

## بررسی آزمایشگاهی اثر پوشش سنگریزه سطحی بر ضریب زبری، تنش برشی و تلفات خاک

فرخ اسدزاده<sup>1</sup>، سلمان میرزایی<sup>2</sup>، منوچهر گرجی<sup>3</sup>، علی جعفری اردکانی<sup>4</sup>

(تاریخ دریافت: 1392/05/06 تاریخ پذیرش: 1393/03/19)

### چکیده

شرایط سطح خاک مانند زبری، ساختمان، پوشش گیاهی و پوشش سنگریزه اهمیت زیادی در کنترل نفوذ آب به خاک، رواناب و فرسایش خاک دارد. پوشش سنگریزه سطحی به طور مستقیم فرآیندهای فرسایش را به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک که پوشش گیاهی کمی دارند، تحت تاثیر قرار می‌دهد. هدف از تحقیق حاضر، بررسی آزمایشگاهی اثر پوشش سنگریزه سطحی بر میزان تلفات خاک و خصوصیات هیدرولیکی جریان نظیر ضریب زبری و تنش برشی در یک نمونه خاک لسی از استان گلستان بود. در این تحقیق، شبیه‌سازی رواناب با استفاده از یک فلوم  $6 \times 0/5$  متر و در شیب ثابت سه درصد انجام شد. تیمارها شامل سطوح مختلف پوشش سنگریزه (صفر، 10، 20 و 30 درصد) و دبی جریان‌های سطحی ( $0/5 \times 10^{-4}$ ،  $1 \times 10^{-4}$  و  $1/5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه) بودند. براساس نتایج، با افزایش پوشش سنگریزه از صفر به 30 درصد در دبی‌های جریان  $0/5 \times 10^{-4}$ ،  $1 \times 10^{-4}$  و  $1/5 \times 10^{-4}$ ، به ترتیب سرعت نسبی جریان  $68/9$ ،  $67/74$  و  $70/9$  درصد کاهش یافت. مقادیر ضریب زبری و تنش برشی نسبی با افزایش پوشش سنگریزه به صورت خطی ( $R^2=0/99$ ) افزایش یافت. علاوه بر آن، با افزایش پوشش سنگریزه از صفر به 30 درصد، مقدار تلفات خاک نسبی در دبی جریان‌های  $0/5 \times 10^{-4}$ ،  $1 \times 10^{-4}$  و  $1/5 \times 10^{-4}$  به ترتیب  $85/0$ ،  $83/7$  و  $73/6$  درصد کاهش یافت. کاهش تلفات خاک رابطه‌نمایی ( $R^2=0/98$ ) با پوشش سنگریزه را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: پوشش سنگریزه، ضریب زبری، تنش برشی، تلفات خاک

1 - استادیار گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)

پست الکترونیک: [f.asadzadeh@urmia.ac.ir](mailto:f.asadzadeh@urmia.ac.ir)

2 - دانشجوی دکتری علوم خاک دانشگاه شهرکرد

3 - دانشیار گروه علوم خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

4 - عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

## مقدمه

امروزه به دلیل رشد روزافزون جمعیت، حفاظت از خاک‌های حاصلخیز اهمیت بسزایی دارد. خاک‌های لسی جز مهم‌ترین واحدهای رسوبی دوره کواترنر بوده و از حاصلخیزترین خاک‌های جهان به شمار می‌آیند چرا که در این خاک‌ها فراوانی ذرات سیلت، موجب سهولت نفوذ ریشه‌های گیاه در خاک شده و دسترسی به رطوبت و تهویه مناسب را تسهیل می‌نماید (Catt, 2001). با این وجود، تحقیقات به عمل آمده نشان می‌دهد که تلفات خاک ناشی از فرسایش در این خاک‌ها بسیار بالا است به طوری که در عمل، تلفات خاک به عنوان اصلی‌ترین عامل محدود کننده کشاورزی در اغلب این خاک‌ها محسوب می‌شود (Fu et al., 2000; Li & Liu, 2003). این امر لزوم به‌کارگیری عملیات حفاظتی و مدیریتی مناسب با توجه به شرایط اقلیمی در این گونه خاک‌ها را نشان می‌دهد.

در این بین فرسایش آبی که در نتیجه فرآیندهای جدا شدن و انتقال ذرات خاک توسط عوامل فرساینده باران و رواناب اتفاق می‌افتد، نقش بسزایی در تلفات خاک‌های لسی دارد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که فرآیندهای مرتبط با جدایش ذرات خاک در اثر پاشمان در شرایط کنترل شده‌ی آزمایشگاهی توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است (Nearing et al., 1991; Zhang et al., 2002) در حالی که تاثیر عوامل مختلف بر شرایط هیدرولیکی جریان کم‌عمق سطحی و چگونگی اثرگذاری آن‌ها بر میزان تلفات خاک‌های لسی، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

محققین در زمینه هیدرولیک جریان سطحی اقدام به استفاده از معیارهای مختلف اعم از: 1) فاصله بحرانی کمر بند بدون فرسایش هورتون (Tonon, 1999)، 2) شیب بحرانی و عدد فرود بحرانی (Savat & De-Ploy, 1982)، 3) سرعت برشی بحرانی (Govers, 1985)، 4) تنش برشی بحرانی (Prosser et al., 1995)، قدرت جریان بحرانی (Yu, 2003) نموده‌اند. در بین عوامل مختلف هیدرولیک جریان‌های سطحی، تنش برشی جریان بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. پروسر و همکاران (Prosser et al., 1995) تنش برشی را برای بررسی کنش سطحی به کار گرفتند. زانگ و همکاران (Zhang et al., 2002) جدا شدن ذرات خاک توسط جریان کم‌عمق سطحی، را با استفاده از تنش برشی بررسی کردند. یائو و همکاران

(Yao et al., 2008) گزارش کرد که تنش برشی مهم‌ترین شاخص هیدرولیکی موثر در شکل‌گیری انواع فرسایش آبی در خاک‌ها می‌باشد.

آگاسی و لوی (Agassi & Levy, 1991) و پوزن و همکاران (Poesen et al., 1990) برای بررسی تاثیر زبری سطح خاک بر خصوصیات هیدرولیکی جریان از پوشش سنگریزه سطحی استفاده کردند. ریک-زپ و همکاران (Rieke-Zapp et al., 2007) تحت شرایط آزمایشگاهی نقش سنگریزه مخلوط شده با خاک را در دامنه‌ی مقادیر صفر تا 40 درصد و تحت شرایط دبی‌های 5/7 تا 11/41 لیتر در دقیقه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که انرژی جریان به شدت توسط سنگریزه‌ها مستهلک شده و تولید رسوب نیز با افزایش سنگریزه کاهش می‌یابد. تیلانق و همکاران (Tailong et al., 2010) نیز در شرایط صحرایی و در دامنه‌ی مشابهی از پوشش سنگریزه، رابطه عکس بین تلفات خاک و درصد سنگریزه گزارش نمودند. ماندل و همکاران (Mandal et al., 2005) نیز در شرایط صحرایی با شبیه‌سازی باران‌های با شدت-های 48/5 تا 136/8 میلی‌متر در ساعت، بر روی خاک‌های با پوشش متفاوت از سنگریزه‌های سطحی (3 تا 68 درصد) گزارش نمودند که سطوح دارای سنگریزه زیاد سرعت جریان سطحی را کاهش داده و باعث افزایش نفوذ آب به خاک و به تبع آن کاهش تلفات خاک می‌شوند. مارتینز-زاوالا و همکاران (Martinez-Zavala, 2010) نیز با استفاده از شبیه‌سازی باران در شرایط صحرایی در دامنه‌ی شدت‌های بارش 26/8 تا 60 میلی‌متر در ساعت، گزارش نمودند که افزایش پوشش سنگریزه سطحی از کمتر از 50 درصد به بیش از 60 درصد سبب تاخیر در شروع رواناب می‌شود همچنین براساس نتایج آن‌ها افزایش پوشش سنگریزه سطحی سبب کاهش نمائی در مقدار تلفات خاک می‌شود.

استفاده از پوشش سنگریزه سطحی برای حفاظت از سطح خاک در کشورهای کم باران، در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک (Li, 2003)، خاک‌های لسی با حساسیت بالا به فرسایش خاک (Li & Liu, 2003) و جلوگیری از فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار در مناطق خشک (Fryear, 1985) می‌تواند بسیار مفید باشد. از این رو در این تحقیق تلاش شده تا نقش پوشش سطحی سنگریزه در تغییر ویژگی‌های مرتبط با هیدرولیک جریان‌های

قطعات سنگریزه در داخل خاک فرو نرفتند. پس از آماده‌سازی بستر فلوم، خاک داخل فلوم به مدت هشت ساعت از زیر فلوم اشباع شده و 24 ساعت پس از اشباع هر نمونه (Nearing *et al.*, 1997)، آزمایش شبیه‌سازی مورد نظر به انجام رسید (شکل 1). در این تحقیق، آزمایش‌ها در چهار سطح مختلف پوشش سنگریزه‌ای، شامل خاک بدون پوشش (به عنوان شاهد)، خاک با 10 درصد پوشش سنگریزه‌ای، خاک با 20 درصد پوشش سنگریزه‌ای و خاک با 30 درصد پوشش سنگریزه‌ای، سه دبی متفاوت جریان سطحی شامل  $0.5 \times 10^{-4}$ ،  $1 \times 10^{-4}$  و  $1.5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه در شیب ثابت 3 درصد (به عنوان شیب غالب منطقه نمونه‌برداری) به انجام رسید.

در هر آزمایش، پس از تنظیم دبی جریان و شیب رواناب سطحی از ابتدای فلوم به سطح خاک وارد شده و آزمایش به مدت 30 دقیقه ادامه یافت. سرعت متوسط جریان با روش ردیابی ماده رنگی (پرمنگنات پتاسیم) در هر پنج دقیقه در طول آزمایش اندازه‌گیری می‌شد (Gilley *et al.*, 1990). سپس برای بررسی اثر سنگریزه بر سرعت جریان، از سرعت متوسطی که در مقادیر مختلف پوشش‌های سنگریزه‌ای تقریباً به حالت ثابت و پایدار رسیده بود استفاده شد. در طول آزمایش، به منظور تعیین غلظت رسوب نمونه‌های رواناب با حجم  $5 \times 10^{-4}$  متر مکعب در هر دقیقه از انتهای فلوم جمع‌آوری شده و به مدت 24 ساعت در دمای 105 درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه نظیر بافت به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش استوانه‌ای (Blake & Hartge, 1986)، واکنش خاک (pH) در سوسپانسیون 1:5 خاک و محلول 0/01 مولار کلرید کلسیم (Richard, 1954)، قابلیت هدایت الکتریکی به وسیله EC متر، کربن آلی به روش والکلی و بلک (Nelson & Sommer, 1982) و کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (Rayment & Higginson, 1992) اندازه‌گیری شد. در هر آزمایش شاخص‌های هیدرولیکی جریان براساس اطلاعات اولیه به دست آمده از اندازه‌گیری سرعت جریان و با توجه به روابط ارائه شده در جدول 1 محاسبه شد (Allen, 1994).

کم‌عمق سطحی مورد آزمایش قرار گرفته و تاثیر پوشش مذکور در کنترل مقدار تلفات خاک با استفاده از شبیه‌سازی رواناب کم‌عمق سطحی با دبی‌های متفاوت در یک نمونه از خاک‌های لسی استان گلستان مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

برای اجرای این تحقیق از سامانه شبیه‌ساز رواناب موجود در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری که مجهز به یک فلوم شیب‌پذیر با ابعاد  $6m \times 1m$  و تجهیزات مربوط به کنترل دبی ورودی و همچنین آرام‌کننده جریان بود، استفاده شد. به منظور انجام آزمایش‌های شبیه‌سازی، ابتدا لایه‌ای از سنگریزه‌های به قطر 10 میلی‌متر و به ضخامت تقریبی 10 سانتی‌متر به عنوان زهکش در کف فلوم قرار داده شد. پس از این مرحله یک لایه از گونی با جنس کتان بر روی زهکش مذکور قرار داده شد تا از شسته شدن ذرات خاک به درون زهکش جلوگیری شود. نمونه خاک لسی مورد استفاده، از منطقه داشلی برون استان گلستان و از عمق 0-20 سانتی‌متری جمع‌آوری شده و پس از هوا خشک شدن از الک 2 سانتی‌متری گذرانده شد. پس از این مرحله، فلوم آزمایشی با استفاده از خاک مذکور به ارتفاع 20 سانتی‌متر پر شده و در ادامه سطح آن به کمک یک غلطک دستی کاملاً صاف شده و جرم مخصوص ظاهری خاک داخل فلوم به جرم مخصوص ظاهری خاک در حالت طبیعی رسانده شد (Rieke-Zapp *et al.*, 2007; Yao *et al.*, 2007).

شایان ذکر است که به منظور سرعت بخشیدن به انجام آزمایش‌ها و دقت در اندازه‌گیری شاخص‌های هیدرولیکی نظیر سرعت رواناب، مقدار رسوب و عوارض سطحی، عرض فلوم توسط یک ورقه فلزی به دو قسمت تقسیم شده و آزمایش‌ها در یک سطح معادل با  $6m \times 0.5m$  انجام شد. به منظور انجام هر آزمایش، پس از یکنواخت کردن سطح بستر، پوشش سنگریزه‌ای با قطر متوسط هفت میلی‌متر به صورت تصادفی و یکنواخت در سطح خاک پخش شد به این ترتیب که نحوه‌ی قرارگیری سنگریزه‌ها در روی سطح دارای الگوی تصادفی بوده ولی همزمان توزیع آنها از نظر مقدار پوشش در بخش‌های مختلف سطح فلوم، یکنواخت بود. لازم به ذکر است که پخش سنگریزه‌ها در روی سطح به آرامی انجام شد و



شکل 1- نمائی از فلوم مورد استفاده و توزیع سنگریزه‌ها بر روی سطح بستر خاک

Fig. 1- Illustration of the experimental flume and pattern of rock fragment distribution on soil surface

جدول 1- توصیف پارامترهای هیدرولیکی جریان رواناب

Table 1- Description of the flow hydraulic parameters

معادله (Equation)	پارامتر هیدرولیکی جریان (Flow hydraulic parameter) *
$V_m = XT^{-1}$	سرعت متوسط جریان (Mean flow velocity)
$V = aV_m$	سرعت در مجاورت بستر خاک (Flow velocity near bed surface)
$Re = VDv^{-1}$	عدد رینولدز (Reynolds number)
$F = V(gD)^{-0.5}$	عدد فرود (Froude number)
$n = V^{-1}D^{0.667}S^{0.5}$	ضریب زبری مانینگ (Manning's n)
$\tau = \rho SDV$	متوسط تنش برشی جریان (Mean shear stress)
$D = qV^{-1}$	عمق جریان (Flow depth)

\*  $V_m$  سرعت متوسط جریان (متر در ثانیه)،  $X$  مسافت (متر)،  $T$  زمان،  $V$  سرعت در مجاورت بستر خاک (متر در ثانیه)،  $a$  ضریبی برابر با  $0/67$  (Li *et al.*, 1996)،  $Re$  عدد رینولدز،  $v$  لزوجت سینماتیکی آب ( $= 10^{-6}$  مترمربع بر ثانیه)،  $F$  عدد فرود،  $g$  شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)،  $D$  عمق متوسط جریان (متر)،  $n$  ضریب زبری مانینگ،  $S$  شیب سطح آب (متر در متر)،  $\tau$  تنش برشی جریان (پاسکال)،  $\rho$  چگالی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) و  $q$  دبی در واحد عرض (متر مربع بر ثانیه) می‌باشد.

$V_m$ : Mean flow velocity ( $ms^{-1}$ ),  $X$ ; Distance (m),  $T$ ; Time (s),  $V$ ; Flow velocity near bed surface ( $ms^{-1}$ ),  $a$ ; a coefficient equal to 0.67 (Li *et al.*, 1996),  $Re$ ; Reynolds number,  $v$ ; Kinematic viscosity of water ( $= 10^{-6} m^2s^{-1}$ ),  $F$ ; Froude number,  $g$ ; The acceleration of gravity ( $ms^{-2}$ ),  $D$ ; Mean flow depth (m),  $n$ ; Manning roughness coefficient,  $S$ ; Slope of flow surface ( $mm^{-1}$ ),  $\tau$ ; Flow shear stress (Pa),  $\rho$ ; Water density ( $kgm^{-3}$ ),  $q$ ; Unit flow discharge ( $m^2s^{-1}$ )

## نتایج و بحث

بی‌بعدسازی مقادیر سرعت جریان در پوشش‌های مختلف سنگریزه‌ای نسبت به خاک بدون پوشش گردید. نتایج حاصل از بی‌بعدسازی سرعت جریان آب در شکل 2 گزارش شده است. همان‌طور که شکل 2 بیان می‌کند با افزایش پوشش سنگریزه سطحی از صفر به 10 درصد در جریان‌های سطحی با دبی‌های  $0,5 \times 10^{-4}$  و  $1 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه مقادیر سرعت نسبی جریان در مقایسه با خاک بدون پوشش به ترتیب  $48/5$ ،  $44/5$  و  $46/9$  درصد کاهش یافت. با افزایش پوشش سنگریزه از 10 به 20 و از 20 به 30 درصد مقادیر سرعت نسبی جریان به طور متوسط در جریان‌های سطحی متفاوت به

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک لسی مورد مطالعه در جدول 2 نشان داده شده است. براساس این داده‌ها می‌توان گفت که خاک مورد آزمایش خاک آهکی با pH بازی بوده و دارای بافت لوم سیلتی می‌باشد. نتایج حاصل از تاثیر پوشش‌های مختلف سنگریزه سطحی و جریان‌های سطحی بر سرعت جریان در جدول 3 ارائه شده است. با توجه به این جدول مشخص می‌گردد که در تمامی جریان‌های سطحی با افزایش پوشش سنگریزه سطحی، سرعت جریان روند کاهشی را نشان می‌دهد. برای درک تغییرات سرعت جریان با افزایش پوشش سنگریزه سطحی در جریان‌های سطحی متفاوت، اقدام به

مورد استفاده، اثر پوشش نسبت به دبی جریان غالب تر بوده است. به نحوی که با افزایش پوشش سنگریزه سطحی از صفر به 30 درصد مقادیر سرعت نسبی جریان در جریان‌های سطحی با دبی‌های  $0.5 \times 10^{-4}$  و  $1 \times 10^{-4}$  و مترمکعب در ثانیه به ترتیب 68/9، 67/7 و 70/9 درصد کاهش می‌یابد. در این زمینه نتایج پوزن و همکاران (Poesen et al., 1990) و تیلانق و همکاران (Tailong et al., 2010) نیز نشان دهنده‌ی کاهش سرعت جریان با افزایش پوشش سطحی است.

ترتیب 32/4 و 24/1 درصد کاهش را نشان داد. نکته جالب در رابطه با این نمودار این است که با افزایش پوشش سنگریزه سطحی مقدار سرعت نسبی جریان در دبی‌های مختلف کاهش نسبتاً مشابهی را نشان می‌دهد به بیان دیگر با افزایش پوشش سطحی، سرعت جریان مستقل از دبی‌های مورد آزمایش کاهش می‌یابد که دلیل این امر می‌تواند کم بودن دبی‌های مورد استفاده و در نتیجه کم بودن عمق جریان رواناب در مقایسه با ارتفاع سنگریزه‌ها باشد. به طوری که به علت کم بودن عمق جریان در مقایسه با ارتفاع سنگریزه‌ها در هر سه دبی

جدول 2- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک لسی مورد آزمایش

Table 2- Some physico-chemical properties of the loess soil used in the experiments

بافت Texture	سیلت Silt	رس Clay	ماده آلی OM	هدایت الکتریکی EC ( $\text{dSm}^{-1}$ )	اسیدیته pH	عمق نمونه برداری Sampling depth (m)
Silt loam	69	20	1.03	2.4	7.83	0-0.2

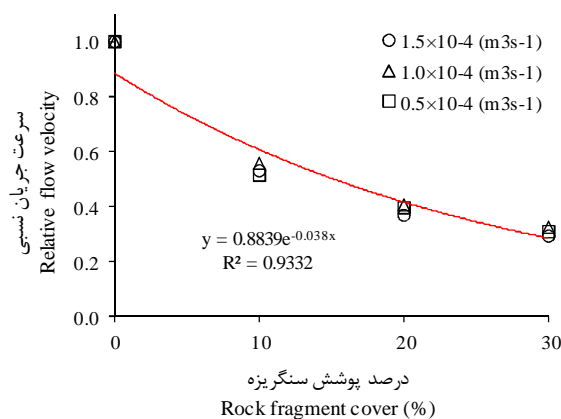
اما با افزایش دبی جریان به دلیل بالا رفتن سرعت جریان مقدار عدد رینولدز نیز افزایش یافته است. لازم به ذکر است که در تمامی دبی‌های مورد استفاده مقدار عدد رینولدز کمتر از 500 بوده است که نشان دهنده‌ی وجود جریان ورقه‌ای در شرایط این مطالعه است (جدول 3). کاهش عدد فرود با زیاد شدن مقدار دبی جریان سطحی به علت افزایش ضریب زبری سطح خاک بوده که دلیل آن می‌تواند پایین بودن شیب باشد. نتایج مطالعات تیلانق و همکاران (Tailong et al., 2010) نیز نشان داد که افزایش پوشش سنگریزه سطحی در مقادیر ثابت جریان‌های سطحی، عدد رینولدز را کمتر تحت تاثیر قرار داده و مقادیر آن در پوشش‌های مختلف تقریباً ثابت می‌ماند.

با توجه به جدول (4) از میان کلیه آزمایش‌ها بیشترین تنش برشی و ضریب زبری مانینگ (به ترتیب 1/55 پاسکال و 0/092) مربوط به جریان سطحی  $1/5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه، و پوشش سنگریزه سطحی 30 درصد و کمترین مقدار این شاخص‌های هیدرولیکی (به ترتیب 0/18 پاسکال و 0/008) برای جریان سطحی  $0.5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه، و پوشش سنگریزه سطحی صفر درصد است. به طور کلی، با افزایش پوشش سنگریزه در تمامی جریان‌های سطحی، مقادیر تنش برشی و ضریب زبری مانینگ افزایش یافت. علت

برای بررسی وضعیت و نوع جریان در پوشش‌های مختلف از دو معیار بی‌بعد عدد رینولدز (Re) و عدد فرود (Fr) استفاده شد. جدول (3) بیانگر مقادیر این دو شاخص در تمام آزمایش‌ها است. بر اساس نتایج وضعیت جریان، افزایش پوشش سنگریزه سطحی از صفر به 30 درصد عدد فرود را به ترتیب در جریان‌های سطحی  $0.5 \times 10^{-4}$  -  $1 \times 10^{-4}$  و مترمکعب در ثانیه، 83/75، 80 و 84/5 درصد کاهش داد. دلیل این امر افزایش عمق جریان و کاهش همزمان سرعت آن در اثر افزایش درصد سنگریزه سطحی می‌باشد به عبارت دیگر با توجه به رابطه‌ی مورد استفاده برای محاسبه‌ی عدد فرود (جدول 1) مشخص می‌شود که افزایش عمق جریان و کاهش سرعت آن سبب کاهش شدید مقدار عدد فرود می‌شود به طوری که در هر سه دبی مورد استفاده عدد فرود با افزایش سنگریزه به خاک شاهد از مقادیر بیش از یک به مقادیر کمتر از یک می‌رسد که نشان دهنده‌ی تبدیل جریان از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی است. اما عدد رینولدز در هر دبی با افزایش پوشش سطحی تقریباً ثابت باقی مانده است با توجه به رابطه مورد استفاده برای محاسبه‌ی عدد رینولدز مشخص می‌شود که افزایش همزمان عمق جریان و کاهش سرعت آن اثر یکدیگر را در رابطه با عدد رینولدز خنثی کرده و در نتیجه مقادیر آن برای هر دبی ثابت مانده است

فزونی این شاخص‌ها، افزایش عمق آب و کاهش سرعت جریان سطحی بود. همان‌طور که شکل (3) نشان می‌دهد، با افزایش پوشش سنگریزه سطحی مقادیر ضریب زبری و تنش برشی نسبی (ضریب زبری و تنش برشی پوشش‌های مختلف نسبت به خاک بدون پوشش) بصورت خطی ( $R^2=0/99$ ) افزایش یافت. ولی در پوشش‌های سنگریزه سطحی 10 درصد، مقادیر مختلف جریان سطحی تاثیری در مقادیر ضریب زبری و تنش برشی نسبی نداشت. در پوشش سنگریزه 20 درصد اختلاف جزئی در میزان این شاخص‌ها بین جریان سطحی  $0/5 \times 10^{-4}$  با جریان‌های سطحی  $1 \times 10^{-4}$  و  $1/5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه، مشاهده شد. در پوشش سنگریزه 30 درصد اختلافاتی در مقادیر ضریب زبری و تنش برشی نسبی بین جریان‌های سطحی مختلف وجود داشت. فوستر و همکاران (Foster et al., 1989) بیان کردند که پوشش سنگریزه سطحی زبری و اصطکاک سطح خاک را افزایش، سرعت جریان سطحی و مقدار رسوب را کاهش می‌دهد. پوزن و همکاران (Poesen et al.,

1990) و تیلانق و همکاران (Tailong et al., 2010) 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. جدول 4 نشان می‌دهد که مقدار متوسط تلفات خاک در پوشش‌های مختلف سنگریزه برای جریان‌های سطحی  $0/5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه، 28/05،  $1 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه، 39/62 و  $1/5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه، 45/65 گرم در مترمربع در ساعت می‌باشد. بنابراین، با افزایش عامل جریان سطحی برای تمامی پوشش‌های سنگریزه سطحی مقدار تلفات خاک افزایش می‌یابد. مقدار متوسط تلفات خاک در جریان‌های سطحی مختلف برای پوشش‌های سنگریزه صفر درصد 74/5، 10 درصد 34/7، 20 درصد 26/6 و 30 درصد 15/2 گرم در مترمربع در ساعت می‌باشد. با افزایش میزان پوشش‌های سنگریزه سطحی برای تمامی جریان‌های سطحی به علت افزایش زبری سطح خاک (جدول 4)، مقدار تلفات خاک کاهش می‌یابد.



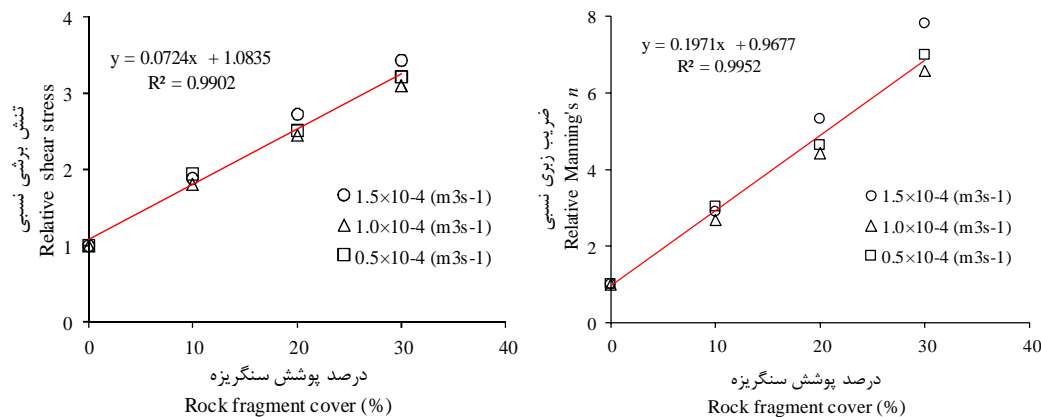
شکل 2- تاثیر درصد پوشش سنگریزه سطحی در دبی‌های مختلف، بر سرعت نسبی جریان  
Fig. 2- Effect of surface rock fragment cover on relative flow velocity at different flow discharges

جدول 3- تاثیر پوشش سنگریزه سطحی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان  
Table 3- Effect of surface rock fragment cover on flow hydraulics

عدد رینولدز Reynolds number	عدد فرود Froude number	سرعت متوسط جریان Mean flow velocity ( $\times 10^{-4} \text{ ms}^{-1}$ )	عمق متوسط جریان Mean flow depth ( $\times 10^{-3} \text{ m}$ )	درصد پوشش سنگریزه Rock fragment cover	دبی جریان سطحی Flow discharge ( $\times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
100	2.06	16.1	0.62	0	0.5
100	0.76	8.3	1.20	10	
100	0.51	6.4	1.56	20	
100	0.36	5.0	2.00	30	
200	1.49	15.4	1.22	0	1.0
200	0.62	9.1	1.20	10	
200	0.39	6.7	3.00	20	
200	0.27	5.3	3.77	30	
300	1.60	19.6	1.53	0	1.5
300	0.62	10.4	2.88	10	
300	0.36	7.2	4.17	20	
300	0.25	5.7	5.26	30	

جدول 4- تاثیر پوشش سنگریزه سطحی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان  
Table 4- Effect of surface rock fragment cover on flow hydraulics

تلفات خاک Soil loss ( $\text{gm}^{-2} \text{h}^{-1}$ )	تنش برشی Shear stress (Pa)	ضریب زبری مانینگ Manning's $n$ ( $\text{m}^{-1/3} \text{ s}$ )	درصد پوشش سنگریزه Rock fragment cover	دبی جریان سطحی Flow discharge ( $\times 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
49.3	0.18	0.008	0	0.5
30.0	0.35	0.023	10	
19.4	0.46	0.036	20	
13.5	0.59	0.055	30	
79.6	0.36	0.012	0	1.0
38.1	0.65	0.032	10	
25.2	0.88	0.053	20	
15.6	1.11	0.079	30	
94.6	0.45	0.012	0	1.5
36.0	0.85	0.034	10	
35.4	1.23	0.062	20	
16.6	1.55	0.092	30	



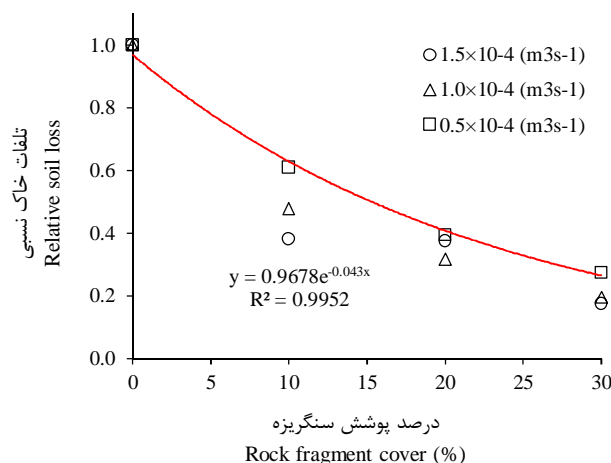
شکل 3- تاثیر پوشش سنگریزه سطحی در دبی‌های مختلف بر تنش برشی و ضریب زبری مانینگ

Fig. 3- Effect of rock fragment cover on flow shear stress and Manning's  $n$  at different flow discharges

می‌کند که در جریان سطحی  $0/95 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه با شیب هفت درصد، با افزایش پوشش سنگریزه از صفر به 30 درصد مقدار کل رسوب بیش از 90 درصد کاهش یافت که نتیج به دست آمده در این مطالعه نیز با مقادیر گزارش شده توسط رییک-زپ و همکاران (Rieke-) (Zapp *et al.*, 2007) دارای مشابهت قابل قبولی است. تیلانق و همکاران (Tailong *et al.*, 2010) در مطالعه خود در سطح مزرعه با استفاده از یک شبیه‌سازی رواناب در خاک لوم نشان دادند که با افزایش پوشش سنگریزه سطحی از صفر به 20/8 درصد مقدار کل رسوب 78 درصد کاهش یافت. همچنین، ماندل و همکاران (Mandal *et al.*, 2005) و مارتین-زاوالا و همکاران (Martinez-Zavala *et al.*, 2010) در مطالعات خود با استفاده از یک شبیه‌ساز باران قابل حمل در شرایط صحرائی که به ترتیب در هندوستان و مناطق مدیترانه‌ای انجام دادند، نتیجه گرفتند که با افزایش پوشش سنگریزه سطحی، مقدار تلفات خاک به صورت نمایی کاهش می‌یابد که مشاهدات صورت گرفته در این مطالعه نیز به روشنی نتایج تحقیقات این محققین را تایید می‌نماید.

با توجه به شکل (4) مشخص می‌گردد که رابطه نمایی بین پوشش سنگریزه سطحی و مقدار تلفات نسبی خاک وجود دارد. با افزایش پوشش سنگریزه سطحی از صفر به 10 درصد در جریان‌های سطحی  $0/5 \times 10^{-4}$ ،  $1 \times 10^{-4}$  و  $1/5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه، میزان تلفات خاک در مقایسه با خاک بدون پوشش به ترتیب 39/1، 52/2 و 62/0 درصد کاهش یافت. با افزایش پوشش سنگریزه از 10 به 20 و از 20 به 30 درصد میزان تلفات نسبی خاک به طور متوسط در جریان‌های سطحی متفاوت به ترتیب 33/8 و 19/2 درصد کاهش یافت.

به طور کلی، با افزایش پوشش سنگریزه سطحی از صفر به 30 درصد، مقدار تلفات نسبی خاک در جریان‌های سطحی  $0/5 \times 10^{-4}$ ،  $1 \times 10^{-4}$  و  $1/5 \times 10^{-4}$  مترمکعب در ثانیه، به ترتیب 85/0، 83/7 و 73/6 درصد کاهش یافت (شکل 4). بر اساس مطالعاتی که رییک زپ و همکاران (Rieke-Zapp *et al.*, 2007)، روی تاثیر پوشش سنگریزه بر مقدار تلفات خاک در خاک لوم سیلتی با استفاده از فلوم آزمایشگاهی و با کاربرد شبیه‌سازی رواناب انجام دادند، نتیجه گرفتند که با افزایش پوشش سنگریزه مقدار کل رسوب کاهش می‌یابد. نتایج این محققین تاکید



شکل 4- تاثیر پوشش‌های مختلف سنگریزه در دبی‌های متفاوت بر مقدار تلفات نسبی خاک

Fig. 4- the effect of surface rock fragment cover on relative soil loss at different flow discharges

سطحی را تحت تاثیر قرار داد به طوری که در هر سه دبی مورد استفاده افزایش سنگریزه به سطح خاک سبب تغییر رژیم جریان از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی گردید. با

#### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج بدست آمده مشخص گردید که پوشش سنگریزه سطحی خصوصیات هیدرولیکی جریان‌های



رفته، تاثیر دبی در تغییرات مربوط به ویژگی‌های هیدرولیکی جریان و به ویژه سرعت آن در مقایسه با درصد پوشش ناچیز است. به طور کلی، با افزایش پوشش سنگریزه سطحی میزان تلفات نسبی خاک به صورت نمائی ( $R^2=0/98$ ) کاهش یافت.

افزایش پوشش سنگریزه سطحی سرعت جریان کاهش و مقادیر تنش برشی و ضریب زبری مانینگ افزایش یافت. نتایج همچنین نشان داد که به علت کم بودن دبی‌های مورد استفاده در آزمایش و در نتیجه عمق جریان کم ناشی از آن‌ها در مقایسه با ارتفاع سنگریزه‌های به کار

## References

- Agassi M and Levy GJ. 1991. Stone-cover and rain intensity: Effects on infiltration, erosion and water splash. *Australian Journal of Soil Research*, 29: 565–575.
- Allen JRL. 1994. Fundamental properties of fluids and their relation to sediment transport processes. *In: Pye K (ed.). Sediment Transport and Depositional Processes*, pp: 345-364.
- Blake GR and Hartge KH. 1986. Bulk density. *In: Klute A (ed.). Methods of Soil Analysis. Physical properties*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp: 363–375.
- Catt JA. 2001. The agricultural importance of loess. *Earth Science Reviews*, 54: 213-229.
- Foster GR, Lan LJ, Nearing MA, Finkner SC and Flangan DC. 1989. Erosion component, in water erosion prediction project. *In: Lan LJ and Nearing MA (ed.). Hillslope profile model documentation*, pp: 101-112.
- Fryear, DW. 1985. Soil cover and wind erosion. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 28(3): 781-784.
- Fu B, Chen L, Ma K, Zhou H and Wang J. 2000. The relationship between land use and soil condition in the hilly area of the loess plateau in Northern Shaanxi, China. *Catena*, 39: 69-78.
- Govers G. 1985. Selectivity and transport capacity of thin flow in relation to rill erosion. *Catena*, 12: 35-49.
- Gee GH and Bauder JW. 1986. Particle size analysis. *In: Klute A (ed.). Methods of soil analysis. Physical properties*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 9: 383-411.
- Gilley E, Finkner S, Doran J and Kottwitz E. 1990. Adsorption of bromide tracers onto sediment. *Engineering in Agriculture*, 6:35-38.
- Li XY. 2003. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of Northwest China. *Catena*, 52: 105–127.
- Li G, Abrahams AD and Atkinson JF. 1996. Correction factors in the determination of mean velocity of overland flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 509–515.
- Li, XY and Liu LY. 2003. Effect of gravel mulch on Aeolian dust accumulation in the semiarid region of northwest China. *Soil and Tillage Research*, 70:73–81.
- Mandal UK, Rao KV, Mishra PK, Vittal KP, Sharma KL, Narsimlu B and Venkanna K. 2005. Soil infiltration, runoff and sediment yield from a shallow soil with varied stone cover and intensity of rain. *European Journal of Soil Science*, 56: 435–443.
- 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.
- Nearing M, Bradford, JM and Parker SC. 1991. Soil detachment by shallow flow at low slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 339-344.
- Nearing M, Norton LD, Bulgakov D, Larionova G, West L and Dontsova K. 1997. Hydraulics and erosion in eroding rills. *Water Resources Research*, 33: 865-876.
- Nelson DW and Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In: Miller AL and Keeney RH (ed.). Methods of soil analysis, Part 2, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin*, pp: 539-579
- 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 Surface Processes and Landforms*, 15: 653–671.

- Prosser IP, Dietrich WE and Stevenson J. 1995. Flow resistance and sediment transport by concentrated flow in a grassland valley. *Geomorphology*, 13: 73-86.
- Rayment GE and Higginson FR. 1992. Oxalat-extractable Fe and Al. *In: Rayment GE, Higginson FR. Australian Laboratory Handbook for Soil and Water Chemical Methods*. Kata Press, 22: 137-151.
- Richards LA. 1954. pH reading of saturated soil paste. *United States Department of Agriculture (USDA) Handbook*, pp: 132-148.
- Rieke-Zapp D, Poesen J and Nearing MA. 2007. Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32: 1063-1076.
- Savat J and De Ploy J. 1982. Sheetwash and rill development by surface flow. *In: Bryan RB and Yair A (ed.). Badland Geomorphology and Piping*. pp: 231-247.
- Tailong G, Qianjiu WD and Li JZ. 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 and Sediments*, 10:1200-1208.
- Tonon I. 1999. Thresholds for incipient rilling and particle entainment, Unpublished PhD Thesis, Utrecht University, pp: 39-89.
- Yao C, Lei T, Elliot WJ, McCool DK, Zhao J and Chen S. 2007. Critical Conditions for Rill Initiation. *Soil and Water Division of American Society of Agricultural Engineers*, 70-56.
- Yu B. 2003. A Unified Framework For Water Erosion And Deposition Equations. *Soil Science Society of America Journal*, 67(1): 251-257.
- Zang GH, Liu BY, Nearing MA, Hang CH and Zand KL. 2002. Soil detachment by shallow flow. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 45: 331-357.

## Laboratory Investigation of Surface Rock Fragment Cover Effects on Roughness Coefficient, Shear Stress and Soil Loss

Farrokh Asadzadeh<sup>1</sup>, Salman Mirzaee<sup>2</sup>, Manoochehr Gorji<sup>3</sup>, Ali Jafari-Ardakani<sup>4</sup>

(Received: August 2013 Accepted: June 2014)

### ABSTRACT

Soil surface conditions such as roughness, structure, vegetation and rock fragment cover have very important effects on infiltration, run-off and soil erosion. Rock fragments at the soil surface directly affects soil erosion processes, particularly in arid and semiarid environments where vegetation cover is poor. The objective of the present research was to study the influence of rock fragment cover on the rate of soil loss and the hydraulic properties of flow such as roughness coefficient and shear stress in a loess soil sample from Golestan province. The investigation was conducted using a flume with 6 m length, 0.5 m width, and 3% gradient. The treatments included rock fragment covers (0, 10, 20 and 30%), and flow discharges of 0.5, 1.0 and 1.5 ( $10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). With increasing of rock fragment cover from 0 to 30% in flow discharges of 0.5, 1.0 and 1.5 ( $10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), relative velocity of water flow decreased 68.9, 67.7 and 70.9%, respectively. The value of relative roughness coefficient and shear stress increased linearly ( $R^2=0.99$ ) with increasing of rock fragment covers. In addition, with increasing of rock fragment cover from 0 to 30%, the rate of relative soil loss in flow discharges of 0.5, 1.0 and 1.5 ( $10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) decreased 85.0, 83.7 and 73.6%, respectively. Decreasing soil loss rate was related to Rock fragment cover by an exponential function ( $R^2=0.98$ ).

**Keywords:** Rock fragment cover, Roughness coefficient, Shear stress, Soil loss

---

1-Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Iran (Corresponding Author)  
[f.asadzadeh@urmia.ac.ir](mailto:f.asadzadeh@urmia.ac.ir)

2- PhD Student, Department of Soil Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3- Associate Professor, Department of Soil Science, University of Tehran

4- Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran