

بررسی تأثیر طول نوارهای کشت بر فرسایش شیاری و دانه‌بندی ذرات فرسایشی در کشت‌زار دیم در زنجان

علی‌رضا واعظی^{۱*}، لیلا ورقائی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۷)

(تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹)

چکیده

شدت وقوع فرسایش شیاری و دانه‌بندی ذرات منتقله از نوارهای کشت تحت تأثیر طول آنها ممکن است قرار گیرد. این پژوهش به منظور بررسی تأثیر طول نوارها بر شدت فرسایش شیاری و نوع ذرات منتقله انجام گرفت. آزمایش‌های صحرائی در کشت‌زاری دیم با شیب ۱۰ درصد با شش طول شیار (۲، ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ متر) در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. اندازه‌گیری‌ها در شیارهایی به عرض ۲۰ سانتی‌متر، عمق ۵ سانتی‌متر با استفاده از جریانی پیوسته با شدت ۳ لیتر بر دقیقه در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه به مدت ۶۰ دقیقه انجام گرفت و زمان آغاز فرسایش شیاری و نیز شدت فرسایش و دانه‌بندی ذرات طی زمان در هریک از شیارها تعیین شد. بر اساس نتایج، زمان آغاز فرسایش شیاری با افزایش طول نوار از الگوی افزایشی پیروی کرد. فرسایش شیاری در اغلب شیارها تا زمان ۴۵ دقیقه افزایش یافت. فرسایش شیاری در شیارهای ۲۲ متری رخ نداده است که مربوط به نفوذ آب در طول شیار و از دست دادن قدرت جریان است. فرسایش شیاری در شیارهای با طول ۲، ۶، ۱۰، ۱۴ و ۱۸ به ترتیب ۰/۰۲۱۳۶، ۰/۰۳۲۳۲، ۰/۰۲۲۵، ۰/۰۱۵۰ و ۰/۰۲۳۵ میلی‌گرم بر مترمربع در ثانیه بود. رابطه خطی کاهشی بین شدت فرسایش شیاری و طول شیار وجود داشت ($R^2=0/54$). توزیع اندازه دانه رسوب به طور معنی داری تحت تأثیر طول شیار قرار گرفت. با افزایش طول شیار، انتخاب‌پذیری سیلت افزایش یافت، در حالی که انتخاب‌پذیری ماسه در شیارهای بلند محدود شد. انتخاب‌پذیری خاک رس تحت تأثیر طول شیار قرار نگرفت. استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی در اراضی دیم می‌تواند باعث افزایش نفوذ آب و مهار فرسایش در شیارها شود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی، درجه شیب، ذرات رسوب، شدت جریان، هدررفت خاک

واعظی ع.ر.، لیلا ورقائی ل. ۱۴۰۲. بررسی تأثیر طول نوارهای کشت بر فرسایش شیاری و دانه‌بندی ذرات فرسایشی در کشت‌زار دیم در زنجان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۲. صفحه: ۵۹-۷۰.

۱- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*پست الکترونیک: vaezi.alireza@znu.ac.ir

مقدمه

فرسایش شیلی از اشکال غالب فرسایش آبی در دامنه‌های تحت کشت می‌باشد، زیرا علاوه بر داشتن ویژگی‌های فرسایش، ظرفیت انتقال ذرات از محیط خیس شده شیار و نیز انتقال مواد فراهم شده توسط فرسایش بین‌شیاری و پاشمانی را دارد (He et al., 2014). هدررفت خاک به وسیله فرسایش شیلی، علاوه بر کاهش حاصل‌خیزی خاک، موجب رسوب‌گذاری در مخازن سدها و کاهش کیفیت آب‌ها می‌گردد. در زمین‌هایی که فرسایش شیلی توسعه یافته باشد، شدت فرسایش در واحد سطح زمین سه برابر شده است. برآوردها از مقطع عرضی شیار در اتیوپی نشان داد که هدررفت خاک از زمین‌های کشاورزی از طریق شیارها برابر با ۱۳ تا ۶۰ تن در هکتار با تراکم شیار ۳۲۸ تا ۸۶۴ متر در هکتار بود (Bewket & Stark, 2003). فرسایش شیلی به دلیل مقادیر زیادی از ذرات خاک فرسایش یافته و منتقل شده و ایجاد ویژگی‌های مورفولوژیکی کم و بیش پایدار می‌تواند به آب‌کند تبدیل شود و مانع استفاده بیشتر از زمین شود. از این رو این نوع فرسایش آبی یکی از مهمترین فرایندهای اثرگذار بر هدررفت خاک در دامنه‌ها به شمار می‌رود (Borrelli et al., 2017). ظهور و گسترش شیار و شدت فرسایش شیلی به عوامل بسیاری از جمله بارش، رواناب، خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و سیستم‌های خاک‌ورزی بستگی دارد (Brunner., 1995). شیب زمین یکی از خصوصیات است که همبستگی بالایی با فرسایش خاک دارد. طول شیب و تندگی شیب، حجم و سرعت رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Vaezi & Haghani, 2020). از میان ویژگی‌های مختلف شیب، نقش طول شیب در فرسایش شیلی به نوبه خود حائز اهمیت است. در بسیاری از پژوهش‌ها به نقش طول شیب در افزایش تولید رواناب و فرسایش خاک پرداخته شده است. با افزایش طول شیب، حجم تولید رواناب و رسوب در ابتدا افزایش می‌یابد و سپس با افزایش فاصله به دلیل نفوذ و رسوب‌گذاری مجدد کاهش می‌یابد (Vaezi et al., 2017). تأثیر طول کرت بر تولید رواناب به میزان بسیار زیادی بستگی به شرایط سطحی و تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک دارد. در پژوهشی نتیجه گرفتند که مقدار رواناب در واحد سطح در کرت‌های با مساحت ۱ مترمربع در مقایسه با کرت‌های ۲۰ مترمربع کم‌تر ولی در مقایسه با کرت‌های

۵۰۰ مترمربع بیشتر است (Le Bissonais et al., 1998). مطالعه‌ای نشان داد که با افزایش اندازه کرت از ۰/۲۵ به ۵۰ مترمربع، ضریب رواناب کاهش می‌یابد (Joel et al., 2002). در مطالعه‌ای نشان داده شد که تولید رواناب در کرت‌های با طول ۱ متر در مقایسه با کرت‌های ۱۰ متر در حدود ۳۱ درصد بیشتر است (Thomaz & Vestena, 2012). نتایج پژوهشی نشان داد که در کرت‌هایی با طول ۱۰ متر و کوچکتر تفاوت‌ها بین کرت‌ها از نظر رواناب زیاد است (Asadzadeh et al., 2012). تأثیر طول شیب بر میزان فرسایش به سایر ویژگی‌های دامنه مانند نوع خاک بستگی دارد. شدت فرسایش خاک با افزایش طول شیب، در خاک‌های با نفوذپذیری زیاد کمتر از خاک‌های دیگر است. علاوه بر مقدار فرسایش شیلی، نوع ذرات منتقله در اثر فرسایش در اراضی شیبدار تحت تأثیر طول شیب و ویژگی‌های خاک قرار می‌گیرد. ویژگی‌های خاک همچنین بر انتقال مواد خاک تحت تأثیر ضربه قطرات باران و نیروی رواناب اثر می‌گذارد. اندازه ذرات منتقله در فرسایش به عوامل گوناگون از جمله ماهیت نیروی فرساینده خاک (باران و رواناب)، ماهیت ذرات منتقله (جرم و شکل ذرات) و ویژگی‌های سطح (زبری و موانع) بستگی دارد (Vaezi, 2020). فرایندهای فرسایشی نقش عمده‌ای در انتخاب ذرات دارند و باید برای پیش‌بینی دقیق‌تر انتخاب اندازه رسوب در نظر گرفته شوند (Hao et al., 2019). نتایج پژوهشی نشان داد که سهم ذرات شن، سیلت و رس منتقله از فرسایش در فرسایش‌های مختلف مانند فرسایش سطحی متفاوت است. با افزایش شدت باران انتقال‌پذیری ذرات سیلت افزایش و انتقال‌پذیری ذرات شن کاهش یافت. انتقال ذرات رس تحت تأثیر شیب سطح قرار نگرفت. با وجود آن که انتقال ذرات شن (به جز شن بسیار درشت) با افزایش شیب به شدت کاهش یافت، انتقال‌پذیری ذرات سیلت و رس تحت تأثیر شیب سطح قرار نگرفت (Vaezi & Ebadi., 2017). همچنان که مقدار رواناب و فرسایش خاک طی زمان تغییر پیدا می‌کند (Quan et al., 2020)، دانه‌بندی ذرات منتقله نیز دچار تغییرات زمانی می‌شود؛ بدین معنی که با گذشت زمان نوع ذرات منتقله توسط جریان تحت تأثیر شدت جریان و فراهمی ذرات قرار می‌گیرد. مطالعه‌ای در چین نشان داد که در طول آزمایش اندازه ذرات رسوب به تدریج افزایش یافتند، سپس به حالت پایداری رسیدند و اغلب

شرقی قرار داشت. آزمایش در زمینی با شیب ۱۰ درصد و رو به جنوب صورت گرفت. یک قطعه زمین با عرض ۱۰ و طول ۲۵ متر انتخاب شد. عملیات خاکورزی با استفاده از خطی کار ۹ ردیفی در جهت شیب زمین صورت گرفت. با استناد به داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی کشاورزی دانشگاه زنجان، متوسط بارندگی منطقه ۲۷۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۱ درجه سانتی‌گراد است و بر اساسی روش دومارتن، اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد است. خاک کشتزار دارای بافت درشت با ماده آلی کم است (جدول ۱). گندم مهمترین محصول زراعی تحت کشت در اراضی دیم منطقه است. فاصله ردیف کشت در دستگاه خطی کار گندم ۲۰ سانتی متر و عمق شیارها ۵ سانتی متر و فاصله‌ی آنها از یکدیگر ۲۰ سانتی متر بود و شکل سطح مقطع نوار کشت سهمی بود (شکل ۱ الف). نوارهای کشت که به موازات شیب ایجاد می‌شوند شبیه شیارهای مصنوعی هستند که نقش مهمی در هدرفت آب و خاک دارند.

ایجاد نوارهای کشت با طول متفاوت

برای بررسی تأثیر طول نوار کشت بر فرسایش شیار، آزمایش در شش طول متفاوت شیار شامل ۲، ۶، ۱۰، ۱۴، ۱۸ و ۲۲ متر در سه تکرار با مجموع ۱۸ واحد آزمایشی انجام گرفت. نوارهای با طول متفاوت در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی بر روی سطح زمین جدا شدند. نوارهایی خالی برای رفع اثر حاشیه نوار بین نوارهای اصلی تحت آزمایش در نظر گرفته شدند و به این ترتیب یک نوار خالی در میان دو نوار متوالی تحت آزمایش در نظر گرفته شد. پیش از آغاز آزمایش، نوارها از طریق آبیاری، غرقاب شدند و پس از یک شبانه روز که رطوبت خاک به حد رطوبت ظرفیت مزرعه رسید، شرایط برای وقوع جریان و فرسایش شیار مهیا شد. برای این منظور گونی نخی بر روی سطح شیارها پهن شد و آبیاری ثقیلی تا افزایش رطوبت خاک سطحی به حد ظرفیت مزرعه انجام گرفت (شکل ۱ ب و ج).

حالت نوسانات کوتاه مدت را با ادامه بارندگی نشان دادند. افزایش معنی‌دار در اندازه رسوب با افزایش شدت جریان ($P < 0.05$) و شدت بارندگی ($P < 0.05$) وجود داشت (Jiang et al., 2018).

کشتزارهای دیم یکی از منابع مهم خاک در تولید و تأمین محصولات غذایی در سطح کره زمین و به‌ویژه در ایران هستند. بخش عمده‌ای از سطح کشتزارها در کشور به صورت دیم تحت کشت می‌روند. بسیاری از این کشتزارها در اراضی شیب‌دار قرار دارند و گندم، نخود و عدس از محصولات رایج تحت کشت در آنها هستند (Vaezi et al., 2017). با توجه به شیب زیاد، محدودیت عرض زمین و صرفه‌جویی در زمان و هزینه، عملیات شخم و کشت به موازات شیب انجام می‌شود. تحت این شرایط، نوارهای کشت در راستای شیب به وجود می‌آیند که به هنگام بارندگی مکان‌های اصلی تمرکز جریان و هدرفت آب و خاک هستند (Vaezi & Bagheri, 2018). فرسایش شیار در این نوارهای کشت، در هدرفت آب و خاک و افت باروری خاک‌ها مؤثر است. تغییر جهت شخم و استفاده از کشت روی خطوط تراز راه‌کاری اساس برای مهار این فرسایش در اراضی شیب‌دار است. با این وجود گاهی اجرای روش کشت روی خطوط تراز با محدودیت-هایی روبرو است. در این راستا تعیین تأثیر طول نوارهای کشت بر هدرفت خاک از شیارها و نیز نوع ذرات منتقله از آنها حائز اهمیت است. از این رو این پژوهش در شیارهایی با طول متفاوت در کشتزار دیم تحت شخم موازی شیب به منظور تعیین طول نوار مناسب کشت از نظر فرسایش شیار انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

این پژوهش در کشتزار دیم تحت آیش در محدوده دانشگاه زنجان انجام گرفت. منطقه مورد بررسی واقع در عرض جغرافیایی "۳۶° ۴۱' ۱۵" و "۳۶° ۴۱' ۱۶" شمالی و طول جغرافیایی "۴۸° ۲۳' ۱۶" و "۴۸° ۲۳' ۱۶"



(الف) (a)



(ج) (c)



(ب) (b)

شکل ۱- نمایی از کشتزار دیم: الف) شخم موازی شیب، ب) چگونگی مرطوب کردن خاک شیارها تا حد رطوبت ظرفیت مزرعه و ج) جمع-آوری رسوب و رواناب

Figure 1. A view of the rainfed land: a) Tillage along slope, b) Wetting method from the furrows soil to obtain field capacity limit and c) Collecting equipment of runoff and sediment

مطالعه فرسایش شیاری تحت شرایط بارندگی به دلیل وقوع همزمان فرآیندهای فرسایش بین شیاری و شیاری کاری سخت است. از این رو اغلب پژوهشگران با ایجاد جریان‌های با دبی معین در اراضی شیبدار برای بررسی دقیق فرسایش شیاری استفاده می‌کنند (Zhou *et al.*, 2019).

برای تولید جریان در نوارها (شیارها)، از یک مخزن آب با حجم ۳۰۰۰ لیتر به همراه دستگاه تنظیم کننده فشار جریان در بالادست کشتزار محل آزمایش قرار داده شد. در خروجی مخزن آب، یک دستگاه تنظیم کننده جریان (با شدت ثابت ۳ لیتر بر دقیقه) قرار داده شد. مدت آزمایش ۶۰ دقیقه بود و در فاصله زمانی پنج دقیقه، نمونه‌های رواناب و رسوب حاصل از هر شیار در ظروف پلاستیکی

تعیین فرسایش شیاری

برای بررسی فرسایش شیاری از جریانی با شدت ثابت سه لیتر بر دقیقه استفاده شد. خاک دامنه از بافت نسبتاً درشت برخوردار بود و نتایج پیش آزمایش در دامنه نشان داد که در جریان‌های با شدت کم، میزان وقوع فرسایش شیاری بسیار اندک بود. آزمایش‌های نخستین نشان داد که استفاده از جریان با شدت سه لیتر بر دقیقه، امکان مقایسه تأثیر نوارهای با طول متفاوت را از نظر فرسایش شیاری و دانه‌بندی رسوب فراهم می‌آورد. احتمال وقوع چنین جریان‌هایی تنها در باران‌های شدید وجود دارد (بیشتر از ۵۰ میلی‌متر بر ساعت) و اگر چه فراوانی وقوع اندکی طی سال دارند اما این باران‌ها می‌توانند سهم عمده فرسایش شیاری را در طی سال به خود اختصاص دهند.

درجه شوری خاک بر مبنای رسانایی الکتریکی عصاره گل اشباع به وسیله دستگاه ECسنج دانکه و ویتنی (Dahnke & Whitney, 1988) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری، قبل از تجزیه و تحلیل از نظر چگونگی توزیع آماری و تشخیص نرمال بودن آنها به روش آزمون شاپیرو-ویلک مورد بررسی قرار گرفتند. برای مقایسه بین نوارهای کشت از نظر زمان آغاز فرسایش شیری، شدت فرسایش شیری و دانه‌بندی ذرات از روش تجزیه واریانس با آزمون توکی استفاده شد. روابط بین فرسایش شیری و طول نوار نیز با استفاده از توابع ریاضی بررسی شد. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ و برای رسم نمودار از نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک کشتزار

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزار در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به میانگین درصد شن (۶۰/۱۶ درصد)، سیلت (۲۰/۵۹ درصد) و رس (۱۹/۲۵ درصد) و وجود سنگریزه نسبتاً زیاد (۱۹ درصد)، بافت خاک کشتزار لوم شنی سنگریزه‌دار بود. چگالی ظاهری خاک به دلیل فراوانی ذرات درشت ۱/۵۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. با توجه به مقدار آهک (۱۵/۶۱ درصد)، خاک کشتزار در گروه خاک‌های آهکی (یا بیش‌تر ۱۰ درصد کربنات کلسیم معادل) قرار دارد. میانگین هدایت الکتریکی ۲/۵۷ دسی زمینس بر متر بود و خاک از نظر شوری در گروه خاک‌های غیر شور ($EC < 4 \text{ dS.m}^{-1}$) قرار گرفت. خاک کشتزار به لحاظ داشتن محتوای ماده آلی کم (کمتر از ۱/۵ درصد) و تا اندازه‌ای ذرات پیوند دهنده مانند رس، دارای خاکدانه‌های کوچکتر و به نوبه خود دارای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار پایین‌تری (۱/۱ میلی متر) بود که احتمال فرو پاشی خاکدانه‌ها تحت تأثیر نیروی آب را افزایش می‌دهد.

جمع‌آوری شد. بعد از جداسازی رسوب از رواناب با استفاده از کاغذ صافی و خشک کردن رسوب، جرم خاک هدررفته از هر شیار در هر بازه زمانی به دست آمد. شدت فرسایش شیری با توجه به مفهوم ظرفیت جدا شدن خاک از شیار در مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (Water Erosion Prediction Project) به دست آمد (Foster et al., 1995). بر این اساس شدت فرسایش شیری بر اساس جرم خاک هدررفت (گرم) در واحد سطح شیار (مترمربع) و واحد زمان (ثانیه) بر حسب گرم بر مترمربع بر ثانیه ($\text{g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) به دست آمد.

تعیین دانه‌بندی رسوب

نمونه‌های رسوب پس از جمع‌آوری و خشک شدن در آن در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد از سری غربال ۲، ۱/۱۸، ۰/۶، ۰/۲۵، ۰/۰۵ میلی‌متر گذرانده شد و جرم ذرات مانده روی هر الک تعیین شد. ذراتی که بر روی غربال‌های مذکور مانده بودند، اجزای شن را در رسوب نشان می‌دادند. برای تعیین دانه‌بندی سیلت و رس در ذرات عبور یافته از غربال ۰/۰۵ میلی‌متر، از روش هیدرومتری استفاده شد (Bouyoucos, 1962). بدین صورت درصد ذرات سیلت و رس در نمونه ۴۰ گرمی رسوب با قرائت هیدرومتر به ترتیب در زمان‌های ۴۰ ثانیه و ۸ ساعت تعیین گردید.

تعیین ویژگی‌های خاک

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزار در نمونه‌های خاک برداشت شده از نقاط مختلف کشتزار در سه تکرار تعیین شدند. چگالی ظاهری خاک با استفاده از استوانه فلزی به قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر تعیین شد. پایداری خاکدانه‌ها در آب به روش الک تر یودر (Yoder., 1936)، در خاکدانه‌های با قطر دو تا چهار میلی‌متر تعیین و به صورت میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب (MWD) بیان شد. برای اندازه‌گیری سایر ویژگی‌های خاک از نمونه خاک دست‌خورده استفاده شد. توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، درصد سنگریزه به روش جرمی گی و بود (Gee & Baude., 1986)، درصد آهک خاک به روش خنثی‌سازی کربنات‌های موجود در خاک با استفاده از اسیدکلریدریک نرمال سادوسکی (Sadusky., 1987)، ماده آلی خاک به روش سادوسکی (Sadusky et al., 1987) و

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشتزار دیم

Table 1. Some physicochemical properties of the rainfed soil

Soil property	Mean	Standard deviation
Sand (%)	60.2	3.64
Silt (%)	20.6	3.99
Clay (%)	19.2	5.07
Mean weigh diameter (mm)	1.1	0.36
Bulk density (gcm ⁻³)	1.52	0.12
pH	7.32	0.08
Electrical conductivity (dSm ⁻¹)	2.57	0.43
Organic matter (%)	1.43	0.25
Calcium carbonate equivalent (%)	15.61	3.43

رسیدن جریان به انتهای شیار نیز طولانی می‌شود. رابطه‌ی خطی افزایشی بین زمان آغاز فرسایش شیاری و طول شیار وجود داشت (شکل ۲). کاهش زمان وقوع فرسایش شیاری، افزایش هدررفت خاک از شیارها را به دنبال دارد. در چنین شرایطی مقدار رسوب ویژه (هدررفت خاک از واحد سطح) در شیارها نیز تغییر پیدا می‌کند. گزارش‌ها نشان می‌دهد شیاری با طول کم به دلیل کوتاه بودن مسیر انتقال ذرات رسوب تا خروجی، نقش آفرینی بیشتری در تولید رسوب داشته‌اند (Asadzadeh *et al.*, 2013).

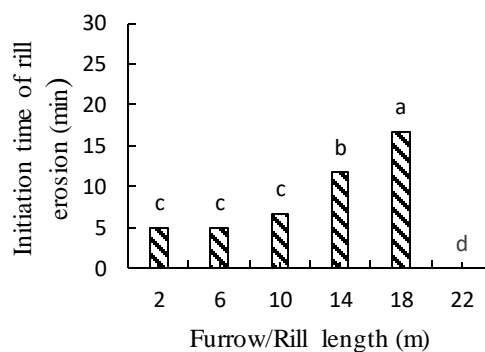
زمان آغاز فرسایش شیاری

فرسایش شیاری پس از مدتی از آغاز ورود جریان، در همه شیارها به جز در شیار با طول ۲۲ متر اتفاق افتاد. در این شیار به دلیل قدرت پایین حمل جریان و طول زیاد شیار، رسوبگذاری در اواخر شیار اتفاق افتاد. در همه شیارها، نخستین نمونه‌های رواناب حاوی ذرات منتقله بودند و نشان از وقوع فرسایش شیاری بود. تفاوت‌های معنی‌دار بین شیاری با طول مختلف از نظر زمان آغاز فرسایش داشت (جدول ۲). بررسی الگوی تغییرات فرسایش شیاری نشان داد که با افزایش طول شیار، زمان آغاز فرسایش شیاری افزایش یافت (شکل ۳). با افزایش طول شیار، زمان

جدول ۲- تجزیه واریانس زمان آغاز و شدت فرسایش شیاری و توزیع اندازه ذرات فرسایش یافته

Table 2. The variance analysis for initiation time, rill erosion rate and particle size distribution of eroded material

Variable	Freedom degree	Mean squares	Probability level (p <)
Initiation time	5	102.50	0.000
Rill erosion rate	5	0.00	0.000
Sand in sediment	5	1177.06	0.000
Silt in sediment	5	1368.94	0.000
Clay in sediment	5	36.71	0.000



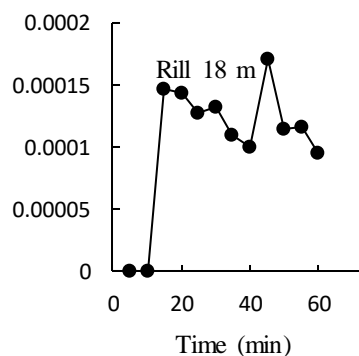
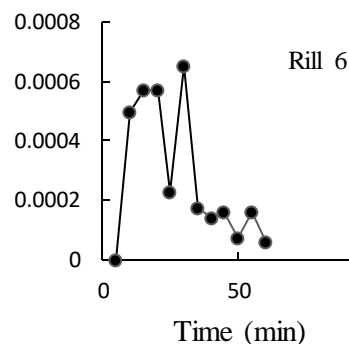
شکل ۲- ارتباط زمان آغاز فرسایش شیاری و طول نوارهای (شیارها)

Figure 2. The initiation time of rill erosion in relation to furrow/rill length

الگوی زمانی فرسایش شیاری

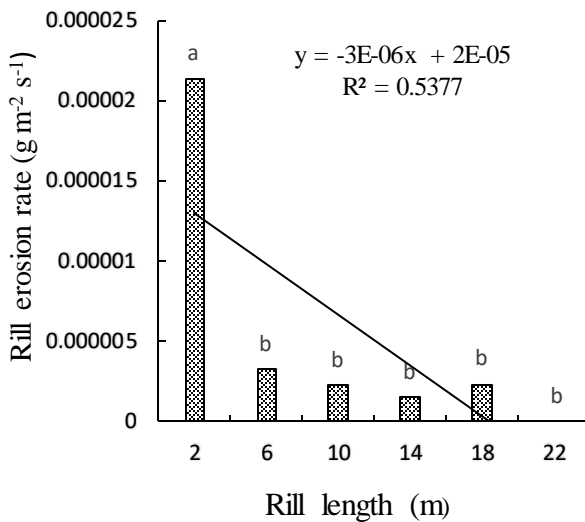
بررسی الگوی تغییرات شدت جریان خروجی از شیار در بازه‌های زمانی پنج دقیقه‌ای نشان داد که با افزایش طول شیار، دبی جریان در شیار با طول ۶، ۱۰ و ۱۴ متر روند افزایشی و در شیار با طول دو و ۱۸ متر روند کاهشی داشت و مقدار آن در طول‌های بالاتر کمتر بود که علت این موضوع به دلیل طول شیار بالا و کاهش سرعت جریان که سبب کاهش مقدار هدررفت خاک شد (شکل ۲). با افزایش طول کرت حجم کل رواناب افزایش و رواناب در واحد سطح به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد موسوی و همکاران (Moussavi *et al.*, 2018). همچنین در اوایل بارندگی، هدررفت خاک در شیارها کم بود و با گذشت زمان با انتقال ذرات فرسایش‌پذیر، هدررفت خاک افزایش یافت. روند افزایش شدت هدررفت خاک در شیارها در زمان‌های اولیه بارندگی زیاد بود و در طول‌های پایین‌تر بارزتر بود (شکل ۳). 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 و در لحظات پایانی به حد تقریباً ثابتی رسید. بررسی‌های لئو و همکاران (Liu *et al.*, 2011) نشان داد که در آغاز بارندگی به دلیل پایین بودن رطوبت خاک، سرعت نفوذ آب به خاک بالا و مقدار رواناب کم می‌باشد. کرت‌ها با ابعاد مختلف تأثیر قابل توجهی بر میزان رسوب و رواناب دارد صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2013). در زمان‌های اولیه بارندگی، وابستگی فرسایش شیاری به دبی جریان بیش‌تر است در حالی که در زمان‌های پایانی به دلیل انتقال بخش عمده ذرات فرسایش‌پذیر در زمان‌های قبل، الگوی تغییرات فرسایش شیاری شبیه به دبی جریان نیست واعظی و همکاران (Vaezi *et al.*, 2017). اسدی و همکاران (Asadi *et al.*, 2018) در پژوهشی با بررسی تغییرات دینامیک غلظت رسوب در فرسایش شیاری نشان دادند که غلظت رسوب در دقایق اولیه آزمایش زیاد بود و با گذشت زمان کاهش یافته و به حالت پایدار رسید.



شکل ۳- تغییرات زمانی فرسایش شیاری (گرم بر مترمربع و ثانیه) در شیارهای با طول مختلف تحت تأثیر جریان شبیه‌سازی شده با دبی ثابت سه لیتر بر دقیقه

Figure 3. Temporal variation of rill erosion ($\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in the rills with different lengths as affected by a simulated flow with 3 lit min^{-1} in discharge



شکل ۴- رابطه بین شدت فرسایش شیاری و طول نوارها یا شیار

Figure 4. The relationship between rill erosion rate and rill length

دانه‌بندی رسوب

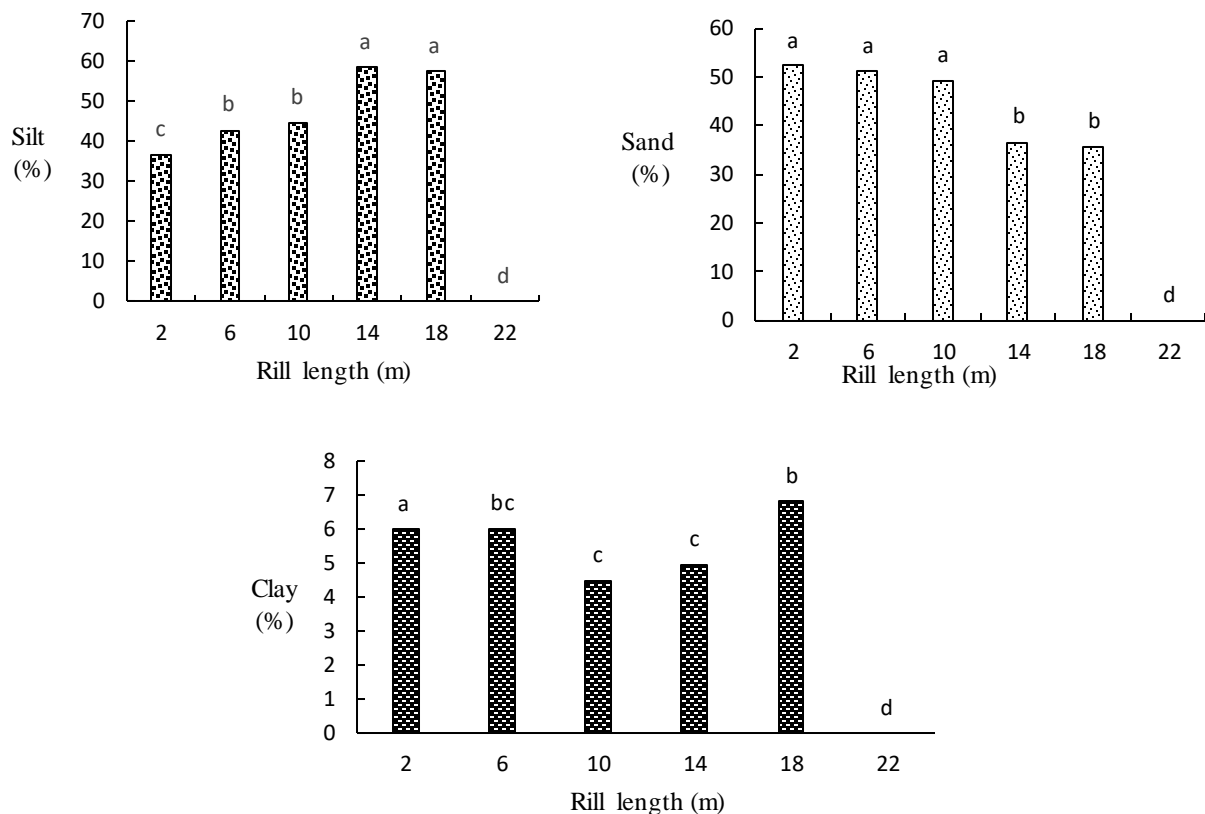
مقایسه دانه‌بندی رسوب نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین دانه‌بندی رسوبات خروجی از نوارهای مختلف وجود دارد (شکل ۵). مقدار شن در همه نوارهای کشت زیاد بوده به جز نوار کشت با طول ۲۲ متر که فرسایشی در آن رخ نداد. مقدار سیلت و رس رسوب در نوارهای کشت نیز متفاوت بود. با افزایش طول شیارها، انتقال ذرت شن کاهش یافت و در مقابل انتقال ذرات سیلت بیشتر شد. این نتیجه نشان می‌دهد که ذرات سیلت حساسیت بیشتری به انتقال در مسیرهای طولانی دارند. به عبارت دیگر حساسیت چنین ذراتی به فرسایش شیاری بیشتر است واعظی و همکاران (Vaezi *et al.*, 2016). وجود چنین ذراتی در خاک، حساسیت آن را به فرسایش آبی افزایش می‌دهد. ذرات سیلت به آسانی از یکدیگر جدا می‌شوند و معمولاً سهم غالب در رسوب دارند (Wang & Shi., 2016). علاوه بر آن، در خاک‌های سیلته‌ای که نیروی چسبندگی ضعیفی بین ذرات وجود دارد و تمایل به تشکیل سله نیز بیشتر است که این مسئله منجر به افزایش تولید جریان سطحی و در نتیجه برداشت آسان و زیاد ذرات خاک می‌شود (Vaezi & Haghani., 2020). در خاک‌هایی با مقدار بالای سیلت و شن خیلی ریز، مقدار فرسایش‌پذیری شیاری بیشتر می‌باشد (Romero *et al.*,

شدت فرسایش شیاری

بررسی تفاوت شدت فرسایش شیاری در نوارهای با طول متفاوت نشان داد که تفاوتی معنی‌دار بین طول شیارها از نظر شدت فرسایش شیاری وجود دارد ($p < 0.001$) (جدول ۲). گزارش‌ها نشان می‌دهد که تفاوت در برآوردهای فرسایش به دلیل تفاوت در اندازه کرت‌ها بوده و درک صحیح از وابستگی فرسایش خاک و رواناب به اندازه کرت، کلید بهبود مدیریت مزرعه در آینده است صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2013). با افزایش طول کرت، شدت فرسایش شیاری تغییرات زیادی نشان داد و به طور کلی از الگوی کاهشی پیروی کرد (شکل ۴). شدت فرسایش در نوارهای کشت با طول بالا به دلیل نفوذ جریان در بالادست به مراتب کمتر از شدت فرسایش در نوارهای کشت با طول پایین است زیرا نوارهای کشت با طول پایین به خاطر فاصله کوتاه سریع‌تر به رواناب پاسخ می‌دهند صادقی و همکاران (Sadeghi *et al.*, 2013). در نوارهای کشت دو تا ۱۰ متر شدت فرسایش شیاری به طور چشمگیری افزایش یافت (شکل ۴). در مطالعه‌ای نشان داده شد که کرت‌های با طول بالاتر از ۱۰ متر انرژی رواناب کافی برای رسیدن تمام جریان از بالادست تا پایین‌دست دامنه را ندارند مونر و یاکوبا (Mounirou & Yacouba, 2012). تفاوت در مقیاس اندازه کرت‌ها عامل بسیار مؤثری در میزان فرسایش خاک می‌باشد و علت آن رسوب‌گذاری در طی مسیر، تأثیر نفوذ ترجیحی بر مقدار نفوذ کل و افزایش سطح نفوذ است (Le Bissonnais *et al.*, 1998). بررسی‌ها نشان داد که گسترش شیارها با افزایش طول، عرض و عمق شیار است و متناظر با افزایش این مشخصات شیارها، هدررفت خاک از شیارها به طور شدیدی بالا رفته و به صورت نامنظم نوسان داشت (Jiang *et al.*, 2018).

کوچکتر از ۰/۰۵ میلی متر، با کاهش اندازه ذره کاهش می‌یابد که دلیل آن افزایش چسبندگی ذرات است (Farmer, 1973). طبق این نتایج قابلیت جدا شدن ذرات در خاک‌های بارس و شن زیاد کمتر از خاک‌های با سیلت زیاد است (Gumiere *et al.*, 2009).

انتقال ذرات رس چندان تحت تأثیر طول شیار نبود. جرم اندک این ذرات باعث می‌شود در شیاری با طول زیاد نیز به راحتی توسط جریان منتقل شوند. نتایج متفاوت در مورد انتقال ذرات سیلت و رس به دست آمده است. چنین بیان شد که جداسازی ذرات



شکل ۵- تغییرات توزیع اندازه ذرات رسوب در شیاریهای با طول متفاوت
Figure 5. Variation of the sediment particle size distribution in the rills

زمان به طور نوسانی افزایش یافته و پس از حدود ۳۰ تا ۵۰ دقیقه، کاهش تدریجی پیدا می‌کند. تغییرات دانه‌بندی رسوبات در شیاریهای با طول مختلف یکسان نبود. مقدار رس خروجی از همه شیاریها تقریباً یکسان بود ولی تفاوت در مقدار سیلت و شن بارز بود. با افزایش طول شیاریها، انتقال ذرات سیلت افزایش یافت و در مقابل انتقال ذرات شن کمتر شد. بالا بودن جرم ذرات شن باعث می‌شود که انتقال آنها نیازمند قدرت جریان بالا باشد. در شیاریهای با طول زیاد به دلیل نفوذ آب و کاهش قدرت جریان، انتقال ذرات درشت دانه محدود می‌شود. با توجه به جرم اندک ذرات رس، انتقال آنها تحت تأثیر طول شیار نبود و حتی جریان‌های با قدرت حمل پایین نیز قابلیت انتقال این

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی این پژوهش نشان داد که زمان آغاز فرسایش شیاری، شدت وقوع و نوع ذرات منتقله در شیاریها تحت تأثیر طول شیار است. در همه شیاریهای مورد بررسی به جز در شیار با طول ۲۲ متر، فرسایش شیاری اتفاق افتاد. در شیار طولانی به دلیل نفوذ آب در طول شیار و کاهش قدرت حمل جریان، رسوبگذاری در مسیر شیار رخ داد. شدت هدررفت خاک با کاهش طول شیار افزایش یافت. در شیاریهای با طول بیشتر، سرعت جریان کاهش و مقدار رواناب و فرسایش شیاری نیز کاهش می‌یابد. تغییرات زمانی فرسایش شیاری نشان داد که میزان هدررفت طی

به خاک است. اهمیت این موضوع در زمین‌های شیب‌دار با طول کوتاه بارزتر است. استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی با باقی گذاشتن بقایای گیاهی سال گذشته، حجم و سرعت جریان را محدود کرده، انتقال ذرات خاک را مهار می‌کند.

ذرات را داشتند. با توجه به افزایش انتقال ذرات سیلت در شیب‌های طولانی می‌توان نتیجه گرفت که محدود شدن انتقال ذرات شن، انتقال ذرات سیلت را بیشتر می‌کند. یکی از اقدامات برای مهار این نوع فرسایش در نوارهای کشت، کاهش شدت جریان از طریق افزایش نفوذدهی آب

References

- Asadi H., Mosavi A., and Parhizgar M.V. 2018. Effect of plot scale on runoff under natural rainfall (Case study; Saravan region, Rasht). *Iranint Journal of Soil and Water Research*, 48(5): 1144-1133.
- Asadzadeh F., Gorji A., Vaezi Sokouti R., and Shorafa M. 2012. Scale effect on runoff from filed plots under natural rainfall. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 12(9): 1148-1152.
- Asadzadeh, F.M., Gorji, A., Vaezi, A.L., Sokouti R., and Mirzaee, S. 2013. Effect of plot size on measured runoff and sediment yield from natural rain-storms. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4 (2): 69.
- Bagheri, M., and Vaezi, A. R. 2018. Wheat grain yield and soil water content as affected by row spacing and plough directions in a dry-farming land. *Water and Soil Conservation*, 24(5): 211-226.
- Boix-Fayos, C., Mena, M., Rosalén, E., Cases, A. and Castillo, V., 2006., *Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. Earth Science Reviews*, 78(3-4): 267-285.
- Bewket, W., and Sterk, G. 2003. Assessment of soil erosion in cultivated fields using a survey methodology for rills in the Chemoga watershed, Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems and Environmen*, 97: 81-93.
- Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schutt B., Ferro V., Bagarello V., Van Oost K., Montanarella L., and Panagos, P. 2017. An assessment of the global impact of the 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8: 1-13.
- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal*, 54 (5): 464-465.
- Brunner G.W. 1995. HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 1.0, DTIC Document.
- Dahnke W. C., and Whitney D.A. 1988. Measurement of soil salinity. Recommended chemical soil test procedures for the North Central Regional Publication 221. North Dakota Agricultural Experiment Staton Bull, 499: 32-34.
- Farmer, E.E. 1973. Relative detachability of soil particles by simulated rainfall. *Soil Science Society of America Journal*, 37: 629-633.
- Foster G.R., Flanagan D.C., Nearing M.A., Lane L.J., Risse L.M., and Finkner S.C. 1995. Chapter 11: hillslope erosion component. In: Flanagan D.C., and Nearing, M.A. (Eds.), USDA Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation, Vol. NSERL Report No. 10. USDAARS national Soil Erosion Research Laboratory.
- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. In A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Part.I. Physical and Mineralogical Methods (2nd ed.)*. Agronomy Monograph 9, 383-411.
- Gumiere, S.J., Le Bissonais, Y., and Raclot D. 2009. *Soil resistance to interrill erosion: Model parameterization and sensitivity. Catena*, 77: 274-284.
- Hao H., Wang G., Guo Z., and Hua L. 2019. Water erosion processes and dynamic changes of sediment size distribution under the combined effects of rainfall and overland flow. *Catena*, 173: 494-504.
- He J., X. Li L. Jia Gong H., and Cai Q. 2014. Experimental study of rill evolution processes and relationship between runoff and erosion on clay loam and loess. *Soil Science Society American Journal*, 78: 1716-1725.
- Jiang F., Zhan Z., Chen J., Lin J., Wang M.K., Ge H., and Huang, Y. 2018. Rill erosion processes on a steep colluvial deposit slope under heavy rainfall in flume experiments with artificial rain. *Catena*, 169: 46-58.

- Joel A., Messing I., Seguel O. and Casanova M. 2002. Measurement of surface water runoff from plots of two different sizes. *Hydrological Processes*, 16(7): 1467-1478.
- Le Bissonnais Y., Benkhadra H., Chaplot V., Fox D., King D., and Daroussin, J. 1998. Crusting, runoff and sheet erosion on silty loamy soils at various scales and up scaling from m² to small catchments. *Soil and Tillage Research*, 46: 69–80.
- Liu H., Lei T.W., Zhao J., Yuan C.P., Fan Y.T., and Qu L.Q. 2011. Effects of rainfall intensity and antecedent soil water content on soil infiltrability under rainfall conditions using the run off-on-out method. *Journal of Hydrology*, 396: 24-32.
- Moussavi S.A., Asadi H., and Parhizgar, M. 2018. Effect of plot scale on runoff under natural rainfall (Case study; Saravan region, Rasht). *Iran Journal of Soil and Water Research*, 5 (48): 1133-1144. (In Persian with English Summary)
- Mounirou L., and Yacouba H. 2012. Measuring runoff by plots at different scales: Understanding and analysing the sources of variation. *Comptes Rendus Geosciences*, 344(9): 441-448.
- Quan X., He J., Cai Q., Sun L., and Li, X. 2020. Soil erosion and deposition characteristics of slope surfaces for two loess soils using indoor simulated rainfall experiment. *Soil and Tillage Research*, 204: 104714.
- Romero C.C., Stroosnijder L., and Guillermo, A.B. 2007. Interrill and rill erodibility in the northern Andean highlands. *Catena*, 70: 105-113.
- Sadeghi S.H.R., BashariSeghaleh M. and Rangavar A.S. 2013. Plot sizes dependency of runoff and sediment yield estimates from a small watershed. *Catena*, 102: 55-61.
- Sadusky, M.C., Sparks D.L., Noll M.R., and Hendricks, G.J. 1987. Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy Middle Atlantic Coastal Plain soils. *Soil Science Society of American Journal*, 51(6): 1460-1465.
- Thomaz E.L., and Vestena L.R. 2012. Measurement of runoff and soil loss from two differently sized plots in a subtropical environment (Brazil). *Earth Surface Processes and Landforms*, 37: 363-373.
- Vaezi, A.L. 2020. Water erosion, Processes and Models, First Edition, Zanjan University Press, Iran.
- Vaezi A.L., and Ebadi M. 2017. Particle size distribution of surface-eroded soil in different rainfall intensities and slope gradients. *Journal of Water and Soil*, 31 (1): 216-229.
- Vaezi A.L., and Haghani Z. 2020. Effect of slope gradient and soil physical properties on soil loss in furrows of rainfed farms. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 49(14): 93-96. (In Persian with English Summary)
- Vaezi A.L., Noghani M., and Foroumadi, M. 2017. Dependency of runoff characteristics on the plot scale in rainfed land under semi-arid rainfalls. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 7(1): 15-29.
- Wang L., and Shi Z.H. 2016. Size selectivity of eroded sediment associated with soil texture on steep slopes. *Soil Science Society of American Journal*, 79: 917-929.
- Yoder R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Agronomy Journal*, 28(5): 337-351.

Investigating the Effect of Cultivated Furrow Length on Rill Erosion and Eroded Grain Size in a Rainfed Field in the Zanzan

Ali Reza Vaezi^{1*}, Leila Varghaei²

(Received: March, 2021

Accepted: October, 2022)

Abstract

Rill erosion rate and particle size of eroded material can be affected by rill length. This study was conducted to investigate the effect of furrow length on the rill erosion rate and sediment grain size. Field experiments were done in a rainfed field with a 10% slope gradient with six furrow lengths (2, 6, 10, 14, 18, and 22 m) in a randomized complete block with three replications. The experiments were performed in the furrows with 20 cm width and 5 cm depth using a simulated flow with 3 l min^{-1} . The initiation time of rill erosion and sediment grain size were determined in each furrow/rill at 5-min intervals for 60 min. Based on the results, rill erosion varied in the furrows over time and mainly increased to 45 min. Rill erosion didn't occur in the 22-m furrow, which is related to water infiltration along the rill and the loss of flow power. Rill erosion in furrows with 2, 6, 10, 14, and 18 m were 0.02136 , 0.003232 , 0.00225 , 0.0150 , and $0.00235 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectively. A decreasing linear relationship was found between rill erosion rate and furrow length ($R^2 = 0.54$). The grain size distribution of sediment was significantly affected by furrow length. With increasing furrow length, the selectivity of silt increased, whereas the selectivity of sand was limited in the long rills. The selectivity of clay didn't affect by furrow length. Application of conservation tillage in rainfed lands can increase water infiltration and control rill erosion in the furrows.

Keywords: Flow intensity, Sediment grain size, Slope gradient, Soil loss, Temporal variation

Vaezi A.R., Varghaei L. 2023. Investigating the effect of cultivated furrow length on rill erosion and eroded grain size in a rainfed field in the Zanzan. *Applied soil research*. 11(2): 59-70.

1. Full Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanzan

2. Former MSc. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanzan

Corresponding Author Email: vaezi.alireza@gmail.com