

تعیین حساسیت برخی خاک‌های منطقه نیمه‌خشک به فرسایش شیاری و بین شیاری با استفاده از شبیه‌ساز باران در شرایط آزمایشگاهی

علی‌رضا واعظی*، خدیجه سهندی و نسرین صادقیان^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۱)

چکیده

در مناطق نیمه‌خشک، خاک‌ها دارای توسعه ساختمانی ضعیف بوده و به‌شدت در معرض فرایندهای فرسایش آبی از جمله فرسایش شیاری و بین شیاری هستند. اطلاعاتی در ارتباط با شدت تأثیر این دو نوع فرسایش آبی در خاک‌های مختلف در دامنه‌ها وجود ندارد. این پژوهش به‌منظور تعیین حساسیت خاک‌های منطقه نیمه‌خشک به این دو نوع فرسایش آبی انجام گرفت. یک مطالعه آزمایشگاهی در هشت کلاس بافت خاک با استفاده از فلومی به ابعاد ۱×۶ متر تحت باران شبیه‌سازی شده با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۶۰ دقیقه انجام شد. شدت فرسایش شیاری و بین شیاری با تعیین مقدار هدررفت خاک در سطح فلوم، طی مدت بارندگی اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، شدت هر دو نوع فرسایش به‌طور معنی‌داری در بین بافت‌های خاک تغییر کرد ($P < ۰/۰۰۱$). خاک لوم سیلتی حساس‌ترین خاک به فرسایش شیاری (۲۲ گرم بر متر مربع در ثانیه) و بین شیاری (۱۵ گرم بر متر مربع در ثانیه) بود؛ در حالی که در خاک شنی هدررفت خاک مشاهده نشد. مقایسه تفاوت هدررفت خاک ناشی از دو نوع فرسایش بین بافت‌های خاک نشان داد که شدت فرسایش شیاری در خاک‌های لوم رس شنی، لوم سیلتی، لوم و لوم شنی به‌ترتیب $۳/۲$ ، $۱/۴$ ، $۱/۱$ و $۲/۸$ برابر بیشتر از شدت فرسایش بین شیاری بوده و این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود. مقدار سیلت عامل اصلی مهار تفاوت هدررفت خاک در این خاک‌ها بود. این مطالعه نشان داد در خاک‌های منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی که محتوای سیلت بیشتری دارند، شدت فرسایش شیاری بیشتر از فرسایش بین شیاری است.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، محتوای سیلت، شبیه‌ساز باران، محتوای ماده آلی، هدررفت خاک

۱- گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vaezi.alireza@gmail.com

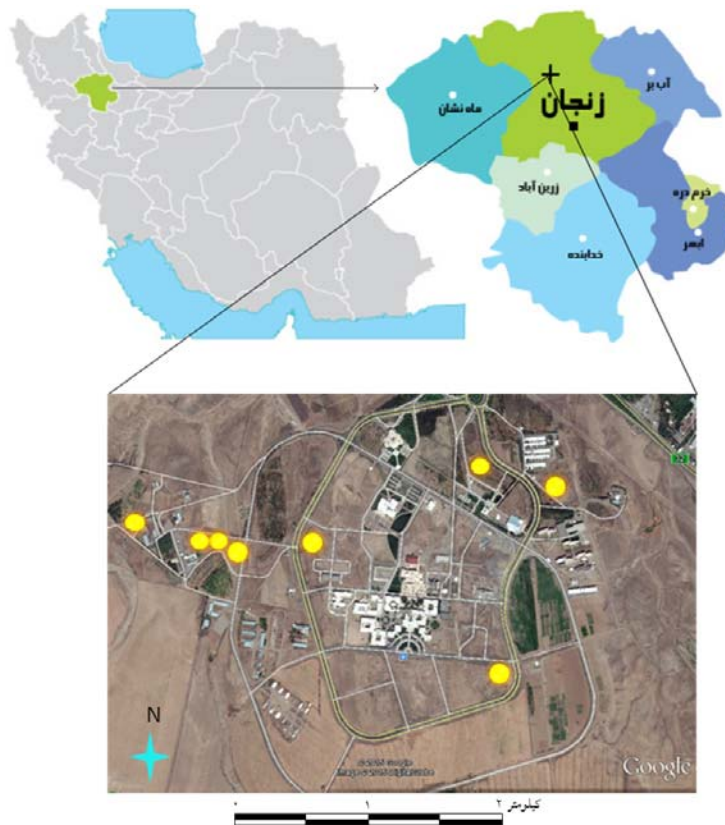
مقدمه

فرسایش شیاری و بین شیاری دو نوع مهم فرسایش آبی در دامنه‌ها هستند. فرسایش بین شیاری عبارت از فرایند جدا شدن یکنواخت ذرات از لایه نازک خاک سطحی بر اثر برخورد قطرات باران یا رواناب کم عمق است (۱۰). فرسایش بین شیاری به عنوان یک فرسایش سطحی، از نظر تغییر کیفیت خاک حائز اهمیت بوده و تهدید جدی برای اراضی کشاورزی محسوب می‌شود (۹). بیشترین خسارات این فرسایش در خاک‌های با حاصلخیزی پایین است. کاهش حاصلخیزی زمین با از بین رفتن مواد آلی و مواد غذایی قابل دسترس گیاه، از بین رفتن بذر یا گیاهان جوان، کاهش توانایی خاک در ذخیره آب، آسیب به محصولات کشاورزی و مراتع، کاهش کیفیت آب، رسوب گذاری در رودخانه‌ها، سدها، دریاچه‌ها و مخازن سدها با ته نشینی خاک در برون منطقه، از جمله مشکلات ناشی از این نوع فرسایش خاک است (۲۰). فرسایش شیاری یکی از اجزای مهم فرسایش خاک در زمین‌های کشاورزی بوده (۸ و ۱۳) و عبارت از فرایند جداسازی ذرات و انتقال آنها توسط جریان متمرکز آب روی دامنه است. این فرسایش در نهایت به شکل کانال فرسایش پذیر و باریک در امتداد دامنه نمایان می‌شود (۳). فرسایش شیاری در کنار فرسایش ورقه‌ای بیشترین نقش را در فرسایش خاک دامنه ایفا می‌کند (۱۸).

فرسایش شیاری و بین شیاری توسط پژوهشگران متعددی در سراسر جهان مورد مطالعه قرار گرفته است. در این راستا بارتز و همکاران (۴) پایداری خاکدانه را به عنوان شاخصی برای حساسیت خاک به رواناب و فرسایش خاک بررسی کردند. نتایج نشان داد مقدار رواناب و هدررفت خاک ارتباط منفی با پایداری خاکدانه‌های سطح خاک به خصوص خاکدانه‌های بزرگ و پایدار ($<0/2$ میلی‌متر) داشت. علی و همکاران (۱) برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مؤثر بر فرسایش بین شیاری را بررسی کردند. نتایج نشان داد هدررفت خاک در اثر فرسایش بین شیاری با اسیدیته، مواد آلی و مقدار پتاسیم خاک به طور معنی داری در

ارتباط بود. رومرو و همکاران (۲۱) طی مطالعات خود روی فرسایش پذیری شیاری و بین شیاری دریافتند که در خاک‌های با مقدار سیلت و شن خیلی ریز زیاد، مقدار فرسایش پذیری شیاری بیشتر است. همچنین رس و ماده آلی همبستگی بالایی با فرسایش پذیری شیاری دارند. ویلدهایر و همکاران (۲۹) با بررسی اثر پوشش گیاهی و پایداری ساختمان خاک بر فرسایش بین شیاری و رواناب دریافتند که با افزایش پوشش گیاهی پایداری ساختمان خاک افزایش یافته و بار رسوب به طور نمایی کاهش می‌یابد. کاویان و همکاران (۱۵) اثرات ویژگی‌های خاک بر رواناب و فرسایش سطحی را در اراضی جنگلی تحت باران شبیه سازی شده با شدت دو میلی‌متر بر دقیقه و مدت ۱۵ دقیقه بررسی کردند. نتایج نشان داد که درصد ماده آلی ($P<0/01$)، رطوبت اولیه ($P<0/01$) و سیلت ($P<0/05$) به ترتیب بیشترین تأثیر را در فرایند فرسایش خاک داشتند. بررسی‌های سیفی و همکاران (۲۳) روی تأثیر اندوده سطحی بر فرسایش پذیری بین شیاری (K_i) نشان داد که در خاک لوم شنی که بسیار حساس به تشکیل اندوده سطحی بود در شیب‌های مختلف تفاوت معنی دار ($P<0/01$) بین K_i مشاهده شد، در صورتی که در خاک‌های رسی و لوم رسی تفاوت معنی داری وجود نداشت. واعظی و وطنی (۲۷) در پژوهش خود فرسایش پذیری شیاری را در هشت خاک با بافت مختلف بررسی کردند. براساس نتایج، فرسایش پذیری شیاری، همبستگی معنی دار با درصد شن، رس، سنگریزه و درصد سدیم تبادلی داشت.

پژوهش‌های پیشین نشان داد که بررسی فرسایش شیاری و بین شیاری مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در سراسر جهان قرار دارد. تاکنون پژوهش‌هایی روی عوامل مؤثر بر هر یک از انواع فرسایش شیاری و بین شیاری انجام گرفته است. با این حال تاکنون پژوهشی روی هر دو نوع فرسایش خاک و ویژگی‌های خاک مؤثر بر آنها انجام نگرفته است. چنین اطلاعاتی در خاک‌های مناطق نیمه خشک حائز اهمیت هستند. در این مناطق، با توجه به توسعه ساختمانی ضعیف، خاک‌ها



شکل ۱. نمایی از نقاط نمونه‌برداری خاک در استان زنجان

خاک به آزمایشگاه منتقل شدند (شکل ۱). توزیع اندازه ذرات (PSD) به روش هیدرومتری (۶) تعیین شد و در نهایت هشت کلاس بافت خاک شناسایی شدند (جدول ۱). بدین ترتیب آزمایش در هشت خاک با بافت مختلف شامل: لوم رسی، لوم رسی سیلتی، لوم رسی شنی، لوم سیلتی، لوم، لوم شنی، شن لومی و شن و در سه تکرار انجام شد. خاک‌های مورد نظر برای انجام آزمایش‌های شبیه‌سازی مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند. برای این منظور از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر سطح، مقدار ۲/۵ تن نمونه خاک برداشته شد. نمونه‌های خاک از الک هشت میلی‌متر عبور داده شدند تا خاک به شرایط طبیعی نزدیک باشد (۱۴ و ۲۷). ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی در هشت کلاس بافت خاک اندازه‌گیری شدند. بر این اساس پایداری خاکدانه به روش الک تر (۱۶)، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به روش بار ثابت (۱۱) و ماده آلی به روش والکی-بلاک (۲۸)

به فرایندهای فرسایش آبی بسیار حساس هستند (۲۴). بررسی حساسیت خاک‌های این مناطق به هر دو نوع فرسایش خاک (شیاری و بین شیاری) می‌تواند در شناسایی خاک‌های حساس به هر دو فرسایش و برنامه‌ریزی برای مهار آنها سودمند باشد. بررسی همزمان این دو نوع فرسایش آبی در خاک‌های با بافت مختلف در شرایط طبیعی و تحت باران طبیعی کاری سخت و دشوار است. از این‌رو، این پژوهش با بهره‌مندی از شبیه‌ساز باران در آزمایشگاه به منظور بررسی حساسیت خاک‌های با بافت مختلف به فرسایش شیاری و بین شیاری در منطقه نیمه‌خشک انجام گرفت.

مواد و روش

تهیه نمونه‌های خاک و تعیین ویژگی‌های آنها

در ابتدا نمونه خاک‌ها از منطقه نیمه‌خشک در شمال غرب کشور واقع در استان زنجان تهیه و برای تعیین دقیق بافت

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی

بافت خاک								ویژگی‌های خاک‌ها
شنی	شن لومی	لوم شنی	لومی	لوم سیلتی	لوم رس شنی	لوم رس سیلتی	لوم رسی	
۸۷/۲	۷۵	۶۷/۱	۴۵/۷	۳۳/۹	۵۵/۰	۱۹/۰	۲۶/۸	شن (%)
۷/۷	۱۷/۵	۲۵/۳	۳۶/۷	۵۳/۶	۲۲/۵	۴۳/۴	۳۵/۶	سیلت (%)
۵/۰	۷/۵	۷/۵	۱۷/۵	۱۲/۵	۲۲/۵	۳۷/۵	۳۷/۵	رس (%)
۱/۶۸	۱/۲۹	۱/۴۰	۱/۲۰	۱/۲۸	۱/۲۹	۱/۲۳	۱/۱۷	چگالی ظاهری (g.cm ⁻³)
۰/۴۰	۰/۷۳	۰/۸۱	۰/۵۸	۱/۹۶	۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۴۴	ماده آلی (%)
۰/۰۰	۰/۴۰	۰/۹۲	۰/۹۷	۱/۰۵	۱/۰۷	۰/۴۴	۰/۵۲	پایداری خاکدانه (mm)
۳۷/۰۸	۳/۲۴	۱۳/۸۶	۲/۸۲	۱۰/۲۰	۸/۲۲	۶/۴۸	۵/۳۴	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm.h ⁻¹)

سطح، مشاهده فرسایش خاک در چنین شیب‌هایی در منطقه بود.

اندازه‌گیری شدند. همچنین چگالی ظاهری خاک به روش سیلندر فلزی در محل نمونه‌برداری (۵) تعیین شد.

اندازه‌گیری فرسایش شیاری و بین شیاری

برای اندازه‌گیری فرسایش شیاری پس از قرار دادن خاک در داخل فلوم، شیارها به صورت مکانیکی ایجاد شدند و چگالی ظاهری آنها به مقدار آن در نقطه نمونه‌برداری رسانده شد (شکل ۲- الف). در هر آزمایش، فلوم محتوی خاک به مدت ۶۰ دقیقه به زیر دستگاه باران‌ساز منتقل شد. برای اندازه‌گیری فرسایش بین شیاری، مقدار خاک مورد نیاز برای پر کردن فلوم، بر اساس چگالی ظاهری هر خاک محاسبه و در داخل فلوم ریخته شد و سطح آن به‌طور مکانیکی مسطح شد. سپس آزمایش‌های شبیه‌سازی باران برای هشت کلاس بافت خاک صورت پذیرفت (شکل ۲- ب). در طی این مدت رواناب و رسوب درون ظروف مدرج جمع‌آوری و پس از اتمام مدت زمان ۶۰ دقیقه، حجم کل رواناب و رسوب و جرم کل آنها نیز تعیین شد. جرم رسوبات پس از خشک شدن درون آون (۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، ۲۴ ساعت) به دست آمد. در نهایت، مقدار هر دو فرسایش شیاری و بین شیاری (گرم بر مترمربع) با استفاده از نسبت جرم رسوب خشک حاصل از هر فرسایش

طراحی دستگاه شبیه‌ساز باران و فلوم

برای اعمال باران از یک دستگاه شبیه‌ساز باران با چارچوب فلزی و با صفحه بارشی به طول ۱/۵ متر و عرض یک متر و ارتفاع سه متر استفاده شد. صفحه بارش باران‌ساز از ۳۶۰ قطعه نازل قطره‌ساز 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 آزمایش‌ها، دستگاه شبیه‌ساز باران با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت تنظیم شد. مدت بارندگی در تمام آزمایش‌های شبیه‌سازی باران یکسان و برابر ۶۰ دقیقه بود. اساس انتخاب شدت‌های باران مورد مطالعه، وقوع باران‌های فرسایش‌زا در منطقه بود (۲۶). فلوم مورد استفاده در این آزمایش دارای ابعاد ۱ × ۰/۶ متر با عمق ۰/۲ متر بود. برای انجام مطالعات فرسایش شیاری و بین شیاری در سه تکرار فلوم مورد نظر به سه قسمت مساوی (به ابعاد ۱ × ۰/۲ متر) تقسیم شد. در انتهای فلوم نیز لوله‌هایی برای جمع‌آوری رواناب و رسوب قرار داده شدند. فلوم تحت شیب ۱۰ درصد قرار گرفت. مبنای انتخاب شیب



(ب)



(الف)

شکل ۲. نمایی از فلوم محتوی نمونه خاک، برای اندازه‌گیری: الف) فرسایش شیاری و ب) بین شیاری

هدایت هیدرولیکی اشباع ($37/08$ سانتی متر بر ساعت) و خاک لوم کمترین مقدار ($0/82$ سانتی متر بر ساعت) را داشت. چگالی ظاهری در خاک‌های ریزبافت مانند خاک لومرسی کمتر (از $1/17$ گرم بر سانتی متر مکعب) و در خاک‌های درشت بافت مانند خاک شنی بیشتر (تا $1/68$ گرم بر سانتی متر مکعب) بود.

مقایسه فرسایش شیاری و بین شیاری بین خاک‌ها

بیشترین مقدار فرسایش شیاری در خاک لوم سیلتی ($0/22$ گرم بر متر مربع بر ثانیه) مشاهده شد (شکل ۳- الف). این خاک، حساس‌ترین خاک به فرسایش شیاری بود. در خاک شنی، رواناب و رسوب در شیارها تولید نشد. این خاک مقاوم‌ترین خاک به فرسایش شیاری بود. نفوذپذیری بسیار بالا ($37/08$ سانتی متر بر ساعت) عاملی بود که موجب شد طی بارندگی با شدت 50 میلی‌متر بر ساعت، رواناب تولید نشده و در نتیجه فرسایش شیاری اتفاق نیفتد. با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) بین هشت کلاس بافت خاک، تفاوت معنی‌دار از نظر فرسایش شیاری وجود داشت ($P < 0/001$). واعظی و وطنی (۲۷) نیز با بررسی فرسایش‌پذیری شیاری در نمونه‌هایی از هشت خاک با بافت مختلف در منطقه استان زنجان نشان دادند که فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های با بافت

(گرم) به سطح خاک داخل فلوم (مترمربع) محاسبه شد.

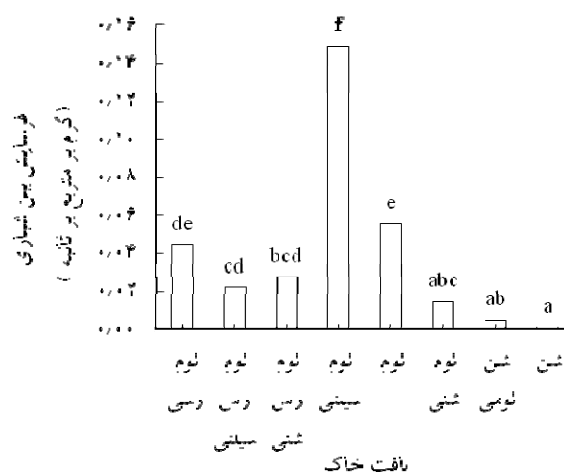
تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

برای مقایسه بین بافت‌های خاک از نظر فرسایش شیاری و یا فرسایش بین شیاری از روش تجزیه واریانس با به کارگیری از آزمون توکی استفاده شد. برای مقایسه تفاوت فرسایش شیاری و بین شیاری در خاک‌های مورد بررسی از آزمون t جفتی و برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک (۲۲) استفاده شد. برای رسم نمودارها از برنامه Excel 2010 و برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS Statistics 20 استفاده شد.

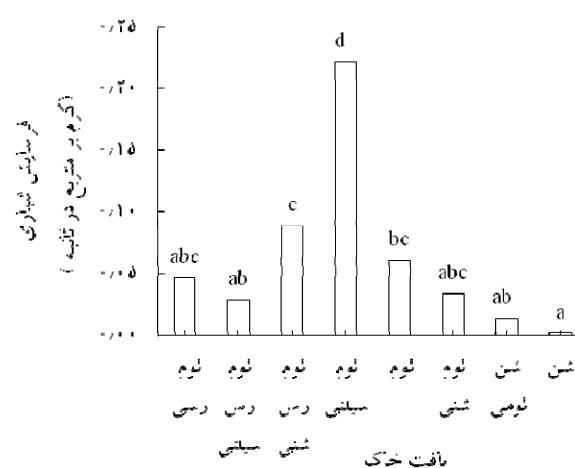
نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار ماده آلی در خاک‌ها از $0/33$ درصد در خاک لوم رس سیلتی تا $1/96$ درصد در خاک لوم سیلتی متغیر بود. خاک‌ها از نظر پایداری در آب بسیار ضعیف بودند به طوری که بیشترین مقدار آن در خاک لوم رسی شنی ($1/07$ میلی‌متر) مشاهده شد. خاک شنی دارای بیشترین مقدار



(ب)



(الف)

شکل ۳. مقایسه خاک‌های مختلف از نظر: الف) فرسایش شیاری و ب) بین شیاری

*حروف متفاوت روی ستون‌ها، اختلاف معنی‌دار بین خاک‌ها را در سطح احتمال ۰/۰۵ نشان می‌دهند.

جدول ۲. مقایسه خاک‌های مورد مطالعه از نظر فرسایش شیاری و بین شیاری

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
فرسایش شیاری	۷	۰/۱۰	۰/۰۱	۳۴/۳۱	۰/۰۰۰
فرسایش بین شیاری	۷	۰/۰۴	۰/۰۰	۱۰۱/۷۴	۰/۰۰۰

به‌همراه ذرات شن خیلی ریز منجر به افزایش مقدار فرسایش‌پذیری می‌شود (۲۱). خاک شنی مقاوم‌ترین خاک به فرسایش بین شیاری بود، به‌طوری‌که فرسایش بین شیاری در آن اتفاق نیفتاد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که خاک‌های درشت‌بافت اغلب دارای نفوذپذیری زیاد هستند و ذرات آنها به‌دلیل سنگین بودن به‌سختی منتقل می‌شوند. این خاک‌ها با وجود ساختمان نامناسب، رواناب و رسوب کمتری تولید می‌کنند (۲۵، ۳۰ و ۳۲). مطابق با جدول ۲ بین هر هشت کلاس بافت خاک، تفاوتی معنی‌دار از نظر فرسایش بین شیاری نیز وجود داشت ($P < 0.001$).

ویژگی‌های خاک مؤثر بر فرسایش شیاری و بین شیاری

برای تعیین ویژگی‌های خاک که بر فرسایش شیاری و بین شیاری اثرگذار بودند، از روش ماتریس همبستگی

مختلف تفاوتی معنی‌دار داشت ($P < 0.01$) و با افزایش درصد شن و سنگریزه، نفوذپذیری خاک افزایش و تولید جریان متمرکز کاهش یافت.

مقادیر فرسایش بین شیاری در خاک‌های مورد بررسی در شکل (۳-ب) نشان داده شده است. بیشترین مقدار فرسایش بین شیاری در خاک لوم سیلتی بود (۰/۱۵ گرم بر متر مربع بر ثانیه). این خاک، حساس‌ترین خاک به فرسایش بین شیاری بود. علت آن را می‌توان به وجود سیلت زیاد (۵۳/۶ درصد) در این خاک نسبت داد. واعظی و عبادی (۲۶) نیز طبق مطالعات خود روی توزیع اندازه ذرات منتقل شده در اثر جریان سطحی در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک، ذره سیلت را به‌عنوان فرسایش‌پذیرترین ذره معرفی کردند. به‌عبارت دیگر، خاک‌هایی که دارای مقدار زیادی سیلت هستند مقاومت کمتری در برابر فرسایش دارند (۲۰) و وجود این ذرات

جدول ۳. ماتریس همبستگی بین فرسایش شیاری و بین شیاری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

R/I	Interrill erosion	Rill erosion	OM	MWD _{wet}	BD	Ks	Clay	Silt	Sand	Variable
									۱	Sand
								۱	-۰/۸۸**	Silt
							۱	۰/۴۹*	-۰/۸۴**	Clay
						۱	-۰/۴۷*	-۰/۵۵**	۰/۵۹**	Ks
					۱	۰/۷۶**	-۰/۲۹	-۰/۴۱*	۰/۴۱**	BD
				۱	-۰/۶۵**	-۰/۶۶**	۰/۰۸	۰/۴۲*	-۰/۲۱	MWD _{wet}
			۱	۰/۴۶*	-۰/۲۱	-۰/۰۸	۰/۳۷	۰/۵۵**	-۰/۱۳	OM
		۱	۰/۸۱**	۰/۵۸**	-۰/۳۷*	-۰/۲۱	-۰/۰۴	۰/۶۶**	-۰/۳۸*	Rill erosion
	۱	۰/۹۱**	۰/۸۲**	۰/۴۷*	-۰/۳۸*	-۰/۲۶	۰/۰۹	۰/۸۲**	-۰/۵۵**	Interrill erosion
۱	۰/۲۱	-۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۴۰*	-۰/۴۰	-۰/۳۸	-۰/۱۳	-۰/۱۳	۰/۱۴	R/I

Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع، BD: چگالی ظاهری، MWD_{wet}: پایداری خاکدانه، OM: ماده آلی

*: معنی‌داری در سطح ۵ درصد، **: معنی‌دار در سطح ۱ درصد؛ R: فرسایش شیاری؛ I: فرسایش بین شیاری

مؤثر هستند (۱۹). مطالعات اسدی و همکاران (۲) و عیسی و همکاران (۱۲) نیز نشان داد که در جریان ضعیف فرسایش بین شیاری اغلب ذراتی که در اندازه سیلت و رس هستند منتقل می‌شوند. مطالعات رومرو و همکاران (۲۱) نیز نشان داد در خاک‌های با مقدار سیلت و شن خیلی ریز زیاد، مقدار فرسایش‌پذیری شیاری بیشتر است. ویشمایر و مانرینگ (۳۱) نیز اظهار داشتند تغییرات کم در مقدار سیلت خاک باعث تغییرات زیاد در میزان فرسایش‌پذیری خاک می‌شود.

مقایسه تفاوت فرسایش شیاری و بین شیاری بین هر یک از

خاک‌ها

با توجه به نتایج بیشترین تفاوت بین فرسایش شیاری و بین شیاری در خاک لوم رس شنی (۳/۲) و کمترین تفاوت در خاک شنی (صفر) بود. مقایسه تفاوت فرسایش شیاری و بین شیاری بین هر یک از خاک‌ها با استفاده از آزمون t جفتی (جدول ۴) نشان داد که خاک‌های لوم رسی، لوم رس سیلتی، لوم شنی و شنی از نظر فرسایش شیاری و بین شیاری تفاوت معنی‌دار

استفاده شد. با توجه به نتایج همبستگی معنی‌دار بین فرسایش شیاری و مقدار شن ($r = -0/38$ و $P < 0/05$)، سیلت ($r = 0/66$ و $P < 0/001$) و چگالی ظاهری ($r = -0/37$ و $P < 0/01$) وجود داشت (جدول ۳). همچنین همبستگی معنی‌داری بین فرسایش بین شیاری و مقدار شن ($r = -0/55$ و $P < 0/01$)، سیلت ($r = 0/82$ و $P < 0/001$) و چگالی ظاهری ($r = -0/38$ و $P < 0/05$) وجود داشت. این نتایج نشان داد که با افزایش درصد شن و چگالی ظاهری فرسایش شیاری و همچنین فرسایش بین شیاری کاهش پیدا می‌کند، درحالی که با افزایش درصد سیلت هر دو نوع فرسایش خاک افزایش یافتند. خاک‌های حاوی ذرات درشت‌دانه (شن)، چگالی ظاهری بیشتری داشتند. این خاک‌ها از یک‌سو نفوذپذیری بیشتری دارند و از سوی دیگر به دلیل داشتن ذرات سنگین زیاد، قابلیت انتقال کمتری دارند. وجود ذرات سیلت در خاک، حساسیت خاک به هر دو نوع فرسایش آبی را افزایش داد. ذرات سیلت به دلیل عدم مشارکت در پایداری خاکدانه و نیز انتقال‌پذیری به نسبت آسان در افزایش فرسایش خاک

جدول ۴. مقایسه تفاوت فرسایش شیاری و بین شیاری در خاک‌های مورد بررسی با استفاده از آزمون t

بافت خاک								میانگین تفاوت
شن	شن لومی	لوم شنی	لوم	لوم سیلتی	لوم رس شنی	لوم رس سیلتی	لوم رسی	
۰/۰۰ ^{ns}	۲/۸۳*	۲/۲۹ ^{ns}	۱/۰۹**	۱/۴۸**	۳/۲۰*	۱/۳۱ ^{ns}	۱/۰۴ ^{ns}	

ns: عدم معنی‌داری، **: در سطح ۱ درصد معنی‌دار، *: در سطح ۵ درصد معنی‌دار

خاکدانه‌ها در یک خاک، مقدار فرسایش شیاری به مراتب بیشتر از مقدار فرسایش بین شیاری افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه تفاوت این دو نوع فرسایش خاک نیز بیشتر می‌شود. علت اصلی افزایش پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد بررسی، وجود ذرات سیلت و ماده آلی است. با افزایش محتوای سیلت و ماده آلی خاک، خاکدانه‌ها پایدارتر می‌شوند. در عین حال وجود ذرات سیلت، خاک‌ها را حساس به فرسایش شیاری و بین شیاری می‌کند. از این‌رو، دلیل افزایش تفاوت فرسایش شیاری و بین شیاری در خاک‌ها را می‌توان به وجود ذرات سیلت بالا ارتباط داد. به عبارت دیگر، اثر سیلت در افزایش فرسایش خاک چشمگیرتر از اثر پایداری خاکدانه بر کاهش فرسایش خاک است و این می‌تواند دلیلی بر افزایش میانگین تفاوت فرسایش شیاری و بین شیاری در خاک‌ها با افزایش پایداری خاکدانه‌ها باشد. ماتریس همبستگی نشان داد که میزان سیلت بیشترین تأثیر را در میزان فرسایش شیاری و بین شیاری داشته است. از این‌رو، با افزایش درصد سیلت خاک، هر دو فرسایش شیاری و بین شیاری افزایش یافت که موجب شد تفاوتی زیاد بین این دو نوع فرسایش مشاهده نشود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد خاک‌های منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی، از نظر ماده آلی و پایداری ساختمان ضعیف هستند. تفاوتی معنی‌دار از نظر فرسایش شیاری و بین شیاری بین کلاس‌های بافت خاک وجود دارد ($P < 0/001$). خاک لوم سیلتی حساس‌ترین و خاک شنی مقاوم‌ترین خاک‌ها در برابر

نداشتند. در واقع این خاک‌ها حساسیتی یکسان به هر دو نوع فرسایش آبی نشان دادند. در صورتی که بین فرسایش شیاری و بین شیاری در خاک‌های لوم رس شنی ($P < 0/05$)، لوم سیلتی ($P < 0/01$)، لوم ($P < 0/01$) و شن لومی ($P < 0/05$) اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. مقدار فرسایش شیاری در خاک لوم رس شنی، لوم سیلتی، لوم و شن لومی به ترتیب ۳/۲، ۱/۴، ۱/۱ و ۲/۸ برابر بیشتر از مقدار فرسایش بین شیاری بود. این نتایج نشان می‌دهد که خاک‌های گفته شده حساسیت بیشتری به فرسایش شیاری نسبت به فرسایش بین شیاری دارند. به هر حال، تمرکز جریان آب درون شیارها و افزایش قدرت جریان، فرسایش شیاری را نسبت به جریان سطحی در فرسایش بین شیاری، افزایش می‌دهد.

بررسی ویژگی‌های خاک‌ها نشان می‌دهد که خاک‌های میان‌بافت (لوم رس شنی، لوم سیلتی و لوم) نسبت به خاک‌های درشت‌بافت خاکدانه‌های پایدارتری دارند اما با این حال، مقدار سیلت بالایی نیز دارند (جدول ۱). ذرات سیلت به دلیل انتقال‌پذیری بالا موجب افزایش حساسیت خاک به فرسایش می‌شوند (۲۶). همچنین خاک‌های لوم و شن لومی هدایت هیدرولیکی اشباع پایینی دارند (به ترتیب ۲/۸۲ و ۳/۲۴ سانتی‌متر بر ساعت). هدایت هیدرولیکی اشباع پایین در خاک نیز منجر به افزایش قابلیت تولید رواناب در خاک می‌شود (۱۷). تفاوت فرسایش شیاری و بین شیاری در خاک‌های مورد بررسی به پایداری خاکدانه‌های آنها وابسته است (جدول ۳). در خاک‌هایی که پایداری خاکدانه‌ها بیشتر است، تفاوت بین این دو نوع فرسایش نیز بیشتر است. در واقع با افزایش پایداری

فرسایش شیاری و بین‌شیاری در خاک‌ها نبود چرا که چنین خاک‌هایی به دلیل محتوای سیلت زیاد، بسیار حساس به فرسایش شیاری و بین‌شیاری هستند. به طور کلی این پژوهش نشان داد که خاک‌های منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی که دارای مقدار سیلت زیاد هستند، حساسیت بیشتری به فرسایش شیاری در مقایسه با فرسایش بین‌شیاری دارند. از این‌رو استفاده از روش‌های خاکورزی حداقل، برای کاهش تخریب فیزیکی و در نتیجه کاهش فرسایش شیاری و بین‌شیاری در این خاک‌ها حائز اهمیت است. پیشنهاد می‌شود چنین مطالعاتی در شرایط مزرعه‌ای با بررسی توأم نقش شیب زمین انجام گیرد تا نتایج آن با آنچه در طبیعت رخ می‌دهد، مطابقت بیشتری داشته باشد.

فرسایش شیاری و بین‌شیاری بودند. بررسی ارتباط فرسایش شیاری و بین‌شیاری با ویژگی‌های خاک نشان داد که فرسایش شیاری و فرسایش بین‌شیاری همبستگی معنی‌دار با شن، سیلت و چگالی ظاهری خاک دارد. مقدار فرسایش شیاری در خاک‌های لوم رس شنی، لوم سیلتی، لوم و شن لومی به ترتیب به اندازه ۳/۲، ۱/۴، ۱/۱ و ۲/۸ برابر بیشتر از مقدار فرسایش بین‌شیاری در آنها بود. در واقع حساسیت خاک‌های گفته شده به فرسایش شیاری بسیار متفاوت از حساسیت آنها به فرسایش بین‌شیاری بود. این خاک‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر فرسایش شیاری و بین‌شیاری با یکدیگر داشتند. با افزایش محتوای ماده آلی و سیلت خاک، پایداری خاکدانه‌ها در خاک افزایش نشان داد با این حال وجود خاکدانه‌های پایدار، عامل بازدارنده

منابع مورد استفاده

1. Ali, I., F. Khan. and A. U. Bhatti. 2006. Some physico-chemical properties of soil as influenced by surface erosion under different cropping systems on upland-sloping soil. *Journal of Soil Environment* 25(1): 28-34.
2. Asadi H., H. Ghadiri, C. W. Rose and H. Rouhipour. 2007. Interrill soil erosion processes and their interaction on low slopes. *Earth Surface Processes and Landforms* 32(5): 711-724.
3. Bagnold, R. A. 1966. An approach to the sediment transport problem. *General Physics Geological Survey*, United State Government Printing Office, Washington.
4. Barthes, B. and E. Roose. 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 K. Hartge. 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. *Journal of Agronomy* 54(5): 464-465.
7. Carter, C. E., J. D. Greer, H. J. Braud and J. M. Floyd. 1974. Raindrop characteristics in south central United States. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 17(6): 1033-1037.
8. Chen, X. Y., Y. Zhao, H. X. Mi and B. Mo. 2016. Estimating rill erosion process from eroded morphology in flume experiments by volume replacement method. *Catena* 136: 135-140.
9. Defersha, M. B. and A. M. Melesse. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena* 90: 47-52.
10. Descroix, L., J. G. Barrios, D. Viramontes, J. Poulenard, E. Anaya, M. Esteves and J. Estrada. 2008. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: Their respective roles and the scale effect. *Catena* 72(3): 325-339.
11. Fallow, D. J., D. E. Elrick, W. D. Reynolds, N. Baumgartner and G. W. Parkin. 1994. Field measurement of hydraulic conductivity in slowly permeable materials using early-time infiltration measurements in unsaturated media. PP. 375-389. In: Daniel, D. E. and S. J. Trautwein (Eds.), *Hydraulic Conductivity and Waste Contaminant Transport in Soil*, ASTM STP 1142. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
12. Issa O. M., Y. L. Bissonnais, O. Planchon, D. Favis-Mortlock, N. Silvera and J. Wainwright. 2006. Soil detachment and transport on field and laboratory scale interrill areas: erosion processes and the size-selectivity of eroded sediment. *Earth Surface Processes and Landforms* 31(8): 929-939.
13. Jackson, J. A. and R. L. Bates. 1997. *J. Glossary of Geology*: American Geological Institute. Alexandria, Virginia.
14. Jin, K., W. M. Cornelis, D. Gabriels, M. Baert, H. J. Wu, W. Schiettecatte and G. Hofman. 2009. Residue cover and rainfall intensity effects on runoff soil organic carbon losses. *Catena* 78(1): 81-86.
15. Kaviani, A., A. Azmodeh, K. Soleimani and Ch. Vahabzadeh. 2010. Effect of soil properties on runoff and soil erosion in forest lands. *Journal of Rangeland and Watershed Management* 63(1): 89-104. (In Farsi).

16. Kemper, W. D. and K. Rosenau. 2006. Size distribution of aggregates. PP. 425-442. *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
17. Moreno-delasheras, M., J. M. Nicolau and M. T. Espigares. 2008. Vegetation succession in reclaimed coal mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Journal of Ecological Engineering* (34): 168-178.
18. Opsomer, J. D., C. Botts and J. Y. Kim. 2003. Small area estimation in a watershed erosion assessment survey. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics* 8(2): 139-152.
19. Parysow, P., G. Wang, G. Gertner and A. B. Anderson. 2003. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. *Catena* 73: 1-14.
20. Ramos, M. C., S. Nacci and I. Pla. 2003. Effect of raindrop impact and its relationship with aggregate stability to different disaggregation forces. *Catena* 53: 365-376.
21. Romero, C. C., L. Stroosnijder and G. A. Baigorria. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena* 70(2): 105-113.
22. Shapiro, S. S. and M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3-4): 591-611.
23. Seifi, M., M. R. Neyshabouri, H. Rouhipour and A. Ahmadi. 2014. Effects of surface seal on interrill erodibility at various slopes and rainfall intensities under laboratory conditions. *Water and Soil Science* 24(1): 55-61. (In Farsi).
24. Vaezi, A. R., H. Bahrami, H. Sadeghi and M. Mahdian. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology* 97(3): 414-423.
25. Vaezi, A. R., M. Abbasi, G. Bussi and S. Keesstra. 2017. Modeling sediment yield in semi-arid pasture micro-catchments, NW Iran. *Land Degradation and Development* 28(4): 1274-1286.
26. Vaezi, A. R. and M. Ebadi. 2017. Particle size distribution of surface-eroded soil in different rainfall intensities and slope gradients. *Journal of Water and Soil* 13(1): 216-229. (In Farsi).
27. Vaezi, A. R. and A. Vatani. 2015. Determining rill erodibility in some soils in Zanjan province under simulated rainfall. *Journal of Water and Soil Science* 19 (71): 59-68. (In Farsi).
28. Walkly, A. and I. A. Black. 1934. An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science Society of America Journal* 37: 38-29.
29. Wildhaber, Y. S., D. Banninger, K. Burri and C. Alewell. 2012. Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. *Catena* 91: 56-62.
30. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Handbook of Department of Agriculture, Washington DC.
31. Wischmeier, W. H. and J. V. Mannering. 1965. Effect of organic matter content of the soil on infiltration. *Journal of Soil and Water Conservation* 4: 150-152.
32. Zhao X., J. Huang, X. Gao, P. Wu and J. Wang. 2014. Runoff features of pasture and crop slopes at different rainfall intensities, antecedent moisture contents and gradients on the Chinese Loess Plateau: A solution of rainfall simulation experiments. *Catena* 119: 90-96.

Determination of Susceptibility to Rill and Interrill Erosion of some Semi-Arid Soils using Rainfall Simulator in Laboratory Conditions

A. R. Vaezi*, Kh. Sahandi and N. Sadeghian¹

(Received: December 25-2017 ; Accepted: May 22-2018)

Abstract

In semi-arid regions, soils are weakly aggregated and subjected to water erosion processes especially rill and interrill erosion. There is no information on the rate of these water erosion types in semi-arid soils located in the hillslopes. Therefore, this study was conducted to determine the soils susceptibility to these erosion types in semi-arid region. A laboratory experiment was done in eight soil textures using in a 0.6 m × 1 m flume a simulated rainfall with 50 mm.h⁻¹ in intensity for 60 min. Rill and interrill erosion rate was measured using soil loss amount per flume area and rainfall duration. Based on the results, both rill and interrill erosion rate were significantly varied among the soils textures (P<0.001). Silt loam was the most susceptible soil to rill erosion (0.22 g m⁻² sec⁻¹) and interrill erosion (0.15 g m⁻² sec⁻¹), whereas sand didn't appear any soil loss by these water erosion types. The comparison of soil loss resulted by rill and interrill erosion among the soil textures showed that rill erosion rate for sandy clay loam, silt loam, loam and sandy loam was 3.2, 1.4, 1.1 and 2.8 times higher than interrill erosion rate, respectively. These differences were statistically significant. Silt content was the major factor controlling soil loss difference in these soils. This study revealed that the study semi-arid soils having higher silt content appears also higher rill erosion rate than interrill erosion rate.

Keywords: Soil texture, Silt content, Rainfall simulator, Organic matter content, Soil loss

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

*: Corresponding author, Email: vaezi.alireza@gmail.com