

تأثیر پوشش سنگریزه سطحی بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان‌های سطحی و آستانه تشکیل شیار با شبیه‌سازی رواناب در شرایط صحرائی

سارا کلبعلی^۱ - شجاع قربانی دشتکی^{۲*} - مهدی نادری^۳ - سلمان میرزائی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۰۴

چکیده

پوشش سنگریزه سطحی به‌طور مستقیم فرایندهای فرسایش خاک را به ویژه در مناطق کم‌آب و خشک که امکان استقرار پوشش گیاهی کم است، تحت تأثیر قرار می‌دهد. هدف از این پژوهش، بررسی اثر پوشش‌های مختلف سنگریزه سطحی بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان‌های سطحی و ویژگی‌های هندسی تشکیل شیار بود. به این منظور، ۳۶ کرت با طول و عرض به‌ترتیب ۲۰ و ۰/۵ متر در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد با شیب ۳ درصد احداث شد. سپس برای شروع آزمایش، پوشش سنگریزه‌ای به صورت تصادفی در سطح کرت‌ها پخش شد. در هر آزمایش پس از تنظیم جریان سطحی، رواناب سطحی از ابتدای کرت به سطح خاک وارد و آزمایش به مدت ۶۰ دقیقه پس از شروع رواناب ادامه یافت. تیمارها شامل چهار تراکم پوشش سنگریزه (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) و سه شدت جریان سطحی (۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در دقیقه) در سه تکرار بودند، که تحت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های هیدرولیکی جریان شامل عمق جریان، ضریب زبری مانینگ و تنش برشی جریان با افزایش پوشش سنگریزه‌ای سطحی در جریان‌های سطحی متفاوت به صورت خطی و به‌طور معنی‌داری افزایش و سرعت جریان سطحی به‌صورت نمایی و به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. مقایسه آماری اثر پوشش‌های مختلف سنگریزه بر ویژگی‌های هندسی شیار تشکیل شده در پوشش‌های مختلف سنگریزه سطحی نشان داد که تیمارهای فوق به‌طور معنی‌داری موجب کاهش زمان، تعداد و عمق شیارهای تشکیل شده شد.

واژه‌های کلیدی: پوشش سطحی، فرسایش و حفاظت خاک، ویژگی‌های هندسی شیار

مقدمه

فرسایش‌زا مشابه ایران حائز اهمیت است.

پوزن و لوی (۱۵) و آبراهامز و همکاران (۱) بیان کردند که پوشش سنگریزه با جلوگیری از برخورد قطرات باران با خاک‌دانه‌ها، کاهش تخریب فیزیکی خاک‌دانه‌ها و کند کردن سرعت جریان سطحی بر فرسایش خاک مؤثر می‌باشد. پوشش سنگریزه سطحی با جلوگیری از برخورد قطرات باران به سطح خاک سبب کاهش تشکیل سله و افزایش نفوذ آب به خاک می‌شود (۴، ۱۱ و ۱۲). پوشش سنگریزه سطحی بر هیدرولیک جریان‌های سطحی مؤثر بوده و با استقرار آن در سطح خاک خصوصیات هیدرولیکی جریان تغییر می‌کنند (۲ و ۱۵). محققین در زمینه هیدرولیک جریان سطحی اقدام به استفاده از معیارهای مختلف اعم از (۱) فاصله بحرانی کمربند بدون فرسایش هورتون (۲۲، ۲) شیب بحرانی و عدد فرود بحرانی (۲۰، ۳) سرعت برشی بحرانی (۶، ۴) تنش برشی بحرانی (۱۷)، قدرت جریان بحرانی (۲۷) نموده‌اند. در بین عوامل مختلف هیدرولیک جریان‌های سطحی، تنش برشی جریان بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفته است. پروسر و همکاران (۱۷) تنش برشی را برای بررسی کنش سطحی به

خاک‌های دارای پوشش سنگریزه سطحی در دنیا گستره وسیعی دارد به عنوان مثال در بعضی از نواحی مدیترانه پوشش سنگریزه‌ای اغلب بیش از ۶۰ درصد است (۱۶). خاک‌های حاوی سنگ و سنگریزه می‌تواند تأثیرات متنوع و مستمری بر ویژگی فیزیکی خاک، ویژگی‌های هیدرولوژیکی رواناب و میزان فرسایش داشته باشند. مطالعات متعدد سنگریزه سطحی را به عنوان یک عامل مهم در ایجاد زبری سطح خاک و متعاقب آن مؤثر در ویژگی‌های هیدرولوژیکی و فرسایش نشان داده‌اند (۲۵ و ۱۲). در این راستا، بررسی اثر پوشش سنگریزه سطحی بر ویژگی‌های هیدرولیکی و فرسایش خاک در کشورهای کم باران و یا دارای باران‌های دوره‌ای

۱، ۲، ۳ و ۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، دانشیار و دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

(Email: shoja2002@yahoo.com

*) نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jsw.v31i1.51812

تشکیل شیار مطالعه کم‌تری صورت گرفته است. افزون بر این، استفاده از پوشش سنگ‌ریزه سطحی برای حفاظت از سطح خاک در کشورهای کم‌باران، در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک (۱۰) و جلوگیری از فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار در مناطق خشک (۵) می‌تواند بسیار مفید باشد. هدف از این مطالعه بررسی تاثیر پوشش سنگ‌ریزه سطحی بر فاصله و زمان تشکیل شیار، خصوصیات هیدرولیکی جریان‌های سطحی و درک روابط بین دبی جریان‌های سطحی و پوشش سنگ‌ریزه‌ای می‌باشد.

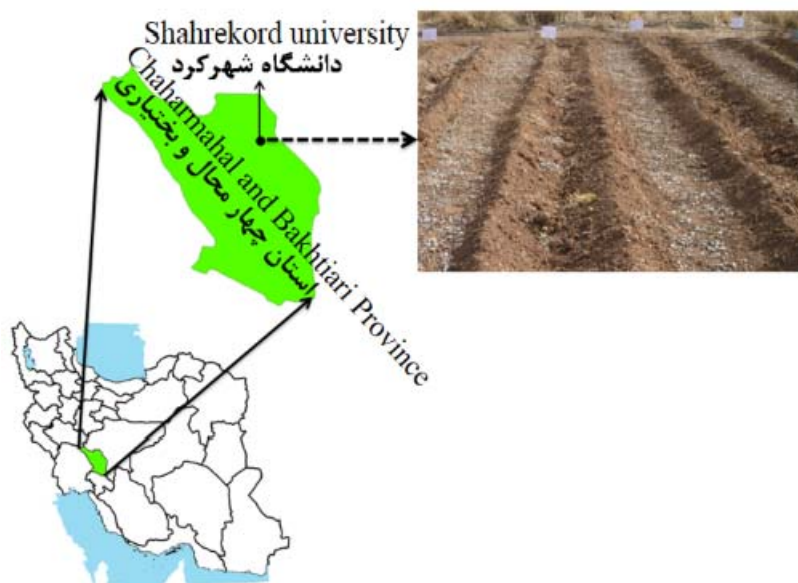
مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد با طول جغرافیایی $23^{\circ} 49'$ و عرض جغرافیایی $18^{\circ} 21'$ در شهرستان شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری انجام شد (شکل ۱). میانگین بارندگی سالانه در شهرکرد ۳۲۱ میلی‌متر و میانگین دما $11/5$ درجه سانتی‌گراد است. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مرتبط به تحقیق نظیر بافت به روش هیدرومتری (۷)، چگالی ظاهری خاک بوسیله استوانه ی فلزی (۳)، واکنش خاک (pH) در سوسپانسیون ۱:۵ خاک و محلول $0/01$ مولار کلرید کلسیم به وسیله pH متر، شوری خاک به وسیله EC متر و کربن آلی به روش والکلی و بلک (۲۳)، اندازه‌گیری شد.

کار گرفتند. زانگ و همکاران (۲۸) جدا شدن ذرات خاک توسط جریان کم عمق سطحی را با استفاده از تنش برشی بررسی کردند. یائو (۲۶) گزارش کرد که تنش برشی مهمترین شاخص هیدرولیکی موثر در شکل‌گیری انواع فرسایش آبی در خاک‌ها می‌باشد.

ایده تشکیل شیار اولین بار توسط هورتون در سال ۱۹۴۵ ارائه شد (۲۶). توری و همکاران (۲۴) تشکیل شیار را به صورت شیار با طول حداقل ۵ متر، عمق $0/5$ متر، و عرض ۲ الی ۳ سانتی‌متر تعریف کردند. با تداوم مطالعات، مشخص شد که آستانه تشکیل شیار وابسته به الگوهای جریان و مورفولوژی سطح خاک است و الگوی تشکیل شیار و مورفولوژی سطح مستقل از هم نیستند (۱۴). یائو و همکاران (۲۶) نشان دادند که با افزایش شیب و شدت بارندگی فاصله تشکیل شیار کاهش می‌یابد و تاثیر شیب بیش‌تر از شدت بارندگی می‌باشد.

ریبک‌زپ و همکاران (۱۸) گزارش کردند که فرم شیار تشکیل شده در خاک‌هایی با پوشش سنگ‌ریزه سطحی به علت افزایش زبری هیدرولیکی، نسبت به خاک بدون پوشش کم عمق و عریض‌تر می‌باشد و پیشروی رأس شیار با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ای کاهش یافت. میرزائی و همکاران (۱۳) نیز طی تحقیقی در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از یک فلوم شش در نیم متر نشان دادند که پوشش سنگ‌ریزه سطحی با افزایش زبری سطح خاک موجب شد زمان و مکان تشکیل شیار با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی خاک افزایش یابد. اکثر این مطالعات روی خاک بدون پوشش و پس از تشکیل شیار انجام شده و در ارتباط با اثر پوشش سطحی در آستانه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و یک نمونه کرت آزمایشی
Fig. 1- Location of study area and a sample of experimental plot

قطر سنگریزه‌ها به طور متوسط ۷ سانتی‌متر بود. در هر آزمایش پس از تنظیم جریان سطحی، رواناب سطحی از ابتدای کرت به سطح خاک وارد و آزمایش به مدت ۶۰ دقیقه پس از شروع رواناب ادامه یافت (شکل ۲). در روش اندازه‌گیری سرعت جریان، زمان لازم برای پیمایش طول مسیر توسط جریان یادداشت شد. اندازه‌گیری سرعت جریان از فاصله ۳۰-۴۰ سانتی‌متری ابتدای کرت آغاز و بعد از طی طول شیار خاتمه می‌یافت. همچنین، ثبت زمان نهایی برای نقطه پایان مقطع موقعی صورت گرفت که ۸۰ تا ۹۰ درصد عرض جریان حاوی ماده رنگی در انتهای کرت باشد (شکل ۲) (۸). ماده رنگی پرمگنات پتاسیم بود. در نهایت سرعت متوسط در مجاورت بستر خاک (متر در ثانیه)، از ضرب ضریب ۰/۶۷ در سرعت متوسط جریان سطحی به دست آمد. در طول آزمایش، پس از شروع رواناب در فواصل زمانی ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه عمق رواناب و ویژگی‌های هندسی شیارهای تشکیل شده با یک خط کش اندازه‌گیری شد.

ویژگی‌های هیدرولیکی جریان‌های سطحی براساس اطلاعات اولیه اندازه‌گیری شده محاسبه شدند. روش محاسبه و معادلات مورد استفاده به شرح جدول (۱) است.

برای بررسی اثر پوشش سنگریزه سطحی بر ویژگی‌های هیدرولیکی و آستانه تشکیل شیار ۳۶ کرت در شیب ثابت ۳ درصد احداث شد. از آنجایی که مناسب‌ترین طول کرت ۲۰ متر می‌باشد (۱۹) طول هر کرت ۲۰ متر و برای سرعت بخشیدن به انجام آزمایشات و دقت در اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی جریان از جمله سرعت رواناب و عوارض سطحی، عرض کرت‌ها نیم متر در نظر گرفته شد. سپس برای شروع آزمایش، پوشش سنگریزه‌ای بصورت تصادفی در سطح کرت‌ها پخش شد (شکل ۱). در ابتدا و انتهای کرت‌ها به ترتیب تاسیسات تولید و جمع‌آوری رواناب نصب شد. سپس خاک به مدت لازم (آستانه تشکیل رواناب) با استفاده از باران‌سازهای آبیاری بارانی اشباع شد. بعد از اشباع شدن خاک، جریان‌های سطحی با مقادیر مختلف وارد کرت‌ها شد و روابط بین جریان‌های سطحی و پوشش‌های سنگریزه‌ای بررسی شد. در پژوهش حاضر، آزمایش‌ها در چهار سطح مختلف پوشش سنگریزه‌ای، شامل خاک بدون پوشش (به عنوان شاهد)، ۱۰ درصد، ۲۰ درصد، ۳۰ درصد پوشش سنگریزه و رواناب در سه تراکم ۲/۵، ۵ و ۷/۵ لیتر در دقیقه با سه تکرار تحت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) مورد آزمون قرار گرفت.



شکل ۲- الف) یک کرت آزمایشی ب) اندازه‌گیری سرعت جریان
Fig. 2- a) An experimental plot and b) Measuring flow velocity

استفاده از روش استاندارد تحلیل واریانس صورت گرفته و مقایسه میانگین داده‌های هیدرولیکی جریان و آستانه تشکیل شیار با استفاده از آزمون دانکن انجام شد. از روابط رگرسیونی نیز به منظور بررسی رابطه بین پوشش سنگریزه‌ای و خصوصیات هیدرولیکی جریان و

پیش از انجام تجزیه و تحلیل، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی و در صورت لزوم از تبدیل مناسب برای نرمال نمودن آنها استفاده شد. تحلیل داده‌های مربوط به ویژگی‌های هیدرولیکی جریان و آستانه تشکیل شیار با

آستانه تشکیل شیار استفاده شد. برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار Statistica 8 استفاده شد.

جدول ۱- توصیف ویژگی‌های هیدرولیکی جریان‌های سطحی

Table 1- Descriptive of hydraulic parameters of surface flows

شاخص هیدرولیکی جریان *Flow hydraulic index	معادله Equation
سرعت متوسط جریان Mean flow velocity	$V_m = XT^{-1}$
سرعت در مجاورت بستر خاک Flow velocity near bed surface	$V = aV_m$
ضریب زبری مانینگ Manning's n	$n = V^{-1} D^{0.667} S^{0.5}$
متوسط تنش برشی جریان Mean shear stress	$\tau = \rho g D S$
عمق جریان Flow depth	$D = qV^{-1}$

* V_m سرعت متوسط جریان (متر در ثانیه)، X مسافت (متر)، T زمان (ثانیه) مسافت طی شده به وسیله آب، V سرعت در مجاورت بستر خاک (متر در ثانیه)، a ضریبی برابر با 0.67 ، g شتاب ثقل (متر در مجذور ثانیه)، D عمق متوسط جریان (سانتی‌متر)، n ضریب زبری مانینگ، S شیب سطح آب (متر در متر)، τ تنش برشی جریان (پاسکال)، ρ چگالی سیال (کیلوگرم بر مترمکعب) و q دبی در واحد عرض (متر مربع بر ثانیه) می‌باشد.

* V_m is mean flow velocity ($m s^{-1}$), T is time (s) distance traveled, V is velocity in soil surface ($m s^{-1}$), a is 0.67 , g is acceleration of gravity ($m s^{-2}$), D is mean flow depth (cm), n is maning coefficient, S slope of water surface ($m m^{-1}$), τ is shear stress (Pa), ρ is fluid density ($kg m^{-3}$) and q is discharge in with unit ($m^2 s$).

نتایج و بحث

جدول (۲) ارائه شده است. کلاس بافتی خاک مورد مطالعه رسی و چگالی ظاهری آن $1/38$ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مطالعه شده

Table 2- Some physical and chemical properties of studied soil

شن سیلت رس			کلاس بافت	pH	OM (%)	EC (dSm^{-1})	چگالی ظاهری ($g cm^{-3}$)
(%)	(%)	(%)					
Clay	Silt	Sand	Texture class				Bulk density ($g cm^{-3}$)
(%)	(%)	(%)					
56	31	13	رسی clay	7.5	0.28	0.47	1.38

است که سرعت جریان در پوشش‌های مختلف سنگ‌ریزه سطحی و در جریان‌های سطحی مطالعه شده با هم متفاوت بوده است. مقایسه میانگین بین پوشش‌های سنگ‌ریزه در جریان‌های سطحی مختلف برای ویژگی‌های هیدرولیکی در جدول (۴) نشان داده شده است. پوشش سنگ‌ریزه ۱۰ درصد در مقایسه با تیمار شاهد اثر معنی‌داری بر عمق جریان نداشت، اما پوشش سنگ‌ریزه‌ای ۲۰ و ۳۰ درصد اثر معنی‌داری بر افزایش عمق جریان داشت. با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سرعت جریان سطحی کاهش یافت و کم‌ترین سرعت جریان مربوط پوشش سنگ‌ریزه ۳۰ درصد بود (جدول ۴).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳)، نشان داد که پوشش‌های مختلف سنگ‌ریزه سطحی بر ویژگی‌های هیدرولیکی عمق جریان، سرعت جریان، ضریب زبری مانینگ و تنش برشی جریان در سطح احتمال $0/001$ اثر معنی‌داری داشت. بین تیمارهای جریان سطحی به غیر از ضریب زبری مانینگ در بقیه ویژگی‌های هیدرولیکی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال $0/001$ مشاهده شد (جدول ۳). هم‌چنین، اثر متقابل پوشش سنگ‌ریزه سطحی در ویژگی‌های جریان‌های سطحی به جز سرعت جریان برای بقیه ویژگی‌های هیدرولیکی معنی‌دار نشد. معنی‌دار بودن درصدهای مختلف پوشش سنگ‌ریزه سطحی و سرعت جریان نشان دهنده این

جدول ۳- تجزیه واریانس ویژگی‌های هیدرولیکی در پوشش‌های متفاوت سنگریزه و جریان‌های سطحی

Table 3- Variance analysis of hydraulic properties in different rock fragment covers and surface flows

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree freedom	میانگین مربعات Mean square			
		عمق جریان (cm) Flow depth	سرعت جریان (cm s ⁻¹) flow velocity	ضریب زبری مانینگ Manning's n	تنش برشی جریان (Pa) Flow shear stress
پوشش سنگریزه Rock fragment cover	3	1.623***	2.290***	1.904***	0.119***
جریان سطحی Surface flow	2	1.768***	0.464***	0.428 ^{ns}	0.169***
پوشش سنگریزه × جریان سطحی Rock fragment cover × Surface flow	6	0.077 ^{ns}	0.227**	0.208 ^{ns}	0.006 ^{ns}
خطا Error	24	0.065	0.042	0.219	0.005

***، **، *، ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار

سنگریزه ۲۰ درصد معنی‌دار شد ولی در پوشش سنگریزه ۳۰ درصد بین جریان‌های سطحی مختلف اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۳). با این وجود، مناسب‌ترین پوشش سنگریزه برای کاهش سرعت جریا-های سطحی ۲/۵ و ۵ لیتر در دقیقه ۲۰ درصد و برای جریان سطحی ۷/۵ لیتر در دقیقه ۳۰ درصد بود.

میزان ضریب زبری مانینگ با افزایش پوشش سنگریزه سطحی افزایش یافت به طوری که بیش‌ترین ضریب زبری مانینگ (۱/۱۰۱) برای پوشش سنگریزه ۳۰ درصد و کم‌ترین آن (۰/۰۷۷) برای پوشش سنگریزه صفر درصد حاصل شد. اختلاف معنی‌داری بین پوشش سنگریزه صفر با ۱۰ درصد و ۲۰ با ۳۰ درصد از لحاظ ضریب زبری مانینگ مشاهده نشد، اما بین پوشش سنگریزه ۱۰ و ۲۰ درصد اختلاف معنی‌داری از لحاظ ضریب زبری مانینگ وجود داشت (جدول ۴).

بین پوشش‌های سنگریزه سطحی، جریا‌های سطحی و اثر متقابل آنها از لحاظ سرعت جریان اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱ وجود داشت (جدول ۳). اثر متقابل بین پوشش‌های سنگریزه و جریان‌های سطحی بر سرعت جریان در شکل (۳) ارائه شده است. بیش‌ترین سرعت جریان (۱/۲۶ سانتی‌متر در ثانیه) مربوط به تیمار جریان سطحی ۷/۵ لیتر در دقیقه و پوشش سنگریزه صفر درصد و کم‌ترین سرعت جریان (۰/۱۱۶ سانتی‌متر در ثانیه) مربوط به تیمار جریان سطحی ۲/۵ لیتر در دقیقه و پوشش سنگریزه ۲۰ درصد بود. تغییرات سرعت جریان بین جریان‌های سطحی مختلف در پوشش سنگریزه صفر درصد اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۳). اختلاف سرعت جریان در جریان سطحی ۲/۵ لیتر در دقیقه با ۵ و ۷/۵ لیتر در دقیقه با پوشش سنگریزه ۱۰ درصد و جریان‌های سطحی ۲/۵ و ۵ لیتر در دقیقه با ۷/۵ لیتر در دقیقه با پوشش

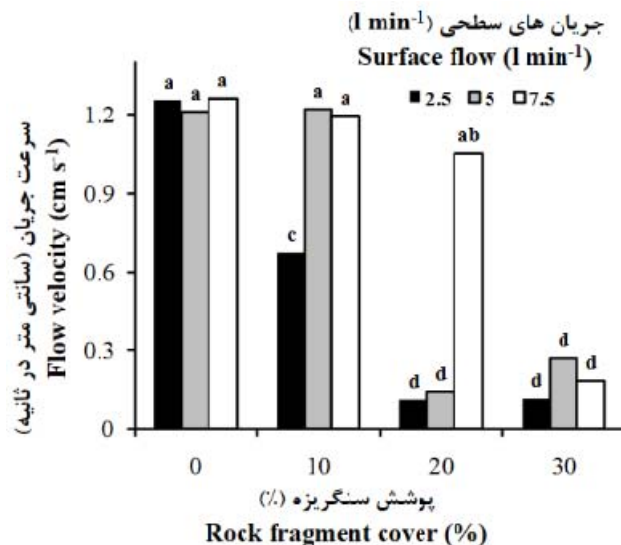
جدول ۴- مقایسه میانگین ویژگی‌های هیدرولیکی جریان در تیمارهای پوشش سنگریزه

Table 4- Mean comparison of flow hydraulic properties in rock fragment cover treatment

پوشش سنگریزه Rock fragment cover	ویژگی‌های هیدرولیکی Hydraulic properties			
	عمق جریان (cm) Flow depth	سرعت جریان (cm s ⁻¹) Flow velocity	ضریب زبری مانینگ Manning's n	تنش برشی جریان (Pa) Flow shear stress
0	0.738 ^c	1.255 ^a	0.077 ^b	0.226 ^c
10	0.964 ^c	1.029 ^b	0.283 ^b	0.274 ^c
20	1.300 ^b	0.437 ^c	0.740 ^a	0.394 ^b
30	1.713 ^a	0.171 ^d	1.101 ^a	0.479 ^a

*مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۰/۰۵ انجام گرفت

* comparison of means were done usind Duncan test in 0.05 level



شکل ۳- اثر متقابل پوشش‌های سنگ‌ریزه و جریان‌های سطحی متفاوت بر سرعت جریان
 Fig. 3- Interaction of different rock fragment cover and surface flow on flow velocity

تنش برشی جریان (پاسگال) و سرعت جریان (سانتی‌متر در ثانیه)، و a و b ضرایب ثابت معادله می‌باشند. مقادیر ضرایب مدل‌های فوق در جدول (۵ و ۶) برای جریان‌های سطحی مختلف ارائه شده است. ضرایب معادله رگرسیونی نشان داد که در تمامی جریان‌های سطحی، شیب خط (b) برای سرعت جریان منفی و به صورت نمائی (شکل ۴) است که این امر موید کاهش مقدار سرعت جریان با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ای است. در این زمینه نتایج پوزن و همکاران (۱۶) و تیلانق و همکاران (۲۱) نیز نشان داد که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی سرعت جریان کاهش یافت.

همان‌طور که شکل (۴) نشان می‌دهد، با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی مقادیر ضریب زبری مانینگ و تنش برشی جریان به صورت خطی افزایش یافت. ریک‌زپ و همکاران (۱۸) بیان کردند که پوشش سنگ‌ریزه سطحی زبری و اصطکاک سطح خاک را افزایش و سرعت جریان سطحی را کاهش می‌دهد. پوزن و همکاران (۱۶) و تیلانق و همکاران (۲۱) نیز به ترتیب در مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی گزارش کردند که پوشش سنگ‌ریزه سطحی به دلیل کاهش دادن سرعت جریان و افزایش عمق آب، زبری سطح خاک و تنش برشی جریان را افزایش می‌دهد.

دلیل عدم اختلاف معنی‌داری بین پوشش سنگ‌ریزه صفر با ۱۰ درصد و ۲۰ تا ۳۰ درصد از لحاظ ضریب زبری مانینگ را می‌توان اینگونه بیان کرد که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ای سرعت کاهش و عمق جریان افزایش یافته که به نوعی اثر همدیگر خنثی کرده‌اند. براساس نتایج جدول (۴) پوشش سنگ‌ریزه ۲۰ و ۳۰ درصد اثر معنی‌داری بر تنش برشی جریان داشت به طوری که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه به دلیل افزایش عمق آب تنش برشی جریان افزایش یافت. بررسی رابطه بین پوشش سنگ‌ریزه با مقادیر ویژگی‌های هیدرولیکی نشان داد که از بین روابط رگرسیونی، روابط خطی به‌خوبی مقدار عمق جریان، ضریب زبری مانینگ و تنش برشی جریان و روابط توانی تغییرات مقدار سرعت جریان را در مقابل تغییرات پوشش سنگ‌ریزه پیش‌بینی می‌کند. بنابراین، می‌توان از معادلات زیر به منظور پیش‌بینی تغییرات ویژگی‌های هیدرولیکی جریان در مقابل تغییرات پوشش سنگ‌ریزه، برای هر جریان سطحی استفاده کرد:

$$D, n, \tau = a + b(Rc) \quad (1)$$

$$V = ae^{b(Rc)} \quad (2)$$

که در آن: Rc پوشش سنگ‌ریزه‌ای سطحی (درصد)، D، n، τ و V به ترتیب عمق جریان (سانتی‌متر)، ضریب زبری مانینگ،

جدول ۵- ضرایب رابطه عمق و سرعت جریان با پوشش‌های سنگ‌ریزه در جریان‌های سطحی

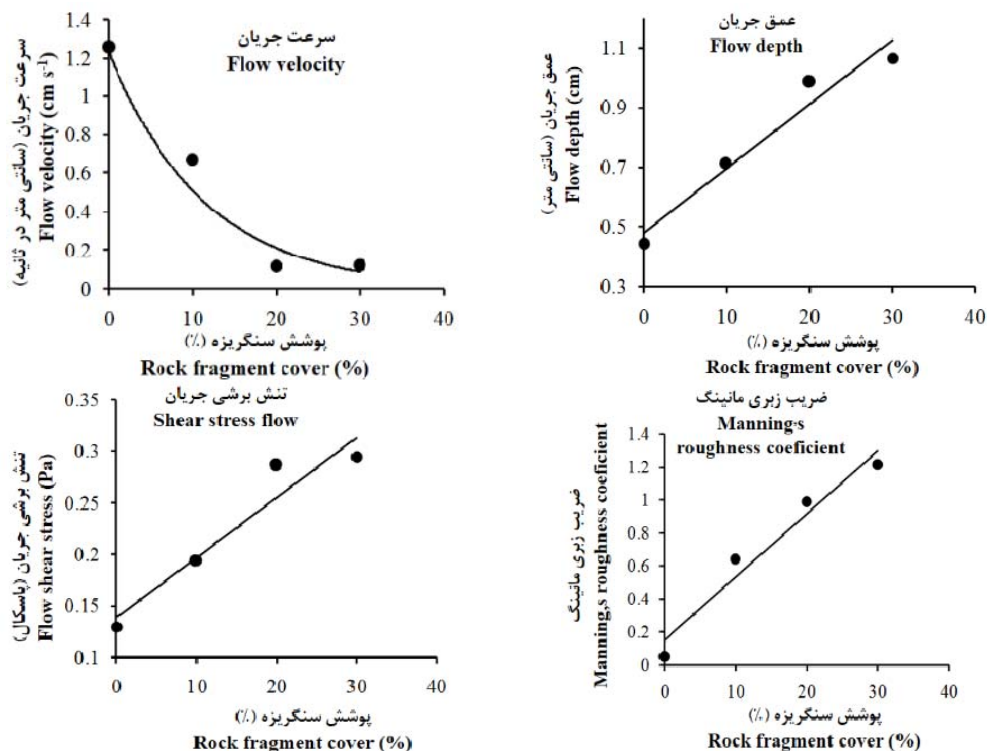
Table 5- Coefficients of relationship flow depth and velocity with rock fragment cover in surface flows

جریان‌های سطحی Surface flows (L min ⁻¹)	عمق جریان Flow depth				سرعت جریان Flow velocity			
	a _R	b _R	RMSE	R ²	a _S	b _S	RMSE	R ²
2.5	0.477	0.022	0.075	0.931	1.279	-0.082	0.123	0.948
5.0	0.634	0.036	0.153	0.897	1.335	-0.051	0.352	0.654
7.5	0.872	0.044	0.070	0.985	1.395	-0.031	0.367	0.465

جدول ۶- ضرایب رابطه ضریب زبری مانینگ و تنش برشی جریان با پوشش‌های سنگریزه

Table 6- Coefficients Manning's n and Flow shear stress with rock fragment cover

جریان‌های سطحی Surface flows (L min ⁻¹)	ضریب زبری مانینگ Manning's n				تنش برشی جریان Flow shear stress			
	a _R	b _R	RMSE	R ²	a _S	b _S	RMSE	R ²
2.5	0.149	0.038	0.139	0.935	0.138	0.006	0.027	0.879
5.0	0.002	0.039	0.131	0.722	0.205	0.009	0.041	0.884
7.5	0.005	0.028	0.315	0.542	0.290	0.012	0.033	0.952



شکل ۴. تأثیر پوشش سنگریزه بر ویژگی‌های هیدرولیکی در جریان سطحی ۲/۵ لیتر در دقیقه

Fig. 4. Effect of rock fragment cover on hydraulic properties in surface flow 2.5 L min⁻¹

را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از جدول (۸)، اختلاف معنی‌دار از لحاظ زمان تشکیل شیار بین تیمارهای پوشش سنگریزه ۱۰ و ۲۰ درصد با تیمار شاهد نداشت اما پوشش سنگریزه ۳۰ درصد اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد در سطح ۵ درصد نشان داد. همان‌گونه که جدول (۸) نشان می‌دهد تعداد شیار تشکیل شده به طور معنی‌داری با افزایش پوشش سنگریزه سطحی کاهش یافت. روند تغییرات عمق شیار تشکیل شده با افزایش پوشش سنگریزه سطحی مشابه زمان تشکیل شیار بود. پوشش سنگریزه ۳۰ درصد از لحاظ عمق تشکیل شیار اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد در سطح ۵ درصد نشان داد (جدول ۸). تاخیر در آستانه تشکیل شیار برای مناطقی نظیر استان چهارمحال و بختیاری که دارای رگبارهای کوتاه مدت و رواناب‌های مقطعی هستند بسیار با اهمیت می‌باشد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر پوشش‌های سنگریزه سطحی مطالعه شده روی ویژگی‌های شیار تشکیل شده در جدول (۷) ارائه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که بین تیمارهای پوشش‌های سنگریزه و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) برای زمان تشکیل، تعداد و عمق شیار تشکیل شده وجود داشت. میزان جریان‌های سطحی مختلف نیز در سطح ۵ درصد برای مکان، سطح ۱ درصد برای طول و سطح ۰/۱ درصد برای عرض و سطح ۵ درصد برای عمق شیار تشکیل شده معنی‌دار بود (جدول ۷). هم‌چنین، اثر متقابل پوشش سنگریزه سطحی × جریان‌های سطحی معنی‌دار نشدند.

جدول (۸) چگونگی تأثیر پوشش سنگریزه سطحی و جریان‌های سطحی متفاوت را بر ویژگی‌های شیار تشکیل شده در طول آزمایش

جدول ۷- تجزیه واریانس ویژگی شیار تشکیل شده در پوشش‌های متفاوت سنگ‌ریزه و جریان‌های سطحی
Table 7- Variance analysis of rill properties in different rock fragment covers and surface flows

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی Degree freedom	میانگین مربعات Mean square					
		زمان (min) Time	مکان (m) Location	تعداد Number	طول (cm) Length	عرض (cm) Width	عمق (cm) Depth
پوشش سنگ‌ریزه Rock fragment cover	3	2738.3*	42.3 ^{ns}	10.25*	439.4 ^{ns}	9.41 ^{ns}	0.680*
جریان سطحی Surface flow	2	708.6 ^{ns}	89.0*	3.11 ^{ns}	2174.1**	60.1***	1.002*
پوشش سنگ‌ریزه × جریان سطحی Rock fragment cover × Surface flow	6	416.1 ^{ns}	32.4 ^{ns}	3.22 ^{ns}	214.0 ^{ns}	8.21 ^{ns}	0.127 ^{ns}
خطا Error	24	449.8	20.8	2.64	274.7	5.13	0.189

ns, **, *, ns به ترتیب معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۵ و غیر معنی‌دار
***, **, *, ns is 0.001, 0.01, 0.05 and non-significantly, respectively

سطحی مختلف نیز در سطح ۵ درصد برای مکان، سطح ۱ درصد برای طول و سطح ۰/۱ درصد برای عرض و سطح ۵ درصد برای عمق شیار تشکیل شده معنی‌دار بود.

پوشش سنگ‌ریزه سطحی در کاهش فرسایش خاک در شرایطی که استقرار پوشش گیاهی امکان پذیر نمی‌باشد مانند خاک‌های مسئله‌دار (خیلی شور، قلیائی، اسیدی و ...)، اهمیت زیادی دارد. پیشنهاد می‌شود که مطالعه‌ای مشابه در خاک‌های مختلف و جریان‌های سطحی متفاوت برای ارتقاء حفاظت خاک و مدیریت بهینه اراضی انجام گیرد.

بر اساس مطالعاتی که ریبک‌زپ و همکاران (۱۸)، روی تاثیر پوشش سنگ‌ریزه بر ویژگی‌های هیدرولیکی در خاک لوم سیلتی با استفاده از فلوم آزمایشگاهی انجام دادند، نتیجه گرفتند که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه عمق شیار تشکیل شده در خاک‌هایی با پوشش سنگ‌ریزه سطحی به علت افزایش زبری هیدرولیکی کاهش و پیشروی رأس شیار با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ای کاهش یافت. همچنین، میرزائی و همکاران (۱۳) نیز نشان دادند که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی زبری سطح خاک و تنش‌برشی جریان افزایش و مکان تشکیل شیار کاهش یافت.

جدول ۸- مقایسه میانگین ویژگی شیار تشکیل شده در تیمارهای پوشش سنگ‌ریزه

Table 8- Mean comparison of rill properties in rock fragment cover treatment

پوشش سنگ‌ریزه Rock fragment cover	ویژگی‌های شیار Rill properties		
	زمان (min) Time	تعداد Number	عمق (cm) Depth
0	13.60 ^b	4.1 ^a	1.215 ^a
10	22.59 ^b	3.2 ^{ab}	1.253 ^a
20	33.28 ^b	2.1 ^b	1.020 ^{ab}
30	54.11 ^a	1.7 ^b	0.652 ^b

نتیجه‌گیری کلی
با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که پوشش سنگ‌ریزه سطحی خصوصیات هیدرولیکی جریان‌های سطحی را تحت تاثیر قرار داد به طوری که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی عمق جریان، ضریب زبری مانینگ و تنش‌برشی جریان به طور معنی‌دار افزایش و مقدار سرعت جریان به طور معنی‌داری کاهش یافت. سرعت جریان با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی از صفر به ۳۰ درصد به صورت نمائی کاهش و عمق جریان، ضریب زبری مانینگ و تنش‌برشی جریان به صورت خطی افزایش یافت. بررسی ویژگی‌های شیار تشکیل شده در پوشش‌های متفاوت سنگ‌ریزه سطحی و جریان‌های سطحی نشان داد که بین تیمارهای پوشش‌های سنگ‌ریزه و تیمار شاهد اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) برای زمان تشکیل، تعداد و عمق شیار تشکیل شده وجود داشت. میزان جریان‌های

1. Abrahams A.D., Li G., Krishnan C., and Atkinson J.F. 2001. A sediment transport equation for interrill overland flow on rough surfaces. *Earth Surf. Process Landf*, 26: 1443–1459.
2. Agassi M., and Levy G.J. 1991. Stone-cover and rain intensity: effects on infiltration, erosion and water splash. *Aust. J. Soil Res*, 29: 565–575.
3. Blake G.R., and Hartge K.H. 1986. Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Methods, Monograph Number 9 (Second Edition)*. American Society of Agronomy, pp. 363–375.
4. Cerda A. 2001. Effects of rock fragment cover on soil infiltration, interrill runoff and erosion. *Eur. J. Soil Sci*, 52: 59–68.
5. Fryear D.W. 1985. Soil cover and wind erosion. *Trans. ASAE*. 28(3): 781-784.
6. Govers G. 1985. Selectivity and transport capacity of thin flow in relation to rill erosion. *Catena*, 12: 35-49.
7. Gee G.H., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: A. Klute, (ed). *Methods of soil Analysis. Physical Properties*. SSSA, 9: 383–411.
8. Gilley J.E., Elliot W.J., Laflen J.M., and Simanton J.R. 1993. Critical shear stress and critical flow rates for initiation of rilling. *Journal of Hydrology*, 142: 251–271.
9. Lavee H., and Poesen J. 1991. Overland flow generation and continuity on stone-covered soil surfaces. *Hydrol. Process*, 5: 345–360.
10. Li X.Y., and Liu L.Y. 2003. Effect of gravel mulch on Aeolian dust accumulation in the semiarid region of northwest China. *Soil Tillage Res*, 70: 73-81.
11. Mandal U.K., Rao K.V., Mishra P.K., Vittal K.P.R., Sharma K.L., Narsimlu B., and Venkanna K. 2005. Soil infiltration, runoff and sediment yield from a shallow soil with varied stone cover and intensity of rain. *Eurpan Journal of Soil Science*, 56: 435–443.
12. Martinez-Zavala L., Jordan A., Bellinfante N., and Gil J. 2010. Relationships between rock fragment cover and soil hydrological response in a Mediterranean environment. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56: 95–104.
13. Mirzaee S., Gorji M., and Jafari ardakani A. 2012. Effect of rock fragments on distance of rill erosion initiation and overland hydraulics. *International Journal of soil science*, 7(3): 100-107.
14. Nearing M.A., Bradford J.M., and Parker S.C. 1991. Soil detachment by shallow flow at low slopes. *Soil Science. Am. J*, 55: 339-344.
15. Poesen J., and Lavee H. 1994. Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*, 23: 1-28.
16. Poesen J., Ingelmo-Sanchez F., and Mucher H. 1990. The hydrological response of soil surfaces to rainfall as affected by cover and position of rock fragments in the top layer. *Earth Surf. Process Landf*, 15: 653-671.
17. Prosser I.P., Dietrich W.E., and Stevenson J. 1995. Flow resistance and sediment transport by concentrated flow in a grassland vally. *Geomorphology*, 13: 73-86.
18. Rieke-Zapp D., Poesen J., and Nearing M.A. 2007. Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion. *Earth Surf. Process Landf*, 32: 1063–1076.
19. Sadeghi HR., Bashari Seghaleh M., and Rangavar AS. 2008. Comparing the sediment variation with hillside direction and plot length in storm wise soil erosion. *Journal of water and soil*, 22(2): 230-239. (In Persian with English abstract)
20. Savat J., and De Ploy, J. 1982. Sheetwash and rill development by surface flow. Chapter 6 I: Bryan, R, B and Yair, A. (eds): *Badland Geomorphology and Piping*.
21. Tailong G., Qianjiu W.D., and Li J.Z. 2010. Effect of surface stone cover on sediment and solute transport on the slope of fallow land in the semi-arid loess region of northwestern China. *Soils Sediments*, 10: 1200-1208.
22. Tonon I. 1999. Thresholds for incipient rilling and particle entainment, Unpub. Utrecht University.
23. Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid method. *Soil Science Society of America Journal*, 79: 459–465.
24. Torri D., Sfalaga M., and Sette M.D. 1987. Splash detachment: Runoff depth and soil cohesion. *Catena*, 14(1-3): 149-155.
25. Wang X., Li Z., Cai C., Shi Z., Xu Q., Fu Z., and Guo Z. 2012. Effects of rock fragment cover on hydrological response and soil loss from Regosols in a semi-humid environment in South-West China. *Geomorphology*, 151-152: 234–242.
26. Yao C., Lei T., Elliot W.J., McCool D.K., Zhao J., and Chen S. 2007. Critical Conditions for Rill Initiation. *Soil & Water Division of ASAE*. SW, 70-56.
27. Yu B. 2003. A Unified Framework For Water Erosion And Deposition Equations. *Soil Science Society of America Journal*, 67(1): 251-257.
28. Zang G.H., Liu B.Y., Nearing M.A., Hang C.H., and Zand K.L. 2002. Soil detachment by shallow flow. *Trans. ASAE*, 45: 331-357.

Effect of Rock Fragment Cover on Hydraulics Properties of Surface Flows and Rill Initiation with Simulating Runoff under Natural Conditions

S. Kalbali¹- Sh. Ghorbani Dashtaki^{2*}- M. Naderi³- S. Mirzaee⁴

Received: 13-12-2015

Accepted: 25-09-2016

Introduction: Rock fragments on soil surfaces can also have several contrasting effects on the hydraulics of overland flow and soil erosion processes. Many investigators have found that a cover of rock fragments on a soil surface can decrease its erosion potential compared to bare soil surface (1, 12 and 18). This has mainly been attributed to the protection of the soil surface by rock fragments against the beating action of rain. This leads to a decrease in the intensity of surface sealing, an increase in the infiltration rate, a decrease in the runoff volume and rate, and, hence, a decrease in sediment generation and production for soils covered by rock fragments. Parameters that have been reported to be important for explaining the degree of runoff or soil loss from soils containing rock fragments include the position and size (15), geometry (18), and percentage cover (11 and 12) of rock fragments and the structure of fine earth (16). Surface rock fragment cover is a more important factor for hydraulic properties of surface flows such as flow depth, flow velocity, Manning's roughness coefficient (n parameter) and flow shear stress and geometrics properties of formed rill such as time, location, number, length, width and depth of rill. Surface rock fragment cover is directly affected soil erosion processes in dry area specially in areas that plant can not grow because of severe dryness and salinity. Also, Surface rock fragment prevent the contact of rain drops to aggregates, decreasing physical degradation by decreasing flow velocity. The objective of this study was to investigate the effect of different surface rock fragment cover on hydraulic properties of surface flows and geometrics properties of formed rill.

Materials and Methods: For this purpose, 36 field plots of 20 meter length and 0.5 meter width with 3% slope were established in research field of agricultural faculty, Shahrekord University. Before each erosion event, topsoil was tilled and smoothed with hand tools to remove soil irregularities and soil sealing, update aggregates which come from deeper soil. Then, for beginning the experiment, surface rock fragment cover is scattered randomly on plot surface. Experiment equipment such as collecting the runoff systems installed at the end of plots. In each experiment after setting the surface flow, surface runoff inter to soil surface and testing continued for 60 minutes after starting runoff. Flow velocity was measured using a dye-tracing technique (potassium permanganate) and depth, width and length of rill were measured using a ruler. Treatments were including four level rock fragment cover (0, 10, 20 and 30%) and three rate runoff (2.5, 5 and 7.5 L min⁻¹) with three replications that experiments were done in a factorial with randomized complete block design. Surface runoff samples were oven-dried and weighed to determine sediment loads. Sediment concentration was determined as the ratio of dry sediment mass to runoff volume, while the erosion rate was calculated as the sediment yield per unit area per period of time.

Results and Discussion: The results of this study showed that surface rock fragment cover plays an important role in water distribution. Based on the results, the positive effects of rock fragment cover on Manning's n and the negative effect on flow velocity. Increasing surface rock fragment cover increased hydraulic properties such as flow depth, Manning's n and flow shear stress significantly ($p < 0.05$) as linearity. Also, increasing surface rock fragment cover decreased flow velocity exponentially. Statistically comparison of effect different rock fragment cover on geometrics properties of rill indicated that increasing surface rock fragment cover decreased time, number, depth of the formed rill significantly ($p < 0.05$). However, increasing surface rock fragment no effect statistically on location, length and width of rill.

Conclusion: The results of this study showed that increasing of surface rock fragment cover is affected hydraulic properties of surface flows and geometrics properties of formed rill. Threshold rill formation was delayed with increasing surface rock fragment cover. This delay of rill formation is very important for areas such as Charmahal va Bakhtiari that has short-term rainstorms and cross-sectional runoff.

These findings have implications for soil water conservation and soil erosion modeling under semi-humid

1, 2, 3 and 4- M.Sc. student, Professor, Associate Professor and PhD Student of Soil Science Department, Shahrekord University, Iran

(* - Corresponding Author Email: shoja2002@yahoo.com)

climatic conditions. Similar soils to these studied here are widespread in Shahrekord region, and therefore, these conclusions can be applied widely.

Keywords: Geometric properties of rill, Soil erosion and conservation, Surface cover