

مقدمه

ذرات معدنی خاک به وسیله مواد آلی، رس، کربنات کلسیم و اکسیدهای آهن و آلومینیوم به همدیگر می‌چسبند و خاک‌دانه‌ها را به وجود می‌آورند. نحوه قرارگیری ذرات خاک در کنار یکدیگر را ساختمان خاک^۳ می‌گویند [۳۰]. تشکیل ساختمان خاک موجب سهولت حرکت آب و هوا در خاک می‌شود. از این رو، حساسیت یک خاک در برابر تخریب ساختمان، یک معیار ارزیابی برای تعیین استعداد زراعی خاک است [۱۴]. ساختمان خاک هم‌چنین نقشی مهم در مقاومت خاک در برابر فرسایش دارد. عدم پایداری خاک‌دانه‌ها موجب کاهش نفوذ آب و هوا به خاک، ایجاد سله، افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود [۲۰].

پاشمان ذرات خاک^۴، نخستین فرآیند فرسایش خاک در طبیعت است. فرسایش پاشمانی حتی بیش‌تر از فرسایش شیاری و فرسایش ورقه‌ای، خاک را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد [۲۱]. پاشمان ذرات خاک نه‌تنها به انرژی قطرات باران بلکه به فرسایش‌پذیری خاک نیز وابسته می‌باشد که این ویژگی به نوبه خود تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند ساختمان، سله، نفوذپذیری، مقدار ماده آلی، بافت (توزیع اندازه ذرات)، تخلخل، چسبندگی، مقدار و نوع کانی‌های رس قرار دارد [۲۷]. از جمله خصوصیات ساختمانی خاک می‌توان به توزیع اندازه خاک‌دانه، پایداری خاک‌دانه و فراوانی خاک‌دانه اشاره کرد. خاک‌دانه‌های بزرگ باعث حفاظت خاک در برابر پاشمان ذرات خاک می‌شود [۹ و ۳۷]. پایداری خاک‌دانه‌ها یکی از عوامل مهم مؤثر در فرآیندهای تخریب، تراکم و پاشمان است [۴]. نقش ساختمان خاک در فرسایش آبی توسط محققین متعددی مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا روحی پور و همکاران [۳۱] نشان دادند که با افزایش درصد خاک‌دانه‌های پایدار، تخریب خاک‌دانه‌ها توسط قطرات باران کاهش و مقاومت خاک نسبت به فرسایش افزایش یافت. غلامی و همکاران [۱۳] با بررسی اثر مالچ کاه و کلش بر فرسایش پاشمانی و رواناب در خاک لوم شنی تحت شرایط آزمایشگاهی دریافتند که مالچ کاه و کلش اثری معنی‌دار در کاهش مقدار پاشمان و رواناب سطحی دارد. ویو و همکاران [۴۴] در آزمایشات خود به این نتیجه رسیدند که فروپاشی خاک‌دانه، فرآیند غالب تخریب خاک‌دانه در خاک‌هایی است که رس غالب در آن‌ها کائولینیت و ایلیت می‌باشد. خالدی درویشان و همکاران

تأثیر تخریب ساختمان خاک بر فرسایش پاشمانی در خاک‌های با بافت مختلف

علی‌رضا واعظی^۱ و خدیجه سهندی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۳۰

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی نقش ساختمان خاک در فرسایش پاشمانی در خاک‌های منطقه نیمه‌خشک انجام شد. فرسایش پاشمانی در چهار خاک با بافت مختلف (لوم رس سیلتی، لوم رس شنی، لوم سیلتی و لوم شنی) و در دو شرایط ساختمان خاک (با ساختمان طبیعی و بدون ساختمان) با استفاده از باران شبیه‌سازی شده با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۳۰ دقیقه در ظروف پاشمان به ارتفاع ۱۰ و با قطر هشت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل میانگین قطر خاک‌دانه، پایداری خاک‌دانه، چگالی ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) در دو شرایط ساختمان خاک تعیین شدند. نتایج نشان داد که خاک لوم شنی بیش‌ترین حساسیت را به فرسایش پاشمانی داشت به طوری که فرسایش پاشمانی آن در اثر تخریب ساختمان خاک ۵۲ درصد افزایش یافت. چگالی ظاهری، پایداری خاک‌دانه و هدایت هیدرولیکی اشباع به شدت در اثر تخریب ساختمان خاک دچار تحلیل شدند. ارتباط معنی‌داری بین تغییرات فرسایش پاشمانی و تغییرات K_s در دو شرایط ساختمان خاک وجود داشت ($P=0/90$, $R^2<0/50$). در اثر تخریب خاک‌دانه‌های خاک، فرسایش پاشمانی با کاهش K_s افزایش یافت. این مطالعه نشان داد که در خاک‌هایی که با تخریب ساختمان، هدایت هیدرولیکی اشباع به شدت کاهش می‌یابد، افزایش شدیدی در فرسایش پاشمانی مشاهده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: اندازه خاک‌دانه، بافت خاک، خاک آهکی،

خاکورزی، شبیه‌سازی باران

۱- نویسنده مسئول و استاد خاکشناسی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان. پست الکترونیک: vaezi.alireza@gmail.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.

بافت مختلف در منطقه نیمه خشک انجام گرفت.

مواد و روش ها

تهیه نمونه های خاک

آزمایش در چهار خاک با بافت مختلف در دو شرایط ساختمان (با ساختمان طبیعی و با ساختمان تخریب شده) در سه تکرار در مجموع با ۲۴ واحد آزمایشی انجام شد. در ابتدا توزیع اندازه ذرات (PSD) به روش هیدرومتری [۶] تعیین شد و چهار کلاس بافت شامل: لوم رس سیلتی، لوم رس شنی، لوم سیلتی و لوم شنی در منطقه ای نیمه خشک در شمال غرب کشور، واقع در استان زنجان شناسایی شدند (جدول ۱). تغییرات ماده آلی در خاکها زیاد بود و از ۰/۵۸ درصد در خاک لوم رس سیلتی تا ۳/۳۹ درصد در خاک لوم سیلتی متغیر بود. خاکهای مورد بررسی به دلیل وجود مقادیر زیادی کربنات کلسیم معادل (از ۲۰ تا ۲۹/۵ درصد) در گروه خاکهای آهکی قرار دارند. خاکهای مورد نظر برای انجام آزمایشهای فرسایش پاشمانی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر سطح مورد نمونه برداری قرار گرفتند و از الک ۱۰ میلی متر عبور داده شدند. انتخاب عمق نمونه برداری به دلیل تأثیرپذیری ساختمان خاک از فعالیت های انسانی مانند خاکورزی در این عمق می باشد. ادوات خاکورزی، بیشترین تأثیر را در تخریب خاکدانه ها در عمق شخم دارند [۱]. خاک گذرانده از الک به عنوان خاک طبیعی بود. در خاک تخریب شده، خاکدانه های موجود در خاک، کوبیده و تخریب شدند. تخریب ساختمان خاک در طبیعت غالباً به دلیل ضربه قطرات باران است اما در کشتزارها، خاکورزی نادرست و پیایی عامل اصلی تخریب سریع ساختمان خاکها است. در چنین شرایطی خاکدانه ها پیوسته در معرض فرایندهای یخ بستن و آب شدن قرار می گیرند [۲۹]. آزمایش تحت شیب ۱۰ درصد انجام

[۱۹] به این نتیجه رسیدند که با افزایش قطر خاکدانه، مقدار پاشمان خاک در جهت های بالادست و پایین دست شیب کاهش پیدا کرد. واعظی و همکاران [۳۷] با بررسی فرایندهای فرسایش پاشمانی در خاکهای آهکی نشان دادند که بیشترین تخریب خاکدانه در خاکهای شن لومی و بیشترین تراکم خاک و پاشمان در خاکهای لومرسی بود. محمودآبادی و همکاران [۲۲] به بررسی اثر شدت باران، درجه شیب و توزیع اندازه ذرات بر پاشمان و شستشوی ناشی از فرسایش پاشمانی پرداختند. نتایج نشان داد که خاک با خاکدانه های ریز بار شستشوی بالاتری داشت. سائدی و همکاران [۳۲] اثرات خصوصیات خاک روی سرعت فرسایش پاشمانی را بررسی نمودند و دریافتند میزان فرسایش پاشمانی با پایداری خاکدانه و مقاومت برشی سطح رابطه ای عکس دارد. صادقی و همکاران [۳۳] نشان دادند که شدت فرسایش پاشمانی و مقدار آن در بالادست و پایین دست فنجانهای پاشمان بتا مصرف پلی آکريل آמיד کاهش معنی دار پیدا کرد.

با توجه به ساختمان ضعیف خاکهای مناطق نیمه خشک، این خاکها بسیار حساس به فرایندهای فرسایش هستند [۳۷]. با این وجود نقش ویژگی های ساختمانی از دیدگاه وجود یا فقدان ساختمان خاک و تغییر سایر ویژگی های فیزیکی خاک مانند تخلخل و نفوذپذیری بر فرسایش پاشمانی در خاکهای این مناطق مورد بررسی قرار نگرفته است. از آنجا که اهمیت ساختمان خاک در تغییر شدت فرسایش پاشمانی به نوع خاک بستگی دارد، آگاهی از آن می تواند در تشخیص حساسیت خاکهای با بافت مختلف به تخریب ناشی از ساختمان سودمند باشد. از این رو این پژوهش به منظور بررسی نقش تخریب ساختمان خاک در فرسایش پاشمانی در نمونه های خاک با

جدول ۱- توزیع اندازه ذرات در خاکهای مورد بررسی

Table 1. Particle size distribution in soils

بافت خاک Soil texture				ویژگی خاک
لوم شنی Sandy loam	لوم سیلتی Silty loam	لوم رس شنی Sandy clay loam	لوم رس سیلتی Silty clay loam	
67.1	33.9	55	19	شن (%) Sand
25.3	53.6	22.5	43.4	سیلت (%) Silt
7.5	12.5	22.5	37.5	رس (%) Clay
29.5	26.6	20	25	آهک (%) CaCO ₃
1.39	3.39	0.59	0.58	ماده آلی (%) Organic matter
12.25	13.19	18.19	9.2	سنگریزه (%) Gravel



شکل ۱- نمایی از دستگاه باران‌ساز و ظروف پاشمان
Fig 1. View of the rainfall simulator and splash cups

تعیین ویژگی‌های خاک‌ها

ویژگی‌های خاک‌ها در شرایط طبیعی اندازه‌گیری شدند. در نمونه‌های خاک دست‌نخورده، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) به روش بار ثابت [۱۰] و درصد سنگ‌ریزه به روش وزنی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. درصد آهک از روش تیتراسیون [۲۵]، درصد ماده آلی به روش والکی و بلک [۴۳] تعیین شدند. برای تعیین اندازه خاک‌دانه به روش الک خشک ابتدا ۲۰۰ گرم خاک هواخشک به وسیله سری الک‌های ۸، ۴/۷۵، ۲/۳۶، ۲، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۳، ۰/۲۵ و ۰/۱۵ میلی‌متری الک شدند. در نهایت اندازه خاک‌دانه‌ها با استفاده از روابط (۲) و (۳) محاسبه شد [۱۸]. برای تعیین پایداری خاک‌دانه با استفاده از روش الک تر [۱۸] ابتدا مقدار ۱۰۰ گرم خاک‌دانه با قطر ۵/۶ تا ۸ میلی‌متر جدا شد. انتخاب این اندازه از خاک‌دانه‌ها جهت بررسی پایداری خاک‌دانه و تأثیر آن بر فرسایش در بیشتر تحقیقات پیشین مورد توجه بوده است [۱۵، ۳۸ و ۴۱]. با استفاده از رابطه ۲، پایداری خاک‌دانه بر حسب میلی‌متر محاسبه شد:

$$W_i = \pi \frac{W_i(a+s) - W_i(s)}{\sum_{i=1}^n W_i(a+s) - \sum_{i=1}^n W_i(s)} \times 100 \quad (2)$$

$$MWD_{wet} = \sum_{i=1}^n W_i \times \bar{X}_i \quad (3)$$

که در آن: W_i جرم خاک‌دانه‌های باقی‌مانده روی هر الک بر حسب گرم به جرم کل خاک‌دانه‌ها بر حسب گرم، $W_i(a+s)$ جرم خاک باقی‌مانده روی هر الک (شامل خاک و شن) بر حسب گرم،

شد. برای اطمینان از تخریب ساختمان خاک در اثر کوبیدن، لازم بود مشخصات خاک‌دانه (اندازه و پایداری) در خاک با ساختمان طبیعی با اندازه خاک‌دانه در خاک با ساختمان تخریب شده مقایسه شود. تخریب خاک‌دانه هنگامی تأیید شد که مقدار این دو ویژگی به حد نصف و یا کم‌تر از آن در خاک طبیعی کاهش یافت.

طراحی دستگاه شبیه‌ساز باران

آزمایش‌های فرسایش پاشمانی با استفاده از باران شبیه‌سازی شده بر روی نمونه‌های خاک طبیعی و خاک تخریب شده به طور هم‌زمان انجام گرفت. برای اعمال باران از یک دستگاه شبیه‌ساز باران با چارچوب فلزی و با صفحه بارشی به طول ۱/۵ متر و به عرض ۱ متر با ارتفاع ۳ متر استفاده شد. صفحه بارش باران‌ساز از ۳۶۰ قطعه نازل قطره‌ساز با آرایش لوزی تشکیل شده بود. قطر قطرات تولید شده توسط نازل‌ها با استفاده از روش گلوله آردی [۷] بررسی شد و برابر با ۲/۸۵ میلی‌متر بود. برای انجام آزمایشات، دستگاه شبیه‌ساز باران با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت تنظیم شد. مدت بارندگی در تمام آزمایشات شبیه‌سازی باران یکسان و برابر ۳۰ دقیقه بود. اساس انتخاب شدت‌های باران مورد مطالعه، وقوع باران‌های فرسایش‌زا در منطقه بود [۳۸]. یکنواختی توزیع باران در زیر صفحه بارش با استفاده از ضریب کریستینسن [۸] بررسی شد و مقدار آن ۹۴ درصد بود.

اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی

برای تهیه ظروف پاشمان، ظروفی استوانه‌ای به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و قطر هشت سانتی‌متر تهیه و کف آن‌ها جهت انجام زهکشی توسط پارچه توری پوشیده شد. سطح پاشمان حدود ۵۰ سانتی‌متر مربع بود که مطابق با ظروف پاشمان در تحقیقات مورگان [۲۴] بود. برای جمع‌آوری ذرات خاک پاشمان‌یافته، ظروف پاشمان در داخل ظروفی بزرگ به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و قطر داخلی ۳۰ سانتی‌متر گذاشته شد (شکل ۱). اندازه‌گیری فرسایش پاشمانی برای هر چهار کلاس بافت خاک در دو شرایط ساختمان خاک (طبیعی و تخریب شده) انجام شد. برای این منظور ظروف پاشمان در زیر دستگاه شبیه‌ساز باران قرار گرفتند. پس از پایان آزمایش، ذرات خاک پاشمان یافته جمع‌آوری و پس از خشک شدن در آون (۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت) توزین شدند. مقدار فرسایش پاشمانی برای هر چهار کلاس بافت خاک در دو شرایط خاک طبیعی و خاک تخریب شده با استفاده از رابطه زیر [۲۶] محاسبه شد:

$$D = \frac{M_s}{A} \quad (1)$$

که در آن: D فرسایش پاشمانی (گرم بر متر مربع) M_s جرم ذرات خاک پاشمان یافته و خشک شده در آون (گرم) و A سطح مقطع ظرف پاشمان (متر مربع) است.

بررسی ویژگی‌های فیزیکی در نمونه‌های خاک طبیعی نشان داد که خاک لوم شنی از بیش‌ترین چگالی ظاهری (۱/۴۰) گرم بر سانتی‌متر مکعب) و خاک لوم رس سیلتی از کم‌ترین چگالی ظاهری (۱/۲۳) گرم بر سانتی‌متر مکعب) برخوردار است (جدول ۲). خاک لوم سیلتی دارای بیش‌ترین میانگین قطر خاک‌دانه (۲/۵۳ میلی‌متر) و خاک لوم شنی دارای کم‌ترین میانگین قطر خاک‌دانه (۰/۸ میلی‌متر) بود. بررسی پایداری خاک‌دانه در نمونه‌های خاک‌دانه شش تا هشت میلی‌متر نشان داد که خاک‌دانه‌ها عموماً دارای پایداری اندک در برابر آب بودند و از ۰/۴۴ میلی‌متر در خاک لوم رس سیلتی تا ۱/۰۷ میلی‌متر در خاک لوم رس شنی متغیر بود. بر این اساس خاک‌ها مقاومت کم‌تری در برابر عوامل فرساینده از جمله باران دارند. خاک لوم شنی بیش‌ترین مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع (۱۳/۸۶ سانتی‌متر بر ساعت) را داشت که علت آن را می‌توان به وجود ذرات شن که منجر به افزایش نفوذپذیری خاک می‌شوند، نسبت داد [۳۴ و ۳۹].

تغییرات ویژگی‌های فیزیکی بین خاک‌ها

مقادیر ویژگی‌های فیزیکی خاک در دو شرایط ساختمان در خاک‌های مختلف در جدول ۲ و میزان تغییرات ویژگی‌های فیزیکی در اثر تخریب ساختمان در جدول ۳ نشان داده شده است. بیش‌ترین تغییرات چگالی ظاهری در خاک لوم رس شنی (با ۳۱ درصد افزایش) و کم‌ترین آن در خاک لوم سیلتی (با ۱۷ درصد افزایش) مشاهده شد. تخریب ساختمان خاک با کاهش تخلخل و در نتیجه افزایش تراکم خاک همراه بود.

تغییرات فرسایش پاشمانی بین خاک‌ها

تغییرات فرسایش پاشمانی بین چهار کلاس بافت خاک در دو شرایط ساختمانی در شکل ۳ نشان داده شده است. خاک لوم شنی نسبت به سایر خاک‌ها دارای بیش‌ترین تغییرات فرسایش

$W_p(s)$ جرم شن روی هر الک بر حسب گرم و \bar{X}_i میانگین قطر خاک‌دانه‌ها روی هر الک بر حسب میلی‌متر است.

تعیین تغییرات ویژگی‌های خاک‌ها

اندازه خاک‌دانه، پایداری خاک‌دانه، چگالی ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک هستند که تحت تأثیر شرایط ساختمان خاک تغییر پیدا می‌کنند [۳]. و در خاک طبیعی و تخریب شده متفاوت می‌باشند. برای درک بهتر مقدار کاهش یا افزایش ویژگی‌های فیزیکی خاک و فرسایش پاشمانی، تغییرات هر یک با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\Delta A = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \times 100 \quad (4)$$

که در آن A_2 مقدار ویژگی در خاک تخریب شده، A_1 مقدار آن ویژگی در خاک طبیعی و تغییرات آن ویژگی (درصد) هستند. تغییرات هر کدام از این ویژگی‌ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد. علامت منفی نشان‌دهنده کاهش آن ویژگی با تخریب ساختمان خاک بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای مقایسه بین بافت‌های خاک از نظر نقش ساختمان در فرسایش پاشمانی، از روش تجزیه واریانس با بکارگیری از آزمون دانکن استفاده شد. هم‌چنین برای مقایسه بین دو شرایط ساختمان (خاک طبیعی و تخریب شده) از نظر شدت فرسایش پاشمانی از آزمون t نمونه‌های جفتی استفاده شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک [۳۶] استفاده شد. برای رسم نمودارها از برنامه Excel نسخه ۲۰۱۰ و برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد.

نتایج

ویژگی‌های خاک‌ها

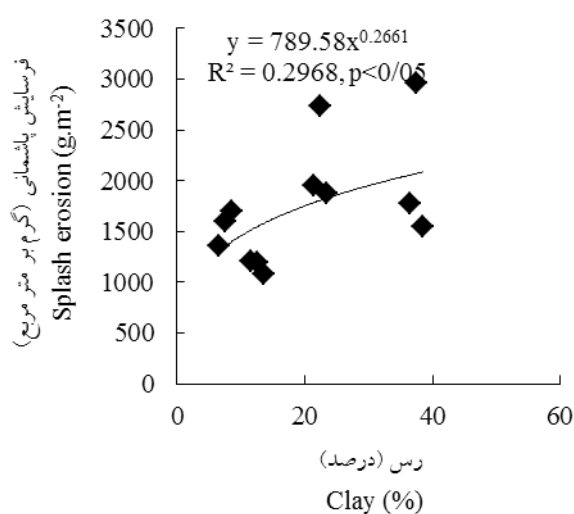
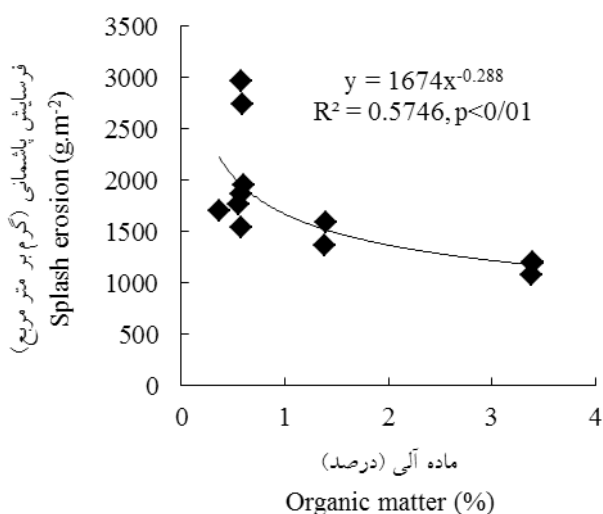
جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی در خاک با ساختمان و در خاک متأثر از تخریب ساختمان

Table 2. Physical properties in the soil with structure and in the soil under aggregate breakdown

لوم شنی Sandy loam		لوم سیلتی Silt loam		لوم رس شنی Sandy clay loam		لوم رس سیلتی Silty clay loam		ویژگی خاک Soil properties
بدون ساختمان Without structure	با ساختمان With structure	بدون ساختمان Without structure	با ساختمان With structure	بدون ساختمان Without structure	با ساختمان With structure	بدون ساختمان Without structure	با ساختمان With structure	
1.77	1.40	1.50	1.28	1.69	1.38	1.60	1.23	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) Bulk density (g.cm ⁻³)
0.36	0.80	0.78	2.53	0.84	2.43	0.73	1.54	اندازه خاک‌دانه (میلی‌متر) Aggregate size (mm)
0.23	0.92	0.18	1.05	0.20	1.07	0.22	0.44	پایداری خاک‌دانه (میلی‌متر) Aggregate stability (mm)
0.96	13.86	0.54	10.20	2.46	8.22	0.96	6.48	هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت) Saturated hydraulic conductivity (cm.h ⁻¹)

به حالت طبیعی ۱۱ درصد افزایش نشان داد. این خاک، مقاوم‌ترین خاک در برابر فرسایش پاشمانی ناشی از تخریب ساختمان بود. در این خاک نیز ۸۱ درصد خاک‌دانه‌های پایدار تخریب شده و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و اندازه خاک‌دانه به ترتیب ۷۰ و ۶۵ درصد کاهش یافتند. در این خاک چگالی ظاهری ۳۱ درصد افزایش یافت. از نظر فرسایش پاشمانی در خاک با ساختمان طبیعی تفاوت معنی‌داری بین خاک‌ها ($P < 0/05$) مشاهده شد (جدول ۴)، که علت آن را می‌توان به وجود همبستگی معنی‌دار در حالت با ساختمان طبیعی، بین فرسایش پاشمانی و مقدار رس ($P < 0/05$) و هم‌چنین فرسایش پاشمانی و مقدار ماده آلی ($P < 0/01$) نسبت داد (شکل ۲). خاک لوم رس شنی از بیش‌ترین مقدار فرسایش پاشمانی (۲۱۸۸/۸۲ گرم بر مترمربع) نسبت به سایر خاک‌ها برخوردار بود. در خاک لوم شنی و به‌ویژه لوم سیلتی نیز به دلیل حضور ذرات درشت‌تر، مقدار پاشمان

پاشمانی (۵۲ درصد افزایش) بود و در بین خاک‌ها، حساس‌ترین خاک در برابر این نوع فرسایش آبی بود. بعد از خاک لوم شنی، خاک لوم سیلتی دارای تغییرات فرسایش پاشمانی زیادی بود (۴۲ درصد). در این خاک نیز هدایت هیدرولیکی اشباع ۹۴ درصد کاهش را نشان داد. این خاک دارای بیش‌ترین تغییرات پایداری خاک‌دانه (۸۳ درصد) بود. خاک لوم رس سیلتی در اثر تخریب ساختمان، دچار ۲۸ درصد افزایش در فرسایش پاشمانی شد که در این خاک نیز تغییرات زیاد هدایت هیدرولیکی اشباع (۸۵ درصد) مشاهده شد. علاوه بر این مقادیر پایداری خاک‌دانه و اندازه خاک‌دانه به ترتیب ۵۰ و ۵۲ درصد کاهش نشان دادند. پژوهش حاضر نشان داد که چگالی ظاهری خاک نیز ۳۰ درصد افزایش یافت. خاک لوم رس شنی دارای کم‌ترین تغییرات فرسایش پاشمانی نسبت به سایر خاک‌ها بود؛ به‌طوری‌که مقدار فرسایش پاشمانی در این خاک در حالت تخریب شده نسبت



شکل ۲- تغییرات فرسایش پاشمانی تحت تأثیر مقدار رس (الف) و ماده آلی (ب) در خاک با ساختمان طبیعی

Fig 2. Variation of splash erosion affected by clay (A) and organic matter (B) values in the natural soil

جدول ۳- تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک و فرسایش پاشمانی در دو شرایط ساختمانی

Table 3. Variation of soil physical properties and splash erosion in the two structure conditions

بافت خاک Soil texture					تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک طبیعی و خاک تخریب شده
میانگین Mean	لوم شنی Sandy loam	لوم سیلتی Silt loam	لوم رس شنی Sandy clay loam	لوم رس سیلتی Silty clay loam	
26	26	17	31	30	تغییر چگالی ظاهری (%) Variation of bulk density
-72.25	-75	-83	-81	-50	تغییر پایداری خاک‌دانه (%) Variation of aggregate stability
-60.25	-55	-69	-65	-52	تغییر اندازه خاک‌دانه (%) Variation of aggregate size
-85.50	-93	-94	-70	-85	تغییر هدایت هیدرولیکی اشباع (%) Variation of saturated hydraulic conductivity
33.25	52	42	11	28	تغییر فرسایش پاشمانی (%) Variation of splash erosion

ساختمان خاک، رابطه بین تغییرات فرسایش پاشمانی با تغییرات هر یک از ویژگی‌های فیزیکی خاک در اثر تخریب ساختمان بررسی شد (شکل ۴). نتایج نشان داد روند معنی‌دار بین تغییرات فرسایش پاشمانی و تغییرات چگالی ظاهری، پایداری خاک‌دانه و اندازه خاک‌دانه وجود نداشت، درحالی‌که رابطه‌ای معنی‌دار بین تغییرات فرسایش پاشمانی و تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_p) مشاهده شد؛ به طوری‌که با افزایش تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، تغییرات فرسایش پاشمانی به صورت خطی افزایش یافت ($R^2=0/90$ و $P<0/05$).

کم‌تر بود.

تغییرات ویژگی‌های خاک بین دو شرایط ساختمان خاک

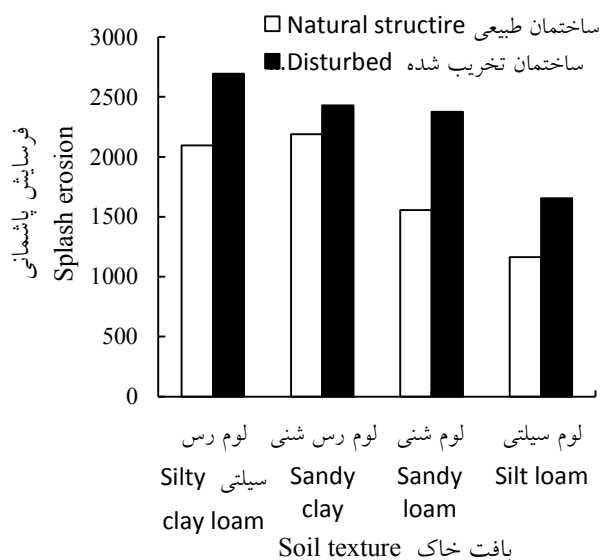
مقایسه تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و پاشمان بین دو شرایط ساختمانی خاک‌ها در دو شرایط خاک طبیعی و خاک تخریب شده با استفاده از آزمون t نمونه‌های جفتی (جدول ۵) نشان داد که بین دو شرایط ساختمان خاک از نظر ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل چگالی ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، پایداری خاک‌دانه و اندازه خاک‌دانه تفاوت معنی‌دار وجود داشت ($P<0/01$).

رابطه بین تغییرات فرسایش پاشمان و تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک

برای بررسی علت تغییرات فرسایش پاشمانی در اثر تغییر

جدول ۴- مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و فرسایش پاشمانی بین چهار کلاس بافت خاک در شرایط طبیعی ساختمان
Table 4. Comparison physical properties and splash erosion in soil textures under natural structure

سطح معنی‌داری Significant	F	مجموع مربعات Sum of square	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
0.000	91.385	0.089	3	چگالی ظاهری Bulk density
0.000	104.970	0.779	3	پایداری خاک‌دانه Aggregate stability
0.000	183.862	5.985	3	اندازه خاک‌دانه Aggregate size
0.000	513.891	90.342	3	هدایت هیدرولیکی اشباع Saturated hydraulic conductivity
0.048	3.265	2082793.365	3	فرسایش پاشمانی Splash erosion



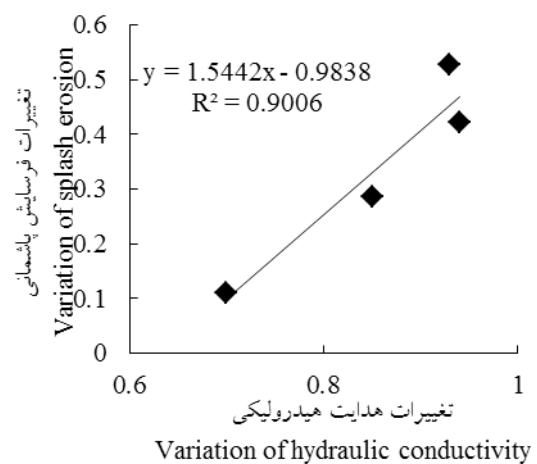
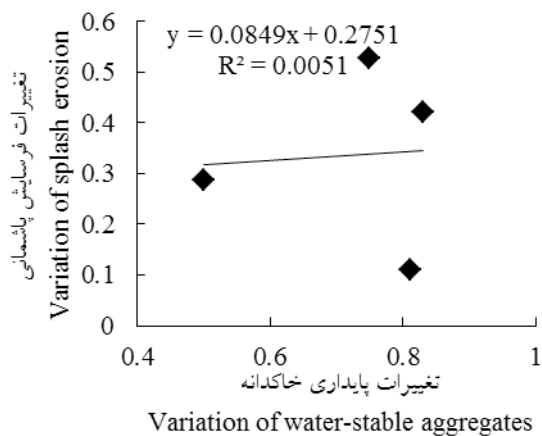
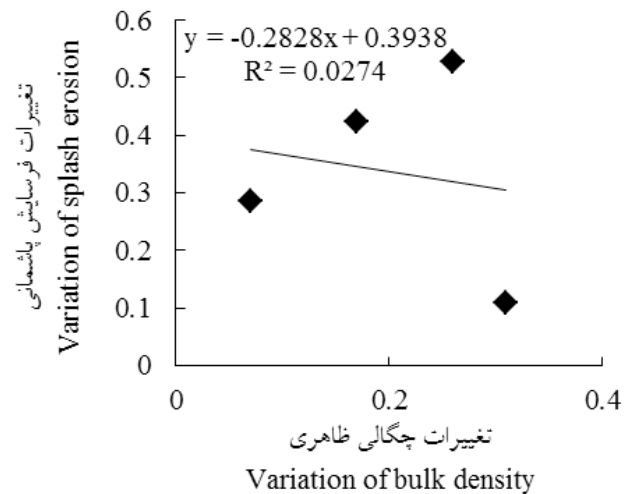
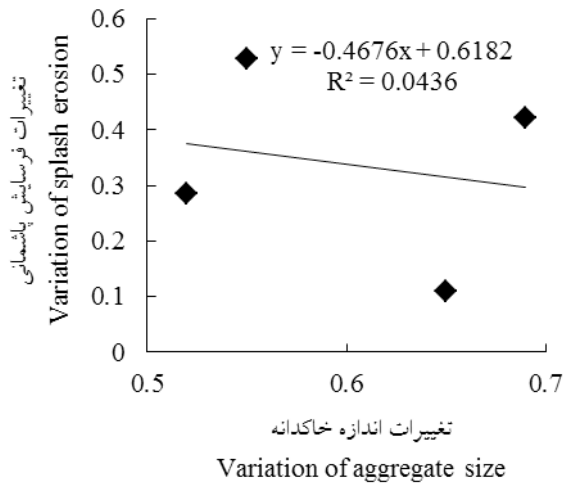
شکل ۳- تغییرات فرسایش پاشمانی در خاک‌های مورد بررسی در خاک با ساختمان طبیعی و در خاک متأثر از تخریب خاک‌دانه

Fig 3. Variation of splash erosion in the soils with structure and in the soil under aggregate breakdown

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و پاشمانی بین دو شرایط ساختمانی با استفاده از آزمون تی

Table 5. Comparison of physical properties and splash erosion in two structure conditions by using t test

Mean difference تفاوت میانگین				
هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی متر بر ساعت) Saturated hydraulic conductivity (cm.h ⁻¹)	اندازه خاک‌دانه (میلی متر) Aggregate size (mm)	پایداری خاک‌دانه (میلی متر) Aggregate stability (mm)	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی متر مربع) Bulk density (g.cm ⁻³)	بافت خاک Soil texture
5.52**	0.81**	0.22**	-0.11**	لوم رس سیلتی Silty clay loam
5.76**	1.59**	0.87**	-0.40**	لوم رس شنی Sandy clay loam
9.66**	1.75**	0.87**	-0.22**	لوم سیلتی Silt loam
12.90**	0.44*	0.69**	-0.37**	لوم شنی Sandy loam



شکل ۴- تغییرات فرسایش پاشمانی ناشی از تخریب خاک‌دانه با تغییر چگالی ظاهری، پایداری خاک‌دانه، اندازه خاک‌دانه و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

Fig 4. Variation of splash erosion by variations of bulk density, aggregate stability, aggregate size, and hydraulic conductivity

باشد. با افزایش مقدار رس، به دلیل پراکنش آسان این ذرات مقدار فرسایش پاشمانی افزایش یافت. طی مطالعات واعظی و همکاران [۳۹] نیز پاشمان ذرات خاک به شدت تحت تأثیر ذرات رس افزایش یافت ($t=0/43, P<0/01$). ماده آلی نیز به دلیل تأثیر بر بهبود پایداری خاکدانه و اندازه خاکدانه موجب کاهش فرسایش پاشمانی شد [۲۸]. در خاک لوم شنی و به‌ویژه لوم سیلتی نیز به دلیل حضور ذرات درشت‌تر، مقدار پاشمان کم‌تر بود. واعظی و همکاران [۳۹] نیز طی مطالعات بر روی چهار خاک با بافت مختلف دریافتند که خاک لوم رسی بیش‌ترین و خاک شن لومی کم‌ترین مقدار پاشمان ذرات خاک را داشتند ($P<0/01$). در پژوهشی فان و لی [۱۱] بیان کردند که شن ریز قابلیت جداشدگی بیش‌تری نسبت به شن درشت دارد. ذرات رس نیز به دلیل چسبندگی قابلیت جداشدگی پایینی دارند. با افزایش درصد شن خاک، امکان جابه‌جایی ذرات درشت کم‌تر بوده و پاشمان کاهش می‌یابد [۳۵]. مطالعات وان‌دیج و همکاران [۴۰] نشان داد که خاک‌های مختلف به یک میزان پاشمان ندارند؛ به‌طوری که خاک‌های لوم رس سیلتی و لوم رسی بیش‌ترین مقاومت و استحکام را در برابر تخریب توسط قطرات باران داشتند، درحالی که خاکدانه‌های موجود در خاک‌هایی با بافت لوم سیلتی و شنی کم‌ترین پاشمان را داشتند.

ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل چگالی ظاهری، هدایت هیدرولیکی اشباع، پایداری خاکدانه و اندازه خاکدانه تفاوت چشمگیری بین دو شرایط ساختمانی خاک (طبیعی و تخریب شده) داشتند. با این وجود، شدت فرسایش پاشمانی تحت تأثیر تخریب ساختمان خاک قرار نگرفت. توسعه ساختمانی ضعیف خاک‌های مناطق نیمه‌خشک و وجود خاکدانه‌های ناپایدار با قطر کم [۳۷] می‌تواند دلیلی بر عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین این دو شرایط ساختمانی خاک از نظر پاشمان باشد.

بررسی رابطه بین تغییرات فرسایش پاشمان و تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک نشان داد که اگرچه روند معنی‌دار بین تغییرات فرسایش پاشمانی و تغییرات چگالی ظاهری، پایداری خاکدانه و اندازه خاکدانه وجود ندارد، اما رابطه‌ای معنی‌دار بین تغییرات فرسایش پاشمانی و تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) برقرار است. در واقع هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_s) مهم‌ترین ویژگی فیزیکی خاک است که به شدت در اثر تخریب ساختمان خاک دچار تغییر می‌شود و تغییرات آن منجر به تغییرات فرسایش پاشمانی می‌شود. با تخریب ساختمان خاک، مقدار K_s به شدت کاهش یافت و موجب افزایش شدید فرسایش پاشمانی می‌شود. مطالعات مورینو و همکاران [۲۳] نشان داد با کاهش نفوذپذیری خاک میزان فرسایش خاک افزایش می‌یابد. این نتیجه نشانگر اهمیت استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حداقل، برای جلوگیری از تخریب ساختمان خاک [۱۶] و کاهش فرسایش پاشمانی است.

به‌طور کلی این پژوهش برای نشان دادن اهمیت تخریب ساختمان

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی بین خاک‌ها نشان داد که خاک لوم سیلتی دارای بیش‌ترین تغییرات اندازه خاکدانه (با ۶۹ درصد کاهش) بود. علت آن را می‌توان به وجود خاکدانه‌های با قطر بالا (۲/۵۳ میلی‌متر) در این خاک نسبت داد. هم‌چنین بیش‌ترین تغییرات پایداری خاکدانه (با ۸۳ درصد کاهش) و هدایت هیدرولیکی اشباع (با ۹۴ درصد کاهش) در خاک لوم سیلتی مشاهده شد. خاک لوم رس شنی نیز که دارای بیش‌ترین پایداری خاکدانه (۱/۰۷ میلی‌متر) بود در اثر تخریب ساختمان خاک دچار ۸۱ درصد کاهش شد. بین چهار کلاس بافت خاک در شرایط طبیعی از نظر ویژگی‌های فیزیکی تفاوت معنی‌دار وجود داشت. با تخریب ساختمان خاک، چگالی ظاهری خاک دچار کم‌ترین تغییر (افزایش) و هدایت هیدرولیکی اشباع دچار بیش‌ترین تغییر (کاهش) شد.

بررسی تغییرات فرسایش پاشمانی بین خاک‌ها نشان داد که خاک لوم شنی حساس‌ترین خاک در برابر این نوع فرسایش آبی بود. علت آن را می‌توان به وجود تغییرات بسیار زیاد هدایت هیدرولیکی اشباع (۹۳ درصد) در این خاک نسبت داد. کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع در خاک تخریب‌شده منجر به کاهش شدید نفوذپذیری و افزایش فرسایش خاک شد [۱۵]. در خاک لوم سیلتی که در رتبه دوم د تغییرات فرسایش پاشمانی بود، تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع بسیار چشمگیر بود و ۹۴ درصد کاهش را نشان داد. این خاک دارای بیش‌ترین تغییرات پایداری خاکدانه (۸۳ درصد) بود. جو و همکاران [۱۷] نیز کاهش پایداری خاکدانه را عامل مهم افزایش تخریب خاک بیان نمودند. واعظی و همکاران [۳۹] نیز نفوذپذیری خاک و پایداری خاکدانه را دو ویژگی مهم مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک بیان کردند. فیو و همکاران [۱۲] نشان دادند که شدت فرسایش پاشمانی به اندازه خاکدانه وابسته است. خاکدانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) در اثر پاشمان به خاکدانه‌های کوچک (کوچک‌تر از ۰/۲۵ میلی‌متر) جدا شده و موجب تولید اندوده سطحی می‌شوند. این نتیجه نشان می‌دهد که با تخریب خاکدانه‌ها، شدت فرسایش پاشمانی افزایش می‌یابد. خاک لوم رس شنی دارای کم‌ترین تغییرات فرسایش پاشمانی نسبت به سایر خاک‌ها بود. این خاک، مقاوم‌ترین خاک در برابر فرسایش پاشمانی ناشی از تخریب ساختمان بود. با تغییر در ویژگی‌های فیزیکی خاک، قابلیت نگهداری آب در خاک و در نتیجه شدت فرسایش پاشمانی نیز تغییر می‌کند. در پژوهشی واعظی و همکاران [۴۰] با بررسی اثر هشت تداوم بارندگی بر ویژگی‌های خاک و شدت فرسایش پاشمانی نشان دادند که محتوای رطوبتی خاک، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده شدت فرسایش پاشمانی در رخداد باران بعدی است.

تفاوت‌های آشکاری از نظر فرسایش پاشمانی بین خاک‌ها در شرایط ساختمان طبیعی وجود داشت (جدول ۴)، که می‌توان به‌واسطه نقش مثبت رس و ماده آلی در بهبود ساختمان خاک

Raindrop characteristics in south central United States. Transactions of the ASAE. 17(6): 1033-1037.

8 Christiansen, J. F. 1942. Irrigation by Sprinkling, California Agricultural Experiment Station Bulletin 670, University of California, Berkeley, CA.

9. Ekwue, E. I. 1991. The effects of soil organic matter content, rainfall duration and aggregate size on soil detachment. Soil Technology 4(3): 197-207.

10. Fallow, D. J., Elrick, D. E., Reynolds, W. D., Baumgartner, N. and Parkin, G. W. 1994. Field measurement of hydraulic conductivity in slowly permeable materials using early-time infiltration measurements in unsaturated media. In: Daniel, D. E., Trautwein, S. J. (Eds.), Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil, ASTM STP 1142. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 375-389.

11. Fan, R. and Li, Z. 1993. Rainsplash and sediment transport model on the slope. Hydraulic Engineering. 6: 24-29.

12. Fu, Y., Li, G.L., Zheng, T.H., Li, B.Q. and Zhang, T., 2017. Splash detachment and transport of loess aggregate fragments by raindrop action. Catena, 150, pp.154-160.

13. Gholami, L., Banasik, K., Sadeghi, S. H. R., Darvishan, A. K. and Hejduk, L. 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. Journal of Water and Land Development, 22: 51-60.

14. Hanson, M. S. 2004. Effect of soluble salts on water absorption by gel-forming soil conditioners. Science of Food and Agriculture 22: 163-166.

15. Hoyos, N. 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. Catena 63: 85-108.

16. Jacobs, A., Rauber, R. and Ludwig, B. 2009. Impact of reduced tillage on carbon and nitrogen storage of two Haplic Luvisols after 40 years. Soil Tillage Res 102: 158-164.

17. Joe, S. C. Mbagwu. Aggregate stability and soil degradation in the tropics. Invited Presentations College on Soil Physics, 245-252.

18. Kemper, W. D. and Rosenau, R. C. 1986. Aggregate stability and size distribution. 425-442.

19. Khaledi Darvishan, A. and Sharifi Moghadam, E. 2016. Effect of aggregate diameter on soil splash under laboratorial conditions. Iran-Watershed Management Science and Engineering 10(32): 33-38. (In Persian)

20. Karimi, H., Soufi, M., Haghnia, Gh. H. and Khorasani, D. 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 Agriculture Science Natural Resources. 14(6): 391-400. (In Persian)

21. Kinnell, P. I. A. 1990. The mechanics of raindrop induced flow transport. Soil Research 28(4): 497-516.

22. Mahmoodabadi, M. and Sajjadi, S. A. 2016. Effects of rain intensity, slope gradient and particle size distribution on the relative

خاک در تحلیل ویژگی‌های فیزیکی خاک و تشدید فرسایش پاشمانی در برخی نمونه‌های خاک منطقه نیمه‌خشک انجام گرفت. افزایش فراوانی ذرات رس در نمونه‌های خاک با ساختمان طبیعی موجب افزایش فرسایش پاشمانی می‌شود. این موضوع به دلیل پراکنش آسان این ذرات در اثر قطرات پاشمان یافته باران است. وجود ماده آلی زیاد در خاک‌ها از حساسیت آن‌ها به پدیده پاشمان می‌کاهد چرا که افزایش محتوای ماده آلی نقشی اساسی در افزایش اندازه خاک‌دانه و پایداری آن در برابر تخریب به وسیله قطرات باران دارد. بررسی تأثیر تخریب ساختمان خاک بر ویژگی‌های فیزیکی و مقدار پاشمان ذرات نشان داد که در اثر تخریب ساختمان، چگالی ظاهری، اندازه و پایداری خاک‌دانه و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و شدت فرسایش پاشمانی دچار تغییرات زیادی شدند. در این میان بیش‌ترین تغییرات مربوط به هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بود (۸۵/۵ درصد). خاک لوم شنی، حساس‌ترین بافت خاک به فرسایش پاشمانی بر اثر تخریب ساختمان خاک بود؛ به طوری که با تخریب ساختمان خاک، مقدار پاشمان در آن ۵۲ درصد افزایش یافت. خاک لوم رس شنی به دلیل کاهش اندک هدایت هیدرولیکی اشباع در اثر تخریب ساختمان، مقاوم‌ترین خاک در برابر فرسایش پاشمانی بود. نتایج نشان داد که بین تغییرات فرسایش پاشمانی در اثر تخریب ساختمان و تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع رابطه خطی معنی‌دار وجود دارد ($R^2=0/90$). به طور کلی این پژوهش نشان داد که حساسیت خاک‌ها به فرسایش پاشمانی یکسان نیست و در خاک‌هایی که بر اثر تخریب ساختمان، هدایت هیدرولیکی اشباع کاهش زیادی پیدا می‌کند، مقدار افزایش فرسایش پاشمانی بیش‌تر است. در خاک کشت‌زارهای مورد بررسی، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حداقل، برای حفظ ساختمان خاک و کاهش تخریب فیزیکی ساختمان خاک و در نتیجه کاهش فرسایش پاشمانی حائز اهمیت است.

منابع

1. Álvaro-Fuentes, J., Arrúe, J. L., Cantero-Martínez, C. and López, M.V. 2008. Aggregate breakdown during tillage in a Mediterranean loamy soil. Soil and tillage Research, 101(1-2): 62-68.
2. Asadi H., Moussavi A., Ghadiri H. and Rose C. W. 2011. Flow-driven soil erosion processes and the size selectivity of sediment. Hydrology. 406(1): 73-81.
3. Barzegar, A. R. 2008. Soil physic (3 th Ed). The Chamran University Press, Ahvaz. (In Persian)
4. Barthes, B. and Roose, E. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. Catena. 47(2): 133-149.
5. Blake G. and Hartge K. 1986. Bulk density, clod method. Methods of soil analysis: Part, 1 .
6. Bouyoucos G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy 54(5): 464-465.
7. Carter, C. E., Greer, J. D., Braud, H. J. and Floyd, J. M. 1974.

34. Santos, F. L., Reis J. L., Martins O. C., Castanheira N. L. and Serralheiro R.P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigated soils. *Biosystems Engineering*. 86(3): 355-364.
35. Seybold, C. A. and Herrick, J. 2001. Aggregate stability kit for soil quality assessment. *Catena*. 44: 37-45.
36. Shapiro, S. S., Wilk, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*. 52 (3-4): 591-611.
37. Vaezi, A. R., Abbasi, M., Bussi, G. and Keesstra, S. 2017. Modeling sediment yield in semi-arid pasture micro-catchments, NW Iran. *Land Degredation and Development*. 28(4): 1274-1286.
38. Vaezi, A. R., Akbari, S. and Mohammadi, M. H. 2014. Study of splash erosion process in aggregates under laboratorial conditions in (NW of Zanjan province) calcareous soils. *Iranian Soil and Water Research* 45(1): 87-94.(In Persian)
39. Vaezi, A. R. and Ebadi, M. 2016. Particle Size Distribution of Surface-Eroded Soil in Different Rainfall Intensities and Slope Gradients. *Water and Soil* 31(1): 216-229.(In Persian)
40. Sadeghi1, S. H. R., Raisi, M. B. and Hazbavi, Z. 2016. Effects of polyacrylamide in controlling of splash erosion from a soil induced freeze-thaw cycle. *Journal of Water and Soil* 29(6): 1601-1611.(In Persian)
41. Vaezi, A. R., Sadeghi, S. H. R., Bahrami, H. A. and Mahdian, H.A. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*. 97(3-4): 414-423
42. Van Dijk, A. I., Meesters, A. G. and Bruijnzeel, L. A. 2002. Exponential distribution theory and the interpretation of splash detachment and transport experiments. *Soil Science Society of America*. 66: 1466-1474.
43. Walkly, A. and Black, I.A. 1934. An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science Society*. 37: 38-29.
44. Wu, X., Wei, Y., Wang, J., Wang, D., She, L., Wang, J., Cai, C., 2017. Effects of soil physicochemical properties on aggregate stability along a weathering gradient. *Catena* 156: 205-215.
- contributions of splash and wash loads to rain-induced erosion. *Geomorphology*. 253: 159-167.
23. Moreno-de lasherias, M., Nicolau J. M. and M. T. Espigares. 2008. Vegetation succession in reclaimed coal mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecol. Engr.* (34): 168-178.
24. Morgan, R. P. C. 1981. Field measurement of Splash Erosion. *Erosion and Sediment* 133: 373-382.
25. Page, A. L., Miller, R. H., and Jeeney, D. R. 1992. Methods of soil analysis, part 2. Chemical and Mineralogical Properties. SSSA Pub., Madison, 1159p.
26. Parlak, M., and Ozaslan Parlak, A. 2010. Measurement of splash erosion in different cover crops. *Turkish journal of field crops*. 15(2): 169-173.
27. Poesen, J. and Torri, D. 1988. The effect of cup size on splash detachment and transport measurements. Part I. Field measurements. *Geomorphic processes in environments with strong seasonal contrasts*. *Catena*. 12: 113-126.
28. Qinjuan, C. H., Qiangguo, C. and Wenjun, M. A. 2008. Comparative study on rain splash erosion of representative soils in China. *Geographic Science*. 18 (2): 155-161.
29. Paustian, K., Collins, H.P. and Paul, E.A., 1997. Management controls on soil carbon. 1997a, CRC Press: Boca Raton, FL, USA. pp. 15-49.
30. Rase, J. Bjorneberg, K. D. L. and Sojka, R. E. 2002. Sprinkler irrigation runoff and erosion control. *Soil Science Society of America*. 60: 1381-1387.
31. Rouhipoor, H., Farzaneh, H. and Asadi, H. Study of relation of aggregates stability indexes with soil erodibility factor with using of rainfall simulation. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 11(3): 235-254.(In Persian)
32. Saedi, T., Shorafa, M., Gorji, M. and Moghadam, B. K. 2016. Indirect and direct effects of soil properties on soil splash erosion rate in calcareous soils of the central Zagross, Iran: A laboratory study. *Geoderma*. 271: 1-9.
33. Sadeghi1, S. H. R., Raisi, M. B. and Hazbavi, Z. 2016. Effects of polyacrylamide in controlling of splash erosion from a soil induced freeze-thaw cycle. *Journal of Water and Soil* 29(6): 1601-1611.(In Persian)

Effect of Soil Structure Breakdown on Splash Erosion in Different Soil Textures

A.R. Vaezi¹ and Kh. Sahandi²

Received: 07-11-2018

Accepted: 21-07-2019

Abstract

This study was carried out to investigate the role of soil structure in splash erosion in semi-arid soils. Splash erosion was measured in four soil textures (silty clay loam, sandy clay loam, silt loam and sandy loam) with two soil structure conditions (with natural structure and under aggregate breakdown) using a simulated rainfall with 50 mmh⁻¹ in intensity for 30 min in splash caps with 10-cm height and 8-cm diameter. Soil physical properties consisted of mean aggregate size, aggregate stability, bulk density and saturated hydraulic conductivity (K_s) were determined in the two soil structure conditions. Results indicated that sandy loam is the most susceptible soil structure to splash erosion, so it appeared about 52 percentages more splash erosion in the breakdown structure condition. Bulk density, aggregate stability and K_s were significantly deteriorated by aggregate breakdown in the soils. A significant relationship was found between the splash erosion variation and variation of K_s in the two soil structure conditions (R²=0.90, P<0.05). Splash erosion was largely increased in the soils with decreasing the K_s by aggregate breakdown. This study revealed that in the soils affected by aggregate breakdown, splash erosion is strongly increases due to decline in the soil's saturated hydraulic conductivity.

Keywords: *Aggregate size, Soil texture, Calcareous soil, Tillage, Rainfall simulation*

1. Corresponding Author and Professor at Department of soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.
Email: vaezi.alireza@gmail.com

2. M.Sc. Graduate, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.