



دانشگاه گورگان
فصلنامه علمی کشاورزی و منابع طبیعی گورگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و نهم، شماره سوم، ۱۳۹۸

۱۶۰-۱۴۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.10336.2478

بررسی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان در چیدمان‌های مختلف ساقه‌های مصنوعی در طراحی کانال ماهی قایقرو

* معصومه مرزبان^۱ و محسن مسعودیان^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۰۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱۵

چکیده

سابقه و هدف: سدها و بندهای انحرافی از جمله سازه‌های تقاطعی در مسیر رودخانه‌ها هستند که مانع مهاجرت ماهی‌ها به بالادست می‌شوند. راه‌ماهی با ایجاد مسیری مطمئن، دسترسی ماهیان به زیستگاه موردنظرشان را فراهم می‌آورد. کانال ماهی‌قایقرو که از ایده‌های جدید طراحی محسوب می‌شود، به دلیل داشتن عملکردی همسو با محیط‌زیست، موردتوجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است. در این راه‌ماهی، بر خلاف راه‌ماهی‌های متداول، از علف‌های مصنوعی برای استهلاک انرژی استفاده می‌شود. در واقع این علف‌های مصنوعی، برس‌هایی متشکل از المان‌های عمودی هستند که نقش ساقه‌های گیاهی را در کانال ایفا می‌کنند. علف‌های مصنوعی علاوه بر ایجاد محیطی امن برای عبور ماهیان، به دلیل خمش مناسب ساقه‌ها، قایق‌های کوچک نیز می‌توانند به راحتی بر روی آن عبور کنند. برس‌ها با چیدمان‌های مختلفی در کانال ماهی‌قایقرو قرار گرفته می‌شوند، که هر یک از این چیدمان‌ها تأثیر متفاوتی بر میزان استهلاک جریان دارند. هدف اصلی از انجام این پژوهش بررسی آزمایشگاهی اثر این چیدمان‌ها بر عمق جریان در حوضچه‌ها و سرعت جریان در محل شکاف ورودی ماهیان است و به انتخاب چیدمانی که از نظر هیدرولیکی عملکرد مناسب‌تری دارد، پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها: این آزمایش در کانالی به طول ۱۲ متر و عرض ۰/۵ متر با چهار چیدمان متفاوت از برس‌ها با تعداد المان‌های ثابت انجام شد. برس‌ها از لوله‌های پلی‌اتیلنی به ضخامت ۶ میلی‌متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر که بر روی صفحات PVC به ضخامت ۱۶ میلی‌متر تعبیه شده، ساخته شدند. مدل‌ها با توجه به چیدمان موردنظر، در کف کانال ثابت شدند. عمق جریان در مرکز حوضچه‌ها توسط عمق‌سنج و سرعت جریان در شکاف ورودی ماهی، از کف کانال تا سطح آب به فاصله هر ۱ سانتی‌متر، توسط میکرومولینه اندازه‌گیری شد. همچنین با آنالیز ابعادی پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضریب زبری (n) تعیین شد.

* مسئول مکاتبه: masumeh.marzban@yahoo.com

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که پارامتر بی‌بعد عمق استغراق (y/h) نسبت به دیگر پارامترهای بی‌بعد، بیش‌ترین تأثیر را روی ضریب زبری (n) دارد. در شرایط مستغرق، با افزایش عمق استغراق (y/h) ضریب زبری (n) کاهش و در شرایط غیرمستغرق با افزایش عمق استغراق (y/h) ضریب زبری (n) افزایش می‌یابد، بیش‌ترین ضریب زبری (n) در آستانه استغراق رخ می‌دهد. میزان افزایش ضریب زبری (n)، در شرایط نیمه مستغرق نسبت به شرایط مستغرق در چیدمان اول ۱۸ درصد، چیدمان دوم ۵ درصد، چیدمان سوم ۶ درصد و چیدمان چهارم حدود ۲۰ درصد می‌باشد. یافته‌ها بیانگر آن است، در شکاف ورودی ماهی، روند نمودار سرعت جریان (v) از کف کانال تا سطح آب افزایشی است و محدوده سرعت بین $0/6$ تا $0/7$ متر بر ثانیه است. مطابق یافته‌ها، روند افزایش سرعت تا ارتفاع المان‌ها بسیار کند و در اعماق بالاتر از المان‌ها، روند افزایش سرعت زیاد است. علاوه بر این، نتایج این پژوهش نشان داد، روند نمودارهای دبی اشل برای چیدمان‌ها همواره افزایشی است ولی در شرایط غیرمستغرق نمودار با شیب بیش‌تری نسبت به شرایط مستغرق افزایش می‌یابد. با بررسی چیدمان‌ها در نمودارهای دبی بی‌بعد (Q^*) نیز می‌توان دریافت، محدوده ضریب زبری (n) چهار چیدمان در یک شرایط ثابت آزمایشگاهی، متفاوت است و در چیدمان چهارم ضریب زبری (n) تا حدود ۹۰ درصد افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل، آرایش برس‌ها تأثیر به‌سزایی در میزان ضریب زبری دارند که در این پژوهش چیدمان چهارم با بیش‌ترین همپوشانی، بالاترین ضریب زبری را در کانال ایجاد می‌کند. در نتیجه با اجرای این چیدمان در کانال ماهی‌قاپرو علاوه بر امکان تردد قایق در کانال، محیطی امن برای ماهیان ایجاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پلکان ماهی‌رو، سرعت جریان، ضریب زبری، علف‌های مصنوعی، کانال ماهی‌قاپرو

مقدمه

تردد قایق‌ها مورد توجه بسیاری در کشورهای اروپایی قرار گرفته است. در راه‌ماهی‌های متداول با ایجاد ساختارهای بتنی شرایط هیدرولیکی جریان کنترل می‌شود تا فضای مناسب برای عبور ماهیان فراهم شود؛ اما در طراحی کانال ماهی‌قاپرو از المان‌های ساقه‌ای شکل که بر روی صفحه‌های مسطح با چینش منظم قرار گرفته‌اند، استفاده شده است. این ساقه‌های مصنوعی با ایجاد زبری به‌طور قابل ملاحظه‌ای ظرفیت آبراهه را کم می‌کنند و جریان آب را به تأخیر می‌اندازند و میزان اثرگذاری آن‌ها بر مقاومت جریان با توجه به تراکم، نحوه توزیع و جنس ساقه‌ها متغیر است (۱۰). ریچارد هاسینگر (۲۰۰۴) به معرفی و ارائه اصول کلی در طراحی و بهره‌برداری کانال ماهی‌قاپرو پرداخته است. نتایج حاصل از پژوهش‌ها

امروزه برخی از فعالیت‌های بشری مانند ساخت سد و بندها در مسیر رودخانه‌ها مشکلات زیادی برای محیط‌زیست ایجاد کرده است. این سازه‌ها اگرچه از نظر تأمین و توزیع آب عملکرد مطلوبی دارند اما از نظر زیست‌محیطی آسیب جدی به حیات آبریان می‌رسانند. همچنین مانعی برای تردد ماهیگیران و حاشیه‌نشینان رودخانه محسوب می‌شوند. به همین دلیل در نظر گرفتن فضایی برای عبور ماهیان و تردد قایق‌ها امری ضروری است. با بررسی مطالعات و کارهای اجرایی که در زمینه راه‌ماهی‌ها صورت گرفته، کانال ماهی‌قاپرو به دلیل ایجاد شرایط هیدرولیکی سازگار با شرایط زیست‌محیطی، عدم رسوب‌گذاری و پایین بودن هزینه‌های نگهداری و ایجاد معبری برای

و سرعت جریان و همچنین نوع و ارتفاع پوشش گیاهی در آزمایشگاه سازمان حفاظت خاک ایالت کارولینای جنوبی واقع در شهر اسپارتانبورگ پژوهش‌هایی انجام دادند. حاصل این آزمایش‌ها ارائه یک سری ضرایب زبری کوتر و مانینگ در کانال‌های کشت شده با عرض $0/3-1/2$ متر و شیب کناره‌ها متفاوت بود (۲). چپو و تان (۱۹۹۲) به بررسی تأثیر بوته‌های کاشته شده در کانال، بر ضریب اصطکاکی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد ساقه‌های سخت بوته‌های کشت شده مسیر آب را اطرافشان منحرف ساخته و آشفتگی زیادی ایجاد می‌کنند. همچنین تراکم بوته‌ها و عمق جریان، تأثیر مهمی بر ضریب اصطکاکی دارد (۱). لی و شن (۱۹۷۳) اثر درختان در دشت‌های سیلابی را، بر جریان و رسوبات مورد بررسی قرار دادند، با انجام آزمایش‌ها روی ساقه‌های استوانه‌ای مختلف به این نتیجه رسیدند که الگوی قرارگیری ساقه‌ها بر روی دبی جریان تأثیر مهمی دارد (۹). نهال و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر گیاهان غیرمستغرق بر جریان پرداختند، آزمایش‌ها بر روی مدل مصنوعی گیاه آکاروس کالاموس انجام شد و به این نتیجه رسیدند: عمق، دبی و ضریب زبری به تراکم و نحوه قرارگیری بوته‌ها بستگی دارد و با افزایش عمق جریان در شرایط غیرمستغرق ضریب زبری افزایش می‌یابد. همچنین با وجود پوشش گیاهی سرعت متوسط کاهش می‌یابد (۱۰). فتحی‌مقدم و دریکوندی (۲۰۱۲) اثر پوشش گیاهی غیرمستغرق بر ضریب زبری مانینگ در رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند ضریب زبری با افزایش سرعت جریان کاهش می‌یابد و کاهش عمق جریان و تراکم پوشش گیاهی موجب کاهش ضریب زبری می‌شود (۳). قلی‌نژاد و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر پوشش گیاهی

نشان داد، بلوک‌های علفی در کانال موجب کاهش مقاومت جریان می‌شود و سرعت جریان در شکاف ورودی ماهی حدود $0/86$ تا 1 متر بر ثانیه و سرعت در حوضچه‌ها از $0/1$ تا $0/3$ متر بر ثانیه می‌باشد (۵). گروه مهندسیین هیدرو-سولار به سرپرستی مارکوس هیتزمن (۲۰۰۷) در طراحی یک نیروگاه برقابی بر روی سد آيو واقع در رودخانه تور، در کانال ماهی‌رو از علف‌های مصنوعی که به صورت تناوبی دو و سه دسته در هر ردیف چیده شدند، برای ایجاد افت انرژی استفاده نمود. نتایج نشان داد، سرعت بین دسته‌ها حدود 1 متر بر ثانیه و در پشت‌المان‌ها حدود $0/2$ تا $0/3$ متر بر ثانیه می‌باشد (۷).

مایر (۲۰۰۶) به بررسی کانال متناوب مطبق پرداخت. در طراحی مایلر سه ردیف از برس‌ها در ناحیه‌ای به طول $1/5$ متر و شیب کف $1:12$ قرار داده شده و انتهای ناحیه، کانالی فاقد برس به طول $1/7$ متر است، که در واقع همان حوضچه آرامش می‌باشد. این الگو به صورت متناوب در کانال تکرار می‌شود (۶). هدایتی و همکاران (۲۰۱۴) مطالعاتی در زمینه طراحی کانال ماهی‌قایقرو برای سدهای لاستیکی شمال ایران انجام دادند. با طراحی سه چیدمان و انجام مدل آزمایشگاهی، به این نتیجه رسیدند، علف‌های مصنوعی موجب کاهش سرعت متوسط در حوضچه‌ها به میزان ۷۰ درصد می‌شوند. همچنین نشان دادند، با افزایش عمق جریان آب تا تراز استغراق ضریب مانینگ افزایش می‌یابد و برعکس در شرایط مستغرق، افزایش عمق جریان باعث کاهش ضریب مانینگ می‌شود (۸). همچنین در رابطه با نقش پوشش گیاهی و ضریب زبری هیدرولیکی در دشت‌های سیلابی مطالعات زیادی صورت گرفته است. کوک و کامبل از نخستین پژوهشگرانی بودند که در سال ۱۹۳۶ برای به دست آوردن رابطه‌ای بین زبری هیدرولیکی جریان با عمق

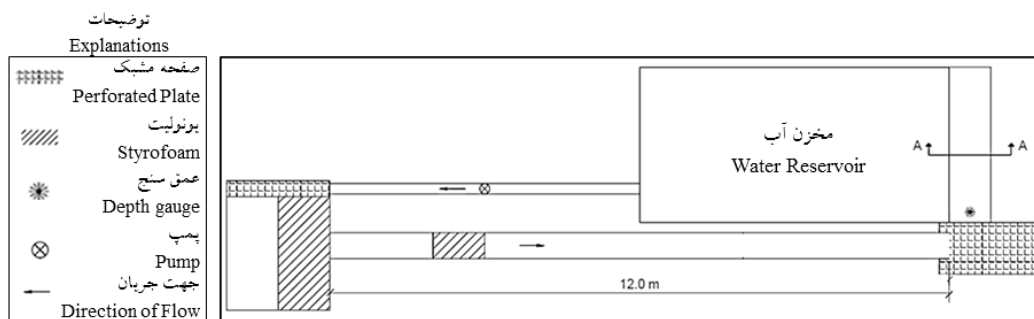
بر روی شرایط هیدرولیکی جریان در کانال ماهی قایقرو پرداخته شد، تا مناسب‌ترین چیدمان برای طراحی این راه‌ماهی تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی شیب‌پذیر مستطیلی به عرض ۰/۵ متر، ارتفاع ۰/۸ متر و طول ۱۲ متر، با جنس دیواره‌ها و کف شیشه انجام شد. کانال بوسیله یک سیستم بازگردانی شامل مخزن ذخیره، پمپ، مخزن آرام‌کننده جریان در بالادست و مخزن انتهایی در پایین‌دست کانال توانایی ایجاد جریان دائمی را دارا بوده است. دبی جریان از سه پمپ با مجموع دبی ۸۰ لیتر بر ثانیه تامین شده که با استفاده از شیر فلکه تنظیم و با سرریز مثلی که در خروجی فلوم تعبیه شده، اندازه‌گیری می‌شد.

دشت‌های سیلابی بر هیدرولیک جریان در کانال‌های مرکب پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پوشش گیاهی، موجب کاهش سرعت و دبی جریان در دشت‌های سیلابی و کل کانال شده است (۴).

در نواحی ساحلی و مشخصاً در ایران در مناطق مازندران و گیلان، بسیاری از ماهیگیران قایق‌های خود را در مسیر رودخانه به دریا و بالعکس حرکت می‌دهند. با توجه به این‌که سازه‌های بتنی احداث شده مانع این حرکت می‌شوند، اعتراض ماهیگیران منطقه را به دنبال داشته است. از آنجایی‌که در کانال ماهی‌قایقرو امکان تردد قایق وجود دارد، جایگزین مناسبی برای سازه‌های بتنی می‌باشد. از طرفی به لحاظ متعدد بودن چیدمان‌ها در کانال ماهی‌قایقرو و نو بودن ایده آن، نیاز به انجام مطالعات بیشتر، در این زمینه می‌باشد. به همین دلیل در پژوهش حاضر به بررسی اثر چند چیدمان مختلف سازه‌های مصنوعی



شکل ۱- اجزای فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده.

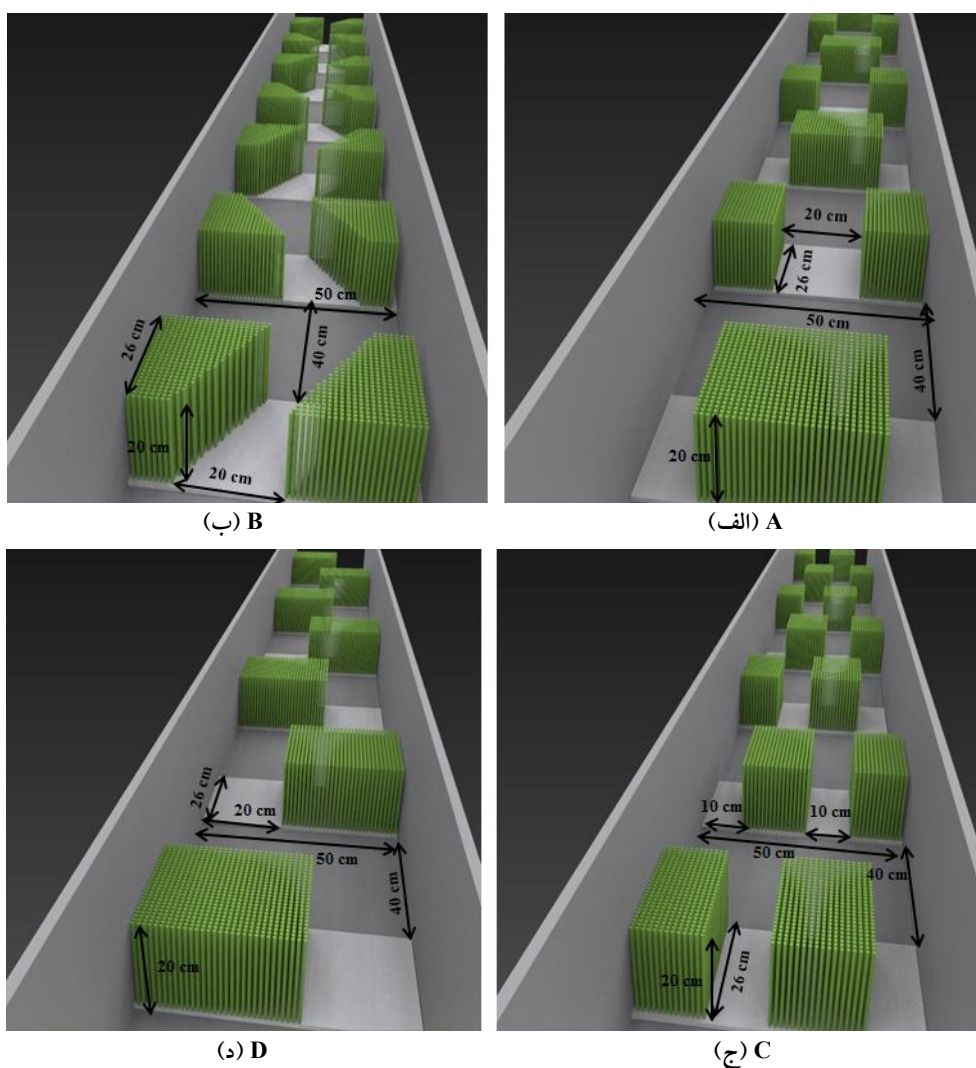
Figure 1. Parts of used experimental flume.

طبق این تئوری نیروی ثقل و برشی، نیروهای مؤثر بر جریان هستند که ناشی از ویسکوزیته، زبری دیواره‌ها و نیروی درگ روی گیاهان می‌باشند و مجموع این نیروها در جهت جریان مساوی صفر است. در نتیجه تعداد سازه‌ها بر اساس تعادل نیروی ثقل در حجم کنترل و نیروی درگ ناشی از وجود المان‌های پلی‌اتیلنی در هر ردیف محاسبه شد (۱۱). طبق

طراحی و ساخت مدل: مدل مورد استفاده برای طراحی چیدمان‌ها، برس می‌باشد. ابعاد بر اساس ماهی کپور به‌عنوان ماهی طراحی برای کانال ماهی‌قایقرو، در مقیاس ۱ به ۳ در نظر گرفته شده است. تئوری‌های مختلفی برای پیش‌بینی شرایط هیدرولیکی ناشی از پوشش گیاهی در مجاری‌های روباز ارائه شده است. در این پژوهش از تئوری وانوالژن استفاده شده است.

به مربع‌هایی به ضلع ۱ سانتی‌متر، سوراخ‌هایی با مت ۶ میلی‌متری در مرکز هر یک از این مربع‌ها ایجاد شد. هر یک از سوراخ‌های ایجاد شده از یکدیگر ۴ میلی‌متر فاصله دارند. سپس ساقه‌ها که در اندازه‌های ۲۰ سانتی‌متر برش داده شده بودند، در طول ۳۰ سانتی‌متر از این صفحات، درون سوراخ‌ها قرار گرفتند و ۲۰ سانتی‌متر فضای باقی‌مانده از ۵۰ سانتی‌متر برای عبور ماهی در نظر گرفته شد. در مجموع چهار چیدمان برای برش‌ها مطابق شکل در نظر گرفته شد.

محاسبات تعداد المان‌های پلی‌اتیلنی در هر ردیف ۷۸۰ عدد و عرض بازشدگی بین برس‌ها برای عبور ماهی، ۲۰ سانتی‌متر محاسبه شد؛ که این مقدار باید در هر چیدمان رعایت گردد. با رعایت این قوانین در هر ردیف برس‌هایی به ابعاد ۲۶*۳۰ سانتی‌متر طراحی شد. برای تهیه برس‌ها، لوله‌های پلی‌اتیلنی به قطر ۶ میلی‌متر بر روی صفحات PVC به ضخامت ۱۶ میلی‌متر نصب شدند. با رعایت معیارهای طراحی صفحات PVC به هفت صفحه با ابعاد ۲۶*۵۰ سانتی‌متر برش داده شدند و پس از مشبک کردن آن‌ها

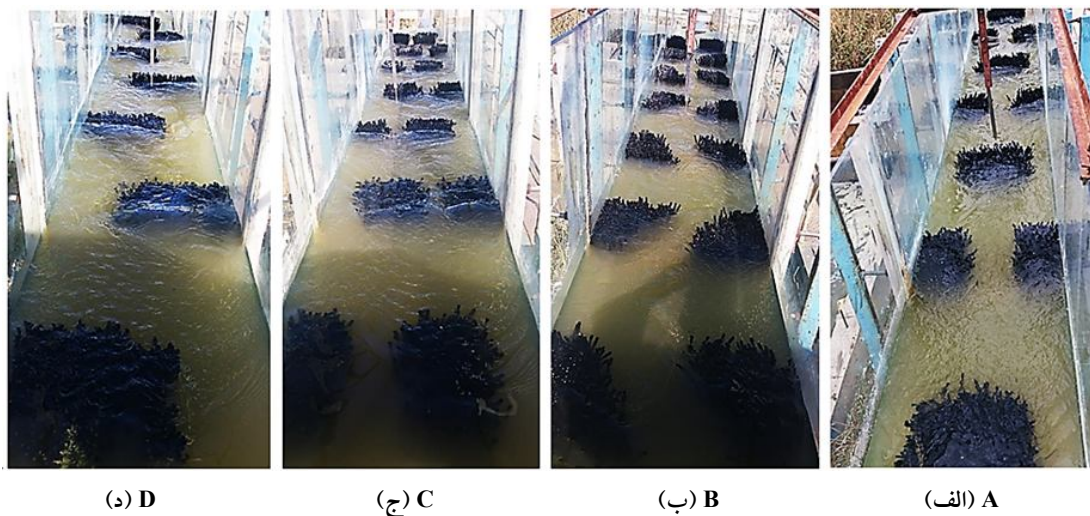


شکل ۲- چیدمان‌های مورد بررسی (الف) چیدمان اول، (ب) چیدمان دوم، (ج) چیدمان سوم و (د) چیدمان چهارم.

Figure 2. Investigated arrangements, First arrangement (A), Second arrangement (B), Third arrangement (C), Fourth arrangement (D).

آزمایش اندازه‌گیری شد، تا محدوده سرعت در بازشدگی‌ها تعیین شود. شکل ۳ نمایی از چیدمان‌ها در آستانه استغراق را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۳ هر چهار چیدمان دارای هفت ردیف می‌باشند. در چیدمان اول برس‌ها در هر ردیف به صورت تناوبی در وسط و کنار دیواره‌ها قرار گرفتند. در چیدمان دوم برس‌ها در هر ردیف به صورت دوزنقه‌ای در مسیر جریان قرار گرفتند. در چیدمان سوم هر ردیف شامل دو برس و دو بازشدگی است، به طوری که برس‌ها در هر ردیف مقابل بازشدگی‌ها قرار گرفتند. در چیدمان چهارم هر ردیف شامل یک برس و یک بازشدگی است که هر برس مقابل بازشدگی قرار گرفته است. لازم به ذکر است در تمامی چیدمان‌ها مجموع طول بازشدگی‌ها و طول برس‌ها ثابت می‌باشند.

نحوه انجام آزمایش: آزمایش‌ها برای چهار چیدمان، با هشت دبی و برای هر دبی در سه شیب ۱۰، ۱۵، ۲۰ در هزار انجام شد. شیب‌ها توسط جک هیدرولیکی که در بدنه کانال تعبیه شده بود، تنظیم شد. همچنین یک سری آزمایش برای کانال بدون پوشش در دبی‌های فوق با شیب ۲۰ در هزار انجام شد. دلیل انتخاب دبی‌ها، شیب‌ها و چیدمان‌های مختلف پوشش گیاهی برای آزمایش، سوابق آزمایشگاهی مشابه، شرایط نزدیک به واقعیت در کانال ماهی‌قاپرو می‌باشد. در مجموع ۱۰۴ آزمایش برای بررسی این چهار چیدمان انجام شد. اندازه‌گیری سطح آب در سه حوضچه اول در نه مقطع توسط عمق‌سنج انجام شد. سرعت جریان در بازشدگی بین برس‌ها در جهت جریان غالب توسط میکرومولینه در اعماق مختلف جریان به هر ۱ سانتی‌متر برای حداکثر دبی در



شکل ۳- نمایی از چیدمان‌ها (الف) چیدمان اول، (ب) چیدمان دوم، (ج) چیدمان سوم و (د) چیدمان چهارم.

Figure 3. The view of arrangements, First arrangement (A), Second arrangement (B), Third arrangement (C), Fourth arrangement (D).

زیر نوشت و با استفاده از آنالیز ابعادی گروه‌های بدون بعد را به دست آورد.

$$f_n = f_0(y, g, h, V, V_*, b, \mu, \rho, S_0, B, D, l, C_d) \quad (1)$$

آنالیز ابعادی: بر اساس خصوصیات هندسی، سینماتیکی و دینامیکی جریان عوامل موثر بر ضریب مقاومت پوشش گیاهی در برابر جریان را می‌توان طبق رابطه

$$\frac{Q}{\sqrt{gSb^5}} = Q^* \quad (4)$$

$$f\left(\frac{y}{h}, S, Q^*\right) = \frac{V}{V_*} \quad (5)$$

$$\frac{V}{V_*} = a_1 \left(\frac{y}{h}\right)^{a_2} (S)^{a_3} (Q^*)^{a_4} \quad (6)$$

طبق رابطه ۶ و رابطه ۷ که همان شعاع هیدرولیکی می‌باشد، رابطه ۸ نتیجه می‌شود.

$$\frac{V}{V_*} = n^{-1} R^{1/6} g^{-1/2} \quad (7)$$

$$n = a_1 \left(\frac{y}{h}\right)^{a_2} (S)^{a_3} (Q^*)^{a_4} R^{1/6} \quad (8)$$

نتایج و بحث

در این بخش پارامترهای بی‌بعد در برابر ضریب زبری برای هر چهار چیدمان رسم و نتایج با هم مقایسه گردید و به تعیین روابط معنادار برای چیدمان‌ها در شرایطی که ساقه‌ها مستغرق هستند، پرداخته شده است. در شکل ۴ تأثیر عمق استغراق بر ضریب زبری نشان داده شده است. ضریب زبری با توجه به مشخص بودن دبی، عمق و شیب جریان از رابطه مانینگ محاسبه گردید. مطابق شکل در شرایطی که ساقه‌ها نیمه‌مستغرق هستند با افزایش عمق استغراق ضریب زبری افزایش می‌یابد و در شرایط مستغرق با افزایش عمق استغراق ضریب زبری کاهش می‌یابد. در حالت نیمه‌مستغرق به دلیل غالب بودن ارتفاع ساقه‌ها نسبت به عمق آب، آشفتگی‌هایی در جریان مستقیم آب ایجاد می‌شود در نتیجه شاهد افزایش ضریب زبری هستیم. در شرایط مستغرق به دلیل غالب بودن عمق آب به ارتفاع ساقه‌ها، مسیر جریان در سطح آب مستقیم است در نتیجه شاهد

پارامترهای ذکر شده در رابطه ۱ عبارتند از: عمق آب (y (m))، شتاب ثقل (g (m.s⁻²))، ارتفاع ساقه مصنوعی (h (m))، جرم مخصوص آب (ρ (kg.m⁻³))، لزجت دینامیکی (μ (N.s.m⁻²))، سرعت متوسط جریان آب (V (m.s⁻¹))، سرعت برشی جریان (V_* (m.s⁻¹))، عرض بازشدگی (b (m))، ضریب درگ (C_d)، شیب کف کانال (S_0)، تراکم ساقه‌ها (D (%))، عرض کانال (B (m)) و طول حوضچه (L (m)) است. در این پژوهش از روش باکینگهام برای تعیین پارامترهای بی‌بعد استفاده شده است. از بین پارامترهای مذکور سه متغیر اصلی سرعت، ارتفاع آب و جرم مخصوص که به ترتیب نماینده واحد زمان، طول و جرم می‌باشند، به‌عنوان متغیر تکراری انتخاب شدند. با انجام آنالیز، رابطه ۲ به دست آمد.

$$f_n = f_1(Fr, Re, \frac{y}{h}, \frac{y}{b}, \frac{y}{B}, \frac{y}{l}, \frac{V_*}{V}, S_0, D, C_d) \quad (2)$$

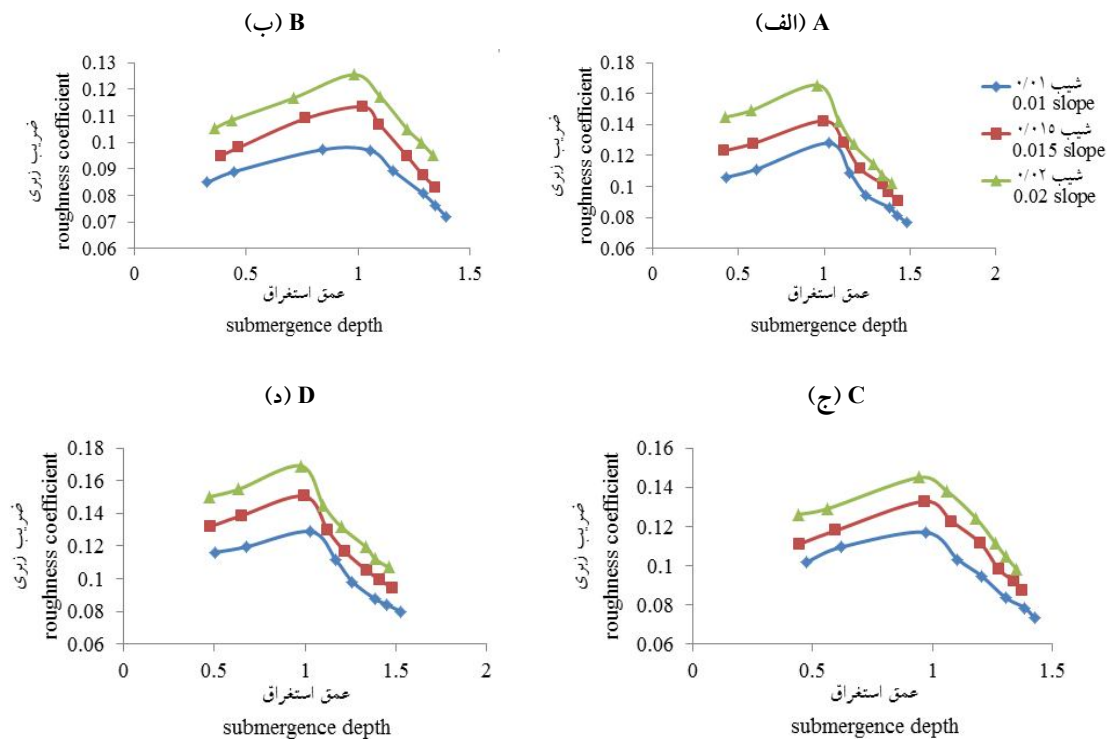
سرعت برشی برای جریان‌های آشفتده و بر روی دیواره، به صورت زیر است.

$$V_* = \sqrt{gRS} \quad (3)$$

در تمامی آزمایش‌های جریان زیربحرانی است. با توجه به این‌که عدد رینولدز در آزمایش‌هایی در محدوده (۴۹۰۰۰-۸۰۰۰۰) بوده، جریان در ناحیه کاملاً آشفتده فرض شده است. از آنجایی‌که ساقه‌ها به شکل استوانه‌های صلب می‌باشند، مقدار C_d در تمامی آزمایش‌های مربوط به هر چیدمان ثابت خواهد بود. همچنین تعداد ساقه‌ها در واحد سطح، ثابت است. در نتیجه تراکم برس در تمامی آزمایش‌ها ثابت می‌باشد. اثر نسبت عرض کانال و عرض بازشدگی به عمق آب را می‌توان در پارامتر دبی بی‌بعد، به صورت رابطه ۴ تعریف نمود و با حذف پارامترهای ثابت در رابطه ۲، رابطه ۵ حاصل می‌شود.

درصد می‌باشد؛ و بیش‌ترین ضریب زبری در آستانه استغراق رخ می‌دهد. به‌طور کلی محدوده تغییرات ضریب زبری بین ۰/۰۷ تا ۰/۱۸ می‌باشد، که برای چیدمان‌های مختلف این محدوده متغیر است.

کاهش ضریب زبری هستیم. میزان افزایش ضریب زبری در حالت نیمه‌مستغرق نسبت به شرایط مستغرق در چیدمان اول ۱۸ درصد در چیدمان دوم ۵ درصد در چیدمان سوم ۶ درصد و در چیدمان چهارم ۲۰

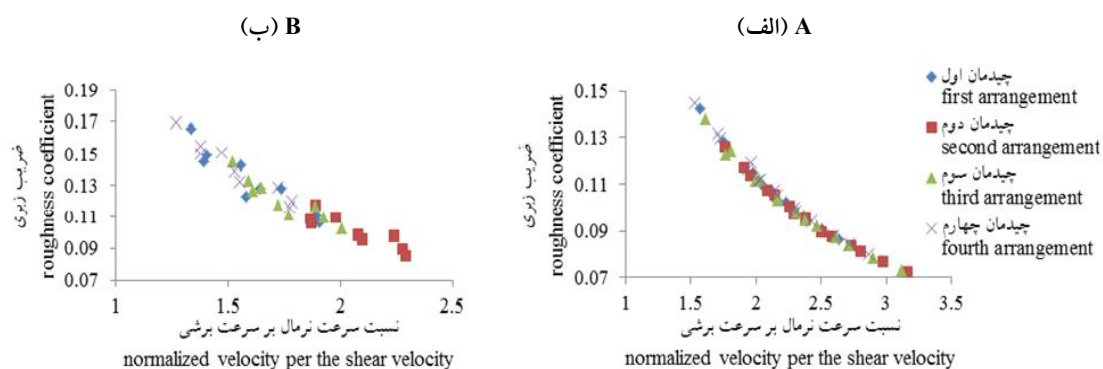


شکل ۴- رابطه بین عمق استغراق و ضریب زبری برای چیدمان‌های مختلف الف) چیدمان اول، ب) چیدمان دوم، ج) چیدمان سوم و د) چیدمان چهارم.

Figure 4. The relationship between submergence depth and roughness coefficient for different arrangements, First arrangement (A), Second arrangement (B), Third arrangement (C), Fourth arrangement (D).

توضیح داد که ساقه‌های مصنوعی موجب افت جریان و بالا آمدن سطح آب می‌شوند، در نتیجه سبب کاهش سرعت جریان می‌شوند. در شرایط مستغرق محدوده ضریب زبری بین ۰/۰۸ تا ۰/۱۵ و در شرایط غیرمستغرق محدوده ضریب زبری بین ۰/۱۱ تا ۰/۱۷ است.

شکل ۵ رابطه بین سرعت نسبی و ضریب زبری را در هر چهار چیدمان در دو شرایط مستغرق و غیرمستغرق نشان می‌دهد. نسبت سرعت متوسط به‌سرعت برشی با ضریب زبری رابطه معکوس دارد به‌عبارتی با افزایش سرعت نسبی مقدار ضریب زبری کاهش می‌یابد و برعکس. این امر را چنین می‌توان

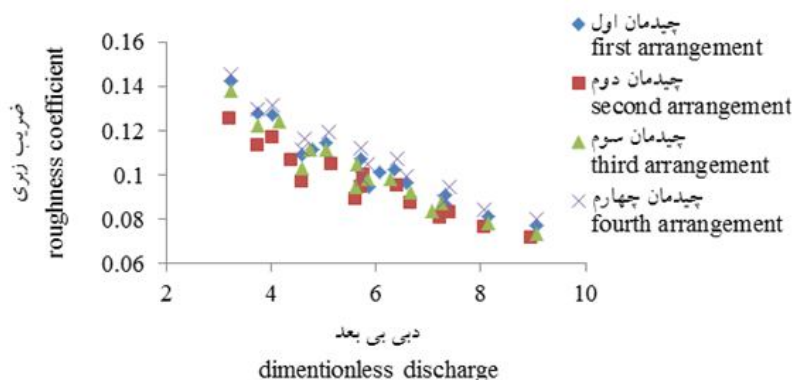


شکل ۵- رابطه بین سرعت نرمال بر سرعت برشی با ضریب زبری برای چهار چیدمان (الف) شرایط مستغرق، (ب) شرایط غیرمستغرق.

Figure 5. The relationship between normalized velocity per shear velocity and roughness coefficient for different arrangements, submerged condition (A), non-submerged condition (B).

مقدار ضریب زبری کاهش می‌یابد و برعکس. همچنین می‌توان دریافت، در یک محدوده مشخص، چیدمان چهارم بیش‌ترین ضریب زبری و چیدمان دوم کم‌ترین ضریب زبری را ایجاد می‌کند.

در شکل ۶ رابطه بین ضریب زبری و دبی بی‌بعد در چهار چیدمان در شرایط مستغرق نشان داده شده است. دبی بی‌بعد در حالت مستغرق با ضریب زبری رابطه معکوس دارد به عبارتی با افزایش دبی بی‌بعد

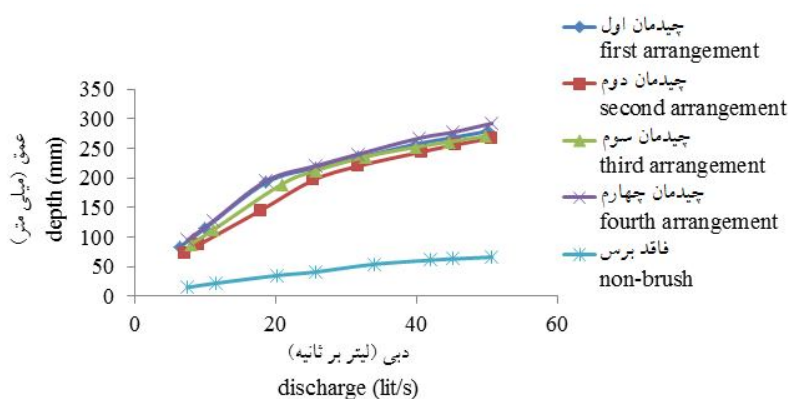


شکل ۶- رابطه بین ضریب زبری و دبی بی‌بعد برای چهار چیدمان در شرایط مستغرق.

Figure 6. The relationship between dimensionless discharge and roughness coefficient for different arrangements in the submerged condition.

ساقه‌ها (در شرایط مستغرق)، شیب نمودار کاهش می‌یابد. از طرفی نتایج نشان می‌دهد برای رسیدن به عمق مشخص در چیدمان چهارم دبی کم‌تری نسبت به چیدمان‌های دیگر نیاز است، در نتیجه تأثیر وجود برس بر روی عمق جریان، در چیدمان چهارم بیش‌تر از چیدمان‌های دیگر است.

شکل ۷ رابطه دبی- عمق را برای چیدمان‌های مختلف و کانال فاقد برس در شیب ۲ درصد را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۷ در کانال فاقد برس منحنی دبی- عمق با شیب ملایمی افزایش می‌یابد. در شرایط با پوشش گیاهی روند نمودار افزایشی ولی با شیب متغیر است. در عمق‌های پایین‌تر از ارتفاع ساقه‌ها، شیب نمودار زیاد است و در اعماق بالاتر از ارتفاع

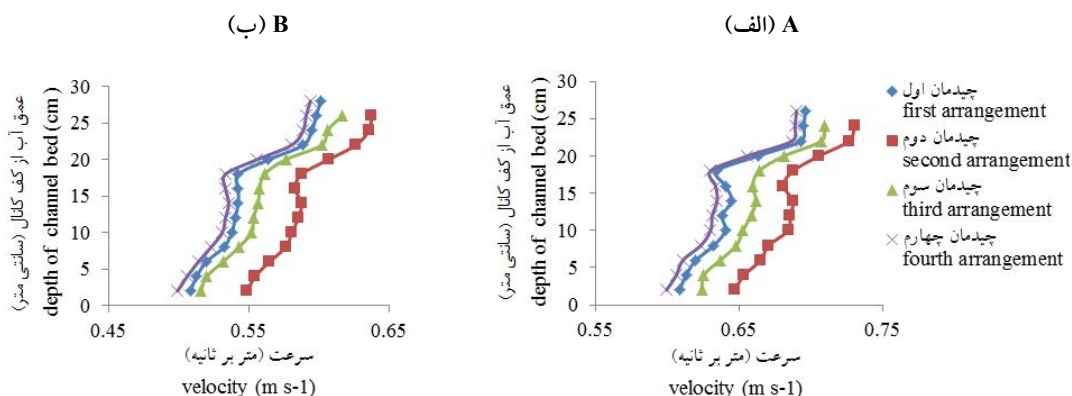


شکل ۷- منحنی دبی- عمق برای چیدمان‌های مختلف در شیب ۰.۰۲٪.

Figure 7. The relationship between depth and discharge for different arrangements in 2% slope.

اندازه‌گیری سرعت در جهت جریان غالب صورت گرفته است. طبق نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که برای اعماق بیش‌تر از ۲۰ سانتی‌متر (ارتفاع ساقه‌ها)، با افزایش عمق، سرعت افزایش می‌یابد. در اعماق زیر ۲۰ سانتی‌متر در جایی بالاتر از کف و پایین‌تر از ارتفاع ساقه‌ها، روند افزایش سرعت کندتر از عمق‌های بالاتر است و یک پروفیل انتقال سرعت در فاصله بین سرعت کم‌تر که پایین‌تر از ارتفاع ساقه‌هاست و سرعت بیش‌تر که برای اعماق بیش‌تر از ارتفاع ساقه‌هاست، وجود دارد. همچنین با مقایسه پروفیل سرعت چهار چیدمان می‌توان دریافت، سرعت در فاصله بین برس‌ها، در چیدمان چهارم کم‌ترین و در چیدمان دوم بیش‌ترین مقدار را دارد. میزان سرعت در چیدمان چهارم در شیب ۰.۰۲ درصد بین ۰/۶ تا ۰/۷ متر بر ثانیه می‌باشد و در چیدمان دوم بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۳ متر بر ثانیه است.

در راه‌ماهی حداکثر سرعت در بازشدگی‌ها یا همان شکاف ورودی ماهی رخ می‌دهد که این سرعت نباید از حداکثر سرعتی که ماهی تحمل می‌کند، بیش‌تر باشد. حداکثر سرعت قابل تحمل برای ماهی کپور با طول متوسط ۲۲ سانتی‌متر، با در نظر گرفتن اندازه ماهی و دمای آب بین ۱/۱ تا ۳/۶ متر بر ثانیه به‌دست آمده است. بنابراین سازه راه‌ماهی باید به‌نحوی طراحی شود که ماهی مجبور نباشد با سرعت حداکثر خود شنا کند. در صورت نزدیک بودن سرعت جریان به سرعت حداکثر ماهی، باید در محدوده‌های کوچک اتفاق بیفتد، تا ماهی در مدت‌زمان و مسافت طولانی با سرعت حداکثر شنا نکند. شکل‌های زیر پروفیل سرعت را در اعماق مختلف فاصله بین برس‌ها (ردیف دوم) در چهار چیدمان اول، دوم، سوم و چهارم نشان می‌دهد. با توجه به این‌که در بازشدگی‌ها جهت خطوط جریان متفاوت است



شکل ۸- منحنی پروفیل سرعت در دبی ۵۰ لیتر بر ثانیه، برای چیدمان‌های مختلف الف) شیب ۲ درصد، ب) شیب ۱ درصد.

Figure 8. The relationship between depth and velocity for different arrangements in 50 lit s-1 discharge, 2% slope (A), 1% slope (B).

رابطه ۹ و آزمون صحت‌سنجی برای چیدمان‌های مختلف ارائه شده است.

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{iave})^2}} \quad (10)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (11)$$

که در آن‌ها، X_i مقادیر مشاهده‌شده، Y_i مقادیر محاسبه‌شده، X_{iave} متوسط مقادیر مشاهده‌شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد. طبق نتایج هر ۴ چیدمان به لحاظ آماری از دقت خوبی برخوردار می‌باشند. به لحاظ متعدد بودن چیدمان‌ها و هدف پژوهش که تعیین بهترین چیدمان می‌باشد، منحنی داده‌های محاسباتی و مشاهداتی برای چیدمان چهارم ارائه شده است.

داده‌ها بعد از جمع‌آوری با استفاده از نرم‌افزار SPSS، تحلیل شد و رابطه کلی ۹ به دست آمد. در این رابطه A_1, A_2, A_3, A_4 ضرایب ثابت رابطه هستند که برای هر یک از چیدمان‌ها با استفاده از ۸۰ درصد داده‌ها به دست آمد. در جدول ۱ ضرایب ثابت مربوط به هر یک از چیدمان‌های مورد آزمایش ارائه شده است.

$$n = A_1 \left(\frac{y}{h}\right)^{A_2} (S)^{A_3} (Q^*)^{A_4} R^{1/6} \quad (9)$$

بر اساس ضرایب ثابت رابطه ۹ مشخص می‌شود که ضریب زبری با S رابطه مستقیم داشته ولی با Q^* و y/h رابطه عکس دارد. همچنین در رابطه ۹ حساسیت ضریب زبری در این حالت به تغییرات مشخصه y/h بیش‌تر می‌باشد. با استفاده از ۲۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها و رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ میزان صحت رابطه ۹ بررسی شد. در جدول ۲ مشخصات آماری

جدول ۱- ضرایب ثابت رابطه ضریب زبری (رابطه ۹) برای چهار چیدمان.

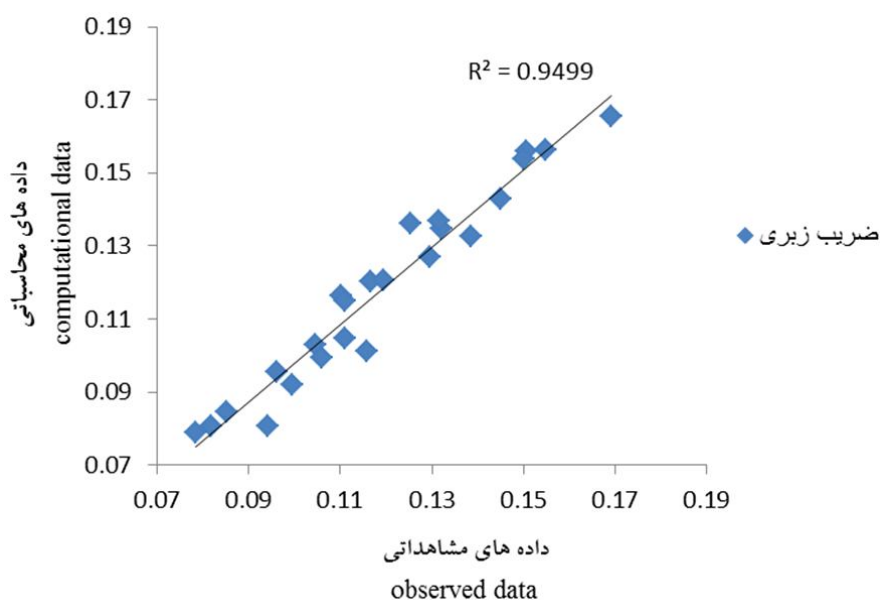
Table 1. Constant coefficients of roughness coefficient relation (relationship 9) for four arrangements.

A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	چیدمان Arrangement
-0.798	0.018	-1.116	0.840	1
-0.793	0.025	-1.198	0.951	2
-0.818	0.009	-1.195	0.832	3
-0.811	0.008	-1.206	0.828	4

جدول ۲- مشخصات دقت آماری رابطه ضریب زبری.

Table 2. Statistic characteristics of roughness coefficient relation.

ضریب تبیین (آزمون) R ²	خطای استاندارد (آزمون) SEE	ضریب تبیین (آموزش) R ²	تابع خطای نرمال NRMSE	خطای استاندارد تخمین (آموزش) SEE	چیدمان Arrangement
0.999	0.000176	0.999	0.011	0.000155	1
0.947	0.00014	0.998	0.0448	0.00055	2
0.999	0.000127	0.999	0.00779	0.000111	3
0.999	0.0000879	0.999	0.0108	0.00024	4



شکل ۹- منحنی داده‌های محاسباتی و مشاهده‌ای برای چیدمان چهارم.

Figure 9. The curve of computational and observed data for fourth arrangement.

بودن ساقه‌ها از ملزومات است. همچنین با بررسی سرعت در بازشدگی بین برس‌ها یک پروفیل سرعت به‌دست آمد. پروفیل سرعت در فاصله بین برس‌ها تا ارتفاع ساقه‌ها به‌دلیل تأثیر ساقه‌ها بر مقاومت جریان به‌کندی افزایش می‌یابد و در اعماق بالاتر از ارتفاع ساقه‌ها با شیب بیش‌تری افزایش می‌یابد. برای چیدمان چهارم میزان سرعت بین $0/6$ تا $0/7$ متر بر ثانیه می‌باشد که نسبت به سرعت انفجاری ماهی کپور (سرعت انفجاری حدود $1/6$ متر بر ثانیه) کم‌تر می‌باشد و همچنین نسبت به سرعت بازشدگی، در راه‌ماهی‌های متداول کم‌تر می‌باشد. با جمع‌بندی نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت، تغییر آرایش برس‌ها بر میزان عمق استغراق و سرعت و در نهایت ضریب زبری تأثیرگذار می‌باشد. در طراحی راه‌ماهی در بدنه سد، عواملی چون دبی، عمق و سرعت دارای اهمیت هستند و با توجه به عملکرد مثبت هیدرولیکی چیدمان چهارم، این آرایش در طراحی کانال ماهی قایقرو پیشنهاد می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به یافته‌های ارائه شده در این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت ساقه‌ها تأثیر به‌سزایی در ایجاد ضریب زبری دارند و بسته به این‌که با چه چیدمانی در کانال قرار می‌گیرند، این مقدار تغییر می‌کند. ضریب زبری به‌دلیل آشفتگی‌های حاصل از ساقه‌های مصنوعی در مسیر مستقیم جریان، افزایش می‌یابد در نتیجه بین بازشدگی‌ها فضای مناسبی برای عبور ماهیان ایجاد می‌شود. به‌منظور بهبود عملکرد هیدرولیکی کانال ماهی‌قایقرو، برس‌ها باید با آرایش‌های مناسب در مسیر جریان قرار بگیرند. طبق یافته‌های این پژوهش چیدمان چهارم با همپوشانی مناسب در مسیر جریان ضریب زبری را تا حدود 90 درصد افزایش می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهد ضریب زبری در شرایط غیرمستغرق در چیدمان اول حدود 18 درصد، چیدمان دوم 5 درصد، چیدمان سوم 6 درصد و چیدمان چهارم 20 درصد نسبت به شرایط مستغرق افزایش می‌یابد. شرایط غیرمستغرق از نظر هیدرولیکی شرایط مساعدتری دارد، اما از آن‌جا که قایقرو بودن از مشخصه‌های سازه است، مستغرق

منابع

- Chiew, Y., and Tan, S. 1992. Frictional resistance of overland flow on tropical turfed slope. J. Hydraul. Eng. ASCE. 118: 1. 92-97.
- Cook, H.L., and Campbell, F.B. 1939. Characteristics of some meadow strip vegetation. Agric. Eng. 20: 345-348.
- Fathi-Moghadam, M., and Drikvandi, Kh. 2012. Manning Roughness Coefficient for Rivers and Flood Plains with Non-Submerged Vegetation. J. Hydraul. Eng. 1: 1. 1-4.
- Gholinejad, J., Zahiri, A.R., and Dehghani, A.A. 2012. Study Effect of vegetation on the flood plains on hydraulic flow in compound channels. 5th National Conference on Watershed management and soil and water resources management, Kerman, Iran. (In Persian)
- Hassinger, R., and Kraetz, D. 2004. The Canoe-Fishway a Combination of Fish Migration Facility and Canoe Passage in the same Channel. University of Kassel. Germany.
- Hassinger, R. 2009. Borsten-Fischpässe und Fisch-Kanu-Pässe Beschreibung des Standes der Technik. University of Kassel. Germany.
- Hintermann, M. 2007. Borstenfischpass als neuartige ischaufstiegshilfe Pilotanlage Kraftwerk Au-Schönenberg. University of Kassel. Germany.
- Hedayati, H., Masoudian, M., and Ehsani, R.A. 2014. Laboratory Investigation of Environmental Friendly Fishway for Rubber Dams. J. River Engineering.
- Li, R.M., and Shen, H.W. 1973. Effect of tall vegetations on flow and sediment. J. Hydraul. Div. ASCE. 99: 5. 739-814.

10. Nehall, L., Yan, Z.M., Xia, J.H., and Khaldi, A. 2012. Flow Through Non-Submerged Vegetation: A flume experiment with artificial vegetation. 6th International Water Technology Conference, Istanbul, Turkey.
11. Morry, M., Soualmia, A., and Beleudy, P. 2014. Mean velocity predictions in vegetated flows. *J. Appl. Fluid Mechanics*. 9: 3. 1273-1283.

Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 26(3), 2019*<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2019.10336.2478

Experimental investigation of flow through different arrangements of synthetic grasses in Canoe-fishway channel

*M. Marzban¹ and M. Masoudian²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources,

²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 08.27.2018; Accepted: 03.06.2019

Abstract

Background and Objectives: Dams and diversion dams are structures that prevent of fish migration to upstream. Fishways provide access of fishes to their favorite habitat. Canoe-fishway channel is considered friendly environment because of having maximum compliance with it in many countries. In this fishway, synthetic vegetation grasses are used for energy dissipation, opposite of other usual fishways. In fact synthetic grasses are organized of vertical elements that play role of vegetation stems. In addition to creating a safe environment for fish passage, small boats can pass on it easily, because of having proper stems bend radius. Brushes are placed with different arrangements in the Canoe-fishway channel. Each of the arrangements has different effects on amount of dissipation. The main object of the research is experimental investigation of arrangements effect on water depth in the basins and velocity in the slot fish inlet. Also in terms of hydraulic condition is introduced the best arrangement.

Materials and Methods: Tests were done in a channel with length of 12 meters and width of 0.5 meters, with four arrangements of brushes that were designed with the number of fixed elements. For making of brushes, polyethylene pipes are used with the diameter of 6mm and 20cm length that placed on PVC plates with the thickness of 16 mm. by considering each arrangement, brushes were placed on the bed of the channel. Depth of Flow in the center of basins was measured by depth gauge and velocity in the slot fish inlet was measured by flowmeter in 1cm distances from the bed upto water surface. Also by dimensional analysis be determined effective dimensionless parameters on roughness coefficient (n).

Results: Results show that submergence depth (y/h) has the most effect on roughness coefficient (n) in comparison with other parameters. By increasing the submergence depth (y/h), the Manning coefficient (n) increases and it decreases when submerged completely. The maximum coefficient (n) occurs at the base of submerging. In non-submerged condition in comparison with submerged condition, increase rate of roughness coefficient (n) is for, first arrangement 18%, second arrangement 5%, third arrangement 6% and forth arrangement 20%. This research shows process of velocity diagram (V) is increasing from the bed upto water surface. The velocity range is between 0.6-0.7 m/s. The velocity profile shows increasing process upto height of grasses is very slow. But in higher depth is so fast. Also the process of discharge-depth curve is always increasing that it increases with more slope in non-submerged conditions than submerged condition. According to dimensionless discharge (Q*) are found that roughness coefficient (n) range has difference in constant experimental condition for different arrangements. Roughness coefficient (n) increases 90% for forth arrangement.

* Corresponding Author; Email: masumeh.marzban@yahoo.com

Conclusions: According to the obtained results of this study, brushes are effective in roughness coefficient. In this research forth arrangement creates more roughness coefficient, because of having the most overlapping against water flow. So this arrangement in the canoe-fishway provide safe place for fishes, as well as canoes.

Keywords: Canoe-fishway channel, Fishway, Flow velocity, Roughness coefficient, Synthetic grasses