علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۰، شماره‌ی۴، زمستان ۹۶، ص. ۷۵-۶۱

بررسی آزمایشگاهی شرایط جریان در راه‌ماهی از نوع کانال ماهی- قایق‌رو

روح الله احسانی[1*]، یوسف حسن زاده [2] ، علی رضا مجتهدی[3]، مجتبی صانعی[4] و هدا هدایتی[5]

۱* - نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای مهندسی عمران، سازه های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز. ehsani_2010@yahoo.com

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز.

۴- دانشیار گروه مهندسی رودخانه، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری .

۵- کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۹۵/۳/۹

چکیده

راه ماهی‌ها، به دلیل نقش مهمی که در مهاجرت آبزیان و بقا نسل آن‌ها دارند، از اجزای اصلی سازه‌های تقاطعی از جمله سدها می‌باشند. در این تحقیق مدل آزمایشگاهی کانال ماهی- قایق‌رو تهیه شده است که حداکثر انطباق را با شرایط زیست-محیطی داشته و در آن برای ایجاد تلفات انرژی در مجرای عبور ماهی، از برس‌های مشابه علف مصنوعی، استفاده شده است. با توجه به شعاع خمش مناسب، امکان عبور قایق‌های کوچک ماهیگیری نیز در آنها وجود دارد. مدل آزمایشگاهی این نوع راه-ماهی با مقیاس ۱:۵ برای شیب چهار درصد و به ازای شش دبی مختلف انجام شده است. با مقایسه عمق جریان در دبی‌های مختلف، با توجه به ابعاد ماهی‌های مهاجر در رودخانه‌های استان مازندران، دبی‌های سوم و چهارم به ترتیب بامقادیر ٤/٤ و ۹/۱ لیتر بر ثانیه، عمق‌های بهینه را برای عبور ماهی‌ها ایجاد می‌نمایند. با تهیه نقشه رستر سرعت‌های طولی و عرضی جریان در محیط GIS و ترسیم الگوی جریان با استفاده از نرم افزار متلب مشاهده گردید که یک ناحیه کم سرعت در داخل حوضچه ها، بعد از هر برس تشکیل می شود که بهترین مکان برای استراحت ماهی‌ها می‌باشد. همچنین ماهی برای عبور از بازشدگی‌ها از سرعت انفجاری و برای عبور از حوضچه‌ها از سرعت مداوم خود استفاده می‌نماید. حداکثر سرعت در بازشدگی در دبی سوم، ۰/٦۲ متر بر ثانیه و در دبی چهارم ۰/٦٤ متر بر ثانیه می‌باشد. حداکثر سرعت انفجاری ماهی طرح ۰/۷۲ متر بر ثانیه می‌باشد. بنابراین سرعت‌ها در محدوده قابل قبولی قرار دارند.

کلید واژه ها: کانال ماهی- قایق‌رو، مدل آزمایشگاهی، سرعت انفجاری، سرعت مداوم.

مقدمه

در ۶۰ سال گذشته انواع راه‌ماهی در نقاط مختلف جهان طراحی و اجرا شده است که می‌توان آن‌ها را به شکل زیر تقسیم‌بندی نمود:

الف- حوضچه و سرریز [1]

ب- بازشدگی قائم [2]

ج- دنیل [3]

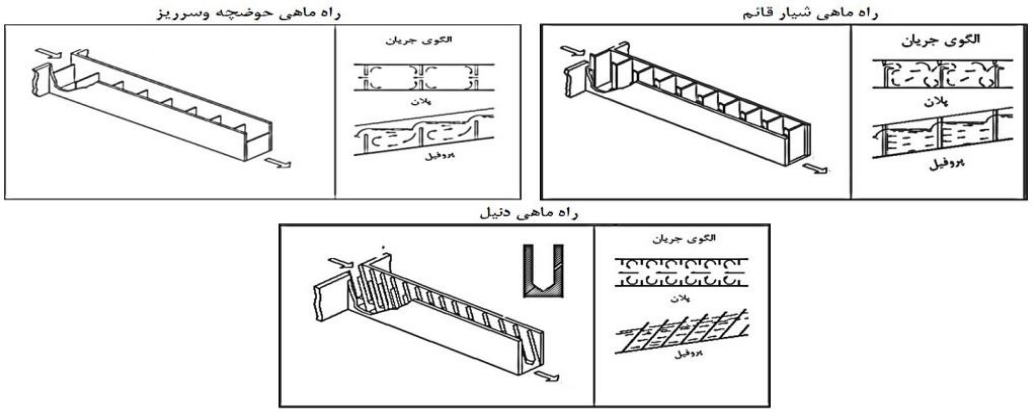
د- کانال ماهی- قایق رو [4]

راه‌ماهی حوضچه و سرریز شاید قدیمی‌ترین نوع راه ماهی مورد استفاده باشد و در سرتاسر دنیا نمونه‌هایی از آن دیده می‌شود. این نوع راه‌ماهی‌ها که شکلی مانند استخرهای پلکانی درست می‌کنند، ترکیبی از یک سری حوضچه‌های متناوب هستند که با سرریزهای لبه تیز از هم جداشده‌اند. هر کدام از این سرریزها دارای یک شکاف در قسمت بالایی می‌باشند که برای عبور جریان در نظر گرفته شده است. همچنین در قسمت تحتانی سرریزها یک روزنه با ابعاد مناسب برای عبور ماهی در نظر گرفته شده است. با ایجاد جریان آبشاری آب بر روی سرریزها و جریان گردابی در حوضچه، انرژی مستهلک شده و سرعت کنترل می‌شود. ماهیان از حوضچه به حوضچه پریده یا از میان روزنه یا شوت‌ها شنا می‌کنند (کاتوپودیس[5]، ۱۹۹۲؛ راجاراتنام و همکاران[6]، ۱۹۹۲).

راه‌ماهی بازشدگی قائم تقریبا مشابه راه‌ماهی حوضچه و سرریز است با این تفاوت که جهت عبور ماهی عمق بازشدگی برابر ارتفاع سرریز خواهد بود. بنابراین در این راه ماهی، نیازی به پرش از روی سرریز نیست و ماهی در هر عمقی قادر به شنا و عبور از مجرا می‌باشد.(وو[7] و همکاران، ۱۹۹۹؛ هدایتی و همکاران، ۱۳۹۱). در شکل(۱) ، راه‌ماهی‌های کلاسیک نشان داده شده است.

1-Weir fishway
2-Vertical Slot Fishways
3-Denil Fishways
4-Canoe-Fishway

5-Katopodis
6-Rajaratnam *et al.*
7-Wu *et al.*



شکل ۱- راه ماهی‌های متداول(هاسینگر، ۲۰۰۹)

مدل عددی راه‌ماهی نوع بازشدگی قائم توسط سئا و همکاران [1] (۲۰۰۷)، با استفاده از مدل عددی آب‌های کم‌عمق و شبیه‌سازی آشفتگی با بکارگیری سه مدل طول اختلاط، k-ε و تنش جبری انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل آشفتگی را می‌توان به عنوان ابزاری برای طراحی عملی استفاده کرد. آن و همکاران [2] (۲۰۱۶) با انجام مدل فیزیکی راه‌ماهی شیارقائم، تغییرات سرعت در حوضچه را مورد بررسی قرار دادند. بمباک و همکاران [3] (۲۰۱۷)، با مطالعه مشخصات جریان با استفاده از مدل فیزیکی، طرح بهینه‌ای از هندسه این نوع راه‌ماهی ارائه دادند. راه ماهی دنیل توسط دنیل [4] (۱۹۰۹) معرفی گردید. راه‌ماهی دنیل از یک کانال مستقیم مستطیلی شیب‌دار تشکیل شده است که درون آن قاب‌هایی قرارگرفته‌اند. نحوه قرارگیری قاب‌ها باعث اتلاف انرژی جریان گردیده و جریان نسبتاً مناسبی را برای عبور ماهی در یک مسیر مستقیم و پیوسته فراهم می‌کند (نژاد نادری و خانجانی، ۱۳۸۸).

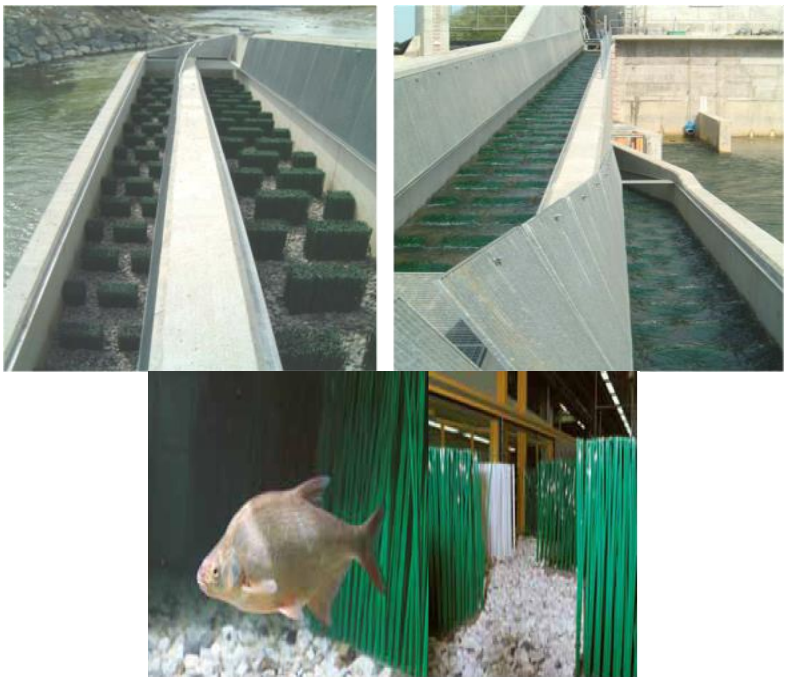
محمودی کردستانی و شفاعی بجستان (۱۳۷۹) طرح جدیدی از راه‌ماهی دنیل را معرف کردند و راه‌ماهی دنیل را با راه‌ماهی بازشدگی قائم مقایسه کردند. همچنین ایشان (۲۰۰۲)، شرایط هیدرولیکی این نوع راه‌ماهی دنیل را مورد بررسی قرار دادند. ایده استفاده از کانال ماهی- قایق رو ، نخستین بار در سال ۲۰۰۲ توسط هاسینگر [5] (۲۰۰۲) مطرح و در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه کاسل [6] بصورت آزمایشی انجام شد. همچنین هاسینگر و کراتز (۲۰۰۴)، به معرفی و ارائه اصول کلی در طراحی و بهره برداری کانال ماهی- قایق رو پرداختند.

در سال ۲۰۰۷ دانشگاه کاسل با همکاری موسسه تحقیقات و وزارت محیط زیست و آب آلمان تحقیقاتی در زمینه حفاظت از نوعی صدف رودخانه‌ای با استفاده از جانمایی علف‌های مصنوعی انجام داده است (هاسینگر، ۲۰۰۹ ؛ هدایتی و همکاران، ۱۳۹۱).

در انگلستان نخستین بار توسط گروه هالکرو در سال ۲۰۰۸، در منطقه پاترزلاک روی رودخانه مدوای کانال، ترکیبی ماهی-قایق‌رو طراحی و ساخته شد. در سال ۲۰۰۹ در ۱/۵ کیلومتری بالادست آن دومین نمونه این نوع راه‌ماهی در منطقه الگدریس لاک و بعد از آن در سال ۲۰۱۰، در منطقه ایست‌لاک توسط همین گروه طراحی و اجرا شد. در این ساختگاه، بر خلاف دو ساختگاه قبلی، عرض کانال به سه قسمت برای عبور ماهی، مارماهی و قایق تقسیم شده است. در سالیان اخیر، توسعه مطالعات و احداث سدهای لاستیکی در فواصل نزدیک به دریا، روی رودخانه‌های شمال کشور، لزوم احداث راه ماهی‌های منطبق با محیط زیست را ضروری می‌سازد. احداث سدهای لاستیکی در نزدیکی دریا، موجب قطع تردد ماهیگیران و در نتیجه ایجاد تنش‌های اجتماعی متعددی گردیده است. کانال ماهی-قایق‌رو ایده‌ای نو برای راه‌ماهی می‌باشد که حداکثر انطباق را با شرایط زیست محیطی داشته و در آن برای ایجاد تلفات انرژی در مجرای عبور ماهی، از برس‌های مشابه پوشش گیاهی مصنوعی، استفاده شده است که امکان عبور قایق های کوچک ماهیگیری را فراهم می کند (هدایتی و همکاران، ۱۳۹۱).

هدایتی و همکاران (۱۳۹۱)، یک نمونه کانال ماهی-قایق‌رو را برای سد لاستیکی تجن در استان مازندران طراحی کرده و با نمونه کلاسیک آن یعنی راه ماهی شیار قائم مقایسه کرده است. در تحقیق حاضر، با توجه به اهمیت ایجاد راه‌ماهی منطبق با محیط زیست برای سدهای لاستیکی استان مازندران و مشکلات ایجاد شده بر سر راه تردد قایق های کوچک ماهیگیری (رودخانه تجن)، مدل آزمایشگاهی کانال ماهی-قایق‌رو با در نظر گرفتن پارامترهای بیولوژیکی ماهی‌های رودخانه تجن تهیه شد و عمق و سرعت جریان در این راه ماهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در شکل (۲) یک نمونه راه ماهی از نوع ماهی-قایق‌رو نشان داده شده است.

1-Sea *et al.*
2- An *et al.*
3- Bombak *et al.*
4-Denil
5- Hassinger and Kraetz
6-Kassel



شکل ۲- راه ماهی از نوع کانال ماهی – قایق رو(هاسینگر، ۲۰۰٤)

مواد و روش‌ها

ملاحظات مهم طراحی راه ماهی

معیارهای بیولوژیکی و هیدرولیکی در طراحی راه ماهی، برای گونه‌ها و اندازه‌های مختلف، متفاوت می باشد. کارایی مناسب این سازه، منوط به توانایی جذب ماهی به راه‌ماهی، امنیت و انتقال سریع ماهی در عبور از راه‌ماهی می‌باشد. جذب ماهی به ورودی راه‌ماهی بسیار مهم است و به رفتار و انگیزه گونه بستگی دارد. سرعت مناسب جریان در ورودی، موجب جذب ماهی به راه‌ماهی خواهد شد. برای طراحی ورودی راه‌ماهی، لازم است آزمایش‌هایی برای شناسایی رفتار گونه‌های مختلف انجام شود. معمولا ایجاد جریان با سرعت یک متر بر ثانیه در سطح آب، شرایط مطلوبی را برای جذب ماهی به ورودی راه‌ماهی ایجاد می کند. وجود پایاب در ورودی ضروری است اما سرعت جریان در ورودی، تحت تأثیر برگشت آب کاهش می یابد، بنابراین طراحی باید طوری صورت گیرد که هم عمق و هم سرعت در ورودی در حد مطلوب باشد. سرعت و عمق جریان به نوع راه‌ماهی، شیب کانال و دبی بستگی دارد. سرعت آب در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها، نباید بیش از توانایی شنا در گونه های مهاجر باشد. توانایی شنا در گونه‌ها، اندازه‌های مختلف و همچنین درجه حرارت آب ، مقدار اکسیژن محلول در آب، اسیدیته آب، و درجه شوری آب متفاوت است. در این تحقیق دو عامل مهم در طراحی راه‌ماهی، عمق جریان و سرعت آن مورد بررسی قرار گرفته است (کلی[1]، ۱۹۹۵؛ آرمسترانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۰).

عمق جریان

حداقل عمقی که ماهی در آن به راحتی شنا می کند و معمولاً عمق آب مورد نیاز برای استغراق کامل ماهی می‌باشد و به عنوان عمق بحرانی در طراحی محسوب می گردد، توانایی شنا در ماهی در حالت کاملا غوطه‌ور بهینه است. اگر شرایط استغراق کامل فراهم نباشد، مشکلاتی مثل عدم تأمین اکیسژن مورد نیاز، جراحت بدن ماهی در اثر تماس با سطح زبر بستر و کاهش نیروی رانش جلو برنده بوجود خواهد آمد و در نتیجه توانایی شنای ماهی را کاهش می‌دهد. تعریف دقیق استغراق کامل مشکل است ولی می توان بصورت تخمینی عمق بحرانی را همان ضخامت بدن ماهی به اضافه عددی که میزان آن بستگی به عوامل مؤثر در حرکت ماهی، نظیر اندازه گونه مورد نظر و موانع در مسیرحرکت، در نظر گرفت. به‌طور کلی، حداقل عمق جریان برای ماهیان بزرگ‌تر، ۰/۵ متر و برای ماهیان کوچک‌تر، ۳/. متر می باشد (کاتوپودیس، ۱۹۹۲، آرمسترانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

1-Clay
2-Armestrang *et al.*

جدول۱ - مشخصات عمومی ماهی های مهاجر بومی در رودخانه تجن(عبدلی و نادری، ۱۳۷۸)

نام ماهی	طول حداکثر (میلیمتر)	سرعت انفجاری (متر بر ثانیه)	سرعت مداوم (متر بر ثانیه)	زمان مهاجرت
قره برون	۲۲۸۰		۱-۱/۷	فروردین و اردیبهشت، شهریور و مهر
اوزون برون	۲۱۸۰		۰/۷ -۱/۸	اواخراردیبهشت، شهریور
کولی	۹۵		۰/۵	اردیبهشت تا مرداد
کپور دریایی	۱۲۰۰	۱/۶	۰/۶	اردیبهشت تا اول تیر
ماهی سفید	۶۷۰			نیمه دوم فروردین تا نیمه دوم اردیبهشت

سرعت جریان

راه ماهی برای عبور ضعیف‌ترین شناگر طراحی می‌شود. براساس مدت زمانی که ماهی می تواند تحمل کند، سرعت جریان به سه دسته تقسیم می‌شود:

– سرعت مداوم[1]: سرعتی از جریان، که ماهی می تواند ساعت ها در آن شنا کند.

– سرعت قابل تحمل[2]: سرعتی از جریان، که ماهی می‌تواند در مدت ۲۰ ثانیه تا ۲۰۰ دقیقه به حرکت خود ادامه دهد.

– سرعت انفجاری[3]: سرعتی از جریان که ماهی کم تر از ۲۰ ثانیه می تواند تحمل کند (آرمسترانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

انتظار می‌رود ماهی در پریدن از روی سرریز و شنا کردن از میان روزنه یا بازشدگی از سرعت انفجاری خود استفاده کرده و در درون استخرها از سرعت مداوم خود استفاده کنند. بنابراین اطلاع از سرعت حرکت مداوم، می تواند به طراح در برقراری شرایط هیدرولیکی صحیح در استخر کمک کند. برای انواع ماهی‌های آب شیرین سرعت آب در استخرها در یک محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۳ متر بر ثانیه پیشنهاد شده است. حداکثر سرعت آب روی سرریز، از میان روزنه و بازشدگی نبایستی از سرعت انفجاری ماهی بیشتر باشد. میانگین سرعت‌های حداکثر روی سرریز یا از میان روزنه یا بازشدگی در طراحی راه‌ماهی برای ماهی های آزاد بالغ بر ۲/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است (آرمسترانگ و همکاران، ۲۰۱۰).

در این تحقیق طراحی راه‌ماهی برای رودخانه‌های استان مازندران (رودخانه تجن) انجام می شود. بنابراین لازم است اطلاعات بیولوژیکی ماهیان مهاجر این رودخانه‌ها در طراحی مد نظر قرار گیرد. جدول (۱) مشخصات بیولوژیکی ماهیان مهاجر رودخانه تجن در استان مازندران را نشان می‌دهد(عبدلی و نادری، ۱۳۷۸).

در سال‌های اخیر ماهی قره برون و اوزون برون در حال انقراض می‌باشد. بنابراین در طراحی، ماهی کپور دریای خزر به عنوان بزرگ‌ترین ماهی موجود در منطقه، در نظر گرفته شد.

محاسبه تراکم ساقه‌ها در کانال

عرض برس را باید با توجه به میزان بازشدگی لازم برای عبور ماهی در نظر گرفت تا ماهی بتواند به راحتی از میان برس‌ها عبور کند. برای رسیدن به بازشدگی مناسب برای عبور ماهی، با توجه به شیب زیاد کانال ماهی‌رو و محدودیت دبی جریان ، محدودیت در اضافه کردن عرض کانال ماهی‌رو وجود دارد. همچنین ابعاد برس‌ها باید طوری باشد که تعداد ساقه‌های مورد نیاز در هر ردیف برای تعادل نیروها را فراهم کند. در یک بازه مشخص از کانال، متشکل از یک ردیف برس وحوضچه آرامش پایین‌دست آن، نیروهای اعمال شده به حجم کنترل، شامل مؤلفه افقی نیروی ثقل جریان آب در بازه مورد نظر و نیروی درگ اعمال شده بر روی ساقه‌ها خواهد بود (نیروی پسار وارد بر دیواره‌های کانال در مقایسه با نیروی پسار روی برس‌ها قابل اغماض می‌باشد). در این صورت با بسط رابطه تعادل نیروها در جریان یکنواخت، برای جریان متغیر تدریجی و بکارگیری اصل مومنتم، تعداد ساقه‌های لازم در هر ردیف، با تقسیم نیروی وزن بر نیروی پسار وارد بر یک ساقه، طبق رابطه (۴) به‌دست می آید:

$$\Sigma F_D = F_g J \qquad (۱)$$

$$\Sigma F_D = n\frac{\rho}{2} C_D l d V^2 \qquad (۲)$$

$$F_g = \rho g h_R A_R \qquad (۳)$$

$$n = \frac{F_g J}{F_D} \qquad (۴)$$

A_R: مساحت پلان محدوده، J: شیب انرژی، F_g: نیروی ثقل، F_D: نیروی پسار، ρ: جرم مخصوص آب، n: تعداد ساقه ها، l طول ساقه ها، d: قطر ساقه ها و C_D :ضریب پسار می باشد. وزن مخصوص آب ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، طول ساقه‌ها برابر ۰/۱ متر، قطر ساقه‌ها برابر ۰/۰۰۶ متر و ضریب پسار در حدود ۱ و سرعت جریان در مدل ۰/۲۳ متر بر

1 - Cruising speed
2- Sustained speed
3- Burst speed

ثانیه می باشد (مطابق با سرعت مداوم ماهی طرح که منطبق با اندازه‌گیری‌های سرعت در دبی سوم می باشد). با انجام محاسبات تعداد n، ۲۲۳۰ عدد به‌دست آمده است. با توجه به این محاسبات، تعداد برس‌های انتخاب شده هشت عدد می باشد. هر برس شامل ۱۸*۱۵ عدد ساقه می‌باشد. با توجه به هدف این تحقیق که بررسی سرعت وخطوط جریان در کانال ماهی- قایق‌رو می باشد، از فلوم آزمایشگاهی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، وابسته به وزارت جهاد کشاورزی استفاده شده است.

مدل آزمایشگاهی

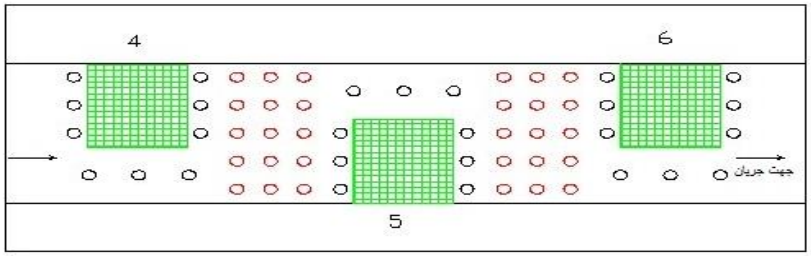
به منظور شبیه‌سازی پوشش گیاهی مصنوعی در بستر کانال ماهی- قایق‌رو، از یک فلوم مستطیل به عرض۳۰ سانتی متر، ارتفاع ۶۰ سانتی متر و طول ۱۰متر، استفاده شده است. دبی جریان توسط شیری در بالادست تنظیم می‌شود. مخزن آرام کننده جریان نیز در بالادست برای آرام سازی جریان قبل از ورود به فلوم، تعبیه شده است. برای اندازه‌گیری دبی جریان در پایین‌دست از سرریز مثلثی استفاده شده است. قبل از سرریز مثلثی یک مخزن آرام‌کننده جریان تعبیه شده است. اندازه گیری عمق جریان با عمق سنج انجام می‌شود. سرعت جریان در دوبعد طولی و عرضی با استفاده از سرعت سنج الکترومغناطیس انجام شده است. جنس کف و دیوار چپ فلوم از پلکسی گلاس و جنس دیوار راست آن شیشه ای می باشد. شیب کف فلوم با شیب۰/۰۴ اجرا شده است. برای تهیه برس ها، از صفحات تفلون صنعتی، به ضخامت ۵ میلی متر و لوله های پلی اتیلنی معروف به لوله های ماکارونی، به قطر ۶ میلی متر استفاده شد. صفحات تفلنی در ابعاد مورد نظر برش داده شد و شبکه مشبک با فاصله مرکز به مرکز ۱ سانتی‌متر از هر طرف، جهت نصب ساقه‌ها (با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر) ایجاد گردید. پس از آن، ساقه ها بر روی صفحات تفلون در حفره‌ها قرار گرفته و برس‌ها پس از آماده سازی با استفاده از چسب آکواریوم روی فلوم نصب گردید. مجموعا هشت برس با جانمایی مناسب در طول فلوم جانمایی گردید. در شکل(۳) تصویر برس‌های متشکل از لوله‌های پلی اتیلنی و نحوه چیدمان برسها در کف کانال نشان داده شده است.

در مجموع با نصب هشت برس، هفت حوضچه و هشت بازشدگی در فلوم ایجاد شده است. ابعاد هر برس ۱۵ (عرض) در ۱۸(طول) سانتیمتر و طول هر حوضچه ۲۵ سانتی‌متر می باشد. عرض بازشدگی نیز ۱۲ سانتی‌متر خواهد شد. این نوع چیدمان، از چیدمان‌های متداول در کانال ماهی- قایق‌رو می‌باشد((هاسینگر، ۲۰۰۲). با انجام آنالیز ابعادی، ابعاد هندسی در این چیدمان بر اساس ماهی کپور دریای مازندران به عنوان ماهی طراحی با مقیاس ۱:۵، در نظر گرفته شده است (شفاعی بجستان، ۱۳۸۹).

برای بررسی کمیت‌های هیدرولیکی جریان در این تحقیق، اندازه‌گیری‌های عمق و سرعت جریان در نقاط مختلف حوضچه‌های چهارم و پنجم و بازشدگی‌های چهارم، پنجم و ششم، انجام شده است. در شکل (۴) موقعیت و پراکندگی نقاط برداشت عمق و سرعت جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها با دوایر قرمز و مشکی رنگ نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌های عمق و سرعت جریان برای سه دبی زیر تراز استغراق(با عمق کمتر از ارتفاع ساقه ها) و سه دبی بالاتر از تراز استغراق (با عمق بیشتر از ارتفاع ساقه ها) و در مجموع شش دبی انجام شده است. به ازای هر دبی، اندازه‌گیری‌های عمق جریان برای ۵۷ نقطه در حوضچه های چهارم و پنجم و بازشدگی‌های چهارم، پنجم و ششم انجام شده است که در مجموع با احتساب شش دبی، ۳۴۲ عمق جریان در نقاط مختلف اندازه‌گیری شده است. برای تعیین عمق استغراق، یک نقطه ثابت از کانال را به عنوان شاخص در نظر گرفته و عمق استغراق در دبی های مختلف در این نقطه ملاک عمل قرار می گیرد. این نقطه بلافاصله در بالادست برس چهارم انتخاب شده است. برای بررسی سرعت جریان در هر نقطه به ازای هر دبی در اعماق مختلف اندازه گیری‌های سرعت در دو جهت طولی و عرضی انجام شده است. در جدول(۲) تعداد و مکان عمق های اندازه گیری سرعت جریان در دو بعد برای هر نقطه نشان داده شده است. در مجموع در ۹۶۹ عمق به ازای دبی های مختلف، اندازه‌گیری سرعت در دو بعد انجام شده است. برای هر عمقی، اندازه‌گیری سرعت سه بار برای مدت ۳۰ ثانیه انجام شده است و میانگین سه بار اندازه‌گیری به عنوان سرعت جریان در آن عمق در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- تصویر برس‌های متشکل از لوله های پلی اتیلنی و نحوه چیدمان برس‌ها در کف کانال



شکل ٤- پلان موقعیت اندازه گیری عمق وسرعت جریان

جدول ۲- تعداد و مکان اندازه گیری سرعت جریان

وضعیت استغراق	شماره دبی	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	عمق جریان در نقطه مبنا (سانتیمتر)	نسبت استغراق	اعماق اندازه‌گیری سرعت (سانتیمتر)	تعداد نقاط اندازه‌گیری
	اول	۱/۱	۴	۰/۴	۲	۱
زیر تراز استغراق	دوم	۲/۴	۷	۰/۷	۴و۲	۲
	سوم	۴/۴	۱۰	۱	۶و۲،۴	۳
	چهارم	۹/۱	۱۴	۱/۴	۱۰و۲،۶	۳
بالای تراز استغراق	پنجم	۱۵/۸	۱۷	۱/۷	۱۲و۲،۴،۸	۴
	ششم	۲۲	۲۰	۲	۱۵و۲،۵،۱۱	۴

نتایج و بحث

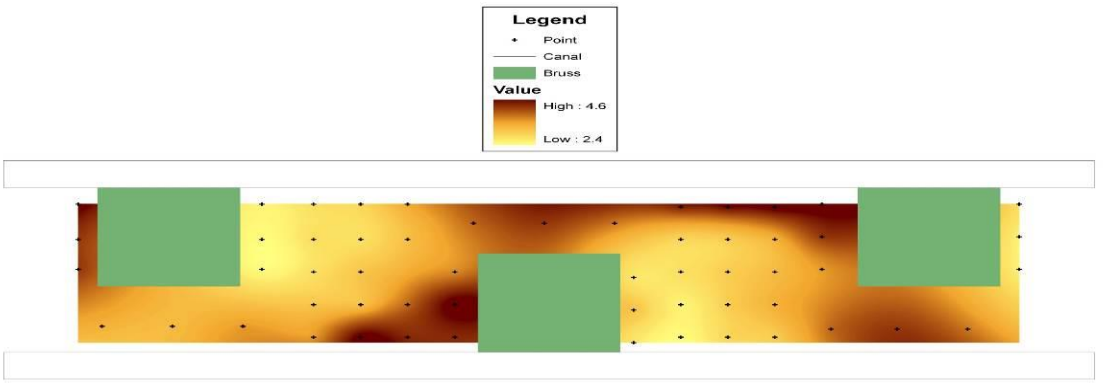
همان‌طوری‌که گفته شد در این تحقیق دو پارامتر مهم موثر در طراحی راه ماهی، عمق و سرعت جریان مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج بررسی‌ها در این بخش ارائه می‌شود.

ارزیابی عمق جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها

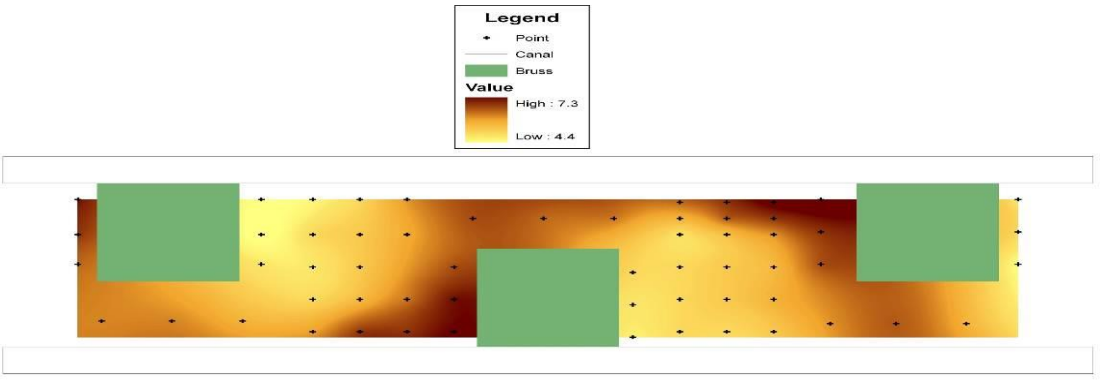
همچنان‌که ذکر شد برای بررسی عمق جریان در راه ماهی، حوضچه های سوم و چهارم و بازشدگیهای چهارم، پنجم و ششم انتخاب شده‌اند. در جدول (۳) مقدیر حداکثر، حداقل و متوسط جریان نشان داده شده است. اندازه‌گیری عمق جریان به ازای هر دبی در ۵۷ نقطه انجام شده است. در محیط GIS نقشه رستر عمق‌های اندازه‌گیری شده، به ازای دبی های شش‌گانه تهیه شده است که در شکل‌های(۵) و (۶) نشان داده شده است. شدت رنگ نشان دهنده عمق جریان بیشتر می‌باشد. بر این اساس، مطابق این شکل‌ها، یک ناحیه عمیق در پشت برس‌ها در بالادست و در بازشدگی‌ها و یک ناحیه کم عمق در پایین دست برس‌ها در حوضچه مشاهده می‌گردد. برای مقایسه نقشه رستر با عکس‌های گرفته شده از مدل، شکل شماره (۷) و (۸) به ترتیب عکس‌های مربوط به دبی سوم و ششم را نشان می‌دهد. در این عکس‌ها، مشاهده می‌گردد که تراز سطح آب در بالادست برس‌ها افزایش یافته و در پایین دست برس‌ها در حوضچه، افت پیدا می‌کند. در بازشدگی‌ها نیز افزایش تراز سطح آب مشهود می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم در طراحی راه ماهی ایجاد حداقل عمق مناسب آب در راه ماهی با توجه به ابعاد ماهی‌ها مهاجر می باشد. علاوه بر این، مهاجرت ماهی با ماه‌های زراعی با یکدیگر تطابق دارند. بنابراین در فصول زراعی، افزایش عمق جریان در راه ماهی باعث اتلاف جریان در مخزن ذخیره خواهد شد. با توجه به نکات گفته شده، رسیدن به یک عمق بهینه در راه ماهی ضروری به نظر می‌رسد. طبق نمودار شکل (۹) در عمق‌های پایین‌تر از ارتفاع ساقه‌ها (در حالت غیر مستغرق)، شیب نمودار دبی- عمق شدیدتر می‌باشد. در اعماق بالاتر از ۱۰ سانتی‌متر(در حالت استغراق)، شیب نمودار دبی- عمق نسبت به حالت غیر مستغرق کاهش می‌یابد. این مطلب بیانگر آن است که زبری کانال (ناشی از نصب برس‌ها)، در حالت غیراستغراق بیشتر از حالت استغراق می‌باشد. بطوری‌که در شرایط غیر استغراق، با افزایش دبی جریان از ۱/۱ تا ۴/۴ لیتر بر ثانیه، عمق متوسط جریان از ۳/۳ تا۸/۷ سانتی‌متر افزایش یافته است. در حالی‌که در شرایط استغراق با افزایش دبی از ۴/۴ تا ۱۵ لیتر بر ثانیه، عمق متوسط جریان از ۸/۷ تا ۱۷/۴ سانتی‌متر افزایش می یابد. با توجه به اینکه ماهی طرح، ماهی کپور دریایی می‌باشد، حداقل عمق جریان با در نظر گرفتن مقیاس آزمایشگاهی، ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. بنابراین عمق ۱۰ سانتیمتر (عمق آستانه استغراق)، به عنوان عمق بهینه انتخاب می شود. دبی های سوم و چهارم به ترتیب دارای اعماق متوسط ۸/۷۰ و ۱۲/۷۸ سانتی‌متر می‌باشند که شرایط لازم برای عبور ماهی طرح در این دو دبی فراهم خواهد شد. دبی‌های پنجم و ششم نیز که عمق متوسط جریان در آنها به ترتیب ۱۵/۸ و۱۷/۴ سانتی‌متر می‌باشد، برای عبور ماهی طرح مناسب می‌باشد. اما دبی عبوری از مخزن سد به ازای این دو عمق جریان افزایش یافته و باعث اتلاف آب مخزن در ماه‌های زراعی از سال می‌شود.

جدول۳- مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط عمق جریان در دبی های مختلف

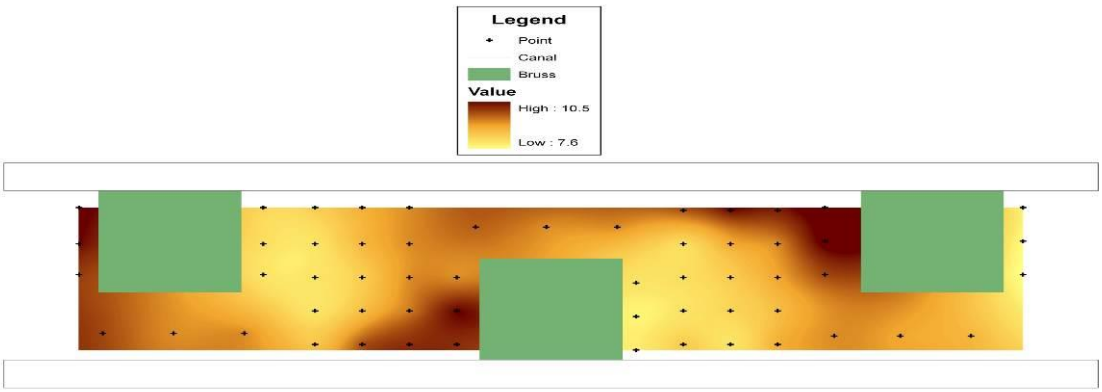
وضعیت استغراق	شماره دبی	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	عمق جریان در نقطه مبنا (سانتیمتر)	حداقل عمق جریان (سانتیمتر)	حداکثر عمق جریان (سانتیمتر)	عمق متوسط (سانتیمتر)
زیر تراز استغراق	اول	۱/۱	۴	۲/۴	۴/۶	۳/۳
	دوم	۲/۴	۷	۴/۴	۷/۳	۵/۶
	سوم	۴/۴	۱۰	۷/۶	۱۰/۴	۸/۷
بالای تراز استغراق	چهارم	۹/۱	۱۴	۱۱	۱۴/۱	۱۲/۸
	پنجم	۱۵/۸	۱۷	۱۳/۷	۱۷/۳	۱۵/۸
	ششم	۲۲	۲۰	۱۵	۲۰	۱۷/۴



الف

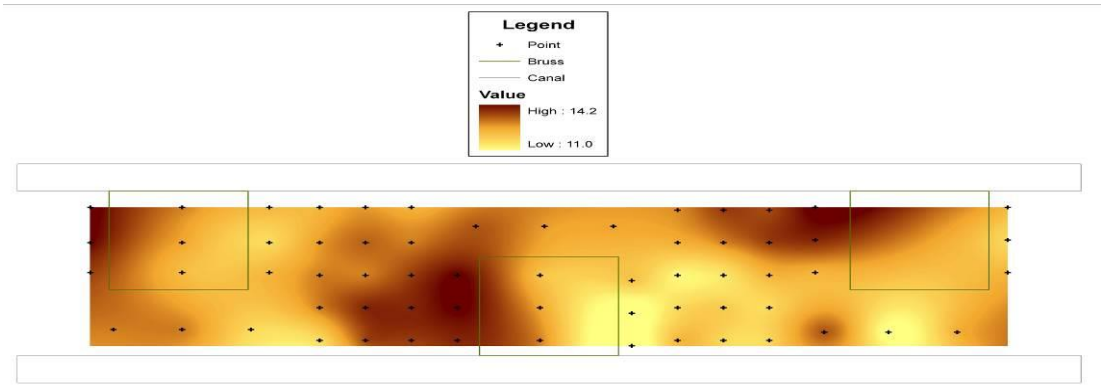


ب

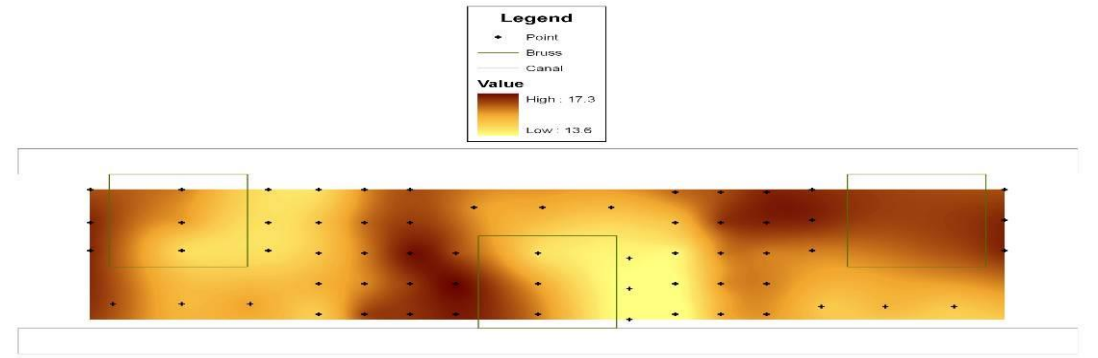


ج

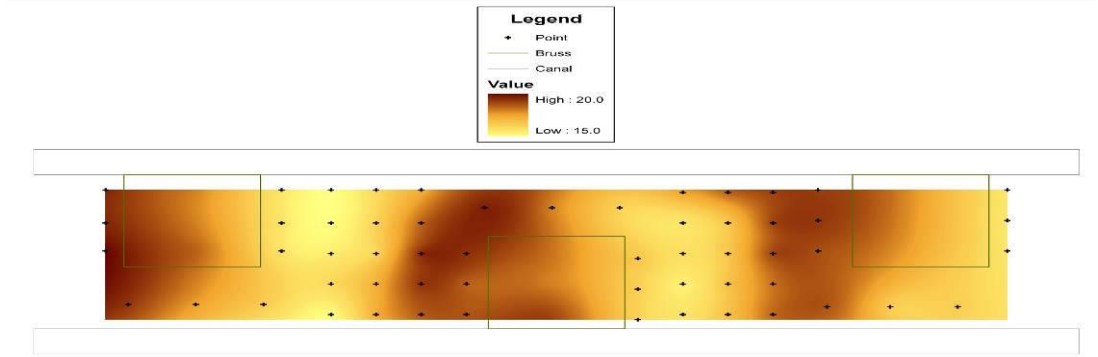
شکل۵- وضعیت عمق جریان در کانال در نقاط مختلف به ازای دبی‌های زیر تراز استغراق، الف) دبی اول، ب) دبی دوم و ج) دبی سوم



الف



ب

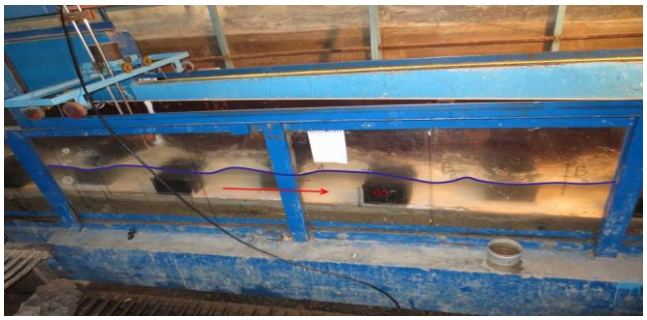


ج

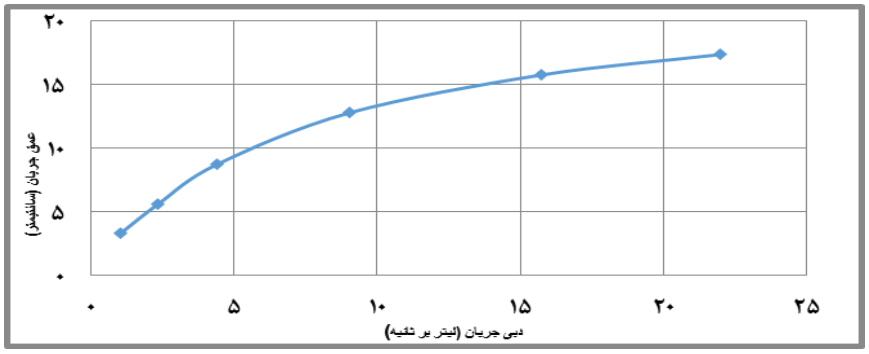
شکل٦- وضعیت عمق جریان در کانال در نقاط مختلف به ازای دبی‌های بالای تراز استغراق
الف) دبی چهارم، ب) دبی پنجم و ج) دبی ششم



شکل ۷- وضعیت پروفیل سطح آب به ازای دبی سوم (زیر تراز استغراق)



شکل۸- وضعیت پروفیل سطح آب به ازای دبی ششم(بالای تراز استغراق)



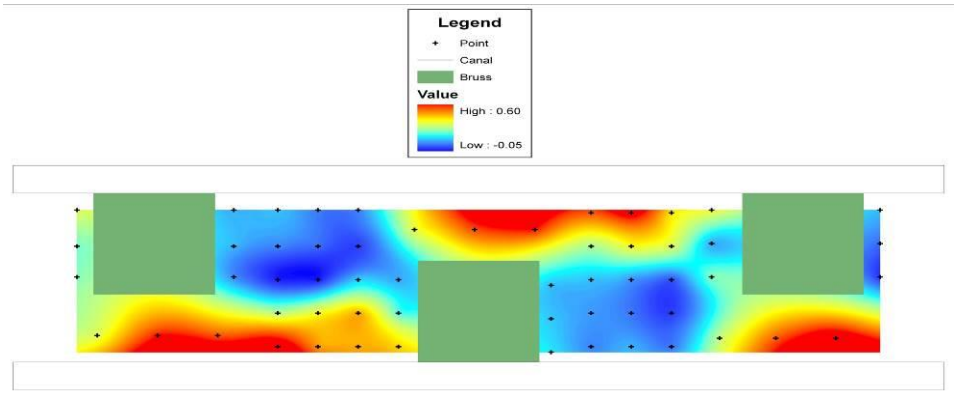
شکل۹- نمودار دبی و عمق متوسط جریان

ارزیابی سرعت جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها

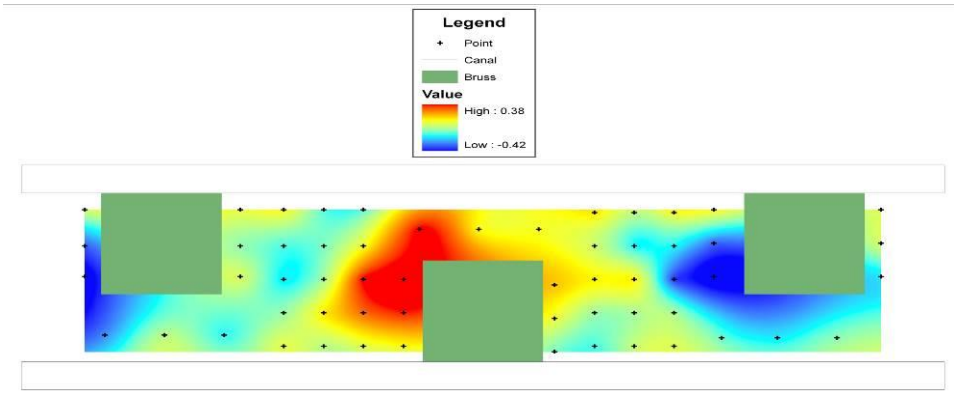
برای بررسی سرعت جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها، دبی های سوم و چهارم (با توجه به ایجاد عمق مناسب و بهینه جریان)، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. دبی سوم زیر تراز استغراق و دبی چهارم بالای تراز استغراق می باشد. در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) نقشه رستر سرعت جریان در راستاهای طولی و عرضی به ترتیب برای دبی های سوم و چهارم نشان داده شده است. این نقشه‌ها در محیط GIS تهیه شده‌اند. نقاط با شدت رنگ قرمز به مفهوم سرعت حداکثر و نقاط با شدت رنگ آبی رنگ به مفهوم سرعت حداقل می‌باشد. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که:

- سرعت‌های طولی حداکثر در دبی سوم و چهارم در بازشدگی‌ها اتفاق می‌افتد. بنابراین ماهی طرح برای عبور از بازشدگی‌ها از سرعت انفجاری خود استفاده می کند. سرعت جریان در راه‌ماهی، نباید از سرعت مهاجرت ماهی طرح بزرگ‌تر باشد، در غیر این صورت امکان مهاجرت ماهی‌ها وجود ندارد. حداکثر سرعت در بازشدگی در دبی سوم، ۰/۶۲ متر بر ثانیه و در دبی چهارم ۰/۶۴ متر بر ثانیه می‌باشد. با ملحوظ داشتن حداکثر سرعت انفجاری ماهی طرح با توجه به مقیاس آزمایشگاهی (۰/۷۲ متر بر ثانیه)، مقادیر سرعت‌ها در محدوده قابل قبولی قرار دارند.
- سرعت‌های حداقل در داخل حوضچه‌ها اتفاق می‌افتند. در حوضچه‌ها، ماهی طرح جهت عبور از سرعت مداوم خود استفاده می‌کند. متوسط سرعت در دبی سوم ۰/۲۳ متر بر ثانیه و در دبی
- چهارم ۰/۲۱ متر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به اینکه سرعت مداوم ماهی طرح ۰/۲۷ متر بر ثانیه می‌باشد، سرعت‌های داخل حوضچه در محدوده قابل قبولی قرار دارند.
- یک ناحیه کم سرعت در داخل حوضچه‌ها، بعد از هر برس تشکیل می‌شود که بهترین مکان برای استراحت ماهی‌ها می‌باشد.
- در بازشدگی‌ها، محل‌های نزدیک به برس‌ها، نقاط امن‌تری برای مهاجرت می باشند.

محدوده تغییرات سرعت‌های عرضی و طولی در دبی‌های سوم و چهارم، در جدول (۴) نشان داده شده است. با استفاده از برنامه متلب الگوی جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها ترسیم شده است که در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) برای دبی‌های سوم و چهارم نشان داده شده است. در این شکل‌ها، یک ناحیه کم‌سرعت در پایین‌دست هر برس کاملا مشخص می‌شود. مقادیر سرعت‌های عرضی در بالادست برس‌ها، حداکثر می‌باشد و سرعت طولی در بازشدگی‌ها حداکثر مقدار خود را دارا می‌باشد. سرعت عرضی در بالادست برس‌ها مقادیر حداکثر را دارا می‌باشد. یک ناحیه با سرعت خیلی کم در پایین دست برس‌ها تشکیل می‌شود.

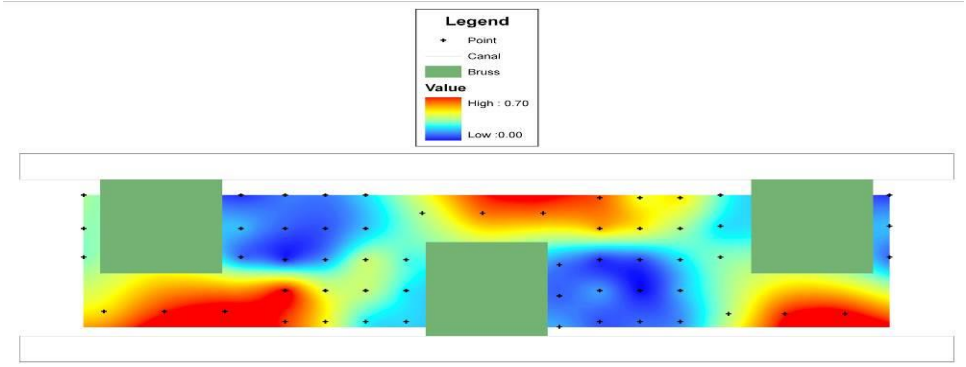


الف

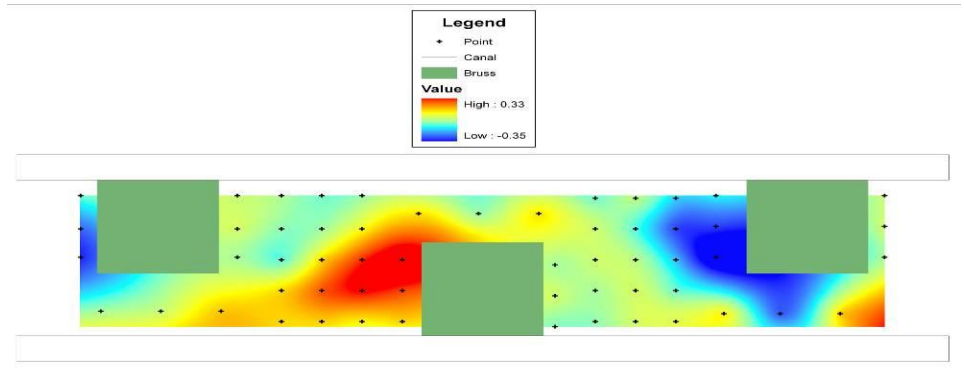


ب

شکل۱۰- سرعت جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها برای دبی سوم، الف) سرعت طولی و ب) سرعت عرضی



الف

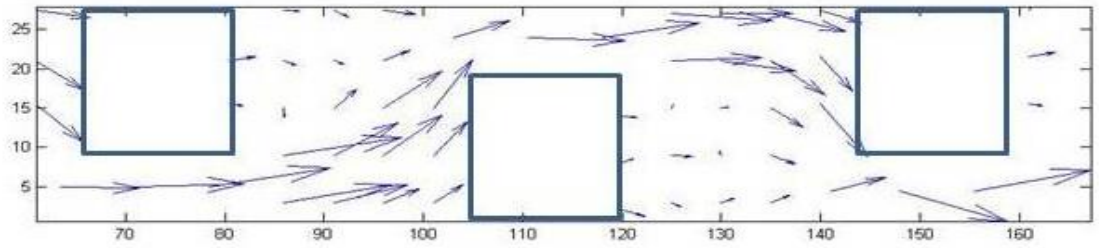


ب

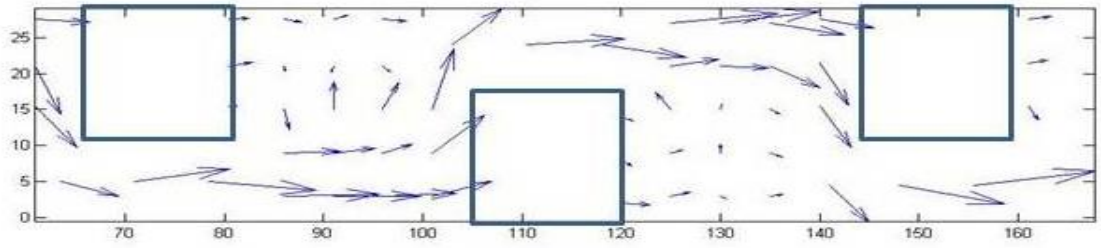
شکل۱۱- سرعت جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها برای دبی چهارم، الف)سرعت طولی و ب)سرعت عرضی

جدول٤- محدوده تغییرات سرعت‌های طولی و عرضی

شماره دبی	مقدار دبی (لیتر بر ثانیه)	وضعیت استغراق	سرعت طولی(متر بر ثانیه)			سرعت عرضی(متر بر ثانیه)		
			حداقل	حداکثر	متوسط	حداقل	حداکثر	متوسط
دبی سوم	۴/۴۰	زیر تراز استغراق	-۰/۰۸۴	۰/۶۲	۰/۲۰	-۰/۳۴	۰/۴۳	-۰/۰۰۵
دبی چهارم	۹/۰۴	بالای تراز استغراق	۰/۰۰۶۶	۰/۶۴	۰/۲۴	-۰/۳۴	۰/۳۳	۰/۰۱



شکل۱۲- نمایش بردار سرعت در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها به ازای دبی سوم



شکل۱۳- نمایش بردار سرعت در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها به ازای دبی چهارم

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این تحقیق، نتایج به‌طور خلاصه بیان می‌شود:

- یک ناحیه عمیق در پشت برس‌ها در بالادست و در بازشدگی‌ها و یک ناحیه کم عمق در پایین‌دست برس‌ها در حوضچه مشاهده می‌گردد.
- در راه ماهی از نوع کانال ماهی- قایق‌رو در عمق های پایین‌تر از ارتفاع ساقه‌ها (در حالت غیر مستغرق)، شیب نمودار دبی- عمق شدیدتر می‌باشد. در اعماق بالاتر از ارتفاع ساقه‌ها (در حالت استغراق)، شیب نمودار دبی- عمق نسبت به حالت غیر مستغرق کاهش می‌یابد. این مطلب بیانگر آن است که زبری کانال (ناشی از نصب برس‌ها)، در حالت غیراستغراق بیشتر از حالت استغراق می‌باشد.
- با در نظر گرفتن ابعاد ماهی طرح و اتلاف دبی مخزن سد، عمق بهینه جهت عبور مناسب ماهی، ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. این عمق بین دو دبی سوم و چهارم با مقادیر ۴/۴۰ و ۹/۰۴ لیتر بر ثانیه اتفاق می‌افتد. در این دو دبی، عمق متوسط جریان به ترتیب ۸/۷۰ و ۱۲/۷۸ سانتی‌متر می‌باشد.
- سرعت‌های طولی حداکثر، در بازشدگی‌ها اتفاق می‌افتد. ماهی طرح برای عبور از بازشدگی‌ها از سرعت انفجاری خود استفاده می کند. حداکثر سرعت در بازشدگی در دبی سوم، ۰/۶۲ متر بر ثانیه و در دبی چهارم ۰/۶۴ متر بر ثانیه می‌باشد. با ملحوظ داشتن حداکثر سرعت انفجاری ماهی طرح با توجه به مقیاس آزمایشگاهی (۰/۷۲ متر بر ثانیه)، مقادیر سرعت‌ها در محدوده قابل قبولی قرار دارند.
- سرعت‌های حداقل در داخل حوضچه‌ها اتفاق می‌افتند. بنابراین در حوضچه‌ها، ماهی طرح برای عبور از سرعت مداوم خود استفاده می‌کند. متوسط سرعت در دبی سوم ۰/۲۳ متر بر ثانیه و در دبی چهارم ۰/۲۱ متر بر ثانیه می‌باشد. با توجه به اینکه سرعت مداوم ماهی طرح ۰/۲۷ متر بر ثانیه می‌باشد، سرعت‌های داخل حوضچه در محدوده قابل قبولی قرار دارند.
- یک ناحیه کم‌سرعت در داخل حوضچه‌ها، بعد از هر برس تشکیل می‌شود که بهترین مکان برای استراحت ماهی‌ها می باشد.

منابع

۱- شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۹. مبانی و کاربرد مدلهای فیزیکی و هیدرولیکی. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- عبدلی، ا. و م . نادری. ۱۳۷۸. تنوع زیست محیطی ماهیان حوضه جنوبی دریای خزر. انتشارات علمی آبزیان.

۳- محمودی کردستانی، س. و م. شفاعی بجستان. ۱۳۷۹. معرفی راه ماهی دنیل و مقایسه عملکرد آن با راه ماهی از نوع بازشدگی قائم. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سد سازی، تهران.

۴- نژاد نادری، م. و م، خانجانی. ۱۳۸۸. مقایسه میزان استهلاک انرژی در انواع سازه راه ماهی. اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها، دانشگاه تهران.

۵- هدایتی،ه.، مسعودیان،م.، احسانی،ر. و م. غلامی. ۱۳۹۱. بررسی امکان استفاده از کانال ماهی رو – قایق‌رو با گیاه مصنوعی و مقایسه آن با راه‌ماهی شیار قائم در سد لاستیکی فرح آباد. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

6- An, R., Li, J., Liang, R. and Y.Tuo. 2016. Three-dimensional simulation and experimental study for optimising a vertical slot fishway. Journal of hydro-environment research. 12:119-129.

7- Armstrong, G., Aprahamian, M., Fewings, G., Gough, P., Reader,N. and P. Varallo. 2010. Environment agency fish pass manual.

8- Bombak, M., Cetina, M. and G.Novak. 2017. Study on flow characteristics in vertical slot fishways regarding slot layout optimization. Jurnal of ecological engineering. 107:126-136.

9- Cea, L., Pena, L. and . J. Puteras. 2007. Application of several depth averaged turbulence models to simulate flow in vertical slot fishways. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 133 (2): 160.

10- Clay, C.H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. Department of fisheries of canada, Ottawa,301p.

11- Hassinger,R. 2002. Der borstenfischpass–fischaufstieg und bootsabfahrt in einer rinne. Wasserwirtschaft. 92(4-5): 38-42.(In German)

12- Hassinger,R. and, D. Kraetz. 2004. The canoe-fishway- A combination of fish migration facility and canoe passage in the same channel. Hydraulics Laboratory and Testing Facilities, Deptment of Civil Engineering. University of Kassel, Germany.

13- Hassinger,R. 2009. Borsten-fischpässe und fisch-Kanu-pässe beschreibung des standes der technik. (In German)

14- Katopodis,C. 1992. Introduction to fishway design. Working document, Freshwater Institute, Deptment of Fisheries and Oceans, Canada.

15- MahmoodiKordestani, M and M.Shafai-Bajestan. 2002. Experimental investigation of hydraulic criteria in the fishways. International Conference on Environmental Engineering, 2002 joint CSCE/EWRI of ASCE conference/Nigara falls, Ontario, Canada.

16- Rajaratnam,N., Katopodis, C. and S, Solanki. 1992. New designs for vertical slot fishways. Canadian Journal of Civil Engineering. 19 (3): 402-414.

17- Wu,S. Rajaratnam,N. and C, Katopodis. 1999. Structure of flow in vertical slot fishway. Asce, Jurnal of hydroalic engineering.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 40, No. 4, Winter 2018, p. 61-75**

EXTENDED ABSTRACT

Experimental Study of Canoe-fishway Hydraulic Condition

R. Ehsani[1*], Y. Hassanzadeh[2], A. Mojtahedi[3], M. Sanei[4] and H. Hedayati[5]

1*- Corresponding Author, Ph.D. Student in Civil Engineering, Hydraulic Structures, University of Tabriz, Tabriz, Iran.(*ehsani_2010@yahoo.com*)

2- Professor, Department of Hydraulic, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3-Assistant Professor, Department of Hydraulic, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

4-Associate Professor, Department of River Engineering, Soil Conservation and Management Research Institute.

5-Graduated Student of Hydraulic Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Received: 22 February 2016 Accepted: 29 May 2016

Keywords: Canoe-fishway, Experimental model, Burst speed, Cruising speed.

Introduction

The idea of using canoe-fishway was first proposed by Hassinger (2002) and was experimentally conducted in the hydraulic laboratory of the Kassel University. Hassinger and Kraetz (2004) presented the general principles of the canoe-fishway design.

The idea of this new development was driven by the thought that a great number of thin and elastic rough elements on the one hand show a good performance in energy dissipation, and on the other hand, allows a man-driven boat to pass without being damaged. The brushes should be both firm enough to provide energy loss necessary to help fish climb easily and flexible enough to allow boats to pass through without being damaged and after the boats passing, the brushes will come back to their original state. About half of the experiments in running these facilities focuses on their application as only a fishway and the other concentrate on a hybrid structures as a canoe-fishway. Figure 1, shows an example of such fishway type (Hassinger., 2009).

In recent years, the development of studies and the construction of rubber dams within walking distance to the sea on the rivers in the north of the country, necessitate the need for constructing the environmentally friendly fishway. Constructing rubber dams near the sea disrupted the fishermen commuting and thus has created social tensions (Hedayati et al., 2012).

Hedayati et.al (2012) designed a canoe-fishway on Tajan rubber dam in Mazandaran province and compared it with the classic vertical slot fishway.

In this study, given the importance of creating environmentally friendly fishway on rubber dams in Mazandaran province and the problems created for small fishing boats travelling on Tajan River, first the laboratory canoe-fishway model was prepared by taking into account the fish biological parameters in Tajan, Then the depth and flow velocity were evaluated.

Methodology

In order to simulate the canoe-fishway, a rectangular flume with the respective width, height and length of 30 cm, 60 cm, and 10 m was used. The current discharge is adjusted by a tap in the upstream. A stilling basin was also provided at the upstream to slow the water flow before

entering the flume. A V-notch weir was used measuring the downstream flow rate. The current depth was measured by the depth gauge. An electromagnetic speedometer was used to measure the longitudinal and transverse flow velocity. The flume bed and left wall were made of Plexiglas and the right wall was made of glass. The flume bed had 0/04 slope. For brushes, the industrial Teflon plates, with a thickness of 5 mm and polyethylene tubes known as macaroni pipes, with a diameter of 6 mm, were used. The Teflon plates were cut to the size and a grid with center to center distance of 1 cm from each side for brushes installation (height 10 cm) was created. After that, the brushes were placed on Teflon plates and after being prepared using adhesives, they were installed on the flume. A total of eight brushes with proper layout were placed on the flume. Figure 1 shows the brushes composed of PE pipes and their relative arrangement shown on the channel bed. In total, by installing the eight brushes, 7 basin and 8 slots (opening) were created in the flume. Each brush has the size of about 15 (width)*18 (length) centimeter. And the slots width was be about 12 cm. The geometric consideration for such arrangement was based on the Caspian Sea Carp as the dominant species in the model design with a size of 1:5.

In this study, in order to measure the flow hydraulic characteristics, the flow depth measurements for 6 discharges (3 discharges below the submergence level and 3 discharges over the submergence level) for the fourth and fifth basins as well as the fourth, fifth and the sixth slots were performed. The flow velocity measurements for the third discharge were considered in different parts of the fourth basin and the fourth and the fifth slots. The flow rate measurements were conducted for 24 points in the fourth basin and the fourth and fifth slots.



Figure 1- The brushes made from PE pipes and their relative arrangement on the channel bed

Results and Discussion

In this study, it is observed that the water level in upstream brushes increases, but for the downstream brushes, a decrease witnessed in the basin water level. We also witnessed an increase in the water level in slots. Using GIS, measured depths raster map was provided for the 6 flow rates. A deep region in brushes in the upstream and slots along with a shallow area in the downstream brushes can be seen. One of the most important parameters in designing the fishway is to create appropriate minimum depth of water in the fishway respecting migratory fish sizes. In addition, the migration of fish overlaps the farming months. Therefore, in farming seasons, increasing the fishway flow depth would cause flow waste in the reservoir. Based on the given facts, it seems quite essential to achieve an optimum depth for the fishway. Given that the fish species in our model was the Caspian Sea Carp, the least flow depth to be within the laboratory scale, was set at 10 cm. Therefore, the depth of 10 cm (submergence threshold depth) is selected as the optimum depth. The third and fourth flow rates have the respective average depths of 8/70, and 12/78 cm, in which the necessary conditions for fish passage would be provided in both flow rates. The fifth and sixth flow rates, having average flow depths of 15/8, and 17/4 cm, respectively, are suitable for fish passing. But as the dam flow rate for these two water depths increased a reservoir water loss during the farming season happened. Regarding the experimental

model results, it became evident that the maximum longitudinal velocities occurred in the slots and the front areas of the slots in the basins.

Conclusion

Based on the findings of this study, here follows a brief summary of the results:

- By conducting the in-vitro model, a deep area behind the brushes in the upstream and along the slots was formed, and also a shallow area in the brushes downstream were made.
- Taking into account the dimensions and size of the fish under study and dam reservoir discharge loss, the optimal depth suitable for the fish passing was 10 centimeters. Such depth arises between the third and fourth discharges with the respective values of 4/90, and 9/90 liters per second. The average flow depth in these two discharges are 8/70, and 12/78, respectively.
- Regarding the experimental model results, it became evident that the maximum longitudinal velocities occurred in the slots and the front areas of the slots in the basins.
- A low-velocity area (close to zero) was formed after each brush serving as the best place for fish to relax.

References

1- Hassinger,R. 2002. Der borstenfischpass–fischaufstieg und bootsabfahrt in einer rinne. Wasserwirtschaft. 92(4-5): 38-42.

2- Hassinger,R. and, D. Kraetz. 2004. The canoe-fishway- A combination of fish migration facility and canoe passage in the same channel. Hydraulics Laboratory and Testing Facilities, Deptment of Civil Engineering. University of Kassel, Germany.

3- Hassinger,R. 2009. Borsten-fischpässe und fisch-Kanu-pässe beschreibung des standes der technik.

4- Hedayati, H., Masudian, M., Ehsani, R. and M, Gholami.2012. Investigation on the possibility of using canoe fishway and comparing it vertical slot fish way in the rubber dam in Farah Abad. The 9th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)