

بررسی میدان جریان نزدیک شونده به عرشه پل در مقاطع مرکب با پوشش گیاهی

علی دانکوا^۱، حجت الله یونسی^{۲*}، مجتبی صانعی^۳

۱- دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۲

چکیده

در زمان بروز سیلاب هایی با دبی های بیشتر از دبی طرح در رودخانه ها و افزایش تراز سطح آب، احتمال این که عرشه پل به زیر آب رود زیاد است. در این شرایط، جریان عبوری از زیر عرشه به صورت تحت فشار رفتار خواهد کرد. با توجه به شکل طبیعی رودخانه ها که بیشتر به صورت مقطع مرکب است، پیش بینی میدان جریان در کانال های مرکب به علت ماهیت سه بُعدی جریان برای مهندسان هیدرولیک دشوار است. شرایط تحت فشار و اختلاف زبری بین کانال اصلی و سیلاب دشت ها از عوامل پیچیده تر شدن تحلیل پارامترهای هیدرولیکی جریان در کانال های مرکب است. در این پژوهش، آزمایش ها با پوشش گیاهی صلب غیر مستغرق و با سه عرض مختلف سیلاب دشت و چهار تراکم مختلف پوشش گیاهی با سه عمق نسبی متفاوت به اجرا در آمده اند. نتایج پژوهش نشان داد افزایش تراکم پوشش گیاهی باعث افزایش سرعت طولی در کانال اصلی و کاهش آن در سیلاب دشت می شود و افزایش تراکم پوشش گیاهی، به طور متوسط باعث کاهش ۱۷ درصد مشارکت سیلاب دشت در عبور دبی عبوری از مقطع کانال مرکب خواهد شد. وجود عرشه پل و شرایط جریان تحت فشار باعث پس زدگی جریان می شود که به کاهش سرعت جریان و دبی جریان عبوری از زیر عرشه پل می انجامد.

واژه های کلیدی: سرعت میانگین عمقی، مقاطع مرکب، پایه پل، ضریب تصحیح انرژی، تصحیح اندازه حرکت

مقدمه

عمق جریان در رودخانه افزایش می یابد و جریان وارد سیلاب دشت ها می گردد. اختلاف سرعت بین مقطع عمیق تر و ناحیه کم عمق باعث انتقال مومنتوم بین این نواحی می شود و ساختار جریان را پیچیده تر می کند.

میرز و همکاران (Myers et al., 2001) می گویند خطای برآورد دبی هنگامی افزایش می یابد که اختلاف

به طور معمول، اغلب رودخانه ها مقطع مرکب دارند که عملکرد این مقاطع در هنگام سیل، و با حرکت جریان به سمت سواحل کناری رودخانه، اهمیت می یابد. بنابراین، درک مناسب از ساختار جریان رودخانه ها و بررسی تفاوت های آن در مواقع سیلابی و غیرسیلابی ضروری است. با رخداد سیل، سرعت و

نیمرخ سرعت به صورت نقاط انحنا^۲ ظاهر می شود. اثرگذاری لایه برشی در عمق های کم جریان بیشتر است و با افزایش عمق جریان کاهش می یابد (Myers & Elsaywy, 1975).

فرآیند شکل گیری جریان های ثانویه و الگوی آن در مقاطع مرکب بسیار پیچیده است که محققانی همچون (Naot et al., (Tominaga & Nezu, 1991), (Nezu et al., 1993), (1993) به آن پرداخته اند. در کانال های مرکب، جریان های ثانویه در اثر ناهمسانی آشفتگی ایجاد می شود و خصوصیات آن تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله هندسه مقطع عرضی، نسبت تصویر^۳، عمق نسبی جریان و میزان آشفتگی است. شیونو و نایت (Shiono and Knight, 1991) با کاربرد معادله ناویر-استوکس در شرایط دائمی و یکنواخت و در شرایط بدون پوشش گیاهی معادله های ۱ و ۲ را ارائه کردند.

زبری بین کانال اصلی و سیلابدشت حداکثر باشد. نسبت عمق جریان روی سیلابدشت به عمق جریان در کانال اصلی را اصطلاحاً عمق نسبی^۱ می نامند.

به دلیل حرکت سریع جریان در کانال اصلی و سرعت کمتر جریان روی سیلابدشت، لایه ای برشی در صفحه عمودی بین کانال اصلی و سیلابدشت در برابر جریان ایجاد می شود. لایه برشی تشکیل شده موجب کاهش ظرفیت انتقال جریان در کانال اصلی و افزایش آن در سیلابدشتها می گردد، اما به طور کلی ظرفیت انتقال جریان را در کل مقطع جریان کاهش می دهد (Knight & Hamed, 1984). این اثر را نخستین بار سلین (Sellin, 1964) "اثر سینماتیکی" نامید. در حقیقت این لایه برشی در اثر ناپایداری Kelvin-Helmholtz به وجود می آید و باعث شکل گیری گردابه های منسجم بزرگ مقیاس حول محور قائم در صفحه مشترک می گردد که اثر آن بر

$$\rho g H S_{0x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \lambda \sqrt{\frac{f}{8}} H^2 U_d \frac{\partial U_d}{\partial y} \right) - \frac{\rho \cdot f}{8} \sqrt{1 + S_{0y}^2} U_d^2 = \Gamma \quad (1)$$

$$U_d = \frac{1}{H} \int_0^H u \cdot dz \quad , \quad u_* = \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \quad , \quad \Gamma = \frac{\partial}{\partial y} [H(\rho UV)_d] \quad (2)$$

راستای x, y هستند.

سیلابدشتها و رودخانه های آبرفتی معمولاً پوشیده از درختان (صلب) و گیاهان (انعطاف پذیر) مختلف هستند و نسبت به مجرای اصلی رودخانه ضریب زبری بسیار بیشتری دارند. جریان گذرنده از میان گیاهان ممکن است باعث شود

در این معادله ها: $U_d, \Gamma, f, \lambda, S_{0y}, S_{0x}, H, \rho$ به ترتیب چگالی سیال، عمق جریان در کانال اصلی (معادل h_a)، شیب کف کانال، شیب دیواره جانبی کانال، ضریب بدون بُعد لزوجت گردابه ای، ضریب زبری دارسی-ویسباخ، ترم جریان ثانویه، سرعت متوسط گیری شده در عمق و سرعت برشی است. x, y به ترتیب راستای طولی و عرضی جریان و U, V نیز سرعت در

³- Aspect Ratio

¹- Relative Depth

²- Inflectional Point

بررسی میدان جریان نزدیک شونده به عرشه پل در مقاطع مرکب با پوشش گیاهی

وجود پوشش گیاهی تا حدود ۳۰ درصد دبی عبوری از آبراهه را کاهش می‌دهد. محسنی و توکلی نژاد الله‌آبادی (Mohseni & Tavakoli nezhadallahabadi, 2021) نشان دادند که نیمرخ عمقی سرعت در شرایط بدون پوشش گیاهی در همه عرض آبراهه مرکب به جز حدفاصل آبراهه اصلی و سیلابدشت از نیمرخ لگاریتمی پیروی می‌کند. با افزایش تراکم پوشش گیاهی، سرعت در آبراهه اصلی افزایش و در سیلابدشت کاهش می‌یابد.

پاسچه و ریو (Pasche & Rouve, 1985) اولین مطالعات آزمایشگاهی را روی جریان لبریزی در کانال‌های مرکب منشوری با پوشش گیاهی غیرمستغرق در سیلابدشت به-انجام رساندند. این محققان با توجه به آنالیز نتایج آزمایشگاهی، یک مدل ریاضی یک بعدی را برای محاسبه توزیع عرضی سرعت متوسط عمقی، تنش برشی ظاهری و ضریب اصطکاک (λ_f) در هر یک از زیرمقاطع ارائه دادند. داربی و تورن (Darby & Thorne, 1996) با استفاده از یک مدل عددی به پیش‌بینی منحنی‌های دبی-اشل در کانال‌های مرکب با مقطع عرضی نامنظم همراه با پوشش گیاهی در سیلابدشت و بستر شنی پرداختند و از یک فرآیند تکراری برای برآورد ضریب زبری داریسی-ویسباخ و به تبع آن محاسبه دبی واحد (q) بهره گرفتند. نف و ویونی (Nepf & Vivoni, 2000) در مطالعه‌ای ساختار جریان همراه با پوشش گیاهی را در کانال‌های روباز بررسی و در مطالعات خود به‌ویژه حالت گذرا از رژیم مستغرق به غیرمستغرق را براساس سه ویژگی متوسط مومنوم، آشفتگی و تبادل دینامیکی جریان توصیف کردند.

فتحی مقدم و دریکوندی (Fathi-Moghadam & Drikvandi, 2012)، ضریب زبری مانینگ را در سواحل رودخانه‌ها و سیلابدشت‌ها با پوشش گیاهی غیرمستغرق برآورد کردند و

پوشش گیاهی مستغرق^۱ یا غیرمستغرق^۲ شود. وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت‌ها، ساختار هیدرولیکی جریان در رودخانه را بسیار پیچیده می‌کند و استفاده از روابط معمول برای تعیین سرعت، دبی، انتقال رسوب و پخش آلاینده‌ها را با مشکل روبه‌رو خواهد ساخت (Gholinejad *et al.*, 2011). مقایسه بین نواحی دارای پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی نشان می‌دهد که، وجود پوشش گیاهی باعث کاهش سرعت جریان آب و افزایش آشفتگی می‌شود (Chao *et al.*, 2015). برخی از ویژگی‌های پوشش گیاهی شامل تراکم، شکل (سوزنی برگ یا پهن برگ بودن)، انعطاف‌پذیری و ارتفاع گیاه تأثیرات قابل توجهی در کانال و آشفتگی جریان دارد (Montakhab *et al.*, 2012).

تأثیر پوشش گیاهی بر مقاومت جریان در مقاطع مرکب علاوه بر وجود جریان‌های ثانویه به وجود آمده در صفحه برخورد کانال اصلی و سیلابدشت‌های طرفین، از موضوعات مورد علاقه در مهندسی رودخانه است و محققان مختلف Struve (Choi & Kang, 2004; *et al.*, 2003, ect.) آزمایش‌ها و تحلیل‌های عددی بسیاری کرده‌اند. دریکوندی و همکاران (Drikvandi *et al.*, 2012) نشان دادند در اثر افزایش سرعت جریان، ضریب زبری مانینگ و داریسی-ویسباخ به‌صورت غیرخطی کاهش می‌یابد و این روند کاهشی در تمام تراکم‌ها و انواع پوشش گیاهی مختلف ثابت است. محسنی و همکاران (Mohseni *et al.*, 2014) براساس داده‌های آزمایشگاهی نتیجه گرفتند که رابطه کلبروک-وایت قادر به محاسبه دقیق ضریب اصطکاک ناشی از وجود پوشش گیاهی سیلابدشت نیست و خطای قابل توجهی در محاسبه سرعت جریان در سیلابدشت ایجاد می‌کند. حمیدی‌فر و همکاران (Hamidifar *et al.*, 2013)، با استفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی نشان دادند

²- Emergent

¹- Submerged

پوشش گیاهی به شدت کاهش می‌یابد در حالی که ظرفیت انتقال جریان در کانال اصلی حدود ۶۷-۷۳ درصد افزایش پیدا می‌کند.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در گذشته اکثر تحقیقات روی کانال‌های مرکب به بررسی روابط میان پوشش گیاهی و چگونگی توزیع سرعت جریان در زیرمقاطع پرداخته‌اند. با توجه به وجود مقاطع مرکب در طبیعت از یک سو و وجود پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت‌ها از سوی دیگر، همچنین شرایط تحت فشار در زمان سیلابی در زیر عرشه پل‌ها، لزوم تحقیق در مورد مقاطع مرکب با پوشش گیاهی در شرایط تحت فشار تأیید می‌گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در یک کانال شیب‌پذیر با بدنه‌ای از جنس پلکسی‌گلاس با مقطع دوزنقه‌ای با عرض ۱/۵ متر و طول تقریبی ۱۰ متر اجرا شده است. این کانال از یک مجرای اصلی با عرض کف ۰/۳ متر و شیب جانبی ۱:۱ با عمق لبریزی ۰/۱۵ متر و دو سیلاب‌دشت متقارن با عرض ۰/۴۵ متر تشکیل شده است. عرشه پل مستطیل شکل به طول ۱/۵ متر و عرض ۰/۳ متر روی پایه استوانه‌ای شکل به قطر ۰/۰۵ متر در فاصله ۶ متری از بالادست کانال و در وسط کانال اصلی قرار گرفته است. در انتهای کانال، برای تنظیم عمق جریان، از یک دریچه لولایی استفاده شده است. انتقال تجهیزات اندازه‌گیری در طول کانال، توسط یک جفت ریل موازی نصب شده روی دیواره های کانال صورت گرفت. سیستم تأمین آب کانال به گونه‌ای است که ابتدا آب توسط سه پمپ گریز از مرکز با حداکثر دبی اسمی ۱۵۰ لیتر بر ثانیه از یک منبع زیرزمینی به مخزن هوایی با هد ثابت منتقل و

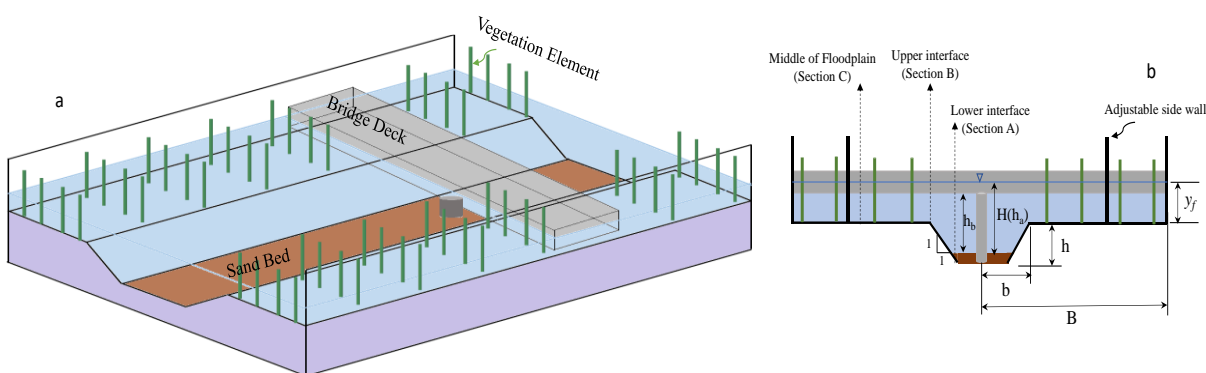
روابطی برای آنها ارائه دادند. بارزترین ویژگی این تحقیق آن است که ضریب زبری با افزایش سرعت جریان کاهش می‌یابد، در حالی که با افزایش عمق جریان و تراکم به دلیل استغراق بیشتر المان‌های زبری، ضریب زبری به صورت خطی افزایش نشان می‌دهد.

لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2013) با استفاده از مؤلفه‌های سرعت جریان طولی و عرضی و سرعت متوسط-عمقی ضریب جریان ثانویه (M) را براساس تعریف‌های فیزیکی پیشنهاد کردند که می‌تواند چرخش و شدت جریان‌های ثانویه را مشخص کند. از آنجا که جریان ثانویه می‌تواند توسط مؤلفه-های U و V نمایش داده شود، این محققان فرض کردند که U و V را می‌توان به صورت ترم سرعت متوسط-عمقی جریان بیان کرد. ژانگ و همکاران (Zhang *et al.*, 2017) برای پیش بینی سرعت متوسط-عمقی جریان با پوشش گیاهی مستغرق در سیلاب‌دشت، روش جدید ارائه کردند که جریان در بالا و از میان پوشش گیاهی را به صورت جداگانه توصیف می‌کند.

کوفتیس و پرینوس (Koftis & Prinos, 2018) سرعت متوسط-عمقی و تنش برشی متوسط عمقی را با استفاده از مدل SKM بهبود یافته توسط شیونو و همکاران (Shiono *et al.*, 2012) و مدل RSM به دست آوردند. در نسخه بهبود یافته مدل SKM دیده می‌شود که ضریب اصطکاک و لزوجت آشفتگی در ناحیه نزدیک به صفحه مشترک بین کانال اصلی و پوشش گیاهی ثابت نیست و متغیر هستند (Sun *et al.*, 2013) یانگ و همکاران (Yang *et al.*, 2019) براساس مفهوم تعادل انرژی، روشی جدید برای برآورد ظرفیت انتقال جریان در کانال‌های مرکب با پوشش گیاهی سیلاب‌دشت ارائه کردند. احمد و همکاران (Ahmad *et al.*, 2020) با استفاده از نرم افزار فلونت و مدل تنش رینولدزی (RSM) نتیجه گرفتند سرعت جریان روی سیلاب‌دشت به دلیل مقاومت ناشی از

بررسی میدان جریان نزدیک شونده به عرشه پل در مقاطع مرکب با پوشش گیاهی

سه نسبت هندسی از مقطع مرکب $(\chi=B/b=2.5, 2.17, 1.83)$ ، سه عمق نسبی $(Dr=yf/h_a=0.3, 0.4, 0.5)$ ، سه تراکم پوشش گیاهی $(T1, T2, T3)$ به همراه آزمایش‌های بدون پوشش گیاهی $(T0)$ برای مقایسه تأثیر هر یک از پارامترهای یاد شده است. در شکل ۱ نمای سه‌بعدی کانال نشان داده شده است.



شکل ۱- مشخصات مقاطع عرضی در مقاطع مرکب و نمای کلی کانال

Fig. 1- Characteristics of cross sections in compound channel and General view of a compound open channel

پیزومترهایی در سه ردیف در راستای مرکز و منتهی-ایه طرفین کانال اصلی، روی عرشه نصب شده است. در جدول ۱ مشخصات و پارامترهای آزمایش‌ها نشان داده شده است.

در کلیه آزمایش‌ها، تکیه‌گاه‌ها (دیواره عمودی) با طول ۰/۳ و ارتفاع ۰/۰۵ متر، ثابت در نظر گرفته شده است. کف کانال اصلی از مصالح فرسایش‌پذیر غیرچسبنده با ضخامت ۰/۱۵ متر و قطر متوسط ۰/۰۱۳ متر پوشیده شده است. داده‌های نیم‌رخ طولی بستر پس از اتمام زمان آزمایش‌ها توسط دستگاه دیجیتالی برداشت بستر^۱ جمع‌آوری شده است.

داده‌های سرعت جریان در فاصله‌های عرضی ۰/۰۵ متری و عمق‌های ۰/۰۳ متر در کانال اصلی و ۰/۰۲۵ متر در سیلاب‌دشت برای بررسی الگوی جریان نزدیک شونده با استفاده از سرعت‌سنج دوبعدی ساخت شرکت دلف، اندازه‌گیری شده است. به دلیل تقارن کامل کانال، اندازه‌گیری‌های سرعت نقطه‌ای و متوسط‌گیری شده در عمق فقط برای نصف مقطع عرضی انجام شده است. در این تحقیق از شرایط هیدرولیکی آب زلال در آزمایش‌ها استفاده شده است. به منظور بررسی میزان فشار جریان در زیر پل،

^۱ - Bed profiler

در کانال مرکب منشوری چهار تراکم پوشش گیاهی، سه عرض سیلاب دشت و سه عمق نسبی در آزمایش‌هایی جداگانه روی سیلاب دشت قرار گرفته و جریان یکنواخت در کانال برقرار شد، پس از آن، تغییرات عمق جریان در برابر دبی ثبت گردید. در مجموع برای تعیین منحنی دبی-اشل در چهار تراکم پوشش گیاهی، ۳۶ آزمایش اجرا شد. با استفاده از دبی-های منحنی دبی-اشل و همچنین امکانات و دقت تجهیزات

آزمایشگاهی و تجربیات مطالعات پیشین، سرانجام سه نوع عمق نسبی انتخاب گردید. در جدول ۲، مشخصات تراکم های مختلف پوشش گیاهی ارائه شده است. در شکل ۲-، منحنی دبی-اشل مربوط به آزمایش های کانال مرکب منشوری برای انواع مختلف تراکم پوشش گیاهی نمایش داده شده است.

جدول ۱- مشخصات و عنوان آزمایش‌ها در این تحقیق

Table 1. General details of experimental programs in this research

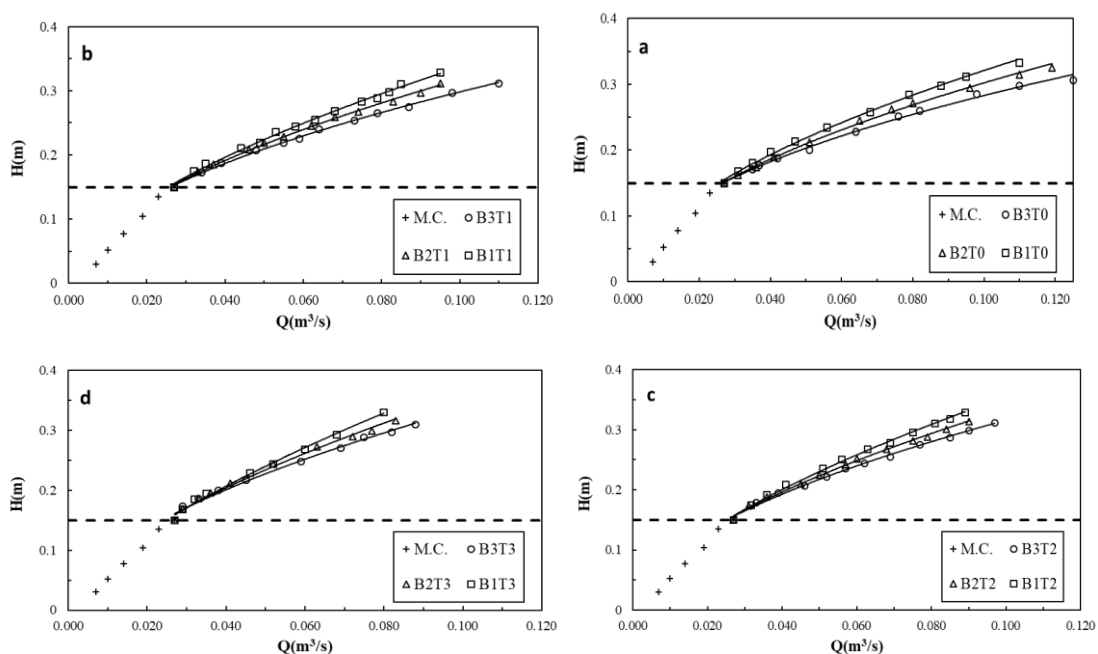
Experimental Series	B(m)	T	Dr	Experimental Series	B(m)	T	Dr	
<i>B3T3Dr1</i>	0.45	3	0.3	<i>B2T1Dr1</i>	0.35	1	0.3	
<i>B3T3Dr2</i>		3	0.4	<i>B2T1Dr2</i>		1	0.4	
<i>B3T3Dr3</i>		3	0.5	<i>B2T1Dr3</i>		1	0.5	
<i>B3T2Dr1</i>		2	0.3	<i>B2T0Dr1</i>		0	0.3	
<i>B3T2Dr2</i>		2	0.4	<i>B2T0Dr2</i>		0	0.4	
<i>B3T2Dr3</i>		2	0.5	<i>B2T0Dr3</i>		0	0.5	
<i>B3T1Dr1</i>		0.35	1	0.3	<i>B1T3Dr1</i>	0.25	3	0.3
<i>B3T1Dr2</i>			1	0.4	<i>B1T3Dr2</i>		3	0.4
<i>B3T1Dr3</i>			1	0.5	<i>B1T3Dr3</i>		3	0.5
<i>B3T0Dr1</i>			0	0.3	<i>B1T2Dr1</i>		2	0.3
<i>B3T0Dr2</i>			0	0.4	<i>B1T2Dr2</i>		2	0.4
<i>B3T0Dr3</i>			0	0.5	<i>B1T2Dr3</i>		2	0.5
<i>B2T3Dr1</i>	0.35		3	0.3	<i>B1T1Dr1</i>	0.25	1	0.3
<i>B2T3Dr2</i>			3	0.4	<i>B1T1Dr2</i>		1	0.4
<i>B2T3Dr3</i>			3	0.5	<i>B1T1Dr3</i>		1	0.5
<i>B2T2Dr1</i>			2	0.3	<i>B1T0Dr1</i>		0	0.3
<i>B2T2Dr2</i>			2	0.4	<i>B1T0Dr2</i>		0	0.4
<i>B2T2Dr3</i>			2	0.5	<i>B1T0Dr3</i>		0	0.5

جدول ۲ مشخصات تراکم های مختلف پوشش گیاهی

Table 2 Characteristics of different vegetation density

Type of density	T ₁	T ₂	T ₃
Percentage of density	0.65	1.31	2.61
Number of elements per m ²	83	167	333
Space of the elements(cm×cm)	8×15	4×15	2×15

بررسی میدان جریان نزدیک شونده به عرشه پل در مقاطع مرکب با پوشش گیاهی



شکل ۲- منحنی سنجه دبی-اشل برای کانال مرکب منشوری با انواع مختلف تراکم پوشش گیاهی

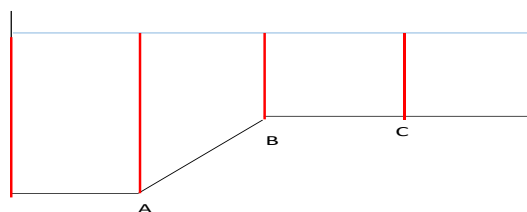
Fig. 2- Stage -Discharge Rating Curve for a prismatic compound channel with different types of vegetation density

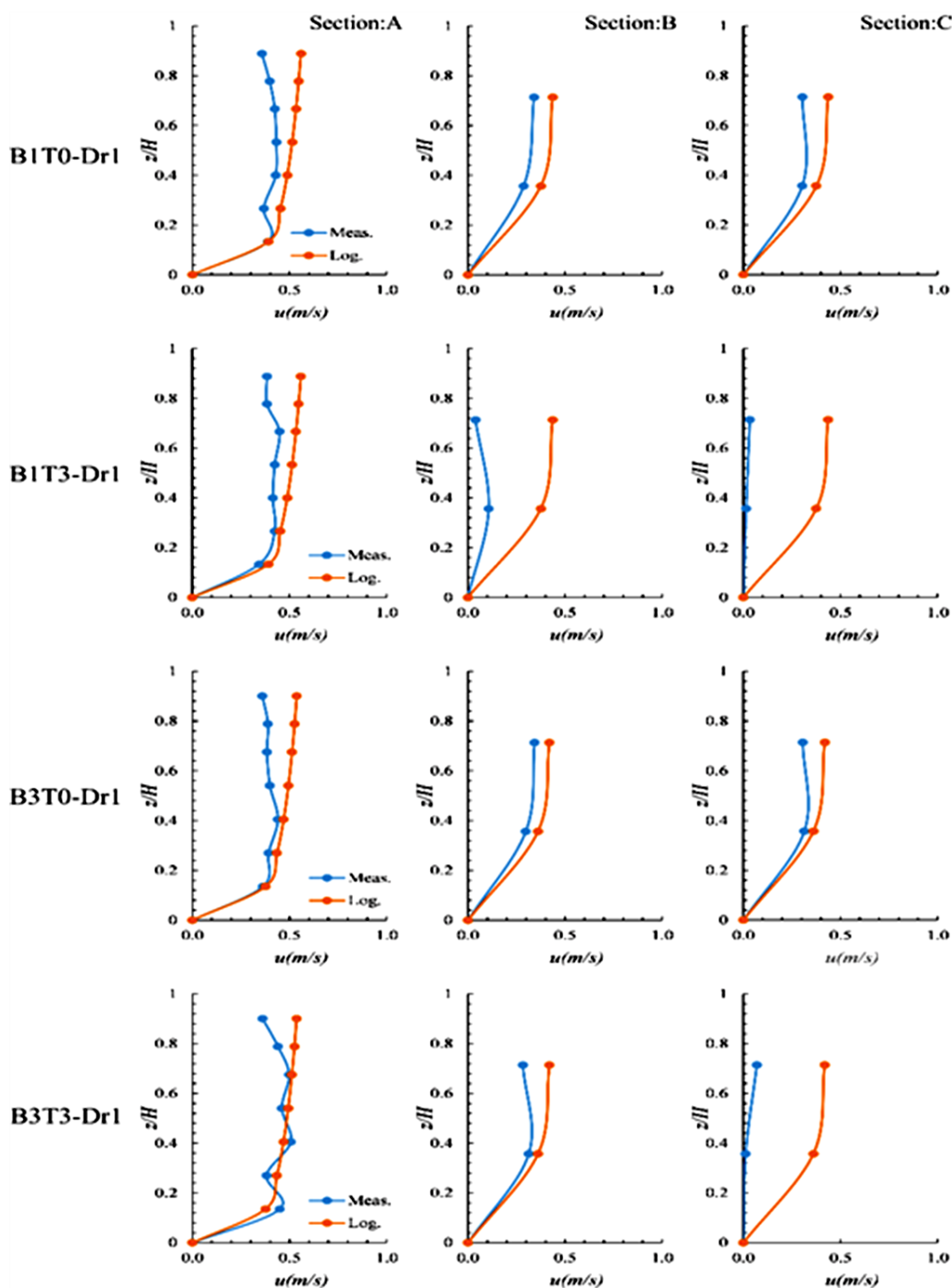
سرعت افزایش می‌یابد. این اختلاف به دلیل وجود عرشه پل و پس‌زدگی جریان است. پوشش گیاهی همچنین باعث فاصله گرفتن نیمرخ توزیع عمقی سرعت جریان از منحنی سرعت لگاریتمی جریان می‌شود که بیشترین این اختلاف در بازه بالادست حدفاصل کانال اصلی و سیلاب‌دشت و روی سیلاب-دشت اتفاق خواهد افتاد. این پدیده مقدار تنش برشی ظاهری را در حدفاصل کانال اصلی و سیلاب‌دشت افزایش می‌دهد. این نتایج را صمدی رحیم و همکاران (Samadirahim *et al.*, 2021) تایید کرده‌اند.

نتایج

۱- نیمرخ توزیع سرعت عمقی و مقایسه آن با نیمرخ لگاریتمی سرعت

در شکل ۳، نیمرخ توزیع سرعت عمقی در بخش‌های A, B, و C با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی روی سیلاب‌دشت نشان داده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در همه بخش‌ها و در حالت‌های بدون پوشش گیاهی، با فاصله گرفتن از کف کانال و نزدیک شدن به سطح آب، اختلاف بین مقادیر سرعت اندازه‌گیری شده با توزیع لگاریتمی





شکل ۳- نیمرخ های سرعت لگاریتمی و سرعت اندازه گیری شده در بخش های مختلف

Figure 3. Measured and logarithmic vertical profiles time-averaged velocity in the lower, upper interface and middle of the floodplain

نشان داده شده است.

در حالت کلی، برای عرض‌های مختلف سیلاب‌دشت با افزایش عمق نسبی از $0/3$ تا $0/5$ ، درصد مشارکت سیلاب‌دشت به‌طور متوسط ۵ درصد افزایش می‌یابد و افزایش تراکم پوشش گیاهی از $T0$ تا $T3$ به‌طور متوسط باعث کاهش ۱۷ درصد مشارکت سیلاب‌دشت می‌گردد. با کاهش عرض سیلاب‌دشت از ۴۵ تا ۲۵ سانتی‌متر، ۵ درصد سهم مشارکت سیلاب‌دشت در دبی کل عبوری از کانال کاسته می‌شود. در کانال با عرض‌های سیلاب‌دشت ۳۵ و ۲۵ سانتی‌متر، اختلافی معادل ۱۰ درصد بین حالت بدون پوشش گیاهی و بقیه تراکم‌های پوشش گیاهی وجود دارد که نشان دهنده تأثیر قابل توجه وجود پوشش گیاهی و نبود پوشش گیاهی است. از طرفی، تمرکز نمودارهای وجود پوشش گیاهی از نبود تأثیر قابل توجه تنوع تراکم‌های پوشش گیاهی حکایت دارد.

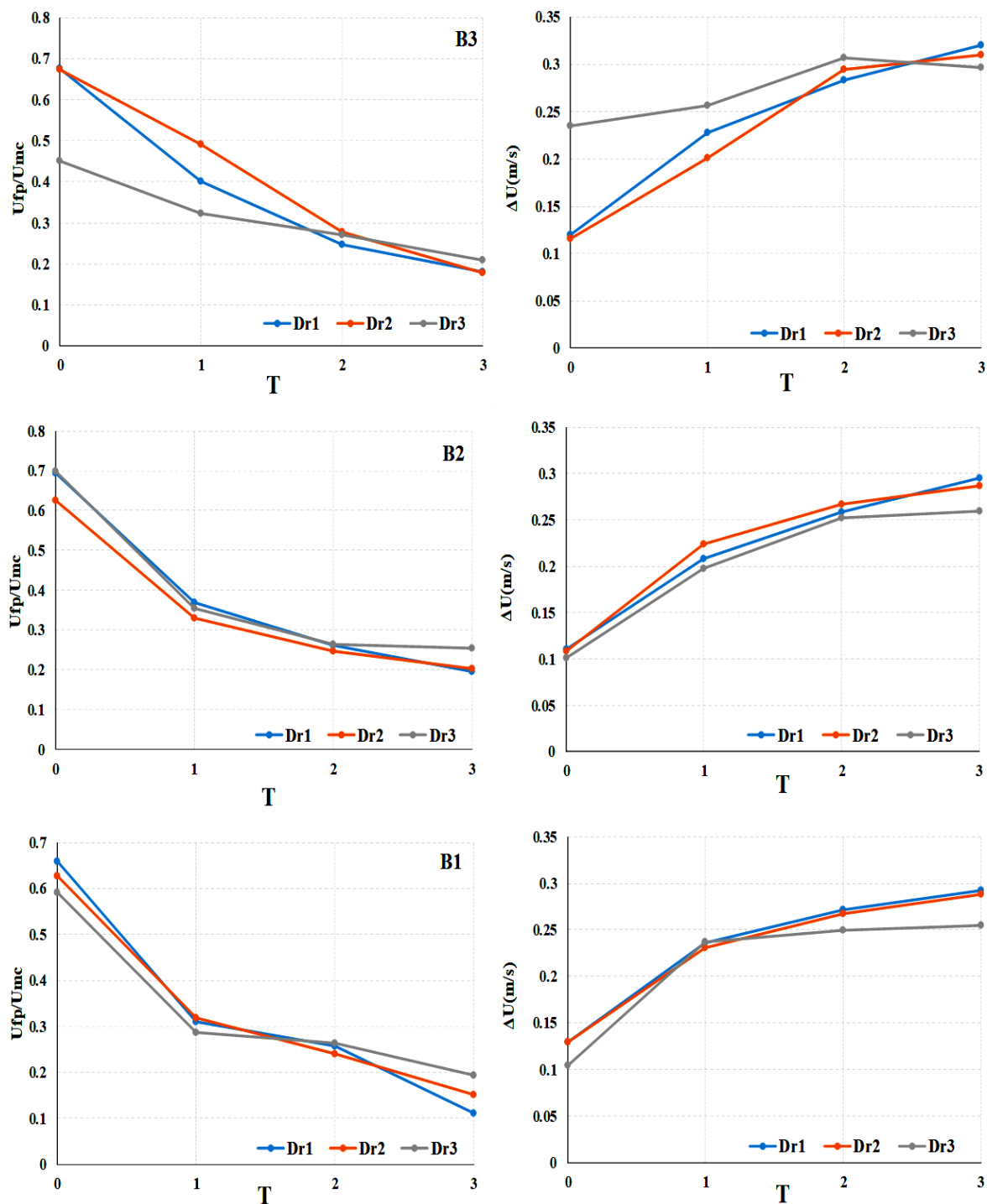
با افزایش تراکم پوشش گیاهی از $T0$ تا $T3$ ، درصد مشارکت سیلاب‌دشت در عبور دبی کل ۲۰ درصد کاهش می‌یابد. در عرض سیلاب‌دشت ۲۵ سانتی‌متر و بیشترین تراکم پوشش گیاهی $T3$ ، درصد مشارکت سیلاب‌دشت به کمترین مقدار خود حدود ۴ درصد می‌رسد و کانال مرکب به‌صورت یک کانال واحد عمل می‌کند. بیشترین درصد مشارکت سیلاب‌دشت حدود ۳۰ درصد در حالت بدون پوشش گیاهی است. در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی، با افزایش عمق نسبی از $0/3$ تا $0/5$ ، درصد مشارکت سیلاب‌دشت در عبور دبی کل کمتر از ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش تراکم پوشش گیاهی از $T0$ تا $T3$ ، اختلاف بین درصد مشارکت سیلاب‌دشت در عرض‌های مختلف کمتر شده است. در حالت بدون پوشش گیاهی، درصد مشارکت سیلاب‌دشت بین ۲۰ تا ۳۰ درصد دبی کل عبوری از مقطع عرضی کانال است.

۲- تغییرات نسبی سرعت جریان در مقابل زبری سیلاب‌دشت

در شکل‌های ۴ و ۵، نسبت سرعت متوسط جریان در سیلاب‌دشت به کانال اصلی ($Ur=U_{fp}/U_{mc}$) و همچنین اختلاف این دو مقدار ($\Delta U=U_{mc}-U_{fp}$) در مقابل تراکم پوشش گیاهی نشان داده شده است. تغییرات هر دو پارامتر Ur و ΔU در برابر تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی در عمق‌های نسبی متفاوت روند مشابهی دارد که می‌تواند نشان دهنده حساسیت کمتر پارامترهای یاد شده نسبت به عمق‌های نسبی باشد. دلیل این امر را می‌توان به این صورت توضیح داد که با تغییر عمق نسبی، میزان سرعت متوسط در سیلاب‌دشت و کانال اصلی با یک نسبت تغییر می‌کند در حالی که با تغییر تراکم پوشش گیاهی سیلاب‌دشت، تغییرات سرعت در سیلاب‌دشت نسبت به تغییرات سرعت در کانال اصلی با شیب تندتری اتفاق می‌افتد. این نتایج توسط صمدی رحیم و همکاران (Samadirahim et al., 2021) برای آزمایش‌های بخش منشوری کانال مرکب با پوشش گیاهی نیز گزارش شده است.

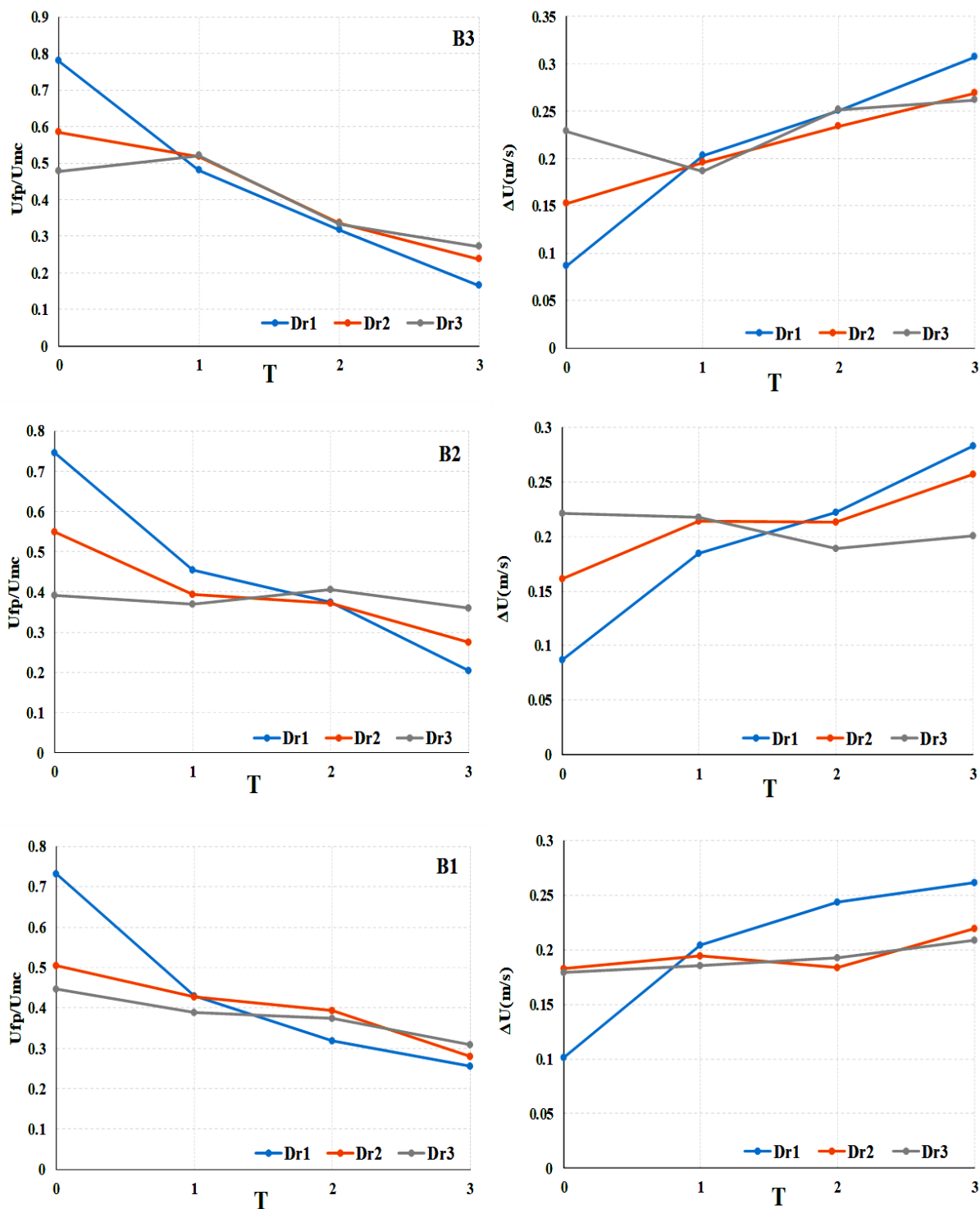
۳- میزان مشارکت سیلاب‌دشت و کانال اصلی در دبی

با افزایش تراز سطح آب از آبراهه اصلی و ورود آن به سیلاب‌دشت‌ها، بخشی از جریان توسط سیلاب‌دشت‌ها انتقال پیدا می‌کند. برای تعیین عبور جریان توسط سیلاب‌دشت‌ها و آبراهه اصلی در هر مقطع عرضی از آبراهه، ابتدا سرعت‌های عمقی در هر مقطع عرضی، اندازه‌گیری شده و سپس سرعت متوسط عمقی بر اساس معادله ۲ در هر مقطع عرضی (U_d) تعیین شده است. با ضرب سرعت متوسط عمقی در هر جزء مساحت می‌توان نرخ تقسیم دبی در سیلاب‌دشت‌های چپ و راست و کانال اصلی را برآورد نمود. تغییرات میزان مشارکت سیلاب‌دشت‌ها و کانال اصلی در انتقال دبی جریان در شکل ۶



شکل ۴- تغییرات نسبی سرعت جریان مقابل زبری سیلابدشت در بالادست تکیه گاه پل
 Fig. 4- Velocity Relative changes in against floodplain roughness in upstream bridge deck

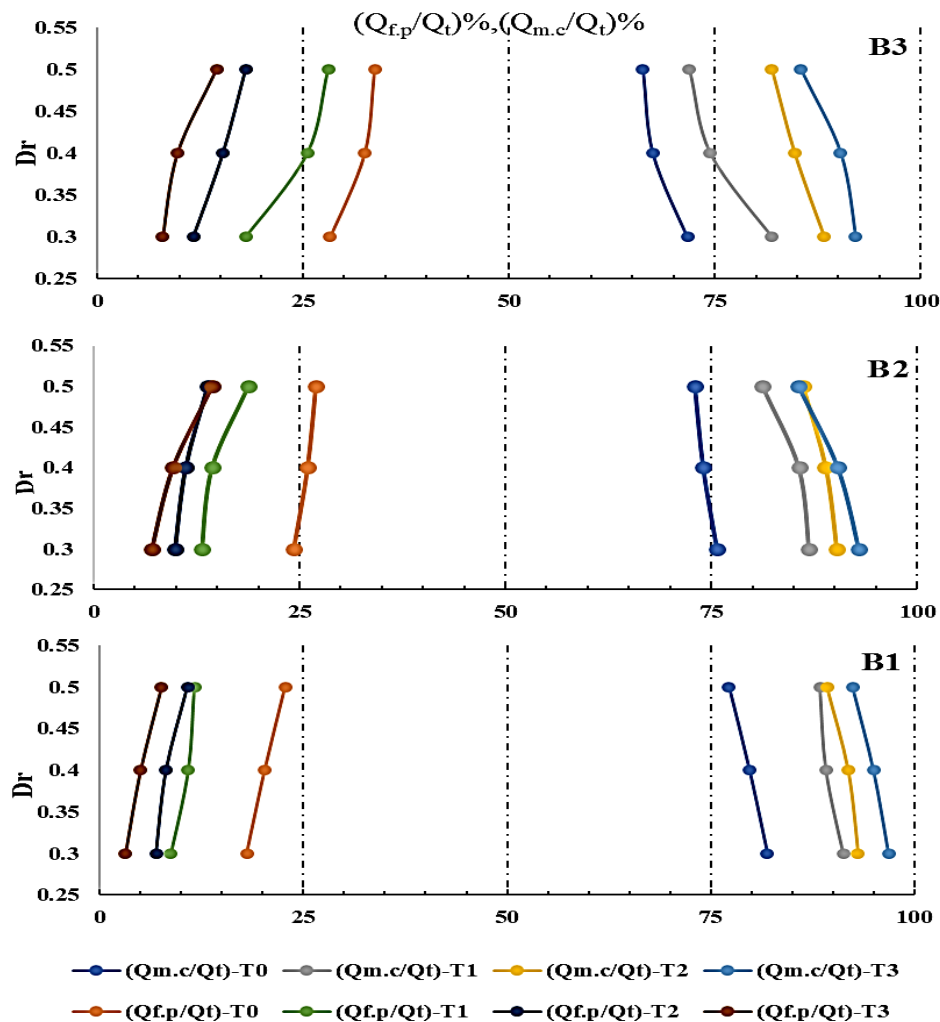
بررسی میدان جریان نزدیک شونده به عرشه پل در مقاطع مرکب با پوشش گیاهی



شکل ۵- تغییرات نسبی سرعت جریان مقابل زبری سیلاب‌دشت در پایین‌دست تکیه‌گاه پل
 Fig. 5- Velocity Relative changes in against floodplain roughness in downstream bridge deck

بر میزان مشارکت سیلابدشت در انتقال دبی عبوری ندارد. دلیل این موضوع تبدیل ترم انرژی جنبشی انرژی $(V^2/2g)$ به معادل فشار (P/γ) است. این نتیجه گیری بدان معناست که جریان بالاست با سرعت بیشتر در حین برخورد با عرشه پل دچار افت سرعت و افزایش عمق جریان (پس زدگی) خواهد شد. در شکل ۷، تغییرات تراز سطح آب در بالاست پل و مجاورت پل در آرایش پوشش گیاهی T3 نشان داده شده است. در این شکل مشخص است که حداکثر افزایش تراز سطح آب در حدود 0.07 متر است.

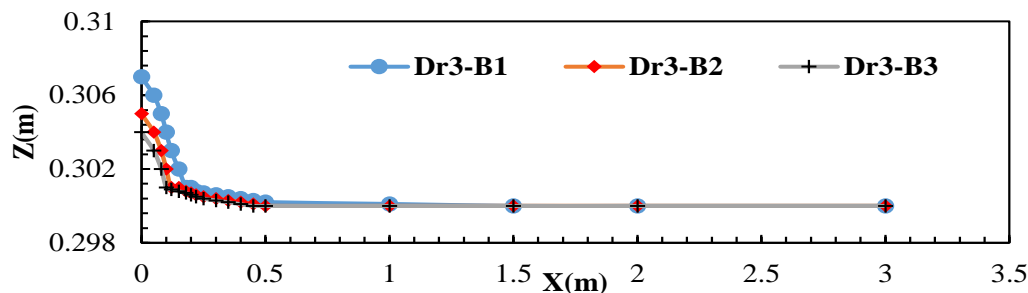
در تمامی عمق های نسبی، با کاهش عرض سیلابدشت درصد مشارکت سیلابدشت کاهش می یابد. با افزایش عمق نسبی، اختلاف بین درصد مشارکت در عرض های مختلف سیلابدشت افزایش می یابد به نحوی که در عمق نسبی 0.3 اختلاف بین درصد مشارکت در عرض های مختلف سیلابدشت کمتر از 9 درصد و در عمق نسبی 0.5 بیش از 14 درصد است. به عبارت دیگر، با افزایش عمق نسبی از 0.3 به 0.5 ، نسبت قسمت دبی عبوری حدود 15 درصد افزایش می یابد. یکی از نکات قابل توجه در این بخش آن است که وجود عرشه پل و ایجاد پس زدگی جریان تاثیر قابل توجهی



شکل ۶- میزان مشارکت کانال اصلی و سیلابدشت در دبی عبوری

Fig. 6- The contribution of the main channel and floodplain in the discharge rate

بررسی میدان جریان نزدیک شونده به عرشه پل در مقاطع مرکب با پوشش گیاهی



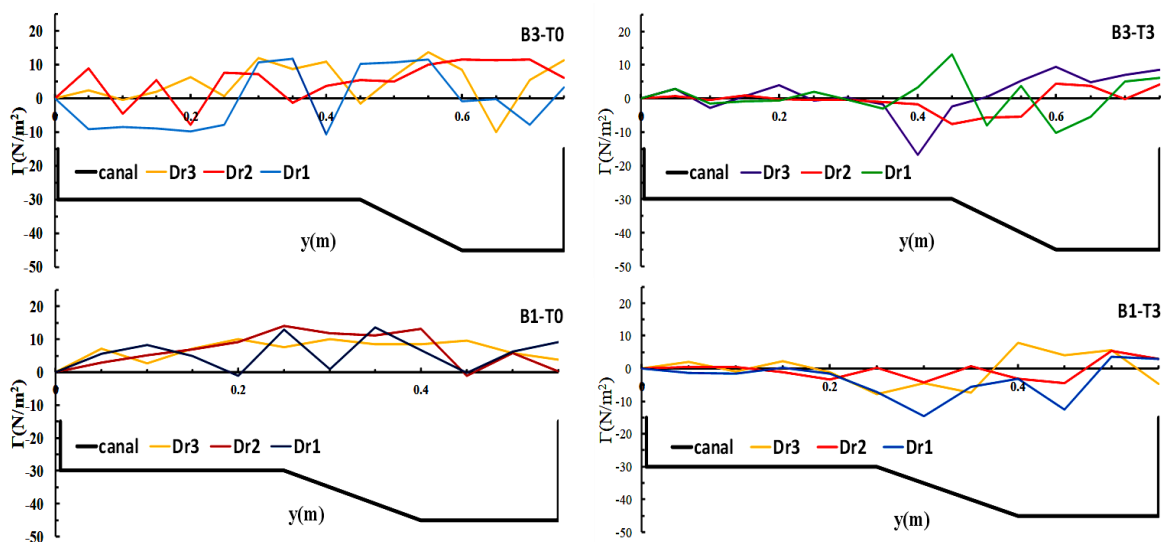
شکل ۷- تغییرات تراز سطح آب در اثر برخورد جریان با عرشه پل

Fig. 7 Changes in the water level due to the flow encountering the bridge deck

تشکیل جریان‌های ثانویه بزرگ روی سیلاب‌دشت می‌شود. در حالت‌های بدون پوشش گیاهی، تغییرات جریان‌های ثانویه در کل مقطع عرضی جریان، به دلیل وجود پل در پایین‌دست و تاثیر پس‌زدگی جریان آب، تقریباً یکسان است در صورتی‌که در جریان‌های آزاد طبق گزارش‌های محققان (Ghisalberti & Yang *et al.*, 2007; Nepf, 2004) در حالت بدون پوشش گیاهی، جریان‌های ثانویه ضعیفی در سیلاب‌دشت به وجود می‌آید.

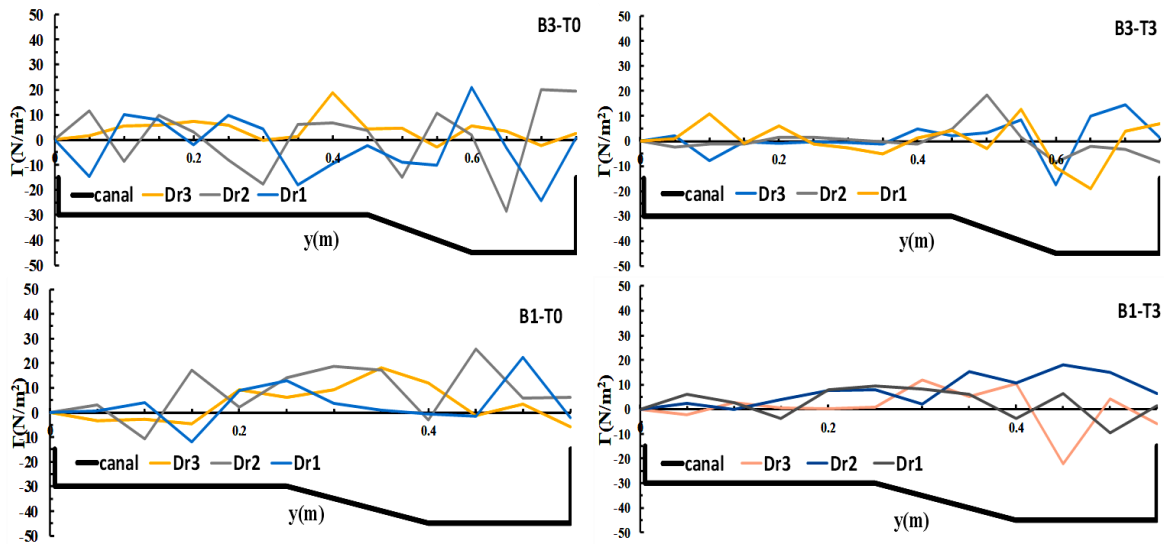
۴- جریان ثانویه

تغییرپذیری جریان ثانویه در مقطع عرضی جریان بر مبنای اندازه‌گیری سرعت‌های متوسط عمقی U_d و V_d در عرض آبراهه مرکب منشوری محاسبه و در شکل‌های ۸ و ۹ نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، در ناحیه نزدیک به صفحه مشترک قائم بین آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت، جریان ثانویه به طور ناگهانی به بیشترین و کمترین میزان خود رسیده است. (Zong & Nepf, 2011) این پدیده را انحراف جریان نامیده‌اند. در پوشش گیاهی با تراکم بالا اثر تداخلی گردابه‌ها مانع از



شکل ۸- توزیع عرضی جریان‌های ثانویه در بالادست تکیه‌گاه پل

Fig. 8- Lateral distributions of Secondary flow in upstream bridge deck

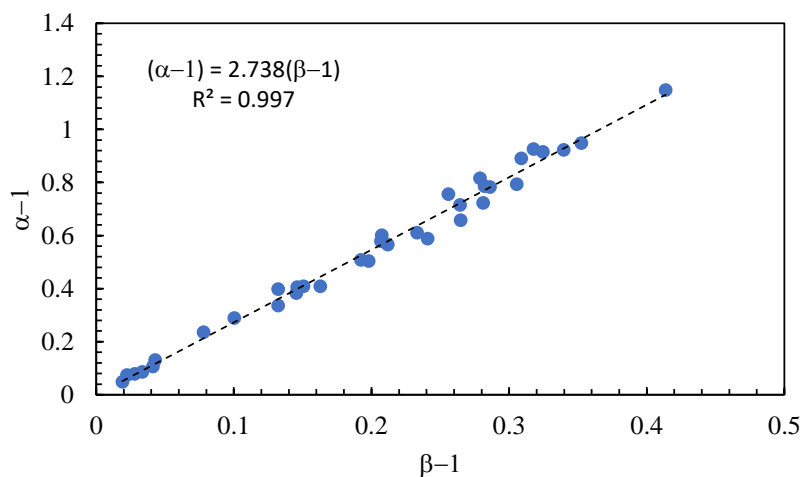


شکل ۹- توزیع عرضی جریان ثانویه در پایین دست تکیه گاه پل
 Fig. 9- Lateral distributions of Secondary flow in downstream bridge deck

افزایش غیریکنواختی خطوط جریان و در نهایت افزایش ضریب-
 های تصحیح انرژی جنبشی و اندازه حرکت می شود. چاو
 (Chow, 1959) برای شرایط معین از کانالها، معادله تجربی زیر
 را پیشنهاد کرده است.

$$\frac{\alpha-1}{\beta-1} = 2.7 - 2.8 \quad (3)$$

۵- ضریب های تصحیح انرژی جنبشی و اندازه حرکت
 براساس نتایج حاصل از اندازه گیری سرعت در هر زیر
 مساحت از مقطع کانال، ضریب های تصحیح انرژی جنبشی و
 اندازه حرکت در این سری از آزمایش ها محاسبه شده است.
 ارتباط این دو ضریب در آزمایش ها نیز در شکل ۱۰ نشان داده
 شده است. افزایش عمق های نسبی و تراکم پوشش گیاهی باعث



شکل ۱۰- ارتباط بین ضریب های تصحیح انرژی جنبشی و اندازه حرکت
 Fig. 10- - Relationship between correction coefficients of kinetic energy and momentum

- ۳- افزایش عمق نسبی، درصد مشارکت سیلابدشت را به-
طور متوسط ۵ درصد افزایش می‌دهد و افزایش تراکم
پوشش گیاهی، به‌طور متوسط باعث کاهش ۱۷ درصد
مشارکت سیلابدشت می‌گردد.
- ۴- با افزایش تراکم پوشش گیاهی سیلابدشت، تغییرات
سرعت در سیلابدشت نسبت به کانال اصلی کاهش
می‌یابد.
- ۵- بررسی نیمرخ‌های توزیع عمقی جریان نشان می‌دهد
که به دلیل وجود عرشه پل و پس‌زدگی جریان، توزیع
عمقی با توزیع لگاریتمی سرعت دچار اختلاف شدید
می‌شود اما در شرایط بدون وجود عرشه پل این میزان
اختلاف به حداقل خود می‌رسد.
- ۶- حضور عرشه پل و ایجاد پس‌زدگی باعث کاهش اختلاف
سرعت جریان در کانال اصلی و سیلابدشت در بالادست
پل می‌شود و این نیز به نوبه خود باعث کاهش قدرت
جریان‌های ثانویه در حدفاصل سیلابدشت و کانال
اصلی خواهد شد.
- ۷- اختلاف بین سرعت متوسط سراسری جریان و سرعت-
های محلی به دلیل پس‌زدگی جریان، باعث افزایش
شیب خط $(\alpha-1)$ و $(\beta-1)$ می‌شود.

نسبت ارتباط ضریب تصحیح انرژی جنبشی و اندازه حرکت
را پیش از این یونسی وهمکاران (Yonesi et al. 2019) برای
شرایط بدون پوشش گیاهی در حدود ۲/۴-۲/۵ گزارش کرده‌اند.
دلیل افزایش این نسبت را می‌توان به اثرهای پس‌زدگی جریان
توسط عرشه پل دانست.

بحث و نتیجه‌گیری

در طبیعت، بستر عمیق رودخانه‌ها معمولاً زبری کمتری دارد
و سیلابدشت‌ها به دلیل وجود گیاهان (علف، درختچه،
درخت) و عوارض طبیعی زبری بیشتری دارند. این تفاوت
زبری در میزان تداخل جریان و انتقال مومنتوم عرضی بین
کانال اصلی و سیلابدشت نقش بسیار مهمی دارد. در این
تحقیق، آزمایش‌هایی به‌منظور بررسی هیدرولیک جریان
نزدیک شونده به پل با پوشش‌های مختلف گیاهی در مقاطع
مرکب متفاوت اجرا شده است. یافته‌های تحقیق اخیر برای
بررسی پارامترهای هیدرولیکی را می‌توان به شرح زیر خلاصه
کرد:

- ۱- افزایش تراکم پوشش گیاهی باعث افزایش سرعت طولی
در کانال اصلی و کاهش آن در سیلابدشت می‌شود.
- ۲- سرعت طولی و متوسط عمقی جریان در کانال اصلی در
حالت بدون پوشش گیاهی کمتر است تا در حالت با
پوشش گیاهی.

مراجع

- Ackers, P. (1993). Flow Formulae for straight two-stage channels. *Journal of Hydraulic Research*, 31(4), 509-531.
- Ahmad, M., Ghani, U., Anjum, N., Pasha, G. A., Ullah, M. K. & Ahmed, A. (2020). Investigating the flow hydrodynamics in a compound channel with layered vegetated floodplains. *Civil Engineering Journal*, 6(5), 860-876.
- Chao, W., Sha-Sha, ZH., Pei-fang, W. & Jun, H. (2015). Interaction between vegetation, waterflow and sediment transport. *Journal of Hydrodynamics*, 27(1), 24-37.
- Choi, S. U. & Kang, H. (2004). Reynolds stress modeling of vegetated open-channel flows. *Journal of Hydraulic Research*, 42(1), pp. 3-11.

- Chow, V. T. (1959). Open channel hydraulics, *McGraw-Hill*, London, International Student Edition.
- Darby, S. E. & Thorne, C. R. (1996). Predicting stage-discharge curves in channels with bank vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(10), 583-586.
- Drikvaandi, K., Fathi Moghadam, M., Masjedi, A. R. & Bina, M. (2012). Evaluation Effect of Density and Flexibility of Non-Submerged Vegetation on River Banks and Floodplains on the Friction Factors. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 8(2), 24-35.
- Fathi-Moghadam, M. & Drikvandi, K. (2012). Manning roughness coefficient for rivers and flood plains with non-submerged vegetation. International. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1(1), 1-4.
- Ghisalberti, M. & Nepf, H. M. (2004). The limited growth of vegetated shear layers", *Water Resources Research*, 40(7), 2004.
- Gholi nejad, j., Zahiri, A. R., Dehghani, A. A. & Mahdavi, E. (2011). Investigating the effect of vegetation on flow hydraulics in floodplains. . The first national conference on civil development, Rasht, Islamic Azad University-Zibakonar.
- Hamidifar, H., Omid, M. H. & Keshavarzi, A. R. (2013). Mean Flow and Turbulence in Compound Channels with Vegetated Floodplains. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(3), 51-66.
- Hamidifar, H., Omid, M. H. & Keshavarzi, A. R. (2015). Effect of Floodplain Submerged and Non-submerged Vegetation on the Transverse Mixing Coefficient of Pollutants, *Journal of Hydraulics*, 10(1), 13-23.
- Knight, D. W. & Hamed, M. E. (1984). Boundary shear in symmetrical compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(10), 1412-1430.
- Kofteris, T. & Prinios, P. (2018). Reynolds stress modelling of flow in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 6(1), 17-27.
- Liu, C., Luo, X., Liu, X. & Yang, K. (2013). Modeling depth-averaged velocity and bed shear stress in compound channels with emergent and submerged vegetation. *Advances in Water Resources*, 60, 148-159.
- Liu, C., Shan, Y., Yang, K., Liu, X. (2013). The characteristics of secondary flows in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Hydrodynamics*, 25(3), 422-429.
- Mohseni, M., Valisamani, J. M. & Ayyoubzadeh, S. A. (2014). Depth-averaged Velocity Distribution in Compound Channel with Vegetated Floodplains, Rigid Vegetation on Floodplain, *Journal of Hydraulics*, 8(3), 63-75.
- Mohseni, M. (2017). Velocity Distribution and Boundary Shear Stress in a Compound Channel with Emergent, Rigid Vegetation on Floodplain, 8th National Conference on Watershed and Soil and Water Resources Management.
- Mohseni, M. & Tavakoli nezhadallahabadi, F. (2021). Experimental Study of Vertical velocity profiles in compound channels with vegetation on floodplains, *Journal of Hydraulics*, 15(4), 31-45.
- Montakhab, A., Yusuf, B., Ghazali, A. H. & Mohamed, T. A. (2012). Flow and sediment transport in vegetated waterways. a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 11(3), 275-287.
- Myers, R. C. & Elsayy, E. M. (1975). Boundary shear in channel with flood plain. *Journal of the hydraulics Division*, 101(7), 933-946.
- Myers, W. R. C., Lyness, J. F. & Cassells, J. (2001). Influence of boundary roughness on velocity and discharge in compound river channels. *Journal of Hydraulic Research*, 39(3), 311-319.
- Naot, D., Nezu, I. & Nakagawa, H. (1993). Hydrodynamic behavior of compound rectangular open channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(3), 390-408.
- Nepf, H. M. & Vivoni, E. R. (2000). Flow structure in depth-limited, vegetated flow. *Journal of Geophysical Research. Oceans*, 105(12), 28547-28557.
- Nezu, I., Tominaga, A. & Nakagawa, H. (1993). Field measurements of secondary currents in straight rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(5), 598-614.

- Pasche, E. & Rouve, G. (1985). Overbank flow with vegetatively roughened flood plains. *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(9), 1262-1278.
- Samadiraheh, A., Yonesi, H.A., Shahinejad, B. & Torabipoudeh, H. (2021). Experimental Investigation of Floodplain Vegetation Density Effect on Flow Hydraulic in Divergent Compound Channels. *Journal of Hydraulics*, 16(1), 111-130. [10.30482/JHYD.2021.266367.1502](https://doi.org/10.30482/JHYD.2021.266367.1502)
- Sellin, R. H. J. (1964). A laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its flood plain. *La Houille Blanche*, 7, 793-802.
- Shiono, K. & Knight, D W. (1991). Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel, *J of Fluid Mech*, 222.17-646. <https://doi.org/10.1017/S0022112091001246>.
- Struve, J., Falconer, R. A. & Wu, Y. (2003). Influence of model mangrove trees on the hydrodynamics in a flume. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 58(1), 163-171.
- Sun, X., Shiono, K., Fu, X. Y., Yang, K. J. & Huang, T. L. (2013). Application of Shiono and Knight method to compound open channel flow with one-line emergent vegetation”, In *Advanced Materials Research*, 663, 930-935.
- Tominaga, A. & Nezu, I. (1991). Turbulent structure in compound open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(1), 21-41.
- Yang, K., Cao, S. & Knight, D.W. (2007). Flow patterns in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(2), 148-159.
- Yang, Z., Li, D., Huai, W. & Liu, J. (2019). A new method to estimate flow conveyance in a compound channel with vegetated floodplains based on energy balance. *Journal of Hydrology*, 575, 921-929.
- Yonesi, H.A., Omid, M.H. & Ayyoubzadeh, S.A. (2019). Investigation of hydraulic flow and sediment transport in non-prismatic compound channels, *Journal of Hydraulics*, 14(2), 89-104.
- Zhang, M., Jiang, C., Huang, H., Nanson, G. C., Chen, Z. & Yao, W. (2017). Analytical models for velocity distributions in compound channels with emerged and submerged vegetated floodplains. *Chinese Geographical Science*, 27(4), 577-588.
- Zong, L. & Nepf, H. (2011). Spatial distribution of deposition within a patch of vegetation. *Water Resources Research*, 47(3).



Investigating the flow field approaching the bridge deck in compound open channels with vegetation

Ali Dankoo, Hojjat Allah Yonesi*, Mojtaba Saneie

* **Corresponding Author:** Associate Professor, Lorestan University, Faculty of Agriculture, Department of water Engineering, Lorestan, Iran

Received: 9 February 2024, **Accepted:** 10 April 2024

Email: yonesi.h@lu.ac.ir

<https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.364964.1573>

Introduction

With the occurrence of flood, the velocity and depth of the flow in the river increases and the flow enters the flood plains. The velocity difference between the deeper section and the shallow area causes the transfer of momentum between these areas and complicates the flow structure. The formation process of secondary flows and its pattern in compound channels have been investigated by researchers such as: Tominaga & Nezu, 1991. The presence of vegetation on flood plains causes complexity in the analysis of hydraulic problems of compound channels. For example, Hamidifar *et al.* (2012, 2014), using laboratory measurements, showed that the presence of vegetation reduces the flow through the cross section by about 30%. At the same time as the water level rises during the flood, the deck of the bridges will go under water and the current passing under it will be pressurized. In this condition, the flow field is affected by the presence of vegetation, compound channel and pressurized flow. In this research, the laboratory investigation of these complex conditions has been done.

Methodology

The experiments of this research were done with 3 geometric ratios of the compound cross-section, 3 relative depths, 3 vegetation densities, and control experiments in a compound channel with a length of 10 meters and a width of 1.5 meters. The measurement of the flow velocity parameter, the scouring rate of the bridge pier in the conditions of pressurized flow has been done according to the variables mentioned above.

Results and Discussion

Comparison of depth velocity and logarithmic velocity distribution in the condition without vegetation on the flood plain, the sign shows that in all sections, the distance between the channel bed and the water surface, the difference between the measured velocity values with the logarithmic distribution of the velocity increases. This difference is due to the presence of the bridge deck and the flow retardation. Also, vegetation causes the depth distribution profile of flow velocity to deviate from the curve of logarithmic flow velocity, and the biggest difference will occur in the upstream area between the interface of main channel and flood plain. This phenomenon increases the amount of apparent shear stress between the main channel and the floodplain.

With the increase in the density of vegetation, the percentage of floodplain participation in the total discharge is reduced by 20%. The highest participation percentage of floodplain is about 30% in the state without vegetation.

Investigating the flow field approaching the bridge deck in compound open channels with vegetation

In different densities of vegetation with an increase in relative depth from 0.5 to 0.5, the percentage of floodplain participation in the total discharge is less than 10%. With the increase in the density of vegetation, the difference between the percentage of floodplain participation in different cross section widths has decreased.

Conclusions

The findings of recent research to check hydraulic parameters can be summarized as follows:

- Increasing the density of vegetation increases the longitudinal velocity in the main channel and decreases it in the floodplain.
- Longitudinal velocity and average depth of flow in the main channel in the case without vegetation is lower than the case with vegetation.
- Increasing the relative depth increases the percentage of floodplain participation by an average of 5%, and the increase in vegetation density decreases the floodplain participation by 17% on average.
- With the increase in the vegetation density of the floodplain, the speed changes in the floodplain decrease compared to the main channel.
- The increase in relative depth and density of vegetation increases the non-uniformity of flow lines and finally increases the correction coefficients of kinetic energy and movement size.
- In high-density vegetation, the interference effect of eddies prevents the formation of large secondary currents on the floodplain.

Keywords: Depth average velocity, approaching flow field, compound open channels, bridge pier