

Investigating the Effect of Rigid Non-Submerged Artificial Vegetation on Flow Characteristics in Compound Meander Channel

Hamed Shahsavari ¹, Saeed Reza Khodashenas ^{2*}, Kazem Esmaili ³

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

Received: 13 May 2020, Accepted: 4 July 2020  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Rivers can be classified as straight, meandering and braiding, Meandering is the most common plan-form acquired by natural rivers. The meandering channel flow is considerably more complex than the straight channel. Compound meandering channels are abundant in nature that including the main channel for the flow in normal times and one or two floodplains (usually covered with plants) at the sides during floods. Vegetation is an important property of many rivers, enhancing amenity values for people and providing habitat for other organisms. Vegetation stabilizes stream banks, provides shade that performs an essential role in nutrient cycling and water quality and supports wildlife. Therefore, it is necessary to study this issue in order to better understand the flow during floods. This study is focused on the influence of vegetation on overbank flow characteristics. In this research, the effect of non-submerged rigid artificial vegetation in the floodplain on two relative depths of 0.35 and 0.55 has been studied in the laboratory.

Methodology: 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. Plastic cylinders of 9mm diameter 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 S_1 to S_5 .

Results and discussion: The results showed that the presence of vegetation in the plain flood for a constant relative depth has reduced the flow capacity. The decrease in discharge for depths of 0.35 and 0.55 is equal to 23 and 12 percent, respectively, for a density of 0.77 percent per unit area of one square meter. The pattern of 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. The absolute values of velocity in the main channel in

the uncovered state are greater than in the covered state. Also, the values in the transverse and vertical velocity components in plain floods with vegetation are much higher than in uncovered conditions. The directional secondary vectors of the flow in section S1 indicate a counter-clockwise flow in the main channel. The presence of vegetation at a relative depth of 0.55 has reduced the size and values of these vectors in both the main channel and the floodplain. It seems that the presence of coverage, 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, but specifically the presence of vegetation at this relative depth has caused the flow transfer from the right floodplain to the left floodplain. For all sections, the average values of longitudinal velocity on both sides of the floodplain are greater than the uncovered state and increase by moving away from the main channel to the glass wall of the channel. 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. Also, the presence of cylinders has increased turbulence and consequently increased shear stress. The values of shear stress at the bottom of the main channel and the convex coast of the floodplain are higher than other areas. In addition, the cover has increased shear stress in the floodplain and reduced the kinetic energy of turbulence (TKE) in the floodplain.

Conclusion: In this study, using a laboratory model, the effect of non-submerged rigid 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 cross section of the channel in the uncovered state is higher than in the case with the cover. Due to the non-submerged rigid artificial vegetation used, the shear stress in the floodplain has increased.

Keywords: Flood, Flow Pattern, Meander Channel, Relative Depth, Vegetation.



© 2020 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 تأثیر پوشش گیاهی مصنوعی غیر مستغرق صلب بر ویژگی‌های جریان در آبراهه مرکب پیچانی

حامد شهسواری^۱، سعیدرضا خداشناس^{۲*}، کاظم اسماعیلی^۳

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

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

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

* khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۱۴ و ب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: آبراهه‌های مرکب پیچانی در طبیعت به وفور یافت می‌شوند، که شامل آبراهه اصلی برای انتقال جریان در مواقع عادی و یک یا دو سیلابدشت (به طور معمول پوشیده از گیاه) در دو طرف در هنگام سیلاب می‌باشند. بنابراین بررسی ویژگی جریان در این نوع آبراهه‌ها برای شناخت و درک بهتر از جریان در شرایط سیلابی ضرورت می‌یابد. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی تأثیر پوشش گیاهی صلب غیرمستغرق موجود در سیلابدشت بر شرایط جریان و نقش آن در حفاظت از سیلابدشت‌ها در دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ پرداخته شده است. داده‌های سرعت با استفاده از سرعت‌سنج صوتی داپلر ثبت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که وجود پوشش گیاهی در سیلابدشت در عمق نسبی ثابت و تراکم ۰/۷۷ درصد در واحد یک متر مربع موجب کاهش انتقال جریان گشته طوری که دبی در عمق‌های ۰/۳۵ و ۰/۵۵ به ترتیب برابر با ۲۳ و ۱۲ درصد کمتر شده است. الگوی خطوط هم‌تراز سرعت طولی نشان می‌دهد در حضور پوشش گیاهی در هر دو عمق نسبی جریان به سمت آبراهه نسبت به حالت بدون پوشش بیشتر منحرف می‌شود. همچنین تغییرپذیری‌های مولفه سرعت عرضی و قائم در سیلابدشت با پوشش گیاهی بسیار بیشتر از حالت بدون پوشش است. افزون بر این پوشش به کار رفته موجب افزایش تنش برشی در دشت سیلابی و کاهش انرژی جنبشی آشفتگی (TKE) در بیشتر ناحیه‌ها شده است.

کلیدواژه‌گان: پیچانرود، پوشش گیاهی، الگو جریان، عمق نسبی، سیلاب.

۱- مقدمه

نقش سیلابدشت در راهبردهای کاهش سیلاب تشخیص داده شده و سیلابدشت‌های طبیعی احیا می‌شوند. پیش‌نیاز اعمال این قانون درک مناسب از فرایند هیدرودینامیکی ارتباط سیلابدشت و آبراهه اصلی آن است. همچنین پیچان‌رودها به دلیل پویایی فعال خود، می‌توانند در سطح دشت‌سیلابی جابه‌جا شوند. مهاجرت پیچان‌رودها از رابطه‌های متقابل میان جریان آب، حمل رسوب و شکل آبراهه به دست می‌آید (Seminara, 2006). میزان تغییرات و جابجایی این آبراهه‌های ماریچ با شیب و مقاومت کناره‌ها در ارتباط است. مقاومت کناره هم تحت تأثیر مواد تشکیل دهنده کرانه، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و نوع سنگ بستر قرار دارد. در سال‌های اخیر

مهندسان رودخانه برای کاهش اثرگذاری‌های تخریبی سیل، همواره به دنبال راه‌حلی مناسب هستند. استفاده از روش‌های سازه‌ای مانند دیوار ساحلی، غیرفرسایشی کردن مسیل‌ها، ایجاد سنگ‌چین‌های کناری و سدهای تأخیری از جمله راه‌های متداول مدیریت و مهار کنترل سیلاب می‌باشند. با این وجود این روش‌ها اغلب در برآورده کردن کامل هدف‌ها موفق نیستند و جریان در سیلابدشت‌ها گسترش می‌یابد. روش دیگر برای مهار سیلاب، تمرکز بر تأثیر نقش آبراهه اصلی سیلابدشت نسبت به آبراهه اصلی منفرد است. قانون، ایجاد فضا برای آب روش جدیدی در استفاده پایدار از سیلابدشت است. امروزه

صلب در دشت سیلابی و در سه عمق نسبی (۰/۱۵، ۰/۲۵، ۰/۳۵) اجرا شد. نتایج بررسی‌های آنان نشان داد که پوشش گیاهی تأثیر بسزایی بر ویژگی‌های جریان مانند مؤلفه‌های طولی، عرضی و عمقی سرعت جریان متوسط و همچنین تنش‌های برشی رینولدز دارد. ظرفیت انتقال جریان در عمق نسبی ۰/۱۵ در حضور پوشش گیاهی سیلاب‌دشت، نسبت به حالت بدون پوشش، تا ۳۱ درصد کاهش یافته است. (Hamidifar et al., 2015) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر استغراق پوشش گیاهی بر ضریب اختلاط عرضی آلودگی در یک آبراهه با مقطع مرکب نامتقارن پرداخته‌اند. آزمایش‌ها برای سه تراکم ۳/۱۴، ۰/۸۸ و ۰/۲۶ پوشش گیاهی و سه عمق نسبی ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۳۵ انجام شد. نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب اختلاط عرضی در حالت پوشش گیاهی غیرمستغرق تا ۱۱۴ درصد نسبت به شرایط بدون پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. این در حالی است که در مورد پوشش گیاهی مستغرق، میزان افزایش ضریب اختلاط عرضی در آبراهه اصلی و در سیلاب‌دشت نسبت به حالت بدون پوشش به ترتیب ۴۳ و ۳۷ درصد می‌باشد. همچنین با افزایش عمق نسبی از ۰/۱۵ به ۰/۲۵، ضریب اختلاط عرضی تا ۹۷ و ۴۵ درصد در مورد پوشش گیاهی مستغرق و تا ۹۱ و ۴۲ درصد در مورد پوشش گیاهی غیرمستغرق به ترتیب در سیلاب‌دشت و در آبراهه اصلی افزایش می‌یابد. به طور کلی نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه پوشش گیاهی پهنه‌ی سیلابی بر ضریب اختلاط عرضی بود. Karami (2017) و oghadam and Sabzevari (2017) برای بررسی تأثیر تراکم پوشش گیاهی بر الگوی جریان از نسبت فاصله بین گیاهان به قطر آن‌ها (L/D) استفاده کردند. این نسبت برابر ۳، ۸ و ۱۶ در نظر گرفته شده بود. قطر پوشش گیاهی ۳ سانتی‌متر و آرایش موازی برای پوشش گیاهی انتخاب شد. در تحقیق آنان نظر به اینکه مقطع آبراهه مرکب متقارن بود، شبیه‌سازی در نصف مقطع آبراهه انجام شده بود و مبدأ مختصات در مرکز آبراهه اصلی انتخاب شد. دو مدل آشفتگی RNG و LES ارزیابی شد. نتایج بررسی‌های آنان نشان داد که سرعت طولی و سرعت میانگین عمقی جریان در آبراهه اصلی برای حالت بدون

دینامیک سیستم‌های رودخانه‌ای به واسطه فعالیت‌های انسانی مانند شهرنشینی، تغییرپذیری‌های کاربری اراضی، سدسازی، بهسازی و انحراف آبراهه، و برداشت شن و ماسه تغییر کرده است و این تغییرپذیری‌ها منجر به تغییر جریان و کیفیت آب و به دنبال آن تغییر بستر آبراهه رودخانه‌ها شده است (Hosseinzadeh et al., 2015). از این جهت، مورفودینامیک پیچان‌رودها در الگوها و فرایندهای آب‌شناختی و بوم‌شناختی دشت‌های سیلابی و فرایندهای رسوبگذاری نقش مهمی دارد (Güneralp et al., 2012). بنابراین آگاهی و درک هیدرودینامیک رودخانه‌ای و تغییرپذیری‌های پیچان‌رودها برای هدف‌های برنامه‌ریزی، حفاظت، و بازسازی آبراهه‌های رودخانه‌ای بسیار حائز اهمیت است (Hooke and Yorke., 2010). شکل (۱) نمای کلی از یک رودخانه یا آبراهه پیچانرود را به همراه فراسنج‌هایش نشان می‌دهد.

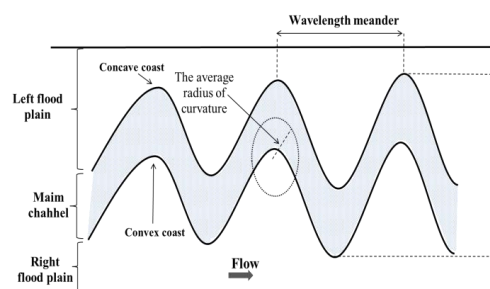


Fig. 1. Specifications of a Meander channel

شکل ۱ ویژگی‌های یک آبراهه پیچانرود

وجود پوشش گیاهی در دشت‌های سیلابی پیچیدگی تحلیل جریان در کانال مرکب را افزایش می‌دهد و میزان نیروی پیشران (درگ) اعمال شده توسط جریان به گیاه قابل توجه است. امروزه نیاز به دانش در مورد تأثیر پوشش گیاهی روی ساختار جریان در سیلاب‌دشت‌های پیچانرودها بیشتر شده است. به‌منظور رسیدن هم‌زمان به محافظت در مقابل سیلاب و نیازهای محیطی، آگاهی بهتر از هیدرولیک جریان در آبراهه‌های مرکب با پوشش گیاهی لازم است. (Hamidifar et al., 2013) به بررسی آزمایشگاهی ساختار جریان و فراسنج‌های جریان آشفته در یک آبراهه مرکب مستقیم منشوری پرداختند. آزمایش‌های آنان در دو حالت با و بدون پوشش گیاهی

ویژگی‌های جریان ثانویه پرداختند. نتایج 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 پرنده به عنوان 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. (Kozioł (2015) یک تحقیق آزمایشگاهی با هدف بررسی تغییرپذیری‌های در مقیاس جریان‌های هواپیچه‌های کند و تند (میکرو و ماکرو ادی) در کانال مرکب و تحت تأثیر پوشش گیاهی صلب در سیلاب‌دشت انجام داد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزایش زبری آبراهه منجر به کاهش اندازه طولی هواپیچه‌های تند در کل آبراهه می‌شود. درختان در سیلاب‌دشت‌ها منجر به فروپاشی اندازه هواپیچه‌های کند شد، و اندازه میزان‌های سرعت یکنواخت‌تر شد. (Marjoribanks et al., (2017) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کردند که درک تعامل جریان و توده گیاهی نیازمند تحقیق روی تأثیر پوشش گیاهی بر پویایی زمانی و مکانی جریان است. نیروی کشانه ناشی از پوشش گیاهی موجب افزایش مقاومت کلی جریان، کاهش تنش برشی بستر و در نتیجه کاهش ظرفیت انتقال بار بستر و افزایش تله اندازی و نشست رسوب می‌شود.

(Dupuis et al., (2017) سیلاب‌دشت‌ها را با دو نوع زبری پوشاندند. یک زبری بستر، که نشان‌دهنده یک چمنزار مستغرق بود و همچنین با عنصرهای تراکم ناپذیر (سیلندر) که نشان‌دهنده جنگل‌های آبرفتی است. آنان 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 ممنوم توسط تنش‌های رینولدز مهار شد. در نهایت نتیجه گرفتند که در آبراهه اصلی، هر دو تنش رینولدز و جریان‌های ثانویه به شتاب انتقال ممنوم کمک می‌کند. با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده، به طور کامل مشخص است که ارزیابی و تحقیق در مورد آبراهه‌های مرکب امری ضروری می‌باشد.

پوشش گیاهی کمتر از حالت با پوشش گیاهی است و در دشت سیلابی این موضوع برعکس است. در آرایش موازی با کاهش نسبت L/D در دشت سیلابی، سرعت طولی، سرعت میانگین عمقی، تنش برشی و شدت جریان به میزان ۶۵ درصد کاهش می‌یابد.

(Shiono et al., (2009) تأثیر زبری سیلاب‌دشت روی جریان آبراهه اصلی و شکل‌های بستر در آبراهه مرکب ماریچ را توسط آزمایش‌های آزمایشگاهی بررسی کردند. داده‌های آنان با استفاده از یک LDA و نورنگارسنجی برداشت شد. نتایج نشان داد، هنگامی که زبری سیلاب‌دشت افزایش می‌یابد، جریان‌های ثانویه زیادی در طول آبراهه ماریچ در عمق‌های عمیق‌تر آب رخ می‌دهد و این جریان‌ها موجب به وجود آمدن موج‌هایی در شکل بستر در آبراهه ماریچ می‌شود. مقایسه میزان‌های سرعت در آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت در عمق یکسان، نشان داد که سرعت در موارد سیلاب‌دشت زبر خیلی کندتر از حالت سیلاب‌دشت صاف است که منجر به افزایش اثر متقابل بین جریان آبراهه اصلی و جریان آرام‌تر سیلاب‌دشت می‌شود. (White and Nepf (2007) آزمایش‌های خود را در آبراهه‌ای که بخشی از آن با ردیف‌هایی از میله‌های استوانه‌ای به عنوان نماینده پوشش گیاهی غیر مستغرق کنار رودخانه پر شده بود انجام دادند. آنان در نتایج بیان می‌کنند که یک لایه برشی با ساختار قائم (ورتکس) منظم در مرز آبراهه اصلی و دشت سیلابی تشکیل شده که هر چه به سمت پایین دست حرکت شود اندازه آن‌ها به تعادل بیشتری می‌رسد. این لایه به دو ناحیه قابل تقسیم است: (۱) ناحیه درونی با بیشترین برش که در مجاورت مرز مشترک آبراهه اصلی و دشت سیلابی قرار دارد و نقطه‌ای عطف در نیمرخ‌های سرعت در این ناحیه قرار می‌گیرد. (۲) ناحیه بیرونی که به لایه مرزی شبیه است، در آبراهه اصلی شکل می‌گیرد. ساختار قائم نشان‌دهنده یک جریان عرضی قوی با حرکت جاروبی از آبراهه اصلی و حرکت پرتابی از دشت سیلابی است که عامل ایجاد جریان قوی جرم و اندازه حرکت در عرض فصل مشترک می‌شود. Liu et al., (2013) با انجام آزمایش‌هایی روی آبراهه مرکب با انواع پوشش گیاهی روی سیلاب‌دشت به بررسی

پیچان رود ۰/۲ متر در نظر گرفته شد. به منظور تنظیم عمق جریان و برقراری جریان یکنواخت، از یک سرریز مستطیلی انتهایی استفاده شد. شیب طولی بستر آبراهه اصلی و دشت سیلابی ثابت و میزان آن ۰/۰۰۳ در نظر گرفته شد. جریان آب مخزن اصلی با یک دستگاه پمپ به درون کانال هدایت شد. دبی هر آزمایش با توجه به نسبت عمقی سیلابدشت به آبراهه اصلی در حین انجام آزمایش‌ها و با استفاده از دبی‌سنج مغناطیسی و همچنین از طریق روش دبی حجمی به دست آمد. به منظور از بین بردن آشفتگی و امواج اضافی، یک صفحه مشبک و همچنین مواد کاهنده انرژی بی‌درنگ پس از جریان ورودی به آبراهه استفاده شد. سپس آب خارج شده از آبراهه، وارد مخزن پایین دست و در نهایت به مخزن خروجی هدایت شد. شکل (۲) آبراهه پیچانرود مورد بررسی در آزمایش‌ها و شرایط یاد شده را نشان می‌دهد.

۲-۲- شرایط پوشش و اندازه‌گیری داده‌ها

سرعت لحظه‌ای توسط دستگاه سرعت‌سنج سه بعدی صوتی داپلر (ADV) برداشت شد. پس از آزمایش‌های آبراهه پیچانرود ساده در آزمایش‌های بعدی به منظور تأثیر پوشش گیاهی بر ساختار جریان و آشفتگی، از استوانه‌های پلاستیکی با قطر ۹ میلی‌متر به عنوان پوشش گیاهی صلب در سیلابدشت به صورت غیر مستغرق استفاده شد. با توجه به شکل ۳ آرایش پوشش گیاهی به صورتی بود که در هر ردیف از لبه آبراهه اصلی ۳ سانتی‌متر فاصله داشت و بعد از آن استوانه‌ها به اندازه ۱۰ سانتی‌متر از هم فاصله داشتند. تراکم پوشش گیاهی که به صورت مساحت اشغال شده در واحد سطح بستر بیان می‌شود، برابر با ۰/۷۷ درصد در واحد متر مربع سطح در نظر گرفته شد، که معادل ۱۲۱ المان در متر مربع است. تراکم انتخاب شده در دامنه‌ی میزان‌های به کار رفته در بررسی‌های (Nepf 1999) است. 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. آزمایش‌ها در هر حالت ساده، و با پوشش گیاهی غیرمستغرق،

می‌توان دریافت که عمده این ارزیابی‌ها و تحقیقات انجام شده بیشتر در آبراهه‌های مرکب ساده متقارن و نامتقارن به صورت آزمایشگاهی و حل عددی با استفاده از نرم-افزارهای شبیه‌سازی انجام شده است و کمتر به بررسی آبراهه‌های مرکب مارپیچ که در طبیعت به طور محسوس قابل مشاهده هستند، پرداخته شده است. هدف این تحقیق، بررسی استفاده از پوشش گیاهی به صورت غیرمستغرق در سیلابدشت‌هاست. تا تفاوت‌های به وجود آمده از پوشش گیاهی بر الگوهای جریان پیش آمده در آبراهه اصلی و سیلابدشت‌ها و نقش آن‌ها در حفاظت از سیلابدشت مشخص شود. همچنین 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

۲-۱- ویژگی‌های مدل آزمایشگاهی

این پژوهش در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی مجموعه آزمایشگاه‌های گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد و روی یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر و عرض و ارتفاع به ترتیب ۷۸ و ۵۰ سانتی‌متر انجام گرفت. دیواره و کف کانال از جنس شیشه شفاف در نظر گرفته شد. پیچانرود استفاده شده به منظور بررسی الگوی جریان بنا به بررسی‌های (Shiono 1987) از نوع پیچانرود انتقالی با ضریب پیچانی ثابت ۱/۳ (نسبت طول آبراهه مارپیچ به طول مستقیم بین دو قله)، دارای قوس با طول موج یک و دامنه عرض ۰/۵۸ متر بود. برای تبدیل کانال با مقطع ساده موجود به آبراهه مرکب پیچانی با توجه به بررسی‌های (Hagerman and Williams 2000) و شرایط ساخت آبراهه پیچانرود، پله‌هایی به شکل مارپیچ با عرض حداکثر ۰/۵ متر و ارتفاع یکسان ۰/۱۰ متر به ترتیب به صورت عمودی و افقی و از جنس یونیلیت در مقطع عرضی کانال ساخته شد. همچنین عرض آبراهه اصلی

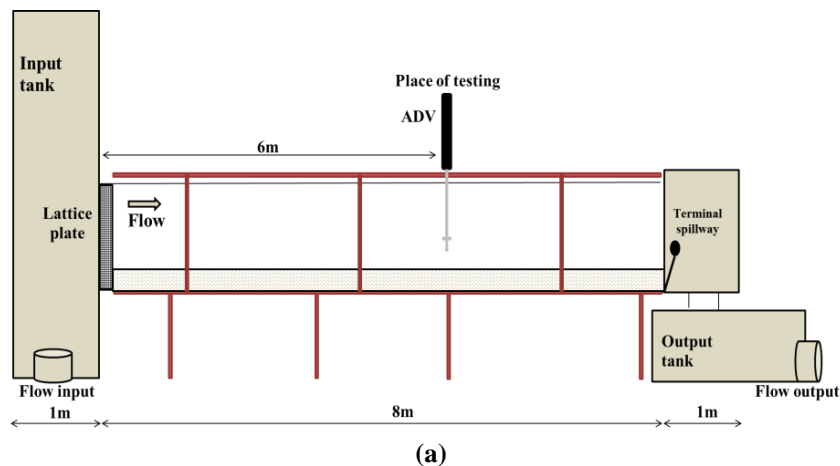


Fig. 2. a) Schematic of the main canal, b) Meander channel prepared for the experiments
 شکل ۲ (a) نمای کلی از فلوم اصلی، (b) آبراهه پیچانرود آماده شده برای انجام آزمایش‌ها

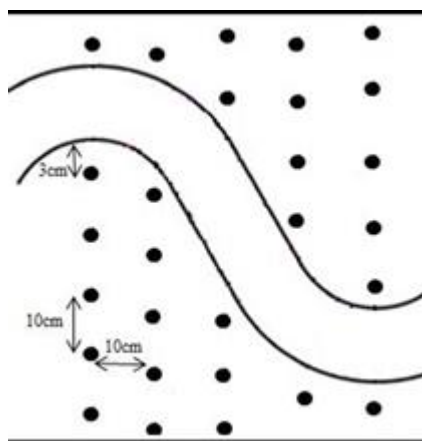


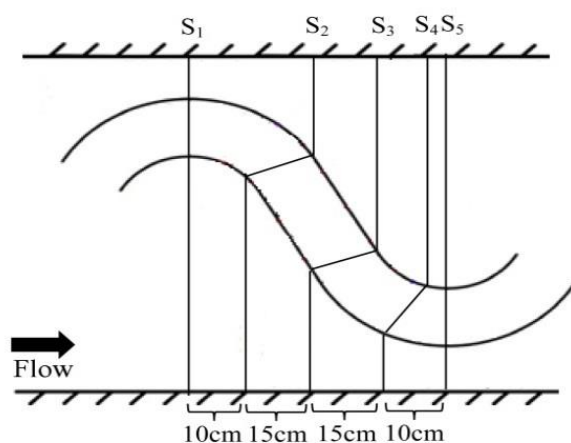
Fig. 3. Distribution of artificial vegetation, a) After being placed in canal, b) Schematic
 شکل ۳ نحوه‌ی قرارگیری میله‌های پلاستیکی به عنوان پوشش گیاهی (a) بعد از قرارگیری در کانال، (b) شماتیک قرارگیری

آبراهه اصلی و نوزده رخ‌نما در مجموع برای هر دو سیلابدشت راست و چپ برداشت شد. فاصله بین رخ‌نماها در نقطه‌های نزدیک به میانه آبراهه اصلی و سیلابدشت دیواره شیشه‌ای کانال یک سانتی‌متر و در آبراهه اصلی سه سانتی‌متر و در سیلابدشت پنج سانتی‌متر در نظر گرفته

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 ۴ در مقطع عرضی پیچانرود انجام شد. برای برداشت سرعت جریان، دست‌کم نه رخ‌نمای سرعت در

با استفاده از نرم‌افزار WinADV که توسط دفتر عمران ایالات متحده (USBR) توسعه داده شده است، پالایش شدند (Wahl, 2000). روش پالایش کردن داده‌ها توسط نرم‌افزار به این صورت است که داده‌های نامناسب با استفاده از پالایش مرحله‌ای یا فازی Goring and Nikora (2002) حذف شدند. بر مبنای دیگر داده‌ها سرعت میانگین نقطه‌ای به دست آمد. شکل ۵ تأثیر پالایش بر حذف داده‌های ناسالم از دوره زمانی یکی از نقطه‌های آزمایش را در نرم‌افزار WinADV را نشان می‌دهد. شکل ۵ قسمت a داده‌های خام را در محدوده سرعت بین ۱۵۰- تا ۲۰۰+ سانتی‌متر بر ثانیه و قسمت b داده‌های پالایش شده در محدوده ۵۰- تا ۱۱۰+ سانتی‌متر بر ثانیه را نمایان می‌کند.

شد. یادآوری این نکته دارای اهمیت است، که با توجه به پیچانی بودن آبراهه برای برداشت داده‌ها در مقاطع مختلف ممکن است تعداد پروفیل‌ها اضافه و کاسته شود. بنابر توصیه Tominaga et al. (1989) به منظور تأثیرناگذاری شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست بر ویژگی‌های جریان در محل اندازه‌گیری، اندازه‌گیری ویژگی‌های جریان باید در محدوده $\frac{2}{3}L$ از ابتدای فلوم انجام گیرد (که L طول فلوم و برابر با ۸ متر مفید است). از این رو اندازه‌گیری داده‌ها در فاصله حدود ۶ متری از ابتدای کانال صورت گرفت. عمق آب با استفاده از عمق‌سنج سوزنی با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. در جدول ۱ شرایط انجام هر کدام از آزمایش‌ها یاد شده است. داده‌های خام برداشت شده توسط دستگاه ADV در آغاز



(b)



(a)

Fig. 4. Indication of a) Placement of the ADV on the chanal, b) Sections specified for data collection by the ADV
شکل ۴ نشان از (a) قرارگیری دستگاه ADV روی آبراهه، (b) مقاطع مشخص شده برای برداشت داده توسط دستگاه ADV

جدول ۱ شرایط جریان در عمق‌های نسبی مختلف در آزمایش‌ها

Table 1 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 ³ /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 | artificial vegetation | 0.35 | 0.155 | 0.055 | 0.020 |
| 5 | artificial vegetation | 0.55 | 0.220 | 0.120 | 0.030 |

انتقال جریان بدلیل اینکه این ناحیه‌ها بیرون از دامنه پيچانرود هستند بیشتر است اما حضور پوشش گیاهی باعث کاهش اندازه سرعت در این ناحیه‌های دشت سیلابی شده است. برابر شکل ۵b هسته سرعت جریان در قسمت محدب آبراهه مرکب یعنی سیلابدشت راست در حالت با پوشش بزرگ‌تر از حالت بدون پوشش است که نشان از انحراف جریان به سمت آبراهه اصلی را دارد. بنظر می‌رسد در سیلاب‌های بزرگ‌تر قسمت محدب سیلابدشت در معرض انتقال رسوب‌ها به پایین دست قرار خواهد گرفت. همچنین در عمق نسبی ۰/۳۵ وجود پوشش (شکل ۵d) نسبت به حالت دیگر سرعت انتقال جریان در درون آبراهه اصلی به ویژه در بازه ۶۳۰ تا ۶۸۰ میلی‌متری کانال کاهش یافته است.

شکل‌های ۷ و ۸ خطوط هم تراز مولفه‌های عرضی و قائم سرعت برای عمق نسبی ۰/۵۵ و ۰/۳۵ در مقطع S₁ را مورد مقایسه قرار داده است. در شکل ۷ تغییر نشانه‌های موجود و گرادیان‌های شدیدی از مولفه‌ی عرضی جریان هم در آبراهه اصلی و هم در سیلابدشت گویای وجود گرداب‌ها و جریان‌های ثانویه عرضی در این منطقه‌ها بدلیل مارپیچ بودن آبراهه و فصل مشترک بین آبراهه اصلی و سیلابدشت می‌باشد. در عمق نسبی ۰/۵۵ تغییرپذیرهای مقطعی مولفه سرعت عرضی در سیلابدشت با پوشش گیاهی بسیار بیشتر از حالت بدون پوشش است. بنظر می‌رسد این تغییرپذیرها بدلیل وجود پوشش گیاهی می‌باشد که موجب تغییرپذیری در اندازه این فراسنج در آبراهه اصلی شده است. برابر شکل ۸ روند خطوط تراز قائم برای هر دو عمق نسبی مشابه ولی همراه با مقداری تفاوت در اندازه و شدت میزان‌های این جزء از سرعت جریان می‌باشد. آنچه مشخص است وجود پوشش استوانه‌ای در سیلابدشت باعث تغییرات در مقدار مولفه قائم سرعت نسبت به حالت بدون پوشش شده است. همچنین پوشش گیاهی روند الگوی جریان برای سرعت قائم در آبراهه اصلی را برای عمق نسبی ۰/۳۵ تغییر داده است. وجود سرعت قائم منفی جریان در مقطع از طرف سیلابدشت راست (سمت چپ شکل‌ها) نشان از ورود جریان به درون آبراهه اصلی را دارد و سرعت‌های عمودی مثبت از طرف

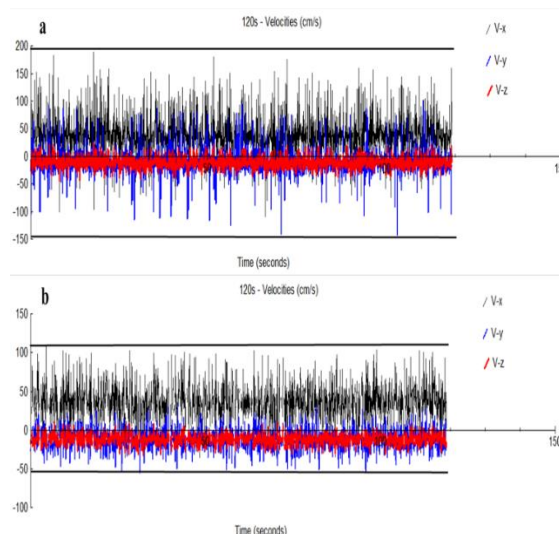


Fig. 5. Time series of data a) raw, b) filtered
شکل ۵ دوره زمانی داده‌های (a) خام، (b) پالایش شده

۳- نتایج و بحث

نخستین نکته قابل توجه از حضور پوشش گیاهی کاهش ظرفیت انتقال توسط آبراهه به دلیل افزایش مقاومت در برابر جریان است، (Marjoribanks et al., 2017). این کاهش دبی در جدول ۱ برای هر دو عمق نسبی آورده شده که همان‌طور که دیده می‌شود میزان درصد کاهش دبی در عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ به ترتیب برابر با ۱۲ و ۲۳ درصد می‌باشد. در شکل ۶ خطوط تراز مولفه طولی سرعت جریان برای هر دو عمق نسبی به همراه حالت‌های با و بدون پوشش گیاهی در مقطع S₁ آورده شده است. شایان یادآوری است که بدلیل ناتوانی دستگاه ADV در اندازه‌گیری جریان در سطح آب به میزان ۵ سانتی‌متر، در عمق نسبی ۰/۳۵ عمق جریان اندازه‌گیری شده در سیلابدشت کم بوده است. تغییرپذیری‌های سرعت به ویژه کاهش سرعت و تغییر نشانه آن در نزدیکی مرز مشترک آبراهه اصلی و سیلابدشت در هر دو عمق نسبی نشان از انتقال جریان به آبراهه سیلابدشت و تغییرپذیری در اندازه ممنوم در مرز مشترک دو آبراهه می‌باشد، (Shiono and Knight (1991) به ویژه در حالت پوشش‌دار به وجود آمدن سرعت کمتر و حتی منفی در مرز مشترک آبراهه اصلی با سیلابدشت‌ها می‌باشد. به ازای هر عمق نسبی، در دو طرف سیلابدشت، بازه صفر تا ۱۰۰ و ۷۰۰ تا ۷۸۰ میلی‌متری مقطع جریان مشاهده می‌شود که سرعت

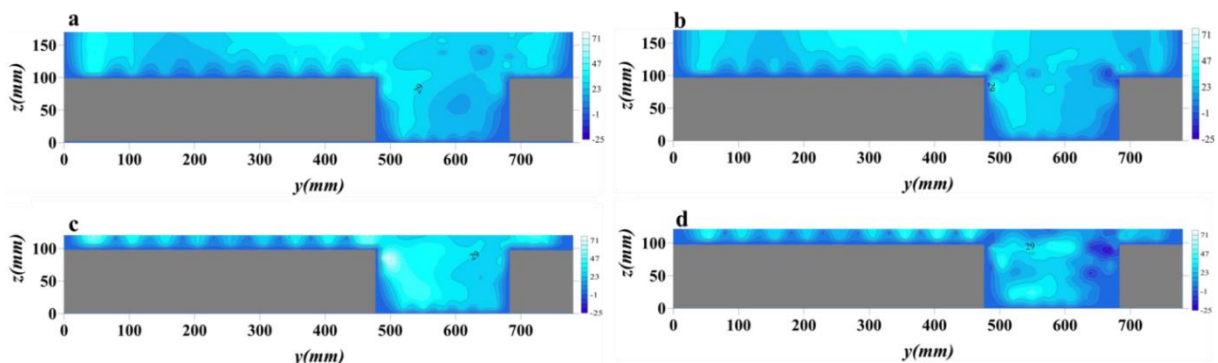


Fig. 6. Longitudinal components of flow velocity (cm/s) for both relative depths a,c) Plain, b,d) artificial vegetation cover
 شکل ۶ تراز مولفه طولی سرعت جریان بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه برای هر دو عمق نسبی (a,c صاف، b,d) با پوشش گیاهی مصنوعی

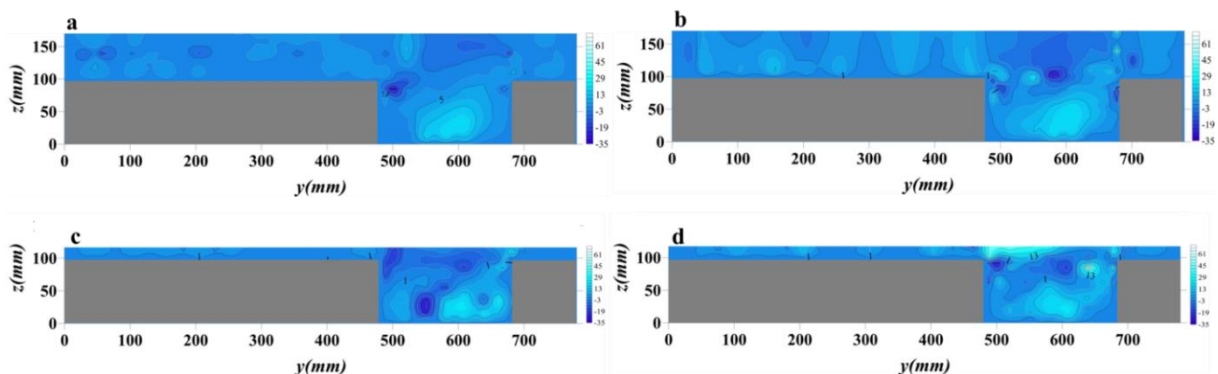


Fig. 7. Transverse components of flow velocity (cm/s) for both relative depths a,c) Plain, b,d) artificial vegetation cover
 شکل ۷ تراز مولفه عرضی سرعت جریان بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه برای هر دو عمق نسبی (a,c صاف، b,d) با پوشش گیاهی مصنوعی

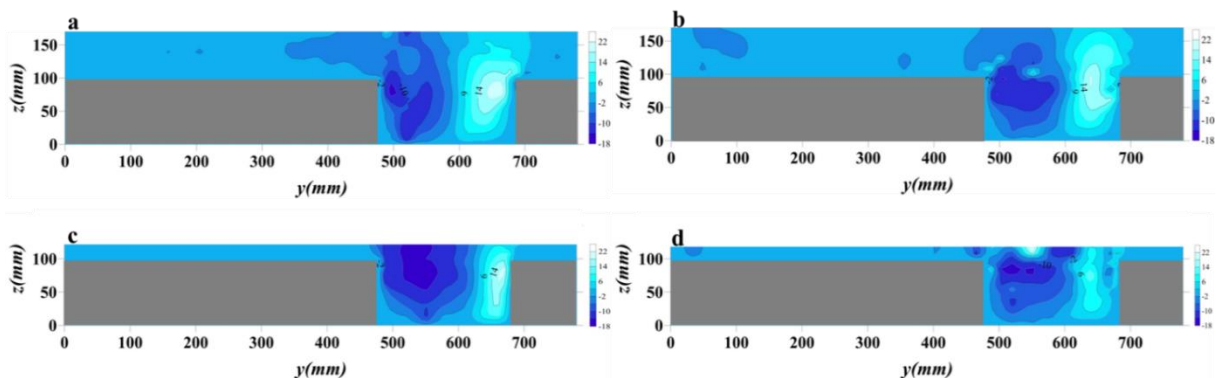


Fig. 8. Vertical components of flow velocity for (cm/s) for both relative depths a,c) Plain, b,d) artificial vegetation cover
 شکل ۸ تراز مولفه قائم سرعت جریان بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه برای هر دو عمق نسبی (a,c صاف، b,d) با پوشش گیاهی مصنوعی

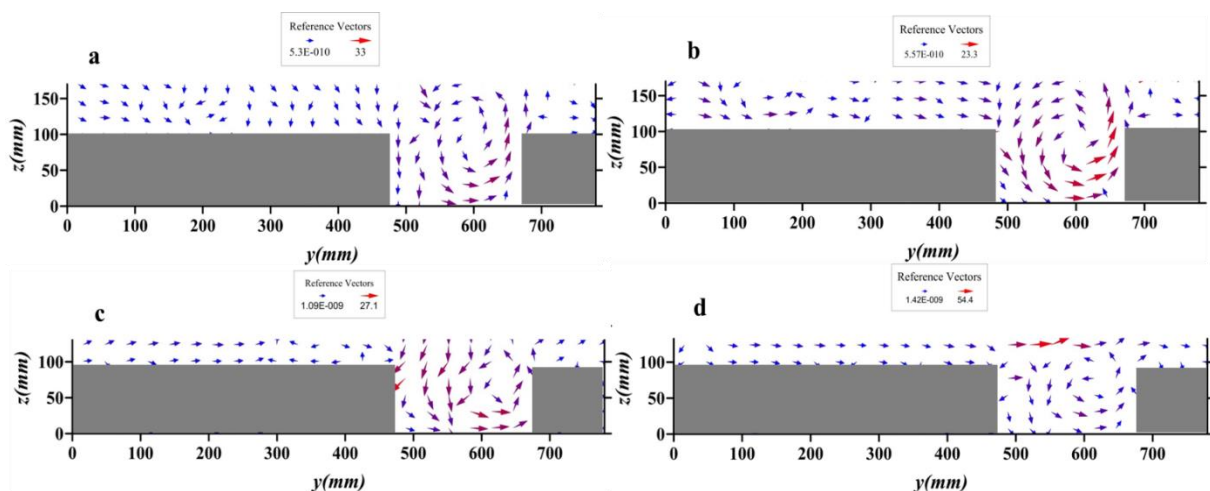
شکل ۹ ارائه شده است. آنچه که مشخص است در هر دو عمق نسبی برای بردارهای سرعت در طرف دیوار سیلابدشت سمت چپ به سمت بالا می‌باشد و در طرف دیگر یعنی دیواره سیلابدشت سمت راست برای این بردارها روبه پایین است. این حرکت بردارها در مقطع S_1 نشان از یک جریان پادساعتگرد در آبراهه اصلی دارد. از نظر کاربردی این جریان پادساعتگرد نقش مهمی در

سیلابدشت چپ نشان از خروج جریان و حرکت روبه بالا جریان در آن سمت از آبراهه اصلی را دارد. در این مقطع اندازه هسته سرعت‌های قائم منفی بزرگتر از هسته مثبت است که نشان از ورود بیشتر جریان از سیلابدشت به آبراهه اصلی را دارد. خطوط بردار سرعت در مقطع S_1 برای نمایان کردن الگوی جریان پیچشی و جریان‌های ثانویه در این مقطع در

وجود آمدن گرداب‌های کوچک و بزرگ در مسیر پایین‌دست است، که نشان از آشفتگی و سه بعدی بودن جریان در آبراهه اصلی و سیلابدشت در آبراهه مرکب پیچانرودی را دارد.

نکته دیگر در مجاورت مرز مشترک بین آبراهه اصلی و سیلابدشت نهفته است، به طوری که گردایان سرعت بسیار زیاد و نامنظم است که به علت جریان‌های با مومنوم ضعیف می‌باشد که به وسیله گردابه‌های عمقی از لایه‌های پایین به لایه‌های بالا منتقل می‌شوند. این رفتار در آزمایش‌های با پوشش گیاهی قابل توجه‌تر شده است به طوری که تغییرپذیری‌ها در این ناحیه‌ها بسیار شدیدتر از حالت بدون پوشش می‌باشد. احتمال دارد بدلیل اینکه جریان توسط پوشش گیاهی به سمت کانال اصلی منحرف می‌شود، در نتیجه در اثر برخورد این جریان با جریان مومنوم ضعیف باعث کاهش بیشتر سرعت جریان میانگین شده است. در حالت کلی با نگاه بر کل نقاط برداشت شده در مقطع‌های، سرعت جریان در حالت بدون پوشش بیشتر از حالت با پوشش است اما وجود پوشش به صورت میله‌ای باعث تنگ شدن مقطع در عرض آبراهه شده که این تنگ‌شدگی‌ها باعث افزایش سرعت در برخی از نقطه‌ها شده است. به طور مثال در مقطع S_1 ، تغییرپذیری‌های سرعت میانگین نسبت به حالت بدون پوشش بین ۳۲ درصد افزایش و ۹۲ درصد کاهش سرعت را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد پوشش گیاهی با وجود

انتقال بار بستر به ویژه از سیلابدشت سمت چپ را برعهده خواهد داشت. همچنین وجود بردارهای سرعت کوچکتر در طرف دیگر مقطع کانال اصلی احتمال ته نشین شدن رسوب‌ها را در شرایط طبیعی نشان می‌دهد. وجود پوشش گیاهی در عمق نسبی ۰/۵۵ باعث کاهش اندازه و مقادیر این بردارها در آبراهه اصلی و سیلابدشت شده است. به نظر می‌رسد وجود پوشش همان‌طور که حین آزمایش‌ها مشاهده شد در سیلابدشت موجب تغییر در الگوها و جهت بردارها شده است. در ادامه شکل ۹c,d این روند تغییرات در عمق نسبی ۰/۳۵ نیز مشاهده می‌شود ولی به طور مشخص وجود پوشش گیاهی در این عمق نسبی باعث انتقال جریان از سیلابدشت راست به سیلابدشت چپ شده است. انتقال جریان از یک سیلابدشت به سیلابدشت دیگر در مقطع عرضی توسط Sellin et al. (1993) مشاهده و گزارش شد. شکل ۱۰ تغییرپذیری‌های عرضی سرعت جریان متوسط طولی میانگین‌گیری شده در عمق جریان را برای مقطع‌های مختلف در شرایط با و بدون پوشش گیاهی نشان می‌دهد. شکل ۱۰ مربوط به عمق نسبی ۰/۵۵ می‌باشد که به علت تعداد نقطه‌های برداشت شده بیشتر در عمق جریان برای بدست آوردن سرعت میانگین است. با توجه به شکل ۱۰ تغییرپذیری‌های سرعت متوسط طولی در عرض کانال بسیار زیاد می‌باشد. تغییرپذیری‌های سرعت متوسط طولی در مقطع عرضی بدلیل وجود پیچ و خم در مسیر جریان و در پی آن به



شکل ۹ بردارهای جریان‌های ثانویه به ازای عمق نسبی ۰/۵۵ و ۰/۳۵ در مقطع S_1 با پوشش گیاهی سمت راست و بدون پوشش سمت چپ

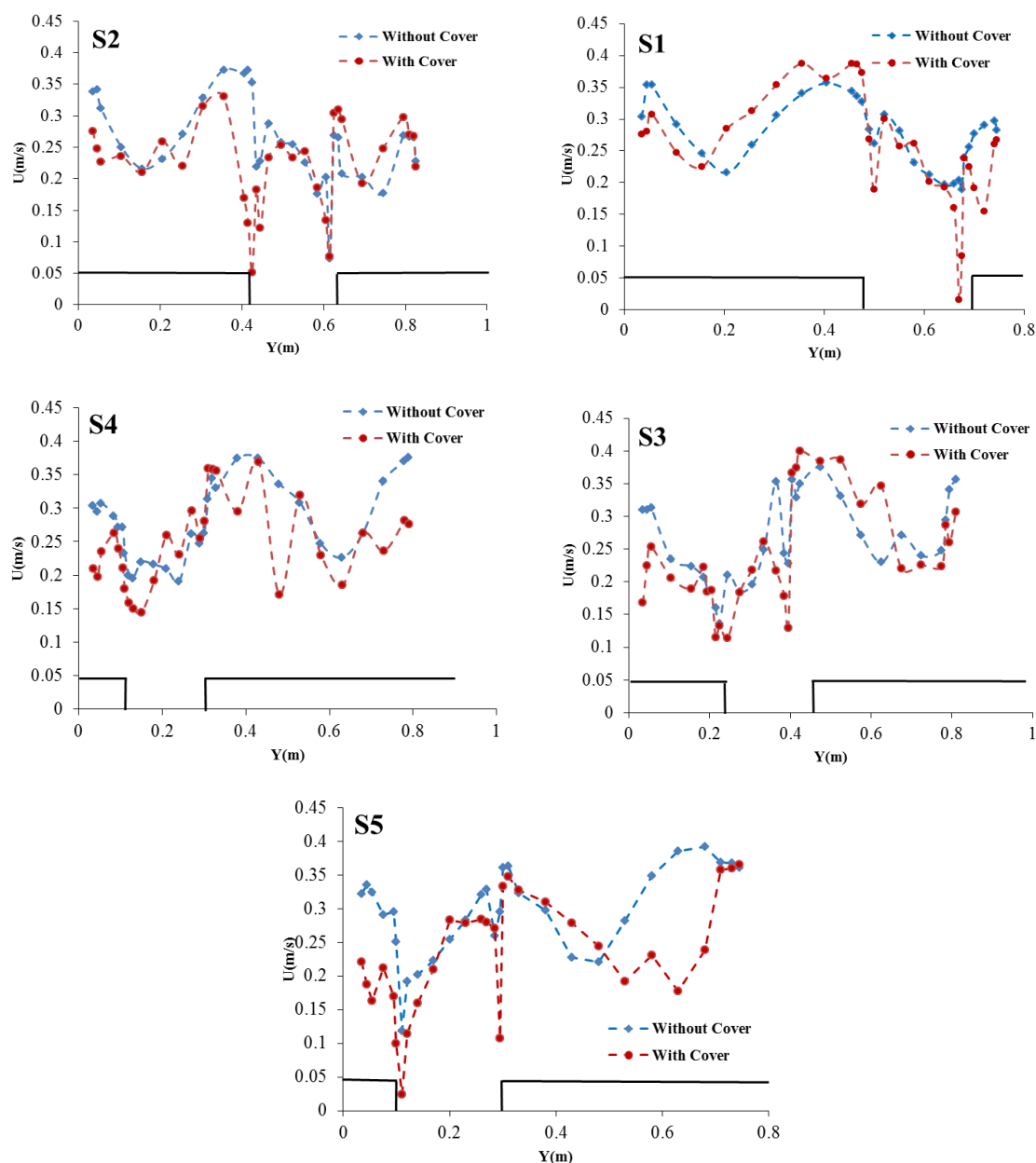


Fig. 10 Transverse average longitudinal velocity profiles averaged at depth of flow at relative depth of 0.55
 شکل ۱۰ تغییرپذیری‌های عرضی سرعت جریان متوسط طولی میانگین‌گیری شده در عمق جریان در عمق نسبی ۰/۵۵

در شکل ۱۰ و برای همه مقاطعها نمایان است وجود سرعت متوسط طولی بیشتر در دو طرف سیلابدشت با فاصله گرفتن از آبراهه اصلی به سمت جدار شیشه‌ای کانال در حالت بدون پوشش می‌باشد. تغییرات عرضی تنش برشی وارد بر کف بستر (τ_b) با استفاده از سرعت برشی به صورت رابطه ۱ به دست آمد و در شکل ۱۱ نمایش داده شد.

$$\tau_b = \rho u_*^2 \quad (1)$$

آنکه دبی جریان را کاهش داده است، اما سرعت‌های جریان را در آبراهه اصلی و پیرامون آن در حد حالت بدون پوشش نگاه داشته و حتی در برخی ناحیه‌ها افزایش داده است که گویای تأثیرگذاری‌های زیاد پوشش گیاهی دشت سیلابی بر هیدرولیک جریان در مقطع‌های مرکب پیچانرودی دارد. بنابراین می‌توان به این ناحیه‌ها برای انتقال جریان در هنگام سیلاب اهمیت بیشتری داد و سازگاری مناسب در این منطقه‌ها پیش‌بینی کرد. آنچه که

نتیجه زبرتر شدن سیلابدشت نسبت به حالت بدون پوشش انتظار می‌رفت که تنش برشی افزایش یابد که با بررسی شکل‌های آمده در شکل ۱۱ برای مقطع‌های مختلف این افزایش به ویژه برای دشت‌سیلابی در بیشتر نقطه‌ها مشاهده می‌شود. (Tominaga and Nezu (1991) در نتایج بررسی‌های خود افزایش تنش برشی را در نتیجه افزایش آشفتگی در نزدیکی بستر گزارش کردند. در این بررسی نیز وجود استوانه‌ها باعث افزایش آشفتگی و به تبع آن افزایش تنش برشی شده است. در برخی منبع‌ها گزارش شده است که پوشش گیاهی باعث کاهش تنش برشی در بستر شده، یک علت مهم می‌تواند تفاوت در نوع پوشش به کار رفته باشد، (Marjoribanks et al., 2017).

معیاری از شدت آشفتگی جریان، انرژی جنبشی آشفتگی آن است که در واقع نمایانگر تبادل مومنوم بین لایه‌های مختلف جریان آشفتگی می‌باشد. به همین منظور برای بررسی جریان‌های آشفتگی، از انرژی جنبشی آشفتگی (TKE) و نیز میانگین انرژی جنبشی جریان (MKE) به ازای واحد جرم که به صورت رابطه‌های ۵ و ۶ تعریف می‌شوند بیان می‌شوند (Davidson, 2004).

$$TKE = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (5)$$

$$MKE = \frac{1}{2}(\overline{U^2} + \overline{V^2} + \overline{W^2}) \quad (6)$$

در رابطه‌های ۵ و ۶ u', v', w' و U, V, W بترتیب نوسان‌های سرعت و سرعت میانگین در جهت‌های X, Y و Z می‌باشند. نوسان‌های سرعت به صورت ریشه میانگین مربعات هر جز سرعت در خروجی داده‌های ADV ارائه می‌شود. در شکل ۱۲ برای مقطع S_1 میزان‌های TKE و MKE برای دو حالت با و بدون پوشش در عمق نسبی ۰/۵۵ مقایسه شده‌اند. با توجه به قسمت مربوط به انرژی جنبشی آشفتگی (TKE) شکل ۱۲، این انرژی دارای بی‌نظمی‌های متفاوت در سراسر عرض آبراهه و افزایش چشم‌گیری در مجاورت مرز مشترک آبراهه اصلی و سیلابدشت می‌باشد. دلیل این نوسان‌های وجود جریان‌های ثانویه و گرداب‌ها در درون آبراهه‌ها و انتقال مومنوم در فصل مشترک دو آبراهه می‌باشد. وجود پوشش گیاهی در مقطع مورد بررسی باعث تغییر در

در این رابطه ρ جرم مخصوص آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب، u_* سرعت برشی در هر رخ‌نما بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد. برای جریان آبراهه‌های روباز مقدار سرعت برشی بستر برای تخمین مقاومت جریان و انتقال رسوب اهمیت قابل توجهی دارد. روش‌های چندی برای محاسبه این پارامتر وجود دارد که در این مطالعه از روش مشخصات لایه مرزی که توسط Afzalimehr and Anctil (2000) ارائه شد استفاده شد، که با استفاده از کل نیم‌رخ سرعت و مبانی نظریه‌ای لایه مرزی به صورت رابطه ۲ به دست آمد.

$$u_* = \frac{(\delta_* - \theta)u_{\max}}{c\delta_*} \quad (2)$$

در این رابطه δ_* ضخامت جابه‌جایی لایه مرزی، θ ضخامت اندازه حرکت لایه مرزی، u_{\max} بیشینه سرعت اندازه‌گیری شده در هر نیم‌رخ، c ضریب تجربی و برابر ۴/۴ در نظر گرفته شد. میزان‌های δ_* و θ از روابط ۳ و ۴ بصورت زیر به دست می‌آیند.

$$\delta_* = \int_0^h \left(1 - \frac{u}{u_{\max}}\right) dy \quad (3)$$

$$\theta = \int_0^h \frac{u}{u_{\max}} \left(1 - \frac{u}{u_{\max}}\right) dy \quad (4)$$

با توجه به شکل ۱۱ در مقطع‌های مختلف میزان تنش برشی در عرض آبراهه دارای مقادیر متغیری می‌باشد، که از سه بعدی بودن جریان در آبراهه مرکب پیچانی خبر می‌دهد. توجه به این نکته به ویژه در برآورد میزان انتقال رسوب اهمیت دارد. برابر شکل ۱۱ میزان‌های تنش برشی در کف آبراهه اصلی و قوس محدب سیلابدشت بیشتر از دیگر ناحیه‌ها است. اما در مجاورت مرز مشترک آبراهه اصلی و سیلابدشت جهشی ناگهانی در میزان مقادیر تنش رخ می‌دهد که می‌توان آن را به افزایش مومنوم از آبراهه اصلی به دشت‌سیلابی نسبت داد. افزایش تنش بستر نشان از افزایش نیروی وارده بر مواد و رسوب‌ها در آبراهه‌های طبیعی می‌باشد که منجر به افزایش انتقال رسوب‌ها به پایین‌دست و آبشستگی کناره‌های آبراهه شود. این روند را محققانی همچون Rajaratnam and Ahmadi (1981) و Tominaga and Nezu (1991) در نتایج بررسی‌های خود گزارش کرده‌اند. با توجه به پوشش به کار رفته و در

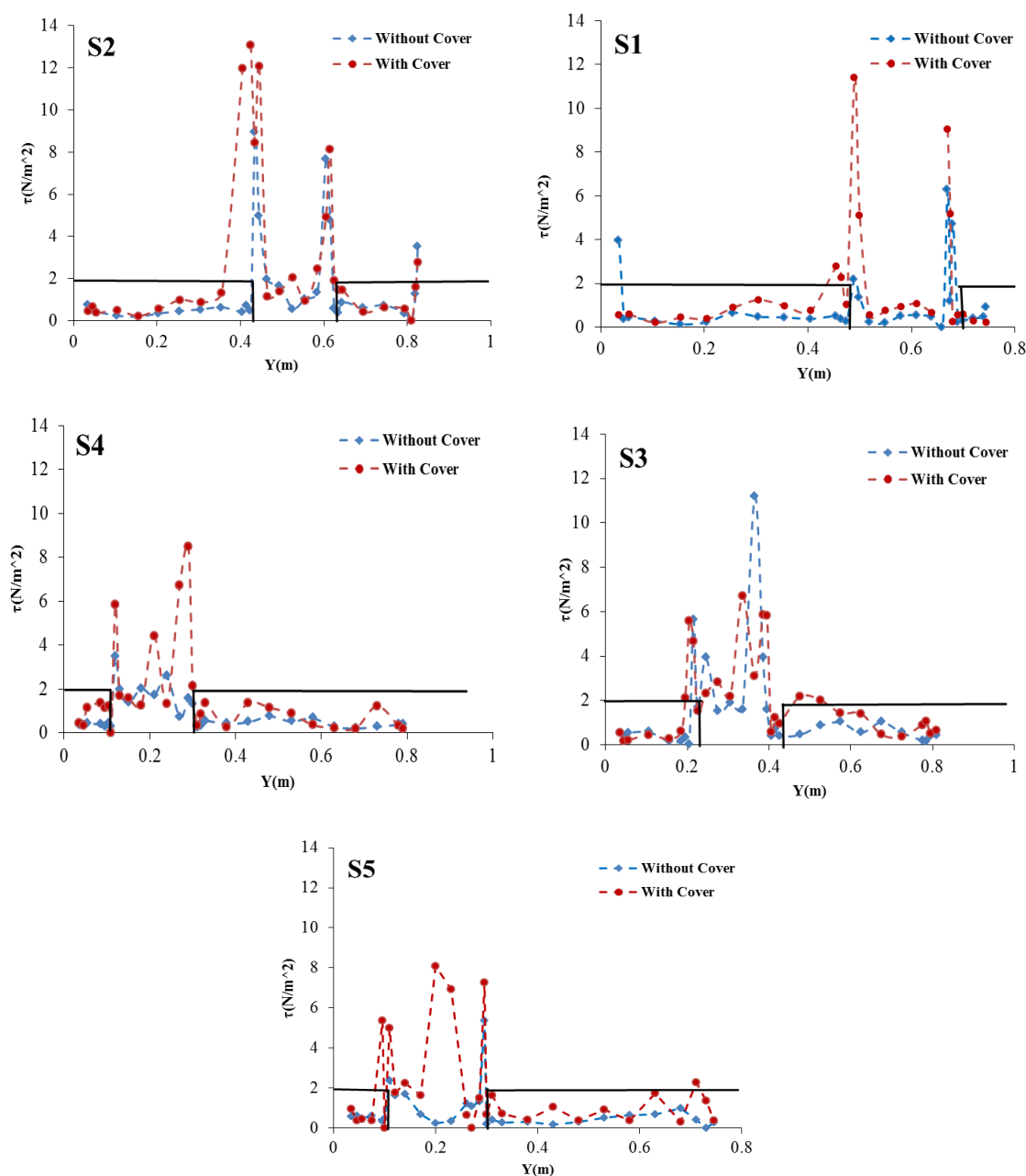


Fig. 11. Transverse changes in bed shear stress at relative depth of 0.55

شکل ۱۱ تغییرپذیری‌های عرضی تنش برشی بستر در عمق نسبی ۰/۵۵ در مقطع‌های مختلف

مقطع S₁ شکل ۹ این همانندی روند تغییرپذیری‌ها مشخص می‌شود. آنچه از شکل ۱۲ می‌توان دریافت آن است که پوشش گیاهی باعث افزایش میزان انرژی میانگین آشفتگی در قسمت ۰/۲ تا ۰/۴۸ سیلابدشت (قسمت محدب سیلابدشت) شده است. همچنین میزان‌های MKE در کانال اصلی نیز به نسبت سرعت متوسط طولی افزایش و به میزان‌های MKE حالت بدون پوشش نزدیک می‌باشند. با فاصله گرفتن از آبراهه اصلی و

مقادیر TKE در عرض کانال اصلی شده بخصوص میزان‌های این فراسنجه در فاصله ۰/۴۸ تا ۰/۶۰ متری افزایش یافته است. ولی در مجموع باعث کاهش انرژی جنبشی آشفتگی در سیلابدشت شده است. با توجه به تعریف MKE و با توجه به اینکه مولفه طولی سرعت بیشتر از دو بعد دیگر است انتظار می‌رفت که روند تغییرپذیری‌های MKE همانند روند تغییرپذیری‌های سرعت جریان متوسط باشد. با مقایسه انجام گرفته با

عمق نسبی باعث کاهش اندازه سرعت طولی در دشت سیلابی و جابه‌جایی بیشینه‌ی هسته سرعت شده است (شکل ۵a,b). همچنین حضور پوشش گیاهی سبب شده تا الگوی خطوط هم‌تراز سرعت طولی در آبراهه اصلی در هر دو عمق نسبی جریان نسبت به حالت ساده تغییر کند و میزان‌های مطلق سرعت در آبراهه اصلی بدون پوشش نیز بزرگتر از حالت با پوشش ظاهر شوند (شکل ۵).

۲- در عمق نسبی ۰/۵۵، تغییرپذیری‌های مقطعی مولفه سرعت عرضی و قائم در سیلابدشت با پوشش گیاهی بسیار بیشتر از حالت ساده است.

۳- وجود پوشش گیاهی در مقطع S_1 برای عمق نسبی ۰/۵۵، باعث کاهش اندازه و میزان‌های بردارهای ثانویه سرعت در کانال اصلی و سیلابدشت شده است (شکل ۹). به نظر می‌رسد وجود پوشش در سیلابدشت موجب تغییر در الگوها و جهت بردارها شده است. این روند تغییرپذیری‌های در عمق نسبی ۰/۳۵ نیز مشاهده می‌شود، ولی به طور مشخص وجود پوشش گیاهی در این عمق نسبی باعث انتقال جریان از سیلابدشت راست به سیلابدشت چپ شده است (شکل ۹d).

۴- سرعت متوسط طولی جریان در مقطع عرضی آبراهه در حالت ساده در اکثر نقطه‌ها بیشتر از حالت با پوشش است به طور مثال در مقطع S_1 ، تغییرپذیری‌های سرعت متوسط نسبت به حالت بدون پوشش حداکثر بین ۳۲ درصد افزایش و ۹۲ درصد کاهش سرعت را نشان می‌دهد (شکل ۱۰). در شکل ۱۰ در مقطع‌های مختلف به نظر می‌رسد پوشش گیاهی با توجه به آنکه دبی جریان را کاهش داده است، اما سرعت‌های متوسط طولی جریان را در کانال اصلی و پیرامون آن در حد حالت بدون پوشش نگاه داشته و حتی در برخی ناحیه‌ها افزایش داده است که گویای تاثیرگذاری‌های زیاد پوشش گیاهی دشت سیلابی بر هیدرولیک جریان در مقطع‌های مرکب پیچانرودی دارد.

۵- میزان‌های تنش برشی بستر در عرض آبراهه مرکب دارای میزان‌های متغیری است که از سه بعدی بودن جریان در آبراهه مرکب پیچانی خبر می‌دهد. میزان‌های

به خصوص در بیرون از دامنه پیچانرود میزان‌های MKE حالت بدون پوشش بیشتر از حالت با پوشش می‌باشد.

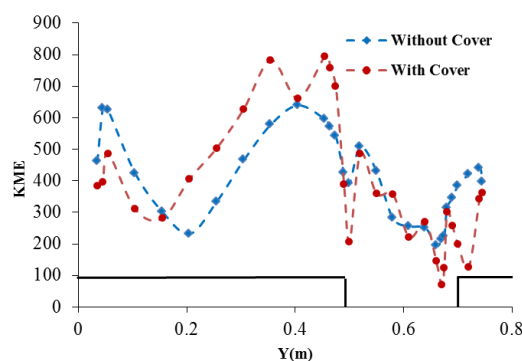
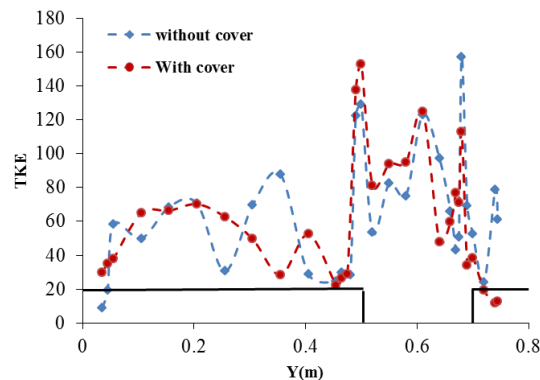


Fig. 12 TKE and MKE values for the two modes with and without coverage at a relative depth of 0.55
 شکل ۱۲ میزان‌های TKE و MKE برای دو حالت با و بدون پوشش در عمق نسبی ۰/۵۵

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی، به بررسی تاثیر پوشش گیاهی صلب غیر مستغرق (استوانه‌ای) موجود در سیلابدشت یک آبراهه مرکب پیچانرود و در دو عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ با یک تراکم ثابت پرداخته شد. برای بررسی ساختار و الگوی جریان در شرایط با و بدون پوشش گیاهی یاد شده، از سرعت‌سنج صوتی داپلر (ADV) استفاده شد. به طور خلاصه می‌توان به نکته‌های زیر از نتایج این بررسی اشاره کرد:

۱- حضور پوشش گیاهی موجب کاهش ظرفیت انتقال آب به دلیل افزایش مقاومت در برابر جریان شده است. میزان درصد کاهش دبی در عمق نسبی ۰/۳۵ و ۰/۵۵ به ترتیب برابر با ۱۲ و ۲۳ درصد می‌باشد. پوشش گیاهی در هر

| | |
|------------|----------------------------------|
| ρ | جرم مخصوص آب (kg/m^3) |
| δ_* | ضخامت جابه‌جایی لایه مرزی (m) |
| θ | ضخامت اندازه حرکت لایه مرزی (m) |

۶- سپاسگزاری

از کارکنان آزمایشگاه هیدرولیک گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد و بویژه مهندس علی پرموده صمیمانه قدردانی می‌شود.

۷- منابع

Afzalimehr, H. and Anctil, F. (2000). Accelerating shear velocity in gravel bed channels. *J. Hydrol. Sci.*, 45, 113-124.

Davidson, P.A. (2004). *Turbulence: An introduction for scientists and engineers*, Oxford University Press.

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.

Goring, D.G. and V. I. Nikora. (2002). Despiking acoustic doppler velocimeter data. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 128(1), 117-126. Discussion: 129(6), 484-489.

Güneralp, I., Abad, J.D., Zolezzi, G. and Hooke, J. (2012). Advances and challenges in meandering channels research, *Geomorphology*, 163, 1-9.

Hagerman, J.R. and Williams, J.D. (2000). Meander Shape and the Design of Stable Meanders. In: *Proceedings American Water Resources Association, Specialty Conference, Anchorage, Alaska, April*.

Hamidifar, H., Omid, M.H. and Keshavarzi, A. (2013). Mean Flow and Turbulence in Compound Channels with Vegetated Floodplains. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 14(3), 51-66. (In Persian)

Hamidifar, H., Omid, M.H. and Keshavarzi, A. (2015). Effect of Floodplain Submerged and Non-submerged Vegetation on the Transverse Mixing Coefficient of Pollutants. *Journal of Hydraulics*. 10(1), pp. 13-23. (In Persian)

Hooke, J.M. and Yorke, L. (2010). Rates, distributions and mechanisms of change in meander morphology over decadal timescales, *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1601-1614

تنش برشی در کف آبراهه اصلی و قوس محدب سیلابدشت بیشتر از دیگر ناحیه‌ها است (شکل ۱۱).

۶- وجود پوشش گیاهی در مقطع S_1 در مجموع باعث کاهش انرژی جنبشی آشفتگی (TKE) در سیلابدشت و افزایش آن در آبراهه اصلی شده است. همچنین میزان‌های انرژی میانگین جنبشی (MKE) در کانال اصلی نیز به میزان‌های آن در حالت بدون پوشش نزدیک است و با فاصله گرفتن از آبراهه اصلی و به ویژه در بیرون از دامنه پیچانرود میزان‌های MKE حالت ساده بیشتر از حالت با پوشش می‌باشد (شکل ۱۲).

در پایان از جنبه کاربردی این نوع پوشش مصنوعی و نتایجی که در این مقاله به آن‌ها اشاره شد می‌توان چنین برداشت کرد که وجود استوانه‌ها باعث انحراف بیشتر جریان به سمت آبراهه اصلی مارپیچ شده است. وجود پوشش بنظر می‌رسد باعث افزایش سرعت در ناحیه‌های محدب سیلابدشت می‌گردد، این امر در نهایت موجب انتقال بیشتر مواد بستر در این ناحیه‌ها نسبت به حالت بدون پوشش در طبیعت می‌شود که نیاز به سازکاری مناسب دارد. اما در دیگر ناحیه‌ها این پوشش برای حفاظت سیلابدشت مؤثر است.

۵- فهرست نشانه‌ها

| | |
|------------|---|
| Dr | عمق نسبی (-) |
| TKE | انرژی جنبشی آشفتگی (m^2/s^2) |
| MKE | انرژی میانگین جنبشی (m^2/s^2) |
| u_* | سرعت برشی (m/s) |
| u_{\max} | سرعت بیشینه (m/s) |
| U | سرعت میانگین طولی (m/s) |
| V | سرعت میانگین عرضی (m/s) |
| W | سرعت میانگین قائم (m/s) |
| u' | نوسان‌های سرعت طولی (m/s) |
| v' | نوسان‌های سرعت عرضی (m/s) |
| w' | نوسان‌های سرعت قائم (m/s) |
| y | عمق جریان (m) |
| h | عمق جریان در آبراهه اصلی (m) |
| τ_b | تنش برشی بستر (N/m^2) |

نشانه‌های یونانی

- Engineers-Water Maritime and Energy, 101(2), 99-111.
- Seminara, G. (2006). Meanders, *Journal of Fluid Mechanics*, 554, 271- 297.
- Shiono, K. and Knight, D.W. (1991). Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *Journal of fluid Mechanics*, 222, 617-646.
- Shiono, K. and Muto, Y. (1998). Complex flow mechanisms in compound meandering channels with overbank flow. *Journal of fluid Mechanics*, 376, 221-261.
- 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. and Nezu, I. (1991). Turbulent structure in compound open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(1), 21-41.
- 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
- Wahl, T.L. (2000). Analyzing ADV data using WinADV, ASCE Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management, Minneapolis, Minnesota, USA, July 30-August 2.
- White, B.L. and H.N. Nepf. (2007). Shear instability and coherent structures in shallow flow adjacent to a porous layer. *Fluid Mech.* 593, 1-32.
- Hosseinzadeh, M.M., Shirud Isa, N. and Esmaili, R. (2018). Undesirable effects of sand and gravel harvesting on river system, Case study: Shirud River Tonekabon (Mazandaran Province). *Journal of Earth Science Researches*, 9(34), 165-175. (In Persian)
- karami moghadam, M. and Sabzevari, T. (2017). Effect of Vegetation on Shear Stress and Flow Velocity in Compound Channels Using Flow3D Model. *Journal of Hydraulics*, 12(3), 29-40. (In Persian)
- Kozioł, A. (2015). Scales of turbulent eddies in a compound channel. *Acta Geophysica*, 63(2), 514-532.
- 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.
- Marjoribanks, T.I., Hardy, R.J., Lane, S.N. and Parsons, D.R. (2017). Does the canopy mixing layer model apply to highly flexible aquatic vegetation? Insights from numerical modelling. *Environmental Fluid Mechanics*, 17(2), 277-301.
- Nepf, H. (1999). Drag, turbulence, and diffusion in flow through emergent vegetation. *Water Resources Research*, 35(2), 479-489.
- Rajaratnam, N. and Ahmadi, R. (1981). Hydraulics of channels with floodplains. *J. Hydraul. Res.* 16(2), 139-150.
- Sellin, R.H.J., Ervine, D.A., and Willetts, B.B. (1993). Behaviour of meandering two-stage channels. *Proceedings of the Institution of Civil*