

# Investigation of Hydraulic Changes in Flow in Meander Compound Channel with Flexible Submerged Vegetation


Hamed Shahsavari<sup>1</sup>, Saeed Reza Khodashenas<sup>2\*</sup>, Kazem Esmaili<sup>3</sup>

1- PhD Student, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Associate Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\* [khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

Received: 13 September 2021, Accepted: 4 November 2021  J. Hydraul. Homepage: [www.jhyd.iha.ir](http://www.jhyd.iha.ir)

## Abstract

**Introduction:** Estimating hydraulic characteristics in the channels and floodplains, in the case of vegetation is too difficult. Individual factors and their effects can be determined with acceptable accuracy, such as for a meandering channel with the presence of vegetation. In view of the need for further research on overbank flow in a meandering channel with the presence of vegetation, this work will be carried out to fill the gaps to provide the required information. The key purposes of the present research are to enhance our knowledge of the flow resistance caused by vegetation and to report the results of laboratory investigations into the physical processes involved in the flow structure as well as to understand the flow characteristics and flow mechanisms in compound meandering channel with different arrangements of non-vegetated and vegetated floodplains. This study is focused on the influence of vegetation on overbank flow characteristics. In this research, the effect of submerged flexible artificial vegetation in the floodplain on two relative depths of 0.35 and 0.55 has been studied in the laboratory.

**Methodology:** All the experiments reported here were conducted in one flume at the Ferdowsi University of Mashhad. The flume is built on a number of rigid steel structures to support its weight, achieve maximum stability and maintain its longitudinal gradient. It was constructed include to tanks, sumps and pipeworks. Both sidewalls of the flume built were using glass to ease visibility during the setting-up of the instruments used.

The experimental research was carried out in a non-mobile bed meandering channel constructed in a 10 m long and 0.78 m wide flume which included the main channel and two floodplains on its sides. The channel wavelength and meander belt width were one meter and 0.58 m, respectively with the sinuosity of 1.3. The geometrical parameters for the main channel were: width,  $B_{mc}=0.2$  m and depth,  $H_{mc}=0.1$  m. Artificial grass with an average height of 2.5 cm are used to simulate the emergent floodplain vegetation. A movable weir located at downstream of flume controlled water level. Velocity data were extracted and analyzed using Acoustic Doppler Velocimetry. The minimum recording time for each point velocity was 60s. ADV measures the 3D velocities of water particles located 5 cm below its probe. The measurement sections located 6 m downstream of channel inlet, with the names of S1 to S5.

**Results and discussion:** The results showed that the presence of flexible vegetation in the

floodplain for a constant relative depth has reduced the flow capacity. The pattern of the contour lines of the longitudinal velocity in the main channel in the presence of vegetation changes at both relative flow depths relative to the uncovered state. By examining the velocity contour lines in the presence of vegetation, the core of the maximum velocity in the main channel is increased. Also, the longitudinal velocity above the submerged vegetation has been significantly increased. The values in the transverse and vertical velocity components in floodplains with vegetation are much higher than in uncovered conditions. The directional secondary vectors of the flow in section S1 indicate a counter-clockwise flow and in section S3 indicate a round clock flow in the main channel. The presence of vegetation disturbed the secondary flow pattern, and larger vectors were observed at the junction of the two channels in the presence of vegetation. It seems that the presence of vegetation, as observed during the experiments, has changed the patterns and directions of vectors on the floodplain. These changes are also observed at the relative depth of 0.35. Although the capacity of covered flow is less than the uncovered one, flow velocities in and around the main channel seem to be close to those measured in uncovered channel. This indicates the high impact of floodplain vegetation on the hydraulics of the flow in the compound meandering channels. So that, the presence of vegetation has increased the transmission flow of the main canal compared to the simple state. So that if you calculate the average of sections, the rate of flow through the main channel compared to the total flow of compound meandering channel for relative depth of 0.35 and 0.55 is equal to 54 and 36%, which shows a 19% and 6% increase compared to the control mode of transmission through the main channel, respectively.

**Conclusion:** In this study, using a laboratory model, the effect of submerged flexible artificial vegetation on the floodplain of a compound meandering channel was investigated. The following is a summary of the results of this study:

- The presence of vegetation reduced the water transfer capacity, due to the increased resistance to flow.
- The average longitudinal velocity of the flow in the floodplains of the uncovered state is higher than in the case with the cover.
- Although, flow velocity in and around the main channel is quite close to those measured in the simple channel which indicates the diversion of flow to the main channel.

**Keywords:** Compound Channel, Floodplain, Flow Characteristics, Meander Channel, Submerged Flexible Vegetation



© 2022 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.  
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

# بررسی تغییرات هیدرولیک جریان در آبراهه مرکب پیچانی با پوشش گیاهی انعطاف پذیر مستغرق

حامد شهسواری<sup>۱</sup>، سعیدرضا خداشناس<sup>۲\*</sup>، کاظم اسماعیلی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

\* [khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۲، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۳، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: [www.jhyd.iha.ir](http://www.jhyd.iha.ir)

**چکیده:** طراحی و مدیریت مؤثر سیستم‌های رودخانه‌ای همراه با پوشش گیاهی نیاز به درک عمیق و شناخت از مکانیک جریان حاکم بر آن‌ها را دارد. در مطالعه حاضر به بررسی آزمایشگاهی تأثیر پوشش گیاهی منعطف مستغرق در سیلاب‌دشت بر شرایط جریان و نقش آن در کانال‌های مرکب پیچان‌رود در دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ پرداخته شده است. داده‌های سرعت با استفاده از سرعت‌سنج صوتی داپلر برداشت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد، حضور پوشش گیاهی ظرفیت انتقال توسط کانال مرکب را به دلیل افزایش مقاومت در برابر جریان کاهش داده است. همچنین وجود پوشش گیاهی باعث افزایش دبی انتقالی کانال اصلی نسبت به حالت ساده شده است. به طوری که اگر میانگین همه مقاطع را حساب کرد، میزان دبی عبوری از کانال اصلی نسبت به دبی کل برای عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ به ترتیب برابر با ۵۴ و ۳۶ درصد است که نسبت به حالت شاهد انتقال از طریق کانال اصلی به ترتیب ۱۹ و ۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد. با بررسی خطوط هم سرعت در صورت وجود پوشش گیاهی هسته سرعت ماکزیمم در کانال اصلی افزایش یافته است. بعلاوه پوشش گیاهی موجب برهم خوردن الگوی جریانات ثانویه شد، و بردارهایی با اندازه بزرگ‌تر در خط اتصال دو کانال با حضور پوشش‌های گیاهی مشاهده گردید.

**کلیدواژه:** پیچان‌رود، سیلاب‌دشت، مشخصات جریان، پوشش منعطف مستغرق، کانال مرکب.

## ۱- مقدمه

اختلاف قابل توجه سرعت جریان و نیز باعث ایجاد لایه‌های برشی در محل اتصال جریان در مقطع اصلی و سیلاب‌دشت می‌شود و آشفتگی‌های به نسبت بزرگی را در مرز اتصال ایجاد می‌کند. مسیر جریان در یک آبراهه پیچان به طور پیوسته تغییر می‌کند به همین علت، اتلاف انرژی در طول پیچان‌رود یکنواخت نیست. حرکت در آبراهه‌های متاندر شامل دو جزء طولی در مسیر جریان که تا حدودی یکنواخت و متغیر تدریجی می‌باشد و جزء عرضی که در طول موج متاندر به شدت تغییر می‌کند، می‌باشد. پراکنش سرعت در جهت طولی و جانبی یکی از مهم‌ترین جنبه‌های جریان در این آبراهه‌ها می‌باشد (Lien et al., 1999).

همه‌ی رودخانه‌ها در معرض تغییر و تحول قرار دارند و عملیات مهندسی رودخانه به منظور کنترل اثرگذاری‌های زیانبار جریان‌ها به موازات کاهش اثرگذاری‌های زیست‌محیطی مورد نیاز می‌باشد. رودخانه‌ها در هنگام سیلاب‌های شدید به شکل مقطع مرکب عمل می‌کنند به طوری که در هنگام سیل، آب از مقطع اصلی رودخانه لبریز شده و وارد سیلاب‌دشت‌ها می‌شود. سیلاب‌دشت‌ها به واسطه نزدیکی به ساحل رودخانه و نیز داشتن عرض زیاد و خاک حاصلخیز همواره از جنبه‌های مختلف مورد توجه بوده‌اند. هندسه خاص مقطع مرکب همراه با اختلاف قابل توجه زبری آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت‌ها منجر به

که در آبراهه اصلی، هر دو تنش رینولدز و جریان‌های ثانویه به شتاب انتقال مومنتوم کمک می‌کند. Pan et al. (2019) ویژگی‌های پراکنش سرعت در آبراهه‌های پیچان‌رودی با سیلاب‌دشت‌های پوشش شده یک‌طرفه را بررسی کردند. در مقایسه شرایط سیلاب‌دشت صاف، با شرایط سیلاب‌دشت پوشش گیاهی یک‌طرفه به این نتیجه رسیدند که در نزدیکی رأس‌های خمشی با کمترین امتداد دشت‌های با پوشش گیاهی سرعت میانگین سطح مقطع و همچنین نسبت‌های دبی آبراهه اصلی به دبی کل کمتر می‌باشد. اما در نزدیکی رأس‌های خمشی با حداکثر امتداد دشت‌های با پوشش گیاهی نسبت‌های بالاتری را نسبت به حالت بدون پوشش به خود گرفته است. Shahsavari et al. (2020a) با بررسی بر روی آبراهه مرکب مارپیچ در عمق‌های نسبی مختلف بیان کردند که در شرایط سیلابی هسته پرسرعت جریان به علت وجود نیروی گریز از مرکز در آبراهه پیچان‌رود به سمت دیواره‌های داخلی متمایل است و با افزایش عمق آب سرعت‌های بیشینه‌ای به سیلاب‌دشت منتقل می‌شوند. همچنین با بررسی سرعت طولی شدت اندرکنش جریان در عمق نسبی  $0/35$  بین سیلاب‌دشت و آبراهه اصلی بیشتر از حالت  $0/55$  می‌باشد. آنان در بررسی دیگر با وجود پوشش گیاهی غیر منقطع در سیلاب‌دشت‌های آبراهه مرکب پیچانی بیان کردند که وجود پوشش گیاهی در مقطع موجود در خم برای عمق‌های نسبی  $0/35$  و  $0/55$ ، باعث کاهش اندازه و مقادیر بردارهای ثانویه سرعت در آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت شده است. افزون بر این وجود پوشش غیر منقطع در سیلاب‌دشت موجب تغییر در الگوها و جهت بردارها شده است و به‌طور مشخص وجود پوشش گیاهی در عمق نسبی  $0/35$  موجب انتقال جریان از سیلاب‌دشت راست به سیلاب‌دشت چپ شده است (Shahsavari et al., 2020b). Farshi et al. (2021) پراکنش تنش برشی مرزی در آبراهه‌های باز مرکب منحنی شکل را با توسعه روش‌های تحلیلی بررسی کردند. مدل‌های آزمایشی آن‌ها دارای آبراهه‌های اصلی ذوزنقه‌ای و مستطیلی شکل با دو مسیر منحنی و مستقیم هستند. آن‌ها نشان دادند که نتایج به‌جز در خط اتصال آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت‌ها قابل قبول

وجود پوشش گیاهی در دشت‌های سیلابی، پیچیدگی تحلیل جریان در آبراهه مرکب را افزایش می‌دهد. به‌منظور رسیدن هم‌زمان به محافظت در برابر سیلاب و نیازهای محیطی، آگاهی بهتر از هیدرولیک جریان در آبراهه‌های مرکب با پوشش گیاهی لازم است. بنابراین در ادامه چندین بررسی مرتبط با موضوع‌های مطرح شده، بیان شده است.

Patra et al. (2004) در بررسی خود ویژگی‌های توزیع سرعت‌های میانگین عمقی در آبراهه‌های پیچان‌رودی را مورد بررسی و دریافتند که الگوهای توزیع پیش و پس از تبادل جریان بین دشت‌های رودخانه و آبراهه اصلی به‌طور شایان توجهی با یکدیگر متفاوت هستند. Shiono et al. (2009) با استفاده از داده‌های برداشت‌شده توسط یک LDA و همچنین نورنگارسنجی، اثرگذاری‌های زبری‌های سیلاب‌دشت روی جریان آبراهه اصلی و شکل‌های بستر در آبراهه مرکب مارپیچ را بررسی کردند. با تجزیه و تحلیل نتایج، جریان‌های ثانویه زیادی در طول آبراهه مارپیچ در عمق‌های عمیق‌تر آب با افزایش زبری سیلاب‌دشت رخ می‌دهد و این جریان‌ها موجب به وجود آمدن موج‌هایی در شکل بستر در آبراهه مارپیچ می‌شود. Liu et al. (2013) به بررسی ویژگی‌های جریان ثانویه در یک آبراهه مرکب با انواع پوشش گیاهی روی سیلاب‌دشت پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که برای حالت بدون پوشش و حالت چمن‌زار جهت چرخش جریان‌های ثانویه در کل مقطع آبراهه مرکب پادساعت‌گرد می‌باشد. برای حالت استفاده شده از پر پرند به‌عنوان پوشش بوته‌زار جهت چرخش جریان‌ها همگی به ساعت‌گرد تغییر جهت می‌دهند. برای پوشش درختی در آبراهه اصلی جهت پادساعت‌گرد و در سیلاب‌دشت‌ها جهت ساعت‌گرد است. Dupuis al. (2017) et با استفاده از دو نوع زبری، چمنزار مستغرق و عنصرهای تراکم ناپذیر (سیلندر) در سیلاب‌دشت‌های یک آبراهه مرکب به این نتیجه رسیدند که اثرگذاری‌های عمق کم آب باعث جلوگیری از همخوانی میزان‌های جانبی سرعت و آشفتگی در ارتفاع‌های مختلف می‌شود. در فصل مشترک آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت، مبادله مومنتوم توسط تنش‌های رینولدز مهار شد. در نهایت نتیجه گرفتند

## ۲-۱- ویژگی‌های مدل آزمایشگاهی

در این پژوهش از یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر و عرض و ارتفاع به ترتیب ۷۸ و ۵۰ سانتی‌متر واقع در دانشگاه فردوسی مشهد بهره گرفته شد. جدارها و کف فلوم از جنس شیشه شفاف و در همه آزمایش‌ها شیب آن ثابت و برابر  $0/003$  انتخاب گردید. به منظور بررسی الگوی جریان پیچان‌رود، کانال پیچانی با ضریب ثابت  $1/3$  (نسبت طول آبراهه مارپیچ به طول مستقیم بین دو قله)، دارای قوس با طول موج یک و دامنه عرض ۵۸ سانتی‌متر با توجه به بررسی‌های صورت گرفته توسط محققین، انتخاب و ساخته شد (Hagerman and Williams, 2000)، تصویر و ویژگی‌های آبراهه پیچانی احداث شده در فلوم به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ آورده شده است. به منظور تنظیم عمق جریان و برقراری شرایط آزمایش، از یک سرریز مستطیلی انتهایی استفاده شد. شیب طولی بستر آبراهه اصلی و دشت سیلابی ثابت و برابر شیب فلوم اصلی در نظر گرفته شد. جریان آب مخزن اصلی به کمک یک دستگاه پمپ سانتریفیوژ به درون آبراهه هدایت می‌گردید. دبی هر آزمایش با توجه به نسبت عمقی سیلاب‌دشت به آبراهه اصلی در حین انجام آزمایش‌ها از طریق روش دبی حجمی به دست آمد. در ورودی فلوم از یک صفحه مشبک و همچنین مواد کاهنده انرژی پس از جریان ورودی به آبراهه به منظور از بین بردن آشفتگی و امواج اضافی، استفاده شد. سپس آب خارج شده از آبراهه، وارد مخزن پایین دست و در نهایت به مخزن خروجی هدایت شد.

است و بیان کردند به طور کلی، نتایج کلی رضایت بخش بوده و از مدل تحلیلی مطرح شده می‌توان برای پیش‌بینی تنش برشی مرزی در آبراهه‌های ساده و مرکب استفاده کرد. اهمیت آبراهه‌های مرکب به صورت مستقیم و پیچان‌رود در سال‌های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. همچنین به دلیل وجود پوشش گیاهی در درون سیلاب‌دشت‌ها بررسی هر چه بیشتر پوشش گیاهی در سیلاب‌دشت‌ها دارای ضرورت خاصی است. بیشتر بررسی‌های با پوشش پیرامون آبراهه‌های مرکب ساده به دو شکل آزمایشگاهی و عددی بوده است، هدف از این تحقیق، بررسی آزمایشگاهی پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر مستغرق در سیلاب‌دشت‌های دوطرفه در آبراهه پیچان‌رود می‌باشد. تا تفاوت‌های به وجود آمده از پوشش گیاهی بر مشخصات جریان پیش‌آمده در آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت‌ها و نقش آن‌ها در حفاظت از سیلاب‌دشت مشخص شود. این تحقیق در پیچان‌رودی با طول موج واحد انجام گرفت که در بررسی‌های گذشته گزارش نشده است. با توجه به اینکه رودخانه‌های طبیعی اغلب دارای دبی‌های متغیر و در نتیجه نسبت‌های عمقی متفاوتی هستند، در این پژوهش آزمایش‌ها در دو نسبت عمقی متفاوت و در نتیجه دبی‌های متفاوت انجام شد تا میزان تغییرپذیرهای به وجود آمده در این شرایط در آبراهه‌های مارپیچ مرکب نیز بررسی و ارزیابی شود.

## ۲- مواد و روش‌ها

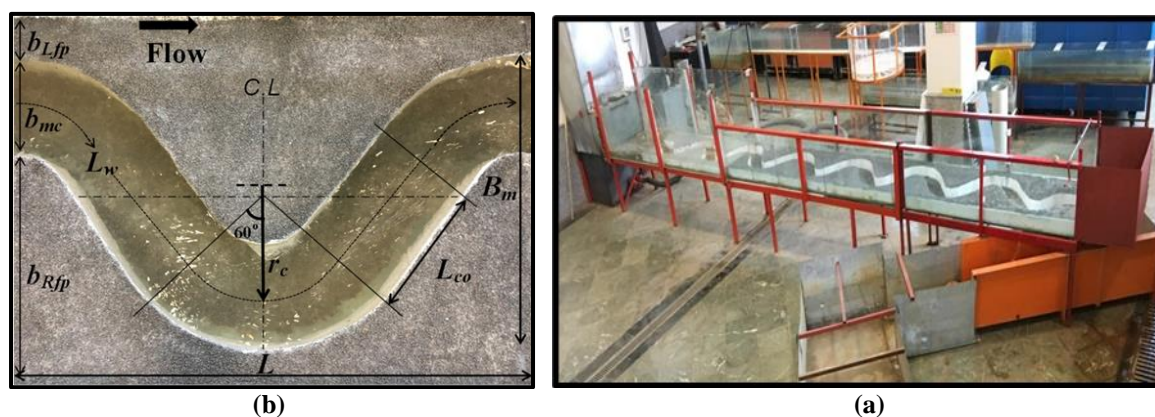


Fig. 1 Meandering channel prepared for experiments (a) The main flume (b) A plan of a meander wavelength  
 شکل ۱ آبراهه پیچان‌رود آماده شده برای انجام آزمایش‌ها (a) فلوم اصلی (b) پلان یک طول موج پیچان‌رود

جدول ۱ شرایط آزمایشگاهی و ویژگی‌های آبراهه مورد استفاده در این بررسی

Table 1 The channel characteristics and experimental conditions in this study

Total width (m)	Main channel width (m)	Meander belt width (m)	Side slope $S_0$	Cross-over length (m)	Wave length (m)	Radius of curvature (m)	Sinuosity	Valley slope
0.78	0.20	0.58	90°	0.26	1	0.21	1.29	0.003
Series name	Relative depth (Dr)	Bed mobility	Sediment size $D_{50}$ (mm)		Roughness element			
Smooth floodplains (SF)	0.35				Smooth			
Smooth floodplains (SF)	0.55							
Grasses of floodplains (GF)	0.35	Non-mobility	1		Model grass			
Grasses of floodplains (GF)	0.55							

مشاهده باشند.

همچنین در بررسی محققانی مانند Shiono et al. (2009), Liu et al. (2016), Pan et al. (2019) و Moreta and Martín-Vide (2020) ارتفاع میانگین چمن به ترتیب برابر ۰.۸، ۰.۴، ۲/۵ و ۱۰ سانتی‌متر گزارش شده است. اگر نسبت بدون بعد ارتفاع گیاه مستغرق منعطف به عرض آبراهه اصلی هر کدام را محاسبه شود بترتیب برابر با ۰/۰۲، ۰/۰۶، ۰/۱۵ و ۰/۲۵ خواهد بود که این نسبت در این بررسی ۰/۲ گزینش شده است.



Fig. 2 Vegetation after placement in the canal

شکل ۲ پوشش گیاهی پس از قرارگیری در آبراهه

آزمایش‌ها در هر حالت ساده، و با پوشش گیاهی مستغرق، با در نظر گرفتن دو عمق نسبی (نسبت عمق جریان در سیلاب‌دشت به عمق جریان در آبراهه اصلی) برابر ۰/۳۵ و ۰/۵۵ انجام شد. داده‌برداری‌ها در پنج مقطع عرضی برابر شکل ۳ در مقطع عرضی پیچان‌رود انجام شد. برای برداشت سرعت جریان، دست‌کم نه رخ‌نمای سرعت در آبراهه اصلی و نوزده رخ‌نما در مجموع برای هر دو سیلاب‌دشت راست و چپ برداشت شد بنابراین شمار رخ-

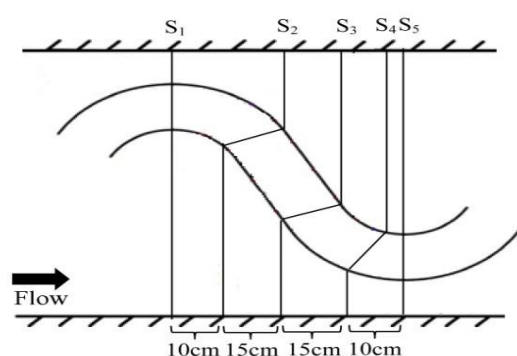
## ۲-۲- شرایط پوشش و اندازه‌گیری داده‌ها

برای یکنواخت شدن سطح و جنس کف آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت‌ها لایه‌ای نازک از ذرات رودخانه‌ای گرد گوشه با چگالی نسبی ۲/۶۵ و قطر میانگین یک میلی‌متر چسبانده شد. سرعت‌های لحظه‌ای توسط دستگاه سرعت‌سنج سه بعدی صوتی داپلر (ADV<sup>۱</sup>) با فرکانس ۲۵ هرتز برداشت شد. این سرعت‌سنج از نوع حسگر رو به پایین (پایین‌نگر) بود به طوری که توانایی برداشت داده در ۵ سانتی‌متری سطح آب را نداشت اما از این عمق تا ۲ میلی‌متری بالای کف بستر داده‌های سرعت اندازه‌گیری شد. داده‌های خام برداشت شده توسط دستگاه ADV در آغاز به روش فیلتر فازی فیلتر شدند و پس از حذف داده‌های نامطلوب مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند (Shahsavari et al., 2020b). پس از آزمایش‌های آبراهه پیچان‌رود ساده در آزمایش‌های بعدی به‌منظور تأثیر پوشش گیاهی بر ساختار جریان و آشفتگی، از یک پوشش چمن مصنوعی با ارتفاع میانگین ۲ سانتی‌متر به‌عنوان پوشش گیاهی انعطاف‌پذیر در سیلاب‌دشت به‌صورت مستغرق استفاده شد (شکل ۲). دلیل گزینش این پوشش با توجه به دامنه مشاهده شده در طبیعت در زمینه اندازه‌های متفاوت پوشش‌های گیاهی به ویژه در سیلاب‌دشت‌ها که به صورت منعطف هستند مانند چمنزارها، بوته‌زارها و غیره از یک سو و از سوی دیگر با توجه به اینکه یکی از هدف‌های مهم تحقیق تشخیص ویژگی‌های جریان و تفاوت حالت بدون پوشش و با پوشش بود اندازه پوشش به نوعی گزینش شد که این تغییرپذیری‌ها مشخص و قابل

1 Acoustic Doppler Velocimeter

رخ‌نماها افزایش یا کاهش یابد. همچنین در هر رخ‌نما شمار نقطه‌های برداشت شده بسته به عمق جریان متغیر بود و فاصله نقطه‌های برداشت شده از ۲ سانتی‌متر در عمق‌های بالاتر جریان تا ۲ میلی‌متر در نزدیکی بستر تغییر می‌کرد. برابر جدول ۲ پنج مجموعه آزمایش در شرایط متفاوت انجام شد و ویژگی‌های هر کدام از آزمایش‌ها ارائه شده است.

نماها در یک مقطع جریان برابر ۲۸ بود. فاصله بین رخ‌نماها در نقطه‌های نزدیک به خط اتصال آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت و دیواره شیشه‌ای فلوم یک سانتی‌متر و در درون آبراهه اصلی سه سانتی‌متر و در سیلاب‌دشت ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. یادآوری این نکته دارای اهمیت است، که با توجه به پیچانی بودن آبراهه برای برداشت داده‌ها در مقطع‌های مختلف ممکن است شمار



(b)



(a)

Fig. 3 Indication of (a) Placement of the ADV on the chanal (b) Sections specified for data collection by the ADV

شکل ۳ نمایی از (a) قرارگیری دستگاه ADV روی آبراهه (b) مقطع‌های مشخص شده برای برداشت داده توسط دستگاه ADV

جدول ۲ شرایط جریان در عمق‌های نسبی مختلف در آزمایش‌ها

Table 2 Flow conditions at different relative depths in experiments

Test number	Type of cover	Relative depth (Dr)	Water depth in the main channel (m)	Water depth in flood plains (m)	Discharge(m <sup>3</sup> /s)
1	Plain	0	0.100	-	0.007
2	Plain	0.35	0.155	0.055	0.026
3	Plain	0.55	0.220	0.120	0.034
4	Grass	0.35	0.155	0.055	0.014
5	Grass	0.55	0.220	0.120	0.029

گردید و در فایل ورودی مختصات شمار شایان توجهی نقطه روی دیواره‌های آبراهه وارد شد و سرعت متناظر با آن‌ها برابر صفر قرار داده شد. در این حالت نرم افزار درون‌یابی بهتری و مبتنی بر فیزیک مسئله ارائه خواهد داد.

### ۳-۲- تحلیل ابعادی

پیش از انجام آزمایش‌ها در آغاز به واسطه تحلیل ابعادی، فراسنجه‌های مهم در پدیده تغییرپذیری‌های دبی جریان در آبراهه مرکب پیچان‌رود بررسی شد. در این تحقیق

به‌منظور عدم تأثیرگذاری شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست بر ویژگی‌های جریان در محل اندازه‌گیری، اندازه‌گیری ویژگی‌های جریان و داده‌های سرعت باید در محدوده  $\frac{2}{3}L$  از ابتدای فلوم انجام گیرد (Tominaga et al., 1989)، که  $L$  طول فلوم و برابر با ۸ متر سودمند است. از این‌رو، اندازه‌گیری داده‌ها در فاصله حدود ۶ متری از ابتدای فلوم صورت گرفت. عمق آب با استفاده از عمق‌سنج سوزنی با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در ادامه از نرم افزار سرفر<sup>۱</sup> برای رسم خطوط هم سرعت استفاده

1 Surfer

حالت‌های ساده و با پوشش انعطاف‌پذیر مستغرق را که به روش حجمی اندازه‌گیری شده است، نشان می‌دهد. از نمودارها به روشنی مشاهده می‌شود در درون آبراهه اصلی دبی جریان تا حدودی به صورت خطی با عمق جریان افزایش می‌یابد. همچنین، یک شکستگی و انحراف در منحنی‌ها به محض ورود جریان به سیلاب‌دشت دیده می‌شود که این حالت در آبراهه بدون پوشش بیشتر است. دلیل این پدیده سرعت کم جریان در سیلاب‌دشت‌ها نسبت به سرعت جریان در آبراهه اصلی می‌باشد، این اختلاف سرعت بین آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت و سطح مقطع به وجود آمده سبب به وجود آمدن این وقفه در انتقال دبی به محض ورود جریان به سیلاب‌دشت شده است، که با نتایج (Shiono et al. (2009 همخوانی دارد. روند همانندی بین داده‌های تجربی این بررسی و دو بررسی دیگر، (Shiono et al. (2009 و (pan et al. (2009 وجود دارد. نکته شایان توجه حضور پوشش گیاهی کاهش ظرفیت انتقال توسط آبراهه به دلیل افزایش مقاومت در برابر جریان است. بنابراین، مورد بدون پوشش در انتقال آب کارآمدتر از مورد پوشش‌دار گزارش می‌شود.

ضریب زبری مانینگ به‌طور معمول مقاومت جریان در آبراهه‌های روباز را نشان می‌دهد. محاسبه ضریب مانینگ برای آبراهه پیچان‌رود مرکب برای هر دبی از طریق شکل کلی معادله مانینگ، برابر معادله (۴) برای مقطع  $S_1$  محاسبه شد. در این بررسی به دلیل تمرکز بر بررسی ساختارهای جریان در محاسبه ضریب زبری از روش مقطع واحد ( $SCM^1$ ) که ساده‌ترین حالت به دست آوردن دبی در آبراهه‌های مرکب است استفاده شد. بنابر این روش سطح مقطع و سطح خیس شده به صورت یک مقطع واحد به دست آمد تا در نهایت با توجه به دبی حجمی محاسبه شده ضریب زبری معادل برای مقطع جریان (مقطع  $S_1$ ) به دست آمده و تفاوت‌های موجود در دو نوع پوشش نمایان شود. تغییرات این ضریب برای آبراهه در عمق‌های نسبی متفاوت و مقایسه آن با بررسی‌های Sellin et al. (1993) و (Ibrahim et al. (2016 در شکل ۵ آورده شده است.

روش  $\Pi$  باکینگهام برای تحلیل ابعادی بین متغیرهای موثر به صورت رابطه (۱) مورد استفاده قرار گرفت.

$$\Delta Q = f(u, U_{avg}, \rho, \mu, g, H, h, S, L, B_M, n, \theta) \quad (1)$$

که در این رابطه،  $\Delta Q$  عبارت است از تغییرپذیری‌های دبی،  $u$  سرعت لحظه‌ای،  $U_{avg}$  سرعت میانگین جریان،  $\rho$  جرم مخصوص سیال،  $\mu$  لزجت پویایی (دینامیکی) سیال،  $g$  شتاب ثقل،  $H$  عمق کلی جریان در کانال اصلی،  $h$  عمق جریان در سیلاب‌دشت،  $S$  شیب آبراهه،  $L$  طول موج آبراهه پیچانی،  $B_M$  عرض آبراهه پیچانی،  $n$  ضریب زبری و  $\theta$  زاویه انحراف آبراهه اصلی است.

در رابطه (۲)،  $\rho$  (به عنوان مشخصه سیال)،  $U_{avg}$  (به عنوان مشخصه جریان) و  $H$  (به عنوان مشخصه هندسی) به عنوان متغیرهای تکرارشونده در نظر گرفته شدند. با توجه به وجود ۱۳ متغیر مستقل و وابسته در رابطه (۲)، ۱۰ فراسنجه بدون بعد حاصل، به شرح زیر به دست آمدند:

$$\frac{\Delta Q}{U_{avg} H^2} = f(R_e, F_r, D_r, \frac{u}{U_{avg}}, \frac{L}{H}, \frac{B_M}{H}, S, n, \theta) \quad (2)$$

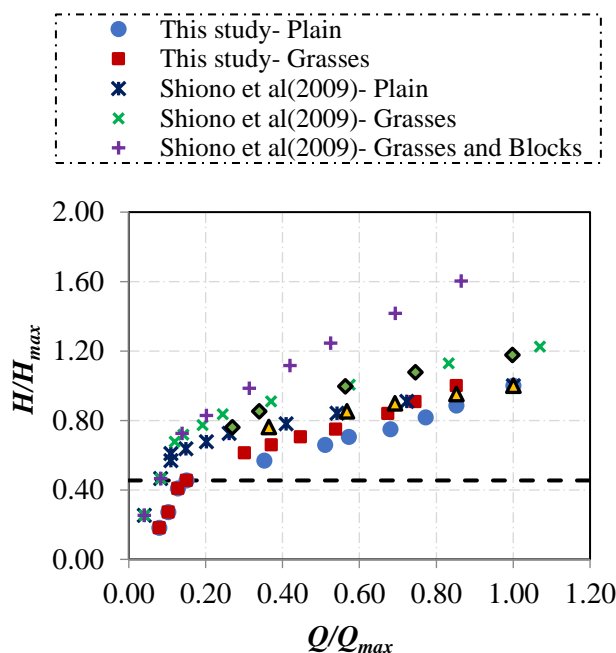
که در آن  $Re$ ،  $Fr$  و  $Dr = h/H$  بترتیب عدد رینولدز، عدد فرود و عمق نسبی جریان می‌باشند. با استفاده از میزان‌های سرعت میانگین در هر مقطع عدد رینولدز جریان محاسبه و بیشتر از  $0.7 \times 10^5$  به دست آمد که نشان از جریان کاملاً آشفته را دارد. همچنین، اعداد فرود در مقطع‌های مختلف همواره کوچک‌تر از یک بود که نشان از جریان زیربحرانی برای آزمایش‌های انجام شده را داشت. بنابراین جریان‌های استفاده شده از نوع جریان‌های زیربحرانی آشفته بودند. به دلیل ثابت بودن شکل پیچان رود و شیب آبراهه فراسنجه‌های مربوط به این اجزاء حذف شدند. در نهایت فراسنجه‌های بی‌بعد موثر به صورت رابطه (۳) به دست آمدند:

$$\frac{\Delta Q}{U_{avg} H^2} = f(D_r, \frac{u}{U_{avg}}, n) \quad (3)$$

### ۳- نتایج و بحث

شکل ۴ روند دبی انتقالی در برابر عمق جریان برای





**Fig. 4** Stage–discharge relationships between smooth and vegetated floodplain cases in the present study with the data of other researchers

شکل ۴ منحنی دبی-اشل حالت ساده و با پوشش سیلابدشت در این بررسی با داده‌های دیگر محققان

بی‌نظمی و شکل آبراهه بستگی دارد. در ادامه و در قسمت ۵(b) تغییرات روند و میزان‌های ضریب  $n$  با توجه به پوشش‌دار شدن سیلابدشت‌ها در این بررسی آورده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رفت وجود پوشش منعطف مستغرق به دلیل اشغال سطح مقطع جریان و تغییرپذیری‌های سرعتی که در عمق نوسان‌های آن در عمق‌های نسبی مختلف شده است. در روند ضریب زبری در مقابل عمق‌های نسبی برای حالت پوشش‌دار کاهش میزان ضریب زبری در عمق‌های نسبی بزرگ‌تر از ۰/۳۵، نشان دهنده‌ی اثرگذاری‌های شایان توجه پوشش گیاهی مستغرق روی سرعت جریان تا این عمق نسبی است. نکته قابل برداشت دیگر از داده‌های Sellin et al. (1993) و Ibrahim et al. (2016) به‌ویژه در حالت ساده و بدون پوشش (SF) آن است که با افزایش عمق آب، میزان‌های  $n$  به یک میزان ثابت نزدیک می‌شوند. این میزان در بررسی حاضر مشخص نشده است، به احتمال زیاد با افزایش عمق جریان هنگامی که رفتار آبراهه مرکب شبیه یک آبراهه واحد شود، این میزان به دست آید.

$$n = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{Q} \quad (4)$$

که در آن  $R$  شعاع هیدرولیکی (m)،  $A$  سطح مقطع عبوری ( $m^2$ )،  $S$  شیب آبراهه،  $Q$  دبی جریان ( $m^3/s$ ) و  $n$  ضریب مانینگ می‌باشد.

در شکل ۵(a) با افزایش عمق نسبی آب میزان  $n$  افزایش می‌یابد تا به مقدار ۰/۰۲۹ رسیده که به نسبت ضریب مانینگ آبراهه اصلی میزان‌های بالاتری دارد. این نشان می‌دهد مرزهای آبراهه اصلی و سیلابدشت، مقاومت جریان را در عمق‌های نسبی بالاتر افزایش داده است، که احتمالاً علت‌های آن وجود جریان‌های ثانویه و کنشی است که در مرز دو آبراهه به وجود می‌آید و همچنین وجود شکل مارپیچ آبراهه در مسیر جریان است. این روند افزون بر بررسی‌های Sellin et al. (1993) در گزارش Ibrahim et al. (2016) نیز نمایان است. دلیل اختلاف موجود با بررسی‌های مورد مقایسه شرایط آزمایشی هر کدام از تحقیق‌ها و به‌ویژه وجود آبراهه‌های مرکب پیچانی با ضریب سینوسی متفاوت می‌باشد. همچنین بنابه گفته Chow (1959)، میزان  $n$  بسیار متغیر است و به چندی از عامل‌ها مانند زبری سطح، پوشش گیاهی، تراز آبراهه و

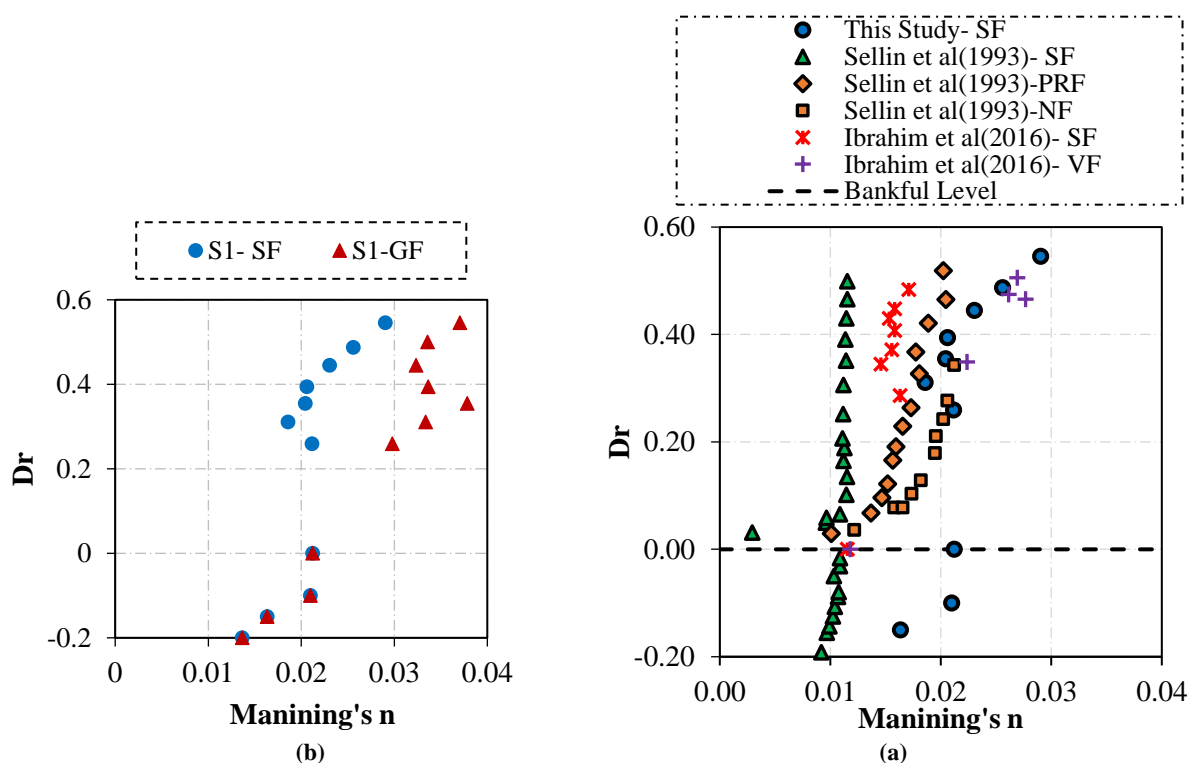


Fig. 5 (a) Variations of Manning's Roughness Coefficient at different relative depths in the present study with other researchers (b) Comparing the trend of manning coefficient of uncovered state with vegetation

شکل ۵ (a) تغییرپذیری‌های ضریب زبری مانینگ در عمق‌های نسبی مختلف در این بررسی با دیگر محققان (b) مقایسه روند ضریب مانینگ حالت بدون پوشش با پوشش گیاهی در مقطع S1

مقطع عرضی به دلیل وجود پیچ‌وخم در مسیر جریان و در پی آن به وجود آمدن گرداب‌های کوچک و بزرگ در مسیر پایین‌دست است، که نشان از آشفتگی و سه‌بعدی بودن جریان در آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت در آبراهه مرکب پیچان‌رودی را دارد. با توجه به هم‌مقیاسی مقاطع‌ها با افزایش عمق نسبی از ۰/۳۵ به ۰/۵۵ میزان‌های سرعت در سیلاب‌دشت‌ها افزایش را نشان می‌دهد. اما میزان‌های سرعت میانگین طولی در مقطع اصلی در هم‌مقیاسی مقاطع‌ها در حالت ۰/۳۵ بیشتر از حالت ۰/۵۵ است. از این‌رو با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نقش آبراهه اصلی در انتقال جریان آب با سرعت بیشتر در عمق نسبی کمتر را برداشت کرد. در حالت بدون پوشش با توجه به مقاطع‌های S<sub>5</sub> و S<sub>1</sub> (به جزء در مقطع S<sub>3</sub> در عمق نسبی ۰/۳۵) مشاهده می‌شود بر روی جریان سیلاب‌دشت و در بیرون از کمر بند متاندر سرعت میانگین طولی روند افزایشی را نشان می‌دهد. همچنین سرعت در منطقه‌های محدب سیلاب‌دشت (منطقه‌های قله-ای شکل) دارای میزان‌های بالایی می‌باشند، James and

در ادامه به بررسی ویژگی‌های جریان هنگامی که تراز آب بالاتر از آبراهه اصلی بوده، پرداخته شده است. افزون بر بیان ویژگی‌های جریان در حالت ساده و بدون پوشش، تفاوت‌های ایجاد شده با وجود پوشش گیاهی آورده شده و در مورد این تفاوت‌ها بحث شد. پراکنش عرضی سرعت میانگین طولی برای مقاطع‌های S<sub>1</sub>، S<sub>3</sub> و S<sub>5</sub> در عمق‌های نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ برای حالت‌های مختلف پوشش، در شکل ۶ آورده شده است. در این شکل‌ها محوره‌های افقی که نشان‌دهنده‌ی عرض آبراهه می‌باشد به عرض کلی فلوم و همچنین محوره‌های قائم با استفاده از سرعت میانگین جریان در مقطع بالادست ( $U_{avg}$ ) در حالت بدون پوشش مربوط به هر عمق نسبی بی-بعد شده است. میزان‌های سرعت میانگین جریان بالادست برای حالت بدون پوشش در دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ به ترتیب برابر با ۲۵/۸۵ و ۲۶/۲۵ سانتی‌متر بر ثانیه به دست آمد. با توجه به هم‌مقیاسی شکل‌ها و نمودارهای رسم شده، تغییرپذیری‌های سرعت متوسط طولی در عرض آبراهه بسیار زیاد می‌باشد. تغییرپذیری‌های سرعت میانگین طولی در

نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ بیشتر بوده است. این روند نشان از حرکت جریان بیشینه در سمت مخالف وجود جریان‌های حلزونی شکل در درون آبراهه اصلی است. وجود پوشش گیاهی به نوسان‌های سرعت میانگین طولی در مقطع عرضی افزوده است.

میزان‌های میانگین اندازه سرعت ( $\bar{u} = \sqrt{u^2 + v^2}$ ) در پنج مقطع یاد شده برای هر رخ‌نمای سرعت در آبراهه اصلی محاسبه و سپس سرعت میانگین  $U_m$  برای هر مقطع آبراهه اصلی از  $S_1$  تا  $S_5$  به دست آمد. این میزان‌ها برای دو حالت با و بدون پوشش برای دو عمق نسبی در شکل ۷ آورده شده است. در این شکل محور افقی در واقع فاصله طولی بین دو مقطع موجود در دو خم متوالی  $S_1$  و  $S_5$  می‌باشد (x برابر است با  $2L/L_w$  که در آن L فاصله از مقطع  $S_1$  و  $L_w$  اندازه طولی آبراهه پیچان در یک طول موج است) و محور قائم نیز سرعت میانگین آبراهه اصلی در هر مقطع به سرعت میانگین مقطع بالادست در حالت ساده می‌باشد. با توجه به شکل ۷ برای هر دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ اندازه‌های سرعت میانگین آبراهه اصلی در حالت ساده بزرگ‌تر از حالت پوشش شبیه‌سازی شده گیاه است. با توجه به شکل ۷ میزان‌های سرعت میانگین در خم‌های موجود در بیشتر زمان‌ها میزان‌های بالاتری را نسبت به مقطع‌های میانی به خود گرفته است. تنها در مقطع  $S_4$  برای برخی حالات میزان‌های سرعت بالاتر از مقطع موجود در خم مشاهده می‌شود که دلیل آن به نظر نزدیکی این مقطع به خم بوده است.

با سرعت میانگین به دست آمده برای هر مقطع و حاصل‌ضرب آن با سطح مقطع آبراهه اصلی، دبی آن به دست می‌آید. شکل ۸ دبی انتقالی آبراهه اصلی نسبت به دبی انتقالی کل آبراهه مرکب برای دو عمق نسبی و حالت‌های مختلف پوشش را نشان می‌دهد. آنچه مشخص است حضور پوشش گیاهی باعث افزایش دبی انتقالی آبراهه اصلی نسبت به حالت ساده شده است. به طوری که اگر میانگین همه‌ی مقطع‌ها را حساب کرد، در عمق نسبی ۰/۳۵ برای حالت پوششی GF میزان دبی عبوری از آبراهه اصلی نسبت به دبی کل برابر با ۵۴ درصد است، در صورتی که این میزان برای حالت ساده SF برابر

(Wark (1992) نتایج همانندی را گزارش کردند. نکته دیگر و با اهمیت در مجاورت مرز مشترک بین آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت نهفته است، در این ناحیه‌ها گرادیان سرعت بسیار زیاد و نامنظم است که به علت جریان‌های با مومنتوم ضعیف می‌باشد که به وسیله گردابه‌های عمقی از لایه‌های پایین به لایه‌های بالا منتقل می‌شوند. این رفتار در آزمایش‌های با پوشش گیاهی معین‌تر شده است به طوری که تغییرپذیری‌ها در این نواحی بسیار شدیدتر از حالت بدون پوشش می‌باشد. همچنین با مشاهده روند سرعت میانگین طولی برای هر دو عمق نسبی و در هر دو مقطع موجود در خم مشاهده می‌شود که مقادیر سرعت بالا به سمت دیواره درونی تمایل یافته‌اند.

به دلیل ناتوانی دستگاه ADV در اندازه‌گیری داده در سطح آب به میزان ۵ سانتی‌متر، در آزمایش با عمق نسبی ۰/۳۵ اجزا سرعت در نزدیکی بستر قابل اندازه‌گیری بودند. بنابراین با توجه به شکل ۶ زمانی که پوشش مستغرق به کار برده شد به دلیل میزان‌های بسیار کوچک و نزدیک به صفر سرعت، تنها میزان‌های سرعت در درون آبراهه اصلی آورده شده و مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین با توجه به اینکه داده‌های سرعت متاسفانه در عمق‌های بالا و در نزدیکی سطح آب وجود نداشت، شکل‌ها و دیگر روندهای بررسی تا عمقی از جریان مورد بررسی و مقایسه شدند (به جزء ۵ سانتی‌متر بالایی عمق آب در هر عمق نسبی) که داده برداشت شده بود. مقایسه حالت پوشش چمنزار با حالت ساده نشان از کاهش شدید سرعت میانگین جریان در سیلاب‌دشت است. اما در عمق نسبی ۰/۵۵ اندازه‌های سرعت میانگین در آبراهه اصلی به جز در قسمت‌های مرز مشترک دو آبراهه برای پوشش چمنزار برابر و حتی بیشتر از حالت ساده به دست آمده است. این میزان‌های بالاتر در صورتی است که دبی کلی جریان با وجود پوشش به کار برده شده همان‌طور که پیشتر به آن اشاره شد، کاهش یافته است. این رفتار در آزمایش‌های با پوشش گیاهی معین‌تر شده است به طوری که تغییرپذیری‌های در این ناحیه‌ها بسیار شدیدتر از حالت بدون پوشش می‌باشد. با توجه به مقطع‌های میانی بین دو خم، سرعت طولی در مقطع آبراهه اصلی در سمت ساحل چپ در هر دو عمق

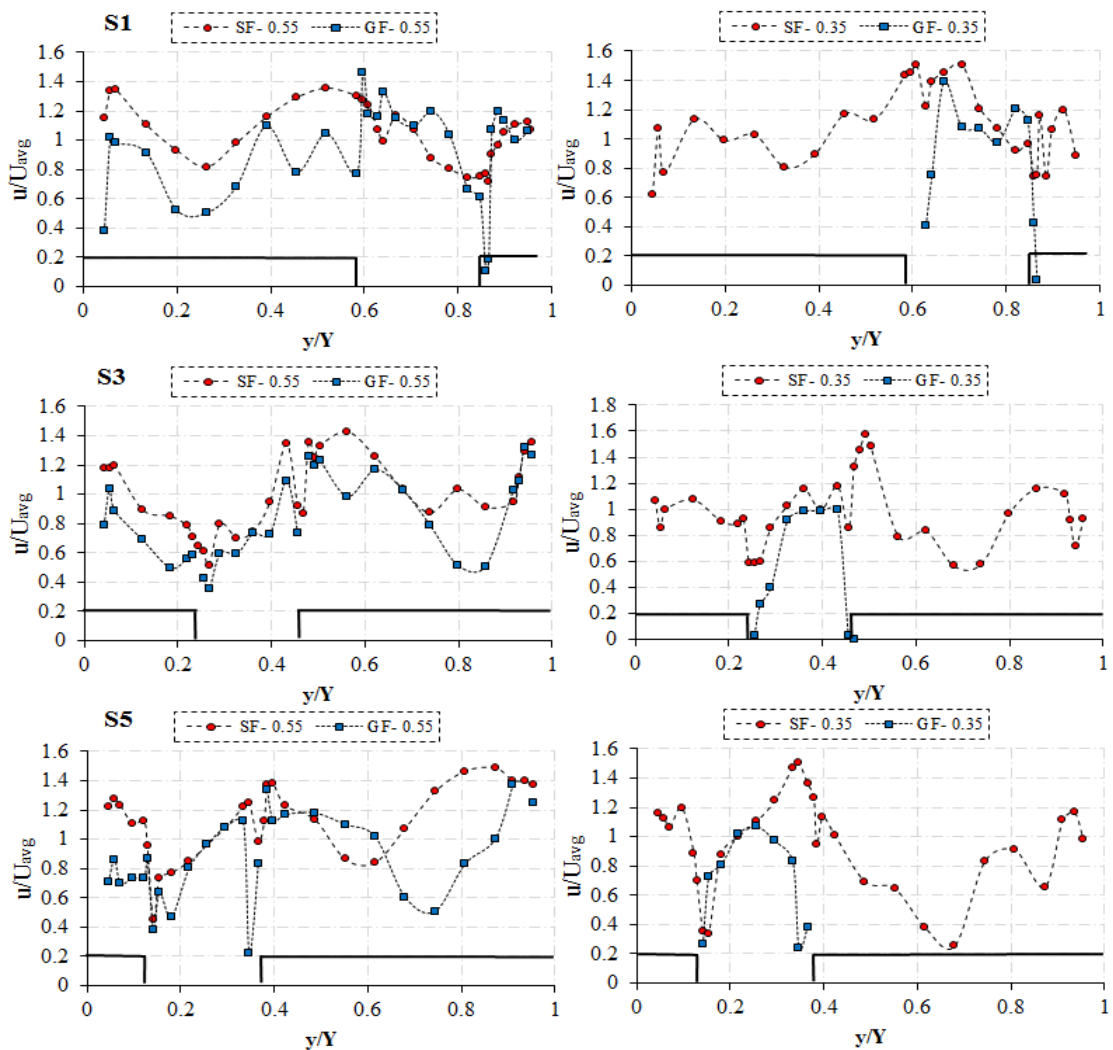


Fig. 6 Values of average longitudinal velocity of flow in sections S1, S3 and S5 for relative depths of 0.35 and 0.55 in conditions with and without vegetation

شکل ۶ میزان‌های سرعت میانگین طولی جریان در مقطع‌های S1، S3 و S5 برای عمق‌های نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ در حالت‌های با و بدون پوشش گیاهی

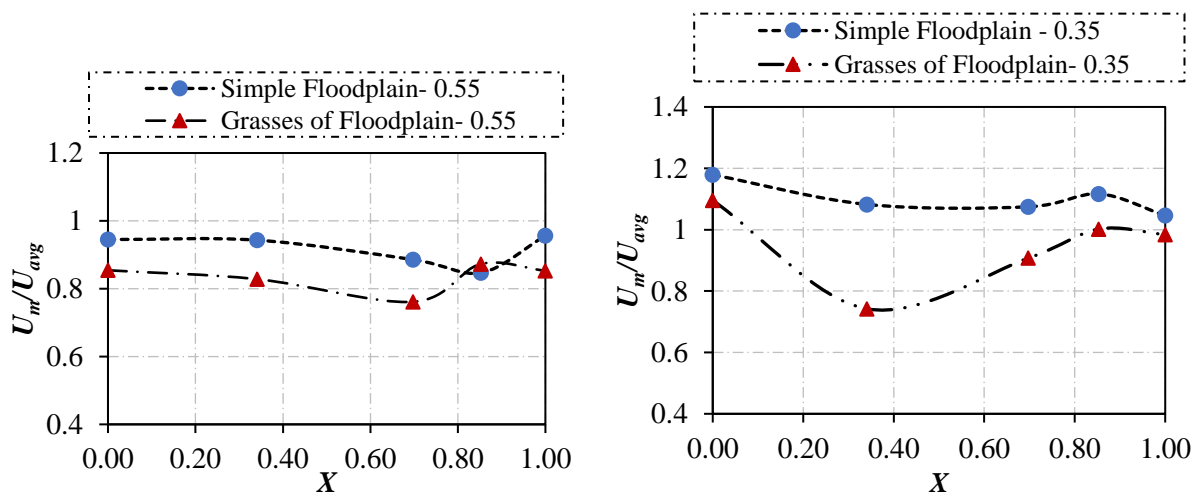


Fig. 7 Average velocity distribution of the main channel along a half wavelength of meander for both relative depths of 0.35 and 0.55

شکل ۷ پراکنش سرعت میانگین آبراهه اصلی در طول یک نیم موج مئاندر برای هر دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵

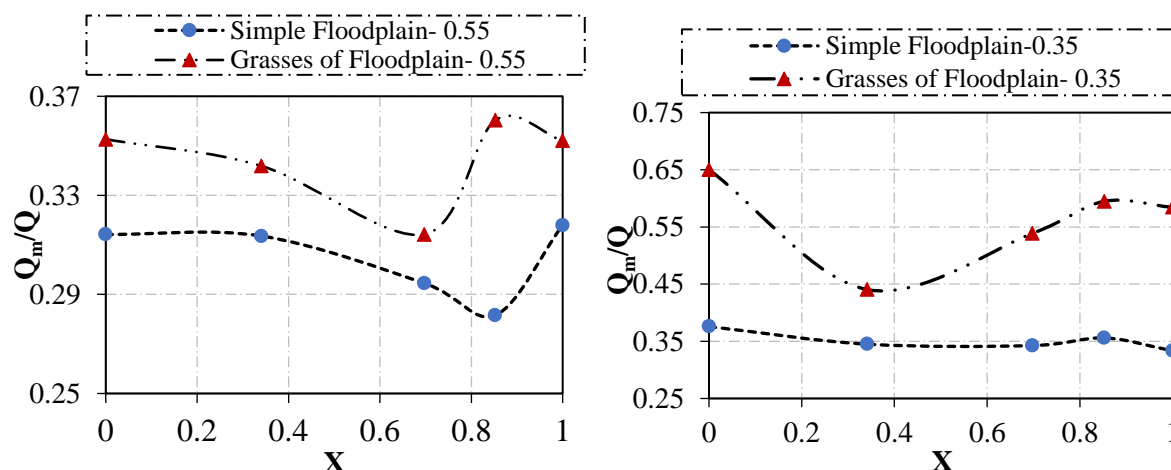


Fig. 8 Main channel discharge values along a half wavelength of meander for both relative depths of 0.35 and 0.55

شکل ۸ میزان‌های دبی انتقالی آبراهه اصلی در طول یک نیم موج مئاندر برای هر دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵

آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت با حضور پوشش گیاهی است. این میزان‌های منفی در فصل مشترک سمت قوس (قسمت مقعر) بیشتر و بزرگ‌تر دیده می‌شود. میزان‌های سرعت طولی همان‌طور که مشاهده می‌شود در حالت GF به علت پوشش مستغرق روی سیلاب‌دشت در نزدیکی بستر بسیار کوچک و نزدیک صفر می‌باشد ولی میزان‌های این سرعت با افزایش عمق آب با افزایش چشمگیری نسبت به حالت SF همراه بوده است. در سیلاب‌دشت‌ها هسته پیشینه سرعت طولی در حالت پوششی بر روی قسمت محدب سیلاب‌دشت ( $1/5 < y/H < 2/2$ ) است. همچنین ناحیه‌های خارج از دامنه پیچان رود نیز دارای میزان‌های بالاتری نسبت به دیگر منطقه‌ها است.

۳۵ درصد است. همچنین این میزان‌ها برای عمق نسبی ۰/۵۵ برای دو نوع پوشش SF و GF به ترتیب برابر با ۳۰، ۳۶ درصد می‌باشد. شکل ۹ مربوط به خطوط هم سرعت طولی در مقطع‌های  $S_1$  و  $S_3$  و در عمق نسبی ۰/۵۵ با دو حالت با و بدون پوشش گیاهی است. نتایج و شکل‌ها مربوط به هر کدام از حالت‌ها نشان می‌دهد که در جریان سیلابی کماکان هندسه سرعت پیشینه در آبراهه اصلی به سمت قوس درونی قرار گرفته است. برابر شکل ۹ و با توجه به خطوط هم سرعت در صورت وجود پوشش گیاهی هسته سرعت پیشینه در آبراهه اصلی افزایش یافته است. تفاوت عمده دیگر وجود هسته‌هایی با سرعت منفی در خط اتصال

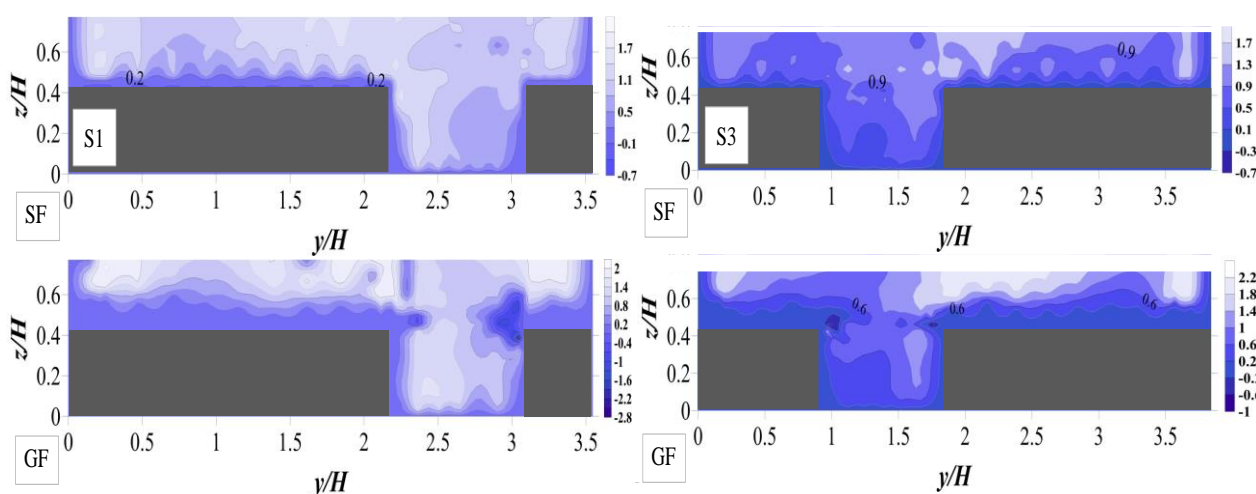


Fig. 9 Comparison of dimensionless longitudinal velocity meters ( $u / U_{avg}$ ) at relative depth of 0.55 and sections  $S_1$  and  $S_3$  with and without vegetation

شکل ۹ مقایسه کنتورهای سرعت طولی بی‌بعد ( $u/U_{avg}$ ) در عمق نسبی ۰/۵۵ و مقطع‌های  $S_1$  و  $S_3$  با و بدون پوشش گیاهی

مثبت در این ناحیه‌ها پدیدار می‌شود. حالت پوششی GF باعث تغییرپذیری‌های الگوی سرعت قائم در سیلابدشت و نزدیکی آبراهه اصلی شده است. وجود پوشش مستغرق همچنین موجب مقادیر نزدیک به صفر و مثبت در نزدیکی بستر سیلابدشت و به ویژه با دور شدن از آبراهه اصلی شده است، که نشان از گرایش حرکت جریان به سمت بالای پوشش گیاهی مستغرق را دارد.

برابر شکل ۱۰ در حضور پوشش گیاهی، دامنه تغییرپذیری‌های سرعت عرضی در دو مقطع  $S_1$  و  $S_3$  نسبت به حالت ساده بیشتر است. بنابراین وجود پوشش گیاهی بر نوسان‌ها و گرداب‌های عرضی بسیار تأثیرگذار است. در شکل ۱۱ بیشترین تغییرپذیری‌های سرعت قائم جریان در درون آبراهه اصلی بخصوص در نزدیکی فصل مشترک دو آبراهه رخ می‌دهد و میزان بیشینه منفی و

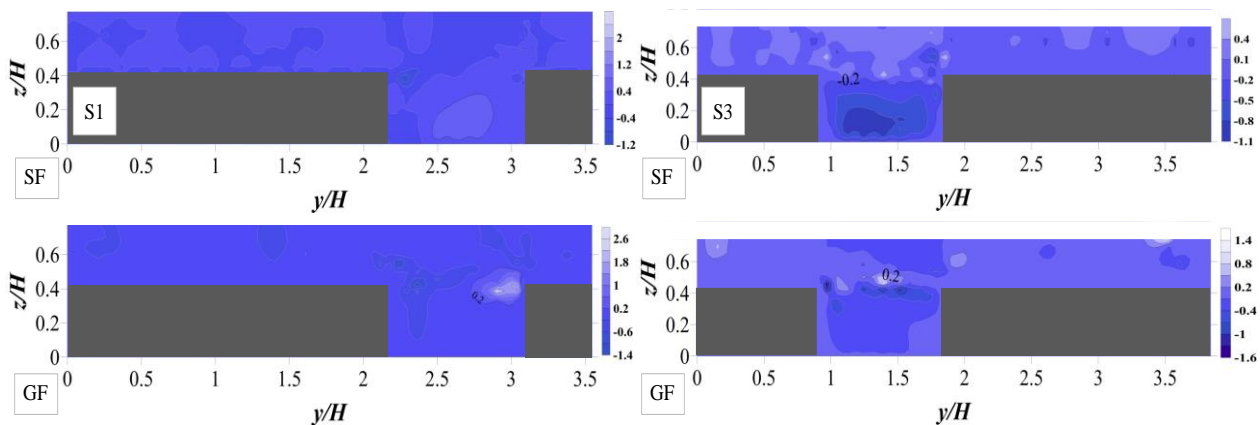


Fig. 10 Comparison of dimensionless transverse velocity meters ( $v / U_{avg}$ ) at relative depth of 0.55 and sections  $S_1$  and  $S_3$  with and without vegetation

شکل ۱۰ مقایسه کنتورهای سرعت عرضی بی‌بعد ( $v/U_{avg}$ ) در عمق نسبی ۰/۵۵ و مقطع‌های  $S_1$  و  $S_3$  با و بدون پوشش گیاهی

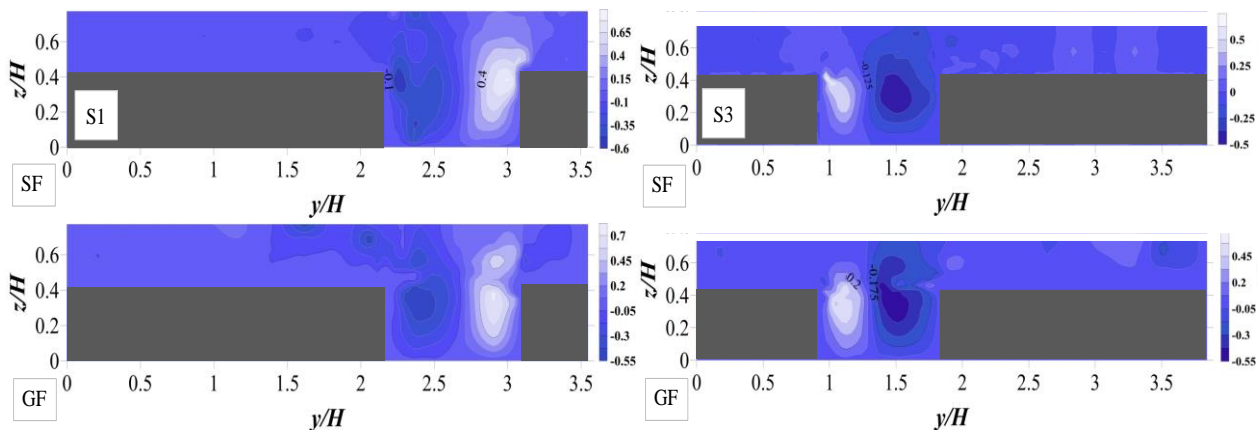


Fig. 11 Comparison of dimensionless vertical velocity meters ( $w / U_{avg}$ ) at relative depth of 0.55 and sections  $S_1$  and  $S_3$  with and without vegetation

شکل ۱۱ مقایسه کنتورهای سرعت قائم بی‌بعد ( $w/U_{avg}$ ) در عمق نسبی ۰/۵۵ و مقطع‌های  $S_1$  و  $S_3$  با و بدون پوشش گیاهی

پوشش مستغرق بر روی سیلابدشت استفاده می‌شود به نظر می‌رسد قدرت جریان در درون آبراهه اصلی دست‌خوش تغییر شود و در نهایت منجر به فرسایش کف و دیواره آبراهه اصلی شود. برابر شکل ۱۲، در مقطع  $S_1$  به‌عنوان مقطع اول و موجود در قوس، یک سلول چرخشی پادساعت‌گرد بزرگ در

در پوشش GF جریان روبه بالا میزان‌های بالاتری به خود گرفته است. این میزان‌های بالاتر به تلاطم و جریان‌های ثانویه قوی‌تری منجر می‌شود که نقش بسزایی در فرسایش رسوب‌ها در این نوع پوشش در آبراهه اصلی خواهد داشت. با توجه به وجود تغییرپذیری‌ها و افزایش اندازه میزان‌های جریان‌های عرضی و قائم در مواقعی که از

مقطع‌ها هر چه از آبراهه اصلی فاصله گرفته شود گرداب‌ها بزرگ‌تر و به عبارتی پخشیدگی در این ناحیه‌ها از سیلاب‌دشت بیشتر می‌شود. در ادامه الگوی جریان پادساعت‌گرد در حالت پوشش با چمن GF در مقطع  $S_1$  به طور روشن برهم خورده است، که نشان از تأثیرگذاری این پوشش بر روی نیروی گریز از مرکز موجود در قوس آبراهه اصلی را می‌دهد. نکته دیگر با مقایسه شکل‌های موجود، بردارهایی با اندازه بزرگ‌تر در خط اتصال دو آبراهه با حضور پوشش‌های گیاهی است. به نظر می‌رسد جریان آرام‌تر موجود در سیلاب‌دشت در حضور پوشش گیاهی و جریان پرسرعت‌تر در درون آبراهه اصلی باعث این تفاوت نسبت به حالت ساده یا SF شده است.

آبراهه اصلی سمت سیلاب‌دشت چپ (سمت راست تصویر) وجود دارد. در سمت مقابل این مقطع بردارهایی با اندازه کوچک‌تر و رو به پایین مشاهده می‌شود. از نظر کاربردی این جریان پادساعت‌گرد نقش مهمی در انتقال بار بستر به‌ویژه از سیلاب‌دشت سمت راست را بر عهده خواهد داشت و در طرف دیگر مقطع آبراهه اصلی احتمال ته‌نشین شدن این رسوبات وجود دارد. اما برابر با مقطع  $S_3$  سلول چرخشی به‌صورت ساعت‌گرد در آبراهه اصلی در جریان است. این سلول چرخشی نقش بسزایی در انتقال بار بستر این بار از سمت کناره ساحل سمت چپ و ته‌نشینی رسوبات در طرف دیگر آبراهه اصلی بر عهده خواهد داشت. با توجه به شکل ۱۲ و مشاهدات آزمایشگاهی جریان در قسمت سیلاب‌دشت با پهناهای بزرگ‌تر در همه‌ی

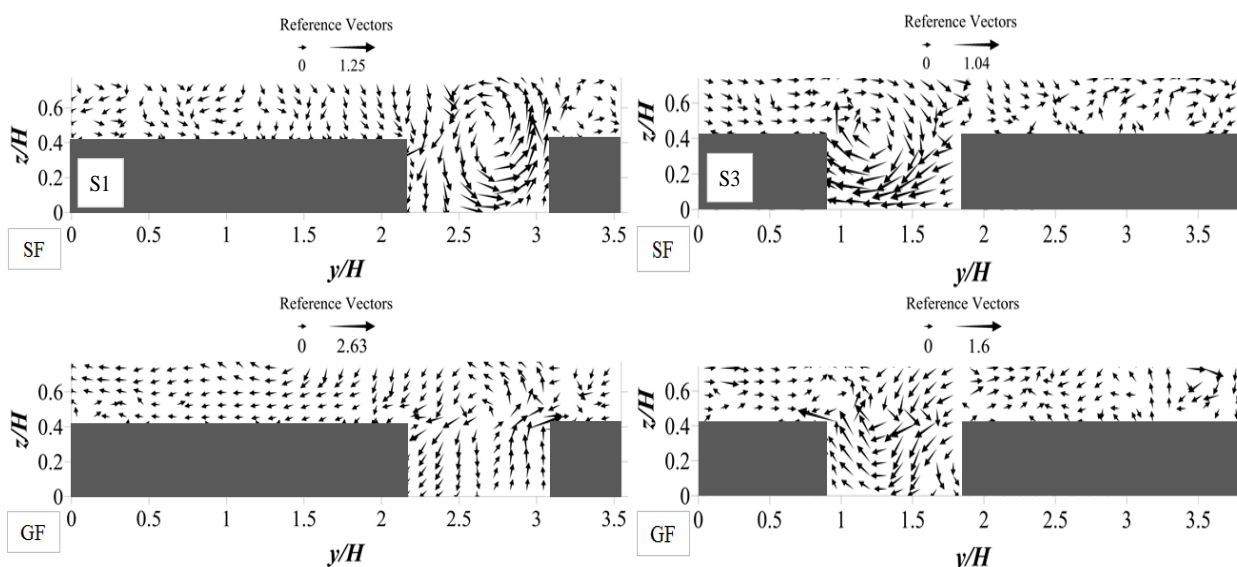


Fig. 12 Secondary current vectors for relative depths of 0.55 and sections  $S_1$  and  $S_3$  with and without vegetation

شکل ۱۲ بردارهای جریان‌های ثانویه به ازای عمق نسبی ۰/۵۵ و مقطع‌های  $S_1$  و  $S_3$  با و بدون پوشش گیاهی

۱- یک شکستگی و انحراف در منحنی‌ها دبی-اشل به محض ورود جریان به سیلاب‌دشت دیده شد که این انحراف در آبراهه با پوشش نسبت به محور قائم کمتر است. این روند در منحنی دبی-اشل نشان از کاهش ظرفیت انتقال توسط آبراهه در حضور پوشش گیاهی به دلیل افزایش مقاومت (ضریب زبری) در برابر جریان است.  
۲- در ناحیه‌های خط اتصال دو آبراهه گرادیان سرعت بسیار زیاد و نامنظم است که این رفتار در آزمایش‌های با پوشش گیاهی بسیار شدیدتر از حالت بدون پوشش می-

#### ۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش به بررسی و ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر پوشش گیاهی منعطف مستغرق (چمن مصنوعی) نصب شده در سیلاب‌دشت یک آبراهه پیچان‌رودی مرکب در دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ پرداخت. ساختار و ویژگی‌های جریان در این نوع آبراهه با استفاده از داده‌های سرعت در شرایط با و بدون پوشش گیاهی بررسی شد. به طور خلاصه مواردی از نتایج این بررسی در زیر آورده شده است.

در پایان از جنبه کاربردی این نوع پوشش مصنوعی و نتایجی که در این بررسی‌ها به آن‌ها اشاره شد می‌توان چنین برداشت کرد که وجود پوشش چمنزار و یا بوته‌ای باعث انحراف بیشتر جریان به سمت آبراهه اصلی ماریپیچ شده است و آبراهه اصلی نقش مهم‌تری در انتقال جریان به پایین دست بر عهده می‌گیرد. این امر به نظر می‌رسد در نهایت موجب انتقال بیشتر مواد بستر در آبراهه اصلی و دیواره‌های آن نسبت به حالت بدون پوشش در طبیعت شود که نیاز به سازوکاری مناسب دارد. همچنین به نظر فرسایش و آبستگي در سیلاب‌دشت با کاهش روبه‌رو شود اما با توجه به افزایش سرعت در بالای تاج پوشش مستغرق باید فضای لازم برای افزایش عمق جریان پیش‌بینی شود.

#### ۵- فهرست نشانه‌ها

Dr	عمق نسبی (-)
u	سرعت میانگین طولی (m/s)
v	سرعت میانگین عرضی (m/s)
w	سرعت میانگین قائم (m/s)
$U_{avg}$	سرعت میانگین مقطع بالادست (m/s)
$U_m$	سرعت میانگین مقطع آبراهه اصلی (m/s)
H	عمق جریان در آبراهه اصلی (m)
Y	عرض کلی سطح مقطع (m)
Q	دبی کلی فلوم (m)
$Q_m$	دبی آبراهه اصلی (m)

#### ۶- منبع‌ها

Chow, V.T., (1959). Open channel hydraulics. McGraw-Hill, New York.

Dupuis, V., Proust, S., Berni, C. and Paquier, A. (2017). Mixing layer development in compound channel flows with submerged and emergent rigid vegetation over the floodplains. *Experiments in Fluids*, 58(4), 30.

Farshi, F., Kabiri-Samani, A. and Chamani, M.R., (2021). Boundary Shear Stress Distribution in Curved Compound Open Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 147(2), p.04020099.

Hagerman, J.R. and Williams, J.D. (2000). Meander Shape and the Design of Stable Meanders.

باشد. مقایسه حالت پوشش چمنزار با حالت ساده نشان از کاهش شدید سرعت میانگین جریان در سیلاب‌دشت است. اما در عمق نسبی ۰/۵۵ اندازه‌های سرعت میانگین در آبراهه اصلی به جز در قسمت‌های خط اتصال دو آبراهه برای پوشش چمنزار برابر و حتی بیشتر از حالت ساده به دست آمده است.

۳- روند سرعت بیشینه در مقطع‌های میانی به طرف ساحل چپ مشاهده شد که نشان از حرکت جریان بیشینه در سمت مخالف وجود جریان‌های حلزونی شکل در درون آبراهه اصلی است.

۴- حضور پوشش گیاهی باعث افزایش دبی انتقالی آبراهه اصلی نسبت به حالت ساده شده است. به طوری که اگر میانگین هم‌مقی مقطع‌ها را حساب کرد، در دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ برای حالت پوشش گیاهی حاضر (چمن مصنوعی) میزان دبی عبوری از آبراهه اصلی نسبت به دبی کل به ترتیب برابر با ۵۴ و ۳۶ درصد است که نسبت به حالت شاهد انتقال از طریق آبراهه اصلی برای عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ به ترتیب ۱۹ و ۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد.

۵- با بررسی خطوط هم سرعت در صورت وجود پوشش گیاهی هسته سرعت بیشینه در آبراهه اصلی افزایش یافته است. تفاوت عمده دیگر وجود هسته‌هایی با سرعت منفی در خط اتصال آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت با حضور پوشش گیاهی است. میزان‌های سرعت طولی در حالت پوشش مستغرق روی سیلاب‌دشت در نزدیکی بستر بسیار کوچک و نزدیک صفر می‌باشد ولی میزان‌های این سرعت با افزایش عمق آب با افزایش چشمگیری نسبت به حالت شاهد همراه بود. با توجه به تغییرپذیری‌ها و افزایش اندازه میزان‌های جریان‌های عرضی و قائم در زمان‌هایی که از پوشش مستغرق بر روی سیلاب‌دشت استفاده شد به نظر می‌رسد قدرت جریان در درون آبراهه اصلی دست‌خوش تغییر شود.

۶- با بررسی بردارهای جریان ثانویه، حضور پوشش گیاهی موجب برهم خوردن الگوی این جریان‌ها شد، و بردارهایی با اندازه بزرگ‌تر در خط اتصال دو آبراهه با حضور پوشش‌های گیاهی مشاهده شد.



- Patra, K.C., Kar, S.K. and Bhattacharya, A.K., (2004). Flow and velocity distribution in meandering compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(5), 398-411.
- Sellin, R.H.J., Ervine, D.A. and Willetts, B.B. (1993). Behaviour of meandering two-stage channels. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Maritime and Energy*, 101(2), 99-111.
- Shahsavari, H., Khodashenas, S.R. and Esmaili, K., (2020a). Investigation of Relative Depth Effect on Flow Characteristics in Meandering Compound Channel. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(8), 2111-2124. (In Persian)
- Shahsavari, H., Khodashenas, S.R. and Esmaili, K. (2020b). Investigating the effect of rigid non-submerged artificial vegetation on flow characteristics in Compound Meander Channel. *Journal of Hydraulics*, 15(2), 131-147. (In Persian)
- Shiono, K., Chan, T.L., Spooner, J., Rameshwaran, P. and Chandler, J.H. (2009). The effect of floodplain roughness on flow structures, bedforms and sediment transport rates in meandering channels with overbank flows: Part I. *Journal of Hydraulic Research*, 47(1), 5-19.
- Tominaga, A., Nezu, I., Ezaki, K. and Nakagawa, H. (1989). Three-dimensional turbulent structure in straight open channel flows. *Journal of hydraulic research*, 27(1), 149-173.
- In Proceedings American Water Resources Association, Specialty Conference, Anchorage, Alaska, April.
- Ibrahim, Z., Ismail, Z., Harun, S., Shiono, K., Mohd. Zuki, N. and Makhtar, M.R. (2016). Flood hydraulics due to emergent vegetation along a riparian zone in meandering channels. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 78, 99-107.
- James, C.S., and Wark, J.B. (1992). Conveyance Estimation for Meandering Channels. Report SR 329, HR Wallingford Ltd, UK.
- Moreta, P.J., and Martín-Vide, J.P. (2020). Discharge and force distribution in a sinuous channel with vegetated floodplains during overbank flow. *Journal of Hydraulic Research*, 58(3), 408-419.
- Lien, H.C., Hsieh, T.Y., Yang, J.C. and Yeh, K.C. (1999). Bend-flow simulation using 2D depth-averaged model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10), 1097-1108.
- Liu, C., Shan, Y.Q., Yang, K.J. and Liu, X.N. (2013). The characteristics of secondary flows in compound channels with vegetated floodplains. *Journal of Hydrodynamics*, 25(3), 422-429.
- Liu, C., Shan, Y., Liu, X., Yang, K. and Liao, H. (2016). The effect of floodplain grass on the flow characteristics of meandering compound channels. *Journal of Hydrology*, 542, 1-17.
- Pan, Y., Li, Z., Yang, K. and Jia, D., (2019). Velocity distribution characteristics in meandering compound channels with one-sided vegetated floodplains. *Journal of Hydrology*, 578, p.124068.

