomy Monography, No. 9. Madison, Wisconsin.
11. Klute, A. 1996. *Methods of Soil Analysis, Part I: physical and Mineralogical Methods*. SSSA Book Series No.5. Soil Science Society of American Madison, Wisconsin.
12. Le Bissonnais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crust ability and erodibility: I. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425-437.
13. Martínez-Mena, M., V. Castillo and J. Albaladejo. 2002. Relations between interrill erosion processes and sediment particle size distribution in a semiarid Mediterranean area of SE of Spain. *Geomorphology* 45: 261-275.
14. Meyer, L. D., D. E. Line and W. C. Harmon. 1992. Size characteristics of sediment from agricultural soils. *Journal Soil Water Conservation* 47: 107-111.
15. Miller, W. P. and M. K. Baharuddin. 1987. Particle size of interrill-eroded sediments from highly weathered soils. *Soil Science Society American Journal* 51: 1610-1615
16. Misra, R. K. and C. W. Rose. 1996. Application and sensitivity analysis of process-based erosion model GUEST. *European Journal of Soil Science* 47: 593-604.
17. Mitchell, J. K., S. Mostaghimi and M. Pound. 1983. Primary particle and aggregate size distribution of eroded soil from sequenced rainfall events. *American Society of Agricultural Engineers* 26: 1773-1777.
18. Nearing, M. A., S. C. Parker, J. M. Bradford and W. J. Elliot. 1991. Tensile strength of thirty-three saturated

- repacked soils. *Soil Science Society American Journal* 55: 1546–1551.
19. Pansu, M. and J. Gautheyrou. 2006. Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer Science and Business Media. 43: 993.
 20. Refahi, H. GH. 2006. Soil Erosion by Water and Conservation. Tehran University. Tehran.
 21. Regmi, R. K., K. Jung, H. Nakagawa, J. Kang and G. Lee. 2014. Sediment erosion and transport experiments in laboratory using artificial rainfall simulator. *Journal of the Korean Geoenvironmental Society* 15(4): 13-27.
 22. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids, pp: 417-436. Methods of Soil Analysis. Chemical Methods. ASA/SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
 23. Rienzi, E. A., J. F. Fox, J. H. Grove and C. J. Matocha. 2013. Interrill erosion in soils with different land uses: The kinetic energy wetting effect on temporal particle size distribution. *Catena* 107: 130–138.
 24. Rostami, Y. 2012. Relationship between intensity, duration and kinetic energy of rain using rain simulator in Zanjan province. MSc. Thesis, Zanjan University.
 25. Rowell, D. I. 1994. Methods and Application. Longman Group. Harlow.
 26. Sadeghi, H. R., M. Kyanihargalani and H. Asadi. 2016. Splash particle size distribution along the experimental flume under different rainfall intensities and slopes. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 47(4): 657-664.
 27. Shapiro, S. S. and M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3–4): 591–611.
 28. Schiettecatte, W., D. Gabriels, W. M. Cornelis and G. Hofman. 2008. Enrichment of organic carbon in sediment transport by interrill and rill erosion processes. *Soil Science Society American Journal* 72: 50–55.
 29. Shi, Z. H., N. F. Fang, F. Z. Wu, L. Wang, B. J. Yue and G. L. Wu. 2012. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. *Journal of Hydrology* 454-455: 123–130.
 30. Wang, L., Z. H. Shi, J. Wang, N. F. Fang, G. L. Wu and H. Y. Zhang. 2014. Rainfall kinetic energy controlling erosion processes and sediment sorting on steep hillslopes: A case study of clay loam soil from the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology* 512: 168–176.
 31. Wang, L., Z. H. Shi. 2016. Size selectivity of eroded sediment associated with soil texture on steep slopes. *Soil Science Society of American Journal* 79: 917-929.
 32. Warrington, D., A. Mamedov, A. Bhardwaj and G. Levy. 2009. Primary particle size distribution of eroded material affected by degree of aggregate slaking and seal development. *European Journal of Soil Science* 60: 84–93.
 33. Young, R. A. 1980. Characteristics of eroded sediment. *American Society of Agricultural Engineers* 23: 1139–1142.
 34. Zhang, X. C., Z. B. Li and W. F. Ding. 2005. Validation of WEPP sediment feedback relationships using spatially distributed rill erosion data. *Soil Science Society of America Journal* 69: 1440-1447.

Selectivity of Particles through Rill Erosion in Different Soil Textures

N. Sadeghian* and A. Vaezi¹

(Received: June 22-2017 ; Accepted: October 11-2017)

Abstract

Sediment selectivity during transport may provide basic information for evaluating on-site and off-site impacts of the soil erosion. Limited information is, however, available on the selectivity of sediments in rill erosion, particularly in the rainfed furrows. Toward this, the sediment selectivity was investigated in three soil textures (loam, loamy sand and clay loam) under 10% slope using 90 mm.h⁻¹ rainfall intensity for 40 min. Soil samples were passed from a 10 mm sieve and packed in to the erosion flume with 0.4m × 4 m in dimensions. Particles size distribution (PSD) was determined in the sediments (PSDs) and compared with the original soil PSD (PSDo). The proportion of PSDs and PSDo was stated as PSDs/PSDo to show the selectivity of soil particles by rill erosion. Based on the results, all three soils appeared as the coarse particles (coarse sand and very coarse sand) in sediments with the PSDs/PSDo>1, indicating the higher selectivity of these particles by rill erosion. Loamy sand was the most susceptible soil to rill erosion among the studied soils, which generated a higher runoff (0.0035 m².s⁻¹) and sediment load (0.1 kg.m⁻¹.s⁻¹) during rainfall. The PSDs of this soil were similar to those of the original soil PSD. This study revealed that the stability of aggregates could be regarded as the major soil factor controlling rill erosion rate and the sediment selectivity in the semi-arid soils. With an increase in the water-stable aggregates, soil infiltration rate and as a consequence, shear stress of flow could be decreased in the rills.

Keywords: Size aggregate; Bed load; Particle size distribution; Stream power; Rolling

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: nasrin.sadeghian@znu.ac.ir