

## تحلیل توزیع سرعت جریان در کانال با پوشش گیاهی با تراکم‌های مختلف

محمدجواد رضائی\*<sup>۱</sup> و رضا محمدپور<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، فارس، استهبان و <sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان، فارس، استهبان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴

### چکیده

پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل جریان در کانال با پوشش گیاهی و تالاب‌ها اصلی‌ترین مشکل چالش‌برانگیز در محیط زیست و هیدرولیک می‌باشد. دلیل این امر آن است که خصوصیات هیدرولیکی جریان در تالاب‌ها و کانال‌های انتقال‌دهنده جریان به شدت به ساختار فیزیکی، تراکم و نحوه توزیع پوشش گیاهی وابسته است. هدف از پژوهش حاضر، ارائه تحلیل جامعی از پروفیل‌های سرعت در کانال‌های با پوشش گیاهی غیرمستقر در حضور گونه واقعی گیاهی و ارائه رابطه دقیق‌تری برای گونه گیاهی مورد آزمایش و گونه‌های مشابه آن است. بدین‌منظور، مطالعات در یک فلوم آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به طول ۲۰ متر و عرض ۱/۵ متر با شیب کف ثابت ۰/۰۵ صورت گرفت که در آن از نوعی پوشش گیاهی به نام *Eleocharis* در سه نوع تراکم کم، متوسط و زیاد استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مقادیر سرعت در نواحی بالادست، کمترین مقدار را دارد که به‌طور میانگین سرعت متوسط در بالادست نسبت به پایین‌دست برای تراکم‌های مختلف حدود چهار الی ۱۲ درصد کاهش را نشان می‌دهد. ضمناً مقدار سرعت متوسط نیز با افزایش تراکم گیاهی از تراکم ۲۳ به ۴۲ و از تراکم ۴۲ به ۷۲ به ترتیب حدود ۱۲ و ۴/۵ درصد در بالادست و حدود ۱۱ و چهار درصد در پایین‌دست کاهش پیدا می‌کند. در نهایت، برای برآورد سرعت متوسط جریان در ناحیه پوشش گیاهی یک رابطه ارائه شد که از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد. لازم به ذکر است که کاربرد این رابطه در تالاب‌ها و کانال‌ها برای رفع مسئله آلودگی رواناب‌ها و مسئله رسوب‌گذاری حائز اهمیت می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تالاب، تراکم پوشش گیاهی، پروفیل سرعت، غیرمستقر، *Eleocharis*

### مقدمه

لابلای این پوشش‌های گیاهی به کیفیت مناسبی برسند. از این‌رو، مطالعه هیدرولیک جریان به‌خصوص توزیع سرعت جریان در شرایط وجود پوشش گیاهی برای درک و مدیریت بهتر تالاب‌ها حائز اهمیت است. از جمله عواملی که می‌تواند بر پارامترهای جریان و مشخصات آشفتگی تأثیرگذار باشد، نوع، مقدار تراکم، میزان استغراق و میزان انعطاف‌پذیری پوشش گیاهی است. هر نوعی از پوشش گیاهی، ساختار و

امروزه استفاده از تالاب‌های مصنوعی، از جمله روش‌هایی است که در امر فیلتر کردن آلودگی رواناب‌های شهری کاربرد اساسی دارد. به این صورت که در مسیر جریان رواناب‌ها تا مقصد نهایی (که عموماً رودخانه‌ها یا دریاها می‌باشند) یک یا چند تالاب مصنوعی با پوششی از گیاهان خاص با قابلیت آلودگی‌زدایی قرار داده می‌شود تا با عبور جریان از

شدن نوسانات سرعت در مقایسه با حالت گیاه صلب می‌شود.

میزان تراکم پوشش گیاهی در مسیر جریان هم جزء مباحث مهمی است که مشخصات هیدرولیکی جریان را به شدت تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. Fischer و همکاران (۲۰۰۱)، با انجام تحلیل حساسیت روی تراکم پوشش گیاهی در یک کانال مرکب نشان دادند که با افزایش تراکم پوشش گیاهی، پروفیل سرعت جریان تغییر یافته و به تبع آن نیز سرعت متوسط کاهش می‌یابد. Afzalimehr و همکاران (۲۰۱۱)، با بررسی اعتبار قانون‌های لگاریتمی و کولز بر روی نیمرخ سرعت جریان، نشان دادند که در بخش داخلی لایه مرزی که در نزدیکی بستر واقع است، قانون لگاریتمی برای پوشش گیاهی با تراکم‌های گوناگون معتبر است. در حالی که کاربرد قانون کولز در ناحیه خارجی به دلیل توزیع نامتعارف نیمرخ سرعت جریان و تشدید آشفتگی با افزایش تراکم پوشش گیاهی نامعتبر می‌باشد. Chakraborty و Sarkar (۲۰۱۸)، با بررسی همزمان اثر بستر سینوسی و تراکم پوشش گیاهی بر تنش برشی و سرعت جریان، نشان دادند که با کاهش هفت درصدی تراکم پوشش گیاهی، تنش برشی حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد و همچنین، زمانی که پوشش گیاهی کم باشد، فرم بستر به طور فراوانی سرعت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. Drikvandi و همکاران (۲۰۱۲)، اثر تراکم و انعطاف‌پذیری پوشش گیاهی روی ضرایب زبری را روی سه نوع پوشش گیاهی (پده، گز و مخلوط مساوی از آنها) در حالت غیرمستغرق مورد بررسی قرار دادند و چنین نتیجه گرفتند که ضرایب زبری گیاهان تابعی غیرخطی از شرایط جریان نظیر سرعت، عمق و شعاع هیدرولیکی و همچنین، تابعی از نوع پوشش گیاهی هستند. آن‌ها بیان داشتند که ضرایب زبری نسبت به میزان تراکم، تغییرات خطی دارند.

تفاوت گونه‌های پوشش گیاهی و اثرات متفاوت آن‌ها بر هیدرولیک جریان، دامنه وسیعی است که باید هنوز مورد مطالعه قرار بگیرد. از همین رو، در این پژوهش به تحلیل توزیع سرعت جریان در حضور نوع جدیدی از پوشش گیاهی به نام *Eleocharis* که عمدتاً در تالاب‌های شرق آسیا می‌روید و شباهتی نزدیک با

فیزیک مخصوص به خود را دارد که از جمله آن می‌توان به قطر ساقه، ارتفاع، میزان انعطاف‌پذیری و حتی میزان شاخ و برگ آن پوشش گیاهی اشاره کرد. بنابراین، نتایج و روابط مربوط به یک نوع پوشش گیاهی را نمی‌توان بدون اصلاحات اساسی برای گونه‌ای دیگر به کار برد.

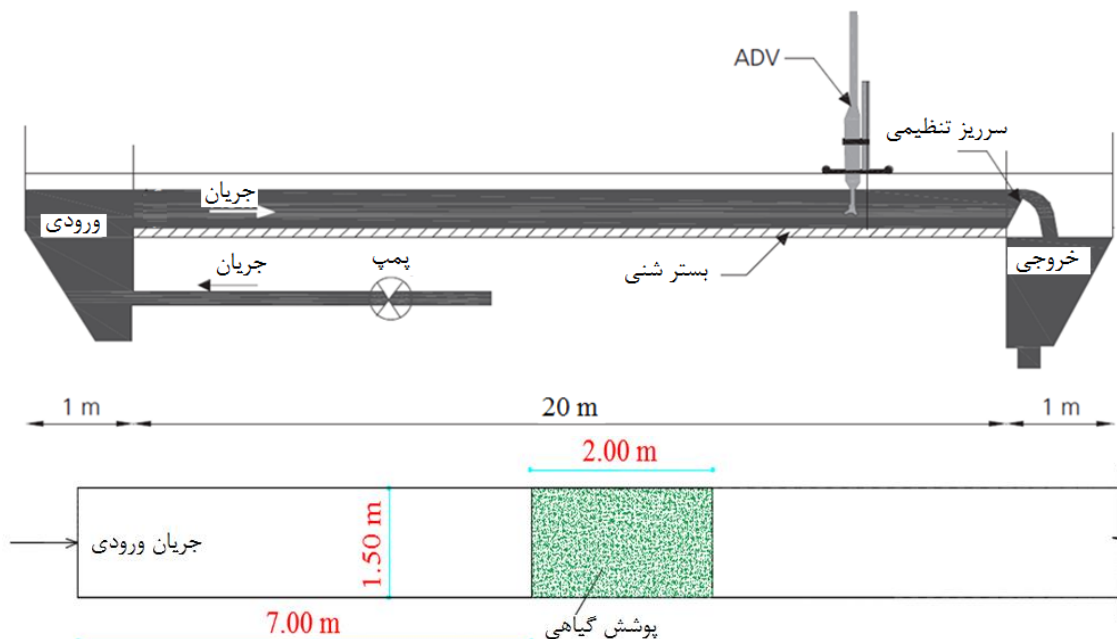
برخی از محققین در تحقیقات آزمایشگاهی خود به جای استفاده از نمونه پوشش گیاهی از استوانه‌های صلب مصنوعی بهره گرفته‌اند که یک روش مرسوم و شناخته شده در میان محققین است که از جمله آن‌ها می‌توان به کارهای Zhang و همکاران (۲۰۱۳)، Choi و Kang (۲۰۰۶) و Yang و همکاران (۲۰۱۸) اشاره کرد. اما با توجه به این که در کانال‌های طبیعی، عموماً گیاهان به صورت انعطاف‌پذیر هستند، بنابراین، در نظر گرفتن استوانه‌های صلب به جای پوشش گیاهی در مدل‌های آزمایشگاهی خیلی منطقی به نظر نمی‌رسد و نمی‌توان به نتایج آن اعتماد کرد (Dijkstra و Uittenbogaard, ۲۰۱۰). در مدل‌سازی یک پدیده، مسئله بسیار مهمی که می‌بایست در فیزیک مسئله در نظر گرفته شود، شباهت مدل به نمونه واقعی آن است. طبیعی است که استخراج نتایج از مدل غیرواقعی قابل اطمینان نیست، هر چند هم که نتایج حاصل از مدل‌سازی به داده‌های واقعی نزدیک باشد. از طرف دیگر، شاید بتوان گیاهی مانند نی یا مشابه کار Sajedi و همکاران (۲۰۱۱)، درختان را با یک استوانه صلب شبیه‌سازی کرد، ولی گیاهی مثل پده رودخانه‌ای یا *Eleocharis* را به هیچ وجه نمی‌توان با آن شبیه‌سازی کرد. ابعاد و اندازه، شاخ و برگ گیاه و همچنین، رفتار خمشی و انعطاف‌پذیری گیاه در برابر حرکت جریان مسئله‌ای نیست که بتوان به سادگی از کنار آن گذشت و آن را نادیده گرفت. در همین راستا، Kouwen و Fathi-Moghadam (۱۹۹۷) و Yang و Choi (۲۰۰۹) به اهمیت مسئله انعطاف‌پذیری گیاهان اشاره کرده و ادعان نموده‌اند که استحکام خمشی به عنوان یک پارامتر تأثیرگذار بر مقاومت جریان هست. Ikeda و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی اندرکنش بین تحرک گیاهان انعطاف‌پذیر و آشفتگی جریان پرداختند و نشان دادند که تحرک پوشش گیاهی باعث کاهش پررود شکل‌گیری گردابه‌ها و نامنظم‌تر

فلوم که مقدار ثابت ۰/۰۰۵ را داشت، در نظر گرفته شد. آب از طریق یک پمپ از مخزن به داخل فلوم انتقال یافته و تراز سطح آب نیز به وسیله یک سرریز تنظیمی که در انتهای فلوم قرار داده شده بود، ثابت نگه داشته می‌شد. کف کانال نیز برای قرارگیری و تثبیت اندام‌های گیاهی با استفاده از بستر شنی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پوشش داده شد. برای اندازه‌گیری عمق و سرعت جریان در کانال از یک دستگاه Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) استفاده شد. در شکل ۱، تصویر فلوم آزمایشگاهی و چیدمان پوشش گیاهی نشان داده شده است.

گونه‌های علفی موجود در تالاب شادگان دارد، پرداخته شده، سپس، به ارزیابی تأثیر تراکم این نوع پوشش گیاهی بر توزیع سرعت جریان اشاره شده است.

### مواد و روش‌ها

تمامی آزمایش‌های صورت گرفته در این مطالعه، در یک فلوم آزمایشگاهی واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه USM مالزی انجام شده است. مقطع این فلوم آزمایشگاهی مستطیلی شکل بوده و جنس جداره آن بتنی می‌باشد. طول کانال ۲۰ متر، عرض و ارتفاع آن نیز به ترتیب ۱/۵ و یک متر است. برای تمامی آزمایش‌ها شیب کف کانال شیب خود



شکل ۱- ساختار شماتیک کانال آزمایشگاهی و موقعیت پوشش گیاهی



شکل ۲- ساختار فیزیکی گیاه Eleocharis

در تالاب‌های مناطق شرق آسیا، نوع انعطاف‌پذیری از پوشش گیاهی به نام *Eleocharis*<sup>۱</sup> می‌روید که ارتفاع این گونه گیاهی در حدود ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. همان‌طور که در تصویر این گیاه در شکل ۲ نشان داده شده است، ساختار فیزیکی این گیاه متشکل است از تعداد زیادی ساقه بسیار نازک که همگی در ریشه به هم پیوند می‌خورند. در این مطالعه از بلندترین گونه‌های این گیاه (ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری) استفاده شد.

<sup>۱</sup> *Eleocharis vivipara*

دستگاه ADV درست در مرکز مقطع کانال برای اندازه‌گیری عمق و سرعت جریان قرار داده شده است.

در شکل ۳، تصویری از فلوم آزمایشگاهی و چیدمان پوشش گیاهی *Eleocharis* را می‌توان مشاهده کرد. همان‌گونه که در تصویر مشخص است،



شکل ۳- تصویر کانال آزمایشگاهی

(شکل ۱). انتخاب فاصله هفت متری از ورودی جریان برای شروع چیدمان پوشش گیاهی به این دلیل صورت گرفت که در مراحل اولیه پژوهش، آزمایش‌هایی بدون حضور پوشش گیاهی ترتیب داده شد تا بتوان ارزیابی درستی از شرایط لایه مرزی جریان به دست آورد. مطالعات اولیه نشان داد که لایه مرزی جریان بعد از فاصله هفت متری در حالت Fully develop قرار می‌گرفت و به همین منظور، این فاصله در نظر گرفته شد. در این شرایط، مقدار دبی جریان  $18/6$  لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. تمامی مراحل آزمایش را می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد. با توجه به شرایط آزمایشگاهی و ارتفاع نوع پوشش گیاهی (۳۰ سانتی‌متر) آزمایش‌ها برای سه عمق متوسط  $15/5$ ،  $19/5$  و  $25/5$  سانتی‌متر، مورد ارزیابی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

به‌منظور بررسی اثر حضور پوشش گیاهی بر توزیع سرعت جریان، در نواحی مختلف کانال مقادیر سرعت اندازه‌گیری شد. در شکل ۵، نمودارهای توزیع سرعت

در این مطالعه، سعی بر آن شد که تراکم‌های گیاهی به کار رفته شده در آزمایش‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شوند که نزدیک به تراکم‌هایی باشد که در محل رویش آن‌ها در تالاب‌ها مشاهده و اندازه‌گیری شد (مطابق شکل ۴- الف). از این‌رو، سه حالت تراکم کم (۲۳)، متوسط (۴۲) و زیاد (۷۲)، تراکم‌هایی بودند که با چیدمانی کاملاً منظم و موازی مطابق شکل ۴- ب، طراحی و در نظر گرفته شدند. این تراکم‌ها به این صورت تعریف شده‌اند که در هر متر مربع از کانال تعداد گیاهی که قرار می‌گیرند، عدد تراکم آن پوشش گیاهی لحاظ می‌شود. به‌عنوان مثال، تراکم ۲۳ به این معناست که در هر متر مربع از پوشش گیاهی ۲۳ عدد گیاه قرار داده شده که به‌عبارتی در هر متر از طول کانالی با عرض  $1/5$  متر تعداد ۳۵ عدد گیاه قرار می‌گیرد. ضمناً باید خاطر نشان کرد که علت انتخاب چیدمان منظم برای پوشش گیاهی صرفاً برای سهولت عبور دستگاه ADV از میان پوشش گیاهی بود.

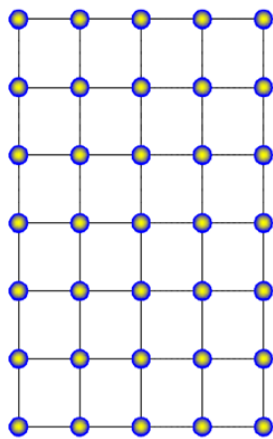
در تمامی مراحل آزمایش، توزیع پوشش گیاهی فقط در یک بخش از کانال به طول دو متر و به فاصله هفت متری از ابتدای ورودی کانال قرار داده شد

عمق ۱۵/۵، ۱۹/۵ و ۲۵/۵ سانتی‌متر ترسیم شده است. در این نمودارها محور افقی، سرعت نسبی جریان  $U/U_{max}$  و محور عمودی عمق نسبی جریان  $h/h_w$  را نشان می‌دهد.

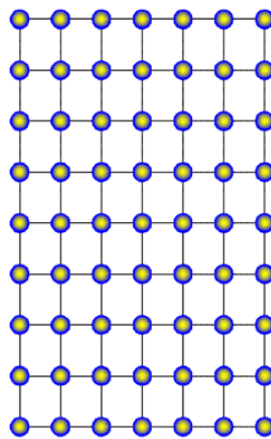
برای سه حالت تراکم پوشش گیاهی، در سه ناحیه بالادست ( $X=۶/۵$  m)، پایین‌دست ( $X=۹/۵$  m) و میانه ناحیه پوشش گیاهی ( $X=۸$  m) ترسیم شده است. نمودارها از چپ به راست به ترتیب برای جریان‌هایی با



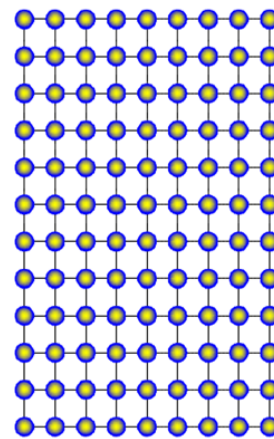
(الف)



دانسیته ۲۳  
تعداد ۵x۷



دانسیته ۴۲  
تعداد ۷x۹



دانسیته ۷۲  
تعداد ۹x۱۲

(ب)

شکل ۴- ساختار تراکم‌های گیاهی به کار رفته در آزمایشگاه

جدول ۱- شرایط فیزیکی و هیدرولیکی مراحل آزمایشگاهی

فقطر گیاه (D) (cm)	تعداد گیاه	ارتفاع گیاه ( $h_v$ ) (cm)	عمق متوسط جریان ( $h_w$ ) (cm)	تراکم گیاهی	نمونه‌های آزمایش
۸	۳۵	۳۰	۱۵/۵	۲۳	نمونه ۱
۸	۳۵	۳۰	۱۹/۵	۲۳	نمونه ۲
۸	۳۵	۳۰	۲۵/۵	۲۳	نمونه ۳
۸	۶۳	۳۰	۱۵/۵	۴۲	نمونه ۴
۸	۶۳	۳۰	۱۹/۵	۴۲	نمونه ۵
۸	۶۳	۳۰	۲۵/۵	۴۲	نمونه ۶
۸	۱۰۸	۳۰	۱۵/۵	۷۲	نمونه ۷
۸	۱۰۸	۳۰	۱۹/۵	۷۲	نمونه ۸
۸	۱۰۸	۳۰	۲۵/۵	۷۲	نمونه ۹

بالادست پوشش گیاهی، مقدار بیشتری را خواهد داشت. بر اساس شکل ۵، در هر سه حالت تراکم پوشش گیاهی، میزان افزایش سرعت متوسط جریان در ناحیه پایین دست نسبت به ناحیه بالادست حدود شش الی ۱۴ درصد می‌باشد.

منحنی‌های شکل ۶، مقایسه بین پروفیل‌های توزیع سرعت در سه مقطع بالادست ( $X=6/5$  m)، پایین دست ( $X=9/5$  m) و میانه ناحیه پوشش گیاهی ( $X=8$  m) را برای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی نشان می‌دهد. با افزایش تراکم پوشش گیاهی، در ناحیه بالادست کاهش سرعت جریان اتفاق می‌افتد. علت این است که با افزایش تراکم، عامل ایجاد پس‌زدگی جریان افزایش یافته و در نتیجه، کاهش بیشتر سرعت جریان در بالادست اتفاق می‌افتد.

جدول ۲، مقادیر نسبی سرعت متوسط جریان ( $\frac{\bar{U}}{U_{max}}$ ) را در مقاطع بالادست و پایین دست پوشش گیاهی نشان می‌دهد. مطابق این جدول، میزان کاهش سرعت متوسط جریان در بالادست، برای تغییر تراکم پوشش گیاهی از ۲۳ به ۴۲ و از ۴۲ به ۷۲ به ترتیب حدود ۱۲ و ۴/۵ درصد است. در پایین دست ناحیه پوشش گیاهی نیز با افزایش تراکم پوشش گیاهی، کاهش سرعت جریان اتفاق می‌افتد که این مقدار کاهش حدود ۱۱ درصد برای افزایش تراکم از ۲۳ به ۴۲ و چهار درصد برای افزایش تراکم ۴۲ به ۷۲ است. تعیین مقدار سرعت متوسط به‌خصوص در تالاب‌های مصنوعی، برای آلودگی‌زدایی از رواناب‌های شهری و تصفیه بهتر آن از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، تعیین مقدار دقیق پارامتر سرعت در تالاب‌ها بایستی با حساسیت بیشتری دنبال شود. Wu و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که مفهوم دراگ مربوط به پوشش گیاهی را می‌توان بر اساس هندسه ساده‌ای از گیاه بیان کرد. نیروی دراگ شامل دو بخش می‌شود که یکی نیروی دراگ ناشی از کف و دیواره‌ها است و دیگری نیروی دراگ ناشی از پوشش گیاهی موجود در مسیر جریان. با توجه به این که نیروی دراگ با نیروی گرانشی در راستای کانال برابر است، می‌توان رابطه بین آن‌ها را چنین نوشت.

$$F_G = F_D + F_S \quad (1)$$

همان‌گونه که این نمودارها نشان می‌دهند، نکات قابل توجهی در مورد پروفیل‌های سرعت در نقاط مختلف جریان وجود دارد: ۱- در میانه ناحیه پوشش گیاهی به دلیل وجود ساقه‌ها و اندام‌های گیاهی وضعیت پروفیل سرعت کاملاً نامنظم و به هم ریخته شده در نتیجه، ساختاری کاملاً آشفته به خود می‌گیرد. اما این در حالی است که قبل و بعد از ناحیه پوشش گیاهی پروفیل سرعت، ساختار نسبتاً منظمی را دارد. Afzalimehr و همکاران (۲۰۱۸)، چنین عنوان کردند که تراکم پوشش گیاهی، ناحیه برخاستگی<sup>۱</sup> بیشتری ایجاد می‌کند و نیمرخ سرعت را از طریق تشدید آشفتگی در آن تحت تأثیر قرار می‌دهد. دلیل تشدید آشفتگی، جریان‌های ثانویه هستند. وجود پوشش گیاهی مانند پایه پل، در مسیر جریان، سبب انحراف خطوط جریان و شکل‌گیری پدیده جدایی جریان شده و به تبع آن ناحیه برخاستگی را توسعه می‌دهد. از ویژگی‌های مهم جدایی جریان افزایش آشفتگی است. به علاوه، وقوع ناحیه برخاستگی، چرخشی بودن جریان را تقویت می‌کند و پیامد آن لایه برشی حول اندام گیاهی می‌باشد که موجب تغییر در شکل توزیع سرعت می‌شود. ۲- در نواحی بالادست پوشش گیاهی، مقدار سرعت متوسط جریان در مقایسه با حالت بدون پوشش گیاهی، مقادیر کمتری را دارد. آنچه پر واضح است و Li و همکاران (۲۰۱۸) هم در آزمایش‌های خود بدان اشاره کرده‌اند، این است که پس‌زدگی ناشی از حضور پوشش گیاهی عامل ایجاد کاهش سرعت در ناحیه بالادست جریان می‌شود. ۳- بعد از گذر از ناحیه پوشش گیاهی، افزایش سرعت متوسط جریان نسبت به نواحی بالادست پوشش گیاهی مشاهده می‌شود. آنچه در این باره می‌توان گفت، این است که بعد از عبور از ناحیه پوشش گیاهی و تجربه نوسانات زیاد سرعت، جریان تمایل دارد تا به وضعیت تعادل خود (در حالت نبود پوشش گیاهی) برسد. در نتیجه، در این ناحیه، رفته‌رفته توزیع سرعت منظم‌تر شده و به دلیل نبود نیروی مقاوم ناشی از پوشش گیاهی در برابر جریان، مقادیر سرعت در مقایسه با نواحی

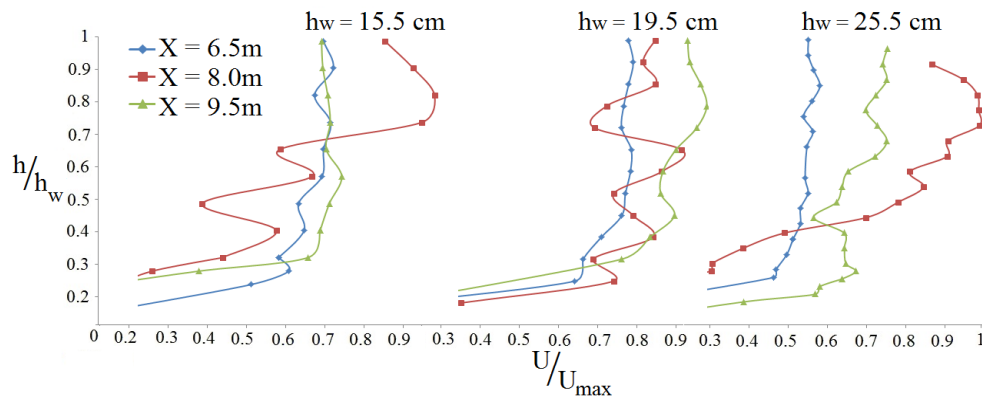
<sup>1</sup> Wake

$$F_D = \frac{C_D (\lambda . A_f . L) \rho . U^2}{2} \quad (۳)$$

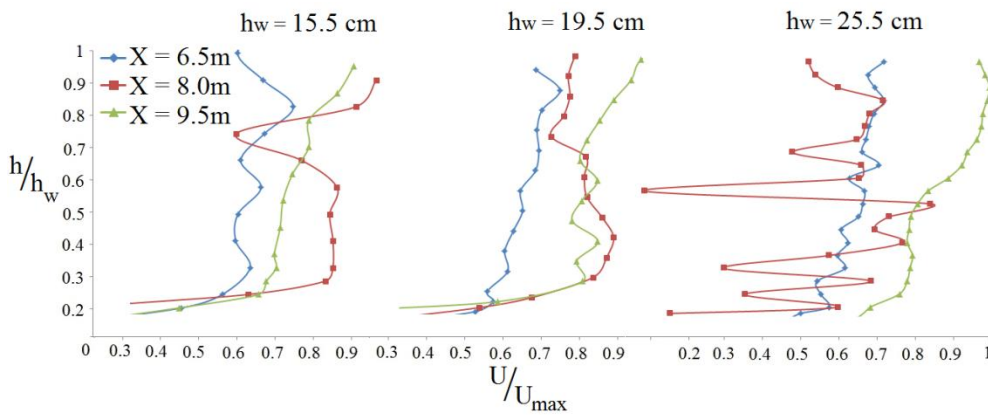
که در آن‌ها،  $\rho$  چگالی آب ( $Kgm^{-3}$ )،  $g$  ثابت گرانشی ( $m^2s^{-1}$ )،  $A$  سطح مقطع جریان ( $m^2$ )،  $S$  شیب کف کانال و  $L$  طول کانال ( $m$ )،  $C_D$  ضریب دراگ،  $A_f$  سطح مقطع اندام‌های گیاهی در مقابل جریان ( $m^2$ )،  $U$  سرعت متوسط جریان ( $ms^{-1}$ ) و  $\lambda$  نسبت تراکم پوشش گیاهی ( $m^{-1}$ ) است که نشان‌دهنده تراکم پوشش گیاهی در واحد طول کانال است.

که در آن،  $F_G$  نیروی گرانشی،  $F_D$  نیروی دراگ پوشش گیاهی و  $F_S$  نیروی اصطکاک بستر و دیواره‌ها می‌باشد. از آنجا که در مورد کانال‌های با پوشش گیاهی و با شرایط جریان یکنواخت، مقدار  $F_S$  در برابر مقدار  $F_D$  خیلی کوچک هست، می‌توان در این رابطه از مقدار  $F_S$  صرف‌نظر کرد. روابط مربوط به پارامترهای  $F_D$  و  $F_G$  به‌قرار زیر است.

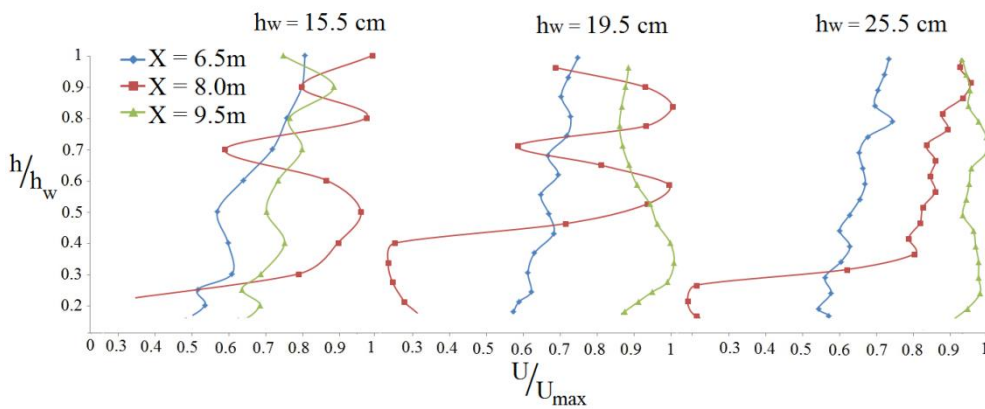
$$F_G = \rho . g . (A.L) . S \quad (۲)$$



الف) تراکم ۲۳

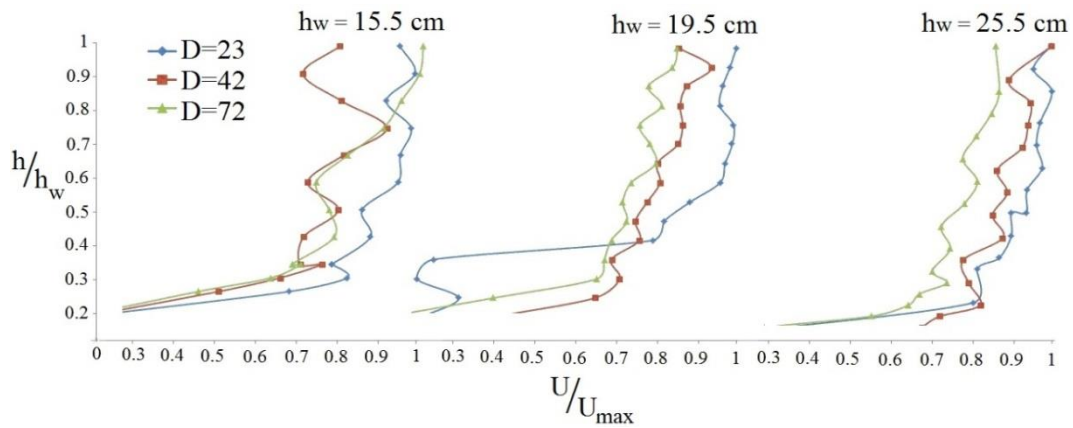


ب) تراکم ۴۲

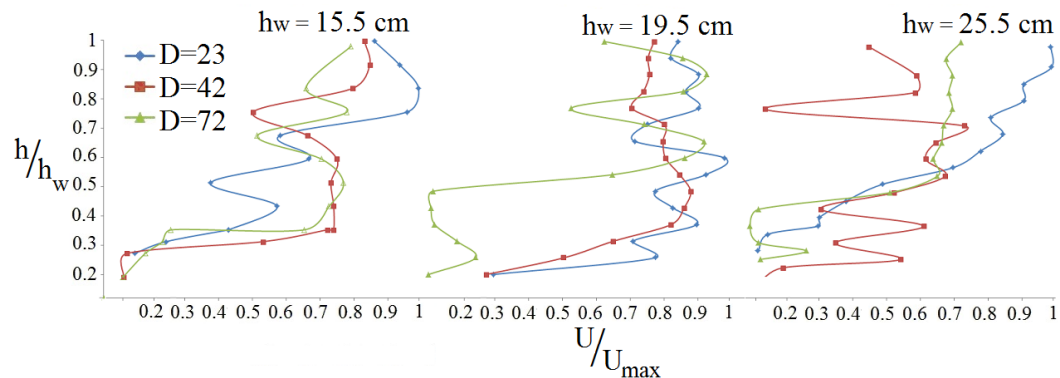


ج) تراکم ۷۲

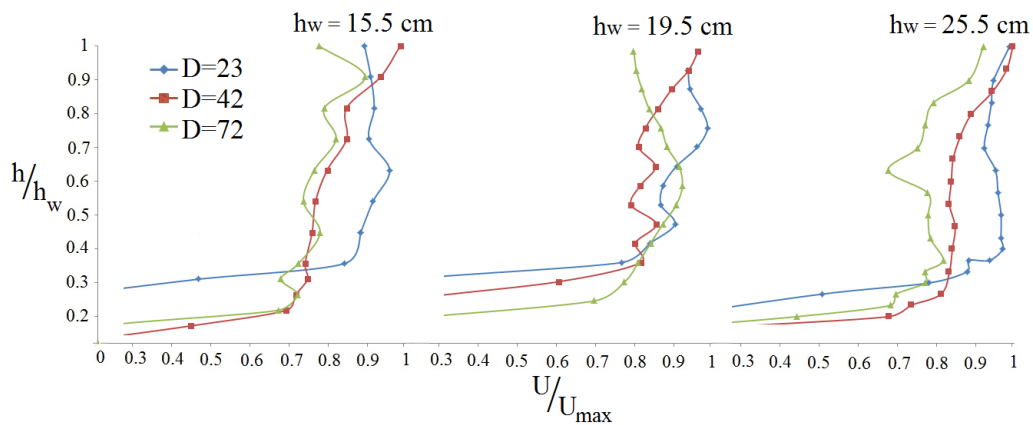
شکل ۵- توزیع سرعت در سه مقطع بالادست، میانه و پایین‌دست پوشش گیاهی در سه حالت الف- تراکم ۲۳، ب- تراکم ۴۲ و ج- تراکم ۷۲



الف) بالادست پوشش گیاهی



ب) میانه پوشش گیاهی



ج) پایین‌دست پوشش گیاهی

شکل ۶- مقایسه توزیع سرعت جریان در سه حالت تراکم ۲۳، ۴۲ و ۷۲ در مقاطع: الف- بالادست، ب- میانه و ج- پایین‌دست پوشش گیاهی

جدول ۲- مقدار  $\frac{\bar{U}}{U_{max}}$  در مقاطع مختلف کانال برای تراکم‌های مختلف پوشش گیاهی

میانگین درصد اختلاف	نسبت سرعت متوسط جریان ( $\frac{\bar{U}}{U_{max}}$ )			میزان تراکم گیاه	موقعیت اندازه‌گیری سرعت
	$h_w=25/5$ cm	$h_w=19/5$ cm	$h_w=15/5$ cm		
۱۲	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۸۶	۲۳	بالادست پوشش گیاهی
۴/۵	۰/۸۳	۰/۷۹	۰/۷۱	۴۲	
--	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲	۷۲	
۱۱	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۱	۲۳	پایین‌دست پوشش گیاهی
۴	۰/۹۰	۰/۸۳	۰/۷۹	۴۲	
--	۰/۸۱	۰/۸۴	۰/۷۶	۷۲	



این رابطه برای پیش‌بینی سرعت متوسط جریان، برای شرایط این نوع پوشش گیاهی، از دقت پایینی برخوردار است. اما این در حالی است که برآورد همین رابطه برای آزمایشاتی که با نمونه‌های استوانه‌ای مصنوعی ساخته شده‌اند، نتایج بهتری را نشان می‌دهد. در همین راستا، نتایج مربوط به چهار پژوهش که از نمونه‌های استوانه‌ای مصنوعی برای مدل‌سازی پوشش گیاهی استفاده شده‌اند، به صورت نمودار شکل ۸ در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که در این نمودار مشخص شده، ضریب تعیین مقدار قابل قبول تری ( $R^2=0/9081$ ) را نشان می‌دهد. حال این سوال مطرح می‌شود که چه عواملی می‌تواند وجود داشته باشد که باعث ایجاد تفاوت در نتایج حاصل از رابطه (۴) برای برآورد مقدار سرعت جریان در حالت‌های پوشش گیاهی طبیعی و مصنوعی شود.

با توجه به وجود تفاوت در گونه‌های مختلف گیاهی به‌خصوص از لحاظ میزان انعطاف‌پذیری گیاه، استفاده از یک رابطه ثابت و جامع نمی‌تواند مقادیر قابل قبولی را برای همه انواع پوشش گیاهی ارائه کند و بنابراین، بایستی برای هرگونه گیاهی اصلاحاتی را در رابطه مذکور اعمال کرد دو پارامتر  $C_D$  و  $\lambda$  در رابطه (۴) پارامترهایی هستند که در برآورد دقیق سرعت متوسط جریان نقش عمده‌ای دارند که وابستگی کامل به ساختار فیزیکی گیاه و سرعت جریان دارند.

در نهایت، با مساوی قرار دادن  $F_D$  و  $F_G$  می‌توان سرعت متوسط جریان را برای پوشش‌های گیاهی غیرمستغرق با استفاده از رابطه زیر استخراج کرد.

$$U = \left( \frac{2gh_w S}{C_D \lambda h_v} \right)^{0.5} \quad (۴)$$

که در آن،  $h_w$  عمق جریان ( $m$ ) و  $h_v$  ارتفاع گیاه ( $m$ ) می‌باشد. ضریب دراگ در رابطه بالا را نیز می‌توان با استفاده از رابطه Wang (۲۰۱۸) محاسبه نمود.

$$C_D = 50(Re_v)^{-0.43} + 0.7[1 - \exp(-\frac{Re_v}{15000})] \quad (۵)$$

که در آن،  $Re_v$  و  $R_v$  به ترتیب رینولدز و شعاع هیدرولیکی پوشش گیاهی است که از روابط زیر به دست می‌آیند.

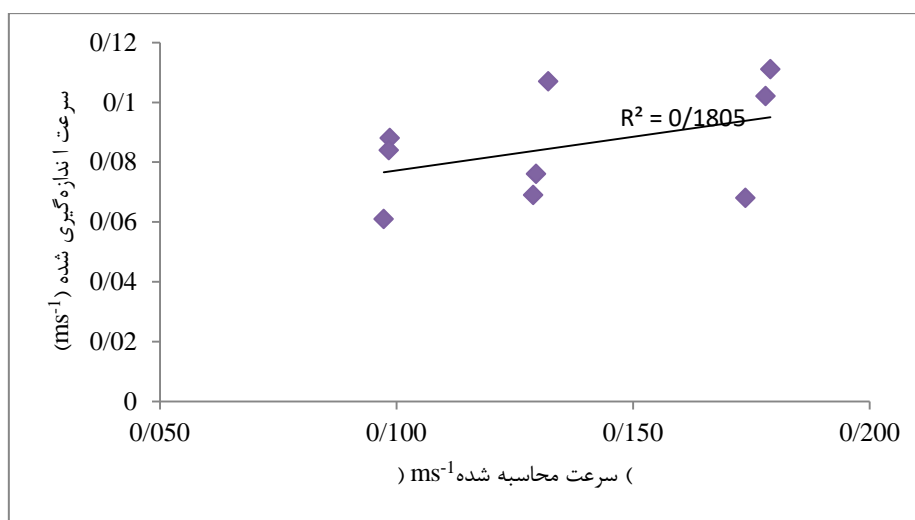
$$Re_v = UR_v / \nu \quad (۶)$$

$$R_v = \frac{\pi}{4} \left( \frac{1-\lambda}{\lambda} \right) D \quad (۷)$$

که در آن،  $\nu$  لزجت سینماتیکی و  $D$  قطر متوسط گیاه است. جدول ۳، تمامی پارامترهای محاسبه شده از روابط بالا را برای برآورد سرعت متوسط جریان نشان می‌دهد. در دو ردیف آخر این جدول، سرعت‌های محاسبه شده از روابط و سرعت‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه مشخص شده است. نمودار شکل ۷، مقایسه بین این مقادیر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این نمودار مشخص است، مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) برای ارزیابی دقت رابطه ارائه شده برای سرعت بسیار کوچک بوده ( $R^2=0/1805$ )، در نتیجه می‌توان گفت که استفاده از

جدول ۳- مقایسه سرعت‌های محاسبه شده و سرعت‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه

نمونه‌های آزمایش	$\lambda$	$R_v$	$Re_v$	$C_D$	سرعت اندازه‌گیری شده ( $ms^{-1}$ )	سرعت محاسبه شده ( $ms^{-1}$ )
نمونه ۱	۰/۱۱۷	۰/۶۹۳	۴۶۸۸۸	۱/۱۶۰	۰/۰۶۸	۰/۱۷۴
نمونه ۲	۰/۱۱۷	۰/۶۹۳	۷۶۵۳۸	۱/۰۹۳	۰/۱۱۱	۰/۱۷۹
نمونه ۳	۰/۱۱۷	۰/۶۹۳	۷۰۳۳۲	۱/۱۰۵	۰/۱۰۲	۰/۱۷۸
نمونه ۴	۰/۲۱۱	۰/۶۱۹	۵۴۵۲۳	۱/۱۷۰	۰/۰۶۹	۰/۱۲۹
نمونه ۵	۰/۲۱۱	۰/۶۱۹	۶۵۹۴۲	۱/۱۱۵	۰/۱۰۷	۰/۱۳۲
نمونه ۶	۰/۲۱۱	۰/۶۱۹	۴۶۸۳۷	۱/۱۶۰	۰/۰۷۶	۰/۱۳۰
نمونه ۷	۰/۳۶۲	۰/۵۰۱	۳۰۴۱۲	۱/۱۹۸	۰/۰۶۱	۰/۰۹۷
نمونه ۸	۰/۳۶۲	۰/۵۰۱	۴۳۸۷۲	۱/۱۶۷	۰/۰۸۸	۰/۰۹۹
نمونه ۹	۰/۳۶۲	۰/۵۰۱	۴۱۸۷۸	۱/۱۷۲	۰/۰۸۴	۰/۰۹۸



شکل ۷- مقایسه سرعت متوسط جریان محاسبه شده با داده‌های آزمایشگاهی تحقیق

جدول ۴- مقایسه سرعت‌های محاسبه شده و سرعت‌های اندازه‌گیری شده به وسیله محققین

محقق	نمونه‌های آزمایش	عمق متوسط جریان (m)	تعداد گیاه	قطر گیاه (m)	$\lambda$	$C_D$	سرعت اندازه‌گیری شده ( $ms^{-1}$ )	سرعت محاسبه شده ( $ms^{-1}$ )
(۲۰۱۶) Dupuis	نمونه ۱	۰/۰۵۵	۸۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶۴	۱/۰۵۵	۰/۱۵۵	۰/۱۲۱
	نمونه ۲	۰/۱۱۳	۸۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶۴	۱/۰۴۸	۰/۱۵۵	۰/۱۲۶
	نمونه ۳	۰/۱۵۲	۸۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶۴	۱/۰۴۳	۰/۱۵۶	۰/۱۳۰
	نمونه ۴	۰/۱۰۹	۸۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶۴	۱/۰۴۴	۰/۱۵۶	۰/۱۲۸
(۲۰۰۹) Huai	نمونه ۱	۰/۱۵۲	۲۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵۶	۱/۱۱۸	۰/۰۷۹	۰/۰۷۶
(۲۰۱۹) Jing	نمونه ۱	۰/۱۵۲	۱۵۸	۰/۰۱	۰/۰۱۲۴	۰/۸۹۳	۰/۱۱۲	۰/۱۱۸
	نمونه ۲	۰/۱۵۲	۶۲۰	۰/۰۱	۰/۰۴۸	۰/۹۱۵	۰/۰۹۴	۰/۰۵۹
	نمونه ۳	۰/۱۵۲	۱۴۵	۰/۰۱	۰/۰۱۱۳	۰/۸۸۶	۰/۱۱۳	۰/۱۲۳
	نمونه ۴	۰/۱۵۲	۵۹۵	۰/۰۱	۰/۰۴۷	۰/۹۰۸	۰/۰۹۶	۰/۰۶۰
(۲۰۱۷) Khuntia	نمونه ۱	۰/۱۵۲	۴۸	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۶۳	۱/۰۱۳	۰/۱۵۲	۰/۲۴۹
	نمونه ۲	۰/۱۵۲	۴۸	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۶۳	۱/۰۰۴	۰/۱۷۴	۰/۲۵۰
	نمونه ۳	۰/۱۵۲	۴۸	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۴	۰/۱۷۸	۰/۲۵۱
	نمونه ۴	۰/۱۵۲	۴۸	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۶۳	۰/۹۹۰	۰/۱۹۱	۰/۲۵۲
	نمونه ۵	۰/۱۵۲	۴۸	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۶۳	۰/۹۸۶	۰/۱۹۷	۰/۲۵۳

در همین باره Xia و Nehal (۲۰۱۳)، نشان دادند که به دلیل ماهیت ناهمگون شکل گیاهان و خطای تجسم آن به صورت یک استوانه تنها، رابطه فوق نمی‌تواند به‌تنهایی برای برآورد سرعت متوسط جریان در نظر گرفته شود و لازم است، به نوعی تراکم ناشی از شاخ و برگ گیاهان نیز لحاظ شود. همچنین، Huai و همکاران (۲۰۰۹)، نشان دادند که نیروی دراگ و تنش رینولدز وابستگی کامل و رابطه مستقیمی با میزان تراکم و ارتفاع پوشش گیاهی دارد. بنابراین، میزان و چگونگی تأثیر افزایش تراکم و ارتفاع پوشش

با توجه به وجود تفاوت در گونه‌های مختلف گیاهی به‌خصوص از لحاظ میزان انعطاف‌پذیری گیاه، استفاده از یک رابطه ثابت و جامع نمی‌تواند مقادیر قابل قبولی را برای همه انواع پوشش گیاهی ارائه کند و بنابراین، بایستی برای هر گونه گیاهی اصلاحاتی را در رابطه مذکور اعمال کرد دو پارامتر  $C_D$  و  $\lambda$  در رابطه (۴) پارامترهایی هستند که در برآورد دقیق سرعت متوسط جریان نقش عمده‌ای دارند که وابستگی کامل به ساختار فیزیکی گیاه و سرعت جریان دارند.

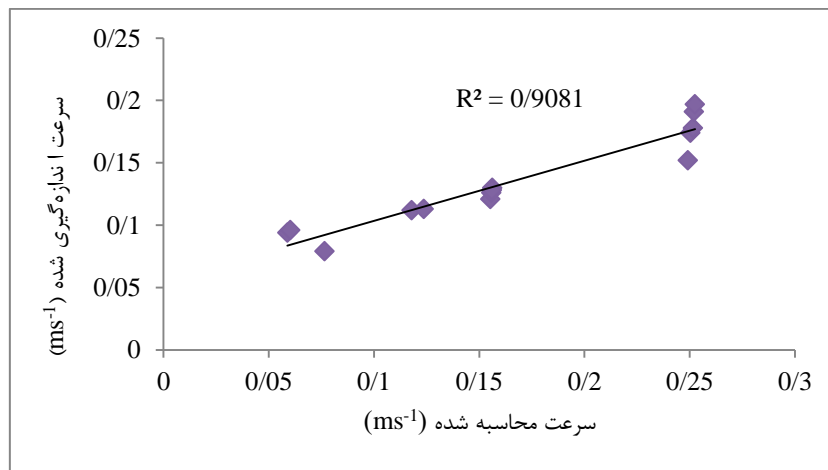
تغییرات سرعت به تغییرات  $\lambda$  و  $h_w/h_v$ ، به ترتیب یک رابطه نسبتاً خطی و یک رابطه درجه دوم حاصل شد که با تلفیق کردن این روابط نهایتاً یک ضریب اصلاحی ( $\xi$ ) حاصل شد که به صورت رابطه زیر بیان شده است.

$$\xi = (\lambda + 0.45) \left( -10.5 \left( \frac{h_w}{h_v} \right)^2 + 13.05 \left( \frac{h_w}{h_v} \right) - 3 \right) \quad (8)$$

با اضافه کردن ضریب  $\xi$  به رابطه (۴) رابطه اصلاح شده زیر برای برآورد سرعت متوسط جریان برای حالت پوشش گیاهی *Eleocharis* حاصل شد.

$$U = \left( \frac{2gh_w S}{\xi C_D \lambda h_v} \right)^{0.5} \quad (9)$$

گیاهی بر مقادیر این دو پارامتر مسئله‌ای است که بسیار حائز اهمیت است. مطالعات Fathi- و Kouwen و Moghadam (۱۹۹۷)، نشان داد که در شرایط ثابت، افزایش سرعت آب باعث کاهش ضریب زبری می‌شود که این کاهش زبری ناشی از قابلیت ارتجاعی پوشش گیاهی و همسو شدن پوشش گیاهی با جریان آب است. به همین منظور، در این پژوهش، برای ارائه یک رابطه بهتر برای پوشش گیاهی مورد آزمایش، یک ضریب اصلاحی معرفی شد، به گونه‌ای که بتواند تا حدی خصوصیات فیزیکی گیاه و تراکم مربوط به این پوشش گیاهی را در برداشته باشد. با توجه به تحلیل‌های انجام گرفته بر روی نمودارهای مربوط به



شکل ۸- مقایسه سرعت متوسط جریان محاسبه شده با داده‌های آزمایشگاهی به وسیله محققین

شرایط مستغرق بایستی مطالعات دیگری صورت پذیرد.

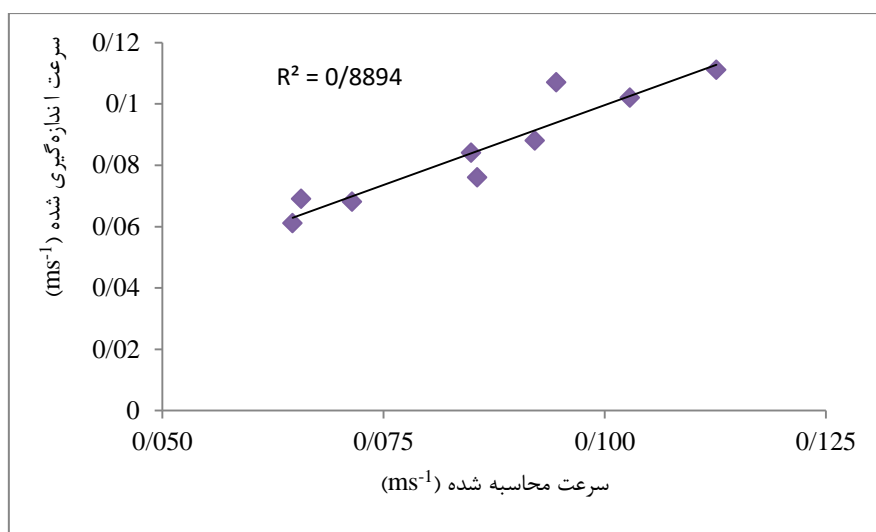
### نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از تالاب‌های مصنوعی برای رفع آلودگی از رواناب‌های شهری از مسائل بسیار پرکاربرد زیست‌محیطی است. لذا، شناخت انواع گونه‌های گیاهی موجود در تالاب‌ها به خصوص از حیث مسائل هیدرولیکی بسیار حائز اهمیت است. از همین رو، تعیین مقدار دقیق پارامتر سرعت در تالاب‌ها، از حساسیت بیشتری برخوردار است. در این پژوهش، به بررسی و تحلیل توزیع سرعت جریان با حضور پوشش گیاهی *Eleocharis* پرداخته شد. به این صورت که از یک کانال با مقطع مستطیلی با پوششی از این گونه

بر اساس رابطه اصلاح شده (۹)، مقادیر سرعت در جدول ۱، مجدداً محاسبه و اصلاح شد که نتایج حاصل از آن را می‌توان در نمودار شکل ۹ مشاهده کرد. همان‌گونه که نمودار اصلاح شده زیر نشان می‌دهد، ضریب تعیین برای مقادیر پیش‌بینی شده از این رابطه نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی مقادیر قابل قبولی را نشان می‌دهد ( $R^2=0/8894$ ) که این نشان از دقت خوب این رابطه دارد. بنابراین، می‌توان گفت که استفاده از رابطه اصلاح شده (۹) برای تعیین سرعت متوسط جریان صرفاً برای گونه گیاهی *Eleocharis* و سایر گونه‌های مشابه (از لحاظ ساختاری)، کارایی داشته و نتایج آن قابل اعتماد است و باید خاطر نشان کرد که رابطه فوق صرفاً برای حالت غیرمستغرق بودن پوشش گیاهی کاربرد داشته و برای

گیاهی بر توزیع سرعت جریان نیز نتایج نشان داد که با افزایش تراکم پوشش گیاهی، در ناحیه بالادست، کاهش سرعت جریان به‌طور میانگین ۱۲ و ۴/۵ درصد به‌ترتیب برای تغییر تراکم از ۲۳ به ۴۲ و از ۴۲ به ۷۲ اتفاق افتاد و همچنین، در ناحیه پایین‌دست، کاهش میانگین ۱۱ درصد برای افزایش تراکم از ۲۳ به ۴۲ و چهار درصد برای افزایش تراکم از ۴۲ به ۷۲ حاصل شد.

گیاهی در تراکم‌های مختلف کم (۲۳)، متوسط (۴۲) و زیاد (۷۲) استفاده شد. ارزیابی پروفیل‌های سرعت نشان داد که در نواحی بالادست، مقدار سرعت متوسط جریان دچار کاهش می‌شود. اما در نواحی پایین‌دست پوشش گیاهی، همواره افزایش مقادیر سرعت جریان نسبت به قبل از ناحیه پوشش گیاهی مشاهده شد که این افزایش مقدار به‌طور میانگین حدود شش الی ۱۴ درصد را نشان می‌دهد. در بررسی تأثیر تراکم پوشش



شکل ۹- مقایسه سرعت متوسط جریان محاسبه شده از رابطه اصلاح شده با داده‌های آزمایشگاهی تحقیق

نتایج رضایت‌بخش نبود ( $R^2=0/1805$ ). از این‌رو، برای نوع پوشش گیاهی طبیعی *Eleocharis*، ضریب اصلاحیه‌ای استخراج و در رابطه سرعت اضافه شد و در نهایت، رابطه اصلاح شده‌ای ارائه شد که با مقایسه قرار دادن مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده با این رابطه، مشخص شد که با استفاده از رابطه اصلاح شده مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) از  $0/1805$  (رابطه ۴) به  $0/8894$  افزایش پیدا خواهد کرد که این نشان‌دهنده دقت قابل قبول رابطه اصلاح‌شده در این پژوهش است.

با توجه به متفاوت بودن ساختار پوشش‌های گیاهی استفاده از یک رابطه کلی برای تعیین سرعت متوسط جریان خیلی منطقی به نظر نمی‌رسید، از این‌رو، در پژوهش حاضر به مقایسه رابطه سرعت متوسط جریان برای پوشش‌های گیاهی از نوع استوانه‌ای مصنوعی و نوع پوشش گیاهی طبیعی *Eleocharis* پرداخته شد. با مورد بررسی قرار دادن ضریب تعیین برای هر دو نوع پوشش گیاهی، نتایج نشان داد که برای نوع استوانه‌ای مصنوعی رابطه سرعت نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد ( $R^2=0/9081$ )، در حالی‌که برای نوع گیاه طبیعی

#### منابع مورد استفاده

1. Afzalimehr, H., R. Moghbel, J. Gallichand and S.U.I. Jueyi. 2011. Investigation of turbulence characteristics in channel with dense vegetation. *International Journal of Sediment Research*, 26(3): 269-282.
2. Afzalimehr, H. and P. Setayesh. 2018. Investigation on logarithmic and coles laws under different emergent vegetation patches. *Journal of Hydraulics*, 13(1): 47-62.

3. Chakraborty, P. and A. Sarkar. 2018. Simulation of flow characteristics through emerged rigid vegetation over a perturbed bed. In *Free Surface Flows and Transport Processes* (pp. 155-165). Springer, Cham.
4. Choi, S.U. and H. Kang. 2006. Numerical investigations of mean flow and turbulence structures of partly-vegetated open-channel flows using the Reynolds stress model. *Journal of Hydraulic Research*, 44(2): 203-217
5. Dijkstra, J.T. and R.E. Uittenbogaard. 2010. Modeling the interaction between flow and highly flexible aquatic vegetation. *Water Resources Research*, 46(12): 12-29.
6. Drikvandi, Kh., M. Fathi Moghadam, M. Masjedi and M. Bina. 2012. Investigating the effect of density and flexibility of vegetation on roughness coefficients on river banks and floodplains in non-submerged conditions. *Water Resources Research*, 8(2): 24-49 (in Persian).
7. Dupuis, V., S. Proust, C. Berni and A. Paquier. 2016. Combined effects of bed friction and emergent cylinder drag in open channel flow. *Environmental Fluid Mechanics*, 16(6): 1173-1193.
8. Fischer-Antze, T., T. Stoesser, P. Bates and N.R.B. Olsen. 2001. 3D numerical modelling of open-channel flow with submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Research*, 39(3): 303-310.
9. Huai, W.X., Z.B. Chen, H.A.N. Jie, L.X. Zhang and Y.H. Zeng. 2009. Mathematical model for the flow with submerged and emerged rigid vegetation. *Journal of Hydrodynamics*, 21(5): 722-729.
10. Huai, W.X., Y.H. Zeng, Z.G. Xu and Z.H. Yang. 2009. Three-layer model for vertical velocity distribution in open channel flow with submerged rigid vegetation. *Advances in Water Resources*, 32(4): 487-492.
11. Ikeda, S., T. Yamada and Y. Toda. 2001. Numerical study on turbulent flow and honami in and above flexible plant canopy. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 22(3): 252-258.
12. Jing, H.F., Y.J. Cai, W.H. Wang, Y.K. Guo, C.G. Li and Y.C. Bai. 2020. Investigation of open channel flow with unsubmerged rigid vegetation by the lattice Boltzmann method. *Journal of Hydrodynamics*, 32(4): 771-783.
13. Kouwen, N. and M. Fathi Moghadam. 1997. Nonrigid, nonsubmerged, vegetative roughness on floodplains. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(1): 51-57.
14. Li, W.Q., D. Wang, J.L. Jiao and K.J. Yang. 2018. Effects of vegetation patch density on flow velocity characteristics in an open channel. *Journal of Hydrodynamics*, 31(5): 1052-1059.
15. Sajedi Sabegh, M., M. Saneie, M. Habibi, A. Abbasi and M. Ghadimkhani. 2011. Experimental investigation on the effect of river bank tree planting array, on shear velocity. *Watershed Engineering and Management*, 2(4): 206-210 (in Persian).
16. Wang, W., W.X. Huai and M. Gao. 2014. Numerical investigation of flow through vegetated multi-stage compound channel. *Journal of Hydrodynamics*, 26(3): 467-473.
17. Wu, F.C., H.W. Shen and Y.J. Chou. 1999. Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9): 934-942.
18. Yang, W. and S.U. Choi. 2009. Impact of stem flexibility on mean flow and turbulence structure in depth-limited open channel flows with submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Research*, 47(4): 445-454.
19. Xia, J. and L. Nehal. 2013. Hydraulic features of flow through emergent bending aquatic vegetation in the riparian zone. *Water*, 5(4): 2080-2093.
20. Yang, Z.H., F.P. Bai, W.X. Huai and C.G. Li. 2018. Lattice Boltzmann method for simulating flows in open-channel with partial emergent rigid vegetation cover. *Journal of Hydrodynamics*, 31(4): 717-724.
21. Zhang, M., C.W. Li and Y. Shen. 2013. Depth-averaged modeling of free surface flows in open channels with emerged and submerged vegetation. *Applied Mathematical Modelling*, 37(1-2): 540-553.

## **Analysis of flow velocity distribution in vegetation channels with different densities**

**Mohammad javad rezaei<sup>\*1</sup> and Reza mohammadpoor<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> PhD, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran and <sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, Iran

### **Abstract**

Predicting and analysing flow in the vegetated channel and wetland is the main challenging environmental and hydraulic problem. It is due to the high dependency of the hydraulic properties of the flow to the physical structure, density, and distribution of vegetation in wetlands and channels. In this study, velocity profiles are investigated in emergent vegetated channels with considering density effect. The experiments were performed in a laboratory flume with vegetation called *Eleocharis* and three different types of densities. This study aims to provide a comprehensive analysis of velocity profiles in emergent vegetated channels in the presence of real plant species and to provide a more accurate relationship. Therefore, studies were performed in a laboratory flume with a rectangular cross-section 20 meters long and 1.5 meters wide with a fixed floor slope of 0.005, in which a type of vegetation called *Eleocharis* was used in three types of low, medium, and high density. The results showed that the velocity in the upstream areas is the lowest which on average shows an average velocity in the upstream compared to the downstream for different densities of about 4 to 12 percent. Meanwhile, the average velocity decreases by increasing the plant density from 23 to 42 and from 42 to 72 about 12 and 4.5 percent in the upstream and about 11 and 4 percent in the downstream, respectively. Also, to estimate the average flow velocity in the

vegetation area, a modified relationship was presented which has acceptable accuracy. The application and accuracy of this relationship in artificial wetlands and channels are important to eliminate runoff pollution and sedimentation.

**Keywords:** Eleocharis, Vegetated channel, Vegetation density, Velocity distribution, Wetland