بررسی عامل‌های مؤثر در نرخ جدایش ذرات خاک در جویچه‌های کشت حاصل از زراعت دیم (مطالعه موردی: منطقه دشمن‌زیاری استان فارس)

حسین کریمی [۱]، امیر لکزیان [۲]، غلامحسین حق نیا [۲]، حجت امامی [۳] و مجید صوفی [۴]
۱-دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزیدانشگاه فردوسی مشهد، ۲-استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۳-دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۴-دانشیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

چکیده
در سالهای اخیر فرسایش خاک به عنوان یکی از عامل‌هـای بنیـادی تخریـب زمیـن معرفـی شـده و آگـاهی و شـناخت فرآینـدهای پیچیده رخداد و توسعه آن مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است. هدف از این پژوهش، بررسی همبستگی نرخ جـدایش ذرات خاک با عامل‌های هیدرولیکی در شیارهای حاصل از شخم در زراعت دیم گندم در دامنه‌های شیب‌دار بـود. شـیارهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری ایجاد و دبي ۲۰ لیتر بر دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه بر روی آنها اعمال گردید. در سه مقطـع مکـانی و زمـانی مسـاوی در هـر شـیار نمونه برداری رسوب انجام شد و نرخ جدایش ذرات خاک محاسبه گردید. افزون بر این عامل‌های هیـدرولیکی همانـنـد تنـش برشـی، قدرت جرایان واحد، قدرت جریان و عدد فرود محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیشترین همبسـتگی بیـن عـدد فـرود و نـرخ جـدایش ذرات بدست آمد و پس از آن تنش برشی، قدرت جریان واحد و قدرت جریان بیشترین همبستگی را با نرخ جدایش ذرات خاک نشـان دادند. افزون بر این معادلات رگرسیونی بین نرخ جدایش و تنش برشی نشان داد که این رابطه با افزایش طول کـاهش مي‌یابـد و عملا در طول‌های بیش از ۳۳/۱۳ متر ارتباط مناسبی حاصل نگردید. که شاید بتـوان دلیـل آنـرا بـه اشـباع شـدن آب از بـار رسـوب و عـدم توانایی جریان به حمل رسوب نسبت داد.

واژه های کلیدی: نرخ جدایش، تنش برشی، قدرت جریان، کشت دیم

مقدمه
در سالهای اخیر فرسایش خاک به عنوان یکی از عامل‌هـای بنیـادی تخریـب زمیـن معرفـی شـده و آگـاهی و شـناخت فرآینـدهای پیچیده رخداد و توسعه آن مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است. بنـا بـر گـزارش (FAO, ۱۹۹۸) ۷/۹۹ درصـد غـذای انسـان از زمین به‌دست می‌آید و تنها ۳/۰ درصد اقیانوس‌ها و زیست‌بوم‌های آبی تأمین می‌گردد. در جنوب ایران، با توجه بـه نـرخ خاک‌سـازی کم، هدر روی بیش از ۱ تن در هکتار در سال مي‌تواند به‌عنوان از بین رفتن بازگشت ناپـذیر منـابع خـاکی در ۵۰ تـا ۱۰۰ سـال آینـده مورد توجه قرار گیرد (Masoudi et al., ۲۰۰۶).

فرسایش شیاری یکی از انواع بنیادی فرسایش در زمین‌های تپه‌ماهوری است. این فرسایش زمـانی کـه کشـت صـورت مي‌گیـرد از نظر هدرروی خاک بسیار خطرناک و به‌عنوان موتور تولید و انتقال رسوب عمل مي‌کنند(Sun et al., ۲۰۱۳). پژوهشگران دیگری نیز این نوع فرسایش را به‌عنوان سرچشـمه رسـوب و کانال‌هـای انتقـال رسـوب در منـاطقی کـه فرسـایش شـیاری چیـره وجـود دارد معرفـی نموده‌اند (Gyssels et al., ۲۰۰۲; Nachtergaele and Poesen, ۲۰۰۲). در بیشتر بررسي‌های آزمایشگاهی، تلاش پژوهشگران برای یافتن روابط میان عامل‌های گوناگون مؤثر در فرسایش شیاری بوده است (Wirtz et al., ۲۰۱۲). (Gimé nez and Govers, ۲۰۰۲) نشان دادند که بیشتر داده‌هایی که در مدل‌های فرسایش شیاری به‌کار رفتـه اسـت نـتیجه بسـتری صـاف بـوده و نمي‌تـوان ایـن مـدل‌ها را بـرای بسـترهای شیارهای زبر طبیعی به‌کار برد.

در فرسایش جویچه‌ای هدرروی خاک به اندازه و یا شکل هندسی کانال (جویچه)، سرعت آب و حساسیت خاک به فرسایش وابسته است. آب جاری، ذرات خاک موجود در جویچه‌ها را از محل خود جدا کرده و به سمت پایین شیار جا بـه جـا مي‌کنـد و ایـن انتقـال تـا زمانی که انرژی جریان توان حمل ذرات خاک را داشته باشد ادامه مي‌یابد (Mailapalli et al., ۲۰۱۳). این در حالی است که (Mailapalli et al., ۲۰۰۹; Mateos and Giraldez, ۲۰۰۵) عامل‌های مؤثر در جدا شدن و انتقال ذرات خاک در جویچه‌های کشت را دبی جریان، نوع خاک، شیب زمین و طول شیار معرفی کرده‌اند. شایان گفتن است که بنا به بـاور (Raff et al., ۲۰۰۳) در تپه‌هـای دامنه‌ای شـیب‌دار، شـیارها افزون بر افزایش رسوب نقش شبکه انتقال رسوب‌های برخاسته از فرسایش بین شیاری را نیز به عهده دارند و عملا هـدر روی خـاک را افزایش مي‌دهند. به منظور بررسی نقش جریان متمرکز بر فرسایش شیاری و آبکندی، شناخت مدل‌های مرتبط با هیدرولیک جریـان و جدایش‌پذیری خاک ضروری است. مدل‌های گوناگون به بررسی عامل‌های هیدرولیکی مانند دبـی جریـان، سـرعت، عمـق، تنـدی شیب، زبری بستر جریان (سایش هیدرولیکی) و غلظت رسوب که در پیش‌بینی جـدا شـدن ذرات خـاک اهمیـت دارنـد، مي‌پردازنـد (Cochrane and Flanagan, ۱۹۹۷; Gimé nez and Govers, ۲۰۰۲; Govers et al., ۱۹۹۰; Nearing et al., ۱۹۹۹; Zhang et al., ۲۰۰۲).

متغیرهای هیدرولیکی یاد شده به روش‌های گوناگون با یکدیگر ترکیب شده و تخمین‌گرهای مرکب را بر پایه مبانی فیزیک همانند تنش برشی (Elliot and Laflen, ۱۹۹۳; Hairsine and Foster et al., ۱۹۹۵; Lé onard and Richard, ۲۰۰۴; Wicks and Bathurst, ۱۹۹۶)، قدرت جریان (Rose, ۱۹۹۲; Rose et al., ۱۹۸۳)، قدرت جریان واحد (McIsaac et al., ۱۹۹۲)، و عدد فرود (Bryan, ۱۹۹۰) به وجود می‌آورند. بدین منظور ابتدا شناخت نمایه‌های هیدرولیکی مورد استفاده که به طور عمده ماهیتی تجربی دارند، ضروری است. هدف از این پژوهش بررسی هریک از عامل‌های هیدرولیکی فوق بر نرخ جدایش ذرات در خاک‌های اراضی شیب‌دار منطقه دشمن زیاری استان فارس می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش در ۶۰ کیلومتری غرب شیراز در ناحیه تپه‌ماهوری دشمن‌زیاری واقع شده است. مساحت ۴۹/۶۴۸ کیلومتر مربع و حدود ۳۵ درصد کل زیر حوضه سد پارسیان را در بر می‌گیرد. مواد مادری این ناحیه از سازند زمین‌شناسی پابده گورپی تشکیل شده است و در طبقه فرسایش‌پذیری شدید قرار دارد (Masoudi et al., ۲۰۰۶). میانگین بارش سالانه منطقه حدود ۵/۵۵۱ میلی‌متر (Bahadori, ۲۰۱۴) است و با توجه به شواهد فرسایشی موجود حجم زیاد از خاک بر اثر فرسایش آبی از بین می‌رود (Bahadori, ۲۰۱۴).

به‌منظور اندازه‌گیری بررسی فرسایش پذیری منطقه با اندازه‌گیری و تعیین نمایه نرخ جدایش ذرات خاک بر روی زمین شیب‌دار، شخم به روش سنتی در دو شیب حدود ۱۵ و ۵۰ درصد به‌وسیله کشاورزان منطقه صورت پذیرفت بر پایه روش معمول کشاورزان منطقه، جهت شیارها از بالا به سمت پایین شیب و ابعاد عمق و عرض شیارهای شخم ۳/۰ متر و طول شیارهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر در نظر گرفته شد. پیش از اعمال دبی ۲۰ لیتر بر دقیقه در جویچه‌های کشت، مقطع عرضی آنها با استفاده از شیارمتر اندازه‌گیری شد. به‌منظور دستیابی به نرخ جدایش ذرات خاک در شیارهای مورد آزمایش، طول هر شیار به سه بخش برابر تقسیم و در مقاطع ۳/۱، ۳/۲ و انتهای شیار(نقاط اندازه‌گیری) نمونه‌برداری رسوب صورت پذیرفت. زمان آزمایش ده دقیقه در نظر گرفته شد که نمونه‌برداری رسوب در سه بازه زمانی مساوی انجام شد. طول، مقطع عرضی و شیب شیارها به‌صورت زمین‌مرجع در نرم‌افزار ArcGIS ۹.۳ وارد شد و با استفاده از برنامه‌الحاقی HecGeoRAS همانندسازی مورفولوژی شیار انجام شد. به منظور برآورد عامل‌های هیدررولیکی از معادله برنولی مورد استفاده شد. بر پایه این معادله، انرژی کل در مقطع پایین دست، از انرژی کل در مقطع بالادست به اندازه افت انرژی میان این دو مقطع اختلاف خواهد داشت (Gimé nez, et al., ۲۰۰۳). نرخ جدایش ذرات با استفاده از روش (Wirtz, ۲۰۰۳ a,b) محاسبه گردید. همبستگی میان داده‌ها با استفاده از روش پیرسون و به‌وسیله نرم‌افزار SPSS ۲۲ صورت گرفت. افزون بر این، از ترکیب کل داده‌ها و با استفاده از روش‌های متفاوت رگرسیونی، پارامترهای گوناگون ارتباط میان نرخ جدایش ذرات و سایر پارامترها تعیین شد.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از همبستگی میان نرخ جدایش ذرات خاک و عامل‌های هیدرولیکی جریان حاکی از همبستگی معنی‌دار ($P<0.01$) میان این عامل‌ها است (جدول ۱). کمترین همبستگی میان نرخ جدایش ذرات خاک و عامل‌های هیدرولیکی برای قدرت جریان (۶۲۹/۰) به‌دست آمد، در حالی که عدد فرود با اختصاص مقدار ۷۲۰/۰ بیشترین مقدار همبستگی را نشان داد. افزون بر این، مقادیر همبستگی برای تنش برشی و قدرت جریان واحد به‌ترتیب برابر ۶۸۲/۰ و ۶۷۲/۰ به‌دست آمد. ترتیب همبستگی عامل‌های هیدرولیکی جریان و میانگین نرخ جدایش ذرات خاک نیز به‌صورت زیر به‌دست آمد.

قدرت جریان < قدرت جریان واحد < تنش برشی < عدد فرود

با توجه به جدول ۱ می‌توان مشاهده نمود که عامل‌های هیدرولیکی دارای همبستگی معنی‌داری با نرخ جدایش محاسبه شده در بازه‌های زمانی گوناگون بودند. بیشترین مقدار همبستگی مربوط به بازه زمانی سوم (۳) آزمایش یا مراحل پایانی آزمایش بود. در بازه‌ها زمانی ابتدایی و میانی روند خاصی دیده نشد به‌صورتی که همبستگی عدد فرود و تنش برشی تا حدودی در هر دو بازه مشابه، و قدرت جریان و قدرت جریان واحد در بازه میانی بیشتر از بازه ابتدایی به‌دست آمد. بر این پایه پس از شروع آزمایش، با گذشت زمان همبستگی میان عامل‌های هیدرولیکی و نرخ جدایش ذرات خاک افزایش یافت.

در بازه زمانی اول عدد فرود بیشترین و قدرت جریان کمترین همبستگی را نشان دادند. این مقادیر بین ۵۷۶/۰ تا ۶۶۴/۰ متغیر بود. نتایج به‌دست آمده از بازه زمانی میانی (۲) آزمایش نشان داد که در این بازه بیشترین مقدار همبستگی با عدد فرود (۶۶۴/۰) و کمترین آن با قدرت جریان (۶۱۲/۰) بود. در بازه زمانی سوم (۳) نیز عدد فرود بیشترین و قدرت جریان کمترین همبستگی را دارا بودند و مقادیر همبستگی آنها بین ۵۹۴/۰ تا ۶۹۴/۰ به‌دست آمد.

نقش هریک از عامل‌های هیدرولیکی یاد شده در جدا شدن ذرات خاک به‌وسیله پژوهشگران بسیاری مورد توجه بوده است (Bryan, ۱۹۹۰; Gimé nez and Govers, ۲۰۰۲; Foster et al., ۱۹۹۵)

(Nearing, ۱۹۹۱) نشاد داد که عدد فرود و آشفتگی جریان منجر به تغییرات بیشتری در نرخ جدایش ذرات خاک می‌گردد افزون بر این آشفتگی موضعی جریان می‌تواند از عامل‌های بنیادی جدا شدن ذرات خاک از بستر خود باشد. بسیاری از پژوهشگران نیز نرخ جدایش ذرات خاک به‌وسیله جریان متمرکز را به‌عنوان تابعی از تنش برشی معرفی کرده‌اند (Lyle and Smerdon, ۱۹۶۵; Park et al., ۱۹۸۲) برخی این ارتباط را نمایی و برخی به‌صورت خطی گزارش نموده‌اند. قدرت جریان (Elliot and Laflen, ۱۹۹۳; Rose et al., ۱۹۸۳) قدرت جریان واحد نیز توسط پژوهش‌گران بعنوان عامل‌های مؤثر در جداشدن ذرات خاک معرفی شده اند (McIsaac, et al., ۱۹۹۲).

جدول ۱: ماتریس همبستگی (پیرسون) میان عامل‌های هیدرولیکی و نرخ جدایش ذرات خاک

عامل	عدد فرود	تنش برشی	قدرت جریان واحد	قدرت جریان	نرخ جدایش (۱)	نرخ جدایش (۲)	نرخ جدایش (۳)	میانگین نرخ جدایش
عدد فرود	۱							
تنش برشی	۰/۹۴۹**	۱						
قدرت جریان واحد	۰/۹۷۱**	۰/۹۹۳**	۱					
قدرت جریان	۰/۹۰۶**	۰/۹۹۲**	۰/۹۷۸**	۱				
نرخ جدایش (بازه زمانی ۱)	۰/۶۶۴**	۰/۶۳۰**	۰/۶۱۷**	۰/۵۷۶**	۱			
نرخ جدایش (بازه زمانی ۲)	۰/۶۶۴**	۰/۶۳۸**	۰/۶۴۶**	۰/۶۱۲**	۰/۶۲۷**	۱		
نرخ جدایش (بازه زمانی ۳)	۰/۶۹۴**	۰/۶۵۱**	۰/۶۳۷**	۰/۵۹۴**	۰/۹۶۹**	۰/۷۰۸**	۱	
میانگین نرخ جدایش	۰/۷۲۰**	۰/۶۸۲**	۰/۶۷۲**	۰/۶۲۹**	۰/۹۷۰**	۰/۷۸۳**	۰/۹۸۸**	۱

بسیاری از پژوهشگران نرخ جدایش ذرات خاک به‌وسیله جریان متمرکز را به‌عنوان تابعی از تنش برشی معرفی کرده‌اند. برخی این ارتباط را نمایی و برخی به‌صورت خطی گزارش نموده‌اند (Knappen, et al., ۲۰۰۷). در ارتباط خطی شیب خط رگرسیون نشان دهنده فرسایش‌پذیری شیاری خاک و محل برخورد خط رگرسیون با محور افقی بیان‌گر تنش برشی بحرانی جریان است. در این پژوهش همانند مدل‌های برآورد فرسایش، از رگرسیون خطی به منظور بررسی ارتباط نرخ جدایش و تنش برشی آبراهه در هر یک از فاصله‌های طولی اندازه‌گیری شده شیار استفاده شد. جدول (۲) ضرایب به‌دست آمده و معادله‌های رگرسیونی برای هر یک از فاصله‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. مقدار P نشان می‌دهد که کلیه رابطه‌ها و معادله‌های رگرسیونی در سطحی فراتر از ۱ درصد معنی‌دار بودند.

با توجه به شیب خط وایازش مشخص شد که با افزایش طول شیار شیب خط کاهش یافت. این کاهش نشان‌دهنده حساسیت بیشتر نرخ جدایش ذرات خاک نسبت به تغییرات تنش برشی در شیارهای کوتاه‌تر و یا ابتدای شیارهای با طول بیشتر است. برای نمونه، در یک شیار ۳۰ متری نرخ جدا شدن ذرات خاک به ازای تغییر یک واحد تنش برشی، در ابتدای شیار بیشتر از مقاطع انتهایی آن است. در پژوهش کنونی و بر پایه وضعیت آزمایش در طول‌های بیشتر از ۳۳/۱۳ متر ارتباط مناسبی میان این دو عامل یافت نشد. همان‌گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود عرض از مبدأ تا طول شیار ۳۳/۱۳ متری منفی به‌دست آمده است که نشان‌دهنده برخورد خط برازش رگرسیون با بخش مثبت محور افقی (تنش برشی) نمودار است. بر پایه معادله‌های موجود محل برخورد این خط با محور افقی نشان‌دهنده تنش برشی بحرانی است. تنش برشی بحرانی مقدار تنش برشی اعمال شده به خاک است که پس از آن خاک شروع به جدا شدن و انتقال می‌نماید. بر همین پایه برای خاک‌های مورد بررسی و بر پایه وضعیت آزمایش میانگین تنش برشی بحرانی برابر ۷۰/۹ کیلوگرم بر متر بر مجذور ثانیه به‌دست آمد به‌گونه‌ای که مقادیر تنش برشی بحرانی بین ۵۶/۷ تا ۸۴/۱۱ در فاصله ۳۳/۱۳ متر متغیر بود. میانگین فرسایش پذیری شیاری (شیب خط رگرسیون) نیز برابر ۰۵/۰ بود که از مقدار ۰۳۴/۰ تا ۰۷۵/۰ ($s\ m^{-1}$) در طول ۳۳/۱۳ تغییر می‌کرد.

در بررسی‌های (Prosser, ۱۹۹۵) در زمین‌های علفزار سانفرانسیسکو، میانگین تنش برشی برای جدا شدن ذرات خاک بین ۱۰۰ تا ۱۸۰ کیلوگرم بر متر بر مجذور ثانیه گزارش شده است. این در حالی است که با از میان بردن ۵۰ درصد پوشش گیاهی این مقدار تنش برشی بحرانی نصف می‌شود. لازم به گفتن است که مقدار تنش برشی بحرانی در مدل WEPP معادل ۵/۳ کیلوگرم بر متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته شده است.

با توجه به ضریب تعیین کم و وجود عرض از مبدا مثبت در طول شیارهای ۲۰ و ۳۰ متر که نشان دهنده عدم برخورد خط برازش با بخش مثبت محور تنش برشی است، در این نوع خاک‌ها، طول شیارهای کمتر از ۳۳/۱۳ متر برای بررسی ارتباط این دو عامل مناسب تشخیص داده شد.

جدول۲: ضریب‌های معادله‌های خطی تنش برشی جریان و نرخ جدایش ذرات در شیارهای با طول متفاوت

طول شیار (متر)	شیب خط رگرسیون (فرسایش پذیری شیاری)	عرض از مبدأ	تنش برشی بحرانی ($kg\ m^{-1}\ s^{-2}$)	معادله رگرسیون	ضریب تعیین (R^2)	مقدار P
۳/۳۳	۰/۰۷۵	-۰/۶۱۱	۸/۱۴۷	$Dr = ۰.۰۷۵\tau - ۰.۶۱۱$	۱/۰۰	۰/۰۰

۶/۶۷	۰/۰۴۹	-۰/۵۸۰	۱۱/۸۳۷	Dr = ۰.۰۴۹ - ۰.۵۸۰	۰/۷۹	۰/۰۰
۱۰	۰/۰۳۹	-۰/۴۳۹	۱۱/۲۵۶	Dr = ۰.۰۳۹ - ۰.۴۳۹	۰/۷۳	۰/۰۰
۱۳/۳۳	۰/۰۳۴	-۰/۲۵۷	۷/۵۵۹	Dr = ۰.۰۳۴ - ۰.۲۵۷	۰/۶۹	۰/۰۰
۲۰	۰/۰۲۵	۰/۱۱۸		Dr = ۰.۰۲۵ + ۰.۱۱۸	۰/۵۲	۰/۰۰
۳۰	۰/۰۲۲	۰/۱۸۸		Dr = ۰.۰۲۲ + ۰.۱۸۸	۰/۴۶	۰/۰۰

منابع

Bahadori N. ۲۰۱۴. Measuring soil loss using the roots of trees and rills and comparison with MPSIAC, M.Sc Thesis. Islamic Azad University. Arsanjan Branch.

Bryan R. ۱۹۹۰. Knickpoint evolution in rillwash. Catena, Supplement, ۱۱۱-۱۳۲.

Cochrane T., Flanagan D. ۱۹۹۷. Detachment in a simulated rill. Transactions of the ASAE, ۴۰: ۱۱۱-۱۱۹.

Elliot W., Laflen J. ۱۹۹۳. A process-based rill erosion model. Transactions of the ASAE, ۳۶: ۱-۱۱۰

FAO, ۱۹۹۸. Food Balance Sheets ۱۹۹۷. Rome: FAO.

Foster G. Flanagan D., Nearing M., Lane L., Risse L., Finkner. ۱۹۹۵. Hillslope erosion component. USDA-Water Erosion Prediction Project, Rep, ۱۰: ۱۱.۱-۱۱.۱۲.

Gimé nez R., Govers G. ۲۰۰۲. Flow detachment by concentrated flow on smooth and irregular beds. Soil Science Society of America Journal, ۶۶: ۱۴۷۵-۱۴۸۳.

Gimé nez R., Govers G. ۲۰۰۸. Effects of freshly incorporated straw residue on rill erosion and hydraulics. Catena, ۷۲: ۲۱۴-۲۲۳.

Gimé nez R., Planchon O., Silvera N., Govers G. ۲۰۰۴. Longitudinal velocity patterns and bed morphology interaction in a rill. Earth Surface Processes and Landforms, ۲۹: ۱۰۵-۱۱۴

Govers G. Everaert W., Poesen J., Rauws G., De Ploey J., Lautridou J., ۱۹۹۰. A long flume study of the dynamic factors affecting the resistance of a loamy soil to concentrated flow erosion. Earth Surface Processes and Landforms, ۱۵: ۳۱۳-۳۲۸.

Gyssels G., Poesen J., Nachtergaele J., Govers G. ۲۰۰۲. The impact of sowing density of small grains on rill and ephemeral gully erosion in concentrated flow zones. Soil and Tillage Research, ۶۴: ۱۸۹-۲۰۱.

Hairsine P.B., Rose C.W. ۱۹۹۲. Modeling water erosion due to overland flow using physical principles: ۲. Rill flow. Water Resources Research, ۲۸: ۲۴۵-۲۵۰.

Lé onard J., Richard G. ۲۰۰۴. Estimation of runoff critical shear stress for soil erosion from soil shear strength. Catena, ۵۷: ۲۳۳-۲۴۹.

Lyle W., Smerdon E. ۱۹۶۵. Relation of compaction and other soil properties to erosion resistance of soils. Trans. ASAE, ۸: ۴۱۹-۴۲۲.

Mailapalli D.R., Raghuwanshi N., Singh R. ۲۰۰۹. Sediment transport in furrow irrigation. Irrigation science, ۲۷: ۴۴۹-۴۵۶.

Mailapalli D.R., Raghuwanshi N.S., Singh R. ۲۰۱۳. Sediment Transport Model for a Surface Irrigation System. Applied and Environmental Soil Science, ۲۰۱۳: ۱-۱۰.

Masoudi M., Patwardhan A., Gore S. ۲۰۰۶. Risk assessment of water erosion for the Qareh Aghaj subbasin, southern Iran. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, ۲۱: ۱۵-۲۴.

Mateos L., Giraldez J.V. ۲۰۰۵. Suspended load and bed load in irrigation furrows. Catena, ۶۴: ۲۳۲-۲۴۶.

McIsaac G., Mitchell J., Hummel J., Elliot W. ۱۹۹۲. An evaluation of unit stream power theory for estimating soil detachment and sediment discharge from tilled soils. Transactions of the ASAE, USA.

Nachtergaele J., Poesen J. ۲۰۰۲. Spatial and temporal variations in resistance of loess derived soils to ephemeral gully erosion. European Journal of Soil Science, ۵۳: ۴۴۹-۴۶۳.

Nearing M., ۱۹۹۱. A probabilistic model of soil detachment by shallow turbulent flow. Trans. ASAE, ۳۴: ۸۱-۸۵.

Nearing M.A., Simanton J.R., Norton L.D., Bulygin S.J., Stone J. ۱۹۹۹. Soil erosion by surface water flow on a stony, semiarid hillslope. Earth Surface Processes and Landforms, ۲۴: ۶۷۷-۶۸۶.

Park S., Mitchell J., Scarborough J. ۱۹۸۲. Soil erosion simulation on small watersheds: a modified ANSWERS model. Transactions of the ASAE.

Raff D.A., Smith J.L., Trlica M.J. ۲۰۰۳. Statistical descriptions of channel networks and their shapes on non-vegetated hillslopes in Kemmerer, Wyoming. Hydrological Processes, ۱۷: ۱۸۸۷-۱۸۹۷.
Rose C., Williams J., Sander G., Barry D. ۱۹۸۳. A mathematical model of soil erosion and deposition processes: I. Theory for a plane land element. Soil Science Society of America Journal, ۴۷: ۹۹۱-۹۹۵.
Sun, L., Fang, H., Qi, D., Li, J., Cai, Q., ۲۰۱۳. A review on rill erosion process and its influencing factors. Chinese Geographical Science, ۲۳, ۳۸۹-۴۰۲.
Te Chow V. ۱۹۵۹. Open channel hydraulics. McGraw-hill Book Company.
Wicks J., Bathurst J. ۱۹۹۶. SHESED: a physically based, distributed erosion and sediment yield component for the SHE hydrological modelling system. Journal of Hydrology, ۱۷۵: ۲۱۳-۲۳۸.
Wirtz S. Seeger M., Remke A., Wengel R., Wagner J-F., Ries JB. ۲۰۱۳a. Do deterministic sediment detachment and transport equations adequately represent the process-interactions in eroding rills? An experimental field study. Catena, ۱۰۱: ۶۱-۷۸.
Wirtz S., Seeger M. Ries J.B. ۲۰۱۲. Field experiments for understanding and quantification of rill erosion processes. Catena, ۹۱: ۲۱-۳۴.
Wirtz S., Seeger M., Zell A., Wagner C., Wagner J-F., Ries JB. ۲۰۱۳b. Applicability of Different Hydraulic Parameters to Describe Soil Detachment in Eroding Rills. PloS one, ۸: ۱-۱۱.
Zhang G., Liu B., Nearing M., Huang C., Zhang K. ۲۰۰۲. Technical note: Soil detachment by shallow flow. Transaction of the American Society of Agricultural Engineers, ASAE, ۴۵: ۳۵۱-۳۵۷.

Abstract

Sediment sampling was conducted in three equal times and length sections and detachment rate was calculated. Furthermore, hydraulic parameters such as shear stress, unit stream power, stream power and frude number were also calculated. Results showed that the most correlation was obtained between frude number and soil detachment rate followed by shear stress, unit stream power and stream power respectively. In addition, regression equations revealed that the relationship between detachment rate and shear stress decreased by increasing rill length and there was no appropriate relationship in rill lengths more that ۱۳.۳۳ meter which may be due to the saturation of water flow by sediment load and inability of sediment transport attributed.