

اثر ضربه قطرات باران بر همگنی رسوبات فرسایش شیاری در خاک‌های با بافت متفاوت

نسرین صادقیان¹، علیرضا واعظی و ابوالفضل مجنونی هریس

دکتری فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ Sadeghiannasrin@yahoo.com

استاد فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان؛ Vaezee.alireza@gmail.com

دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز؛ Majnooni1979@yahoo.com

دریافت: 98/10/8 و پذیرش: 99/4/25

چکیده

فرسایش شیاری یکی از مهم‌ترین اشکال فرسایش آبی در دیم‌زارهای مناطق نیمه‌خشک می‌باشد. اهمیت این موضوع در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک شبیه بسیاری از نقاط ایران که دارای خاک‌های با ساختمان ناپایدار هستند، بسیار بیش‌تر است. هدف از تحقیق، بررسی نقش ضربه قطره باران در توزیع اندازه و همگنی ذرات رسوب در فرسایش شیاری در خاک‌های با بافت مختلف است. به این منظور، توزیع اندازه ذرات رسوب در انتهای شیارهایی به طول 4 متر و با عرض 0/10 متر تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت ثابت 90 میلی‌متر بر ساعت در چهار شیب (5، 10، 15 و 20 درصد) در 12 کلاس بافتی خاک تعیین شد. آزمایش در دو شرایط پوشش سطح خاک لخت (تحت ضربه قطره باران) و با حذف ضربه قطره باران (استفاده از توری پلاستیکی) انجام شد. آزمایش در چهار تکرار با مجموع 352 واحد آزمایشی انجام شد. مطالعه منحنی توزیع اندازه ذرات رسوب تفاوت آشکاری بین منحنی‌ها توزیع اندازه ذرات در دو شرایط با وجود و با حذف ضربه قطرات باران نشان داد. منحنی‌های توزیع اندازه ذرات رسوب پایین‌تر از منحنی‌های توزیع اندازه ذرات خاک اصلی قرار گرفتند که گویای افزایش شاخص میانگین قطر ذرات رسوب و نشانگر افزایش قابلیت انتقال ذرات درشت دانه مانند شن در انتهای آزمایش است. افزایش انحراف معیار هندسی در رسوب کاملاً بستگی به بافت خاک و شیب داشت. برخلاف انتظار، همگنی ذرات رسوب چندان تحت تأثیر حذف ضربه قطرات باران قرار نگرفت. با افزایش شیب در همه کلاس‌های بافت خاک، ناهمگنی ذرات رسوب به احتمال قوی به دلیل افزایش سرعت جریان و قدرت جریان افزایش یافت. بیش‌ترین غیر همگنی ذرات رسوب بعد از بارندگی در خاک سیلنی مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: توزیع اندازه ذرات رسوب، شاخص میانگین قطر ذرات رسوب، انحراف معیار هندسی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: زنجان، دانشگاه زنجان - دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

مقدمه

وجود جریان‌های متمرکز با تنش برشی بیش‌تر از مقدار آستانه تنش برشی بحرانی باعث می‌شود که انتقال ذرات در اثر این فرسایش غیرانتخابی باشد، به‌طوری‌که حتی خاکدانه و ذرات بزرگ‌تر انتقال می‌یابند (رینزی و همکاران، 2013). 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 فرآیند برداشت و انتقال می‌باشد. در فرآیند فرسایش شیاری نسبت به فرسایش بین‌شیاری، انتقال ذرات درشت اغلب به دلیل تفاوت در فرآیند برداشت و انتقال بیشتر است (شی و همکاران، 2012). در فرسایش حاصل از جریان‌های با قدرت کم، PSDs تابع دو نمایی دارد. این رفتار از PSD₀ ناشی نمی‌شود، بلکه دلیل آن شکسته شدن خاکدانه‌ها طی فرآیند فرسایش و انتقال انتخابی ذرات است (اسدی و همکاران، 2011). برخی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که PSDs معمولاً ریزتر از PSD₀ می‌باشد (رینزی و همکاران، 2013).

انتقال‌پذیری ذرات خاک در اثر فرسایش شیاری طی بارندگی دچار تغییر می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت 120 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 (وانگ و همکاران، 2016). بررسی انجام یافته در مورد فرایندهای فرسایشی ناشی از جریان‌های سطحی و انتخاب‌پذیری ذرات در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که حداقل دو مکانیسم انتقال متفاوت بسته به شرایط هیدرولیکی جریان به‌ویژه قدرت جریان، انتقال ذرات را تحت تأثیر قرار می‌دهند در قدرت جریان کوچک‌تر از 0/1 وات بر متر مربع مکانیسم انتقال ذرات معلق و در قدرت جریان‌های بیش‌تر از این مقدار، مکانیسم غلتیدن فعال است (اسدی و همکاران، 2011).

وانگ و همکاران (2014) برای بررسی اثر انرژی جنبشی قطرات باران بر فرآیند فرسایش و انتخاب‌پذیری ذرات رسوب در یک خاک لوم رسی به این نتیجه رسیدند که مقایسه توزیع اندازه ذرات مؤثر رسوب و PSDs (پراکنده شده) نشان داد که نسبت مؤثر - نهایی ذرات رس کمتر از یک و شن بزرگتر از یک بود که بیانگر انتقال این ذرات به شکل خاکدانه بود. در انرژی جنبشی بالاتر، این نسبت به یک نزدیکتر بود که بیانگر این حقیقت است که رسوبات احتمالاً به‌صورت ذرات اولیه منتقل می‌شوند. درصد ذرات رس و اهمیت نسبی فرآیند سوسپانسیون-

توزیع اندازه ذرات رسوب (PSDs) بستگی به توزیع اندازه ذرات خاک اصلی (PSD₀), شیب، ویژگی-های بارندگی و ویژگی‌های هیدرولیکی جریان دارد (شی و همکاران، 2012؛ هاو و همکاران، 2019). اندازه ذرات اولیه و خاکدانه‌ها در یک خاک به‌نوبه خود تعیین-کننده‌ی شدت فرآیند برداشت و انتقال هستند. از این‌رو، PSDs موضوعی قابل بررسی می‌باشد (وانگ و همکاران، 2014). اندازه ذره‌ای که می‌تواند انتقال پیدا کند؛ در کنار عواملی مانند: (1) مقدار در دسترس ذره در عرصه‌ی فرسایشی، (2) امکان تولید ذره در طی پدیده فرسایش و (3) انتخابی یا غیر انتخابی بودن فرایندهای انتقال ذرات، تحت تأثیر ویژگی‌های عامل انتقال‌دهنده و تنش برشی/ قدرت جریان) و شرایط سطح (زبری و موانع) میسر نیز می‌باشد (اسدی و همکاران، 1395). آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در شرایط پایدار، PSDs تا حد زیادی به PSD₀ شباهت دارد. PSDs بستگی به خصوصیات بارش، پوشش گیاهی، خصوصیات هیدرولیکی جریان، خصوصیات خاک و شیب دارد. این مشخصه به‌طور وسیعی به دلیل تفاوت در بافت و خاکدانه تغییر می‌کند (میر، 1994؛ هاو و همکاران، 2019).

در خاک‌های با بافت درشت، جدایش‌پذیری ذرات با افزایش اندازه ذره کاهش می‌یابد، که دلیل آن افزایش فیزیکی وزن ذره است، برای ذرات کوچک‌تر از 0/05 میلی‌متر، جدایش‌پذیری با کاهش اندازه ذرات کاهش می‌یابد که دلیل آن به افزایش هم‌چسبی ذرات مربوط می‌شود (فارمر، 1973). طبق این نتایج قابلیت جدا شدن ذرات در خاک‌های با رس و شن زیاد، کمتر از خاک‌های با سیلت زیاد می‌باشد (چوپرون و همکاران، 2010) ذرات سیلت به آسانی از یکدیگر جدا می‌شوند و معمولاً سهم غالب در رسوب دارند (شی و همکاران، 2012). شیب عامل دیگر مؤثر بر انتخاب‌پذیری ذرات خاک در فرسایش و در نتیجه PSDs است. در شیب‌های تند، ذرات درشت به دلیل نیروی ثقل و نیروهای اینرسی در جهت شیب منتقل می‌شوند و به دلیل افزایش توان نیروی فرساینده، انتقال ذرات به صورت غلتیدن افزایش می‌یابد (شی و همکاران، 2012). فرسایش شیاری یکی از شکل-های بارز فرسایش آبی در دامنه‌ها است. در این فرسایش، جریان متمرکز آب منجر به برداشت ذرات در مسیر و ایجاد کانال‌های باریک در امتداد شیار می‌شود. جریان متمرکز به‌عنوان جریان قدرتمند منجر به انتقال اغلب ذرات خاک از بستر می‌شود.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایش

این آزمایش به صورت فاکتوریل با چهار تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل پوشش سطح خاک در دو حالت (خاک بدون پوشش و خاک پوشیده شده با توری پلاستیکی برای حذف ضربه قطرات باران)، شیب در چهار سطح 5، 10، 15 و 20 درصد و کلاس بافت خاک که شامل دوازده کلاس مثلث بافت خاک بودند.

نمونه بردای خاک و تعیین ویژگی‌های آن

خاک‌های مورد آزمایش شامل دوازده کلاس بافتی مثلث بافت خاک بود که از قسمت‌های مختلف استان زنجان (جدول 1)، نمونه برداری گردید. ابتدا نمونه برداری با استوانه فلزی انجام شد و بعد از تعیین آزمایشگاهی بافت خاک با روش هیدرومتر و بر اساس چگالی ظاهری خشک خاک‌ها مقدار مورد نیاز محاسبه شد و از عمق 30 سانتی‌متری جمع آوری گردید و در داخل گونی به آزمایشگاه حمل و از الک 10 میلی‌متر عبور داده شد تا به شرایط طبیعی خاک‌ها نزدیکتر باشند. (ژانگ و همکاران، 2005). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌ها در آزمایشگاه تعیین شد. در این راستا توزیع اندازه ذرات اولیه به روش هیدرومتر (بیوکس، 1962)، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر فلزی (بلک و هارتگ، 1986)، پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر به مدت 1 دقیقه در خاکدانه‌های با قطر بین 5/6 و 8 میلی‌متر با حذف بخش شنی و سنگریزه‌ای (کمپر و روزنو، 1986)، سنگریزه به روشوزنی (کلوت، 1996)، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (مکنزی و همکاران، 2002)، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج (پنسو و گوتریو، 2006)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (روداس، 1996)، ماده آلی به روش تر سوزانی (راول، 1994)، گچ از روش استون (اسکاری و همکاران، 1987) و نسبت سدیم جذبی براساس روش کمپلکس‌متری تعیین شد.

معلق با افزایش انرژی جنبشی باران افزایش یافت. نتایج آزمایش هاو و همکاران (2019) نشان داد که ذرات ریز رسوب در مراحل اولیه توسط جریان ورقه‌ای و پاشمانی منتقل شدند، در حالی‌که ذرات درشت با توسعه فرسایش شیاری و مراحل‌ی که فرسایش شیاری به حالت پایداری می‌رسد، منتقل می‌شوند. خاکدانه‌های کوچکتر از 0/05 میلی‌متر ترجیحاً با فرآیند سوسپانسیون/معلق منتقل می‌شوند، ضمن اینکه خاکدانه‌های 0/105-0/25 میلی‌متر در برابر انتقال مقاومت کردند.

لاین و همکاران (2018) برای بررسی سطوح مختلف پوشش مالچ کاه و کلش (0، 25، 75 و 95 درصد) در توزیع اندازه رسوب، تحت باران شبیه‌سازی شده، به این نتیجه رسیدند که اندازه مؤثر ذره رس در رسوب تحت سطوح مختلف پوشش کاه و کلش 2 تا 4 برابر بزرگتر از خاک اصلی بود. ذرات شن در پوشش 95 درصد، فقط 13/90 درصد در ذرات رسوب موجود بود. ذرات سیلت تحت سطوح مختلف مالچ به صورت ذرات اولیه منتقل شدند. به‌طور کلی در خاک اصلی ذرات رس و سیلت تخلیه شدند و در ذرات رسوب غنی شدند. واعظی و عبادی (1395) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که تفاوت اساسی بین ذرات اولیه خاک از نظر ویژگی انتقال‌پذیری وجود داشت. انتقال‌پذیری ذرات توسط جریان سطحی به‌طور معنی‌داری نیز به شدت تحت تأثیر شدت باران ($P < 0/001$) و شیب سطح ($P < 0/001$) قرار گرفت.

قطرات باران عامل مهمی در تخریب ساختمان خاک و هدر رفت خاک در جویچه‌های کشت ایفاء می‌کند، به هر حال میزان هدر رفت خاک ناشی از ضربه قطرات باران یا جریان متمرکز آب از یک سو به ویژگی - های ذاتی خاک (از جمله بافت) و ویژگی‌های متغیر خاک (ساختمان) از سوی دیگر وابسته است. عوامل متعددی در ویژگی‌های ساختمانی خاک (اندازه و پایداری خاکدانه‌ها) مؤثر هستند. در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک توزیع اندازه ذرات در کنار ماده آلی و کربنات کلسیم در تشکیل ساختمان و پایداری آن نقش ایفا می‌کند. از این رو می‌توان بیان کرد که حساسیت خاک‌های مختلف در برابر ضربه قطرات باران و نیروی برشی جریان در شیار متفاوت است. بنابراین PSDs در قسمت پایین دست دست خوش تغییرات می‌شود. در این پژوهش، اثر سه متغیر بافت خاک، شیب و ضربه قطرات باران بر PSDs و یکنواختی و عدم یکنواختی و همچنین انتخاب پذیری ذرات رسوب در فرسایش شیاری و در شرایط آزمایشگاهی بررسی شد.

جدول 1- مختصات جغرافیایی مکان‌های نمونه برداری خاک

بافت خاک	مختصات جغرافیایی	
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
لوم	48°23'30.42"E	36° 41'09.59"N,
شن لومی	48°23'29.68"E	36° 41'09.72"N,
لوم شنی	48°24'11.24"E	36° 40'54.39"N,
لوم رس شنی	48°23'10.51"E	36° 41'11.88"N,
لوم رس سیلتی	48°24'18.83"E	36° 41'04.02"N,
رس سیلتی	48°32'29.95"E	36° 14'16.59"N,
رس شنی	48°27'12.72"E	36° 36'01.28"N,
رس	48°36'31.92"E	36° 12'18.19"N,
سیلت	48°35'57.16"E	36° 06'21.17"N,
لوم سیلتی	48°23'41.43"E	36° 41'09.11"N,
لوم رسی	48°24'21.53"E	36° 41'02.63"N,
شن	48°23'28.86"E	36° 41'09.75"N,



شکل 1- مراحل آماده سازی فلوم فرسایش: ریختن سنگریزه به ضخامت 5 سانتی متر (الف)، ورن کردن مقدار خاک مورد نیاز برای هر لایه 5 سانتی متری (ب)، ایجاد شیار (ج) و فلوم شبیه سازی شده برای حالت با ضربه قطرات باران (سمت چپ)، برای حالت بدون ضربه قطرات باران (سمت راست) (د)

روش هیدرومتر برای یازده کلاس اندازه ذرات تعیین شد (در خاک شنی روانابی مشاهده نگردید).

- میانگین هندسی قطر ذرات

میانگین هندسی قطر ذرات (mm) که نشان دهنده میانگین واقعی ذرات است (کمپیل، 1985)، از رابطه زیر به دست آمد:

$$dg = \exp^a \quad (\text{رابطه 1})$$

$$a = \sum m_i \ln d_i$$

- انحراف معیار هندسی قطر ذرات

انحراف معیار هندسی ذرات که نشان دهنده همگنی و غیر همگنی اندازه ذرات خاک است، از رابطه زیر به دست آمد (کمپیل، 1985):

$$\delta g = \exp^b \quad (\text{رابطه 2})$$

$$b = [\sum m_i (\ln d_i)^2 - a^2]^{1/2}$$

که در آن‌ها: m_i نسبت وزنی ذرات با قطر d_i میانگین قطر ذرات (mm) در هر گروه اندازه‌ایمی باشند.

برای تعیین انتخاب‌پذیری ذرات رسوب از میانگین هندسی قطر ذرات و برای تعیین همگنی و غیر همگنی ذرات از انحراف معیار هندسی ذرات استفاده گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌های مورد مطالعه

نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دوازده نمونه خاک با کلاس بافت متفاوت در جدول 2 ارائه شده است. بر اساس تقسیم‌بندی آزمایشگاه شوری خاک آمریکا (Soil Salinity Laboratory Staff, 1954)، با توجه به نتایج EC_e ، pH و SAR (جدول 2) خاک‌های مورد مطالعه متأثر از املاح نمی‌باشند. درصد کربنات کلسیم معادل در خاک لوم شنی (29/58 درصد) حداکثر و در خاک رس شنی (18/26 درصد) حداقل بود. نسبت سدیم جذبی در خاک لوم رسی (6/60 جذر میلی‌اکی والان بر لیتر) بیش‌ترین و در خاک‌های رس سیلنتی (1/71 جذر میلی‌اکی والان بر لیتر) و رس شنی (1/54 جذر میلی‌اکی والان بر لیتر) کم‌ترین مقدار خود را داشت. خاک‌های مورد بررسی به‌علت کربنات کلسیم معادل زیاد (بیش از 10 درصد)، جزء خاک‌های آهکی (نضیف و همکاران، 2014) به‌شمار می‌روند. هم‌چنین مقدار گچ در خاک‌های مذکور ناچیز (صفر) بود. خاک‌های مورد مطالعه به جز خاک‌های رس سیلنتی، رس شنی و لوم سیلنتی که به‌ترتیب دارای مواد آلی 2/35، 2/41 و 2/38 درصد هستند، از نظر ماده آلی فقیر (کم‌تر از 1/5 درصد) هستند و دارای ساختمان ضعیف تا متوسط هستند. میانگین اندازه قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های لوم (2/94 میلی‌متر) و رس سیلنتی (2/86 میلی‌متر) حداکثر و در خاک شنی (صفر میلی‌متر) حداقل بود.

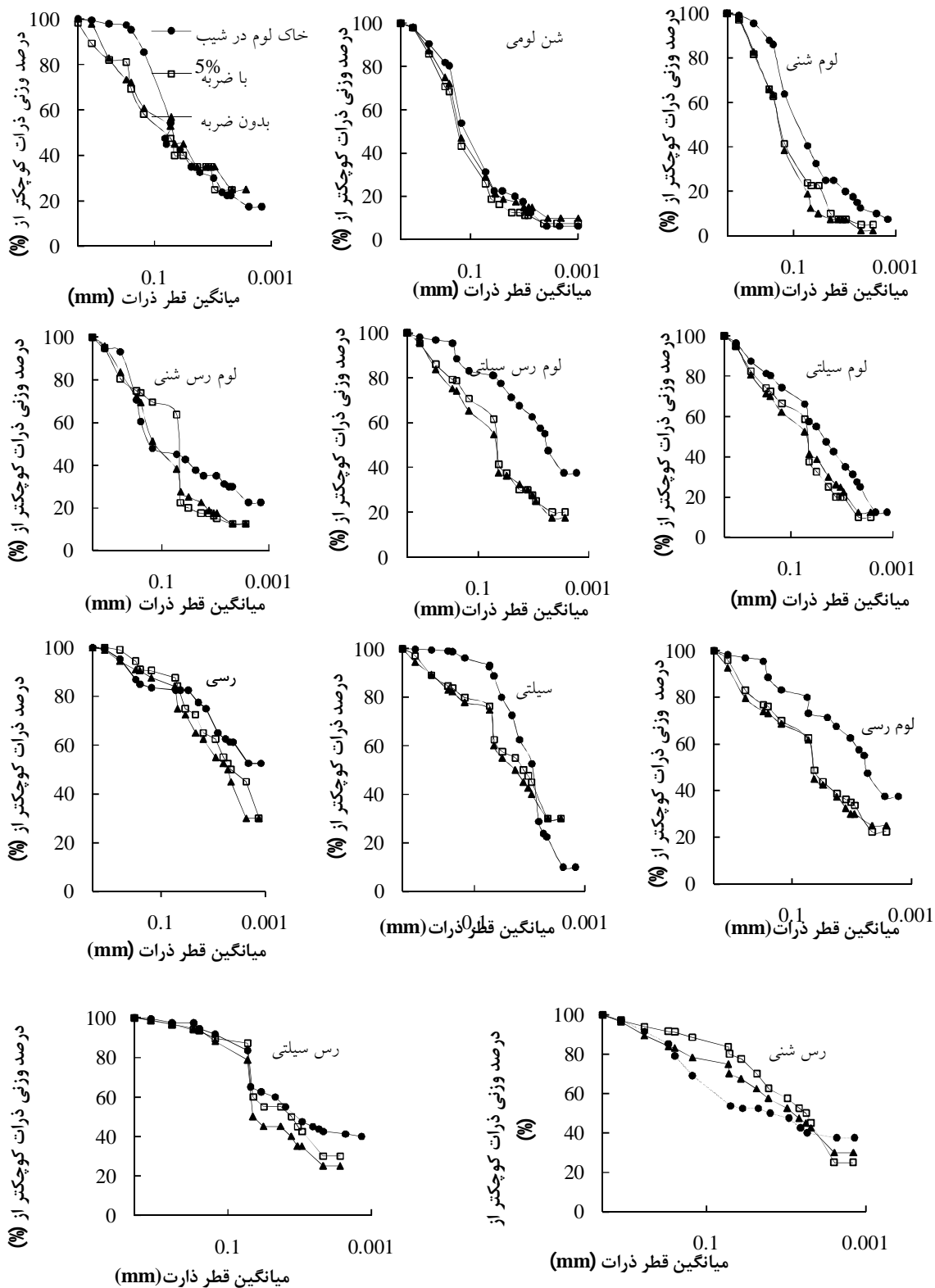
تعیین توزیع اندازه ذرات رسوب در اثر فرسایش این آزمایش با استفاده از فلوم به طول 4 متر، عرض 0/4 متر و عمق 0/25 متر و باران‌سازی که دارای نازل از نوع اسپری جت که به فاصله دو متر از سطح خاک فلوم فاصله داشت، انجام شد. بعد از اینکه خاک‌ها به مدت سه روز در هوای آزمایشگاه قرار داده شدند تا که هوا خشک شوند. بر مبنای چگالی ظاهری خاک خشک و حجم فلوم، در لایه‌های 5 سانتی‌متری در فلوم ریخته شدند (شن و همکاران، 2016 و فانگ و همکاران، 2015) تا تراکم یکنواخت بر اساس چگالی ظاهری خاک-ها شبیه شرایط طبیعی در فلوم ایجاد گردد. نمونه داخل خاک تا حد ممکن تسطیح گردید سپس با استفاده از چوبی که به شکل مثلث با ارتفاع 5/0 و عرض 10/0 متر بود، شیارهای دست‌سازی به تعداد 4 قطعه به عرض 10/0، ارتفاع 5/0 و طول 4 متر تهیه شدند (شکل 1). محققان مختلفی نیز شیاری به طول و عمق مشابه در آزمایشات خود استفاده کردند (نیرینگ و همکاران، 1997؛ شن و همکاران، 2016 و وانگ و همکاران، 2016). در انتهای فلوم نیز لوله‌هایی در مرکز هر چهار قسمت جهت جمع‌آوری رواناب و رسوب ایجاد و محل اتصال آن‌ها به فلوم به‌طور کامل آب‌بندی شد. شدت باران برابر با 90 میلی‌متر در ساعت بود. چنین بارانی جزء رگبارهای شدید در منطقه می‌باشد که نقش اساسی در هدررفت زیاد آب و خاک طی سال در دامنه‌های تحت فرسایش شیب‌دارند (رستمی، 1391).

دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده در این آزمایش، از دو پایه فلزی با صفحه بارشی به طول 4/5 متر و به عرض 100 سانتی‌متر و ارتفاع 200 سانتی‌متر از سطح خاک داخل فلوم تشکیل شده بود. صفحه بارش شامل 20 قطعه نازل اسپری جت و ساخت کشور آمریکا بود. دستگاه قادر به تولید باران‌های با شدت متفاوت (از 35 تا 120 میلی‌متر بر ساعت) بود. برای کاهش ضربه قطرات باران، از دو لایه توری پلاستیکی بر سطح خاک به ضخامت 5 میلی‌متر و با قطر منافذ 5 میلی‌متر استفاده شد، توری به فاصله 4 سانتی‌متر از سطح خاک قرار گرفت (آن و همکاران، 2012). قابلیت‌هدایت الکتریکی آب برابر با 0/5 دسی‌زیمنس بر متر بود. فلوم برای شیب‌های 5، 10، 15 و 20 درصد تنظیم شد (شکل 1). رسوب تولید شده از شیارها در زمانی که رواناب به حالت ماندگار رسید که بسته به بافت خاک و شیب سطح خاک تقریباً 25 تا 35 دقیقه بود، در آن در دمای 105 درجه سلسیوس به مدت 24 ساعت خشک شد و توزیع اندازه ذرات رسوب به

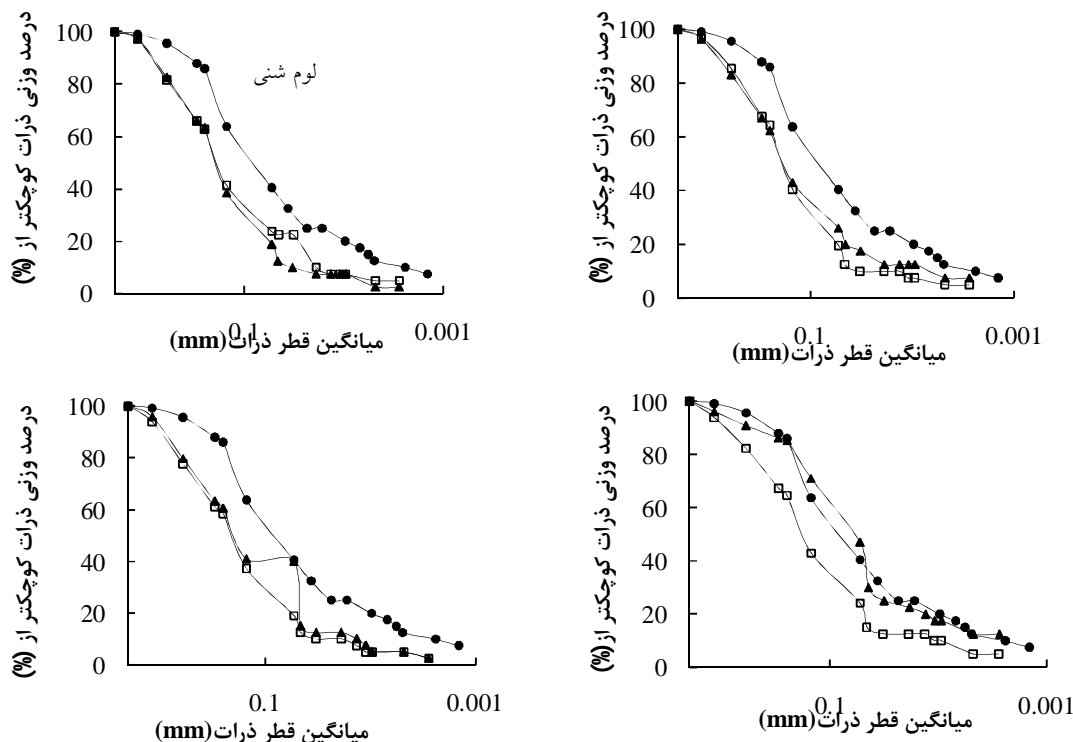
جدول 2- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک‌های مورد مطالعه

ویژگی‌های خاک	شنی	شن لومی	لوم شنی	لوم رس شنی	لوم	سیلتی	لوم سیلتی	لوم رس سیلتی	رس سیلتی	رس شنی	رسی	لوم رسی
Sand (%)	90/00	77/78	59/55	54/86	46/00	6/90	33/90	19/01	16/50	46/25	17/50	26/89
Silt (%)	5/00	15/96	30/45	22/62	36/61	83/10	53/60	43/48	42/25	16/25	30/00	35/60
Clay (%)	5/00	6/26	10/00	22/52	17/39	10/00	12/50	37/51	41/25	37/50	52/50	37/51
Silt+fs+vfs	19/07	66/88	76/03	38/01	77/72	86/67	67/87	51/02	53/37	41/59	32/43	51/02
Gravel (%)	34/84	2/17	8/93	21/20	15/59	19/95	13/60	9/16	6/37	6/33	5/93	8/75
BD (g.cm ⁻³)	1/67	1/33	1/28	1/41	1/31	1/22	1/27	1/11	1/39	1/03	1/08	1/25
PD (g.cm ⁻³)	2/80	2/44	2/63	2/53	2/26	1/98	2/29	2/57	2/41	2/11	2/43	2/44
MWD _{wet} (mm)	0/00	0/77	0/99	1/06	1/05	1/34	1/86	1/23	1/31	1/37	1/87	0/96
MWD _{dry} (mm)	0/00	1/37	1/40	2/80	2/94	2/24	2/57	2/22	2/86	2/57	2/16	1/45
K _s (cm.h ⁻¹)	46/85	2/66	15/74	11/39	6/94	7/10	9/27	10/12	3/54	13/46	8/59	8/69
pH	7/72	7/62	7/33	7/61	7/66	7/83	7/47	7/53	8/06	7/83	8/01	7/56
EC (dS.m ⁻¹)	0/73	0/87	2/25	0/95	1/11	2/76	1/25	1/12	0/62	0/67	0/31	1/29
SAR(meq. L) ^{0.5}	5/47	4/48	3/04	2/97	2/81	3/84	4/04	3/20	1/71	1/54	2/63	6/60
CaSO ₄ .2H ₂ O (%)	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00	0/00
CaCO ₃ eqv(%)	29/15	25/82	29/58	20/50	27/60	18/55	26/83	20/06	18/33	18/26	27/49	23/33
OM (%)	0/71	0/65	0/24	0/61	1/01	1/01	2/38	1/27	2/35	2/42	0/97	0/79

MWD_{wet}: پایداری خاکدانه به روش الک تر (mm)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm)، K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بار ثابت (cm.h⁻¹)، fs: شن ریز، vfs: شن خیلی ریز، BD: چگالی ظاهری خاک، pH: واکنش خاک، EC: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (μS.m⁻¹)، SAR: نسبت سدیم جذبی (meq. L)^{0.5}، CaSO₄.2H₂O: گچ (%)، CaCO₃: کربنات کلسیم معادل (%). OM: ماده آلی (%).



شکل 2- منحنی‌های توزیع اندازه ذرات رسوب برای خاک‌های با بافت مختلف در شیب 5% در حالت وجود ضربه قطرات باران و بدون وجود ضربه قطرات باران



شکل 3- منحنی‌های توزیع اندازه ذرات رسوب برای خاک لوم شنی در چهار شیب مورد مطالعه در حالت وجود ضربه قطرات باران و بدون وجود ضربه قطرات باران

منطبق هستند که دلیل آن به احتمال قوی ناپایداری خاک مربوطه می‌باشد (جدول 1). در خاک رس شنی PSDs در هردو حالت پوشش سطح خاک بالاتر از PSD₀ قرار گرفت.

برای بررسی اثر شیب بر توزیع اندازه ذرات رسوب در هر دو حالت با وجود ضربه قطرات باران و بدون وجود ضربه قطرات باران، برای نمونه کلاس بافتی لوم شنی در چهار شیب در شکل (3) آورده شده است. در شیب 20% منحنی توزیع اندازه ذرات رسوب در حالت با ضربه به منحنی توزیع اندازه ذرات خاک قبل از بارندگی مشابه است که بیانگر این حقیقت است که با افزایش شیب حالت انتخابی بودن انتقال ذرات رسوب ناچیز است.

تغییرات میانگین هندسی قطر ذرات، انحراف معیار هندسی برای خاک‌ها و شیب‌های مورد مطالعه در اثر ضربه قطرات باران در خاک اصلی قبل از بارندگی و بعد از بارندگی در جدول (3) آمده است. مقایسه شاخص‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد که در خاک لوم در شیب 5%، مقدار میانگین هندسی قطر ذرات dg(mm) خاک اصلی بیش‌تر از مقدار آن در رسوب در هر دو حالت با ضربه قطرات باران و بدون ضربه قطرات باران می‌باشد.

پایداری خاکدانه در خاک‌های رس سیلتی (1/87 میلی‌متر) و لوم سیلتی (1/86 میلی‌متر) بیش‌ترین و در خاک شنی (صفر میلی‌متر) کم‌ترین بود. بررسی ویژگی‌های ساختمانی خاک شامل پایداری خاکدانه‌ها در برابر آب (صفر تا 1/86 میلی‌متر)، الک خشک (صفر تا 2/86 میلی‌متر) بیانگر این حقیقت است که خاک‌های منطقه از پایداری کمی برخوردار هستند. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در خاک شنی (46/85 سانتی‌متر بر ساعت) حداکثر و در خاک شن لومی (2/66 سانتی‌متر بر ساعت) حداقل بود.

PSDs در اثر بارندگی

بررسی PSDs در دو حالت شرایط سطح خاک از نظر وجود ضربه قطرات باران (با ضربه و بدون ضربه قطرات باران) برای نمونه در شیب 5% برای کلاس‌های بافتی مثلث بافت خاک به‌جز کلاس شنی در شکل (2) آورده شده است. مطابق شکل، تقریباً در تمامی کلاس‌های بافت خاک به‌جز خاک شن لومی و رس شنی، منحنی PSDs در هردو حالت پوشش سطح خاک پایین‌تر از منحنی PSD₀ قرار گرفته است. در خاک شن لومی، منحنی PSD₀ و PSDs در دو حالت پوشش سطح برهم

بود و همچنین هردو شاخص میانگین در خاک اصلی نسبت به رسوبات بیشتر بود که بیانگر تمایل منحنی توزیع اندازه ذرات رسوب به سمت بافت ریزتر بود. در خاک رس سیلتی هر دو شاخص میانگین رسوبات در هردو شرایط پوشش سطح خاک و در هر چهار شیب بیشتر از خاک اصلی بود ولی همگنی ذرات رسوب در شیب‌های مختلف متفاوت بود به طوری که ناهمگنی ذرات رسوب در شرایط وجود ضربه قطرات باران در شیب 10 و 20 درصد و در شرایط حذف ضربه قطرات باران در شیب 15 و 10 درصد نسبت به خاک اصلی بیشتر بود. در خاک رسی ناهمگنی ذرات خاک اصلی نسبت به رسوبات بیشتر بود و dg رسوبات بیشتر از خاک اصلی بود که بیانگر تغییر بافت رسوب نسبت به بافت خاک اصلی بود و تمایل آن به سمت بافت درشت‌تر نسبت به خاک اصلی بود. در خاک سیلتی ناهمگنی ذرات رسوب و هر دو شاخص میانگین در هر چهار شیب و در هردو شرایط سطح خاک نسبت به خاک اصلی افزایش یافت که بیانگر درشت بافت شدن رسوبات نسبت به بافت خاک سیلتی بود.

ناهمگنی ذرات رسوب در خاک لومی در هر دو حالت پوشش سطح خاک با افزایش شیب، کاهش یافت که دلیل بر همگن بودن ذرات رسوب در قسمت پایین-دست شیب‌های تند می‌باشد. در خاک لوم شنی، در حالت وجود ضربه قطرات باران قطر ذرات رسوب ناشی از فرسایش شیب‌های با افزایش شیب تقریباً همگن بودند ولی در حالت حذف ضربه قطرات باران و کاهش قدرت تخریبی قطرات باران، ناهمگنی ذرات رسوب با افزایش شیب، افزایش یافت. در خاک شن لومی ناهمگنی ذرات رسوب با افزایش شیب، افزایش یافت. ناهمگنی ذرات رسوب در حالت وجود ضربه قطرات باران در خاک لوم رس شنی و رس شنی با افزایش شیب، افزایش یافت و در شرایط وجود توری پلاستیکی بر روی سطح خاک با افزایش شیب، یکسان بود. در خاک لوم رس سیلتی dg در هردو حالت پوشش سطح خاک با افزایش شیب تقریباً ثابت بود. ناهمگنی ذرات رسوب در خاک لوم رسی در اثر وجود ضربه قطرات باران با افزایش شیب، افزایش یافت ولی در شرایط بدون وجود ضربه قطرات باران حداکثر ناهمگنی ذرات رسوب در شیب‌های 5 و 15 درصد رخ داد. در خاک‌های رس سیلتی، رسی، سیلتی و لوم سیلتی در هردو حالت پوشش سطح خاک ناهمگنی ذرات رسوب با افزایش شیب، افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد که توزیع اندازه ذرات رسوب بستگی به توزیع اندازه ذرات خاک اصلی، شیب و ضربه قطرات باران دارد، هاو و همکاران (2019) به نتیجه مشابهی رسیدند.

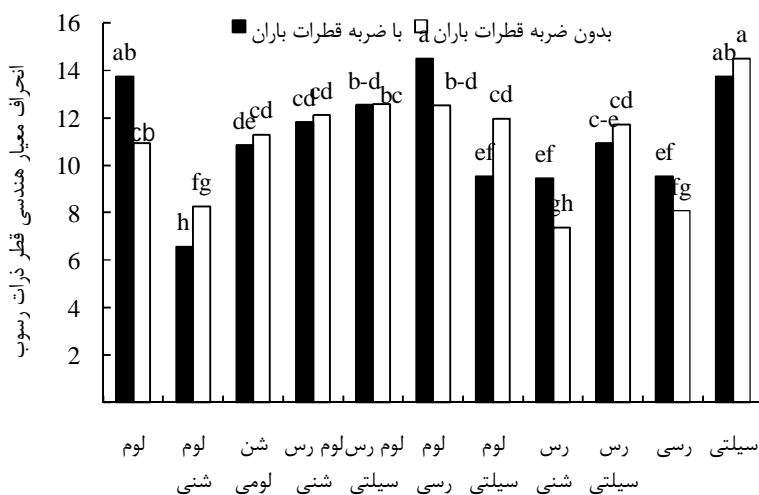
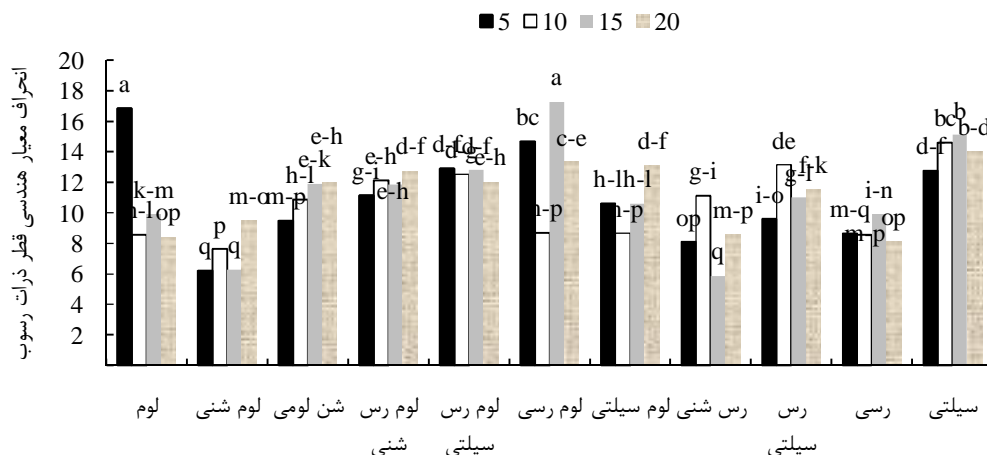
همچنین انحراف معیار هندسی ذرات (δg) در این شیب در رسوب در هردو حالت پوشش سطح خاک، بیشتر از خاک اصلی است که بیانگر افزایش غیر یکنواختی در اندازه ذرات رسوب نسبت به خاک اصلی می‌گردد. میزان غیر یکنواختی ذرات رسوب در حالت حذف ضربه قطرات باران بیشتر از حالت وجود ضربه قطرات باران بود (30%) در شیب‌های 15، 10 و 20% ذرات رسوب نسبت به خاک اصلی همگن‌تر بود و میانگین هندسی قطر ذرات (dg) ذرات رسوب نسبت به خاک اصلی افزایش یافت که دلیل بر انتقال ذرات درشت‌تر بود. جیانگ و همکاران (2018) به نتیجه مشابهی رسیدند. در خاک لوم شنی همگنی ذرات رسوب در هر چهار شیب مورد مطالعه و در هردو حالت وجود و عدم وجود ضربه قطرات باران نسبت به خاک اصلی بیشتر بود. همچنین در حالت وجود ضربه قطرات باران نسبت به حذف ضربه قطرات باران همگنی ذرات رسوب بیشتر بود. در هر دو شرایط سطح خاک dg نسبت به خاک قبل از فرسایش بیشتر بود که باز دلیل بر انتقال ذرات درشت‌تر بود. در خاک شن لومی δg ذرات رسوب در هردو شرایط سطح خاک نسبت به خاک اصلی در هر چهار شیب مورد مطالعه افزایش یافت که می‌توان دلیل آن را درصد زیاد ذرات شن و به احتمال قوی وجود تنوع در اندازه ذرات شن نسبت داد که دلیل برای انتقال ذرات با قطرهای مختلف بود ولی dg ذرات رسوب کمتر از خاک اصلی بود دلیل آن را می‌توان به انتقال انتخابی ذرات با قطر کوچکتر در خاک شن لومی نسبت داد.

در خاک لوم رس شنی، δg ذرات رسوب در هردو حالت پوشش سطح نسبت به خاک اصلی کاهش یافت و dg رسوب در هر چهار شیب نسبت به خاک اصلی کاهش یافت. همگنی ذرات رسوب در خاک لوم رس سیلتی نسبت به خاک اصلی در هر دو حالت پوشش سطح خاک بیشتر بود و همچنین dg رسوبات بیشتر از مقادیر آنها در خاک اصلی بود. در خاک لوم رسی δg ذرات رسوب در شرایط وجود ضربه قطرات باران نسبت به خاک اصلی در شیب‌های بالا (15 و 20%) و شرایط حذف ضربه قطرات باران بیشتر بود و ذرات رسوب در حالت وجود ضربه قطرات باران در شیب‌های تند دارای ناهمگنی بیشتر بود و همچنین هر دو شاخص میانگین ذرات رسوب نسبت به خاک اصلی افزایش یافت. در خاک لوم سیلتی ذرات رسوب در حالت حذف ضربه قطرات باران دارای ناهمگنی بیشتری نسبت به خاک اصلی و شرایط وجود ضربه قطرات باران داشت و هردو شاخص میانگین قطر ذرات رسوب نسبت به خاک اصلی افزایش یافت.

ناهمگنی ذرات خاک اصلی در خاک رس شنی نسبت به ذرات رسوب در دو شرایط سطح خاک بیشتر

جدول 3- اثر ضربه قطرات باران بر میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی قطر ذرات برای خاک‌ها و شیب‌های مورد مطالعه

بدون ضربه قطرات باران			با ضربه قطرات باران			خاک اصلی			شیب	بافت خاک
D ₅₀ (mm)	δg(-)	dg(mm)	D ₅₀ (mm)	δg(-)	dg(mm)	D ₅₀ (mm)	δg	dg(mm)		
0/05	17/44	0/04	0/05	16/27	0/05	0/05	13/56	0/07	%5	لوم
0/06	10/69	0/14	0/10	10/68	0/18	0/05	13/56	0/07	%10	
0/10	10/69	0/18	0/06	9/47	0/15	0/05	13/56	0/07	%15	
0/20	4/87	0/47	0/06	11/99	0/14	0/05	13/56	0/07	%20	
0/18	5/34	0/47	0/18	7/14	0/36	0/08	10/73	0/18	%5	لوم شنی
0/20	8/66	0/30	0/20	6/65	0/42	0/08	10/73	0/18	%10	
0/20	7/21	0/22	0/20	5/36	0/47	0/08	10/73	0/18	%15	
0/06	11/84	0/12	0/20	7/17	0/36	0/08	10/73	0/18	%20	
0/15	10/31	0/25	0/15	8/66	0/29	0/15	7/62	0/37	%5	شن لومی
0/12	10/86	0/26	0/14	10/86	0/26	0/15	7/62	0/37	%10	
0/15	11/97	0/21	0/15	11/87	0/22	0/15	7/62	0/37	%15	
0/15	11/98	0/19	0/15	12/02	0/18	0/15	7/62	0/37	%20	
0/15	12/10	0/17	0/05	10/15	0/07	0/18	17/37	0/09	%5	لوم رس شنی
0/16	11/24	0/21	0/15	12/04	0/18	0/18	17/37	0/09	%10	
0/10	12/04	0/15	0/22	11/59	0/25	0/18	17/37	0/09	%15	
0/12	12/05	0/18	0/15	13/47	0/16	0/18	17/37	0/09	%20	
0/045	12/42	0/06	0/045	13/39	0/055	0/007	12/24	0/015	%5	لوم رس سیلتی
0/045	13/31	0/055	0/045	11/70	0/053	0/007	12/24	0/015	%10	
0/040	13/11	0/025	0/040	12/49	0/017	0/007	12/24	0/015	%15	
0/03	11/47	0/021	0/05	12/59	0/018	0/007	12/24	0/015	%20	
0/045	15/17	0/05	0/045	14/20	0/05	0/006	15/63	0/02	%5	لوم رسی
0/03	8/67	0/02	0/045	8/76	0/019	0/006	15/63	0/02	%10	
0/03	15/63	0/02	0/18	18/93	0/09	0/006	15/63	0/02	%15	
0/05	10/63	0/055	0/04	16/08	0/03	0/006	15/63	0/02	%20	
0/05	11/47	0/09	0/05	9/81	0/09	0/02	9/78	0/06	%5	لوم سیلتی
0/04	8/89	0/026	0/04	8/41	0/026	0/02	9/78	0/06	%10	
0/048	14/41	0/04	0/048	6/81	0/03	0/02	9/78	0/06	%15	
0/048	13/11	0/07	0/048	13/11	0/07	0/02	9/78	0/06	%20	
0/004	6/77	0/01	0/004	9/46	0/015	0/016	23/61	0/04	%5	رس شنی
0/006	9/08	0/016	0/003	13/15	0/015	0/016	23/61	0/04	%10	
0/005	5/09	0/011	0/047	6/64	0/029	0/016	23/61	0/04	%15	
0/009	8/58	0/014	0/006	8/58	0/019	0/016	23/61	0/04	%20	
0/046	10/53	0/03	0/015	8/65	0/02	0/01	11/73	0/012	%5	رس سیلتی
0/05	13/07	0/05	0/03	13/22	0/016	0/01	11/73	0/012	%10	
0/015	12/68	0/016	0/03	9/34	0/02	0/01	11/73	0/012	%15	
0/03	10/60	0/035	0/018	12/50	0/023	0/01	11/73	0/012	%20	
0/005	7/59	0/014	0/005	9/71	0/017	0/002	13/56	0/001	%5	رسی
0/002	9/02	0/01	0/005	8/10	0/013	0/002	13/56	0/001	%10	



برای انتقال ذرات درشت کمتر بوده است (Ben-2006) Hur and Assouline, مقایسه میانگین اثرات متقابل شیب و بافت بر انحراف معیار هندسی قطر ذرات رسوب نشان داد که با افزایش شیب در همه بافت‌های خاک بجز بافت‌های لومی، لوم رس سیلتی و رسی انحراف معیار هندسی قطر ذرات افزایش یافت.

اثر ضربه قطرات باران بر همگنی و غیر همگنی ذرات رسوب فقط در خاک‌های لوم شنی و لوم رسی معنی‌دار بود و در بقیه بافت‌های خاک اثر معنی‌داری بر انحراف معیار هندسی قطر ذرات رسوب نداشت.

مقایسه میانگین اثر ضربه قطرات باران بر میانگین هندسی قطر ذرات رسوب نشان داد که فقط در خاک لوم شنی، اثر ضربه بر میانگین هندسی قطر ذرات رسوب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و در سایر بافت‌های خاک اثر معنی‌دار بین دو حالت ضربه قطرات باران و بدون ضربه قطرات باران وجود نداشت.

مقایسه میانگین اثر متقابل شیب و بافت خاک بر میانگین هندسی قطر ذرات رسوب نشان داد که در برخی از کلاس‌های بافت خاک همانند خاک لوم، لوم شنی و سیلتی با افزایش شیب، میانگین هندسی قطر ذرات رسوب کاهش یافت به احتمال قوی در این خاک‌ها عمق رواناب در شیب‌های بالا، سله سطحی در اثر قدرت جریان شسته شده و باعث نفوذ آب گردیده است لذا قدرت جریان

نتیجه‌گیری

ضربه قطرات باران فقط در خاک لوم شنی اثر معنی‌داری بر میانگین هندسی قطر ذرات خاک داشت و در بقیه بافت‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری بین حالت با ضربه و بدون ضربه قطرات باران در میانگین هندسی قطر ذرات خاک مشاهده نشد. ناهمگنی ذرات رسوب در خاک لوم، لوم شنی، شن لومی، لوم سیلتی، لوم رسی و رس سیلتی نسبت به خاک اصلی کاهش یافت ولی در خاک‌های لوم رس شنی، رس شنی و رس سیلتی نتیجه عکس رخ داد. اثر ضربه قطرات باران بر همگنی ذرات خاک در همه بافت‌های مورد مطالعه بجز خاک لوم شنی و لوم رسی معنی‌دار نبود ولی همگنی ذرات خاک در شیب‌های مختلف وابسته به بافت خاک بود به طوری که با افزایش در خاک‌های لومی، لوم رس سیلتی و رس سیلتی کاهش یافت ولی در بقیه خاک‌ها روند افزایشی داشت. نتایج نشان داد که ناهمگنی ذرات رسوب وابسته به شیب و بافت خاک بود و تحت تأثیر ضربه قطرات باران قرار نگرفت.

نتایج آزمایش نشان داد که خاک‌های با بافت مختلف رفتار متفاوتی در شیب‌های مختلف در برابر ضربه قطرات باران از خود نشان می‌دهند. لذا رسوبات ناشی از فرسایش دارای توزیع اندازه ذرات متفاوت، همگنی و ناهمگنی و شاخص میانگین قطر ذرات متفاوتی نسبت به بافت خاک تحت فرسایش خواهند داشت. بر این اساس در پژوهش انجام یافته، منحنی توزیع اندازه ذرات رسوب در همه کلاس‌های بافتی مورد مطالعه به جز خاک رس شنی زیر منحنی توزیع اندازه ذرات خاک اصلی در هر دو شرایط سطح خاک قرار گرفت و تمایل به سمت بافت درشت‌تر بود که بیانگر این حقیقت است که اثر بافت مهم‌تر از اثر ضربه قطرات باران در توزیع اندازه ذرات رسوب است. با افزایش شیب منحنی توزیع اندازه ذرات رسوب و منحنی توزیع اندازه خاک اصلی تقریباً مشابه بود که نشانگر کاهش نقش شیب در توزیع اندازه ذرات رسوب در شیب‌های بالاتر (20%) بود. ولی شاخص میانگین قطر ذرات رسوب در قسمت پایین دست شیب‌ها متأثر از بافت خاک، شیب و ضربه قطرات باران بود. به طوری که شاخص میانگین قطر ذرات رسوب در خاک‌های با بافت لوم، لوم شنی، لوم رس شنی، لوم رس سیلتی، لوم رسی، لوم سیلتی، رس سیلتی، رسی و سیلتی نسبت به بافت خاک اصلی افزایش یافت، ولی در خاک‌های با بافت شن لومی و رس شنی نتیجه عکس اتفاق افتاد. میانگین هندسی قطر ذرات رسوب با افزایش شیب در خاک‌های با بافت سیلتی، لوم سیلتی، لوم رسی، لوم رس شنی و لومی افزایش یافت ولی در بقیه خاک‌ها روند کاهش داشت.

فهرست منابع:

1. اسدی، ح.، گلی کله‌رود، م.ع و گرجی، م. تغییرات دینامیک غلظت رسوب در فرسایش شیاری در آزمایش‌های مزرعه‌ای. 1395. 78(20): 125-139.
2. رستمی، ی. 1391. رابطه بین شدت، مدت و انرژی جنبشی باران با استفاده از شبیه‌ساز باران در استان زنجان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.
3. An, J., Zheng, F., Lu, J., and Li, G. 2012. Investigating the role of raindrop impact on hydrodynamic mechanism of soil erosion under simulated rainfall conditions. *Soil Science* 177(8): 517-26.
4. Asadi, H., Moussavi, A., Ghadiri, H., and Rose, C.W. 2011. Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. *Journal of Hydrology* 406: 73-81.

5. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density, Pp. 363-375. In: Klute I, (ed). Methods of Soil Analysis. Part 1 - Physical and Mineralogical Methods Second Edition. American Society of Agronomy, Madison WI.
6. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54: 464-465
7. Cheviron, B., Gumiere, S.J., Le Bissonnais, Y., Moussa, R., and Raclot, D. 2010. Sensitivity analysis of distributed erosion models: Framework. *Water Resources Research* 46(8):1-13
8. Fang, H., Sun, L., and Tang, Z. 2015. Effects of rainfall and slope on runoff, soil erosion and rill development: an experimental study using two loess soils. *Hydrological processes* 29(11): 2649-58.
9. Farmer, E., 1973. Relative Detachability of Soil Particles by Simulated Rainfall. *Soil Science Society of America Journal* 37(4):629-33.
10. Hao, H.X., Wang, J.G., Guo, Z.L., and Hua, L. 2019. Water erosion processes and dynamic changes of sediment size distribution under the combined effects of rainfall and overland flow. *Catena* 173:494-504.
11. Jiang, F., Zhan, Z., Chen, J., Lin, J., Wang, M.K., Ge, H., and Huang, Y. 2018. Rill erosion processes on a steep colluvial deposit slope under heavy rainfall in flume experiments with artificial rain. *Catena* 169: 46-58.
12. Kemper, W.D, and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In *Methods of Soil Analysis, Part I. Physical and Mineralogical Methods (2nd Edition)* Agronomy Monography 9: 425-442.
13. Klute, A. 1996. *Methods of Soil Analysis, Part I: physical and Mineralogical Methods*. SSSA Book Series No.5. Soil Science Society of American Madison, 1188pp.
14. Lin, J., Zhu, G., Wei, J., Jiang, F., Wang, M.K., and Huang, Y. 2018. Mulching effects on erosion from steep slopes and sediment particle size distributions of gully colluvial deposits. *Catena* 160:57-67.
15. McKenzie, N., Coughlan, K., and Cresswell, H. 2002. *Soil physical measurement and interpretation for land evaluation (Vol. 5)*. Csiro Publishing.
16. Meyer, L. D. 1994. Rainfall simulators for soil conservation research. In Lal, R. *Soil Erosion Research Methods (ed.)*, Soil and Water Conserv. Soc. Ankeny, Iowa. 83-103.
17. Nazif, W., Marzouk, E. R., Perveen, S., Crout, N. M. J., and Young, S. D. 2014. Zinc solubility and fractionation in cultivated calcareous soils irrigated with wastewater. *Journal of Science of The Total Environment* 201: 310-319.
18. Nearing, M. A., Norton, L. D., Bulgakova, Larionov, G. A., West, L. T., and Dontsova, K. M. 1997. Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water Resources Research* 33 (4), 865-876.
19. Pansu, M., and Gautheyrou, J. 2006 Berlin, Heidelberg, New York: Springer. £191.50. ISBN 9783540312109 . *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods* 43: 993.
20. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids, 417-436 pp. *Methods of Soil Analysis. Chemical Methods*. ASA/SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
21. Rienzi, E.A., Fox, J.F., Grove, J.H., and Matocha, C.J. 2013. Interrill erosion in soils with different land uses: the kinetic energy wetting effect on temporal particle size distribution. *Catena* 107:130-138.
22. Rowell, D.I. 1994. *Methods and Application*. Longman Group. Harlow. 345 pp.
23. Shen, H., Zheng, F., Wen, L., Han, Y., and Hu, W. 2016. Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. *Soil and Tillage Research* 155: 429-436.

24. Shi, Z.H., Fang, N.F., Wu, F.Z., Wang, L., Yue, B.J., and Wu, G.L. 2012. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. *Journal of Hydrology* 454-455: 123– 130.
25. Skarie, R.L., Arndt, J.L., Richardson, J.L. 1987. Sulfate and gypsum determination in saline soils. *Soil Science Society of America Journal* 51(4):901-5.
26. Wang D., Wang, Z., Shen, N., and Chen, H. 2016. Modeling soil detachment capacity by rill flow using hydraulic parameters. *Journal of Hydrology* 1(535):473-9.
27. Wang, B., Zhang, G.H., Shi, Y.Y., and Zhang, X.C. 2014. Soil detachment by overland flow under different vegetation restoration models in the loess plateau of China. *Catena* 116: 51–59.
28. Zhang, X.C., Li, Z.B., and Ding, W.F. 2005. Validation of WEPP sediment feedback relationships using spatially distributed rill erosion data, *Soil Science Society of America Journal* 69: 1440 - 1447.

Effect of Raindrop Impact on Homogeneity of Sediments in Rill Erosion of Soils with Different Textures

N. Sadeghian¹, A. R. Vaezi, and A. Majnoonigeris

PhD. of Physics and Soil Conservation, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan; E-mail: Sadeghiannasrin@yahoo.com

Full Professor., Physics and Soil Conservation, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan; E-mail: Vaezee.alireza@gmail.com

Assoc. Professor., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz; E-mail: Majnooni1979@yahoo.com

Received: December, 2019 and Accepted: July, 2020

Abstract

Rill erosion is one of the most important types of water erosion in semiarid dry land areas. The importance of this study is more in the soils of semi-arid regions, similar to many parts of Iran, which have unstable soil aggregates. The aim of this study was to investigate the role of raindrop impact on the size distribution and homogeneity of sediment particles in rill erosion of soils with different textures. Therefore, the effect of raindrops on changes in the size distribution of sediment particles was determined in rills of 4 meters in length and 0.10 meters in width under rainfall simulated with a constant intensity of 90 mm h⁻¹ in different slope gradients (5%, 10%, 15%, and 20%) in 12 soil texture classes. Experiments were carried out in two soil surface cover conditions including with raindrop impact (bare soil) and without raindrop impact (use plastic net), and the effect of raindrop impact on the variables was determined. The experiment was conducted in four replicates with a total of 352 experimental units. The study of this subject using the particle size distribution curve showed that there was a clear difference between the curves in the two soil surface cover conditions. The sediment particles size distribution curves were below the original soil particles size distribution curve, suggesting an increase in the mean diameter of the particles in sediments and an increase in the transport of coarse particles such as sand at the end of the experiment. The increase in geometric standard deviation in the sediment was strongly dependent on soil texture and slope and, contrary to the expected, homogeneity of sediment particles was not significantly affected by the removal of raindrop impact, and by increasing the slope in all soil texture classes, sediment particles heterogeneity increased, likely due to increase in flow velocity and flow power. The highest non-homogeneity of sediment particles was observed after precipitation in silty soil.

Keywords: Sediment particle size distribution, Mean particle diameter index, Geometric standard deviation

¹ Corresponding author: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Zanjan University, I.R. Iran