دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

برآورد ضرایب زبری مانینگ و دارسی-ویسباخ در سطح یک خاک لسی تحت پوشش‌های متفاوت سنگ‌ریزه سطحی

سلمان میرزایی[۱]، فرخ اسدزاده[۲] و حبیب نظرنژاد[۲]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، (نویسنده مسوول: salman_mirzaee@yahoo.com)
۲- استادیار، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۸

چکیده

مقاومت به جریان سطحی از قبیل ضرایب زبری دارسی-ویسباخ و مانینگ یک ورودی مهم در مدل‌های فرایندی فرسایش خاک به منظور تخمین میزان فرسایش خاک بوده و همین‌طور در طراحی و اجرای راه‌کارهای حفاظت آب و خاک بسیار حائز اهمیت است. هدف از تحقیق حاضر، بررسی ضرایب زبری مانینگ و دارسی-ویسباخ در سطح یک خاک لسی تحت پوشش‌های متفاوت سنگ‌ریزه سطحی بود. بدین منظور، از یک فلوم به طول شش و عرض ۰/۵ متر با شیب ثابت سه درصد برای اجرای آزمایش استفاده شد. تیمارها شامل پوشش سنگ‌ریزه (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) و جریان‌های سطحی (۳، ٦ و ۹ لیتر در دقیقه) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی ضرایب دارسی- ویسباخ و مانینگ به صورت نمایی افزایش یافت. با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی از صفر به ۳۰ درصد، ضریب دارسی- ویسباخ در جریان‌های سطحی ۳، ٦ و ۹ لیتر در دقیقه، به ترتیب ۸٤/۳، ۸۳/۸ و ۸۵/۷ درصد افزایش و ضریب زبری مانینگ به ترتیب در جریان‌های سطحی فوق، ۹٦/۹، ۹٦/۷ و ۹۷/٤ درصد افزایش یافت. مقادیر ضرایب زبری با افزایش سرعت جریان سطحی در یک پوشش سنگ‌ریزه سطحی به صورت نمایی (۰/۹۹=R^2) کاهش یافت. همچنین، با افزایش غوطه‌وری نسبی (نسبت عمق جریان به پوشش سنگریزه سطحی) مقدار $(8/f)^{0.5}$ به صورت لگاریتمی افزایش یافت. به طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که ضرایب زبری علاوه بر اندازه و شکل ذرات، تحت تاثیر عواملی از قبیل مقدار، عمق و سرعت جریان سطحی و همچنین، مقدار پوشش سنگ‌ریزه سطحی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: عمق جریان، سرعت جریان، غوطه‌وری نسبی، ضریب زبری

مقدمه

ویژگی‌های هیدرولیکی جریان‌های سطحی (رواناب) نظیر سرعت و عمق و همچنین مشخصه زبری سطح خاک به عنوان پارامترهای فیزیکی مهم در توصیف فرآیندهای فرسایشی خاک سطحی به شمار می‌آیند. در مدل‌های مختلف فرسایش خاک، ویژگی‌های یاد شده به روش‌های مختلف ترکیب شده و برای پیش‌بینی فرسایش خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۱،۲۰). از این رو آگاهی دقیق از ویژگی‌های هیدرولیکی مرتبط با جریان سطحی در تحقیقات مربوط به مدل‌سازی فرسایش خاک اهمیت ویژه‌ای دارد.

معادلات مانینگ و دارسی-ویسباخ، روابط پایه در توصیف سرعت جریان آب در مدل‌های فرآیندی فرسایش خاک محسوب می‌گردند که در این معادلات ضریب زبری مربوط به بازدارندگی سطح خاک اهمیت ویژه‌ای در تغییر سایر ویژگی‌های هیدرولیکی رواناب دارد. بنابراین در بسیاری از مدل‌های فرآیندی فرسایش خاک ویژگی‌های جریان رواناب نظیر عمق، سرعت، تنش برشی و قدرت جریان متاثر از زبری سطح خاک بوده و تعیین ضریب زبری و عوامل موثر بر آن ضروری است. برای مثال، توصیف کمی سرعت جریان در مدل‌هایی نظیر EUROSEM (۱۲) و مدل GUEST (۹) با استفاده از معادله‌ی مانینگ و به عنوان تابعی از شعاع هیدرولیکی، شیب و ضریب زبری (معادله ۱) صورت می‌گیرد.

$$V = n^{-1}R^{2/3}S^{1/2} \qquad (۱)$$

که در این معادله V سرعت متوسط جریان ($m\ s^{-1}$)، n ضریب زبری مانینگ ($s\ m^{-1/3}$)، R شعاع هیدرولیکی (m) و S شیب (mm^{-1}) می‌باشد. در مدل WEPP نیز ارتباط بین ویژگی‌های زبری هندسی سطح خاک و سرعت جریان با استفاده از رابطه‌ی دارسی- ویسباخ (معادله ۲) که یک رابطه‌ی با پایه‌ی فیزیکی است، برقرار می‌گردد.

$$f = \frac{8gRS}{2} \qquad (۲)$$

که در این معادله، g شتاب ثقل (ms^{-2})، f ضریب اصطکاک[1] که تابعی از ویژگی‌های جریان و سطح بستر است و بقیه پارامترها نیز همان تعاریف قبلی را دارند. با توجه به اینکه سرعت برشی (U_*) جریان رواناب مطابق رابطه ۳ قابل تعریف است، می‌توان با تجمیع رابطه دارسی ویسباخ (معادله ۲) و سرعت برشی (معادله ۳) معادله‌ی ۴ را برای ضریب زبری دارسی-ویسباخ بازنویسی کرد.

$$U_* = \sqrt{gRS} \qquad (۳)$$

$$\left(\frac{8}{f}\right)^{1/2} = \frac{V}{U_*} \qquad (۴)$$

براساس تئوری لایه‌ی مرزی، مقاومت در مقابل جریان برای بسترهای زبر بر مبنای ضریب زبری دارسی-ویسباخ، با استفاده از رابطه زیر قابل دستیابی است (۴، ۱۵).

$$\left(\frac{8}{f}\right) = a + b\mathrm{Ln}\frac{D}{K_s} \qquad (۵)$$

1- Frictional Coefficient

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]

که در این رابطه K_s اندازه زبری بستر، a و b نیز ضریب واسنجی معادله می‌باشد. به طور کلی می‌توان گفت که ضرایب زبری مانینگ و دارسی–ویسباخ تاثیر عوامل مختلفی نظیر بقایای سطحی گیاهان و سنگ‌ریزه را در خود تجمیع نموده و اثر آن‌ها را در سرعت جریان رواناب منعکس می‌نمایند. این دو ضریب طبق معادله ۶ با یکدیگر ارتباط داشته و نشان دهنده‌ی مقاومت مسیر در مقابل جریان رواناب می‌باشند (۳،۶).

$$\left(\frac{8}{f}\right)^{0.5} = \frac{n}{R^{1/6}}\sqrt{g} \qquad (۶)$$

با توجه به نقش مهم زبری خاک بر آغاز رواناب و فرآیندهای فرسایش و رسوب، در این زمینه مطالعات مختلفی با اهداف گوناگون صورت گرفته است. در اغلب این مطالعات بر نقش سنگ‌ریزه‌ی سطحی در مقدار فرسایش و رسوب تولیدی تاکید شده است برای نمونه آغاسی و لوی (۱) و پوزن و همکاران (۱۴) برای بررسی تاثیر زبری سطح خاک بر خصوصیات هیدرولیکی جریان از پوشش سنگ‌ریزه سطحی استفاده کردند. رییک–زپ و همکاران (۱۶) تحت شرایط آزمایشگاهی نقش سنگ‌ریزه مخلوط شده با خاک را در دامنه‌ی مقادیر صفر تا ۴۰ درصد و تحت شرایط دبی‌های ۵/۷ تا ۱۱/۴۱ 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 (۱۷) نیز در شرایط صحرایی و در دامنه‌ی مشابهی از پوشش سنگ‌ریزه، رابطه عکس بین تلفات خاک و درصد سنگ‌ریزه گزارش نمودند. میرزائی و همکاران (۱۳) نیز طی تحقیقی در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از یک فلوم ۶×۰/۵ m نشان دادند که پوشش سنگ‌ریزه سطحی با افزایش زبری سطح خاک موجب گردید زمان و مکان تشکیل شیار با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی خاک افزایش می‌یابد.

به هر حال، بررسی مطالعات یاد شده نشان می‌دهد که در این پژوهش‌ها کمتر به اثر پوشش سنگ‌ریزه‌ی سطحی بر تغییر ضرایب زبری مانینگ و دارسی ویسباخ توجه شده است. به عبارت دیگر در اغلب پژوهش‌های چگونگی اثر سنگ‌ریزه بر مبنای تلفات نهایی خاک مورد بررسی گرفته و تاثیر آن بر هیدرولیک جریان رواناب سطحی کمتر مورد بحث قرار گرفته است. با توجه به اینکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک سنگ‌ریزه‌های سطحی به مقدار قابل توجه در سطح خاک دامنه‌ها موجود می‌باشند، بررسی نقش آن‌ها در تغییر پارامترهای هیدرولیکی جریان سطحی می‌تواند بسیار مفید باشد. بر این اساس مطالعه‌ی حاضر با هدف شبیه‌سازی زبری سطحی با استفاده از یک خاک لسی صورت گرفته است. خاک‌دانه‌های تشکیل شده در اینگونه خاک‌ها به دلیل دارا بودن مقدار زیادی از ذرات سیلت و شن خیلی ریز ناپایدار بوده و بسیار فرسایش‌پذیر هستند (۱۷). طی این پژوهش تلاش شده تا با شبیه‌سازی جریان رواناب کم‌عمق سطحی، تاثیر سطوح مختلف زبری بر پارامترهای هیدرولیکی جریان و همچنین، تاثیر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان بر میزان ضرایب زبری مانینگ و دارسی–ویسباخ با استفاده از مدل‌های ریاضی مورد تحلیل قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در اجرای این تحقیق از سامانه شبیه‌ساز رواناب موجود در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری که مجهز به یک فلوم شیب‌پذیر با ابعاد ۱×۶ متر بوده (شکل ۱الف) و دارای تجهیزات مربوط به کنترل دبی ورودی و همچنین آرام کننده جریان است، استفاده شد. به منظور انجام آزمایش‌های شبیه‌سازی، ابتدا لایه‌ای از سنگ‌ریزه‌های به قطر ۱۰ میلی‌متر و به ضخامت تقریبی ۱۰ 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 صفر تا ۲۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شده و سپس، از الک ۲ سانتی‌متری گذرانده شد. پس از این مرحله، فلوم آزمایشی با استفاده از خاک مذکور به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر پر شد. در ادامه سطح آن به کمک یک غلطک دستی کاملا صاف شده و چگالی ظاهری خاک داخل فلوم به چگالی ظاهری خاک در حالت طبیعی رسانده شد (۱۹،۱۶).

شایان ذکر است که به منظور سرعت بخشیدن به انجام آزمایش‌ها و دقت در اندازه‌گیری شاخص‌های هیدرولیکی نظیر سرعت و عمق رواناب عرض فلوم توسط یک ورقه فلزی به دو قسمت تقسیم شده و هر آزمایش در سطحی معادل با ۶×۰/۵ متر 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 شده و قطعات سنگ‌ریزه در داخل خاک فرو نرفته‌اند. پس از آماده‌سازی بستر فلوم، خاک داخل فلوم به مدت هشت ساعت از زیر فلوم اشباع شده و ۲۴ ساعت پس از اشباع هر نمونه (۱۳)، آزمایش شبیه‌سازی مورد نظر به انجام می‌رسید (شکل ۱). در این تحقیق، آزمایش‌ها در چهار سطح مختلف پوشش سنگ‌ریزه‌ای، شامل خاک بدون پوشش (به عنوان شاهد)، خاک با ۱۰ درصد پوشش سنگ‌ریزه‌ای، خاک با ۲۰ درصد پوشش سنگ‌ریزه‌ای و خاک با ۳۰ درصد پوشش سنگ‌ریزه‌ای، سه دبی متفاوت جریان سطحی شامل ۳، ۶ و ۹ لیتر در دقیقه در شیب ثابت ۳ 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 ۳۰ دقیقه ادامه یافت. سرعت متوسط جریان با روش ردیابی ماده رنگی (پرمنگنات پتاسیم) در هر پنج دقیقه در طول آزمایش اندازه‌گیری می‌شد (۷). در روش اندازه‌گیری

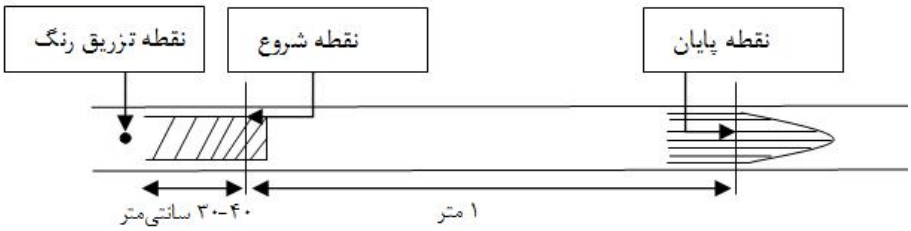
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]

سرعت جریان، زمان لازم برای پیمایش یک متر از طول مسیر توسط جریان در شرایط ماندگار و پایدار یاداشت می‌شود. مقطع یک متری برای اندازه‌گیری سرعت جریان از فاصله ۴۰-۳۰ سانتی‌متری نقطه‌ی تزریق رنگ شروع شده و بعد از طی یک متر طول فلوم خاتمه می‌یابد. همچنین، ثبت زمان نهایی برای نقطه پایان مقطع موقعی صورت می‌گیرد که ۸۰ تا ۹۰ درصد عرض جریان حاوی ماده رنگی باشد (۷) (شکل ۲).



شکل ۱- a) نمائی از فلوم مورد استفاده، b) خاک بدون پوشش و c) خاک ۳۰ درصد پوشش سنگ‌ریزه سطحی
Figure 1. a) A shematic of flume used b) Soil with 0% surface cover c) Soil with 30% surface rock fragment cover



شکل ۲- نمائی از اندازه‌گیری سرعت متوسط جریان با تزریق رنگ (۷)
Figure 2. A sehmatic of measuring mean flow velocity with dye injection (7)

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه نظیر بافت به روش هیدرومتری (۶)، چگالی ظاهری خاک به روش استوانه‌ای (۲)، واکنش خاک به وسیله pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی به وسیله EC متر و کربن آلی به روش والکلی و بلک (۱۸) اندازه‌گیری شد. همچنین، در هر آزمایش شاخص‌های هیدرولیکی جریان نظیر عدد فرود، عدد رینولدز و ضرایب زبری اصطکاک دارسی-ویسباخ و مانینگ با توجه به روابط ارائه شده در جدول ۱ محاسبه شدند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]

جدول ۱– توصیف پارامترهای هیدرولیکی جریان رواناب

Table 1. Description of runoff hydraulic parameters

شاخص هیدرولیکی جریان	معادله
سرعت متوسط جریان	$V_m = XT^{-1}$
سرعت در مجاورت بستر خاک	$V = aV_m$
عدد رینولدز	$\mathrm{Re} = VD\neg^{-1}$
عدد فرود	$F = V(\sqrt{gD})^{-1}$
ضریب زبری مانینگ	$n = V^{-1}D^{0.667}S^{0.5}$
ضریب اصطکاک دارسی – ویسباخ	$f = 8gRSV^{-2}$
متوسط تنش برشی جریان	$^{2} = {}^{\circ}gDS$
عمق جریان	$D = qV^{-1}$

*: در این روابط، V_m سرعت متوسط جریان (متر در ثانیه)، x مسافت (متر)، T زمان (ثانیه) مسافت طی شده به‌وسیله آب، V سرعت در مجاورت بستر خاک (متر در ثانیه)، a ضریبی برابر با ۰/۶۷ (۱۰)، Re عدد رینولدز، ν لزوجت سینماتیکی آب ($^{-6}$۱۰ 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)، τ تنش برشی جریان (پاسکال)، ρ چگالی سیال (کیلوگرم بر مترمکعب) و q دبی در واحد عرض (متر مربع بر ثانیه) می‌باشد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک لسی مورد مطالعه در جدول ۲ 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. برای بررسی وضعیت و نوع جریان از دو معیار بی‌بعد عدد رینولدز (Re) و عدد فرود (Fr) استفاده شد. بر اساس نتایج وضعیت جریان، افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی از صفر به ۳۰ درصد عدد فرود را به ترتیب در جریان‌های سطحی ۳، ۶ و ۹ لیتر در دقیقه ۸۳/۷۵، ۸۰ و ۸۴/۵ درصد کاهش داد، ولی تاثیر کمی بر عدد رینولدز داشت. همچنین با زیاد شدن مقدار جریان سطحی عدد فرود کاهش و عدد رینولدز افزایش یافت (جدول ۳). کاهش عدد فرود با زیاد شدن مقدار جریان سطحی به علت افزایش بیشتر عمق جریان در مقایسه با سرعت جریان است که دلیل آن نیز می‌تواند پایین بودن شیب باشد. نتایج مطالعات تیلانق و همکاران (۱۷) نیز نشان داد که افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی در مقادیر ثابت جریان‌های سطحی، عدد رینولدز را کمتر تحت تاثیر قرار داد و تقریباً ثابت ماند.

جدول ۲– برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک لسی مورد آزمایش

Table 2. Some physical and chemical properties in loess testing soil

عمق نمونه‌برداری (متر)	pH	EC (dSm^{-1})	O.M (٪)	رس	سیلت	بافت
۰–۰/۲	۷/۸۳	۲/۴	۱/۰۳	۲۰	۶۹	لوم سیلتی

جدول ۳– ویژگی‌های هیدرولیکی جریان‌های رواناب شبیه‌سازی شده

Table 3. Hydraulic properties in simulated runoff

دبی جریان ($lit\ min^{-1}$)	پوشش سنگ‌ریزه (٪)	عمق متوسط جریان (mm)	سرعت متوسط (cms^{-1})	عدد فرود	عدد رینولدز
۳	۰	۰/۶۲	۱۶/۱	۲/۰۶	۱۰۰
	۱۰	۱/۲۰	۸/۳	۰/۷۶	۱۰۰
	۲۰	۱/۵۶	۶/۴	۰/۵۱	۱۰۰
	۳۰	۲/۰۰	۵/۰	۰/۳۶	۱۰۰
۶	۰	۱/۲۲	۱۵/۴	۱/۴۹	۲۰۰
	۱۰	۲/۲۰	۹/۱	۰/۶۲	۲۰۰
	۲۰	۳/۰۰	۶/۷	۰/۳۹	۲۰۰
	۳۰	۳/۷۷	۵/۳	۰/۲۷	۲۰۰
۹	۰	۱/۵۳	۱۹/۶	۱/۶۰	۳۰۰
	۱۰	۲/۸۸	۱۰/۴	۰/۶۲	۳۰۰
	۲۰	۴/۱۷	۷/۲	۰/۳۶	۳۰۰
	۳۰	۵/۲۶	۵/۷	۰/۲۵	۳۰۰

شکل ۳ تغییرات ضریب زبری دارسی– ویسباخ (f) و مانینگ (n) را در مقابل پوشش سنگ‌ریزه سطحی برای مقدار جریان‌های مختلف رواناب سطحی نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ ملاحظه می‌شود که در یک جریان سطحی ثابت رابطه بین پوشش سنگ‌ریزه سطحی و ضریب دارسی– ویسباخ از یک معادله درجه دو پیروی می‌کند. براساس این شکل در یک پوشش سنگ‌ریزه‌ای سطحی، ضریب دارسی– ویسباخ با افزایش مقدار جریان سطحی افزایش می‌یابد. همچنین، شیب افزایش ضریب دارسی– ویسباخ با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی برای دبی‌های مختلف جریان سطحی متفاوت بود به‌طوری که با افزایش دبی جریان سطحی، آهنگ افزایش ضریب زبری دارسی–ویسباخ نیز

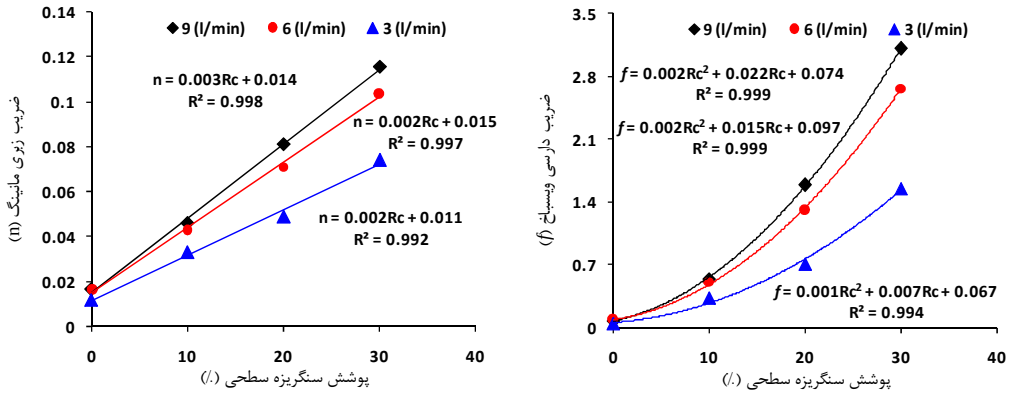
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]

بیشتر بود. مطابق شکل ۳ ضریب زبری مانینگ نیز در هر دبی از جریان سطحی با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی به طور خطی افزایش یافت. در مورد ضریب زبری مانینگ نیز مقدار آن در یک پوشش ثابت سنگ‌ریزه‌ای با افزایش دبی جریان سطحی افزایش یافت. با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی، کمترین و بیشترین شیب ضریب زبری مانینگ به ترتیب مربوط به جریان سطحی ۳ و ۹ لیتر در دقیقه بود.

با افزایش پوشش سنگ‌ریزه از صفر به ۱۰ درصد، میزان ضریب زبری مانینگ ۶۴/۲، ۶۱/۳ و ۶۴/۷ درصد به ترتیب در جریان‌های سطحی ۳، ۶ و ۹ لیتر در دقیقه در مقایسه با خاک بدون پوشش افزایش یافت (جدول ۴). با افزایش پوشش سنگ‌ریزه از ۱۰ به ۲۰ و از ۲۰ به ۳۰ درصد مقدار ضریب زبری مانینگ به طور متوسط در جریان‌های سطحی متفاوت به ترتیب ۳۸/۳ و ۳۱/۹ درصد افزایش یافت (جدول ۴). در مورد ضریب دارسی–ویسباخ نیز با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی از صفر به ۱۰، از ۱۰ به ۲۰ و از ۲۰ به ۳۰ درصد مقدار پارامتر مذکور به طور متوسط در جریان‌های سطحی متفاوت به ترتیب ۸۴/۸، ۵۹/۵ و ۵۱/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۴). به طورکلی، با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی از صفر به ۳۰ درصد، مقدار ضریب زبری مانینگ ۹۶/۹، ۹۶/۷ و ۹۷/۴ درصد و ضریب دارسی– ویسباخ ۸۴/۳، ۸۳/۸ و ۸۵/۷ درصد به ترتیب در جریان‌های سطحی ۳، ۶ و ۹ لیتر در دقیقه افزایش یافت (جدول ۴).

در طول یک بستر زبر در جهت جریان، هم نیروی کشش اصطکاکی[1] و هم نیروی کشش فشاری[2] از سیال بر سطح خاک اثر می‌کنند. با شرایط هیدرولیکی یکسان، هر چقدر میزان زبری‌های سطح خاک بیشتر باشند نیروی درگ فشاری بیشتر و در نتیجه نیروی کل درگ وارده از سیال بر سطح خاک بزرگتر می‌شود پس افت جریان بیشتر می‌شود. به همین دلیل است که با شرایط هیدرولیکی یکسان با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی ضریب زبری دارسی–ویسباخ و مانینگ افزایش می‌یابد (۱۵).



شکل ۳– رابطه بین ضرایب زبری مانینگ و دارسی ویسباخ با پوشش سنگ‌ریزه سطحی در دبی‌های مختلف جریان سطحی
Figure 3. Relation between Manning's and Darcy-Weisbach roughness coefficients with rock fragment cover in different surface flow discharges

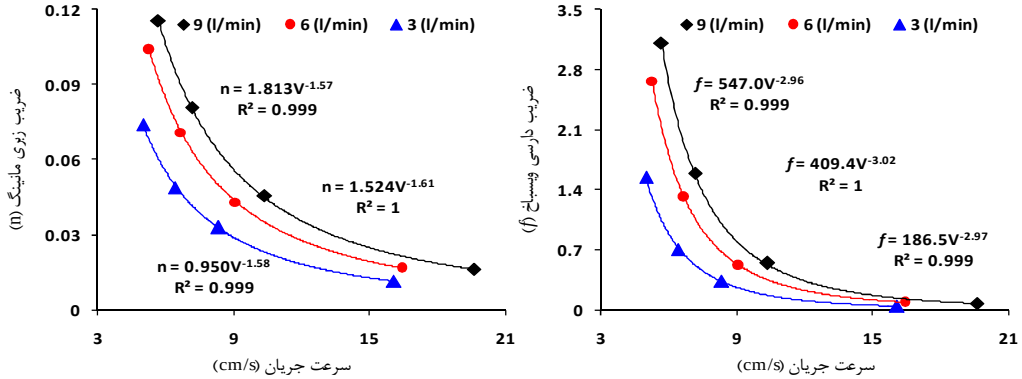
جدول ۴– ضرایب زبری در پوشش‌های متفاوت سنگریزه‌ای و جریان‌های سطحی
Table 4. Roughness coefficients in different rock fragment cover and surface flow discharges

دبی جریان ($lit\ min^{-1}$)	پوشش سنگ‌ریزه (٪)	مانینگ ($s\ m^{-1/3}$)	دارسی–ویسباخ
۳	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۴۸
	۱۰	۰/۰۳۳	۰/۳۳۸
	۲۰	۰/۰۴۹	۰/۷۱۱
	۳۰	۰/۰۷۹	۱/۵۵۲
۶	۰	۰/۰۱۷	۰/۰۸۷
	۱۰	۰/۰۴۳	۰/۵۱۸
	۲۰	۰/۰۷۱	۱/۳۱۰
	۳۰	۰/۱۰۴	۲/۶۶۹
۹	۰	۰/۰۱۶	۰/۰۸۰
	۱۰	۰/۰۴۶	۰/۵۴۶
	۲۰	۰/۰۸۱	۱/۵۹۲
	۳۰	۰/۱۱۵	۳/۱۰۹

1- Skin friction drag
2- Pressure drag

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]

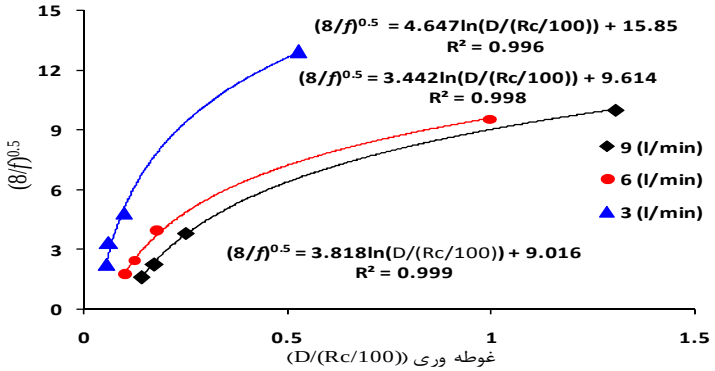
براساس معادلات ۱ و ۲ سرعت جریان با ضریب اصطکاک دارسی– ویسباخ و مانینگ رابطه عکس دارد. این امر در شکل ۴ بررسی شد. همان‌طور که از شکل ۴ مشخص است با کاهش سرعت جریان در اثر افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی در یک جریان سطحی، ضرایب زبری دارسی–ویسباخ و مانینگ (زبری سطحی در پوشش‌های متفاوت سنگ‌ریزه‌ای) به صورت توانی افزایش یافت. به هر حال، بر اساس شکل ۴ اختلاف بین ضرایب زبری دارسی–ویسباخ و مانینگ در جریان‌های سطحی متفاوت در سرعت‌های پایین (پوشش سنگ‌ریزه سطحی بیشتر) بیشتر بود. اما، با افزایش سرعت جریان (پوشش‌های سنگ‌ریزه سطحی کمتر) از اختلاف بین ضرایب زبری دارسی–ویسباخ و مانینگ کاسته شد. گاورز و همکاران (۸) بیان کردند که پوشش سنگ‌ریزه سطحی زبری و اصطکاک سطح خاک را افزایش و سرعت جریان سطحی را کاهش می‌دهد. پوزن و همکاران (۱۴) و تیلانق و همکاران (۱۷) به ترتیب در مطالعات آزمایشگاهی و صحرائی گزارش کردند که با استقرار پوشش سنگ‌ریزه در سطح خاک سرعت جریان کاهش و عمق آب افزایش یافت.



شکل ۴– رابطه بین ضرایب زبری مانینگ و دارسی ویسباخ با سرعت جریان سطحی

Figure 4. Relation between Manning's and Darcy-Weisbach rouphness coefficients surface flow velocity

رابطه بین غوطه‌وری که نسبت بین عمق جریان به پوشش سنگ‌ریزه سطحی $(D/(R_c/100))$ است با $(8/f)^{0.5}$ در شکل ۵ بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی در یک جریان سطحی عمق آب افزایش یافت. با این حال غوطه‌وری با افزایش میزان پوشش سنگ‌ریزه سطحی کاهش یافت. براساس نتایج حاصل از شکل ۵ مشخص شد رابطه بین غوطه‌وری و $(8/f)^{0.5}$ به صورت لگاریتمی است. با ملاحظه شکل ۵ می‌توان استنباط کرد که با افزایش غوطه‌وری ضریب دارسی–ویسباخ کاهش یافت. که دلیل آن می‌تواند ناشی از سرعت بیشتر مربوط به دبی‌های مختلف در پوشش‌های کم باشد. با توجه به ارتباط بین $(8/f)^{0.5}$ و نسبت سرعت جریان به سرعت برشی (V/U_*)، روابط رائه شده در شکل ۵ می‌توانند بسیار حائز اهمیت باشند. به طور کلی، نتایج حاصل از شکل ۳، ۴ و ۵ بیانگر این واقعیت است که ضرایب زبری علاوه بر اینکه تحت تاثیر اندازه و شکل ذرات هستند، بلکه پارامترهایی مانند غوطه‌وری ذرات نیز می‌تواند بر ضریب زبری موثر باشد. لذا، ضریب زبری تحت تاثیر عواملی همچون عمق و سرعت جریان و نیز میزان غوطه‌وری ذرات دچار تغییر می‌گردد.



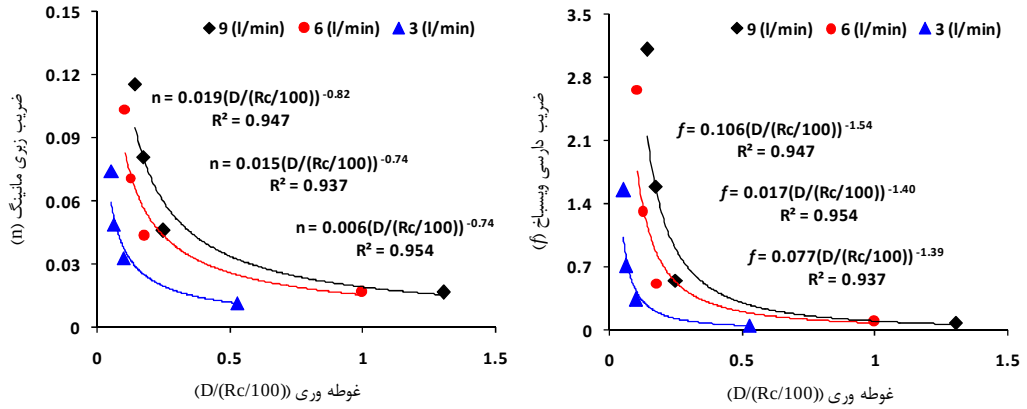
شکل ۵– رابطه بین غوطه وری نسبی $(D/(Rc/100))$ و $0.5(8/f)$ در جریان‌های سطحی متفاوت (Ks رابطه (۴) در این تحقیق درصد پوشش سنگ‌ریزه (Rc) در نظر گرفته شد)

Figure 5. Relation between relative submergence (D/(Rc/100)) and (8/f)0.5 in different surface flow discharges (K_s in equation 4 in this study was rock fragment cover (R_c))

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]

شکل ۶ نشان می‌دهد که با افزایش غوطه‌وری ($D/(R_c/100)$) مقدار ضریب زبری مانینگ و ضریب دارسی–ویسباخ با افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی در جریان‌های سطحی مختلف به صورت نمایی کاهش یافت. به عبارت دیگر این شکل گویای این واقعیت است که در یک جریان سطحی ثابت، غوطه‌وری ذرات می‌تواند نقش مهمی در مقدار زبری ناشی از آن‌ها داشته باشد. همچنین، نتایج شکل ۶ حاکی از این است که در غوطه‌وری پایین با افزایش جریان سطحی در یک پوشش سنگ‌ریزه سطحی ضریب زبری دارسی–ویسباخ و مانینگ بیشتر بود. دلیل این امر مربوط به افزایش عمق جریان و کاهش سرعت جریان در اثر افزایش پوشش سنگ‌ریزه سطحی می‌باشد، به این صورت که هر چه سرعت کمتر شود (در پوشش سنگ‌ریزه سطحی بیشتر) نقاط جدایی روی سطح ذره زودتر اتفاق می‌افتند پس منطقه جداشدگی تشکیل شده بزرگتر شده و در نتیجه نیروی درگ فشاری و در نهایت ضریب زبری بیشتر می‌شود (۱۵).



شکل ۶– رابطه بین غوطه وری نسبی ($D/(R_c/100)$) و ضرایب زبری مانینگ و دارسی ویسباخ در دبی‌های مختلف جریان سطحی
Figure 6. Relation between relative submergence ($D/(R_c/100)$) and Manning's and Darcy-Weisbach rouphness coefficients in different surface flow discharge

در این تحقیق نقش پوشش سنگ‌ریزه سطحی در ایجاد زبری و مقاومت در مقابل جریان رواناب در یک خاک لسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در یک دبی ثابت جریان رواناب با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ی سطحی ضرایب زبری مانینگ و دارسی ویسباخ به ترتیب به شکل خطی و درجه‌ی دو افزایش می‌یابند. نتایج همچنین موید این نکته بود که با افزایش پوشش سنگ‌ریزه‌ی سطحی عمق رواناب افزایش می‌یابد. به این ترتیب با افزایش غوطه‌وری در یک دبی ثابت ضرایب زبری مانینگ و دارسی ویسباخ به صورت توانی کاهش می‌یابند. این امر بیانگر این واقعیت است که ضرایب زبری علاوه بر اینکه تحت تاثیر اندازه و آرایش ذرات هستند، بلکه پارامترهایی مانند غوطه‌وری نسبی نیز بر ضرایب زبری تاثیر می‌گذارد لذا، ضرایب زبری می‌تواند تحت تاثیر عواملی همچون عمق و سرعت جریان قرار گرفته و در نتیجه میزان غوطه‌وری دچار تغییر گردد. با توجه به اینکه نتایج این تحقیق مربوط به حالت پایدار جریان سطحی است پیشنهاد می‌شود که به منظور درک بهتر تاثیرپذیری ویژگی‌های هیدرولیکی جریان از زبری سطحی، تغییرات این پارامترها به صورت دینامیک و در طول زمان نیز مورد بررسی قرار گیرد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]

منابع

1. Agassi, M. and G.J. Levy. 1991. Stone-cover and rain intensity: effects on infiltration, erosion and water splash. Australian Journal of Soil Research, 29: 565-575.
2. Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. In Met, 2nd edn, Ed. A Klute. American Society of Agronomy, Madison, pp: 363-375.
3. David, G.C.L., E. Wohl, S.E. Yochum and B.P. Bledsoe. 2010. Controls on spatial variations in flow resistance along steep mountain streams. Water Resources Research, 46: 1-21.
4. Drikvandi, Kh., M. Fathi-Moghadam, A. Masjedi and M. Bina. 2012. Evaluation Effect of Density and Flaxibility of Non-Submerged Vegetation on River Banks and Floodplains on the Friction Factors. Iran-Water Resources Research, 8: 24-35 (In Persian).
5. Ferguson, R. 2007. Flow resistance equations for gravel- and boulder-bed streams. Water Resour Research, 43: 1-12.
6. Gee, G.H. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. In: A. klute, (ed), Methods of soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI. 9: 383-411.
7. Gilley E., R. Kottwitz and A. Wieman. 1992. Darcy-Weisbach Roughness Coefficients for Gravel and Cobble Surfaces. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 118: 104-112.
8. Govers G. and G. Rauws. 1986. Transporting capacity of overland flow on plane and on irregular beds. Earth Surface Processes and Landforms, 11: 515-524.
9. Hairsine P.B. and C.W. Rose. 1992. Modeling water erosion due to overland flow using Physical principals, 1. Sheet flow. Water Resources Research, 28: 237-243.
10. Li, X.Y. and L.Y. Liu. 2003. Effect of gravel mulch on Aeolian dust accumulation in the semiarid region of northwest China. Soil and Tillage Research, 70: 73-81.
11. Mirzaee, S., M. Gorji and A. Jafari-Ardakani. 2012. Effect of surface rock fragment cover on soil erosion and sediment using simulated runoff. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 2: 141-154.
12. Morgan R.P.C., J.N. Quinton, R.E. Smith, G. Govers, J. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri and M.E. Styczen. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surface Processes and Landforms, 23: 527-544.
13. Nearing, M.A., L.D. Norton, D. Bulgakov, G. Larionova, L. West and K. Dontsova. 1997. Hydraulics and erosion in eroding rills. Water Resources Research, 33: 865-876.
14. Poesen, J., F. Ingelmo-Sanchez and H. Mucher. 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.
15. Powell, D.M. 2014. Flow Resistance in Gravel-bed Rivers: Progress in research. Earth-Science Reviews, 136: 301-338.
16. Rieke-Zapp, D., J. Poesen and M.A. Nearing. 2007. Effects of rock fragments incorporated in the soil matrix on concentrated flow hydraulics and erosion. Earth Surface Processes and Landforms, 32: 1063-1076.
17. Tailong, G., W.D. Quanjiu and J.Z. Li. 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.
18. Walky, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtgareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. Soil Science Society of America Journal, 79: 459-465.
19. Yao, C., T. Lei, W.J. Elliot, D.K. McCool, J. Zhao and S. Chen. 2007. Critical Conditions for Rill Initiation. Soil & Water Division of ASAE. SW., 70-56.
20. Zhang, G.H., R. Shen, R. Luo, Y. Cao and X.C. Zhang. 2010. Effects of sediment load on hydraulics of overland fl ow on steep slopes. Earth Surface Processes and Landforms. 35: 1811-1819.
21. Zounemat-Kermani1, M., and M. Ganjalikhani. 2016. Hydrological soil groups estimation in ungaged catchment. Journal of Watershed Management Research, 7: 216-227 (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]

Predicting Manning and Darcy-Weisbach Rouphness Coefficients in a Loess Soil Surface under Different Rock Fragment Covers

Salman Mirzaee[1], Farrokh Asadzadeh[2] and Habib Nazarnejad[2]

1- PhD Student, Department of Soil Science, Shahrekord University
(Corresponding Author: salman_mirzaee@yahoo.com)
2- Assistant Professor, Urmia University
Received: November 16, 2015 Accepted: May 7, 2016

Abstract

Resistance to surface flow such as Manning's and Darcy-Weisbach rouphness coefficients were an important input for estimating soil erosion by soil erosion process models. Also, it is very important for designing and implementing soil and water conservation practices. The objective of present research was predicting Manning's and Darcy-Weisbach rouphness coefficients in surface of a loess soil under different rock fragment covers. For this porpose, a flume was used with 6 m length, 0.5 m width and 3% slope. The treatments included rock fragment cover (0, 10, 20 and 30%) and three levels of flow discharges (3, 6 and 9 lit. min^{-1}). The results showed that Manning's and Darcy-Weisbach rouphness coefficients increased as exponential with increasing rock fragment cover. Darcy-Weisbach coefficient increased 84.3, 83.8 and 85.7% with an increase rock fragment cover from 0 to 30% at 3, 6 and 9 lit min^{-1} flow discharges, respectively, and Manning's rouphness coefficient increased 96.9, 96.7 and 97.4% at mentioned flow discharges. Rouphness coefficients decreased as exponential (R^2=0.99) with increasing flow velocity at a rock fragment cover. Also, $(8/f)^{0.5}$ increased as logarithmic with increasing relative submergence. Generally, results of this study showed that rouphness coefficients not only were dependent on size and shape rock fragment cover but also, were influenced by factors such as flow rate, depth and velocity and also, rock fragment cover percentage.

Keywords: Flow depth, Flow velocity, Relative submergence, Roughness coefficients

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/jwmr.8.15.73]