

تعیین فرسایش‌پذیری شیاری در برخی خاک‌های استان زنجان تحت باران شبیه‌سازی شده

علی‌رضا واعظی^{*} و امین‌وطنی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۱۶)

چکیده

فرسایش شیاری عبارت از فرآیند جدا شدن و انتقال ذرات خاک توسط جریان متمرکز رواناب است. این فرسایش شکل رایج فرسایش آبی در دامنه‌ها می‌باشد. فرسایش‌پذیری شیاری بیان گر میزان جدا شدن ذرات خاک و انتقال آنها توسط نیروی برشی جریان متمرکز است. این آزمایش به منظور تعیین فرسایش‌پذیری شیاری در برخی خاک‌های استان زنجان تحت باران شبیه‌سازی شده انجام گرفت. برای این منظور نمونه‌هایی از هشت خاک با بافت مختلف شامل رسی، لوم رس شنی، لوم رسی، لوم شنی، شن لومی، لومی و شنی از سطح استان جمع‌آوری و به داخل کرت‌های کوچک ($120 \times 100 \text{ سانتی متر}$) مستقر روی زمینی با شبیه‌یکنوخت (10 درصد) انتقال یافت. کرت‌ها تحت پنج رخداد باران باشدت 60 میلی متر در ساعت به مدت یک ساعت قرار گرفتند. براساس نتایج، فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های با بافت مختلف تفاوتی معنی دار داشت ($P < 0.01$). فرسایش‌پذیری شیاری خاک‌ها همبستگی معنی داری با درصد بخش معدنی (شن، رس و سنگریزه) و درصد سدیم تبادلی داشت. با افزایش درصد شن و سنگریزه، نفوذپذیری خاک افزایش یافت و در نتیجه تولید جریان متمرکز کاهش یافت. تجزیه رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای معنی دار با درصد سدیم تبادلی خاک دارد ($P = 0.01$, $R^2 = 0.85$). در خاک رسی بهدلیل وجود درصد سدیم تبادلی بالا (حدود ۱۳) نسبت به سایر خاک‌ها بالاترین میزان فرسایش‌پذیری شیاری بین خاک‌ها مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، جریان متراکم، درصد سدیم تبادلی، نفوذپذیری خاک

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

: مسؤول مکاتبات، پست الکترونیکی: vaezi.alireza@gmail.com

مقدمه

می باشد. هم‌چنین رس و ماده‌آلی همبستگی بالایی با فرسایش‌پذیری شیاری دارند (۳۶). خاک‌هایی با بافت ریز دارای چسبندگی زیاد بوده و جدا شدن آنها در اثر عوامل فرساینده سخت بوده با این حال ذرات جدا شده به راحتی منتقل می‌گردد. در مقابل در خاک‌های درشت‌بافت، اگر چه ذرات سریع‌تر و راحت‌تر جدا می‌شوند، اما ذرات به سختی منتقل می‌شوند. این خاک‌ها به دلیل نفوذ‌پذیری بالا، رواناب کمتری نسبت به خاک‌های ریز‌بافت ایجاد می‌کنند (۲۹). قابلیت نگهداری آب در خاک نیز عامل تعیین کننده در فرسایش شیاری می‌باشد. به طوری که فرسایش شیاری در خاک رسی به دلیل میزان جذب آب بالا، بیشتر از خاک لوم سیلتی می‌باشد (۳۹). نفوذ‌پذیری خاک عاملی مؤثر در فرسایش‌پذیری شیاری است (۳۱). به طوری که با کاهش نفوذ‌پذیری، رواناب بیشتری تولید شده و میزان فرسایش شیاری افزایش می‌یابد.

فرسایش‌پذیری خاک به مفهوم کلی شاخصی است که تأثیر آن بر کل فرسایش آبی در تحقیقات مختلف (۷، ۹ و ۲۴) مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال برای پیش‌بینی دقیق میزان فرسایش آبی دریک دامنه، بررسی فرسایش‌پذیری شیاری حائز اهمیت است. خاک دامنه نقشی مهم در میزان تولید جریان متمرکز داشته و حساسیت آن در میزان جدا شدن و انتقال توسط جریان به ویژگی‌های مختلف خاک وابسته است. بافت خاک از ویژگی‌های مهم و تقریباً ثابت خاک است که در قابلیت تولید جریان متمرکز مؤثر بوده و قابلیت جدا شدن و انتقال ذرات را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از این آزمایش بررسی فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های با بافت مختلف و تعیین ویژگی‌های خاک مؤثر بر آن تحت باران شبیه‌سازی شده بود.

مواد و روش‌ها

خاک‌های مورد بررسی و استقرار کرت‌ها

برای انجام این پژوهش پس از نمونه‌برداری‌های متعدد و بررسی‌های اولیه آزمایشگاهی، نهایتاً هشت خاک با بافت

فرسایش شیاری عبارت از جداسازی ذرات و انتقال آنها توسط جریان متمرکز آب روی دامنه است که به شکل کanal فرسایش‌پذیر باریک و دراز نمایان می‌شود (۵). فرسایش شیاری در کنار فرسایش ورقه‌ای بیشترین نقش را در فرسایش خاک در دامنه‌ها ایفاء می‌کند (۳۳). نیروی برشی آب یکی از عوامل مهم در ایجاد فرسایش شیاری است. با افزایش نیروی برشی آب، قدرت آب در کنند خاک بیشتر شده و به تدریج شیار در سطح خاک به وجود می‌آید. هر چه نیروی برشی آب بیشتر باشد، خاک بیشتری کنده شده و شیارهای عمیق‌تری ایجاد می‌شود (۸). تحقیقات نشان می‌دهد که گسترش فرسایش شیاری به شدت بارندگی، سرعت جریان آب، خصوصیات هیدرولیکی جریان، درجه، طول شیب (۲۶) و خصوصیات خاک (۳۶) وابسته است.

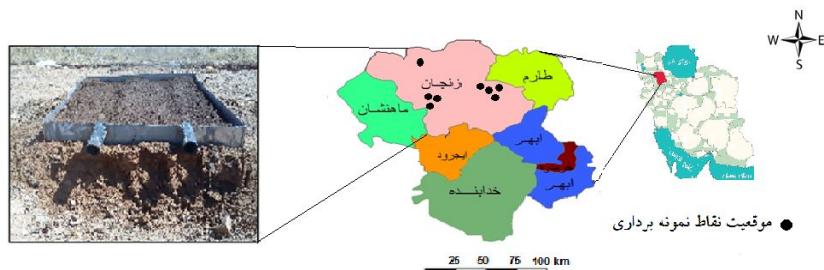
تأثیر خصوصیات خاک بر فرسایش شیاری را می‌توان در مفهومی به نام فرسایش‌پذیری شیاری (Rill Erodibility) بیان کرد. فرسایش‌پذیری شیاری عبارت از قابلیت خاک‌ها در ایجاد شیار است (۱۳). به عبارت دیگر سهولت جدا شدن ذرات خاک در اثر جریان متمرکز آب روی دامنه و ایجاد کanal در مسیر جریان را فرسایش‌پذیری شیاری گویند. هرچه مقاومت خاک در برابر جریان متمرکز بیشتر باشد، فرسایش‌پذیری خاک کمتر شده و ذرات کمتری از خاک کنده می‌شوند و در نتیجه از گسترش شیار جلوگیری می‌شود (۲۲). فرسایش‌پذیری شیاری در مدل‌های مختلف تابعی از تنفس برشی جریان، تنفس برشی آستانه و ظرفیت جدا شدن رسوب است (۱۴).

فرسایش‌پذیری خاک عاملی پیچیده است که تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و اثرات متقابل بین آنها قرار می‌گیرد (۱ و ۳۶). ویژگی‌هایی مانند بافت، ساختمان، مواد آلی و نفوذ‌پذیری در فرسایش‌پذیری خاک مؤثر هستند (۱۸ و ۳۲). توزیع اندازه ذرات (بافت خاک) عاملی مهم در مقاومت خاک در برابر جریان متمرکز آب است. در خاک‌هایی با مقدار سیلت و شن خیلی ریز بالا، مقدار فرسایش‌پذیری شیاری بیشتر

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در هشت خاک مورد بررسی و مقایسه میانگین آنها

نام	٪ تبلیغات	تعداد	میزان متعادل	میزان بینالی	ردیف
رسی	۲۹/۵ ^f	۳۷/۲ ^b	۵۷/۸ ^a	۴/۱ ^d	۰/۹ ^{bc}
لوم رسشی	۲۴/۱ ^g	۵۱/۲ ^a	۲۴/۷ ^d	۱۰/۳ ^c	۰/۲ ^f
لوم سیلتی	۴۷/۱ ^d	۲۳/۹ ^e	۲۹/۰ ^c	۱۶/۱ ^c	۰/۸ ^e
لوم شنی	۶۰/۱ ^c	۲۰/۷ ^f	۱۹/۲ ^e	۱۹/۱ ^b	۰/۹ ^b
شن لومی	۸۰/۲ ^b	۱۳/۶ ^g	۶/۲ ^f	۱۴/۳ ^d	۰/۸ ^d
لومی	۴۵/۴ ^c	۳۰/۶ ^c	۲۲/۰ ^d	۸/۸ ^f	۱/۱ ^a
شنی	۹۵/۸ ^a	۱/۹ ^h	۲/۳ ^g	۲۴/۰ ^a	۰/۹ ^e

* : حروف انگلیسی نتایج مقایسه میانگین متغیرهای مورد بررسی بین بافت‌های خاک را نشان می‌دهند.



شکل ۱. موقعیت نقاط تحت نمونه برداری خاک و نمایی از یک کرت فرسایشی

کرت های با ابعاد بزرگ (ذکر ابعاد) استفاده می شود (۱۶ و ۳۰)، در این تحقیق از آن جا که انتقال پذیری ذرات درون شیار مدنظر بود، کرت های کوچک استفاده گردید و شیارها به صورت دست ساز در طول کرت ایجاد شدند. از سوی دیگر ایجاد دستگاه های باران ساز بزرگ همواره دچار محدودیت هایی است. کرت های بزرگ از نظر انتقال حجم زیادی خاک و بهره گیری از دستگاه های باران ساز بزرگ همواره دچار محدودیت هایی است. موقعیت جغرافیایی نقاط تحت نمونه برداری خاک و نمایی از کرت احداث شده د. شکا (آمدۀ است.

به منظور استقرار کرت ها، پیرامون آنها با استفاده از ورق گالوانیزه به ارتفاع ۲۵ سانتی متر و طول $\frac{4}{3}$ متر بسته شد. سپس هر یک از خاک های به درون کرت ها منتقل شدند. در مراحل

مختلف که دارای خصوصیات متفاوتی بودند (جدول ۱) در سطح استان زنجان در سال ۱۳۹۱ شناسایی شد. سپس حدود ۳۰۰ کیلوگرم از هر خاک جمع آوری و به دامنه‌ای با شیب یکنواخت واقع در محدوده دانشگاه زنجان انتقال یافت. پیش از ریختن خاک‌ها به سطح دامنه، ابتدا سطح زمین با استفاده از تسطیح کن مکانیکی صاف و شیب مناسب و یکنواخت (۱۰ درصد) در سطح آن ایجاد شد. شیب ۱۰ درصد از شیب‌های غالب بهویژه در خاک‌های دیم در منطقه مطالعاتی می‌باشد. سپس هشت کرت با ابعاد $1/2 \times 1$ متر (به صورت طولی در راستای شیب) و با فاصله‌ی ۳ متر از هم در عرض شیب، ایجاد شد. اگرچه برای مطالعه تولید شیار روی دامنه معمولاً از

رسوب هر کرت، مساحت کرت و مدت بارندگی محاسبه شد. تنش برشی بحرانی با استفاده از شیب نمودار بین تنش برشی (τ) و ظرفیت جdasازی رسوب برای آب زلال (D_c) محاسبه گردید. مقدار تنش برشی (τ) نیز از رابطه زیر به دست آمد.

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot S \quad [2]$$

که در آن: γ جرم مخصوص آب (برابر ۹۸۱۰ نیوتن بر مترمربع)، R شعاع هیدرولیکی شیار (متر) و S شیب هیدرولیکی جریان شیار (بدون واحد) است (۱۲). از آنجا که سطح مقطع شیارها سهمی شکل بود، برای محاسبه شعاع هیدرولیکی از رابطه زیر استفاده شد (۱):

$$R = d/1.5 \quad [3]$$

که در آن: d عمق شیار بر حسب متر است. مقدار d برابر با میانگین عمق دو شیار در کرت بود.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، نمونه‌ای از هر خاک به آزمایشگاه منتقل شد. توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری (۱۵)، درصد سنگریزه با عبوردادن نمونه‌ها از الکهای ۲ و ۸ میلی‌متری (۲۱)، ماده آلی به روش والکی بلاک (۴۱)، کربنات کلسیم معادل به روش خشی‌سازی به‌وسیله اسیدکلریدریک یک نرمال (۳۴) و درصد سدیم تبادلی به‌روش استات آمونیوم (۴۰) اندازه‌گیری شد. همچنین ضریب آب‌گذری اشباع خاک (K_s)، به روش بار آبی ثابت در نمونه دست‌نخورده تعیین شد (۱۰). جرم مخصوص ظاهری به‌روش سیلندر فلزی (با ارتفاع ۵ سانتی‌متر و قطر ۴/۸۵ سانتی‌متر) در صحرا (۶) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار به‌روش الکتر در خاکدانه‌هایی بین ۴ تا ۶ میلی‌متر به‌روش مکانیکی با استفاده از الکهای ۴/۷۵، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۵ و ۰/۰۵ میلی‌متر (۴۳) به‌مدت یک دقیقه اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن توزیع آماری

زمانی مختلف اندکی رطوبت (۱۰ درصد) به سطح خاک‌ها افزوده شد تا نشست طبیعی خاک ایجاد شود. سپس تعداد دو شیار به طول ۱ متر و عرض ۶ سانتی‌متر و عمق ۲/۵ سانتی‌متر با فاصله ۵۰ سانتی‌متر به‌موازات طول کرت در هر کرت ایجاد شد. در انتهای هر کرت لوله‌ی انتقال رواناب و رسوب به قطر ۵ سانتی‌متر و مخزن جمع آوری ۲۰ لیتری قرار داده شد.

تعیین فرسایش‌پذیری شیاری

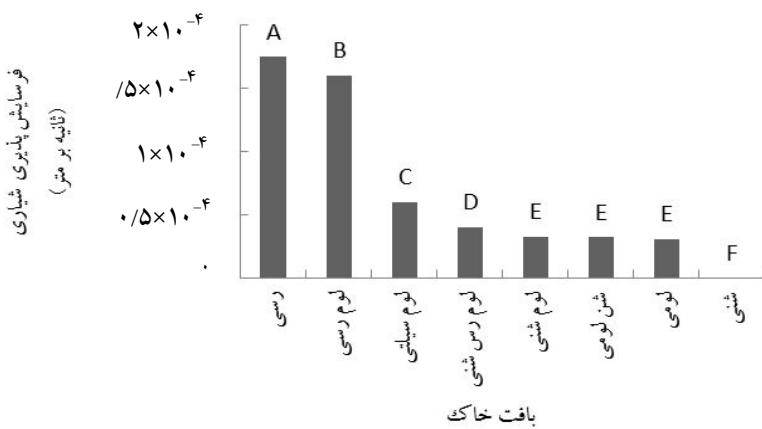
فرسایش‌پذیری شیاری تحت باران‌های شبیه‌سازی شده در کرت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور یک دستگاه شبیه‌ساز باران با ابعاد $1/4 \times 1/4 \times 1/4$ متر به ارتفاع ۲/۲۵ متر استفاده گردید. دستگاه مذکور توانایی تولید باران‌هایی با شدت ۶۰ میلی‌لیتر بر ساعت با متوسط قطر قطره ۲/۵۶ میلی‌متر را داشت. هریک از خاک‌های مورد بررسی تحت پنج رخداد مشابه باران شبیه‌سازی شده با شدت ۶۰ میلی‌لیتر بر ساعت به‌مدت یک ساعت با فاصله زمانی پنج روز قرار گرفتند. در مجموع تعداد ۴۰ آزمایش (۵×۸) انجام گرفت. در فاصله زمانی پنج دقیقه، رواناب و رسوب حاصل از هر شیار در ظروفی معین جمع آوری شد. پس از برداشت یک نمونه همگن از مخلوط هر ظرف، در آزمایشگاه رسوب از رواناب با استفاده از کاغذ صافی (۴۲ Wattman) جدا شد. با محاسبه مقدار رسوب بر حسب گرم در حجم مشخصی از نمونه همگن، مقدار رسوب نمونه و نهایتاً مقدار کل رسوب جمع شده در ظرف پایین هر کرت به‌دست آمد. برای تعیین فرسایش‌پذیری خاک از رابطه Elliot و همکاران (۱۲) استفاده شد:

$$K_r = \frac{D_c}{(\tau - \tau_c)} \quad [1]$$

که در آن: K_r فرسایش‌پذیری شیاری (ثانیه بر منزه m^s)، D_c ظرفیت جdasازی رسوب برای آب زلال (τ_c ، تنش برشی بحرانی (ثانیه هر در مترمربع بر کیلوگرم) و τ تنش برشی جریان (پاسکال) است. مقدار D_c برابر با مقدار رسوب خروجی از هر کرت طی هر رخداد در واحد سطح (مترمربع) و واحد زمان (ثانیه) بود که بر اساس جرم

جدول ۲. تجزیه واریانس شاخص فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های مختلف

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
بافت خاک	۷	$۲/۱ \times ۱۰^{-۸}$	$۱/۱ \times ۱۰^4$	۰/۰۰۱
اشتباه آزمایشی	۳۲	$۱/۸ \times ۱۰^{-۱۲}$		



شکل ۲. مقایسه میانگین فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های مورد بررسی

زیاد بودن درصد سدیم تبادلی این خاک‌ها بود. بیشترین مقدار پایداری خاکدانه در خاک لومی مشاهده شد. این موضوع به دلیل بالا بودن مقدار ماده آلی در این خاک (۱/۱ درصد) و پایین بودن درصد سدیم تبادلی (۶/۸ میلی‌اکی) و الان در صد گرم خاک) بود. ضریب آب‌گذری اشباع در خاک‌ها از ۰/۲ سانتی‌متر در ساعت (در خاک رسی) تا ۸/۱ سانتی‌متر در ساعت (در خاک سنی) متغیر بود.

نتایج تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر فرسایش‌پذیری شیاری (جدول ۲) نشان داد که فرسایش‌پذیری شیاری تفاوتی معنی‌دار در خاک‌های با بافت مختلف داشت ($P < 0.01$). مقایسه میانگین فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های با بافت مختلف (شکل ۲) نشان داد که خاک رسی دارای بیشترین میزان فرسایش‌پذیری شیاری ($۱/۷۵ \times ۱۰^{-4}$ ثانیه بر متر) بود و خاک سنی دارای کمترین میزان فرسایش‌پذیری شیاری (صفراً بود). بالا بودن درصد سدیم تبادلی عاملی مهم در کاهش پایداری خاکدانه‌ها در خاک رسی بود. وجود تخلخل درشت پایین عاملی دیگر برای کاهش نفوذ‌پذیری خاک و در نتیجه افزایش

داده‌ها با استفاده از چولگی و کشیدگی داده‌ها تعیین شد (۲۳). مقایسه میانگین بین خاک‌ها از نظر فرسایش‌پذیری شیاری به روش آزمون دانکن تعیین شد. برای تعیین ویژگی‌های خاک مؤثر بر فرسایش‌پذیری شیاری (K_f) از ماتریس همبستگی استفاده شد. برای این منظور از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ بهره گرفته شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیابی خاک‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیابی خاک‌ها نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین خاک‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیابی وجود دارد. میزان کربنات کلسیم در خاک‌ها به جز در مورد خاک سنی، بیشتر از ۱۰ درصد بوده و این خاک‌ها از نوع آهکی بودند. به دلیل عدم وجود خاکدانه در خاک سنی، پایداری خاکدانه‌ها در آن عملاً صفر بود. خاک رسی و لومی دارای پایداری خاکدانه بسیار پایین بودند که دلیل آن

جدول ۳. ماتریس همبستگی فرسایش‌پذیری شیاری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

K _r	ESP	CaCO ₃	OM	K _s	MWD	BD	Gravel	Clay	Silt	Sand	ویژگی
										۱	Sand
										۱	-۰/۸۷**
											Silt
								۱	۰/۵۶	-۰/۸۹**	Clay
							۱	-۰/۷۹*	۰/۷۱*	۰/۸۷**	Gravel
						۱	۰/۷۸*	-۰/۸۲*	-۰/۸۲*	۰/۷۸*	BD
					۱	-۰/۴۴	-۰/۴۹	۰/۱۵	۰/۱۵	-۰/۳۲	MWD
				۱	-۰/۴۶	۰/۸۵**	۰/۷۰	-۰/۷۴*	-۰/۷۸*	۰/۸۶**	K _s
				۱	-۰/۸۵**	-۰/۷۹ ^x	-۰/۷۴*	-۰/۵۶	۰/۴۱	۰/۵۹	OM
			۱	۰/۶۸	-۰/۸۰*	۰/۱۶	-۰/۷۸*	-۰/۴۸	۰/۶۸	۰/۴۰	CaCO ₃
	۱	۰/۶۱	۰/۲۹	-۰/۶۷	-۰/۰۷	-۰/۷۱*	-۰/۸۰*	۰/۸۳*	۰/۵۹	-۰/۸۱*	ESP
۱	۰/۹۳***	۰/۷۰	۰/۲۳	-۰/۵۸	-۰/۱۲	-۰/۷۰	-۰/۷۴*	۰/۸۵**	۰/۵۰	-۰/۷۸*	K _r

*، ** و *** به ترتیب معنی داری در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱.

غضنفرپور و همکاران (۳) نیز مطابقت دارد.

فرسایش‌پذیری شیاری با درصد رس دارای همبستگی معنی دار مثبت بود ($P < 0.01$, $R = 0.85$). این نتیجه با یافته‌های Zhang و همکاران (۴۴) نیز مطابقت دارد. به طور کلی خاک‌های ریزدانه از جمله خاک رسی به دلیل داشتن تخلخل درشت پایین، نفوذپذیری کم داشته و در نتیجه رواناب بیشتری تولید می‌کند (۲). فرسایش‌پذیری شیاری همبستگی مثبت معنی داری با درصد سدیم تبادلی داشت. تحقیقات نشان می‌دهد که فرسایش‌پذیری خاک به طور معنی داری با افزایش درصد سدیم تبادلی افزایش می‌یابد (۳۸). درصد سدیم بالا، پراکنش‌پذیری ذرات رس و در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها را افزایش می‌دهد (۱۹). در پژوهش حاضر در خاک‌های با درصد بالای ذرات رس، درصد سدیم تبادلی بیشتر بود و در نتیجه فرسایش‌پذیری شیاری بالا بود. تحقیقات نشان می‌دهد که رس زمانی پایداری را افزایش می‌دهد که میزان کاتیون سدیم در خاک کم باشد. با این حال در حضور کاتیون سدیم زیاد، رس تأثیر منفی بر پایداری دارد و باعث افزایش فرسایش‌پذیری می‌شود (۲۰). در برخی تحقیقات ارتباط منفی بین رس و پایداری خاکدانه‌ها

تولید رواناب در خاک رسی بود. تحقیقات نشان می‌دهد که خاک‌های ریزبافت با نفوذپذیری کم، رواناب بیشتری نسبت به خاک‌های درشت‌بافت با نفوذپذیری بالا داشته (۲۷) و فرسایش‌پذیری بالایی دارند. همچنین آزمایش کانی‌شناسی در خاک رسی نشان داد که این خاک دارای رس‌های تورم‌پذیر از جمله اسماکتایت می‌باشد این عامل در کنار عوامل بیان شده در بالا در کاهش نفوذپذیری خاک و در نتیجه افزایش فرسایش‌پذیری شیاری در خاک رسی مؤثر بود.

بررسی همبستگی بین فرسایش‌پذیری شیاری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها (جدول ۳) نشان داد که فرسایش‌پذیری شیاری تحت تأثیر درصد ذرات شن کاهش یافت. بالا بودن نفوذپذیری در خاک شنی موجب شد روانابی طی مدت بارندگی ظاهر نشود. از این رو خاک شنی دارای کمترین مقدار فرسایش‌پذیری شیاری (صفر) بود. همبستگی منفی بین رواناب و درصد ذرات شن در نتایج Adekalu و همکاران (۴) در جنوب غربی نیجریه در سه نوع خاک کشاورزی نیز نشان داده شده است. همبستگی منفی ذرات شن با فرسایش‌پذیری خاک با نتایج Santos و همکاران (۳۷) و

جدول ۴. تجزیه رگرسیون خطی بین فرسایش‌پذیری شیاری و ویژگی‌های خاک ($R^2=0.85$, $P<0.01$)

معنی داری	t	ضریب استاندارد		مدل
		Beta	ضرایب غیراستاندارد خطای استاندارد B	
۰/۰۰۶	-۴/۲		$3/5 \times 10^{-5}$	- $14/6 \times 10^{-5}$
۰/۰۰۱	۶/۳	۰/۹	$3/8 \times 10^{-6}$	$2/4 \times 10^{-5}$

مقدار ثابت درصد سدیم تبادلی

به دیگر ویژگی‌های خاک بارز بود.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که بافت خاک از ویژگی‌های مهم خاک در فرسایش‌پذیری شیاری می‌باشد. در خاک‌های ریزبافت مانند خاک‌های رسی به‌دلیل پراکنش‌پذیری بالای ذرات و نفوذپذیری پایین خاک، تولید رواناب و در نتیجه فرسایش‌پذیری شیاری بیشتر بود. بالا بودن درصد سدیم تبادلی از یکسو و از سوی دیگر وجود رس‌های تورم‌پذیر از جمله اس‌مکتاوت در خاک رسی از عواملی مهم افزایش فرسایش‌پذیری شیاری در خاک رسی بودند. در خاک‌های شنی به‌دلیل نفوذپذیری بالا، تولید رواناب و فرسایش‌پذیری شیاری صفر بود. در خاک لومی به‌دلیل پایین بودن درصد سدیم تبادلی و بالا بودن پایداری خاکدانه، فرسایش‌پذیری شیاری پایین بود. همبستگی منفی معنی داری بین فرسایش‌پذیری شیاری با درصد شن و درصد سنگریزه و همبستگی مثبت معنی داری با درصد رس و درصد سدیم تبادلی مشاهده شد. نتایج تجزیه رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های منطقه با درصد سدیم تبادلی خاک مرتبط است ($R^2=0.85$, $P<0.01$). نقش یون سدیم در پراکنش ساختن ذرات رس و افزایش شدت فرسایش‌پذیری شیاری نسبت به دیگر ویژگی‌های خاک بارزتر بود.

مشاهده شده است (۲۸ و ۴۲). در خاک رسی ذرات به‌دلیل پراکنش‌پذیری بالا در اثر خیس شدن و ضربه قطرات باران به‌آسانی جدا شده و به‌دلیل انتقال‌پذیری آسان انتقال یافتند. از این رو خاک رسی دچار بیشترین میزان فرسایش‌پذیری شیاری شد. اگرچه ذرات سیلت به‌دلیل عدم مشارکت در پایداری خاکدانه و نیز انتقال‌پذیری نسبتاً آسان در افزایش فرسایش خاک مؤثر می‌باشد (۳۵)، لیکن در این پژوهش ذرات سیلت در فرسایش‌پذیری شیاری مؤثر واقع نشدند.

این نتیجه بخلاف بسیاری از تحقیقات پیشین بود که در آن فرسایش‌پذیری خاک با افزایش درصد ذرات سیلت به‌شدت افزایش یافته‌بود (۱۱ و ۳۶). نقش غالب ذرات شن در افزایش نفوذپذیری از یکسو و پراکنش‌پذیری و انتقال‌پذیری آسان ذرات رس از سوی دیگر موجب شد تا تأثیر ذرات سیلت در فرسایش‌پذیری شیاری بارز نگردد. همچنین فرسایش‌پذیری شیاری با درصد سنگریزه دارای همبستگی منفی معنی دار بود. تحقیقات نشان داد که وجود سنگریزه در سطح و داخل خاک به طرق مختلف باعث کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود (۲۵).

نتایج تجزیه رگرسیون خطی بین فرسایش‌پذیری شیاری و ویژگی‌های خاک (جدول ۴) نشان داد که فرسایش‌پذیری شیاری در خاک‌های منطقه رابطه‌ای معنی دار با درصد سدیم تبادلی دارد ($R^2=0.85$, $P<0.01$). در واقع نقش یون‌های سدیم در پراکنش ساختن ذرات رس و افزایش شدت فرسایش‌پذیری (۱۷) نسبت

منابع مورد استفاده

۱. رفاهی، ح. ق. ۱۳۸۸. فرسایش آبی و کترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۴۳۵.
۲. زارع خورمیزی، م. ع. نجفی‌نژاد، ن. نورا و ع. کاویان. ۱۳۹۱. اثرشیب و خصوصیات خاک بر رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌ساز باران، حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۹(۲): ۱۷۸-۱۶۵.
۳. غضنفرپور، ن.، ح. ر. مرادی و س. فیض‌نیا. ۱۳۸۹. رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری بین‌شیاری در بخشی از مراتع سجزی کوهپایه اصفهان با استفاده از باران‌ساز مصنوعی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۱۷(۴): ۲۰۶-۱۹۹.
4. Adekalu, K. O., I. A. Olorunfemi and J. A. Osunbitan. 2007. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technol.* 98: 912-917.
5. Bagnold, R. A. 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. US Geological Survey Paper 422, Washington.
6. Blake, G. R. and K. H. Hartge. 1986. Bulk Density, PP. 363-375. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd Edition. Agronomy Monograph, Vol. 9. American Society of Agronomy, Madison, WI.
7. Brayan, R. B. 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology* 32: 385-415
8. Chanson, H. 1999. The Hydraulics of Open Channel Flow. An Introduction. John Wiley & Sons Inc, New York, USA. 495 p.
9. De Baets, S., J. Poesen., G. Gyssels and A. Knapen. 2006. Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow. *Geomorphology* 76: 54-67.
10. Dena, J. H. and G. C. Topp. 2002. Method of Soil analysis. Part 4: Physical method. Soil Science Society of America Books Series: 5. Madison, WI: Soil Sci. Soc. of Am. J.
11. Duiker, SW., DC. Flanagan. and R. Lal. 2001. Erodibility and Infiltration Characteristics of Five Major Soils of Southwest Spain, *Catena* 45(2): 103-121.
12. Elliot, W. J., A. M. Liebenow., J. M. Laflen and K. D. Kohl. 1989. A compendium of soil credibility data from WEPP crop land soil field credibility experiments 1987 and 1988. NSERL Report No. 3, the Ohio State University and United State Department America - American Rose Society, 316 p.
13. Foster, G. R., L. D. Meyer. and C. A. Onstad. 1977. An erosion equation derived from basic principles. *Transactions of the ASAE*. 20(4): 678-682.
14. Foster, G. R., D. C. Flanagan., M. A. Nearing., L. J. Lane., L. M. Risso and . C. Finkner. 1995. Hillslope erosion component. Chapter 11, In: Flanagan, D.C. and Nearing, M.A., (Eds.), USDA-Water Erosion Prediction Project, Technical Documentation. NSERL. Report No. 10, National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana.
15. Gee, G. H. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. PP. 383-411. In: A. Klute, (Ed.), Methods of soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI.
16. Giménez, R. and G. Govers. 2008. Effects of freshly incorporated straw residue on rill erosion and hydraulics. *Catena* 72: 214-223.
17. Greenland, J. and D. Payne. 1975. Determination of the structural stability class of English and welsh soil using a water coherence test *J. Soil Sci.* 46: 294-303.
18. Iowa Department of Natural Resources (IDNR). 2006. Iowa Construction Site Erosion Control Manual Hand Book, 147 p.
19. Kazman, Z., I. Shainberg and M. Gal. 1983. Effect of low levels of exchangeable Na and applied phosphogypsum on infiltration rate of various soils. *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 135: 184-192.
20. Kemper, WD. and EJ. Koch. 1966. Aggregate stability of soils from western USA and Canada. ASDA, Tech. Bull, 1355.
21. Klute, A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Madison, Wisconsin, United States of America.
22. Knapen, A., J. Poesen. G. Govers. G. Gyssels and J. Nachtergael. 2007. Resistance of soils to concentrated flow erosion. *Earth Sci. Rev.* 80: 75-109.
23. Kravchenko, A. and D. G. Bullock. 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agron. J.* (91): 393-400.
24. Lei, T. W., Q. W. Zhang., L. J. Yan., J. Zhao and Y. H. Pan. 2008. A rational method for estimating erodibility and critical shear stress of an eroding rill. *Geoderma* 244 (4): 628-633.

25. Li, X. Y. 2003. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China. *Catena* 52: 105-127.
26. Li, M., L. Zhan-bin., W. L. Dingd and W. Yaoa. 2006. Using rare earth element tracers and neutron activation analysis to study rill erosion process. *Appl. Rad. Isot.* 64: 402-408.
27. Martinez-Mena, M., J. Albaladejo and V. M. Castillo. 1998. Factors influencing surface runoff generation in a Mediterranean semi-arid environment: Chicamo watershed, SE Spain. *Hydrol. Proc.* 12: 741-754.
28. Mbagwu, J. S. C. and P. Bazzoffi. 1998. Soil characteristics related to resistance of breakdown of dry soil aggregates by water-drops. *Soil and Till. Res.* 45:133-145.
29. Meyer, L. D. and W. C. Horton. 1984. Susceptibility of agriculture soil to interrill erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 32: 1152-1157.
30. Mirzaee, S. M. Gorji and A. Jafari. 2012. Effect of Rock Fragments on Distance of Rill Erosion Initiation and Overland Flow Hydraulics. *Intr. J. of Soil Sci.* 7(3): 100-107.
31. Moreno-de lasHeras, M., J. M. Nicolau and M. T. Espigares. 2008. Vegetation succession in reclaimed coal mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecol. Engr.* (34):168-178.
32. Morgan R. P. C. 1995. Soil Erosion and Conservation. Second Edition. Longman Group Ltd. U.K. 290 p.
33. Opsomer, J. D., C. Botts and J. Y. Kim. 2003. Small area estimation in a watershed erosion assessment survey. *J. Agr. Biol. Envir. St.* 8(2): 139-152.
34. Page, M. C., D. L. Sprrks and M. R. Noll. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic coastal Plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1460-1465.
35. Parysow, P., G. Wang., G. Gertner and A. B. Anderson. 2003. Spatial Uncertainly Analysis for Mapping Soil Erodibility Based on Joint Sequential Simulation, *Catena* 73: 1-14.
36. Romero, C. C., L. Stroosnijder and A. B. Guillermo. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena* 70: 105-113.
37. Santos, F. L., J. L. Reis., O. C. Martins., N. L. Castanheria. and RP. Serralherio. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Bio systems Engineering* 86(3): 355-364.
38. Singer, M. J., P. Janitzky. and J. Blackard. 1982. The influence of exchangeable sodium ercentage on soil erodibility. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 117-121.
39. Sirjacobs, D., I. Shainberg., I. Rapp and G. J. Levy. 2001. Flow Interruption Effects on Intake Rate and Rill Erosion in Two Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 828-834.
40. Sumner, ME. 1993. Sodic soils: New perspectives. *Aust. J. of Soil Res.* 31: 683-750.
41. 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 Sci. Soc. of Am. J.* 37: 29-38.
42. Wustamidin, L. and A. Douglas. 1985. Aggregate breakdown in relation to raindrop energy. *Soil Sci.* 139: 239-242.
43. Yoder, R. E. 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. *J. of Am. Agron.* 28: 337-351.
44. Zhang, K., S. Li., W. Peng and B. Yu. 2004. Erodibility of agricultural soils and loess plateau of China. *Soil and Till. Res.* 76: 157-165.