



بررسی آزمایشگاهی اثر تراکم پوشش گیاهی بستر کانال بر رفتار هیدرولیکی جریان

ملیحه حاج غنی^۱، سودابه گلستانی کرمانی^{۲*}، محمد ذونعمت کرمانی^۳، غلامعباس بارانی^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۵/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۵

مقاله پژوهشی برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

در تحقیق حاضر به مطالعه اثر تغییر تراکم پوشش بستر کانال، دبی و شیب بر برخی از خصوصیات هیدرولیکی جریان پرداخته شده است. به منظور شبیه‌سازی جریان از یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۳ متر استفاده شد و پوشش شاخه‌ای مصنوعی انعطاف‌پذیر با چهار تراکم (صفر، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد) در کف فلوم نصب و جمع‌آوری اطلاعات در ازای سه شیب (صفر، ۰/۵ و ۱ درصد) و پنج دبی (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه) انجام شد. تجزیه و تحلیل مقادیر ثبت شده نشان داد که رفتار پارامترهای هیدرولیکی جریان به اثر متقابل دبی و شیب و تراکم پوشش وابسته است. تراز سطح جریان و ضریب زبری مانینگ با افزایش تراکم پوشش گیاهی در یک دبی ثابت به صورت غیر خطی افزایش یافت و بیشترین مقدار تراز سطح و ضریب زبری در شرایط مسطح، تراکم ۵۰ درصد و به ترتیب در دبی ۲۵ و ۵ لیتر بر ثانیه مشاهده شد. همچنین با افزایش تراکم پوشش گیاهی در یک دبی ثابت، سرعت عمقی جریان و تنش برشی به صورت غیر خطی و سرعت طولی جریان به صورت خطی کاهش یافت و کمترین مقدار سرعت طولی و تنش برشی در شرایط مسطح و تراکم ۵۰ درصد و به ترتیب در دبی ۵ و ۲۵ لیتر بر ثانیه مشاهده شد. با افزایش تراکم پوشش گیاهی در یک دبی ثابت، عدد فرود نیز کاهش یافت و بیشترین مقدار عدد فرود در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و شرایط بدون پوشش گیاهی و شیب ۱ درصد مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، زبری بستر کانال، سرعت جریان، مقاومت هیدرولیکی.

^۱ - کارشناس ارشد سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران Email: hajghani.malihe@yahoo.com

^{۲*} - نویسنده مسئول و عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران Email: s.golestani@uk.ac.ir

^۳ - عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران zounemat@uk.ac.ir

Email:

^۴ - استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران Email: gab@uk.ac.ir



مقدمه

وجود پوشش گیاهی باعث ایجاد مقاومت در برابر جریان و افزایش عمق می‌شود. افضلی مهر و ستایش (۱۳۹۷) به بررسی تاثیر پوشش گیاهی غیر مستغرق نی در تراکم‌های مختلف بر نیم رخ سرعت جریان پرداختند و نشان دادند که در بخش داخلی لایه مرزی که در نزدیکی بستر واقع است، قانون لگاریتمی توزیع سرعت برای پوشش گیاهی با تراکم-های گوناگون معتبر است. (Xia and Nehal, 2014) نیز بیان کردند که سرعت متوسط جریان در شرایط کاربرد پوشش گیاهی قابل انعطاف برگ‌دار کمتر از نصف سرعت متوسط در شرایط کاربرد پوشش گیاهی بدون برگ است. (Bailly et al, 2015) به مطالعه اثر چهار نوع پوشش گیاهی با انعطاف پذیری و اندازه شاخ و برگ و چیدمان متفاوت بر ضریب مانینگ در شرایط جریان یکنواخت و غیر یکنواخت پرداختند و نشان دادند که تغییرات ضریب مانینگ به شدت تحت تاثیر نوع پوشش گیاهی است. (Chiaradia et al, 2019) نیز بیان کردند که پوشش گیاهی کف کانال تحت شرایط هیدرولیکی مختلف، رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهد. در شرایطی که نسبت استغراق کم باشد مانند یک جسم سخت رفتار می‌کند و مقاومت در برابر جریان افزایش می‌یابد. اما در شرایطی که این نسبت افزایش یابد و از حد آستانه‌ای تجاوز کند، مقاومت کاهش می‌یابد که نتیجه همسو شدن اندام گیاهی با جریان است. نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که بسیاری از پارامترهای هیدرولیکی جریان مانند سرعت‌های متوسط طولی و عمقی، تنش برشی، آبستنگی و رسوب-گذاری تحت تاثیر پوشش گیاهی و بسته به تراکم، نوع و شکل پوشش به شدت متغیر هستند و لذا مدیریت و بهره-برداری بهینه از کانال‌های خاکی و آبراهه‌ها نیازمند بررسی الگوها و استانداردهای مختلف پوشش و کمی سازی اثر آن روی جریان است تا بهره‌برداران را قادر به اخذ تصمیمات مناسب به ویژه در مورد لزوم پاکسازی کانال‌ها کند و ضروری است که این مطلب در قالب تحقیقات آزمایشگاهی و یا در مقیاس‌های واقعی مورد مطالعه بیشتر قرار گیرد. از این رو در تحقیق حاضر سعی شده است تا اثر متقابل طیف گسترده‌ای از مقادیر دبی ورودی و تراکم پوشش گیاهی و شیب زمین که اغلب در کانال‌های خاکی درون مزارع رخ می‌دهد، بر رفتار جریان مورد بررسی قرار گیرد. در شرایط

امروزه به دلیل اهمیت منابع آبی و لزوم بهبود بهره‌وری آن، بررسی و پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی جریان در سیستم‌های انتقال آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (لشکرآرا و دهقانی، ۱۳۹۴). رویش پوشش گیاهی در بستر دیواره کانال‌های خاکی امری تقریباً غیر قابل اجتناب است و از این رو مطالعه رفتار هیدرولیکی جریان در ازای الگوهای متفاوت پوشش، یکی از مسائل مهم در مبحث بهره‌برداری و حفاظت کانال‌ها و آبراهه‌هاست. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که پوشش گیاهی باعث کاهش میانگین سرعت جریان (Panigrahi and Khatua., 2015; Zhang et al., 2012) افزایش رسوب‌گذاری (Li et al., 2019)، افزایش مقاومت جریان (Fattet et al., 2011)، کاهش شدت تلاطم جریان (Termini, 2009)؛ Panigrahi and Khatua., 2015)، کاهش انرژی آب و تغییر توزیع سرعت لایه‌ای و یا به عبارتی پروفیل جریان در مقطع عرضی و در نهایت بالا آمدن سطح آب می‌شود (Zhang et al., 2015). همچنین پوشش گیاهی باعث مستحکم کردن خاک، افزایش مقاومت برشی خاک، افزایش زبری دیواره و کف کانال شده و این در حالی است که تغییر زبری و در نتیجه تغییر رفتارهایی مانند شدت رسوبگذاری متاثر از سرعت جریان و ویژگی‌های گیاه است. یکی از موارد مهم در بهره‌برداری از کانال‌های طبیعی، حذف کامل پوشش گیاهی ناخواسته‌ای است که به طور معمول و بدون بررسی ضرورت آن انجام می‌شود (Errico et al., 2018). در حالی که نیازهای مراقبتی کانال باید بر اساس تاثیر پوشش بر عملکرد هیدرولیکی جریان و در راستای کاهش هزینه و بهره‌برداری بهینه از منابع آبی و خاکی انجام شود. همچنین با توجه به وقوع سیلاب‌های مکرر در چند سال اخیر، وجود پوشش گیاهی و افزایش زبری بستر می‌تواند نقش مهمی در مهار فرسایش‌های نامطلوب و کاهش خسارات مالی ناشی از آن داشته باشد که ضرورت مطالعه دقیق آن را دو چندان می‌کند. تاکنون تحقیقات مختلفی در مورد رفتار هیدرولیکی جریان تحت تاثیر شرایط پوشش بستر انجام شده است از جمله ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵) در تحقیقات خود نشان دادند که اختلاف بین رقوم سطح و بستر جریان تحت تاثیر تراکم پوشش گیاهی قرار دارد و

متوسط قطر ۴ میلیمتر استفاده شد. همچنین به منظور کنترل سرعت جریان قبل از ورود به فلوم از دو صفحه پلکسی مشبک نصب شده با فاصله ۱۳۰ سانتیمتر و همچنین پوشش پوشال نصب شده در کف به طول ۱۲۰ سانتیمتر استفاده شد تا انرژی جریان قبل از ورود به فلوم مستهلک شود (شکل ۱). سپس یک پوشش گیاهی شاخه‌ای مصنوعی انعطاف پذیر به ارتفاع ۱۰ سانتیمتر با تراکم‌های صفر، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد در کف کانال و در طول ۳ متر از فلوم نصب شد. در هر آزمایش پس از نصب پوشش گیاهی، جریان برقرار می‌شد که پس از عبور از سطح آرام کننده به صورت یکنواخت وارد فلوم شده و پس از طی مسیر از دریچه باز انتهایی فلوم خارج می‌شد. آب مورد نیاز فلوم از مخزن زیر زمینی پمپاژ و اندازه‌گیری دبی ورودی با استفاده از فلومتر الکترومغناطیس MF300 صورت می‌گرفت.

در شکل (۲) طرح شماتیک فلوم همراه با سطح آرام کننده جریان و در شکل (۳) شماتیک چیدمان تراکم پوشش گیاهی در بستر فلوم ارائه شده است.

مذکور و با در نظر گرفتن اثر نوع پوشش گیاهی رفتار پارامترهایی از جمله تنش برشی، ضریب زبری، سرعت طولی و عمقی جریان و عدد فرود که به شدت بر فرآیندهایی از قبیل فرسایش و رسوبگذاری در کانال خاکی موثرند مورد مطالعه قرار گرفت که نتایج حاصل از آن، تکمیل کننده سایر مطالعات انجام شده در این زمینه است.

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه تاثیر پوشش گیاهی بستر کانال بر برخی از پارامترهای هیدرولیکی جریان از فلوم موجود در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید باهنر کرمان با مقطع دوزنقه و طول ۵ متر، عرض کف ۳۰ سانتیمتر، عرض بالا و عمق ۵۰ سانتیمتر با قابلیت تغییر شیب کف استفاده شد. قاب فلوم فلزی بوده و دیواره و کف آن با مصالح از جنس پلکسی گلاس شفاف ساخته شده است. برای پوشش کف و دیواره کانال از مصالح موجود در آزمایشگاه با

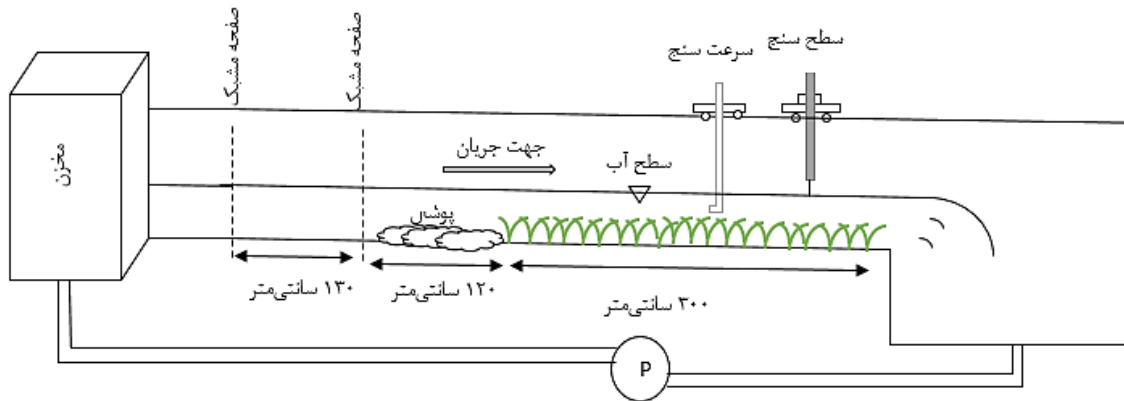


(ب)

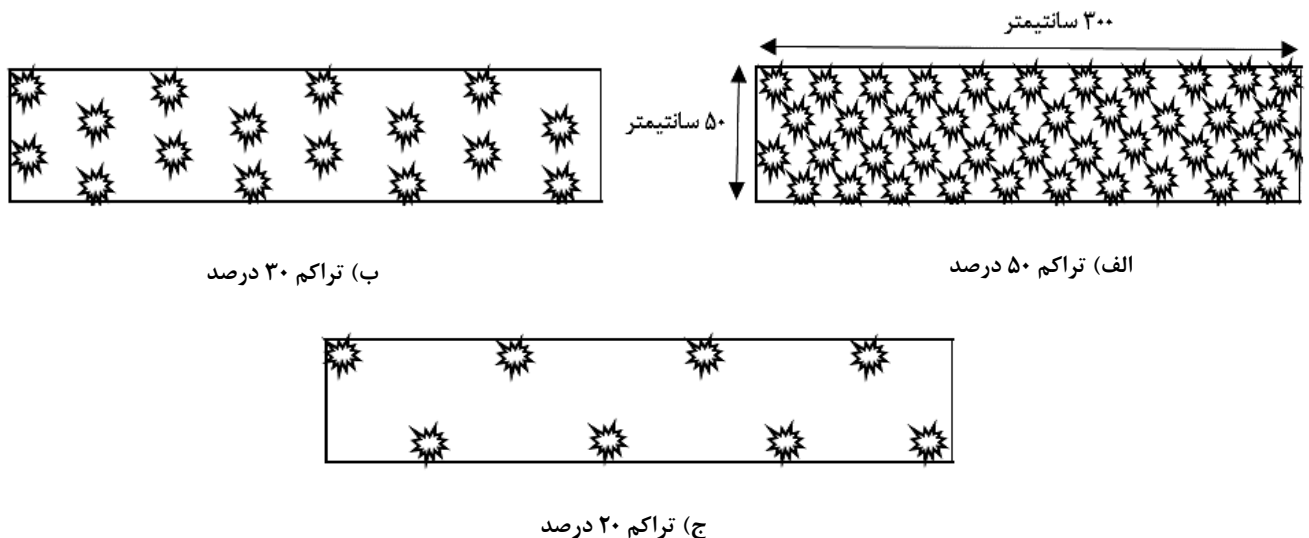


(الف)

شکل (۱): نمایی از فلوم در حالت الف) بدون پوشش گیاهی در بستر ب) پوشش بستر با تراکم ۲۰ درصد



شکل (۲): نمای شماتیک از فلوم انجام آزمایشات



شکل (۳): چیدمان پوشش گیاهی در بستر فلوم

از داده‌های جمع‌آوری شده، تنش برشی کف با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$\tau_0 = \rho g R_h S_f \quad (1)$$

در رابطه (۱)، ρ چگالی آب (kg.m^{-3})، g شتاب ثقل (m.s^{-2})، R_h شعاع هیدرولیکی (m)، S_f شیب گرادیان هیدرولیکی و τ_0 تنش برشی (n.m^{-2}) است.

ضریب زبری مانینگ با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$n = \frac{R^{0.667} S^{0.5}}{v} \quad (2)$$

در مجموع ۱۸۰ آزمایش با پنج دبی ورودی مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ لیتر در ثانیه)، سه شیب (صفر، ۰/۵ و ۱ درصد)، چهار تراکم پوشش گیاهی (صفر، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد) و با احتساب سه تکرار انجام شد. طول فلوم به ده مقطع ۳۰ سانتیمتری تقسیم شد و سرعت جریان در انتهای هر مقطع با محاسبه اختلاف فشار دینامیک و استاتیک درون کانال و لوله پیتوت در پنج عمق مختلف ثبت شد. همچنین سطح جریان با استفاده از سطح سنج با خطای ۰/۱ میلیمتر در هر مقطع اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده



$$F = f \left(m, \frac{D_x}{w}, S_0, VD, \frac{h}{w}, \frac{w \cdot g}{q_0^2}, \frac{\mu}{\rho q_0 w} \right) \quad (5)$$

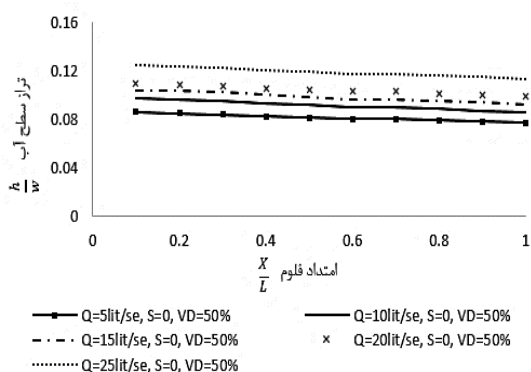
در این تحقیق مقادیر ثابت شامل $\frac{D_x}{w}$ و m هستند. بنابراین شکل کلی رابطه بدون بعد که بیانگر سرعت جریان تحت تاثیر پوشش گیاهی است به صورت رابطه (۶) قابل بیان می‌باشد.

$$F = f \left(S_0, VD, \frac{h}{w}, \frac{w \cdot g}{q_0^2}, \frac{\mu}{\rho q_0 w} \right) \quad (6)$$

نتایج و بحث

تغییر تراز سطح جریان در تراکم‌های مختلف پوشش بستر

بررسی مقادیر ثبت شده نشان داد که با افزایش تراکم پوشش گیاهی بستر، تراز سطح جریان افزایش می‌یابد. هر چند روند کاهش آن در امتداد فلوم مشاهده شد (شکل ۴). به نظر می‌رسد رابطه بین عمق جریان و دبی به تراکم پوشش گیاهی بستگی زیادی دارد و پوشش با ایجاد مقاومت برای جریان تاثیر زیادی بر نوسان سطح آب دارد.



در رابطه فوق R شعاع هیدرولیکی $V_0(m)$ سرعت جریان $(m.s^{-1})$ ، S شیب کف کانال $(m.m^{-1})$ است.

عدد فرود نیز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{gD}} \quad (3)$$

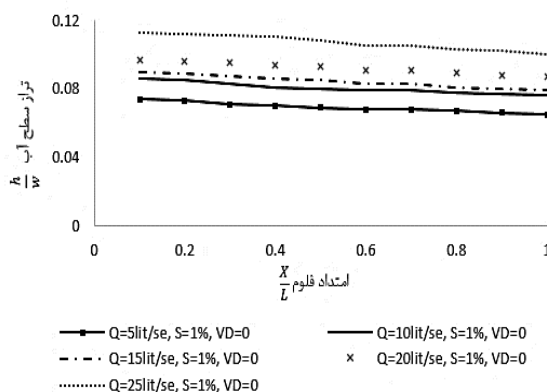
در رابطه (۳)، v سرعت جریان $(m.s^{-1})$ و D عمق هیدرولیکی (m) است.

آنالیز ابعادی

با توجه به تحقیقات انجام شده روی تاثیر پوشش گیاهی بر خصوصیات جریان، پارامترهای متعددی از جمله شیب بستر (S_0)، قطر مشخصه ذرات (D_x)، دبی ورودی (q_0)، عمق جریان (h)، عرض کف مقطع (w)، شتاب ثقل (g)، تراکم پوشش گیاهی (VD)، چگالی آب (ρ)، لزجت دینامیکی جریان (μ)، شیب جانبی دیواره (m) بر سرعت جریان تاثیر دارند. این پارامترها با تابع F (رابطه ۴) نشان داده شده‌اند.

$$F = f (S_0, D_x, q_0, h, w, g, VD, \rho, \mu, m) \quad (4)$$

سپس با استفاده از روش باکینگهام پارامترهای بی بعد به صورت رابطه (۵) تعیین گردید.



شکل (۴): روند تغییر تراز سطح آب در امتداد فلوم

مقدار در شیب های ۰/۵ و ۱ درصد به ترتیب به ۱۴/۳ و ۱۱/۶ درصد رسید که این نتایج با روند گزارش شده توسط Nehal et al. (2013) همخوانی دارد. اما مقایسه مقادیر ثبت شده نشان داد که با افزایش دبی ورودی، شدت افزایش تراز سطح اندکی کاهش یافته است. به طوری که در دبی ۱۵

تجزیه و تحلیل مقادیر ثبت شده نشان داد که تراز سطح در یک دبی ثابت با افزایش تراکم پوشش گیاهی به صورت غیر خطی افزایش می‌یابد. به طوری که این پارامتر در شرایط مسطح و تراکم ۵۰ درصد و دبی ۵ لیتر بر ثانیه ۱۲/۵ درصد نسبت به شرایط مشابه بدون پوشش افزایش یافت و این



روند افزایش تراز سطح در ازای گام‌های افزایش دبی در شرایط مسطح و شیب‌های ۰/۵ و ۱ درصد تقریباً مشابه است.

پوشش گیاهی به دلیل ایجاد مقاومت در برابر جریان و ایجاد زبری بیشتر باعث کاهش ظرفیت انتقال و افزایش تراز سطح جریان نسبت به حالت بدون پوشش شده است و مقایسه نتایج بدست آمده نیز موید این مطلب است. اما با افزایش سرعت جریان در نتیجه افزایش دبی و شیب، پوشش گیاهی مستغرق همسو با جریان شده و مقاومت در برابر جریان کاهش یافته و در نتیجه اثر زبری کاهش پیدا می‌کند (شمال نسب و همکاران، ۱۳۸۶).

لیتر بر ثانیه، میزان افزایش تراز سطح در تراکم ۵۰ نسبت به شرایط بدون پوشش در حالت مسطح و شیب‌های ۰/۵ و ۱ درصد به ترتیب ۱۰/۱۱ و ۹/۰۹ و ۱۰/۷۱ درصد بود و این افزایش در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه به ۸/۱۸ و ۹/۲۵ و ۷/۴۷ درصد رسید. همچنین در یک تراکم ثابت با افزایش سرعت جریان، روند غیر خطی افزایش تراز سطح در همه دبی‌ها و تراکم‌ها مشاهده شد (جدول ۱). به طور مثال با افزایش دبی از ۵ به ۱۰ لیتر بر ثانیه در شیب ۱ درصد و تراکم ۵۰ درصد تراز سطح به طور متوسط ۱۳ درصد افزایش یافت، در حالی‌که با افزایش دبی از ۱۵ به ۲۰ لیتر بر ثانیه افزایش تراز سطح به ۷/۵۸ درصد رسید. با این حال

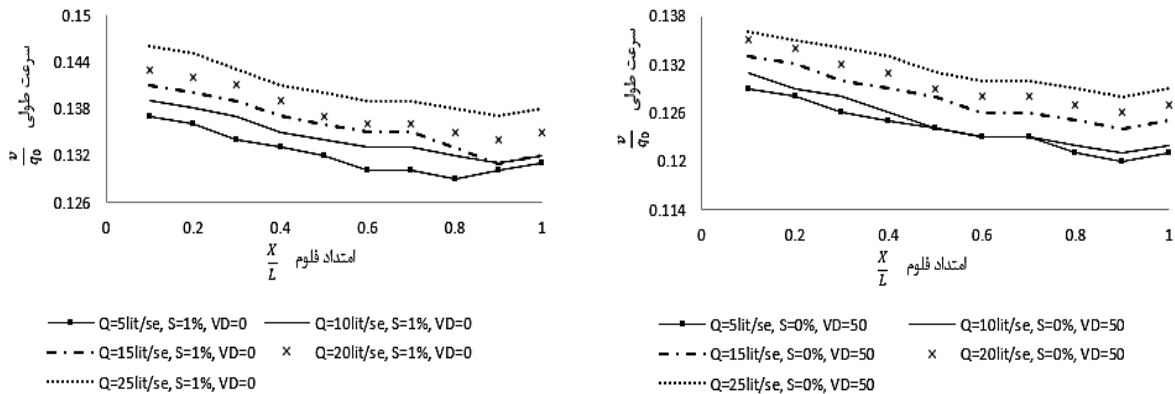
جدول (۱): تراز سطح آب ثبت شده (m) در فلوم در شرایط انجام آزمایش

		Q=5 (lit/se)	Q=10(lit/se)	Q=15(lit/se)	Q=20(lit/se)	Q=25(lit/se)
S=0	بدون پوشش	۰/۰۷۲	۰/۰۸۵	۰/۰۸۹	۰/۰۹۵	۰/۱۱
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۰۷۳	۰/۰۸۹	۰/۰۹۱	۰/۰۹۶	۰/۱۱۱
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۰۷۶	۰/۰۸۸	۰/۰۹۳	۰/۰۹۸	۰/۱۱۴
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۰۸۱	۰/۰۹۱	۰/۰۹۸	۰/۱۰۴	۰/۱۱۹
S=0.5%	بدون پوشش	۰/۰۷۰	۰/۰۸۴	۰/۰۸۸	۰/۰۹۳	۰/۱۰۸
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۰۷۲	۰/۰۸۷	۰/۰۹	۰/۰۹۵	۰/۱۱
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۰۷۵	۰/۰۸۸	۰/۰۹۲	۰/۰۹۷	۰/۱۱۲
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۰۸	۰/۰۹۰	۰/۰۹۶	۰/۱۰۳	۰/۱۱۸
S=1%	بدون پوشش	۰/۰۶۹	۰/۰۸۰	۰/۰۸۴	۰/۰۹۲	۰/۱۰۷
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۰۷	۰/۰۸۴	۰/۰۸۸	۰/۰۹۴	۰/۱۰۸
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۰۷۲	۰/۰۸۴	۰/۰۹۰	۰/۰۹۵	۰/۱۱
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۰۷۷	۰/۰۸۷	۰/۰۹۳	۰/۱۰۰	۰/۱۱۵

خروجی، افزایش اندک سرعت جریان مشاهده شد (شکل ۵). تجزیه و تحلیل مقادیر ثبت شده نشان داد که کاهش سرعت طولی جریان با افزایش تراکم در ازای همه مقادیر دبی و شیب‌های مورد بررسی از روند تقریباً خطی پیروی می‌کند (جدول ۲).

تغییر سرعت طولی جریان در تراکم‌های مختلف پوشش بستر

بررسی مقادیر ثبت شده نشان داد که در یک دبی ثابت با افزایش تراکم پوشش بستر سرعت طولی جریان کاهش می‌یابد، هرچند در آخرین مقطع و تحت تاثیر دریاچه



شکل (۵): تغییر سرعت طولی در امتداد فلوم

رسید. همچنین در یک تراکم ثابت نیز با هر گام افزایش دبی ورودی، متوسط سرعت طولی جریان اندکی افزایش یافت که به نظر می‌رسد در همه شرایط مورد بررسی از یک روند تقریباً خطی با میانگین افزایش ۱/۴۸ درصد پیروی می‌کند

به طوری که سرعت طولی جریان در دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه و تراکم ۵۰ درصد نسبت به شرایط بدون پوشش به ترتیب ۳/۷۸ و ۳/۷۵ و ۴/۴۱ درصد در شرایط مسطح و شیب‌های ۰/۵ و ۱ درصد کاهش یافت و این مقدار در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب به ۴/۳۸ و ۳/۶۴ و ۴/۲۸ درصد

جدول (۲): سرعت طولی جریان (m/se) ثبت شده در فلوم در شرایط انجام آزمایش

بررسی مقادیر سرعت عمقی ثبت شده در مقاطع

		Q=5 (lit/se)	Q=10(lit/se)	Q=15(lit/se)	Q=20(lit/se)	Q=25(lit/se)
S=0	بدون پوشش	۰/۱۳	۰/۱۳۱	۰/۱۳۲	۰/۱۳۵	۰/۱۳۷
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۱۲۶	۰/۱۲۸	۰/۱۳۰	۰/۱۳۲	۰/۱۳۵
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۱۲۶	۰/۱۲۷	۰/۱۲۹	۰/۱۳۱	۰/۱۳۴
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۱۲۴	۰/۱۲۵	۰/۱۲۷	۰/۱۲۹	۰/۱۳۱
S=0.5%	بدون پوشش	۰/۱۳۰	۰/۱۳۲	۰/۱۳۳	۰/۱۳۶	۰/۱۳۷
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۱۲۸	۰/۱۲۹	۰/۱۳۱	۰/۱۳۳	۰/۱۳۶
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۱۲۷	۰/۱۲۹	۰/۱۳۱	۰/۱۳۲	۰/۱۳۵
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۱۲۵	۰/۱۲۶	۰/۱۲۸	۰/۱۳۰	۰/۱۳۲
S=1%	بدون پوشش	۰/۱۳۲	۰/۱۳۴	۰/۱۳۶	۰/۱۳۷	۰/۱۴۰
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۱۲۹	۰/۱۳۲	۰/۱۳۳	۰/۱۳۶	۰/۱۳۸
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۱۲۹	۰/۱۳۱	۰/۱۳۳	۰/۱۳۵	۰/۱۳۶
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۱۲۷	۰/۱۲۸	۰/۱۳۰	۰/۱۳۳	۰/۱۳۴

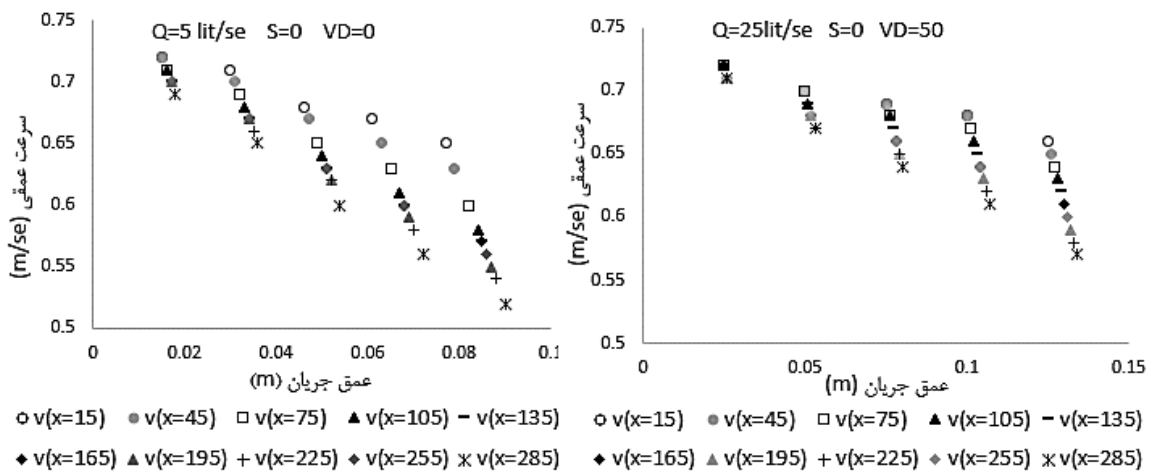
مختلف فلوم نشان داد که در یک دبی ثابت با افزایش تراکم پوشش، متوسط سرعت عمقی جریان به صورت غیر خطی کاهش می‌یابد (شکل ۶-الف و ب و ج). اما شدت افت سرعت در مقاطع انتهایی فلوم بیشتر از مقاطع ابتدایی است و هر چه میزان دبی ورودی و شیب افزایش یابد، نرخ کاهش

تغییر سرعت عمقی جریان در تراکم‌های مختلف

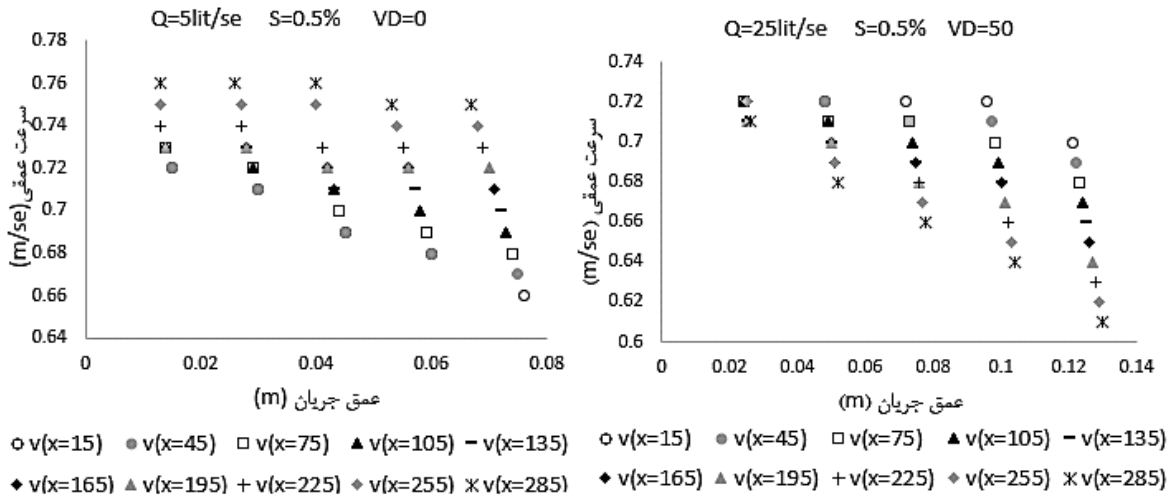
پوشش بستر

۲۰/۹۳ درصد و در مقطع آخر به ۱۵/۵۶، ۲۳/۷۸ و ۲۳/۵۱ درصد رسید. به علاوه بررسی مقادیر ثبت شده نشان داد که حداکثر سرعت عمقی جریان در همه نمونه‌های بررسی شده به طور متوسط در عمق ۲ سانتیمتری زیر سطح آزاد جریان رخ داده که البته با افزایش گام به گام دبی ورودی اندکی افزایش یافته است که با نتایج (Nehal et al., 2013) همخوانی دارد. زیرا در کانال‌های کم عرض، جریان‌های ثانویه ایجاد شده به دلیل آثار دیواره‌های جانبی سبب می‌شود که گرادبان منفی سرعت در نزدیکی سطح آزاد اتفاق بیفتد و سرعت ماکزیمم زیر سطح آزاد آب رخ دهد (Gonzalez et al., 1996).

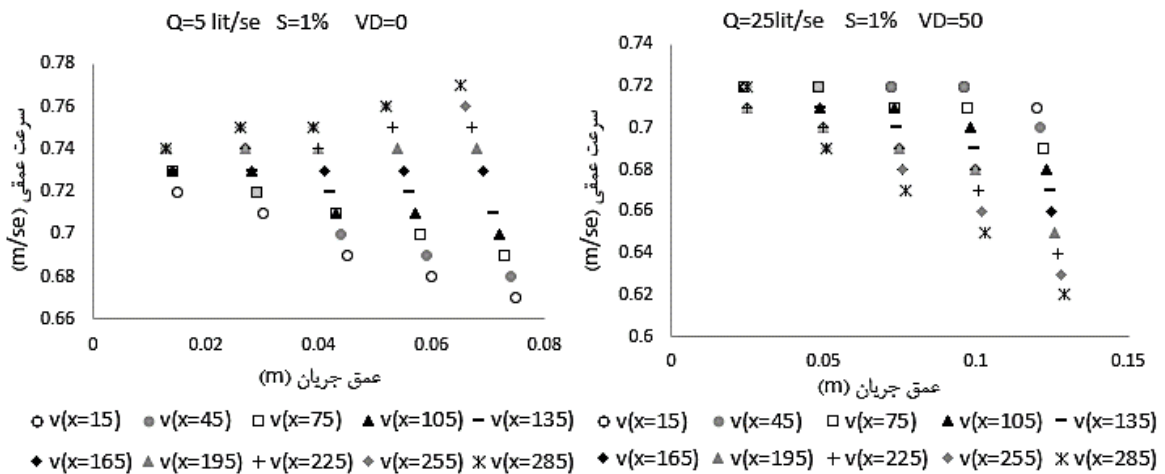
شدت بیشتری پیدا می‌کند. به طور مثال سرعت عمقی در دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه با افزایش ۵۰ درصدی تراکم در مقطع دوم ($X=45$) به ترتیب ۸، ۹/۹۷ و ۸/۶۳ درصد در شرایط مسطح و شیب‌های ۰/۵ و ۱ درصد نسبت به شرایط بدون پوشش مشابه افت داشته و میزان افت سرعت در همین دبی و تراکم در مقطع هشتم ($X=225$) به ترتیب به ۷/۶، ۲۰ و ۲۳/۴۰ درصد و در مقطع آخر ($X=285$) به ۸/۶۶، ۱۹/۶۳ و ۲۱/۶۵ درصد رسید. اما میزان افت این پارامتر در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و با افزایش ۵۰ درصدی تراکم در مقطع دوم در شرایط مسطح و شیب‌های ۰/۵ و ۱ درصد به ۱۴، ۱۳/۲۰ و ۱۳/۱۰ درصد و در مقطع هشتم به ۱۵/۴۴، ۲۰/۸۴ و



شکل (۶- الف): تغییرات سرعت عمقی ثبت شده در مقاطع مختلف فلوم در شرایط مسطح



شکل (۶-ب): تغییرات سرعت عمقی ثبت شده در مقاطع مختلف فلوم در شیب ۰/۵ درصد

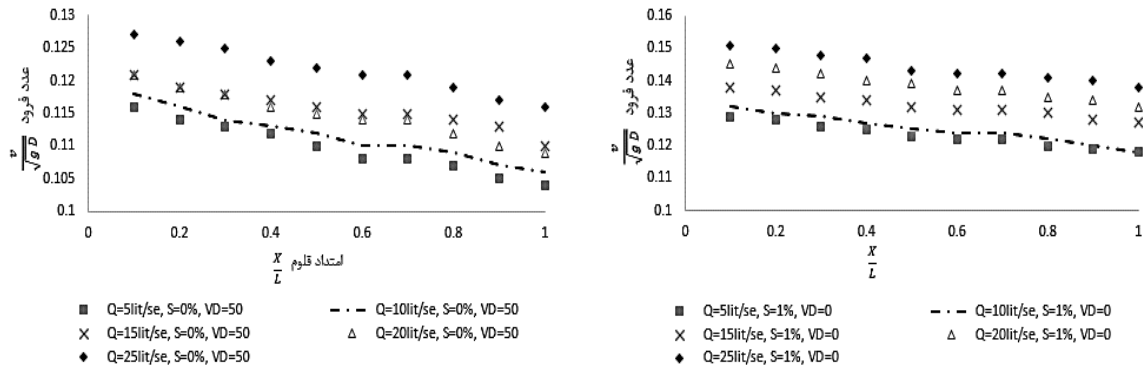


شکل (۶-ج): تغییرات سرعت عمقی ثبت شده در مقاطع مختلف فلوم در شیب ۱ درصد

ثانیه با افزایش ۵۰ درصدی تراکم، حداقل ۶/۰۳ درصد (در شرایط مسطح) و حداکثر ۸ درصد (در شیب ۱ درصد) کاهش یافت. اما شدت کاهش آن در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه به حداکثر ۱۴/۱۸ درصد (در شرایط مسطح) و حداقل ۱۲/۵ درصد (در شیب ۱ درصد) رسید. با افزایش دبی و شیب در یک تراکم ثابت، عدد فرود افزایش یافت که از یک روند غیر خطی برخوردار است و نرخ افزایش آن در مقادیر بالاتر دبی بیشتر است. به طوری که این پارامتر با افزایش دبی از ۲۰ به ۲۵ لیتر بر ثانیه در تراکم ۵۰ درصد به طور متوسط ۶/۱۶

تغییر عدد فرود در تراکم‌های مختلف پوشش بستر
بررسی مقادیر عدد فرود محاسبه شده نشان داد که این پارامتر از روند کاهشی در امتداد فلوم برخوردار است (شکل ۷). تجزیه و تحلیل مقادیر محاسبه شده نشان داد که در یک دبی ثابت با افزایش تراکم پوشش، عدد فرود به صورت غیرخطی کاهش یافته است. زیرا افزایش پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت جریان و افزایش تراز سطح آب شده که در نهایت منجر به کاهش عدد فرود می‌گردد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۵). به طوری که این پارامتر در دبی ۵ لیتر بر

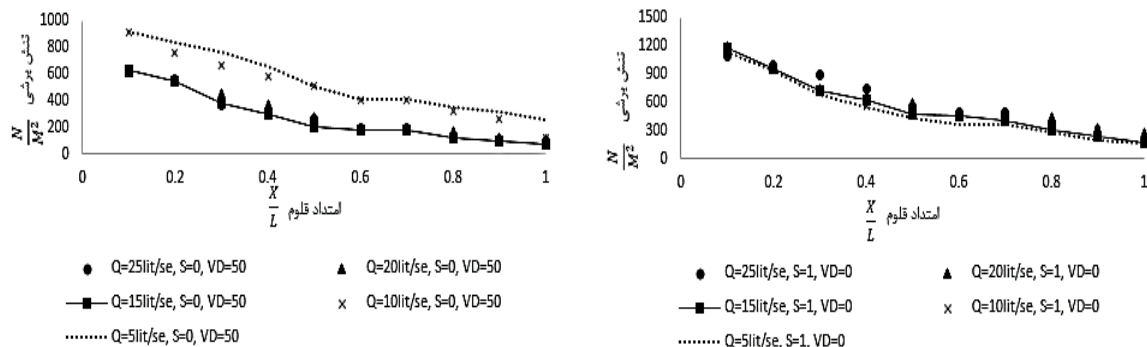
درصد و با افزایش دبی از ۵ به ۱۰ لیتر بر ثانیه در همین تراکم به طور متوسط ۱/۷۷ درصد افزایش یافت.



شکل (۷): تغییر عدد فرود در امتداد فلوم

نسبت به مقدار ثبت شده در دبی مشابه و شرایط مسطح افزایش داشت و شدت افزایش آن در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و تراکم مشابه به ترتیب به ۴۲/۷۳ و ۴۰/۴۱ درصد نسبت به شرایط مسطح رسید. در واقع با اضافه شدن تراکم پوشش گیاهی، المان‌های زبری یعنی شاخ و برگ گیاهان در جهت عمود بر مسیر جریان بیشتر شده و با مقاومت بیشتر در برابر عبور جریان باعث کاهش سرعت جریان و افزایش زبری شده است. در واقع نیروی کشانه ناشی از پوشش گیاهی موجب افزایش مقاومت کلی جریان و کاهش تنش برشی می‌شود (دریکوندی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Wu and He, 2009). اما در صورت افزایش سرعت جریان با تغییر شیب و یا افزایش دبی ورودی، به دلیل انعطاف پذیری پوشش گیاهی شاخ و برگ هم جهت و همسو با جریان شده و سطح برگ مقابل جریان کاهش یافته و باعث کاهش میزان زبری و افزایش تنش برشی بستر در مقایسه با سرعت‌های کمتر جریان می‌شود.

تغییر تنش برشی در تراکم‌های مختلف پوشش بستر
بررسی مقادیر تنش برشی محاسبه شده در مقاطع مختلف فلوم نشان داد که این پارامتر از روند کاهش در امتداد فلوم برخوردار است (شکل ۸). تجزیه و تحلیل مقادیر محاسبه شده نشان داد که در یک دبی ثابت با افزایش تراکم پوشش، تنش برشی به صورت غیر خطی کاهش یافته است. به طوری که این پارامتر در دبی ۵ لیتر بر ثانیه با افزایش ۵۰ درصدی تراکم، حداکثر ۲۸/۲۵ درصد (در شیب ۱ درصد) و حداقل ۲۳/۱۴ درصد (در شرایط مسطح) کاهش یافت. اما شدت کاهش آن در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه به حداکثر ۱۴/۶۰ درصد (در شیب ۱ درصد) و حداقل ۴/۷۲ درصد (در شیب ۰/۵ درصد) رسید. با افزایش دبی و شیب در یک تراکم ثابت، تنش برشی افزایش یافت که از یک روند غیر خطی برخوردار است. به طور مثال این پارامتر در دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه و تراکم پوشش ۳۰ درصد به ترتیب ۲۲ درصد (در شیب ۰/۵ درصد) و ۱۴/۱۷ درصد (در شیب ۱ درصد)

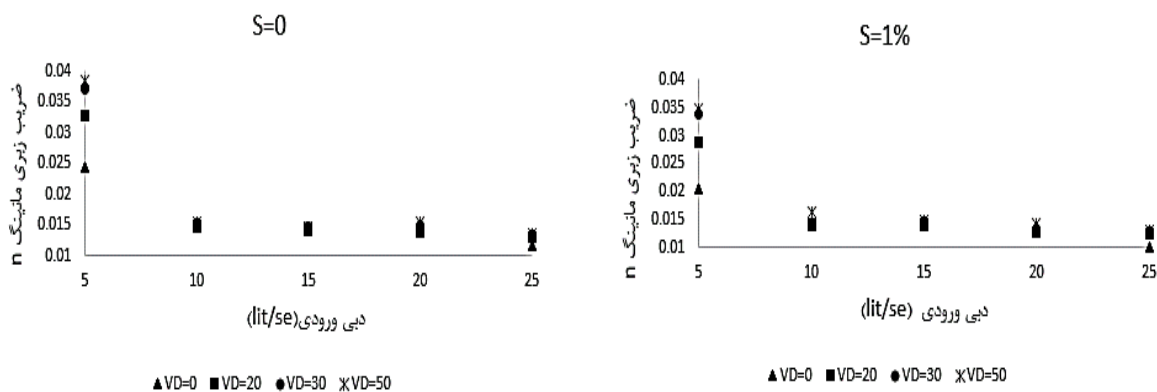


شکل (۸): تغییر تنش برشی در امتداد فلوم

تراکم پوشش از ۵۰ درصد به صفر، حداکثر ۴۰/۹۲ درصد در شیب ۱ و حداقل ۳۶/۸۸ درصد در شرایط مسطح کاهش یافت و میزان کاهش آن در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب به ۲۲/۹۰ و ۱۲/۶۸ درصد در شیب ۱ و شرایط مسطح رسید. اما در یک مقایسه کلی شدت کاهش زبری با هر گام کاهش پوشش در ازای همه مقادیر شیب و دبی مورد بررسی از ۳۰ درصد تجاوز نکرد (جدول ۳).

تغییر ضریب زبری مانینگ در تراکم‌های مختلف پوشش بستر

بررسی مقادیر ضریب مانینگ محاسبه شده نشان داد که در یک دبی ثابت با کاهش تراکم پوشش، ضریب زبری به صورت غیرخطی کاهش می‌یابد که این روند در همه مقادیر شیب مورد بررسی مشاهده شد (شکل ۹). به طوری - که ضریب زبری در دبی ۵ لیتر بر ثانیه و در شرایط کاهش



شکل (۹): تغییر ضریب زبری مانینگ

جدول (۳): ضریب زبری مانینگ در ازای تراکم‌های مختلف پوشش بستر

		Q=5 (lit/se)	Q=10(lit/se)	Q=15(lit/se)	Q=20(lit/se)	Q=25(lit/se)
S=0	بدون پوشش	۰/۰۲۴۳	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۴۱	۰/۰۱۲۹	۰/۰۱۱۷
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۰۳۲۸	۰/۰۱۵۰	۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۴۰	۰/۰۱۳۰
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۰۳۷۱	۰/۰۱۵۲	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۴۸	۰/۰۱۳۳
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۰۳۸۵	۰/۰۱۵۳	۰/۰۱۴۶	۰/۰۱۵۵	۰/۰۱۳۴
S=0.5%	بدون پوشش	۰/۰۲۲۳	۰/۰۱۴۳	۰/۰۱۴۰	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۰۶
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۰۳۱	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱۴۳	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۲۸
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۰۳۶۱	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۲۹
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۰۳۷	۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۴۹	۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۳۳
S=1%	بدون پوشش	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۳۸	۰/۰۱۳۹	۰/۰۱۳۶	۰/۰۱۰۱
	تراکم ۲۰ درصد	۰/۰۲۸۷	۰/۰۱۴۰	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۲۷	۰/۰۱۲۳
	تراکم ۳۰ درصد	۰/۰۳۳۹	۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۴۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۱۲۶
	تراکم ۵۰ درصد	۰/۰۳۴۷	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۴۷	۰/۰۱۴۳	۰/۰۱۳۱

جریان افزایش یافت که بیشترین مقدار آن (۰/۱۱۹ m) در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و تراکم ۵۰ درصد و شرایط مسطح مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان افزایش تراز سطح آب در همه مقادیر شیب و تراکم مورد بررسی در افزایش گام به گام دبی از ۵ به ۱۰ لیتر بر ثانیه مشاهده شد که از حداقل ۱۲/۳۴ درصد در شرایط مسطح و تراکم ۵۰ درصد تا حداکثر ۲۱/۹۱ درصد در همین شرایط و تراکم ۲۰ درصد متغیر بود. همچنین افزایش تراکم پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت طولی جریان، افزایش مقاومت در برابر جریان و کاهش ظرفیت انتقال شد. در تحقیق حاضر با افزایش شیب و دبی ورودی در یک تراکم ثابت، سرعت طولی جریان افزایش یافت که بیشترین مقدار آن (۰/۱۴۰ m/se) در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و شیب ۱ درصد و شرایط بدون پوشش مشاهده شد. همچنین بیشترین کاهش سرعت طولی جریان در دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه و با افزایش ۵۰ درصدی تراکم پوشش بستر در همه مقادیر شیب مورد بررسی مشاهده شد. سرعت عمقی جریان نیز با افزایش تراکم پوشش گیاهی به صورت غیر خطی کاهش یافت که مقدار کاهش آن از حداقل ۲/۷۴ درصد (دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه و شرایط مسطح) تا حداکثر ۱۶/۲۸ درصد (دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و شیب ۱ درصد) متغیر بود. بیشترین مقدار سرعت عمقی جریان (۰/۸۶ m/se) در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

در یک تراکم ثابت نیز روند غیر خطی تغییر زبری مشاهده شد. به عنوان مثال در تراکم ۵۰ درصد و شیب ۱ درصد با افزایش دبی از ۱۰ به ۲۰ لیتر بر ثانیه (افزایش ۱۰۰ درصدی دبی) ضریب زبری از ۰/۱۶۴ به ۰/۱۴۳ کاهش یافت، یعنی در حدود ۱۳ درصد مقدار قبلی خود کاهش یافته که با نتایج دریکوندی و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد.

نتیجه گیری

شناخت عوامل موثر بر رفتار هیدرولیکی جریان مانند پوشش‌های گیاهی از مسائل مهم در بهبود بهره‌وری و مدیریت کانال‌های خاکی است که لازم است با توجه به تغییرات گسترده ویژگی‌های پوشش در زمان و مکان، مورد مطالعه بیشتر قرار گیرد. یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که افزایش تراکم پوشش گیاهی و دبی ورودی باعث افزایش اختلاف سطح و بستر جریان می‌شود که از یک روند غیر-خطی برخوردار است، اما با افزایش بیشتر سرعت جریان که نتیجه افزایش دبی ورودی و شیب می‌باشد، از شدت افزایش تراز سطح کاسته شده و به عبارتی اثر پوشش گیاهی به دلیل کاهش مقاومت در برابر جریان و همسو شدن اندام گیاهی با جریان کاهش می‌یابد. با افزایش تراکم پوشش گیاهی و دبی ورودی در ازای مقادیر ثابت شیب، تراز سطح

بیشترین کاهش تنش برشی (۲۸/۲۵ درصد) در دبی ۵ لیتر بر ثانیه و شیب ۱ درصد و در شرایط کاهش ۵۰ درصدی پوشش مشاهده شد. ضریب زبری مانینگ نیز با افزایش تراکم پوشش بستر در همه شیب‌های مورد بررسی کاهش یافت و بیشترین مقدار آن (۰/۰۳۸۵) در دبی ۵ لیتر بر ثانیه و شرایط مسطح و تراکم ۵۰ درصد مشاهده شد که نسبت به مقدار ثبت شده در شرایط بدون پوشش مشابه ۳۶/۸۸ درصد افزایش داشت. همچنین در یک دبی ثابت با افزایش تراکم پوشش، عدد فرود جریان کاهش یافت که بیشترین میزان کاهش عدد فرود (۱۴/۱۸ درصد) در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و شرایط مسطح و با کاهش ۵۰ درصدی تراکم پوشش مشاهده شد

و شیب ۱ درصد و شرایط بدون پوشش گیاهی مشاهده شد که نسبت به متوسط سرعت ثبت شده در تراکم ۵۰ درصد، ۱۹/۴۴ درصد افزایش داشت. همچنین بیشترین مقدار سرعت عمقی به طور متوسط در ۲ سانتی‌متری زیر سطح آب مشاهده شد. تنش برشی نیز با افزایش تراکم پوشش گیاهی در یک دبی ثابت به صورت غیر خطی کاهش یافت. زیرا افزایش تراکم پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت و افزایش تراز سطح آب شده و در نتیجه جریان آرامتری در کانال مشاهده می‌شود. اما با افزایش گام به گام دبی و همچنین شیب در یک تراکم ثابت، روند افزایشی تنش برشی مشاهده شد که به دلیل همسو شدن اندام هوایی گیاهان با جریان و کاهش مقاومت در برابر جریان است.

منابع

- ابراهیمی، ن. ق.، ع. شیردلی، ا. نیکخواه جوان و م. حسینی. ۱۳۹۵. تاثیر پوشش گیاهی بستر آبراهه بر هیدرولیک جریان و فرم بستر. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۸، شماره ۲، ص ۱۹۲-۱۸۲.
- افضلی مهر، ح. و پ. ستایش. ۱۳۹۷. بررسی قوانین لگاریتمی و کولز در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی غیر مستغرق. نشریه علمی- پژوهشی هیدرولیک، دوره ۱۳، شماره ۱، ص ۶۲-۴۷.
- دریکوندی، خ. م. فتحی مقدم، ع. مسجدی و م. بیبا. ۱۳۹۱. بررسی اثر تراکم و انعطاف پذیری پوشش گیاهی روی ضرائب زبری در سواحل رودخانه ها و دشت های سیلابی در حالت غیر مستغرق. مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲، ص ۲۴-۳۵.
- شمال نسب، ب. ع. مسجدی و م. فتحی مقدم. ۱۳۸۶. ضریب زبری پوشش گیاهی طبیعی در ساحل رودخانه ها. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
- لشکرآرا، ب. و ا. دهقانی. ۱۳۹۴. واسنجی پارامترهای حاکم بر مدل شیونو و نایت به منظور تخمین تنش برشی در کانال های دوزنقه ای. علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۳۸، شماره ۴، ص ۲۰۱-۱۸۹.
- Bailly, J.S., F. Vinatier, G. Belaud and D. Combemale. 2015. Vegetation patch effects on flow resistance at channel scale. E-Proceedings of the 36th IAHR world congress, Hauge, Netherland.
- Chiaradia, E.A., C. Gandolfi, and G.B. Bischetti. 2019. Flow resistance of partially flexible vegetation: A full-scale Study with natural plants. Journal of Agricultural Engineering, 885:55-65.
- Errico, A., V. Pasquino, M. Maxwald, G.B. Chirico, I. Solari and F. Preti F. 2018. The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: estimation of roughness coefficients at the real scale. Ecological Engineering, 120: 411-421.
- Fattet, M., Y. Fu, M. Ghestem, W. Ma, M. Foulonneau and J. Nespoulous. 2011. Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: relationship between aggregate stability and shear strength. CATENA, 87: 60-69.
- Gonzalez, J.A., C.S. Melching and K.A. Oberg. 1996. Analysis of open-channel velocity measurements collected with an acoustic doppler current profiler. 1th international conference on new/emerging concepts for river, The international water resources association, Chicago, Illinois, USA.



- Nehal, L., A. Hamimed and A. Khaldi. 2013. Experimental study on the impact of emergent vegetation on flow. 7th International Water Technology Conference, IWTC. Istanbul, Turkey.
- Panigrahi, K. and K.K. Khatua. 2015. Prediction of velocity distribution in straight channel with rigid vegetation. Aquatic Procedia, 4:819-825.
- Termini, D. 2009. Experimental analysis of turbulence characteristics and flow conveyance effects in a vegetated channel. Geophysical Research Abstracts, 11: 5792.
- Wu, W., and Z. HE. 2009. Effects of vegetation on flow conveyance and sediment transport capacity. International Journal of Sediment Research, 24:247-259.
- Li, W.Q., D. Wang, J. Jiao, K. Yang. 2019. Effects of vegetation patch density on flow velocity characteristics in an open channel. Journal of Hydrodynamics, 31:1052-1059
- Xia, J., and L. Nehal. 2014. Hydraulic features of flow through emergent bending aquatic vegetation in the riparian zone. Journal of Water, 5:2080-2093.
- Zhang, G., G. Liu, G. Wang and Y. Wang. 2012. Effects of patterned artemisia capillaris on overland flow velocity under simulated rainfall. Hydrological Process, 26: 3779–3787.
- Zhang, H.Y., Z.Y. Wang, W.G. Xu, L.M. Dai. 2015. Effects of rigid unsubmerged vegetation on flow field structure and turbulent kinetic energy of gradually varied flow. River Research and Application Journal, 31:1166-1175.



Experimental Study on the Effects of Bed Channel Vegetation Density on Flow Hydraulic Characteristics

Malihe Hajghani¹, Soudabeh Golestani Kermani^{*2}, Mohammad Zounemat-Kermani³, Gholam Abbas Barani⁴

Abstract

In this paper, the effects of bed vegetation density, inflow rate and slope on some hydraulic properties of flow was studied in a laboratory environment. For this purpose, a trapezoidal flume with 3m long was established and some hydraulic characteristics of flow such as water level, manning roughness coefficient, longitudinal velocity, deep velocity and bed shear stress were recorded in different flexible artificial bed cover densities (VD= 0,20%,30%,50%) inflow rate (Q= 5,10,15,20,25 lit/se) and slope (S=0, 0.5%,1%). Final results analysis showed that behavior of hydraulic parameters depends on the interaction between inflow rate and slope and vegetation density. Water level and manning roughness coefficient increased nonlinearly with increasing bed vegetation density at a constant inflow rate. Maximum water level and roughness coefficient were observed in S=0, VD=50%, Q=25, 5 lit/se respectively. Also, with increasing bed vegetation density at a constant inflow rate, deep velocity and shear stress decreased nonlinearly and longitudinal velocity decreased linearly. Minimum longitudinal velocity and shear stress were observed in S=0, VD=50%, Q=5, 25 lit/se respectively. Froude number decreased with increasing vegetation density at a constant inflow rate. Maximum Froude number was seen in VD=0, Q=25 lit/se.

Key words: Vegetation cover, Channel bed roughness, Flow velocity, Hydraulic resistance.

¹ - Graduate of M. Sc. in Water Structures, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email:hajghani.malihe@yahoo.com

² *- Assistant Professor and Corresponding author, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: s.golestani@uk.ac.ir

³ - Associate Professor, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: zounemat@uk.ac.ir

⁴ - Professor, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: gab@uk.ac.ir

Research Paper

Experimental Study on the Effects of Bed Channel Vegetation Density on Flow Hydraulic Characteristics

Malihe Hajghani¹ Soudabeh Golestani Kermani² Mohammad Zounemat-Kermani³, Gholam Abbas Barani⁴

¹. Graduate of M. Sc. in Water Structures, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: hajghani.malihe@yahoo.com

² *- Assistant Professor and Corresponding author, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: s.golestani@uk.ac.ir

³ - Associate Professor, Water Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: zounemat@uk.ac.ir

⁴ - Professor, Civil Engineering Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. Email: gab@uk.ac.ir



10.22125/IWE.2020.240767.1395

Received:
July 23, 2020

Accepted:
November.25.2020

Available online:
March.13.2022

Keywords:

Vegetation cover, Channel bed roughness, Flow velocity, Hydraulic resistance.

Abstract

In this paper, the effects of bed vegetation density, inflow rate and slope on some hydraulic properties of flow was studied in a laboratory environment. For this purpose, a trapezoidal flume with 3m long was established and some hydraulic characteristics of flow such as water level, manning roughness coefficient, longitudinal velocity, deep velocity and bed shear stress were recorded in different flexible artificial bed cover densities (VD= 0,20%,30%,50%) inflow rate (Q= 5,10,15,20,25 lit/se) and slope (S=0, 0.5%,1%). Final results analysis showed that behavior of hydraulic parameters depends on the interaction between inflow rate and slope and vegetation density. Water level and manning roughness coefficient increased nonlinearly with increasing bed vegetation density at a constant inflow rate. Maximum water level and roughness coefficient were observed in S=0, VD=50%, Q=25, 5 lit/se respectively. Also, with increasing bed vegetation density at a constant inflow rate, deep velocity and shear stress decreased nonlinearly and longitudinal velocity decreased linearly. Minimum longitudinal velocity and shear stress were observed in S=0, VD=50%, Q=5, 25 lit/se respectively. Froude number decreased with increasing vegetation density at a constant inflow rate. Maximum Froude number was seen in VD=0, Q=25 lit/se.

1. Introduction

Vegetation growth in the bed and walls of earthen channels is almost inevitable. Therefore, evaluating flow hydraulic behavior considering different vegetation patterns is among the important issues in the channel operation and protection. Studies have revealed vegetation reduces average flow velocity, strengthens soil, increases soil shear strength and enhances channel wall and bed roughness. However, changes in roughness and, consequently, behaviors such as sedimentation intensity are affected by flow velocity and vegetation characteristics. Numerous researchers such as Xia and Nehal (2014), Bailly et al. (2015), Panigrahi and Khatua (2015), Zhang et al. (2015), Errico et al. (2018) and Chiaradia et al. (2019) have investigated the effect of bed vegetation on the flow hydraulic behavior and shown many flow hydraulic parameters such as average longitudinal and depth velocity, shear stress, scour and sedimentation are influenced by density, type and shape of vegetation. The present study aims to

evaluate the effect of a wide range of inlet flow rates, vegetation density and land slope on the parameters such as shear stress, roughness coefficient, longitudinal and depth velocity of flow and Froude number, which could have significantly impact erosion and sedimentation processes in the channel.

2. Materials and Methods

A laboratory trapezoidal flume with the length of 5 m, bottom width of 30 cm and top width and depth of 50 cm which could change the bottom slope was used in order to evaluate the effect of the channel bed vegetation on flow hydraulic parameters. The flume frame was metal and its wall and bed were made of transparent plexiglass materials. The existing materials in the laboratory with the average diameter of 4 mm were employed to cover the channel bed and wall. Furthermore, two mesh plexiglass sheets and straw coverage embedded in the bed were applied to control flow velocity before entering the flume. Then, a flexible and artificial fractional vegetation cover (FVC) with the height of 10 cm and densities of 0, 20%, 30% and 50% was installed at the bottom of the channel along 3 m of the flume. In each experiment, flow was generated after the vegetation was installed and evenly entered the flume after passing through the soothing surface. Finally, it exited the end open valve of the flume after going along the route. In total, 180 experiments were performed at five different inlet flow rates (5, 10, 15, 20 and 25 l/sec), three slopes (0, 0.5% and 1%) and four vegetation densities (0, 20%, 30% and 50%) at three iterations. The flume length was divided into 10 sections with 30cm length and the flow velocity at the end of each section was recorded by calculating the difference between dynamic and static pressure inside the channel and pitot pipe at five different depths. The flow level was measured using a level gauge with the accuracy of 0.1 mm in each section. Then, the bed shear stress, Manning's roughness coefficient and Froude number were calculated using the collected data through Eqs. 1, 2 and 3.

$$\tau_0 = \rho g R_h S_f \quad (1)$$

$$n = \frac{R^{0.667} S^{0.5}}{V} \quad (2)$$

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g D}} \quad (3)$$

Where ρ = bulk density (kg.m⁻³), g = gravity acceleration (m.s⁻²), R_h = hydraulic radius (m), S_f = hydraulic gradient, τ_0 = shear stress (n.m⁻²), S = bed slop (m.m⁻¹), D = hydraulic depth (m), V = flow velocity (m.s⁻¹).

3. Results

The results indicated that flow surface level increased with increasing the vegetation density and inlet flow rate at constant slopes, the highest value of which (0.119 m) was observed at the flow rate of 25 (l/sec) and density of 50% under flat conditions. Moreover, the water surface level was examined at all the slopes and densities, and the highest value was observed as the flow rate increased from 5 to 10 (l/sec), which ranged from the minimum of 12.34% at the density of 50% under flat conditions to the maximum of 21.91% at the density of 20% under the same conditions. In the present study, longitudinal velocity of the flow increased with increasing the slope and inlet flow rate at constant density, the highest value of which (0.140 m/sec) was observed at the flow rate of 25 (l/sec) and slope of 1% under non-vegetated conditions. Depth velocity of the flow decreased nonlinearly with increasing the vegetation density. The highest depth velocity (0.86 m/sec) was observed at the flow rate of 25 (l/sec) and slope of 1% under non-vegetated conditions at the depth of 2 cm below the water surface on average. The highest reduction in shear stress (28.25%) was observed at the flow rate of 5 (l/sec) and slope of 1% under 50% reduction in vegetation. Manning's roughness coefficient decreased with increasing the bed vegetation density at all the studied slopes, the highest value (0.0385) of which was observed at the flow rate of 5 (l/sec) and 50% density under flat conditions. The Froude number of flow decreased with increasing the vegetation density at a constant flow rate, so that the highest decrease in Froude number (14.18%) was found at the flow rate of 25 (l/sec) with 50% reduction in vegetation density under flat conditions.

4. Discussion and Conclusion

Final results analysis showed that behavior of hydraulic parameters depends on the interaction between inflow rate and slope and vegetation density. Water level and Manning roughness coefficient increased nonlinearly with increasing bed vegetation density at a constant inflow rate. Maximum water level and roughness coefficient were observed in $S=0$, $VD=50\%$, $Q=25$, 5 lit/se respectively. Also, with increasing bed vegetation density at a constant inflow rate, deep velocity and shear stress decreased nonlinearly and longitudinal velocity decreased linearly. Minimum longitudinal velocity and shear stress were observed in $S=0$, $VD=50\%$, $Q=5$, 25 lit/se respectively. Froude number decreased with increasing vegetation density at a constant inflow rate. Maximum Froude number was seen in $VD=0$, $Q=25$ lit/se.

5. Six important references

1. Bailly, J.S., F. Vinatier, G. Belaud and D. Combemale. 2015. Vegetation patch effects on flow resistance at channel scale. E-Proceedings of the 36th IAHR world congress, Hauge, Netherland.
2. Chiaradia, E.A., C. Gandolfi, and G.B. Bischetti. 2019. Flow resistance of partially flexible vegetation: A full-scale Study with natural plants. *Journal of Agricultural Engineering*, 885:55-65.
3. Errico, A., V. Pasquino, M. Maxwald, G.B. Chirico, I. Solari and F. Preti F. 2018. The effect of flexible vegetation on flow in drainage channels: estimation of roughness coefficients at the real scale. *Ecological Engineering*, 120: 411-421.
4. Panigrahi, K. and K.K. Khatua. 2015. Prediction of velocity distribution in straight channel with rigid vegetation. *Aquatic Procedia*, 4:819-825.
5. Xia, J., and L. Nehal. 2014. Hydraulic features of flow through emergent bending aquatic vegetation in the riparian zone. *Journal of Water*, 5:2080-2093.
6. Zhang, H.Y., Z.Y. Wang, W.G. Xu, L.M. Dai. 2015. Effects of rigid unsubmerged vegetation on flow field structure and turbulent kinetic energy of gradually varied flow. *River Research and Application Journal*, 31:1166-1175.

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.