

بررسی عددی رفتار هیدرولیکی و سرعت جریان در راه ماهی سد انحرافی کرخه با نرم افزار فلوئنت

ابراهیم نوحانی^{۱*}، روح اله علی پور^۲

۱- گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، Nohani_e@yahoo.com

۲- گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران، r.alipour1391@yahoo.com

چکیده

راه ماهی ها به سازه های خاصی اطلاق می شود که به ماهی های در حال مهاجرت کمک می کند تا بر موانع و انسدادهایی که راه آنها را به سوی محل تخم ریزی سد می کند، غلبه کنند. این سازه ها باید طوری طراحی شوند که نوع ماهی منطقه را جذب کنند و آنها را وارد خود کرده، به طور ایمن عبور داده و از خروجی خارج نماید بدون اینکه ماهی زخمی شود یا تأخیر غیر ضروری برای ماهی بالغ تخم ریزنده به وجود آورد. انواع راه ماهی که اکثراً مورد استفاده قرار می گیرد به چهار دسته تقسیم می شود: استخر و سرریز، دنیل، بازشدگی قائم و کالورتی. الگوی جریان در راه ماهی ها تأثیر بسیار مهمی در هدایت ماهیان دارد. عوامل موثر در شنا کردن ماهی ها فقط میدان سرعت و عمق آب نبوده میزان آشفستگی نیز موثر است. آشفستگی اضافی می تواند مسیر حرکت ماهیان را مسدود کند. اخیراً، مطالعات نشان داده اند که سرعت آب و آشفستگی می تواند نقش مهمی را در عبور موفقیت آمیز ماهی از طریق یک راه ماهی اجرا کند. با توجه به اهمیت فراهم نمودن تمهیدات طراحی بمنظور ارتقاء عملکرد سازه های مهم و حساس هیدرولیکی، این پژوهش از مدل Fluent برای شبیه سازی رفتار هیدرولیکی جریان با اعمال شرایط هندسی و هیدرولیکی متفاوت استفاده نموده تا بر اساس نتایج حاصله از آن، بتوان بخشی از چالش های موجود را شناسایی و راهکارهای مناسب برای بهبود عملکرد آنها را ارائه داد. هدف از این کار مطالعه تنش برشی رینولدز و میدان سرعت در یک راه ماهی روزنه و سرریز و تست عملکرد گونه بالغ ماهیان محلی در سازه راه ماهی، به منظور تعیین پاسخ های رفتار یک این ماهی بالغ در نظر گرفته شده بود.

واژه های کلیدی: راه ماهی، میدان سرعت متوسط، تنش برشی رینولدز، روزنه و سرریز، آشفستگی

مقدمه

کشکان می باشند. متوسط حجم آب سالانه رودخانه کرخه در ایستگاه هیدرومتری پای پل، ۵۵۸۲ میلیون مترمکعب و متوسط آبدهی آن ۱۷۷ مترمکعب در ثانیه می باشد. رودخانه کرخه از سلسله جبال زاگرس سرچشمه می گیرد حوضه کوهستانی این رودخانه تا ایستگاه هیدرومتری پای پل ادامه داشته و در این محل، رودخانه وارد دشت خوزستان می گردد. مسیر رودخانه در محدوده حدفاصل ایستگاههای پای پل تا حمیدیه دارای پیچ و خم های زیادی است.

عبور از بالادست می تواند از طریق انواع مختلف راه ماهی ها انجام شود، کانال های گذرگاه طبیعی، سازه بالابر ماهی و موانع ماهی و یا مجموعه و

رودخانه کرخه سومین رودخانه پرآب کشور بعد از رودخانه های کارون و دز می باشد، که در حوضه ای به وسعت بالغ بر ۵۰ هزار کیلومترمربع (سه درصد مساحت کشور ایران) در محل ورود به جلگه خوزستان و با متوسط آبدهی سالانه ۱۷۷ مترمکعب در ثانیه (۵۶ میلیارد مترمکعب در سال) در حدود ۱۱۵ هزار هکتار را در وضع موجود آبیاری می نماید. این رودخانه از مناطق میانی و جنوب غربی رشته کوههای زاگرس در نواحی غرب و شمال غرب کشور سرچشمه گرفته و شاخه های اصلی تشکیل دهنده رودخانه کرخه رودخانه های گاماسیاب، قره سو، سیمره، چرداول و

داخل روزنه مستغرق از رابطه روزنه بدست می آید. بار هیدرولیکی روی روزنه معمولی برابر ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر منظور می شود. روزنه ها معمولاً بصورت زیگزاگی در طرفین دیوار میانی به صورت یک در میان قرار گرفته اند. بسته به ارتفاع سد تعداد استخرها ممکن است بیش از ۱۰ عدد باشند. چنانچه استخرها زیاد باشند می توان در طراحی از استخر استراحت که طول آن دو برابر طول معمولی استخر است استفاده کرد. معمولاً برای هر ۵ استخر معمولی یک استخر استراحت در نظر می گیرند. راه ماهی از طریق دیوار جانبی از سایر اجزای سد جدا می گردد و معمولاً در یک طرف سد انحرافی نزدیک کناره رودخانه ساخته می شود. ارتفاع دیوار جانبی حدود ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر از تاج سرریز بلندتر می باشد که ماهی در هنگام پرش به خارج پرتاب نگردد. سایر اجزای مربوطه به این راه ماهی در شکل شماره (۱) ارائه شده است.

توانایی شنا کردن یک عامل کلیدی در تکمیل موفقیت آمیز مهاجرت ماهی است. ماهی در سفر به بالادست مواجه با انواع جریان و سرعت حرکت آب می باشد. این محدوده از مناطق با جریان آهسته، مانند استخر، بخشی از عرض رودخانه و یا از جریان با شیب خفیف می رسد به مناطق با جریان های سریع، مانند تنداب، بخش باریک و یا با شیب تند می رسد. ماهی قادر به عبور این شرایط با استفاده از سطوح مختلف عملکرد شنا می باشد. عملکرد شنا کردن ماهی طبقه بندی شده است به سرعت انفجاری (بالا ترین سرعت قابل دسترسی و در مدت کمتر از ۱۵ ثانیه)، سرعت طولانی مدت (با سرعت متوسط است که می تواند تا ۲۰۰ دقیقه حفظ کند)، و سرعت پایدار (با سرعت به طور نامحدود حفظ کند) طبقه بندی شده. در آبراه های طبیعی، ماهی به طور عمده در هنگام مهاجرت به بالادست با استفاده از سرعت پایدار و طولانی و گاهی اوقات با استفاده از سرعت انفجاری هم برای غلبه بر مناطق با سرعت بالا مانند تنداب ها حرکت میکند [۱۳].

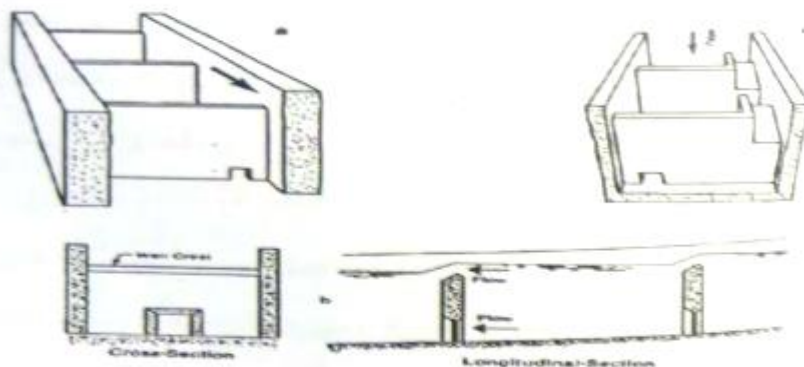
تجهیزات حمل [۱۱]. راه ماهی ها سازه های هیدرولیکی هستند که می توانند مهاجرت به بالادست و پایین دست را برای گونه های خاص ماهی در رودخانه ها تسهیل نمایند. راه ماهی اجازه می دهد تا گونه های ماهی به محل تخم ریزی خود دست یابند و راه ماهی ها به انواع شکاف قائم، استخر- سرریز، دنیل و کالورت طبقه بندی می شوند [۱۸]. راه ماهی های ساخته شده در به طور عمده براساس مدل مورد استفاده در کشور برای عبور ماهیان آزاد به بالادست می باشد ماهی ها با توجه به استراتژی های مهاجرت و رفتار شنا کردن متفاوتند. در تمایل، مهاجرت به سمت بالادست آزاد ماهیان یک انگیزه قوی تولید مثل وجود دارد، که برای تمام حرکت ماهیان مهاجر محلی صدق نمی کند [۲]. راه ماهی های شکاف قائم و استخر و سرریز از عمده انواع ساخته شده در ایران هستند. با توجه به عدم وجود اطلاعات عمومی در زیست شناسی گونه های مهاجر، عوامل مهم بیولوژیکی در پروژة های راه ماهی در ایران در نظر گرفته نشد. نتیجه اجتناب ناپذیر آن تغییر در فراوانی و غنای گونه ها است [۱]. تعدادی از مطالعات درباره مشخصات هیدرولیکی در مورد رفتار گونه مهاجر شناخته شده است، مانند سرعت آب و آشفتگی. به تازگی، مطالعات نشان داده اند که سرعت آب و آشفتگی می تواند نقش اساسی در گذر موفق ماهی از طریق راه ماهی ایجاد کند [۱۷].

راه ماهی از نوع روزنه و سرریز

این راه ماهی ها از استخر های پشت سر هم تشکیل گردیده اند که در بین آنها دیواره جدا کننده قرار دارد. این دیواره به عنوان سرریز در سازه به کار می رود و این امکان را می دهد که ماهی در صورت لزوم از روی آن پریده و از استخر پایین دست به استخر بالا دست صعود نماید. همچنین در زیر دیواره ی مذکور ممکن است روزنه ای به ابعاد $۴۰ * ۴۰$ سانتی متر ایجاد شود تا برای ماهی هایی که قدرت پریدن ندارند از این روزنه به بالا دست عبور نمایند. سرعت

محدودیت اصلی راه ماهی استخر و سرریز محدوده باریک از جریان عامل است [۳]. با افزایش دبی، رژیم جریان در راه ماهی استخر و سرریز از جریان غوطه‌ور به جریان رویه‌ای متغیر است. در ایران، نوع راه ماهی روزنه و سرریز در ارتباط با راه ماهی حمیدیه در رودخانه کرخه است، (شکل ۲). راه ماهی کرخه حدود ۲۵ متر طول، ۳ متر عرض و ۴/۲۷٪ شیب کف است و طرح آن زیگزاگ است.

شناخت انواع ماهی‌های مهاجر، میزان و فصل مهاجرت آنها و همچنین اندازه ابعاد ماهی‌ها از جمله اطلاعات بیولوژیکی لازم برای طراحی یک راه ماهی می‌باشد. رفتار ماهی‌ها نیز در انتخاب نوع راه ماهی مؤثر می‌باشد به طوری که مشخص شده است بعضی از ماهی‌ها یک نوع راه ماهی را از میان انواع دیگر ترجیح می‌دهند. حداکثر سرعت آب از میان روزنه‌ها و باز شدگی‌ها نبایستی از سرعت انتحاری ماهی بیشتر باشد. سرعت مذکور، یک سرعت خیلی بالا است، که ماهی می‌تواند در کمتر از ۱۵ ثانیه در جهت مخالف به شنا کردن پردازد.



شکل ۱- راه ماهی نوع روزنه و سرریز

از انواع ماهی‌ها یک نوع راه ماهی را از میان انواع دیگر ترجیح می‌دهند. حداکثر سرعت آب روی سرریز یا از میان روزنه و باز شدگی نبایستی از سرعت انتحاری عبور ماهی بیشتر باشد. سرعت انتحاری، یک سرعت شنای خیلی بالاست که ماهی می‌تواند در کمتر از ۱۵ ثانیه ادامه دهد. میانگین سرعت حداکثر روی سرریز، میان روزنه یا باز شدگی در طراحی راه ماهی برای ماهی‌های آزاد بالغ، ۲/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. سرعت حرکت مداوم نیز در طراحی راه ماهی بسیار مفید می‌باشد. این سرعت، اندازه متوسطی از سرعت جریان در استخرها می‌باشد که ماهی می‌تواند برای زمان‌های ۱۵ ثانیه تا ۲۰۰ دقیقه با این سرعت به حرکت خود ادامه دهد.

اطلاعات هیدرولیکی رودخانه

اطلاعات هیدرولیکی رودخانه از جمله مقاطع عرضی، پروفیل‌های سطح آب، نقاط دارای سرعت جریان بالا و جریان‌های در هم می‌توانند به تعیین محل ورودی ماهی (ابتدای راه ماهی) که بسیار مهم می‌باشد کمک بزرگی کنند.

اطلاعات بیولوژیکی رودخانه کرخه

شناخت انواع، تعداد و تراکم جمعیت در هنگام مهاجرت، اندازه ابعاد و فصل تخم‌ریزی ماهی‌های مهاجر و همچنین سرعت شنا کردن آنها از جمله اطلاعات بیولوژیکی لازم برای طراحی راه ماهی می‌باشند. شناخت رفتار ماهی در انتخاب نوع راه ماهی بسیار مهم می‌باشد، زیرا مشخص شده است بعضی

داده شده است [۱۷]. مولفه افقی تنش برشی رینولدز به صورت زیر تعریف می شود:

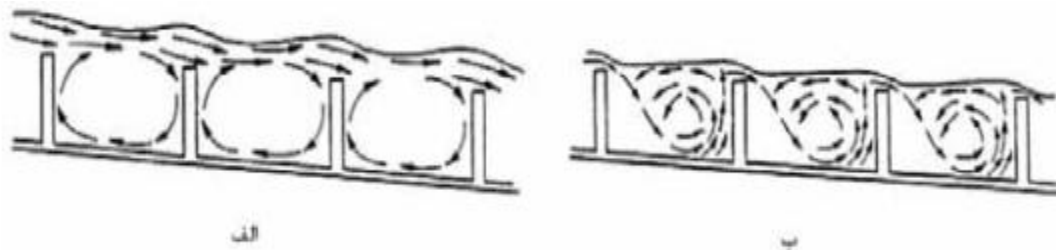
$$\tau = \rho \cdot u' \cdot V' \quad (۱)$$

که در آن ρ وزن مخصوص آب است، u' و V' به ترتیب سرعت های نوسانی در جهت X و Y هستند.

مواد و روش ها

مدل نردبان ماهی

این مطالعه در یک راه ماهی استخر و سرریز در سد انحرافی کرخه حمیدیه، در خوزستان انجام شده است. سازه ای به طول ۲۵ متر، عرض ۳ متر و ارتفاع ۷۵ سانتیمتر هر استخر ساخته بود. راه ماهی از بتن مسلح ساخته شده و قادر به تامین جریان دائمی توسط یک سیستم به حالت چرخش داخلی دارد. شیب بستر راه ماهی ۴/۲۷٪ است. راه ماهی روزنه و سرریز دارای ۱۱ استخر، که یکی از آنها ۴ متر و بقیه ۲ متر طول دارند، حوضچه ها دارای یک روزنه مستغرق و بصورت زیگزاگ در سطح می باشند (شکل ۲).



شکل ۲- حوضچه با روزنه و سرریز مستغرق

عنوان مرجع برای اندازه گیری در هر صفحه برای هر استخر نردبان ماهی استفاده شد.

برای هر نقطه، سرعت متوسط با (U_{med}, V_{med}) و حداکثر سرعت با (U_{max}, V_{max}) می باشد که مؤلفه های X و Y نامیده می شوند. به منظور محاسبه مولفه افقی تنش برشی رینولدز، برای تعیین نوسانات سرعت (U', V') برای محور X و Y ، با توجه به رابطه زیر تعریف گردید:

$$U' = U_{max} - U_{med} \quad (۲)$$

میدان سرعت آب و میدان تنش برشی رینولدز

مطالعات گذشته ساختار جریان در راه ماهی را پیش بینی کرده اند. سرعت جریان در نردبان ماهی نقش مهمی در جذب ماهی ایفا می کند [۵]. تمایز ماهی و توانایی های مختلف برای درک تغییرات در محیط آبی از خود نشان می دهند [۱۸]. پس، یک دبی می تواند برای گروهی معین از ماهیان مناسب باشد اما برای دیگران محدودیت باشد [۴]. تنش برشی رینولدز نشان دهنده یک نیرو در واحد سطح است و زمانی رخ میدهد که دو توده یا لایه های مختلف آب سرعت های موازی و یا نزدیک به یکدیگر داشته باشند [۱۷]. ماهی ممکن است تنش برشی را تجربه کند زمانی که در حال حرکت بین دو توده آب با سرعت های مختلف و یا زمانی که در حال حرکت در نزدیکی یک سازه باشد [۶]. این طرح، تنها مولفه افقی تنش برشی رینولدز را مورد مطالعه قرار داد، که به عنوان بخش قابل توجهی برای راه ماهی نوع استخر نشان

دو روزنه متوالی و سرریزها در طرف مقابل دیواره مقطع قرار گرفتند، یک مسیر جریان سینوسی ایجاد می کند.

اندازه گیری سرعت و دبی

اندازه گیری همه سرعت ها با یک میکرومولینه انجام شد. اندازه گیری ها در صفحات مختلف افقی و به موازات کف بستر انجام گرفته شد (یعنی در عمق ۲۰ cm و ۶۰ cm) یک شبکه از ۱۵۰ نقطه به

متوسط سرعت در استخرها ارقام تقریباً یکسانی ارائه نمودند (برای روزه غیر مستغرق).

متر بر ثانیه $V = \frac{11/584}{24} = 0/482$ در استخر شماره ۷

متر بر ثانیه $V = \frac{11/761}{24} = 0/490$ در استخر شماره ۵

متر بر ثانیه $V = \frac{11/256}{24} = 0/469$ در استخر شماره ۴

نتیجه گیری و بحث

در طول بررسی، برای جمعیت ماهیان به نظر می رسد حرکت در راه ماهی بدون مشکلات عمده انجام می شود. سرعت متوسط آب در استخر ۴ بیش از ۰.۲۵ ظرفیت شنا کردن ماهی است (شکل ۳).

$$V' = V_{\max} - V_{\text{med}} \quad (3)$$

به دلیل اینکه در این نوع راه ماهی دبی در سرریز کنترل می شود بنابراین دبی راه ماهی با استفاده از رابطه سرریز لبه پهن به صورت زیر برآورد خواهد شد:

$$Q = 1.984 * C * L_W * H^{1.5} \quad (4)$$

L_W = طول تاج سرریز که در واقع همان عرض استخر راه ماهی است (متر)

H = پایین افتادگی آب در هر استخر (متر) که معمولاً ۰.۳ فرض می شود.

C = ضریب سرریز و برابر:

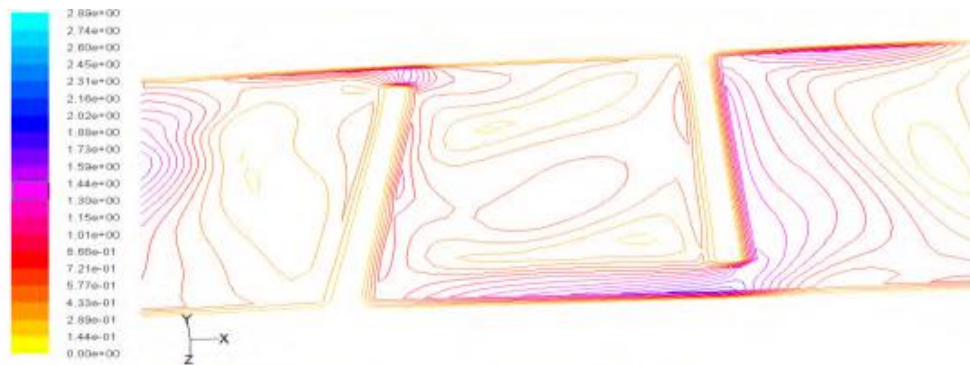
$$C = \frac{2}{3} * C_d * \sqrt{2g} \quad (5)$$

که در آن :

C_d = ضریب شدت جریان

ضریب C_d تابعی از ارتفاع آب روی سرریز (H_d)

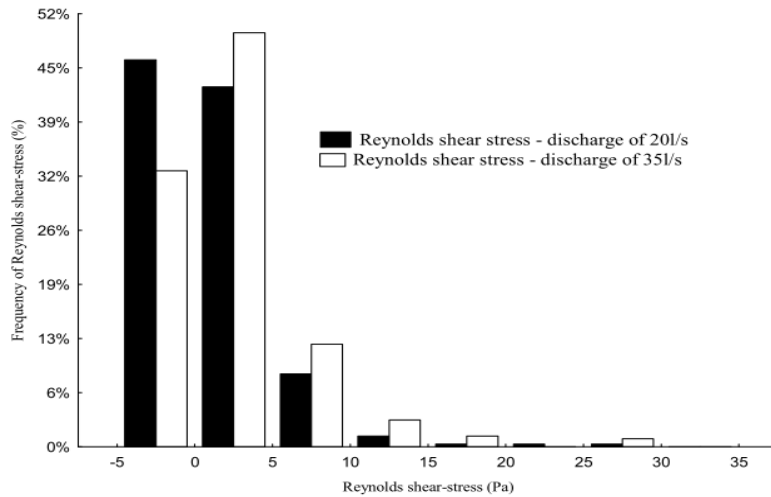
و پهنای سرریز در جهت جریان آب (B_W) است .



شکل ۳- نمایش خطوط سرعت در استخر چهارم راه ماهی

نشان داده شده است، هر چند سرعت متوسط ممکن است تنها پارامتر هیدرولیکی مناسب برای توجیه رفتار ماهی نباشد. مولفه افقی میدان تنش برشی رینولدز با مقادیر کم برای دو دبی که مورد بررسی قرار گرفته بود مشخص شد (شکل ۴).

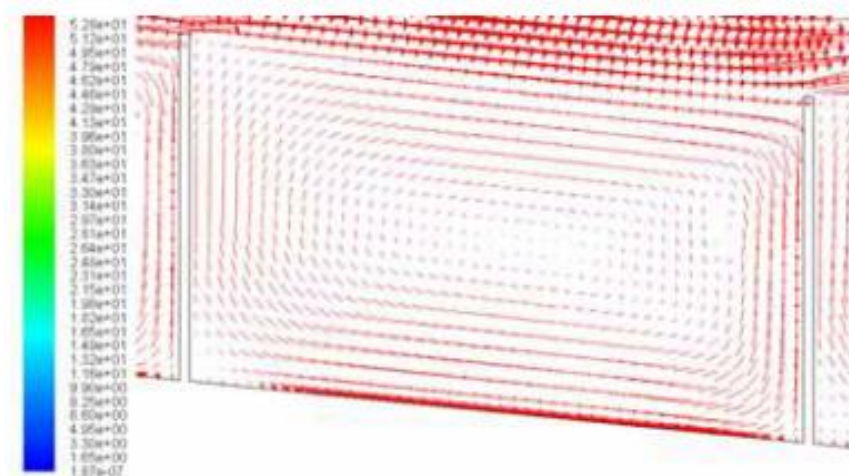
ماهی رفتار و توانایی های مختلف با توجه به جریان آب نشان می دهد. در ایران، گونه های آبیزی مانند Cyprinidae ظرفیت شنای بزرگ دارند، که باعث موفقیت صعود به این نوع راه ماهی های (توضیح داده) ساخته شده در ایران شده است. ممکن است ماهی نواحی سرعت متوسط کم را ترجیح دهند که



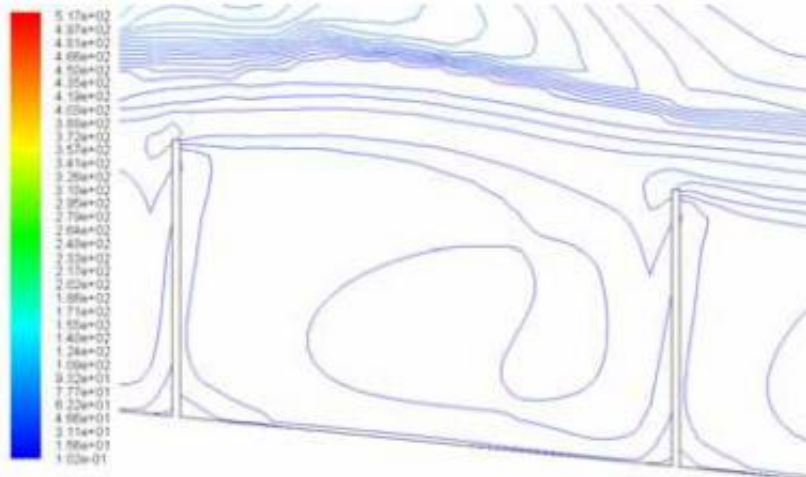
شکل ۴- تنش برشی رینولدز برای دبی 20 L / S و 35 L / S

که می تواند باعث افزایش عملکرد شنا گردد. با توجه به بررسی های راه ماهی، مشخص شد که ماهی زمان بیشتری را در نواحی تنش برشی رینولدز کم برای دو جریان بررسی شده باقی مانده است.

با توجه به مشاهدات، ماهی ممکن است برای شنا به نواحی تنش برشی رینولدز کم جذب شود، اگرچه در آن سرعت متوسط بالا وجود دارد. نواحی با تنش برشی رینولدز کم میتواند یک محیط آشفته کمتر داشته باشد



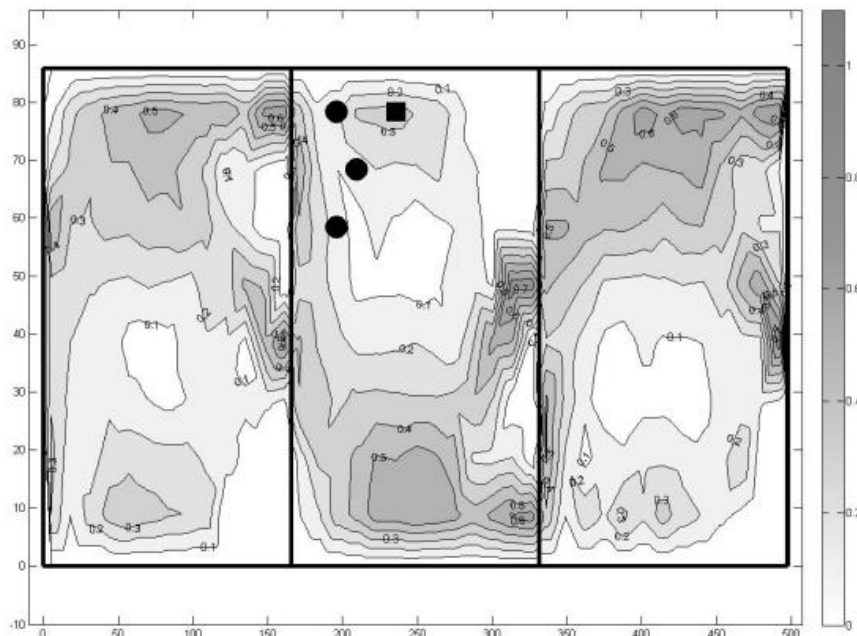
شکل ۵- بردارهای سرعت در استخر راه ماهی.



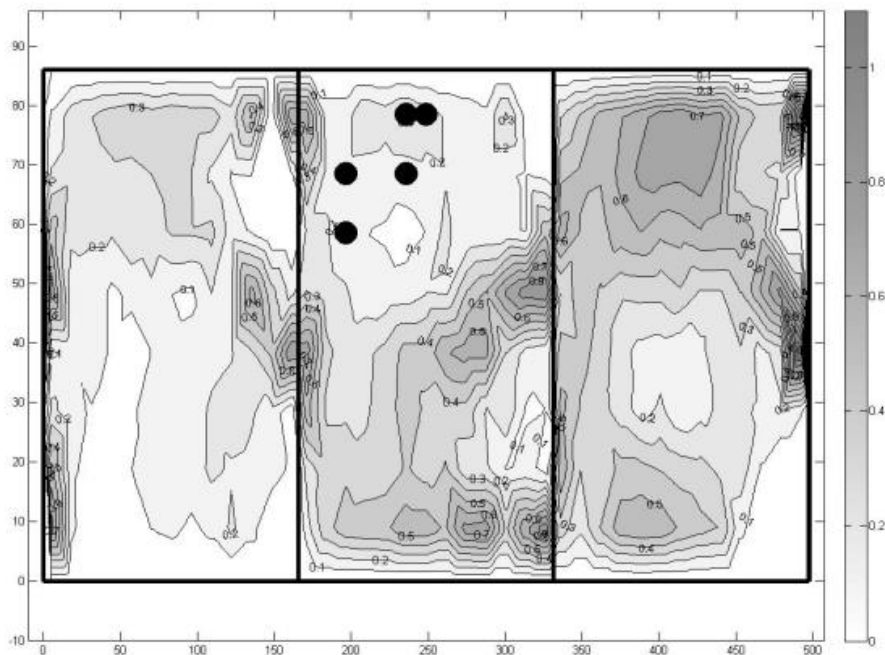
شکل ۶- کانتورهای شدت آشفتگی .

که ماهی از جریان اصلی به آن پناه می برد، بهره برداری از مناطق سرعت جریان کاهش می یابد. ماهی زمان بیشتری را در مناطق با میدان سرعت متوسط پایین باقی مانده است (شکل ۷).

ماهی از نواحی با تنش برشی رینولدز بالا اجتناب می کند. بعلاوه، ماهی اغلب بخشی از زمان را در ناحیه مقابل روزنه در سمت راست از استخر دوم باقی مانده است. در غیر این صورت، ماهی می تواند از نواحی که سرعت جریان آن کاهش یافته بود استفاده کند، جایی



شکل ۷- میدان سرعت متوسط برای دی 20L / S



شکل ۸- میدان سرعت متوسط برای دبی 35 L / S.

روزنه می باشد که در روزنه غیر مستغرق در آن محل سرعت کمتری اتفاق می افتد. همچنین برای استخر شماره ۴ ارتفاع جریان در استخر افزایش یافت (به عمق ۸۰ سانتیمتر) به نحوی که حدود ۵ سانتیمتر آب از سرریز تخلیه می شد. در منطقه میانی استخر معمولاً سرعت حداقل اتفاق افتاده است. ضمناً سرعت متوسط در حالت مستغرق رقم قابل قبولی را نشان می دهد. راه ماهی استخر و سرریز با روزنه و سرریز زمانی که در طیف وسیعی از دبی های مورد مطالعه عمل می کند. ماهی در اکثر موارد مشاهده شده در مناطق با تنش برشی رینولدز کم باقی مانده است، همانطور که در نواحی با سرعت متوسط کم یافت می شود. مناطق با تنش برشی رینولدز کم ظاهر امیدوار کننده برای جذب و صعود برخی از گونه های ماهی ها را دارد، با ارائه یک محیط با ثبات تر، و با شیب سرعت پایین تر است [۱۷] در روزنه مستغرق در اعماق پایین رقم کمتری از سرعت مشاهده می شود و عبور ماهی را از پائین الزام آور می سازد. سرعت آب و آشفتگی می تواند نقش مهمی را در عبور موفقیت آمیز ماهی از طریق

سرعت آب نیز یک پارامتر مهم مربوط به موفقیت ماهی در صعود راه ماهی است، چرا که سرعت جریان می تواند حرکت ماهی را تحت تاثیر قرار دهد [۸]. در مواجهه با موانع سرعت، ماهی عبور خود را از یک ناحیه با سرعت جریان پایین تر انتخاب می کند، و یا از یک ناحیه ای که در آن سرعت جریان از توانایی شنا کردن آنها کمتر است. [۱۵]

نتیجه گیری

در مقابل روزنه (وقتی که روزنه مستغرق نباشد) سرعت نسبتاً شدید است. بخصوص در حاشیه خارجی روزنه سرعت های حداکثر اتفاق افتاده است. مشاهده گردید که در محل مذکور سرعت به ۱/۶ و حتی ۱/۸ متر بر ثانیه می رسد. این سرعت ها نزدیک به سرعت انتحاری می باشند. در روزنه ورودی به استخر (روزنه بالادست) سرعت شدیدتر از روزنه خروجی است. بدین معنی که در بالا دست روزنه خروجی، سرعت ها رقمی در حدود ۰/۶ متر بر ثانیه را اختیار نموده که رقم قابل تحمیلی می باشد. به نظر می رسد که در هنگام عبور ماهی از روزنه ها، ایمن ترین مسیر، حاشیه داخلی

راه ماهی بازی کند. تنش برشی رینولدز و میدان
سرعت متوسط را می توان از معیارهای بالقوه
هیدرولیکی برای پروژه های آینده راه ماهی در نظر
گرفت.

منابع

۱. نژاد نادری، مهدی، و محمد جواد فدایی، ۱۳۹۱، طراحی ابعاد دهانه خروجی راه ماهی بر اساس عدم قطعیت هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به روش گشتاور دوم مرتبه اول حول میانگین، همایش ملی پژوهشهای آبیان و اکوسیستم های آبی، سوادکوه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه.
۲. شاملو، حمید، و شادی اکنونی، ۱۳۹۰، شبیه سازی عددی سه بعدی جریان در راه ماهی نوع حوضچه و سرریز، اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاههای برق آبی، تهران .
۳. عباسی چناری، سامان، و امیرعباس کمان بدست، ۱۳۹۰، شبیه سازی عددی آشفتگی جریان و استهلاك انرژی در سازه نردبان ماهی بوسیله مدل Flow-3D، اولین کنفرانس ملی شبیه سازی سیستمهای مکانیکی، اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.
۴. مهندسین مشاور ساز آب پردازان، تیر ماه ۱۳۸۳، بازنگری مطالعات مرحله اول هورالعظیم، گزارش ارزیابی زیست محیطی.

5. j.alvarez Vazquez , 2008 , Mathematical modeling and optimal management vertical slot fishway, Journal of computational and applied mathematics, Volum 218, Pages 395- 403 .
6. Bermúdez, M., Puertas, J., Cea, L., Pena, L., Balairón, L., 2010 ,Influence of pool geometry on the biological efficiency of vertical slot fishway , Ecological engineering , 36, 10, 1355 –1364 .
7. Namihira, A., 2009 , Studies on design of pool and weir type fishway focusing flow structure in the fishway , Agricultural engineering research center, Report Vol. 49, (in Japanese).
8. Bates K.Fishway guidelines for Washington State, Draft report, Washington Department of Fish and Wildlife, 53p, (2000).
9. Park, S. Y. , 2007 , An experimental study on the swimming performance of local migrating for circular fishway design , PhD Thesis, Dept of Civil and Environmental engineering, Myongji university (in Korean)
10. Fujihara, M., Akimoto, M., and Izumi, M. , 2009 , 3-D Flow simulation of an ice-harbor fishway , Advances in water resources and hydraulic engineering, Proc. of 16th AIHR-APD Congress and 3rd Symposium of IAHR-ISHS, Vol. VI .
11. L.J. Alvarez-Vazquez, A. Martinez, M.E.Vazquez-Mendez, M.A.Vilar., 2008 , An optimal shape problem related to the realistic design of river fishway, Elsevier, Ecological engineering 32 .08 .
12. Kim J. H. Hydraulic characteristics by weir type in a pool-weir fishway, Ecological Engineering, Vol.16, (2001), pp 425-433.
13. C . Katopodis , N. Rajaratnam , D . Tovell & S .WU , 1997 , Denil fishways of varying geometry , Journal of hydraulic engineering , ASCE Vol. 123. No. 7.
14. Mufeed Odeh, M.A , 2003, Discharge rating equation and hydraulics characteristics of standard denil fishways , Journal of hydraulic engineering , ASCE vol.129 , No.5 .
15. S.A.Ead, M.A, N.Rajaratnam, F.A & C.Katopodis, M.A , 2002, Generalized study of hydraulics culvert of fishways , Journal of hydraulic engineering , ASCE vol.128, No .11 .

16. Martin Bombac, G. Novak , P. Rodic ,M,Cetina 2014, Numerical and physical model study of a vertical Slot fishway , Journal of hydrology and hydromechanics. Vol.62, Issue 2, ISSN .
17. Silva A. T., Ferreira M. T., Pinheiro A. N., Katopodis C. “Effects of water velocity and turbulence on the behaviour of Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner 1864) in an experimental pool-type fishway”, River Research and Applications, Vol. 27, (2010), pp 360-373.
18. Yagci O. Hydraulic aspects of pool-weir fishways as ecologically friendly water structure, Ecological Engineering, Vol. 36, No. 1, (2010), pp 36-46.