

تأثیر پوشش گیاهی بر تنش برشی و سرعت جریان در کانال مرکب با استفاده از مدل Flow3D

مهدی کرمی مقدم^{1*}، تورج سبزواری²

1- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور

2- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، استهبان، فارس

* m_karami_mo@yahoo.com

چکیده - جریان در کانال مرکب به علت تبادل قوی جریان بین کانال اصلی و دشت سیلابی، متفاوت از کانال ساده می‌باشد. در این تحقیق الگوی جریان در کانال مرکب در شرایط بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی با آرایش موازی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر الگوی جریان از نسبت فاصله بین گیاهان به قطر آنها (L/D) استفاده شد. این نسبت برابر 3، 8 و 16 در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که سرعت طولی و سرعت متوسط عمقی جریان در کانال اصلی برای حالت بدون پوشش گیاهی کمتر از حالت با پوشش گیاهی است و در دشت سیلابی این موضوع برعکس است. در حالت بدون پوشش گیاهی، با پیشروی از مرکز کانال اصلی به سمت دشت سیلابی، سرعت متوسط عمقی کاهش و سپس در فصل مشترک کانال اصلی و دشت سیلابی افزایش یافته و پس از آن به روند کاهشی خود ادامه می‌دهد. در آرایش موازی با کاهش نسبت L/D در دشت سیلابی، سرعت طولی، سرعت متوسط عمقی، تنش برشی و شدت جریان به میزان 65 درصد کاهش می‌یابد.

کلیدواژگان: کانال مرکب، دشت سیلابی، پوشش گیاهی، سرعت متوسط عمقی، تنش برشی.

1- مقدمه

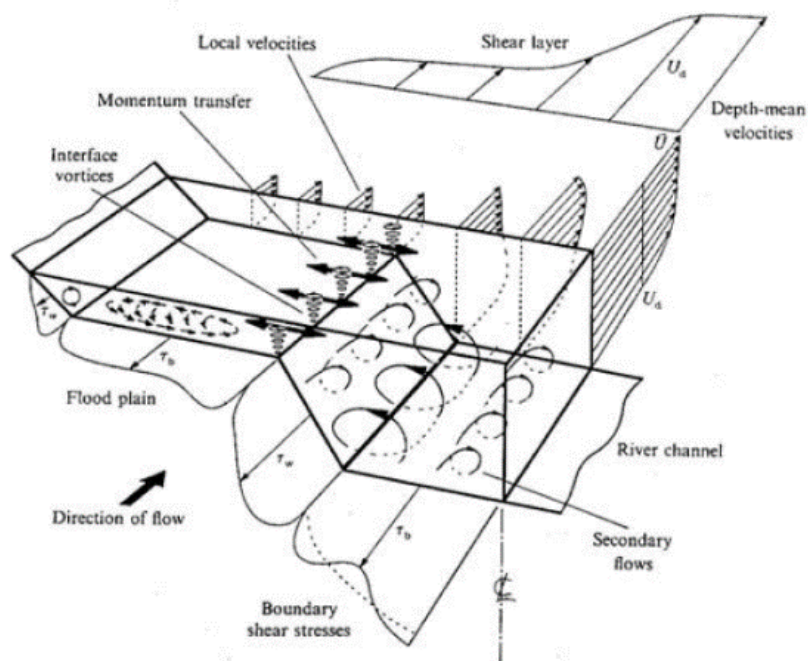
می‌شود. به طور سنتی، وجود پوشش گیاهی روی دشت سیلابی به عنوان یک مشکل که ظرفیت جریان را مختل می‌کند، مورد توجه مهندسان رودخانه بوده است. وجود پوشش گیاهی در دشت‌های سیلابی یک درجه به پیچیدگی در آنالیز جریان‌های کانال مرکب می‌افزاید و مقدار نیروی درگ اعمال شده توسط جریان به گیاه نمی‌تواند نادیده گرفته شود. مشاهده سواحل رودخانه نشان می‌دهد که رشد گیاهان در یک ردیف در روی لبه دشت سیلابی یک آرایش متداول است (Terrier, 2010). یک ردیف از گیاهان ساحلی ممکن است برای اهداف پایداری ساحل، ترویج تنوع زیست محیطی یا برای ایجاد مناظر چشم‌نواز استفاده شود (Hubble et al., 2010). در

حوادث سیل تقریباً باعث یک سوم تلفات مالی در سراسر جهان است. آنالیز روند وقوع حوادث نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر این گونه حوادث بطور چشمگیری افزایش یافته است. در سال‌های اخیر، مهندسان رودخانه به دنبال راه حلی مناسب برای کاهش اثر سیلاب بوده‌اند. نقش حیاتی دشت‌های سیلابی در استراتژی آرام کردن سیل قابل توجه است و بازسازی آنها در حال ترویج است. هیدرولیک تبادل جریان بین کانال رودخانه و دشت سیلابی آن پیچیده است. در یک دبی نسبتاً بالا که دشت مجاور را سیلاب فرا می‌گیرد، تبادل جریان بین کانال اصلی و دشت سیلابی منجر به ایجاد جریان‌های چرخشی

نسبی و مقدار آشفتگی می‌باشد (Shiono and Knight, 1996).
 Tominaga and Nezu (1991) آزمایش‌هایی را در یک کانال مرکب مستطیلی انجام دادند و نتیجه‌گیری کردند که اندازه و موقعیت جریان‌های ثانویه وابستگی زیادی به هندسه کانال دارد. این محققان در جریان با عمق نسبی $Dr=0.5$ یک جریان ثانویه ضعیف در کانال اصلی و دشت سیلابی و یک جریان چرخشی در نزدیکی سطح آزاد جریان و در کنار دیواره جانبی کانال اصلی شناسایی کردند. برای نسبت $Dr=0.75$ جریان چرخشی دشت سیلابی قویتر شده و به سطح آزاد می‌رسد و جریان ثانویه نزدیک سطح آزاد بر جریان چرخشی کانال اصلی غالب می‌شود. Shiono and Knight (1989) تأثیر شکل مقطع عرضی بر جریان‌های ثانویه در کانال‌های مرکب عریض متقارن را مورد بررسی قرار دادند. آنها مشاهده کردند که فارغ از شکل مقطع عرضی، گردابه‌های جریان در عرض دشت سیلابی گسترش می‌یابند، علاوه بر این، گردابه‌های کوچکی در گوشه دشت سیلابی مشاهده شدند. (James and Mako, 2006) آزمایش‌هایی را در یک کانال ساده مستقیم با الگوهای مختلف چینش پوشش گیاهی انجام دادند.

حال حاضر دانش در مورد تأثیر پوشش گیاهی روی ساختار جریان کم است. به منظور رسیدن هم‌زمان به محافظت در مقابل سیلاب و نیازهای محیطی، آگاهی بهتر از هیدرولیک جریان در کانال‌های مرکب با پوشش گیاهی لازم است. شکل 1 جریان‌های چرخشی و تبادل جریان بین کانال اصلی و دشت سیلابی را نشان می‌دهد. این جریان‌های چرخشی مومنتم بالای جریان را از کانال اصلی به دشت سیلابی منتقل می‌کنند که منجر به کاهش انتقال در کانال اصلی و افزایش آن در نزدیکی دشت سیلابی می‌شود. این پدیده به عنوان تأثیر سینماتیک شناخته می‌شود (Terrier, 2010). عمق نسبی Dr بصورت نسبت عمق جریان در دشت سیلابی (H_{fp}) به عمق آب در کانال اصلی (H_{mc}) تعریف می‌شود. شدت تبادل بین کانال اصلی و دشت سیلابی وابستگی زیادی به عمق نسبی دارد. تبادل قوی در عمق نسبی بین $0/1$ تا $0/3$ مشاهده شده است (Knight and Shiono, 1996).

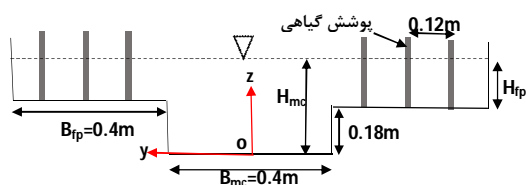
در کانال‌های مرکب مشابه کانال‌های مستقیم ساده، جریان‌های چرخشی توسط آشفتگی‌های غیرایزوتروپیک ایجاد می‌شود و خصوصیاتشان تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله هندسه مقطع عرضی کانال، نسبت شکل، عمق



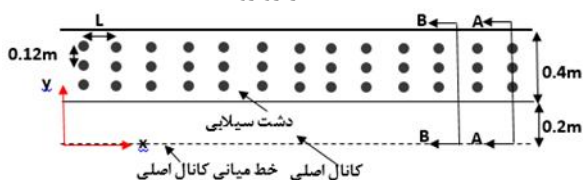
شکل 1 الگوی جریان در کانال مرکب (Shiono and Knight, 1991)

شاید این نوع شبکه در نگاه اول به عنوان یک محدودیت مطرح شود، در صورتیکه، اولاً به دلیل تولید آسان این نوع شبکه و ثانیاً نظم مناسب و نیاز به حافظه کمتر در آن، شبکه حل به شکل مذکور یک مزیت می‌باشد. مدل Flow3D به طور خاص در زمینه سازه‌های هیدرولیکی کاربرد وسیعی داشته و جواب‌های قابل قبولی نیز در این زمینه ارائه داده است.

برای صحت‌سنجی مدل از نتایج آزمایش‌های Yonesi et al. (2013) استفاده شد. این محققان آزمایش‌های خود را در حالت کانال مرکب منشوری و بدون پوشش گیاهی انجام دادند. در این تحقیق عرض کانال اصلی (B_{mc}) و دشت سیلابی (B_{fp}) 0/4 متر و ارتفاع کانال اصلی 0/18 متر می‌باشد. شرایط جریان برای صحت‌سنجی مدل عبارتست از: عمق جریان در کانال اصلی (H_{mc}) 0/277 متر، عمق جریان در دشت سیلابی (H_{fp}) 0/097 متر، دبی جریان (Q) 0/0615 مترمکعب بر ثانیه، نسبت عمق (D_f) 0/35 و شیب طولی کانال 0/00088 می‌باشد. این پارامترها در شکل 2 نشان داده شده است. باید توجه کرد که شکل 2 همراه با پوشش گیاهی برای تحقیق حاضر است و تحقیق Yonesi et al. (2013) بدون پوشش گیاهی بوده است.



الف) نما از روبرو



ب) نما از بالا

شکل 2 ابعاد کانال مرکب با پوشش گیاهی (نصف کانال مرکب)

نرم‌افزار Flow3D فاکتور k_s را به عنوان زبری معادل در

آنها نتیجه‌گیری کردند که در الگوهایی که تعداد فصل مشترک بین مناطق با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی بیشتر می‌شود، مقاومت و در نتیجه عمق جریان افزایش می‌یابد. (White and Nepf (2007) سرعت را در یک کانال ساده همراه با پوشش گیاهی اندازه‌گیری کردند. برای پوشش گیاهی از میله‌های چوبی به قطر 6 میلی‌متر استفاده شد. نتایج آنها نشان داد که سرعت طولی و عرضی جریان بطور متناوب با زمان تغییر می‌کند. حمیدی‌فر و همکاران (1392) آزمایشاتی را بر روی کانال مرکب در دو حالت با و بدون پوشش گیاهی صلب در دشت‌های سیلابی و در سه عمق نسبی مختلف انجام دادند و نتیجه‌گیری کردند که ظرفیت انتقال جریان در حضور پوشش گیاهی دشت سیلابی، نسبت به شرایط فقدان پوشش گیاهی تا 31 درصد کمتر است. اگرچه در تحقیقات گذشته مطالعه بر روی هیدرولیک جریان در کانال‌های مرکب و تأثیر پوشش گیاهی روی آن انجام شده، ولی اولاً این مطالعات بیشتر آزمایشگاهی بوده و در مطالعات آزمایشگاهی برداشت سرعت در نزدیکی ساقه و بین دو ردیف ساقه گیاهان (مخصوصاً در تراکم بالای پوشش گیاهی) با محدودیت مواجه است و ثانیاً مطالعات عددی صورت گرفته در کانال مرکب در حالت بدون پوشش گیاهی انجام شده است. لذا در این تحقیق تأثیر تراکم پوشش گیاهی با آرایش موازی و نسبت عمق بر الگوی جریان، سرعت‌های طولی و متوسط عمقی، نسبت دبی عبوری از دشت سیلابی و تنش برشی با استفاده از مدل Flow3D مورد بررسی قرار می‌گیرد.

2- مواد و روش‌ها

مدل Flow3D یکی از مدل‌های بسیار قوی در زمینه دینامیک سیالات است. این مدل قابلیت تحلیل یک، دو و سه بعدی میدان جریان را داشته و محدوده کاربردی بسیار وسیعی در مسائل مربوط به سیالات دارد.

معادلات پایه‌ای مورد استفاده در این مدل، معادلات ناویر استوکس بوده و از پنج مدل آشفتگی مختلف در حل خصوصیات جریان‌های آشفتنه استفاده می‌کند. شبکه حل در این مدل متشکل از سلول‌های مکعب مستطیلی است.

8 و 16 انتخاب گردید. شرایط مختلف جریان در جدول 1 نشان داده شده است. علامت‌های N.V شرایط بدون پوشش گیاهی و P.V با پوشش گیاهی موازی را نشان می‌دهند.

3- نتایج و بحث

پس از انتخاب و اجرای مدل با چندین اندازه سلول که کاری بسیار زمان‌بر بود، در نهایت اندازه سلول در تمام جهات در حالت بدون پوشش گیاهی 1 سانتی‌متر انتخاب شد. در شبیه‌سازی اولیه چندین طول برای کانال مرکب انتخاب شد و در نهایت برای اطمینان طول 20 متر برای کانال در نظر گرفته شد. برای صحت‌سنجی مدل از پروفیل عمقی سرعت استفاده گردید. شکل 3 مقایسه پروفیل عمقی سرعت را در حالت آزمایشگاهی و مدل‌های عددی RNG و LES و در فواصل مختلف از مرکز مختصات نشان می‌دهد. پارامترهای B ، Z و y به ترتیب نصف عرض کانال مرکب، فاصله از کف و فاصله از مرکز کانال اصلی در جهت عرضی می‌باشند. همان‌طور که در این شکل مشخص است در نزدیکی دشت سیلابی ($y/B=0.3$)، در لبه ورودی به دشت سیلابی ($z/H_{mc}=0.65$) انحرافی در پروفیل سرعت ایجاد می‌شود که مدل آشفتگی LES آن را به خوبی نشان می‌دهد. این مسأله در تحقیقات گذشته توسط برخی محققان به اثبات رسیده است (حمیدی‌فر و همکاران، 1392). همان‌طور که در این شکل مشخص است مدل آشفتگی LES تطابق بهتری با داده‌های آزمایشگاهی دارد. همچنین شکل 4 مقایسه جریان عرضی با استفاده از دو مدل آشفتگی RNG و LES را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، مدل LES جریان‌های چرخشی را بهتر شبیه‌سازی می‌کند. شکل 5 مقایسه نتایج آزمایشگاهی با دو مدل آشفتگی RNG و LES را نشان می‌دهد.

نظر می‌گیرد. در تحقیق Yonesi et al. (2013) قطر متوسط ذرات جداره‌ها $D_{50}=0.65$ mm بود، لذا با استفاده از معادلات Strikler (1923) و Ackers (1991)، مقدار k_s برابر $0/00219$ متر بدست می‌آید که این مقدار در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (Yonesi et al., 2013).

$$n = \frac{D_{50}^{\frac{1}{6}}}{21.2} \quad (1)$$

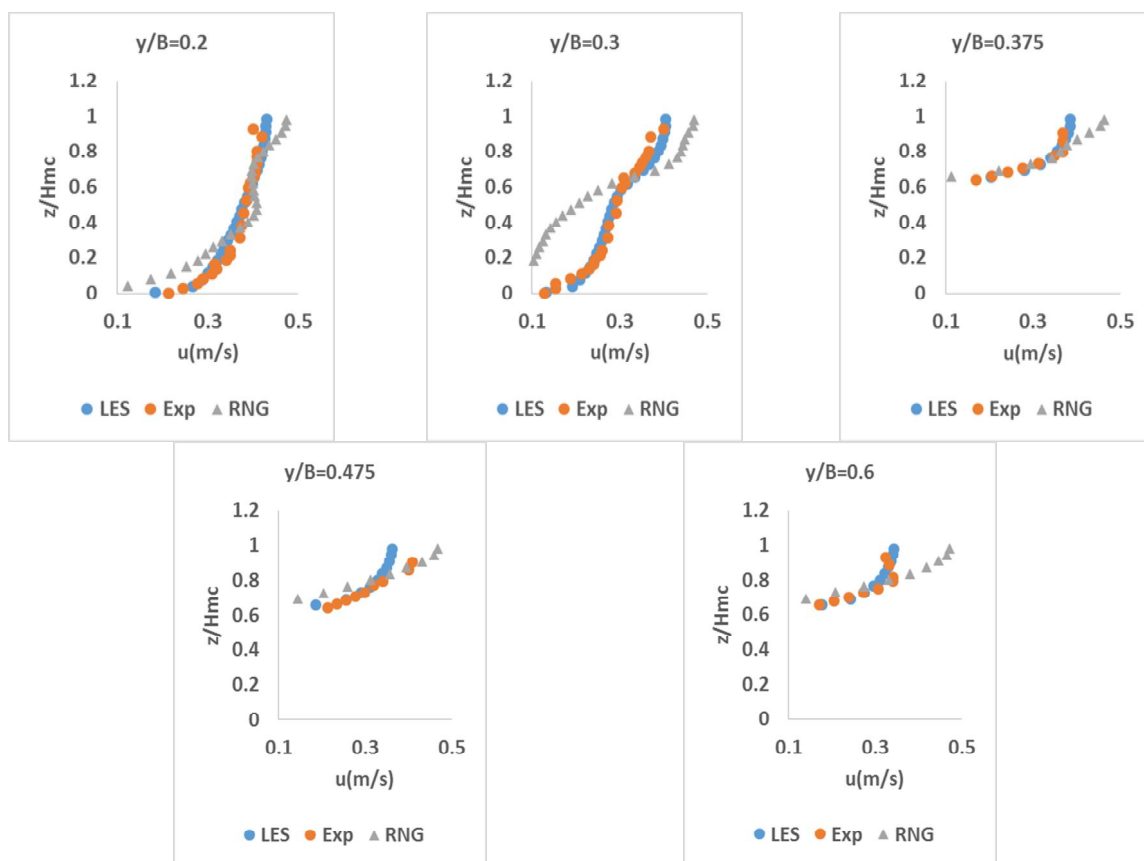
$$k_s = (8.25n\sqrt{g})^6 \quad (2)$$

روابط (1) و (2) به ترتیب روابط Strikler (1923) و Ackers (1991) می‌باشند.

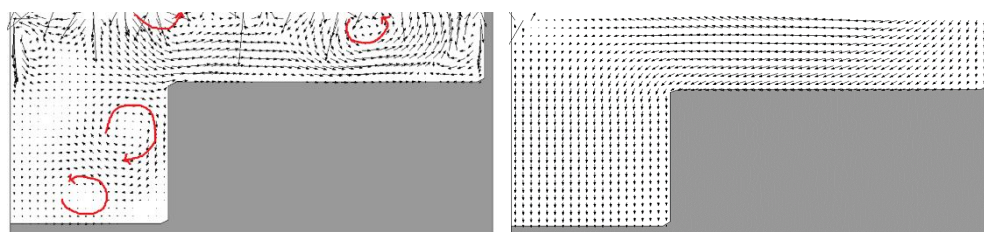
در تحقیق حاضر نظر به اینکه مقطع کانال مرکب متقارن می‌باشد، لذا شبیه‌سازی در نصف مقطع کانال انجام شده و با توجه به شکل 2، مبدا مختصات در مرکز کانال اصلی انتخاب شد. دو مدل آشفتگی RNG و LES مورد ارزیابی قرار گرفت. شرایط مرزی در ورودی دبی حجمی، در خروجی فشار مشخص همراه با تعیین تراز سطح آب و برای مقطع میانی کانال اصلی و سطح مدل، شرایط تقارن و برای جداره‌ها شرایط دیوار انتخاب گردید. لازم به ذکر است که در چند شبیه‌سازی اولیه برای خروجی شرایط دبی خروجی انتخاب شد که به علت تغییر عمق جریان این شرط مرزی به فشار مشخص تغییر کرد. مدت زمان شبیه‌سازی تا رسیدن به شرایط پایداری در حالات مختلف بین 250 تا 300 ثانیه بود. پس از صحت‌سنجی، مدل برای شرایط مختلف جریان و در حالت با و بدون پوشش گیاهی اجرا شد. قطر پوشش گیاهی (D) 3 سانتی‌متر و آرایش موازی برای پوشش گیاهی انتخاب شد. فواصل بین گیاهان در هر ردیف 12 سانتی‌متر و فاصله بین ردیف‌ها (L) متغیر می‌باشد (شکل 2). برای بررسی تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر الگوی جریان، از نسبت فاصله بین ردیف گیاهان به قطر آنها (L/D) استفاده شد. این نسبت برابر 3،

جدول 1 شرایط فیزیکی و هیدرولیکی کانال مرکب در این تحقیق

شرایط کانال مرکب	Q(lit/s)	Dr	H _{mc} (cm)	L(cm)	L/D
N.V	41.1,50,61.5	0.15,0.25,0.35	21.1,24,27.7	-	-
P.V	41.1,50,61.5	0.15,0.25,0.35	21.1,24,27.7	9,24,48	3,8,16



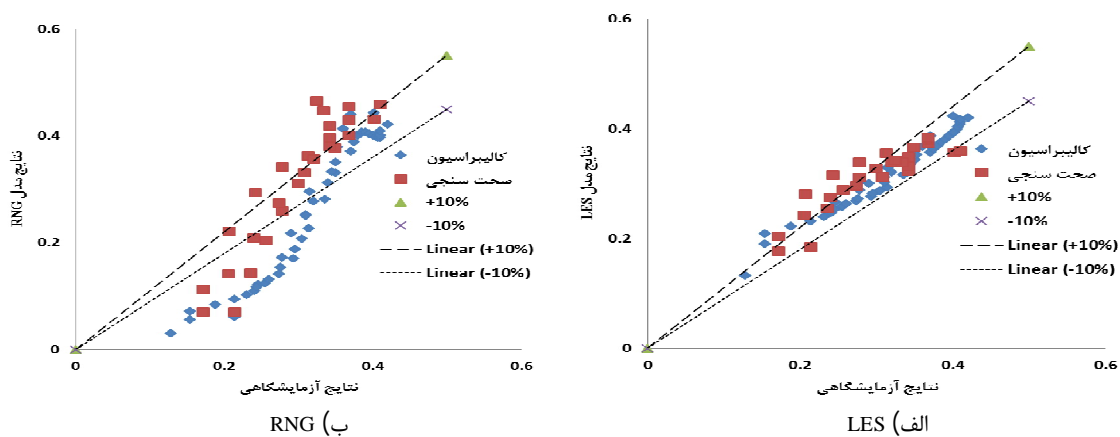
شکل 3 مقایسه پروفیل عمقی سرعت در مدل آزمایشگاهی و مدل‌های عددی LES و RNG



ب) LES

الف) RNG

شکل 4 جریان‌های چرخشی در مدل‌های آشفتگی



ب) RNG

الف) LES

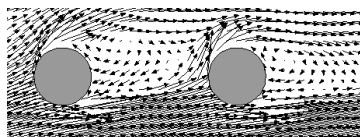
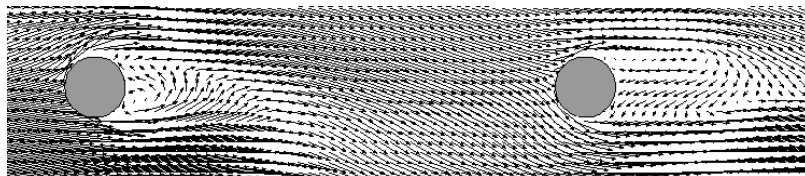
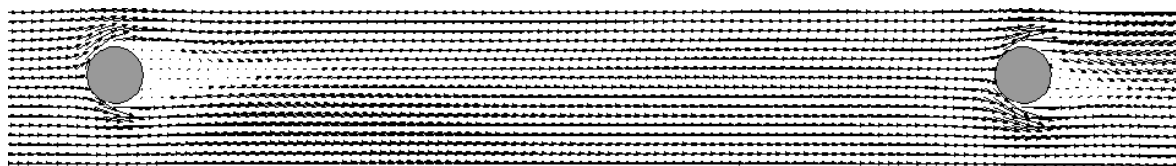
شکل 5 مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مدل‌ها نسبت به +10 و -10 درصد خطا

بین ردیف‌های پوشش گیاهی، دنباله به‌طور کامل تشکیل نشده است. با افزایش فاصله ردیف‌ها در $L/D=8$ تا حدودی دنباله کامل شده است، ولی هنوز خطوط جریان پس از آن به حالت موازی با یکدیگر تبدیل نشده‌اند. در $L/D=16$ به علت فاصله زیاد ردیف‌های پوشش گیاهی دنباله بصورت کامل تشکیل شده است. شکل 7 تغییرات سرعت طولی را در عرض کانال مرکب برای نسبت عمق-های مختلف در شرایط بدون پوشش گیاهی نشان می‌دهد. پارامترهای u و U_{ave} به ترتیب سرعت طولی و سرعت متوسط در کانال مرکب می‌باشند. مقادیر سرعت در فاصله 19 متری از ورودی کانال استخراج شده است.

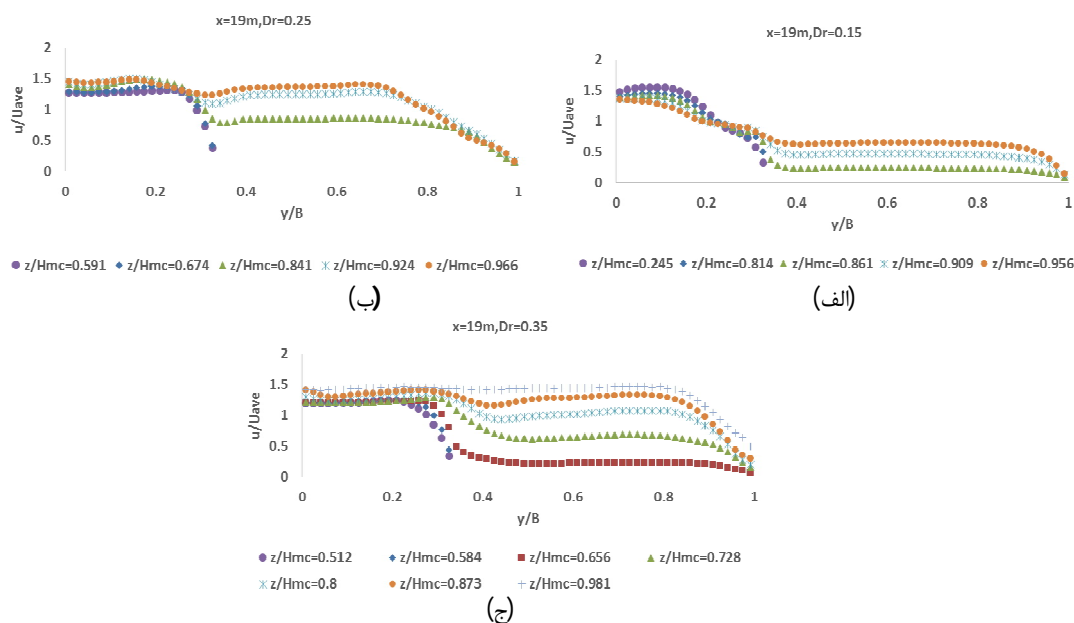
همان‌طور که در هر سه نسبت عمقی $0/15$ ، $0/25$ و $0/35$ مشاهده می‌شود، سرعت جریان در دشت سیلابی نسبت به سرعت جریان در کانال اصلی کاهش می‌یابد. نسبت سرعت طولی به سرعت متوسط در کانال اصلی برای عمق‌های مختلف به یکدیگر نزدیک است، در حالی که با ورود به دشت سیلابی این نسبت در فواصل مختلف از کف (z/H_{mc}) از یکدیگر فاصله می‌گیرند. علت اینکه در برخی فاصله‌ها مانند z/H_{mc} برابر $0/245$ یا $0/814$ در نسبت عمقی $Dr=0.15$ نمودار تا $y/B=0.33$ رسم شده، این است که این اعماق پایین‌تر از تراز دشت سیلابی (18 سانتی‌متر) می‌باشند.

همان‌طور که در این شکل مشخص است نتایج مدل LES نسبت به $+10$ و -10 درصد خطا تطابق بهتری با نتایج آزمایشگاهی دارد. همچنین برای بررسی بهتر نتایج دو مدل از ضریب همبستگی (R^2) و تابع خطای RMSE برای مقایسه سرعت‌های طولی حاصل از مدل‌ها با نتایج آزمایشگاهی استفاده شد. پس از بررسی، ضریب همبستگی و تابع خطای RMSE در مرحله کالیبراسیون برای مدل RNG به ترتیب $0/71$ و $0/078$ متر بر ثانیه و برای مدل LES به ترتیب $0/95$ و $0/015$ متر بر ثانیه حاصل شد که باز نشان از بهتر بودن نتایج مدل LES دارد، لذا این مدل برای شبیه‌سازی انتخاب شد. از آنجا که کالیبراسیون مدل در حالت بدون پوشش گیاهی انجام شده و امکان خطا در برآورد دقیق حالت با پوشش گیاهی وجود دارد، پیشنهاد می‌شود در صورت موجود بودن داده‌های کافی این مسأله بررسی شود. پس از انتخاب مدل آشفتگی، مدل برای حالات مختلف و از جمله با پوشش گیاهی اجرا شد. در حالت پوشش گیاهی با توجه به اندازه قطر پوشش گیاهی، اندازه سلول‌ها $0/5$ سانتی‌متر انتخاب شد.

شکل 6 پلان جریان اطراف دو ساقه متوالی را برای $Dr=0.25$ و در عمق میانی دشت سیلابی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است در $L/D=3$ به علت فاصله کم

الف) $L/D=3$ ب) $L/D=8$ ج) $L/D=16$

شکل 6 الگوی جریان در اطراف دو ساقه متوالی در جهت جریان

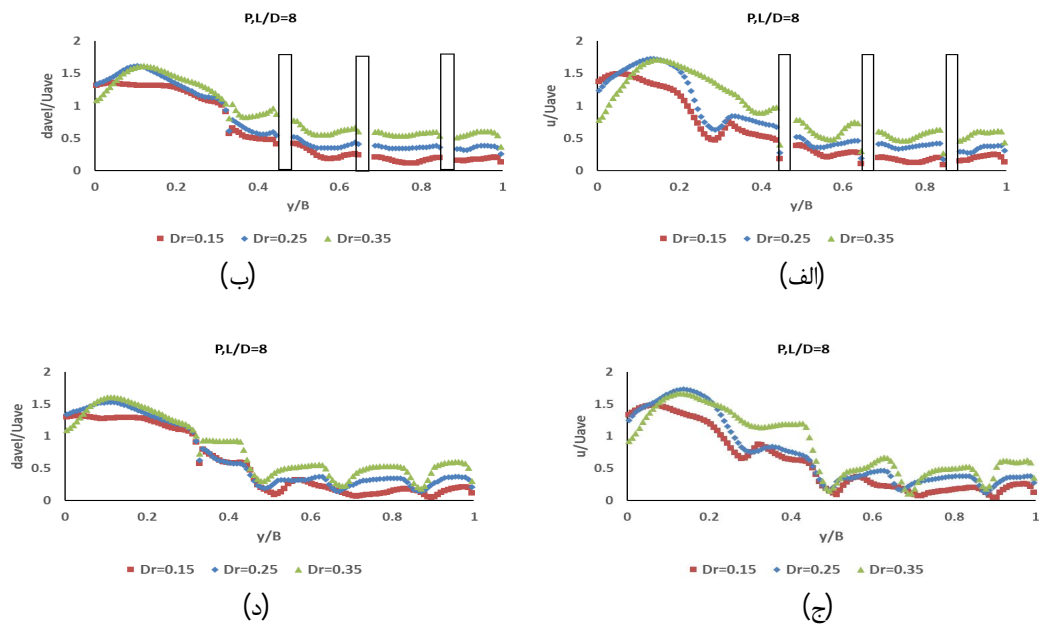


شکل 7 پروفیل‌های عرضی سرعت طولی در ترازهای مختلف در نسبت عمق‌های 0/15، 0/25 و 0/35 در شرایط بدون پوشش گیاهی

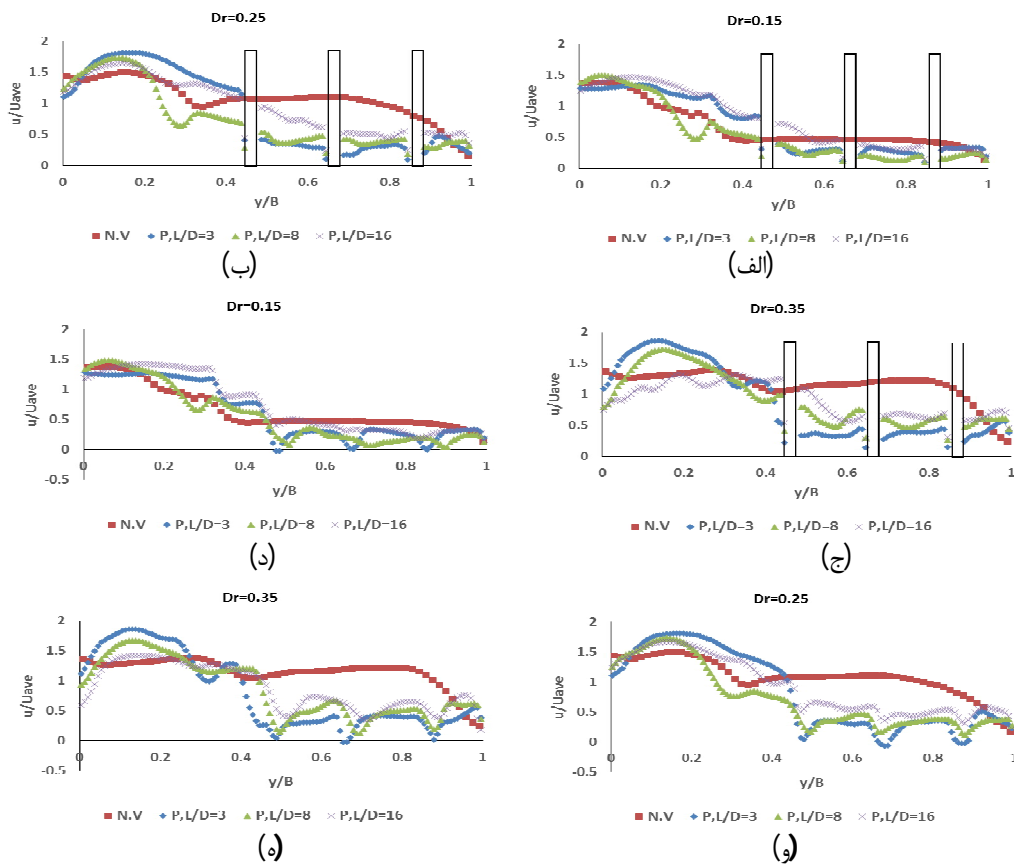
و متوسط عمقی در مرکز کانال اصلی ($y/B=0$) رخ نمی‌دهد و وجود پوشش گیاهی باعث افزایش سرعت در $y/B=0.1$ از مرکز کانال اصلی می‌شود. پس از آن با نزدیک شدن به دشت سیلابی، سرعت کاهش یافته و به مقدار تقریباً ثابتی می‌رسد. همچنین در محل ردیف پوشش گیاهی (الف و ب) و در بین دو ردیف (ج و د) با افزایش نسبت عمق Dr ، سرعت طولی و متوسط عمقی هر دو افزایش پیدا می‌کند.

در شکل‌های (8- ج و د)، با اینکه در مقطع B-B پوشش گیاهی وجود ندارد، ولی کاهش سرعت در دشت سیلابی دیده می‌شود که علت آن دنباله‌ای است که در پایین دست ساقه‌های استوانه‌ای در مقطع A-A رخ داده است. شکل 9 تغییرات سرعت طولی را در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی (L/D مختلف) و مقایسه آن را با حالت بدون پوشش گیاهی نشان می‌دهد. در نسبت عمق 0/15 در هر دو مقطع A-A و B-B (الف و د)، سرعت‌های طولی کانال اصلی در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی تقریباً یکسان هستند و با ورود به دشت سیلابی کاهش می‌یابند. در داخل دشت سیلابی نیز می‌توان گفت که در این نسبت عمق، سرعت‌ها در تراکم $L/D=3$ و $L/D=8$ به یکدیگر نزدیک و هر دو از $L/D=16$ کمتر می‌باشند.

نکته دیگری که از این شکل‌ها می‌توان استخراج کرد، این است که با افزایش فاصله از کف، نسبت u/U_{ave} در دشت سیلابی افزایش یافته و به سرعت جریان در کانال اصلی نزدیک می‌شود. به عبارتی دیگر با فاصله گرفتن از کف در دشت سیلابی تأثیر دشت سیلابی کاهش می‌یابد. البته در نسبت عمقی 0/15، چون عمق و سرعت جریان در دشت سیلابی پایین است، لذا سرعت جریان در نزدیکی سطح در دشت سیلابی نیز کمتر از سرعت جریان سطحی در کانال اصلی خواهد بود، ولی در دو نسبت عمقی دیگر (0/25 و 0/35)، هرچه به سطح جریان نزدیک می‌شویم، سرعت جریان در کانال اصلی و دشت سیلابی به یکدیگر نزدیک می‌شوند. تفاوت دیگری که در عمق نسبی 0/15 نسبت به دو نسبت عمقی دیگر وجود دارد، این است که در کانال اصلی بر خلاف دشت سیلابی با فاصله گرفتن از کف، نسبت سرعت کاهش می‌یابد. شکل 8 تغییرات سرعت‌های طولی و متوسط عمقی در عمق میانی دشت سیلابی را در محل ردیف‌های ساقه گیاهان (مقطع A-A شکل 2) و در بین دو ردیف ساقه گیاهان (مقطع B-B) برای L/D برابر 8 و در نسبت‌های عمق مختلف (Dr) نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، برخلاف شرایط بدون پوشش گیاهی (شکل 7) در حالت پوشش گیاهی، حداکثر سرعت طولی



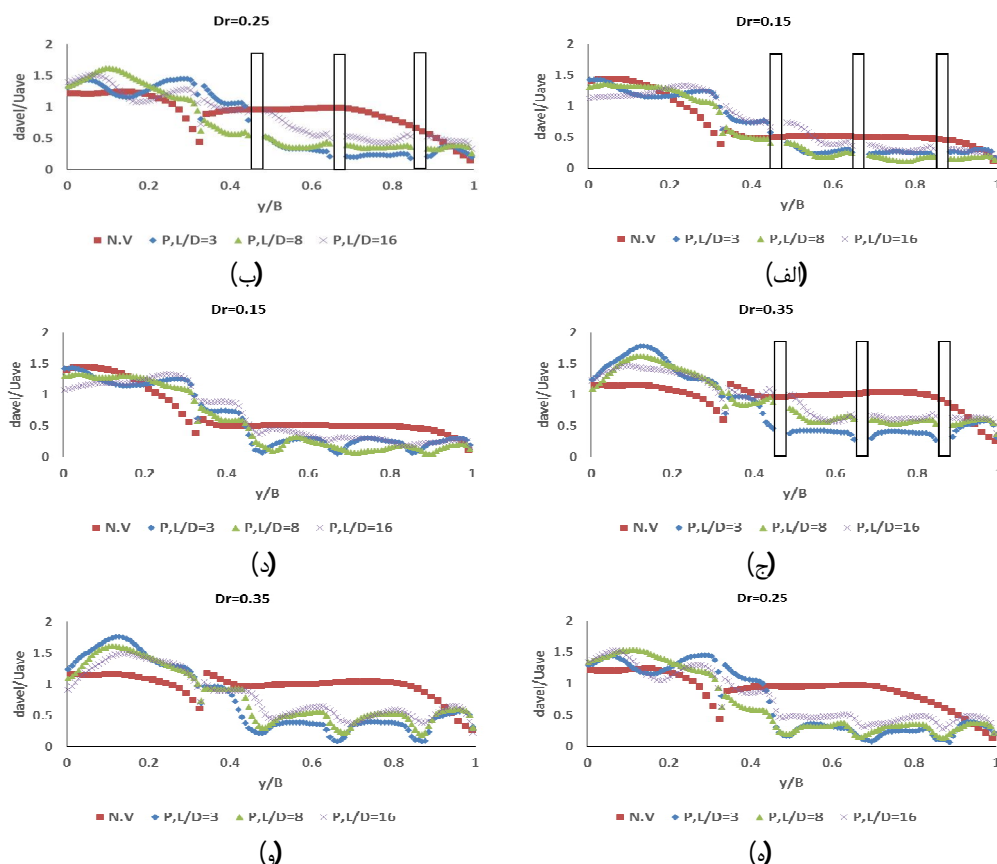
شکل 8 پروفیل‌های سرعت طولی و سرعت متوسط عمقی در نسبت $L/D=8$ ، الف و ب) مقطع A-A (در محل ردیف ساقه) و ج و د) مقطع B-B (در بین دو ردیف ساقه)



شکل 9 مقایسه سرعت طولی در کانال مرکب بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی با تراکم مختلف در الف، ب، ج) مقطع A-A (در محل ردیف ساقه)، د، ه، و) مقطع B-B (در بین دو ردیف ساقه)

بیشتر از نسبت عمق‌های پایین است. شکل 10 نیز تغییرات سرعت متوسط عمقی را در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی و مقایسه آن با حالت بدون پوشش گیاهی نشان می‌دهد. نتایج این شکل شبیه به شکل 9 می‌باشد. نکته‌ای که در این شکل وجود دارد این است که در حالت بدون پوشش گیاهی، با فاصله گرفتن از مرکز کانال اصلی و نزدیک شدن به دشت سیلابی، سرعت متوسط عمقی کاهش یافته و در مرز مشترک بین کانال اصلی و دشت سیلابی به حداقل مقدار خود می‌رسد. بلافاصله پس از ورود به دشت سیلابی، سرعت متوسط عمقی ناگهان افزایش یافته و سپس روند کاهشی خود را ادامه داده و سپس ثابت می‌شود. در حالت وجود پوشش گیاهی در دشت سیلابی، افزایش سرعت متوسط عمقی در کانال اصلی اتفاق افتاده و افزایش ناگهانی سرعت در فصل مشترک کانال اصلی و دشت سیلابی از بین رفته است.

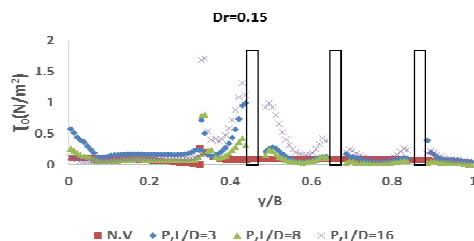
اما با افزایش نسبت عمق (نسبت عمق 0/25 و 0/35)، تأثیر پوشش گیاهی واضح‌تر است. با کاهش تراکم پوشش گیاهی از $L/D=3$ به $L/D=16$ ، سرعت‌های طولی در داخل کانال اصلی کاهش می‌یابد درحالی‌که این نتیجه در داخل دشت سیلابی برعکس است. بنابراین می‌توان گفت افزایش تراکم پوشش گیاهی باعث افزایش سرعت طولی در کانال اصلی و کاهش آن در دشت سیلابی می‌شود. این نتیجه با نتایج Hamidifar and Omid (2013) مطابقت دارد. همچنین هنگامی که عمق جریان در کانال مرکب کم است (نسبت عمق 0/15)، تأثیر پوشش گیاهی روی سرعت‌های طولی کم می‌باشد، چراکه اختلاف سرعت‌ها در حالت با پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی (N.V) کم است. اما در نسبت عمق‌های بالا (0/25 و 0/35)، وجود پوشش گیاهی مقادیر سرعت طولی در دشت سیلابی را نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی به شدت کاهش داده است. بنابراین این نتیجه حاصل می‌شود که تأثیر وجود پوشش گیاهی روی الگوی جریان در نسبت عمق بالا



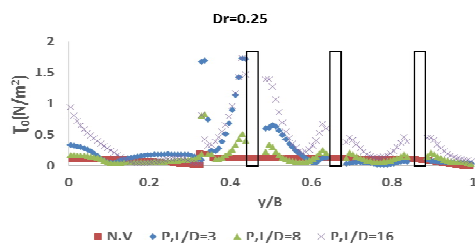
شکل 10 مقایسه سرعت متوسط عمقی در کانال مرکب بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی با تراکم مختلف در الف، ب، ج (مقطع A-A و د، ه، و) مقطع B-B

همچنین در هر تراکم پوشش گیاهی با افزایش نسبت عمق، میزان کاهش دبی عبوری ابتدا حالت صعودی و سپس نزولی دارد و در نسبت عمق 0/25 به حداکثر مقدار خود می‌رسد. به هر حال در نسبت $L/D=3$ و نسبت عمق 0/25، بیشترین کاهش نسبت دبی عبوری و به میزان حدود 65 درصد اتفاق می‌افتد.

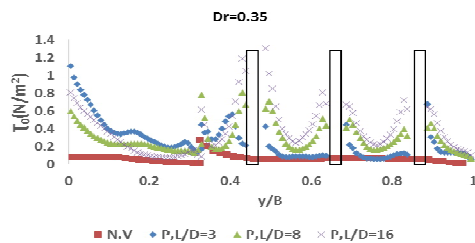
شکل 13 تنش برشی کف را در کانال اصلی و دشت سیلابی در دو حالت بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی با تراکم‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با زبر شدن دشت سیلابی، تنش برشی در دشت سیلابی نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی افزایش یافته است.



الف) نسبت عمق 0/15



ب) نسبت عمق 0/25



ج) نسبت عمق 0/35

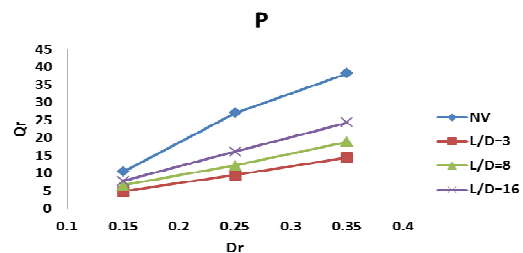
شکل 13 توزیع تنش برشی بستر در کانال مرکب در حالت با و بدون پوشش گیاهی

همچنین در نسبت عمق‌های مختلف، با نزدیک شدن از

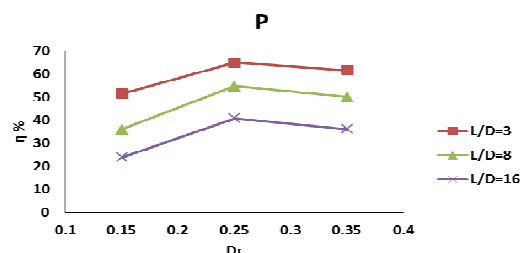
شکل 11 مقدار نسبت دبی عبوری از دشت سیلابی (Qr) را برای دو حالت بدون پوشش گیاهی و پوشش گیاهی با تراکم‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت با و بدون پوشش گیاهی با افزایش نسبت عمق (Dr)، نسبت دبی عبوری از دشت سیلابی افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش تراکم پوشش گیاهی (افزایش L/D از 3 به 16)، نسبت دبی عبوری از دشت سیلابی افزایش می‌یابد. این افزایش در نسبت عمق‌های مختلف متفاوت است، چراکه با کاهش تراکم پوشش گیاهی، افزایش نسبت دبی عبوری در دشت سیلابی در نسبت عمق 0/35 بیشتر از نسبت عمق 0/25 است.

شکل 12 درصد کاهش نسبت دبی عبوری از دشت سیلابی در تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی را نسبت به حالت بدون پوشش گیاهی نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشخص است در تراکم پوشش گیاهی بالا ($L/D=3$) بیشترین کاهش در نسبت دبی عبوری از دشت سیلابی اتفاق می‌افتد. در توجیه این نتیجه می‌توان گفت که در دشت سیلابی با تراکم پوشش گیاهی بالا، زبری و در نتیجه مقاومت در مقابل جریان افزایش می‌یابد که این امر منجر به کاهش سرعت و در نتیجه کاهش دبی در دشت سیلابی می‌شود.



شکل 11 مقایسه درصد دبی عبوری از دشت سیلابی بدون پوشش گیاهی و با پوشش گیاهی در تراکم‌های مختلف



شکل 12 درصد کاهش دبی عبوری از دشت سیلابی در مقایسه با حالت بدون پوشش گیاهی

D	قطر پوشش گیاهی
d_{avel}	سرعت متوسط عمقی
Dr	عمق نسبی
D_{50}	قطر متوسط ذرات
g	شتاب ثقل
H_{fp}	عمق جریان در دشت سیلابی
H_{mc}	عمق جریان در کانال اصلی
k_s	زبری معادل
L	فاصله بین ردیف پوشش گیاهی
n	ضریب زبری مانینگ
N.V	شرایط بدون پوشش گیاهی
P.V	شرایط پوشش گیاهی موازی
Q	دبی جریان
Q_r	نسبت دبی
u	سرعت طولی جریان
U_{ave}	سرعت متوسط جریان
y	فاصله از مرکز
z	فاصله از کف
η	درصد کاهش دبی
τ_0	تنش برشی

6- منابع

حمیدی فر، ح؛ امید، م. ح. و کشاورزی، ع. (1392). "ساختار جریان و آشفتگی در آبراهه‌های مرکب تحت تأثیر پوشش گیاهی صلب سیلابدشت"، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، دوره 14، شماره 3، ص.ص. 51-66.

Hamidifar, H. and Omid, M.H. (2013). "Floodplain vegetation contribution to velocity distribution in compound channels". Journal of Civil Engineering and Urbanism. Vol. 3, No. 6, pp. 357-361.

Hubble, T., Docker, B. and Rutherford, I. (2010). "The role of riparian trees in maintaining riverbank stability: A review of Australian experience and practice". Ecological Engineering, Vol. 36, No.3, pp. 292-304.

James, C.S. and Makoa, M. (2006). "Conveyance estimation for channels with emergent vegetation boundaries". Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Vol. 159, No. 4, pp. 235-243.

Knight, D.W. and Shiono, K. (1996). "River

کانال اصلی به دشت سیلابی، تنش برشی بستر کاهش می‌یابد و برای تمامی حالات در مرز مشترک کانال اصلی و دشت سیلابی یک جهش ناگهانی در تنش برشی بستر اتفاق می‌افتد که ناشی از انتقال مومنتم بین کانال اصلی و دشت سیلابی می‌باشد. این نتایج با نتایج دیگر محققان مطابقت دارد (حمیدی فر و همکاران 1392، Rajaratnam and Ahmadi, 1981 و Tominaga and Nezu, 1991). با ورود به دشت سیلابی، تنش برشی بستر در اطراف هر پوشش گیاهی افزایش و سپس در فاصله بین دو پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. این افزایش در مجاورت پوشش گیاهی نزدیک به لبه دشت سیلابی حداکثر و در پوشش گیاهی نزدیک به دیواره کانال مرکب حداقل است. همچنین نکته دیگری که در داخل این اشکال دیده می‌شود این است که در داخل دشت سیلابی، با کاهش تراکم پوشش گیاهی (افزایش فاصله ردیف‌های پوشش گیاهی)، تنش برشی افزایش می‌یابد.

4- نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر پوشش گیاهی صلب با آرایش موازی بر روی الگوی جریان در کانال مرکب با استفاده از نرم‌افزار Flow3D مورد بررسی قرار گرفت. مقدار تراکم پوشش گیاهی (L/D) برابر 3، 8 و 16 انتخاب گردید. نتایج نشان می‌دهد سرعت طولی و متوسط عمقی جریان در کانال اصلی در حالت بدون پوشش گیاهی کمتر از حالت با پوشش گیاهی است و این موضوع در دشت سیلابی برعکس است. به علاوه در آرایش موازی، با افزایش نسبت L/D ، سرعت طولی و متوسط عمقی کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش نسبت دبی عبوری از دشت سیلابی در نسبت عمق $0/25$ و نسبت $L/D=3$ و به میزان 65 درصد اتفاق می‌افتد. کاهش تراکم پوشش گیاهی نیز منجر به افزایش تنش برشی می‌شود.

5- فهرست علائم

B	نصف عرض کانال مرکب
B_{fp}	عرض دشت سیلابی
B_{mc}	عرض کانال اصلی

compound channels with vegetation along the main channel". Ph.D Thesis. Department of Civil and Building Engineering, Loughborough University.

Tominaga, A. and Nezu, I. (1991). "Turbulent structure in compound open-channel flows". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, No. 1, pp. 21-41.

White, B. and Nepf, H. (2007). "Shear instability and coherent structures in shallow flow adjacent to a porous layer", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 593, No.1, pp. 1-32.

Yonesi, H.A., Omid, M.H. and Ayyoubzadeh, S.A. (2013). "The hydraulics of flow in non-prismatic compound channels". Journal of Civil Engineering and Urbanism, Vol. 3, No. 6, pp. 342-356.

channel and floodplain hydraulics". In Floodplain Processes. Anderson M.G. Walling D.E. Bates P.D. (ed). Chapter 5. J. Wiley.

Rajaratnam, N. and Ahmadi, R. (1981). "Hydraulics of channels with floodplains". Journal of Hydraulic Research, Vol. 19, No. 1, pp. 43-60.

Shiono, K. and Knight, D.W. (1989). "Transverse and vertical Reynolds shear stress measurements in a shear layer region of a compound channel". In Proc. 7th Int. Symp. on Turbulent Shear Flows, Stanford, USA., pp. 28.1.1-28.1.6.

Shiono, K. and Knight, D.W. (1991). "Turbulent open channel flow with variable depth across the channel". Journal of Fluid Mechanics, Vol. 222, pp. 617-646.

Terrier, B. (2010). "Flow characteristics in straight