

هدررفت خاک در شیارها و تغییرات زمانی آن طی بارندگی در خاک‌های با بافت مختلف

امین وطنی^۱ و علی‌رضا واعظی^{۲*}

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۷/۳۰

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

^۲ استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

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

چکیده

فرسایش شیارهای فرآیند جدا شدن و انتقال ذرات خاک توسط جریان متمرکز روان‌آب بر روی دامنه شیب‌دار است. این فرسایش نقشی مهم در هدررفت خاک در دامنه‌ها دارد. ویژگی‌های مختلف خاک با تأثیر بر مقاومت آن در برابر ضربه قطرات باران و تنش برشی روان‌آب، بر گسترش فرسایش شیارهای اثر می‌گذارند. هدف از این آزمایش، بررسی فرسایش شیارهای در خاک‌های با بافت مختلف و تعیین تغییرات زمانی آن طی بارندگی بود. برای این منظور هشت خاک با بافت مختلف (رسی، لوم رسی، لوم رس شنی، لومی، لوم سیلتی، لوم شنی، شن لومی و شنی) در کرت‌هایی به طول ۱/۲ متر و در عرض ۱ متر در دامنه‌ای شیب‌دار تحت باران شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار گرفتند. هر یک از کرت‌ها تحت پنج رخداد باران با شدت ۶۰ میلی‌متر در ساعت و مدت یک ساعت قرار گرفتند. مقدار فرسایش شیارهای بر اساس میزان رسوب جمع شده در مخزن انتهایی کرت‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد که فرسایش شیارهای در شیارها به شدت تحت تأثیر بافت خاک قرار گرفت ($p \leq 0.01$). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فرسایش شیارهای به ترتیب در خاک رسی (۳۲۲ گرم بر متر مربع) و خاک شنی (صفر) مشاهده شد. میزان فرسایش شیارهای در خاک‌ها به سرعت نفوذ آب و انتقال‌پذیری ذرات وابسته بود. شدت فرسایش شیارهای به دلیل تخریب خاکدانه‌ها و تولید روان‌آب طی دوره بارندگی افزایش پیدا کرد. شدت فرسایش شیارهای در ابتدای دوره بارندگی به سرعت بالا رفته و در ادامه به حد تقریباً ثابتی رسید. در خاک لومی به دلیل پایداری نسبی خاکدانه‌ها، میزان تغییرات فرسایش شیارهای طی بارندگی کم‌تر بود.

واژه‌های کلیدی: تنش برشی، روان‌آب، شیار، نفوذ پذیری خاک

Soil loss in Rills and Its Temporal Variation During Rainfall in Different Soil Textures

A Vatani¹ and AR Vaezi*²

Received: 12 May 2013 Accepted: 22 October 2013

¹- MS.c. Student, Soil Sci. Dept., Univ. of Zanjan, Zanjan, Iran

²- Assist. Prof., Soil Sci. Dept., Univ. of Zanjan, Zanjan, Iran

*Corresponding Author Email: vaezi.alireza@gmail.com

Abstract

Rill erosion is the detachment of soil particles by scouring and transport of sediments by a concentrated water flow on the hillslope. It plays an important role in soil loss on the hillslope. Various soil properties affect its resistance to rain drops impact and runoff shear stress, and consequently they influence rill erosion. The study was conducted to determine rill erosion and its temporal variation during rainfall in different soil textures. Simulated rainfall experiments were performed in eight soils (clay, clay loam, sandy clay loam, loamy, silty loam, sandy loam, loamy sand and sandy) at the plots (1 × 1.2 m) installed in a hillslope. The plots were exposed to five simulated rainfalls with an intensity of 60 mm h⁻¹ for 60-min. Rill erosion variation during each rainfall was determined by collecting sediment in a storage tank at the outlet of the plots. Results indicated that rill erosion was strongly affected by the soil texture ($p \leq 0.01$). The highest and the lowest rill erosion were observed in clay (322 g m⁻²) and sandy soil (zero), respectively. Rill erosion rate was associated with water infiltration rate and transportability of particles in the soils. Rill erosion rate increased during the rainfall event due to disruption of soil aggregates and runoff generation. In the soils rill erosion rate rapidly increased at early times and finally reached a relatively constant level. The loamy soil showed lower variation in rill erosion rate than other soils due to greater resistance to soil erosion.

Keywords: Rill, Runoff, Shear stress, Soil infiltration

مقدمه

شیب نمایان می‌شود. به‌طور کلی شیارها کانال‌های کوچکی با حداکثر عمق ۳۰ سانتی‌متر هستند که به عنوان منبع تولید رسوب و هم به عنوان مسیر انتقال ذرات روی دامنه در حال فرسایش عمل می‌کنند (لی و همکاران ۱۹۹۸). گرچه دو فرآیند اصلی فرسایش در دامنه‌ها یعنی فرسایش شیاری و فرسایش بین‌شیاری

فرسایش شیاری^۱ یکی از اشکال مهم فرسایش آبی در اراضی شیب‌دار است. در این فرسایش، ذرات خاک به‌وسیله جریان متمرکز آب کنده شده و منتقل می‌شوند. به‌طوری که پس از مدتی شیارهایی در امتداد

¹ Rill erosion

شیاری^۳ بیشتر می‌باشد (رومرو و همکاران ۲۰۰۷). میزان جذب آب 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 (سیرجاکوبز و همکاران ۲۰۰۱). ساختمان خاک نیز عامل مؤثر دیگر در فرسایش شیاری است. پایداری زیاد خاکدانه سبب کاهش فرسایش پذیری شده و مقاومت خاک را نسبت به فرسایش افزایش می‌دهد (روحی پور و همکاران ۱۳۸۳). تحقیقات نشان داد که نفوذپذیری کم عاملی مؤثر بر فرسایش شیاری است (مورنو-دلاس هراس و همکاران ۲۰۰۸) به طوری که با کاهش نفوذپذیری، روان آب بیش تری تولید شده و فرسایش شیاری افزایش می‌یابد.

با وجود آن که در تحقیقات پیشین عوامل مؤثر بر فرسایش شیاری از جمله بارندگی (لی و همکاران ۲۰۰۳)، شیب (کیمارو و همکاران ۲۰۰۸) و پوشش گیاهی (وو و همکاران ۱۹۹۷) مورد بررسی قرار گرفته است. لیکن تأثیر خصوصیات خاک بر فرسایش شیاری تاکنون به دقت مورد بررسی قرار نگرفته است. اهمیت این موضوع در پیش بینی حساسیت خاک‌های مختلف به فرسایش شیاری بسیار آشکار است. از این رو هدف از این پژوهش بررسی میزان وقوع فرسایش شیاری و تغییرات زمانی آن در خاک‌های با بافت مختلف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

خاک‌های مورد بررسی و استقرار کرت‌ها

این پژوهش در بخشی از خاک‌های استان زنجان طی سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. برای این منظور پس از نمونه برداری‌های متعدد از خاک‌های منطقه و بررسی های اولیه آزمایشگاهی، نهایتاً هشت خاک با بافت مختلف در سطح استان زنجان شناسایی شد. حدود ۳۰۰ کیلوگرم از هر خاک جمع‌آوری و به دامنه‌ای با خاک بکر واقع در محدوده دانشگاه زنجان انتقال یافت. پیش از ریختن خاک‌ها به سطح دامنه، ابتدا پوشش

در خاک توسط جریان آب ایجاد می‌شوند، با این حال مکانیزم این دو فرآیند کاملاً از هم متفاوت است (رایتز و همکاران ۲۰۱۰). در دامنه‌هایی که تحت تأثیر این دو فرسایش می‌باشند، تلفات خاک در اثر فرسایش شیاری به مراتب بیشتر از نواحی بین شیاری می‌باشد (ایوانز و همکاران ۱۹۹۴، کیمارو و همکاران ۲۰۰۸). فرسایش شیاری در کنار فرسایش سطحی بیش‌ترین نقش را در فرسایش خاک در دامنه‌ها ایفاء می‌کند (اپسومر و همکاران ۲۰۰۳). این فرسایش عاملی اصلی و مهم در خارج کردن خاک از زمین‌های زراعی می‌باشد (پارسون و همکاران ۲۰۰۴). آگاهی از عوامل مؤثر در تشکیل شیارها، نخستین گام در پیش‌بینی میزان فرسایش شیاری است.

تشکیل شیارها در کنار شدت بارندگی، شیب، پوشش گیاهی به نوع خاک وابسته است (سردان و همکاران ۲۰۰۲). ویژگی‌های مختلف خاک با تأثیر بر مقاومت آن در برابر ضربه قطرات باران و تنش برشی روان‌آب، بر گسترش فرسایش شیاری اثر می‌گذارند. شناخت این ویژگی‌ها در تعیین خاک‌های حساس به فرسایش شیاری مهم می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در دامنه‌های با شیب بالاتر به دلیل افزایش شدت جریان متمرکز، تشکیل شیارها بیشتر می‌باشد (لی و همکاران ۲۰۰۶، ژانگ و همکاران ۲۰۰۸). افزایش میزان مواد منتقله توسط جریان منجر به کاهش میزان جدا شدن ذرات از بستر شیار می‌شود (مرتن و همکاران ۲۰۰۱). تنش برشی خاک^۱ یک پارامتر مهم در تعیین جدا شدن خاک توسط روان‌آب است. تنش برشی بحرانی^۲ نیز پارامتر مهمی از خاک است که جداسازی به وسیله روان‌آب را کنترل می‌کند (لئونارد و ریچارد ۲۰۰۴). تنش برشی بحرانی بیش‌ترین تأثیر را بر فرسایش شیاری دارد. با افزایش تنش بحرانی خاک، تشکیل شیارها کمتر می‌شود (یان و همکاران ۲۰۰۸). توزیع اندازه ذرات یا بافت خاک عاملی مهم در مقاومت خاک در برابر جریان متمرکز آب است. در خاک‌هایی با مقدار سیلت و شن خیلی ریز زیاد، مقدار فرسایش‌پذیری

¹ Soil shear stress

² Critical shear stress

³ Rill erodibility

جاگذاری شد. سپس خاک‌ها به درون کرت‌ها منتقل شدند. در مراحل زمانی مختلف، حدود ۱۰ درصد رطوبت به سطح خاک‌ها افزوده شد تا نشست طبیعی خاک ایجاد شود. از آنجا که احتمال تشکیل شیار به هنگام بارندگی با توجه به محدود بودن طول کرت‌ها و سطح یکنواخت آن در این آزمایش پایین بود به موازات طول هر کرت دو شیار دست‌ساز (گاتو ۲۰۰۰، محمودآبادی و همکاران ۱۳۸۹) به طول ۱ متر و عرض ۶ سانتی‌متر و عمق ۲/۵ سانتی‌متر با فاصله ۰/۵ متر ایجاد و هدررفت خاک در شیارها اندازه‌گیری شد.



(ب)

گیاهی دامنه حذف شد و سطح آن با استفاده از تسطیح کن مکانیکی صاف و یکنواخت شد.

دامنه در جهت جنوبی و شیب آن ۱۰ درصد بود. شیب) و با سپس هشت کرت با ابعاد $1 \times 1/2$ متر (به صورت طولی در راستای فاصله‌ی ۳ متر از هم در عرض شیب ایجاد شد (شکل ۱- الف). پیرامون کرت‌ها با استفاده از ورق گالوانیزه به ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر بسته شد. در انتهای هر کرت تعداد دو سوراخ به قطر حدود پنج سانتی‌متر برای نصب لوله‌ی انتقال روان‌آب و رسوب قرار داده شد (شکل ۱- ب). در زیر لوله (پایین‌دست کرت) مخزن پلاستیکی روان‌آب و رسوب



(الف)

شکل ۱- شیوه قرارگیری کرت‌های آزمایشی (الف)

نحوه قرارگیری لوله‌های انتقال رواناب و رسوب در هر کرت فرسایشی (ب).

هایی با شدت ۶۰ میلی‌لیتر بر ساعت با متوسط قطر قطره ۲/۵۶ میلی‌متر را داشت. هر یک از خاک‌های مورد بررسی تحت پنج رخداد باران شبیه‌سازی شده با شدت ۶۰ میلی‌لیتر در ساعت به مدت یک ساعت با فاصله زمانی پنج روز قرار گرفتند. این نوع باران (از نظر شدت و مدت) بر اساس تحلیل داده‌های باران ده ساله (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰) ایستگاه قلتوق در منطقه انتخاب شد. در مجموع تعداد ۴۰ آزمایش (۸×۵) انجام گرفت. در فاصله‌های زمانی پنج دقیقه، روان‌آب و رسوب حاصل از هر شیار در ظروفی معین جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد. در آزمایشگاه رسوب از روان‌آب با استفاده از کاغذ صافی (Wattman, 42) جدا شد. با محاسبه مقدار

اندازه‌گیری هدررفت خاک در شیارها

هدررفت خاک در شیارها تحت باران‌های شبیه‌سازی شده در کرت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور یک دستگاه شبیه‌ساز باران با ابعاد $1/4 \times 1/4$ متر به ارتفاع ۲/۲۵ متر استفاده گردید. نازل‌های استفاده شده در این پژوهش از مدل Teejet-11001 بود که به صورت مه‌پاش عمل می‌کرد. برای شبیه‌سازی باران بر اساس باران‌های طبیعی نیاز به ایجاد قطرات درشت بود. برای این منظور در مسیر برخورد قطرات باران بر سطح خاک از دو صفحه توری استفاده شد. قطر قطرات به روش گلوله آردی (کارتر کاد و همکاران ۱۹۷۴) تعیین شد. دستگاه مذکور توانایی تولید باران

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها با استفاده از محاسبه چولگی و کشیدگی داده‌ها تعیین شد (کراچو و بالوک ۱۹۹۹). در صورت نرمال نبودن، داده‌ها با استفاده از روش‌های معمول (لگاریتم‌گیری و...) نرمال شدند. برای بررسی تأثیر بافت خاک بر هدررفت خاک در شیارها از آزمون دانکن استفاده شد. برای این منظور از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ بهره گرفته شد. برای رسم منحنی‌های تغییرات زمانی رسوب نیز از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۰ استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. خاک‌های مورد بررسی به غیر از خاک شنی از نوع آهکی بودند. بیشترین مقدار پایداری خاکدانه ($MWD=1/32$ mm) در خاک لومی مشاهده شد. این موضوع به دلیل بالا بودن مقدار ماده آلی در این خاک (۱/۱۳ درصد) بود. به دلیل عدم وجود خاکدانه در خاک شنی، پایداری خاکدانه‌ها در آن عملاً صفر بود.

رسوب (بر حسب گرم) در حجم مشخص نمونه همگن، مقدار رسوب در نمونه همگن و به دنبال آن در کل رخدادهای بارندگی در هر کرت به دست آمد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، نمونه‌ای از هر خاک به آزمایشگاه منتقل شد. خاک‌ها پس از خشک شدن در برابر هوا از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری (جی و بودر ۱۹۸۶)، ماده آلی به روش والکی بلک (والکی و بلک ۱۹۳۴)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی به وسیله اسید کلریدریک یک نرمال (پیچ و همکاران ۱۹۸۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (باور و همکاران ۱۹۵۲) و درصد سدیم تبدالی به روش استات آمونیوم (سامنر ۱۹۹۳) اندازه‌گیری شد.

همچنین جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر فلزی در صحرا (بلک و هارتج ۱۹۸۶) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار به روش الک تر در خاکدانه‌هایی بین ۴ تا ۶ میلی‌متر به روش مکانیکی با استفاده از الک‌های ۰/۵، ۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲، ۴/۷۵، ۱ میلی‌متر (یودر ۱۹۳۶) به مدت یک دقیقه اندازه‌گیری و بر اساس میانگین وزنی قطر خاکدانه (MWD) بیان شد.

جدول ۱ - ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های مورد بررسی

بافت خاک	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	سنگریزه (%)	ماده آلی (%)	آهک (%)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	MWD (mm)	CEC (meq/100g)	درصد سدیم تبدالی
رسی	۴/۰	۴۰/۰	۵۶/۰	۸/۲	۰/۷۵	۱۹/۱۶	۱/۰۲	۰/۴۱	۲۴/۲۹	۱۲/۹
لوم رسی	۴۴/۵	۲۲/۵	۳۲/۰	۱۰/۲	۰/۹۱	۲۴/۱۶	۱/۲۲	۰/۳۴	۱۸/۷۴	۱۱/۲
لوم رس شنی	۴۶/۵	۳۷/۵	۲۴/۰	۱۶/۱	۰/۸۴	۱۷/۹۱	۱/۳۷	۰/۴۶	۱۵/۳۱	۸/۳
لومی	۵۱/۵	۳۲/۵	۱۶/۰	۸/۸	۱/۱۳	۱۵/۱۸	۱/۲۱	۱/۳۲	۱۰/۹۵	۶/۸
لوم سیلتی	۲۲/۲	۵۲/۰	۲۵/۸	۱۰/۴	۰/۷۹	۱۰/۲۴	۱/۳۵	۰/۶۱	۱۷/۷۷	۹/۶
لوم شنی	۶۹/۰	۱۲/۵	۱۸/۵	۱۹/۲	۰/۹۷	۱۸/۹۸	۱/۱۹	۰/۵۱	۱۲/۶۴	۷/۴
شن لومی	۸۱/۵	۱۰/۰	۸/۵	۱۴/۳	۰/۷۱	۱۰/۸۳	۱/۳۹	۰/۴۷	۷/۸۳	۸/۷
شنی	۹۹/۰	۰/۰	۱/۰	۲۴/۰	۰/۲۰	۵/۴۱	۱/۶۷	۰/۰۰	۳/۸۷	۵/۱

میزان نفوذپذیری و ذخیره آب در خاکها دلیل تفاوت در هدررفت خاک در شیاریها بین آنها بود. بررسیها نشان می‌دهد که خاکهای دارای سرعت نفوذ آب بیشتر، روان‌آب کمتری تولید می‌کنند (سانتوز و همکاران ۲۰۰۳) و در نتیجه فرسایش کمتری دارند.

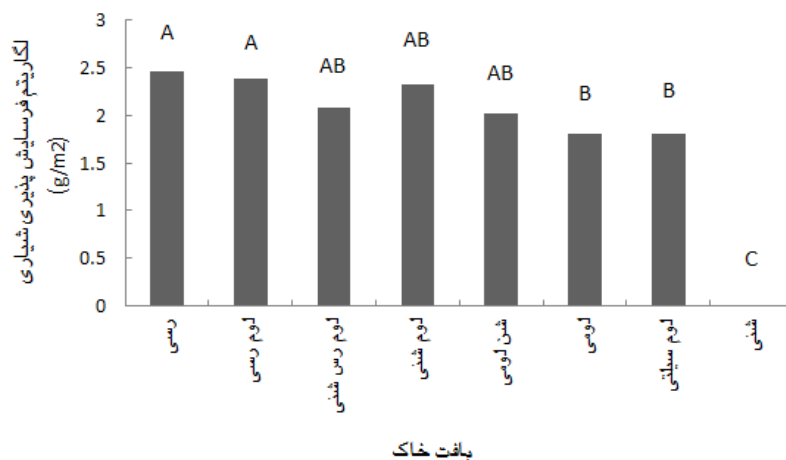
نتایج تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر هدررفت خاک در شیاریها در جدول ۲ آمده است. براساس نتایج، مقدار متوسط تولید رسوب در شیاریها طی پنج رخداد از صفر (در خاک شنی) تا ۳۲۲ گرم بر مترمربع (در خاک رسی) تغییر کرد. هدررفت خاک در شیاریها تفاوت معنی‌داری در خاکهای با بافت مختلف داشت ($p < 0.01$).

جدول شماره ۲- جدول تجزیه واریانس اثر بافت خاک بر فرسایش شیاری در اثر بارندگی.

منبع	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
بافت خاک	۷	۳/۱۲۳	۱۹/۲۳۲	۰/۰۰۱
اشتباه آزمایشی	۳۲	۰/۱۶۳		

گرم خاک)، خاکدانه‌ها به هنگام خیس شدن پراکنده شده و ذرات جدا شده همراه با آب نفوذ یافته باعث مسدود شدن منافذ خاک شد. ذرات پراکنش یافته به آسانی توسط جریان متمرکز منتقل می‌شوند. ابوشرر و همکاران (۱۹۸۷) نشان دادند که درصد سدیم تبدیلی زیاد، نیروی چسبندگی داخل خاکدانه‌ها را تضعیف و فرو پاشی آنها را تشدید می‌نماید.

مقایسه میانگین هدررفت خاک در شیاریها در خاکهای با بافت مختلف (شکل ۲) نشان داد که خاکهای ریز دانه از جمله خاک رسی به دلیل داشتن تخلخل درشت پایین، نفوذپذیری کمتری داشته و در نتیجه روان‌آب بیشتری تولید می‌کند (زارع خورمیزی و همکاران ۱۳۹۱). همچنین در خاک رسی به دلیل بالا بودن درصد سدیم تبدیلی (۱۲/۹ میلی‌اکی والان در ۱۰۰



شکل ۲- مقایسه میانگین هدررفت خاک در شیاریها در خاکهای مورد بررسی.

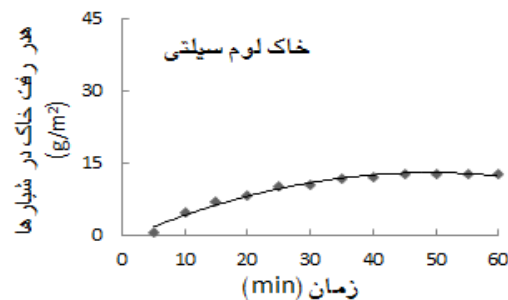
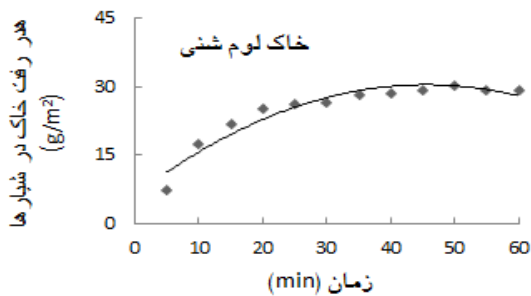
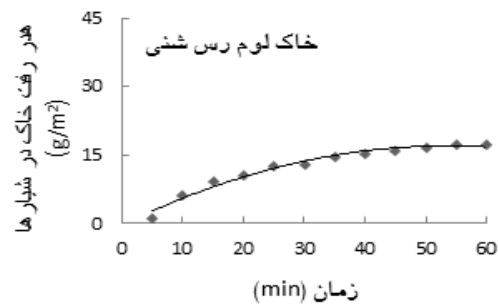
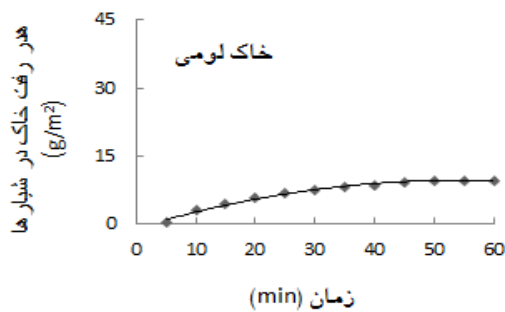
وهایی و مهدیان (۲۰۰۸) نیز مشاهده شده است. مقدار هدررفت خاک در شیاریها در خاک لومی پایین بود. دلیل این امر بالا بودن پایداری خاکدانه در آن بود. پایین بودن درصد سدیم تبدیلی و بالا بودن مقدار ماده آلی از

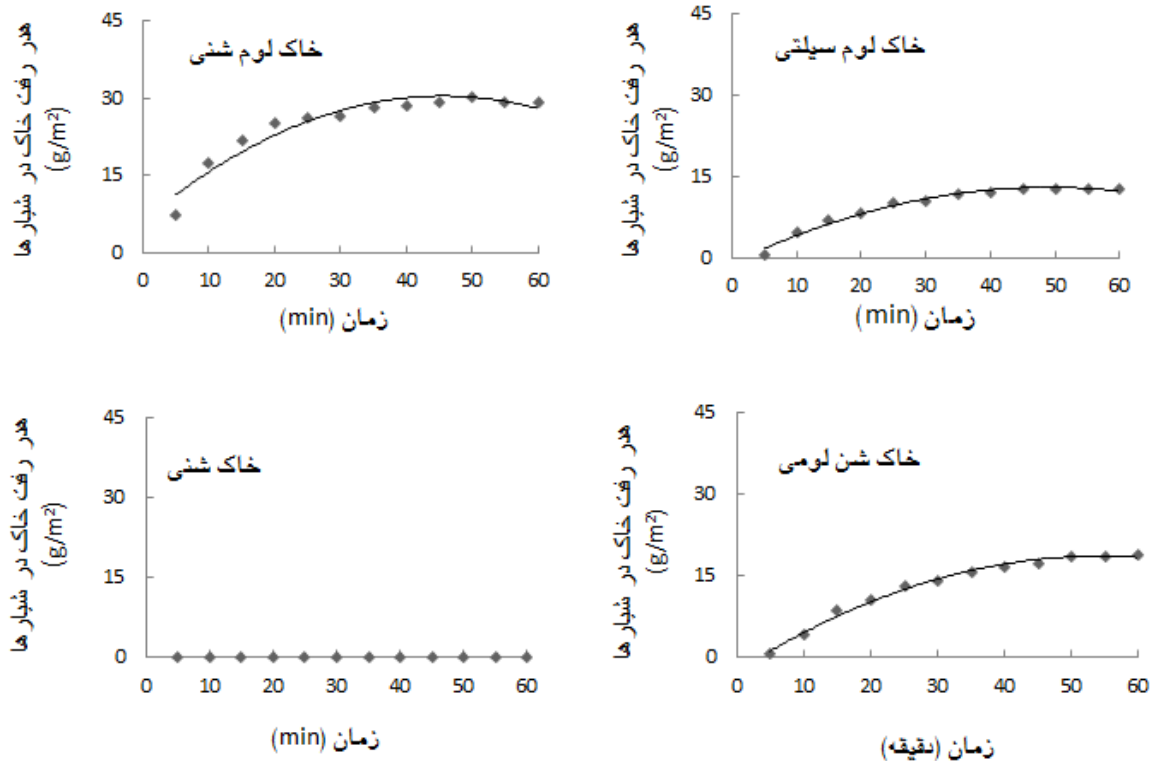
به دلیل بالا بودن میزان نفوذپذیری خاک شنی، روان‌آب وجود نداشت و در نتیجه هدررفت خاک در شیاریها در آن مشاهده نشد. همبستگی منفی ذرات شن با میزان روان‌آب در نتایج ادکالو و همکاران (۲۰۰۷) و

اولیه، افزایش شدت هدررفت خاک در شیارها روندی تدریجی داشت و در لحظات پایانی به حد تقریباً ثابتی رسید. تحقیقات نشان داد که در آغاز بارندگی به دلیل پایین بودن رطوبت خاک، سرعت نفوذ آب به خاک بالا و مقدار روان آب کم می‌باشد. با گذشت زمان و پر شدن خلل و فرج خاک، سرعت نفوذ کاهش یافته و میزان روان آب تولیدی رو به افزایش می‌گذارد و در نهایت به میزان ثابتی می‌رسد (هیلل ۲۰۰۴، لیو و همکاران ۲۰۱۱). طی این دوره بارندگی به دلیل عدم تغییرات قابل توجه در نفوذپذیری خاک و روان آب، شدت انتقال ذرات تقریباً ثابت بود. نتایج همچنین نشان داد که روند تغییرات شدت هدررفت خاک در شیارها در خاک لومی نسبت به سایر خاک‌ها تدریجی بود. پایداری بالای ساختمان در این خاک موجب شد تخریب ساختمان خاک تحت تأثیر ضربه قطرات باران، کم‌تر باشد. این موضوع به نوبه خود در جلوگیری از کاهش شدید نفوذپذیری طی بارندگی مؤثر بود. از این رو میزان انتقال ذرات در شیارها با گذشت زمان با روندی تدریجی افزایش یافت.

دلایل بالا بودن پایداری خاکدانه بود. تحقیقات نشان می‌دهد که وجود ماده آلی در خاک با بهبود پایداری خاکدانه (تروه و همکاران ۱۹۹۹) مانع از فروپاشی آنها شده (عمادی و همکاران ۲۰۰۹) و موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب و نیز نفوذپذیری خاک (سیگریست و همکاران ۱۹۹۸) می‌شود. همبستگی منفی تولید رسوب با ماده آلی در تحقیقات فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۴)، کاسمن و همکاران (۱۹۸۳) و دویکر و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان داده شده است.

بررسی تغییرات زمانی هدررفت خاک در شیارها در خاک‌های مختلف (شکل ۳) نشان داد که میزان هدررفت خاک در شیارها طی بارندگی به شدت تغییر می‌کند. به طور کلی در اوایل بارندگی، هدررفت خاک در شیارها کم بود و با گذشت زمان با انتقال ذرات فرسایش‌پذیر، هدررفت خاک در شیارها افزایش یافت. روند افزایش شدت هدررفت خاک در شیارهای در زمان‌های اولیه بارندگی (حدود ۳۰ دقیقه) در اغلب خاک‌ها زیاد بود. با این حال در ادامه بارندگی به دلیل انتقال بخش عمده ذرات فرسایش‌پذیر در زمان‌های





شکل ۳- تغییرات زمانی هدررفت خاک در شیارها در خاک‌های مختلف طی بارندگی.

نتیجه‌گیری کلی

و در لحظات پایانی به حد تقریباً ثابتی رسید. در زمان های آخر بارندگی با ایجاد تعادل در وضعیت نفوذپذیری خاک و تولید روان‌آب، تغییرات شدت هدررفت خاک در شیارها در خاک‌ها ناچیز بود. بالا بودن پایداری خاکدانه در خاک لومی موجب شد که بر خلاف خاک‌های دیگر، با گذشت زمان از آغاز بارندگی، هدررفت خاک در شیارها به شدت افزایش پیدا نکند. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان پیشنهاد کرد که برای پیش‌بینی هدررفت خاک، آگاهی از نوع فرسایش خاک حائز اهمیت است. با آگاهی از بافت خاک دامنه‌ها می‌توان به قابلیت هدررفت خاک در شیارها پی‌برد. این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی مهار فرسایش شیاری در دامنه‌ها مؤثر باشد.

این پژوهش نشان داد که بافت از ویژگی‌های مهم خاک در گسترش شیارها می‌باشد. در خاک‌های ریز بافت به دلیل نفوذپذیری کم خاک، تولید روان‌آب و در نتیجه هدررفت خاک در شیارها بیشتر بود. در خاک شنی به دلیل نفوذپذیری زیاد، تولید روان‌آب و هدررفت خاک رخ نداد. وجود ماده آلی بالا و پایین بودن درصد سدیم تبدلی از علل مهم افزایش پایداری خاک لومی و کاهش هدررفت خاک در شیارها در آن بود. روند افزایش شدت هدررفت خاک در شیارهای در زمان‌های اولیه بارندگی (حدود ۳۰ دقیقه) در اغلب خاک‌ها زیاد بود. با این حال در ادامه بارندگی به دلیل انتقال بخش عمده ذرات فرسایش‌پذیر در زمان‌های اولیه، افزایش شدت هدررفت خاک در شیارها روندی تدریجی داشت

منابع مورد استفاده

- روحی پور ح، فرزانه ه و اسدی ح، ۱۳۸۳. بررسی رابطه برخی از شاخص‌های پایداری خاکدانه با عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از شبیه‌سازی باران. فصلنامه پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۱، شماره ۳، صفحه-های ۲۳۵ تا ۲۵۴.
- زارع خورمیزی م، نجفی‌نژاد ع، نوران و ک ع، ۱۳۹۱. اثر شیب و خصوصیات خاک بر رواناب و هدررفت خاک با استفاده از شبیه‌سازی باران، حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۲، صفحه‌های ۱۶۵ تا ۱۷۸.
- فیض‌نیا س، خواجه م و غیومیان ج، ۱۳۸۴. بررسی اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و آب و هوایی در تولید رسوب ناشی از فرسایش سطحی خاک‌های لسی. مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۶، صفحه‌های ۱۴ تا ۲۴.
- محمودآبادی م، چرخایی اح و روحی‌پور ح، ۱۳۸۹. ارزیابی مدل فرآیندی WEEP در برآورد فرسایش شیار با استفاده از شبیه‌سازی روان‌آب. ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، ۸ تا ۹ اردیبهشت، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور.
- Abu Sharar TM, Bingham FT and Rhoades JD, 1987. Salinity of soil aggregates as affected by electrolyte concentration and composition. *Soil Science Society of American Journal* 51: 309-314.
- Adekalu KO, Olorunfemi IA and Osunbitan JA, 2007. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technology* 98: 912-917.
- Blake GR and Hartge KH, 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.
- Bower CAR, Reitemeier F and Fireman M, 1952. Exchangeable-cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science* (73): 251-261.
- Carter Cade E, Greer JD, Braud HJ and Floy JM, 1974. Raindrop characteristics in southcentral United States. *Trans ASAE* 17: 1033-1037.
- Cerdan O, Lebissonais Y, Couturier A, Bourennane H and Souchere V, 2002. Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events in Normandy, France. *Soil and Tillage Research* 67 (1): 99-108.
- Duiker SW, Flanagan DC and Lal R, 2001. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of Southwest Spain. *Catena* 45(2): 103-121.
- Emadi M, Baghernejad M and Memarian HM, 2009. Effect of land-use change on soil fertility characteristics within water-stable aggregates of two cultivated soils in northern Iran. *Land Use Policy* 26: 452-457.
- Evans KG, Loch RJ, Silburn DM, Aspinall TO and Bell LC, 1994. Evaluation of the CREAMS model. IV Derivation of interrill erodibility parameters from laboratory rainfall simulation data and prediction of soil loss under a field rainulator using the derived parameters. *Australian Journal of Soil Research* 32: 867-878.
- Gatto LW, 2000. Soil freeze-thaw-induced changes to a simulated rill: potential impacts on soil erosion. *Geomorphology* 32: 147-160.
- Gee GH and Bauder JW, 1986. Particle size analysis Pp. 383-411. In: Klute A, (ed). *Methods of Soil Analysis. Physical Properties Volume 9*. SSSA, Madison, WI.
- Hillel D, 2004. *Introduction to Environmental Soil Physics*. Elsevier Academic Press.
- Kasman Z, Shainberg I and Gal M, 1983. Effect of low levels of exchangeable Na and applied phosphogypsum on infiltration rate of various soils. *Soil Science Society of American Journal* 135:184-192.
- Kimaro DN, Poesen J, Msanya BM and Deckers JA, 2008. Magnitude of soil erosion on the northern slope of the Uluguru Mountains, Tanzania: Interrill and rill erosion. *Catena* 75: 38-44.
- Kravchenko A and Bullock DG, 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy Journal* (91): 393-400.
- Lei TW, Nearing MA, Haghighi K and Bralts VF, 1998. Rill erosion and morphological evolution: A simulation model. *Water Resource Research* 34: 3157-3168.
- Leonard J and Richard G, 2004. Estimation of runoff critical shear stress for soil erosion from soil shear strength. *Catena* (57): 233-249.
- Li JC, Liu QQ and Zhou JF, 2003. Environmental mechanics in China. *Advances in Applied Mechanics* (39): 217-306.
- Li M, Zhan-bin L, Dingd WL and Yaoa W, 2006. Using rare earth element tracers and neutron activation analysis to study rill erosion process. *Applied Radiation and Isotopes* 64: 402-408.
- Liu H, Lie TW, Zhao J, Yuan CP, Fan YT and Qu LQ, 2011. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the runoff-on-out method. *Journal of Hydrology* 396: 24-32.

- Merten G, Nearing MA and Borges ALO, 2001. Effect of sediment lead on soil detachment and deposition in rills. *Soil Science Society American Journal* 65: 861-868.
- Moreno-de las Heras M, Nicolau JM and Espigares MT, 2008. Vegetation succession in reclaimed coal mining slopes in a Mediterranean-dry environment. *Ecological Engineering* 34:168-178.
- Opsomer JD, Botts C and Kim JY, 2003. Small area estimation in a watershed erosion assessment survey. *Journal Of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics* 8(2): 139-152.
- Page MC, Sprks DL, Noll MR, 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy middle Atlantic coastal. Plain soils. *Soil Science Socince of America Journal* 51: 1460-1465.
- Parsons AJ, Wainwright J, Powell DM, Kaduk J and Brazier RE, 2004. A conceptual model for understanding and predicting erosion by water. *Earth Surface Process. Landforms* 29: 1293-1302.
- Romero CC, Stroosnijder L and Guillermo AB, 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean Highlands. *Catena* 70: 105-113.
- Santos FL, Reis JL, Martins OC, Castanheria NL and Serralherio RP, 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering* 86(3): 355-364.
- Siegrist S, Schaub D, Pfiffner L and Mader P, 1998. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long- term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69: 253-264.
- Sirjacobs D, Shainberg I, Rapp I and Levy GJ, 2001. Flow interruption effects on intake rate and rill erosion in two soils. *Soil Science Society of America Journal* 65: 828-834.
- Sumner ME, 1993. Sodic soils: New perspectives. *Australian Journal Of Soil Research* 31: 683-750.
- Troeh FR, Hobbs JA and Donhue RL, 1999. *Soil and Water Conservation-Productivity and Environmental Protection*. Prentice Hall, New Jersey. 610 p.
- Vahabi J and Mahdian MH, 2008. Rainfall simulation for the study of the effects of efficient factors on runoff rate. *Current Science* (95): 1439-1445.
- Walkly A and Black IA, 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: 29-38.
- Wirtz S, Seeger M and Ries JB, 2010. The rill experiment as a method to approach a quantification of rill erosion process activity. *Zeitschriftfür Geomorphologies* 54(1): 47-56.
- Woo M, Fang, G and diCenzo, PD, 1997. The role of vegetation in retardation of erosion. *Catena*, (29): 145-159.
- Yan LJ, Yu XX, Lei TW, Zhang QW and Qu LQ, 2008. Effects of transport capacity and erodibility on rill erosion processes: A model study using the Finite Element method. *Geoderma* 146: 114-120.
- Yoder RE, 1936. A direct method of aggregate analysis and a study of a physical nature of erosion losses. *Journal of American Agronomy* 28: 337-351.
- Zhang Q, Lei T and Zhao J, 2008. Estimation of the detachment rate in eroding rills in flume experiments using an REE tracing method. *Geoderma* 147: 8-15.