

بررسی شرایط هیدرولیکی راه‌ماهی از نوع کانال ماهی-قایق‌رو با استفاده از مدل عددی Flow-3D

روح‌الله احسانی^{۱*}

یوسف حسن‌زاده^۲

علی‌رضا مجتهدی^۳

مجتبی صانعی^۴

چکیده

راه‌ماهی‌ها، به دلیل نقش مهمی که در مهاجرت آبزیان و بقا نسل آن‌ها دارند، از اجزای اصلی سازه‌های تقاطعی از جمله سدها هستند. در این تحقیق مدل عددی کانال ماهی-قایق‌رو با استفاده از نرم افزار Flow-3D تهیه شده است. به منظور صحت‌سنجی از نتایج مدل آزمایشگاهی استفاده شد. با مقایسه نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی، مشخص شد که میزان خطا برای عمق و سرعت جریان، به ترتیب ۳ و ۱۱/۵ درصد است. سپس با استفاده از مدل عددی، به ازای دبی‌های بهینه، مقادیر سرعت جریان در راستاهای مختلف حوضچه و بازشدگی‌ها ارائه شد. یک ناحیه کم سرعت در داخل حوضچه‌ها، بعد از هر برس تشکیل می‌شود که بهترین مکان برای استراحت ماهی‌ها است. سرعت‌های طولی بیشینه، در بازشدگی و همچنین در جلوی بازشدگی در حوضچه، اتفاق می‌افتد. با ارایه مقادیر آشفستگی جریان در نقاط مختلف کانال، مشخص گردید که بیشینه آشفستگی در بازشدگی کانال اتفاق می‌افتد. همچنین مشخص شد که سرعت‌ها و آشفستگی‌ها در نقاط مختلف کانال در محدوده مجاز قرار دارند.

واژه‌های کلیدی

کانال ماهی-قایق‌رو، مدل آزمایشگاهی، مدل عددی، سرعت انفجاری، سرعت مداوم.

*۱. دانشجوی دکترای مهندسی عمران، سازه‌های 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.

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^۱

ب- بازشدگی قائم^۲

ج- دنیل^۳

د- کانال ماهی- قایق رو^۴

راه‌ماهی حوضچه و سرریز شاید قدیمی‌ترین نوع راه‌ماهی 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 جدا شده‌اند. هر کدام از این سرریزها دارای یک شکاف در قسمت بالایی هستند 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 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. راه‌ماهی بازشدگی قائم تقریباً مشابه راه‌ماهی حوضچه و سرریز است با این تفاوت که برای عبور ماهی عمق بازشدگی برابر ارتفاع سرریز خواهد بود. بنابراین در این راه‌ماهی، نیازی به پرش از روی سرریز نیست و ماهی در هر عمقی قادر به شنا و عبور از مجرا است (کاتوپودیس^۵، ۱۹۸۱).

راه‌ماهی دنیل نیز از انواع راه‌ماهی است که به وسیله جی-دنیل در سال ۱۹۰۸ معرفی شد. این نوع راه‌ماهی توسط کاتوپودیس (۱۹۸۱) مورد مطالعه دقیق قرار گرفته است. راه‌ماهی دنیل از یک کانال مستقیم مستطیلی شیب‌دار تشکیل گردیده که درون آن قاب‌هایی متعادل قرار گرفته‌اند. نحوه قرارگیری قاب‌ها باعث اتلاف انرژی زیاد جریان گردیده و جریان نسبتاً مناسبی را برای عبور ماهی در یک مسیر مستقیم و پیوسته فراهم می‌کند (کاتوپودیس، ۱۹۹۲).

تحقیقات در زمینه هیدرولیک جریان راه‌ماهی دنیل توسط راجاراتنام^۶ و همکاران (۱۹۹۲) انجام شد که نتایج بسیار جالبی در طراحی دنیل‌ها به دست آمد.

عوامل مؤثر در شنا کردن ماهی‌ها فقط میدان سرعت و عمق آب نبوده میزان آشفتگی نیز مؤثر است. آشفتگی اضافی می‌تواند مسیر حرکت ماهی‌ها را مسدود کند. توسط کلی^۷ (۱۹۹۵) پیشنهاد شد که در طراحی راه‌ماهی نقاط با آشفتگی زیاد مشخص شده و نحوه تاثیر آنها بر رفتار ماهی تعیین شود. برای حل چنین مسائلی می‌توان روش‌های عددی را به کار بست.

با انجام مدل عددی جریان روی یک سرریز اوجی به روش دینامیک سیالات محاسباتی و به کار بستن مدل Fluent توسط ساویج^۸ و جانسون^۹ (۲۰۰۱) و مقایسه آن با داده‌های آزمایشگاهی، نشان داده شد که با دینامیک سیالات محاسباتی می‌توان فشارها و دبی را در چنین سازه‌هایی پیش‌بینی کرد. با استفاده از مدل عددی جریان آشفته k-ε و مدل حجم سیال VOF توسط چن^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۱)، سرریزهای پلکانی شبیه‌سازی شد. در این شبیه‌سازی از شبکه‌بندی بی‌سازمان برای سوارکردن مرزهای نامنظم استفاده شد. با مقایسه نتایج این مدل با داده‌های آزمایشگاهی با دقت مناسب، نشان داده شد که شبیه‌سازی عددی آشفتگی روشی مؤثری برای شبیه‌سازی سرریزهای پلکانی است.

با شبیه‌سازی جریان توسط کاریکا^{۱۱} (۲۰۰۵)، با استفاده از روش حجم سیال (VOF) و مدل آشفتگی k-ε و شبکه‌بندی ترکیبی با سازمان و بی‌سازمان سطح آزاد در راه‌ماهی سرریز اوجی با مدل Fluent نتایج رضایت‌بخشی در مقایسه با مدل فیزیکی به دست آمد.

مدل عددی راه‌ماهی نوع بازشدگی قائم توسط سنا^{۱۲} و همکاران (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.

⁷ Clay

⁸ Savage

⁹ Johnson

¹⁰ Chen

¹¹ Karrica

¹² Sea

¹ Weir fishway

² Vertical Slot Fishways

³ Denil Fishways

⁴ Canoe-Fishway

⁵ Katopodis

⁶ Rajaratnam

الاستیکی می تواند از یک طرف انرژی را بخوبی مستهلک کند و از طرف دیگر قایق‌ران بدون هیچ گونه مشکلی از داخل آن عبور کند. جنس ساقه‌های علفی باید به اندازه کافی سفت باشد تا افت انرژی لازم را برای کمک به صعود ماهی فراهم کند و نیز به اندازه کافی منعطف باشد تا قایق بدون اینکه آسیبی ببیند از روی آن رد شود و پس از عبور قایق ساقه‌ها به حالت اولیه خود برگردد. حدود نیمی از تجربه‌های اجرا شده این نوع تاسیسات به عنوان راه‌ماهی و نیمی دیگر آنها به عنوان یک سازه ترکیبی برای عبور ماهی‌ها و معبرقایق‌ها هستند. در شکل (۱) یک نمونه از این نوع راه‌ماهی نشان داده شده است. در سال ۲۰۰۷ دانشگاه کاسل با همکاری موسسه تحقیقات وزارت محیط زیست و آب آلمان تحقیقاتی در زمینه حفاظت از نوعی صدف رودخانه‌ای با استفاده از جانمایی علف‌های مصنوعی انجام داده است. در انگلستان نخستین بار توسط گروه هالکرو^۳ در سال ۲۰۰۸، در منطقه پارتز لاک^۴ 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 الدرینگس لاک^۵ و بعد در سال ۲۰۱۰، در منطقه ایست لاک^۶ توسط همین گروه طراحی و اجرا شد. در این سایت، بر خلاف دو سایت 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، بر روی رودخانه‌های شمال کشور، لزوم احداث راه‌ماهی‌های 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 است که بیشینه 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 قایق‌های کوچک ماهی‌گیری را فراهم می‌کند. (هدایتی و همکاران، ۱۳۹۱).

در استان مازندران یک نمونه کانال ماهی-قایق‌رو برای سد لاستیکی تاجن توسط هدایتی و همکاران (۱۳۹۱)، طراحی شده و با نمونه کلاسیک آن یعنی راه‌ماهی شیار قائم مقایسه

با بررسی وضعیت جریان و پروفیل سرعت در راه‌ماهی دنیل توسط محمودی کردستانی و شفاعی بجستان (۱۳۷۷)، نتایج ایشان نشان داد که راه ماهی دنیل در یک شرایط یکسان از نظر ابعادی، دبی در حدود دو برابر دبی عبوری از راه ماهی از نوع بازشدگی قائم را از خود عبور می‌دهد و راه ماهی از نوع دنیل با تشکیل یک ناحیه کم‌سرعت در راه‌ماهی و امکان عبور ضعیف‌ترین شناگران از انواع مختلف ماهی‌ها، به راه ماهی از نوع بازشدگی قائم برتری دارد.

با شبیه‌سازی الگوی جریان در سازه راه‌ماهی با استفاده از مدل کامپیوتری Fluent توسط معیری و حسین‌زاده (۱۳۸۷)، نشان داده شد که پروفیل سطح آب در راه‌ماهی به صورت جریان رویه‌ای است که با نتایج داده‌های فیزیکی تطابق دارد و همچنین یکی از عواملی که باعث استهلاك انرژی در راه ماهی‌های استخر و سرریز می‌شود، جریان گردشی موجود در هریک از استخرها است. عباسی چناری و کمان بدست (۱۳۹۰) در تحقیقی به شبیه‌سازی عددی آشفتگی جریان و استهلاك انرژی در سازه راه‌ماهی بوسیله مدل Flow-3D پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که در اعماق کمتر سرعت بیشتر است و در نزدیک دیواره‌ها سرعت کمتر است. همچنین یکی از عواملی که باعث استهلاك انرژی در راه‌ماهی‌های استخر و سرریز می‌شود، جریان گردشی موجود در هریک از استخرها است. در تحقیقات قلاوند و لشکرآرا (۱۳۹۱) هیدرولیک جریان عبوری از راه‌ماهی دنیل با بهره‌گیری از مدل-Flow 3D مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از تحقیق ایشان نشان داد که مدل Flow-3D به عنوان یک ابزار پر قدرت جهت شبیه‌سازی جریان در سازه‌های با آشفتگی شدید مانند راه‌ماهی دنیل قابل بهره‌برداری است. در تحقیقات زلکی زاده و کیامنش (۱۳۹۲)، با شبیه‌سازی راه‌ماهی حوضچه و سرریز، شیب بهینه‌ای برای این نوع راه‌ماهی بدست آمد.

ایده استفاده از کانال ماهی-قایق‌رو، نخستین بار در سال ۲۰۰۲ توسط رینهارد هاسینگر^۱ مطرح و در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه کاسل^۲ بصورت آزمایشی انجام شد. معرفی و ارائه اصول کلی در طراحی و بهره‌برداری کانال ماهی-قایق‌رو توسط هاسینگر (۲۰۰۴) انجام گرفت. ایده این تحول جدید از این فکر نشأت گرفت که تعداد زیادی از قلم‌های نازک زیر

⁴ Porters Lock

⁵ Eldridges Lock

⁶ East Lock

¹ Reinhard Hassinger

² kassel

³ Halcrow

پارامترهای مذکور در راه‌ماهی از نوع ماهی-قایق‌رو با استفاده از مدل عددی مورد ارزیابی قرار گرفته است. توزیع سرعت و آشفتگی جریان در حوضچه و بازشدگی در راستاهای مختلف کانال مشخص شده است و نقاط با سرعت و آشفتگی بیشینه و کمینه تعیین گردیده است. مقادیر بیشینه سرعت و آشفتگی در کانال تعیین شدند و با مقادیر مجاز برای عبور ماهی طرح مقایسه شدند. جهت صحت سنجی مدل، از نتایج مدل آزمایشگاهی احسانی و همکاران (۱۳۹۵)، استفاده شد.

شده است. با انجام مدل آزمایشگاهی کانال ماهی-قایق‌رو، توسط احسانی و همکاران (۱۳۹۵)، عمق و سرعت جریان در نقاط مختلف کانال به ازای شیب ۴ درصد و در دبی‌های مختلف (در عمق‌های بالا و پایین تراز استغراق) تعیین شد. با انتخاب دبی‌های بهینه، وضعیت سرعت جریان به‌منظور عبور ماهی طرح مورد بررسی قرار گرفت. سرعت و آشفتگی جریان، پارامترهای مهم به‌منظور عبور ماهی از راه‌ماهی هستند. در صورت بالابودن سرعت و آشفتگی، امکان عبور ماهی از راه‌ماهی وجود ندارد. در این تحقیق



شکل (۱): راه‌ماهی از نوع کانال ماهی - قایق رو

در فلوم ایجاد شد. ابعاد هر برس ۱۵ (عرض) در ۱۸ (طول) سانتیمتر و طول هر حوضچه ۲۵ سانتیمتر است. عرض بازشدگی نیز ۱۲ سانتیمتر است. ابعاد هندسی در این چیدمان بر اساس ابعاد ماهی کپور دریای مازندران به عنوان ماهی طرح با مقیاس ۵:۱، در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری‌های عمق جریان برای شش دبی (سه دبی زیر تراز استغراق و سه دبی بالای تراز استغراق) در حوضچه‌های چهارم و پنجم و همچنین بازشدگی‌های چهارم و پنجم و ششم انجام شد. اندازه‌گیری‌های سرعت به ازای دبی سوم در نقاط مختلف حوضچه چهارم و بازشدگی‌های چهارم و پنجم انجام شد. در شکل (۳) موقعیت و پراکندگی نقاط برداشت سرعت جریان در حوضچه و بازشدگی و همچنین راستاهای مختلف اندازه‌گیری سرعت جریان نشان داده شد. اندازه‌گیری‌های سرعت جریان برای ۲۴ نقطه در حوضچه چهارم و همچنین بازشدگی‌های چهارم و پنجم انجام شد. ردیف‌های K، L، M، N و P شامل نقاط اندازه‌گیری در حوضچه و ردیف‌های E و F شامل نقاط اندازه‌گیری در بازشدگی‌ها هستند. مقادیر دبی آزمایشگاهی در جدول (۲) ارائه شده است. تراز استغراق نسبت به ارتفاع برس

مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی

در این تحقیق از نتایج مدل آزمایشگاهی احسانی و همکاران (۱۳۹۵) مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل به‌منظور شبیه‌سازی کانال ماهی-قایق‌رو، از یک فلوم مستطیلی به عرض ۳۰ سانتیمتر، ارتفاع ۶۰ سانتیمتر و طول ۱۰ متر و شیب ۴ درصد، استفاده شد. ارتفاع ساقه‌های برس ۱۰ سانتیمتر و قطر آنها ۶ میلی‌متر است. دبی جریان توسط شیر در بالادست تنظیم می‌شود. مخزن آرام‌کننده جریان نیز در بالادست جهت آرام‌سازی جریان قبل از ورود به فلوم، تعبیه شد. برای اندازه‌گیری دبی جریان در پایین‌دست از یک سرریز مثلثی استفاده شد. قبل از سرریز مثلثی یک مخزن آرام‌کننده جریان تعبیه شد. اندازه‌گیری عمق جریان با عمق‌سنج انجام شد. سرعت جریان در دو بعد طولی و عرضی با استفاده از سرعت‌سنج الکترومغناطیس انجام شد. جنس کف و دیوار چپ فلوم از پلکسی گلاس و جنس دیوار راست آن شیشه‌ای است. در شکل (۲) 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

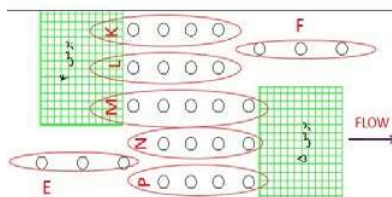
مقایسه می شود. دبی‌هایی با عمق کمتر از ارتفاع برس، دبی - های زیر تراز استغراق و دبی‌هایی با عمق بیشتر از ارتفاع برس، دبی‌های بالای تراز استغراق محسوب می‌شوند.



شکل (۲): تصویر برس های متشکل از لوله های پلی اتیلنی و نحوه چیدمان برس ها در کف کانال

جدول (۱): مقادیر دبی آزمایشگاهی

وضعیت استغراق	شماره دبی	دبی جریان (لیتر بر ثانیه)	عمق جریان (سانتیمتر)	نسبت استغراق
زیر تراز استغراق	اول	۱/۱	۴	۰/۴h
	دوم	۲/۴	۷	۰/۷h
	سوم	۴/۴	۱۰	h
بالای تراز استغراق	چهارم	۹/۱	۱۴	۱/۴h
	پنجم	۱۵/۸	۱۷	۱/۷h
	ششم	۲۲	۲۰	۲h



شکل (۳): پلان موقعیت اندازه گیری سرعت جریان (دوایر مشکی) و راستاهای مختلف اندازه گیری سرعت جریان

معرفی نرم افزار Flow-3D

Flow-3D یک نرم‌افزار قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی، است که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط شرکت علوم جریان^۱ است. این نرم‌افزار برای کمک به تحقیق در زمینه رفتار دینامیکی مایعات و گازها در موارد کاربردی وسیع طراحی شده است. Flow-3D برای مسائل یک‌بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی طراحی شده است. یکی از قابلیت‌های عمده این نرم‌افزار برای تحلیل‌های هیدرولیکی، توانایی مدل کردن جریان‌های با سطح آزاد است. این نرم‌افزار برای جریان‌های سه‌بعدی غیرماندگار که دارای سطح آزاد و هندسه پیچیده هستند نیز کاربرد دارد و از روش حجم محدود در شبکه‌بندی با ساختار استفاده می‌کند. به لحاظ استفاده از روش احجام محدود در یک شبکه منظم، شکل معادله‌های گسسته‌شده مورد استفاده نظیر معادله‌های گسسته‌شده در روش تفاضل محدود هستند. بر این اساس نرم‌افزار از روش‌های دقت مرتبه اول و دوم در حل معادلات بهره می‌برد. در این نرم‌افزار از دو روش عددی برای شبیه‌سازی هندسی استفاده می‌شود:

۱- روش حجم سیال^۲: این روش برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. که شامل سه قسمت است:

- نمایش موقعیت سطح
- شبکه‌بندی
- شرایط مرزی سطح

۲- روش کسر مساحت-حجم مانع^۳: این روش برای شبیه‌سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی کاربرد دارد.

از آنجایی که این نرم‌افزار برای مدل کردن سطح آزاد از روش حجم سیال استفاده می‌کند، احتیاج به تعریف تابع حجم (F) دارد که از روابط (۱) و (۲) به دست می‌آید:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_S} \left[\frac{\partial (FA_x u)}{\partial x} + \frac{\partial (FA_y v)}{\partial y} + \frac{\partial (FA_z w)}{\partial z} \right] = FDIF \quad (1)$$

$$FDIF = \frac{1}{V_S} \left[\frac{\partial (\theta A_x \frac{\partial F}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial (\theta A_y \frac{\partial F}{\partial y})}{\partial y} + \frac{\partial (\theta A_z \frac{\partial F}{\partial z})}{\partial z} \right] \quad (2)$$

در روابط بالا، $\partial F =$ کسر حجم باز به جریان، ρ : چگالی حجمی سیال، $FDIF =$ پخش آشفتگی، $(u, v, w) =$ مولفه‌های سرعت در جهات (x, y, z) . $A_x, A_y, A_z =$ به ترتیب سطح جریان در جهات x, y و z هستند. $\theta =$ ویسکوزیته دینامیکی سیال. ضریب نفوذ به صورت $V_S = CF_\mu$ است که CF یک عدد ثابت است. شکل F وابسته به به نوع مسئله‌ای است که مدل می‌شود. مسائل غیرقابل تراکم شامل یک سیال با سطح آزاد یا دو سیال با سطح مشترک هستند. برای سیال یک فازی، F تابع حجم سیال است و بیانگر حجم اشغال شده توسط سیال است. بنابراین $F=1$ نشانگر وجود سیال و $F=0$ نشانگر وجود حباب و حفره است.

از کاربردهای Flow-3D در مهندسی آب می‌توان به پایه‌های پل، سرریز دایره‌ای، شکست سد، پارشال فلوم، آبشستگی، جریان روی یک پلکان، جریان‌های با عمق کم، جریان در کانال‌های کنترل پرش هیدرولیکی، موج‌های کم ارتفاع، دریچه‌های کشویی و جریان سرریز اشاره کرد.

ساخت هندسه مدل و تنظیم شبکه میدان حل در نرم افزار Flow-3D این امکان وجود دارد که با توجه به اهمیت برخی مقاطع، تعداد و و اندازه شبکه‌هایی که برای تولید میدان حل مورد نیاز است ریزتر (پر اهمیت) و یا درشت‌تر (کم اهمیت) در نظر گرفته شود. زمان اجرای محاسبات و میزان مطابقت نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی، دو عامل مهم در انتخاب شبکه‌بندی بهینه خواهد بود. در این تحقیق، ابتدا هندسه کانال به همراه برس‌ها با ساقه‌های استوانه‌ای شکل در نرم افزار Solid Work ترسیم شد و سپس وارد برنامه Flow-3D شد. به دلیل کوچک بودن قطر ساقه‌ها و فاصله بین آنها، به‌ازای تولید تعداد شبکه‌های بسیار بالا (در حدود هشت میلیون شبکه)، برنامه قادر به شناسایی ساقه‌ها و فاصله بین آنها است که اجرای چنین برنامه‌ای با قدرت کامپیوترهای کنونی، بسیار مشکل و زمان‌بر خواهد بود. لذا برای ساده‌سازی مدل، صرف‌نظر از فاصله بین ساقه‌ها، برس‌های موجود در کانال به صورت یک جعبه یکپارچه (با همان ابعاد برس‌ها) در نظر گرفته شده است.

³ FAVOR

¹ Flow science, Inc

² VOF

کالیبراسیون مدل عددی

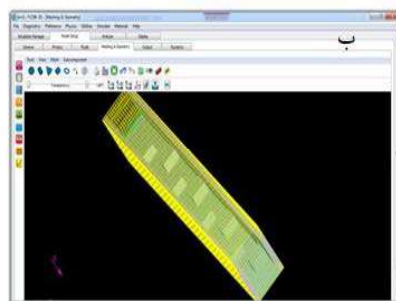
اولین گام در یک مدل عددی، کالیبره کردن مدل است. بدین معنی که تأثیرات عامل های خارجی را به کمینه رسانده و شرایط مدل را به شرایط واقعی نزدیک تر کرد. برای استخراج مقادیر درست داده های یک مدل عددی یا آزمایشگاهی رسیدن حالت جریان به یک شرایط پایدار ضروری است. در مدل عددی حاضر پس از بررسی چند مدل، زمان مناسب برای اجرا ۴۵ ثانیه در نظر گرفته شد. شرایط مرزی، نیز مطابق جدول (۲) در نظر گرفته شد.

جدول (۲): شرایط مرزی اعمال شده

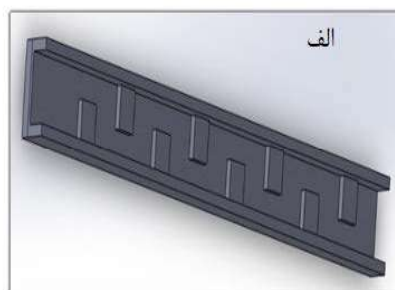
موقعیت	بدنه کانال	مرزهای کناری	ورودی	خروجی
شرایط مرزی	Solid	Wall	Volume flow rate	Outflow

در مدل آزمایشگاهی کانال ماهی-قایقرو، با اندازه گیری های انجام شده مشخص شد که سرعت جریان در داخل و پشت برس ها خیلی نزدیک به صفر است که ناشی از عبور ناچیز جریان از بین حفره های برس است. همچنین آزمایش های انجام شده در مدل آزمایشگاهی با براده های چوب که برای تعیین خطوط جریان در آزمایشگاه انجام شد نیز موید این مطلب است (احسانی و همکاران، ۱۳۹۵)

مدل تلاطمی استفاده شده در نرم افزار مدل RNG است. این نرم افزار مدل آشفتگی جدیدی بر مبنای گروه های نرمال شده رینولدز پیاده سازی کرده است. این دیدگاه شامل روش های آماری برای استحصال یک معادله متوسط گیری شده برای کمیت های آشفتگی است. این مدل کمتر بر ارقام ثابت تجربی تکیه می کند و برای توصیف دقیق تر آشفتگی جریان های با شدت کمتر و جریان هایی با مناطق دارای برش، قوی تر شناخته شده است. در شکل (۴)، هندسه مدل و شمایی از شبکه بندی تولید شده در نرم افزار نشان داده شده است.



ب- ایجاد شبکه میدان حل در محیط Flow-3D



الف- تهیه هندسه مدل در محیط Solid Work

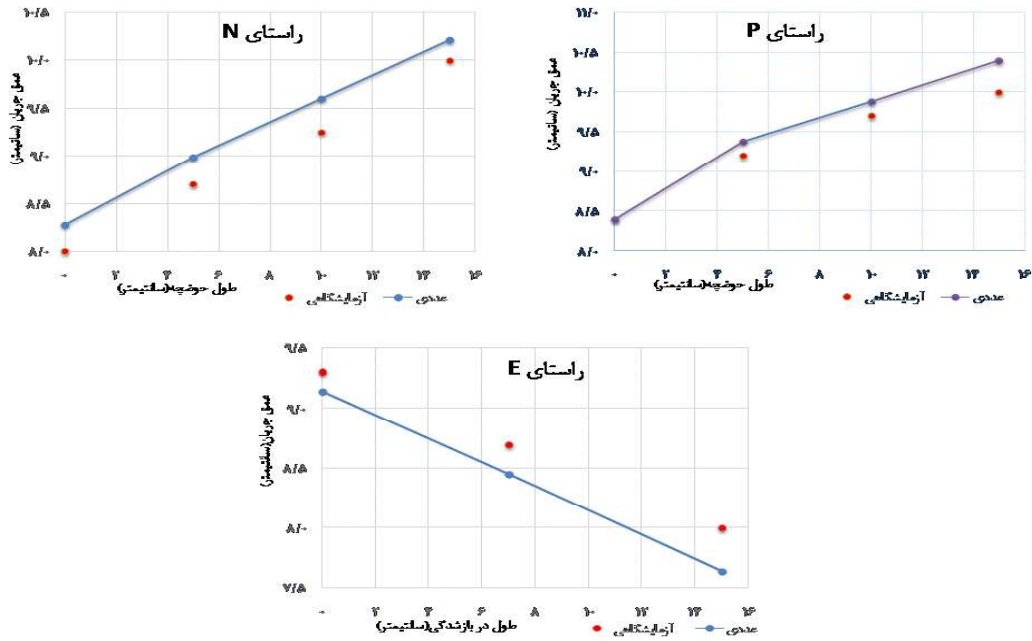
شکل (۴): تهیه مدل عددی

نتایج مدل عددی نیز موید این مطلب است. از آنجایی که کنترل سرعت های بیشینه در طراحی راه ماهی برای عبور ماهی، دارای اهمیت است، بنابراین تنها عمق و سرعت جریان در راستای N و P در حوضچه و راستای E در بازشدگی که دارای سرعت های بالاتر هستند، در مدل عددی و آزمایشگاهی با هم مقایسه شدند. در شکل (۵) و (۶) مقایسه عمق و سرعت جریان نشان داده شده است. میانگین خطاهای عمق و سرعت جریان به ترتیب ۳ و ۱۱/۵ درصد است.

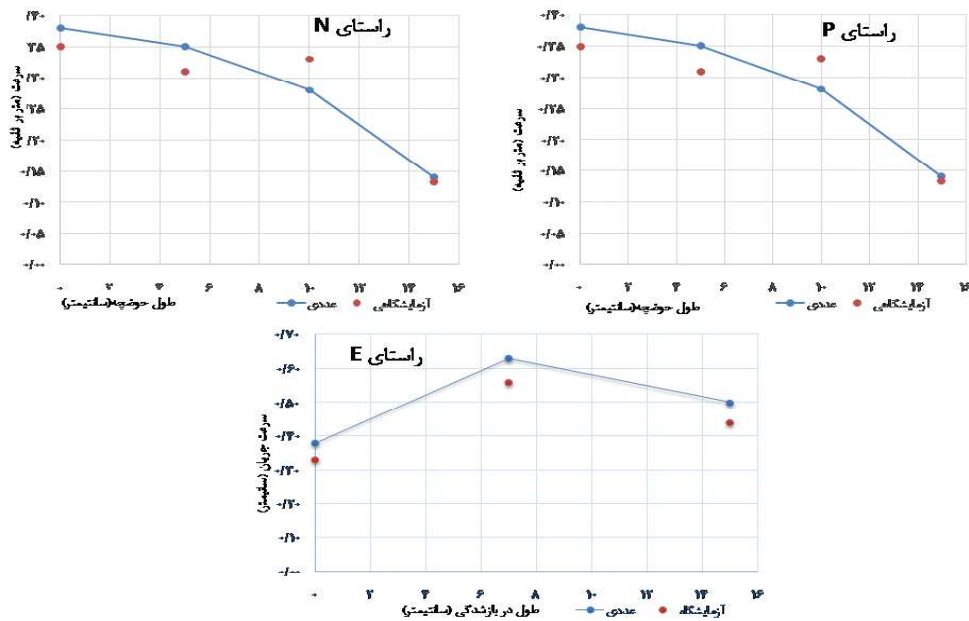
نتایج و بحث

صحت سنجی مدل عددی

دبی های سوم و چهارم جدول (۲) از لحاظ مقادیر عمق و سرعت جریان، به منظور عبور ماهی طرح بهینه هستند (احسانی و همکاران، ۱۳۹۵). به منظور صحت سنجی، عمق و سرعت جریان به ازای دبی سوم، در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه شد. در مدل آزمایشگاهی مشاهده شد که یک ناحیه کم سرعت در پشت برس ها ایجاد می شود که سرعت جریان نزدیک به صفر است (احسانی و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل (۵): مقایسه عمق جریان در مدل عددی با نتایج مدل آزمایشگاهی



شکل (۶): مقایسه سرعت طولی جریان در مدل عددی با نتایج مدل آزمایشگاهی

بررسی نتایج مدل عددی

برای بررسی سرعت و آشفتگی جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها، برنامه برای دبی‌های سوم و چهارم (با توجه به ایجاد عمق مناسب و بهینه جریان)، اجرا شد. دبی سوم زیر تراز استغراق و دبی چهارم بالای تراز استغراق است. در شکل-های (۷) و (۸) سرعت جریان در راستای طولی برای دبی‌های سوم و چهارم نشان داده شده است. همچنین در شکل‌های (۹) و (۱۰) آشفتگی جریان در راستای طولی برای دبی‌های سوم و چهارم نشان داده شده است.

۱- به ازای دبی‌های سوم و چهارم در راستای L , K و M که پشت برس قرار دارند، یک ناحیه کم‌سرعت (نزدیک به صفر) تشکیل می‌شود که بهترین مکان برای استراحت ماهی‌ها است. در این مناطق، ماهی طرح برای عبور از سرعت مداوم خود استفاده می‌کند. بیشینه سرعت در دبی سوم در راستای L ، $۰/۱۴$ متر بر ثانیه است. سرعت مداوم ماهی طرح در مقیاس واقعی $۰/۶۰$ متر بر ثانیه است (احسانی و همکاران، ۱۳۹۵). با در نظر گرفتن مقیاس آزمایشگاهی سرعت مداوم، $۰/۲۷$ متر بر ثانیه است. بنابراین سرعت‌های ایجاد شده در محدوده مجاز هستند.

۲- سرعت‌های طولی بیشینه در دبی سوم و چهارم در بازشدگی (راستای E) و همچنین در جلوی بازشدگی (ابتدای راستاهای N و P حوضچه) اتفاق می‌افتد. ماهی طرح، برای عبور از این مناطق از سرعت انفجاری خود استفاده می‌کند. سرعت جریان در راه‌ماهی، نباید از سرعت مهاجرت ماهی طرح بزرگ‌تر باشد، در غیراین صورت امکان مهاجرت ماهی‌ها وجود ندارد. سرعت انفجاری ماهی طرح در مقیاس واقعی $۱/۶۰$ متر بر ثانیه است (احسانی و همکاران، ۱۳۹۵). بیشینه سرعت در بازشدگی در دبی سوم، $۰/۶۹$ متر بر ثانیه و در دبی چهارم $۰/۷۰$ متر بر ثانیه است. با ملحوظ داشتن بیشینه سرعت انفجاری ماهی طرح با توجه به مقیاس آزمایشگاهی ($۰/۷۲$ متر بر ثانیه)، مقادیر سرعت‌ها در محدوده مجاز قرار دارند.

۳- شدت آشفتگی در راه‌ماهی نباید از ۲۰۰ وات بر متر مکعب ($۰/۲۰۰$ ژول بر کیلوگرم بر ثانیه) بیشتر باشد. وگرنه امکان مهاجرت ماهی طرح وجود نخواهد داشت (کاتوپودیس و همکاران، ۱۹۹۷). در دبی سوم (شرایط زیر تراز استغراق برس) با توجه به شکل (۹) آشفتگی در راستاهای L , K و M که پشت برس قرار دارند، ناچیز است. در راستاهای N , P و E

(بازشدگی و جلوی بازشدگی) لکه‌های کوچک آشفتگی بیشتر در اعماق پایین مشهود است. بیشینه مقدار آشفتگی در راستای E (بازشدگی) $۰/۱۸۰$ ژول بر کیلوگرم بر ثانیه است و بیشینه آشفتگی در راستای N و P (جلوی بازشدگی در حوضچه) به ترتیب $۰/۰۹۸$ و $۰/۱۲۸$ ژول بر کیلوگرم بر ثانیه است. بنابراین آشفتگی در همه راستاها در محدوده مجاز قرار دارند. در دبی چهارم (شرایط استغراق برس) با توجه به شکل (۱۰) بیشینه آشفتگی بر روی برس اتفاق می‌افتد. از آنجایی که عمق آب روی برس ناچیز است، این منطقه از کانال محل مناسبی برای عبور ماهی طرح نیست و ماهی طرح به‌منظور عبور به بالادست از بازشدگی و حوضچه استفاده می‌نماید. بنابراین باید بازشدگی و حوضچه از لحاظ آشفتگی بررسی گردد. بیشینه آشفتگی در راستاهای L , K و M (در حوضچه) به ترتیب $۰/۱۳۴$ ، $۰/۱۵۰$ و $۰/۱۸۵$ ژول بر کیلوگرم بر ثانیه است. همچنین بیشینه شدت آشفتگی در راستاهای P , M و E به ترتیب $۰/۰۹۸$ ، $۰/۱۲۸$ و $۰/۱۶۰$ ژول بر کیلوگرم بر ثانیه است. بنابراین آشفتگی در همه راستاها در محدوده مجاز قرار دارند.

نتیجه‌گیری

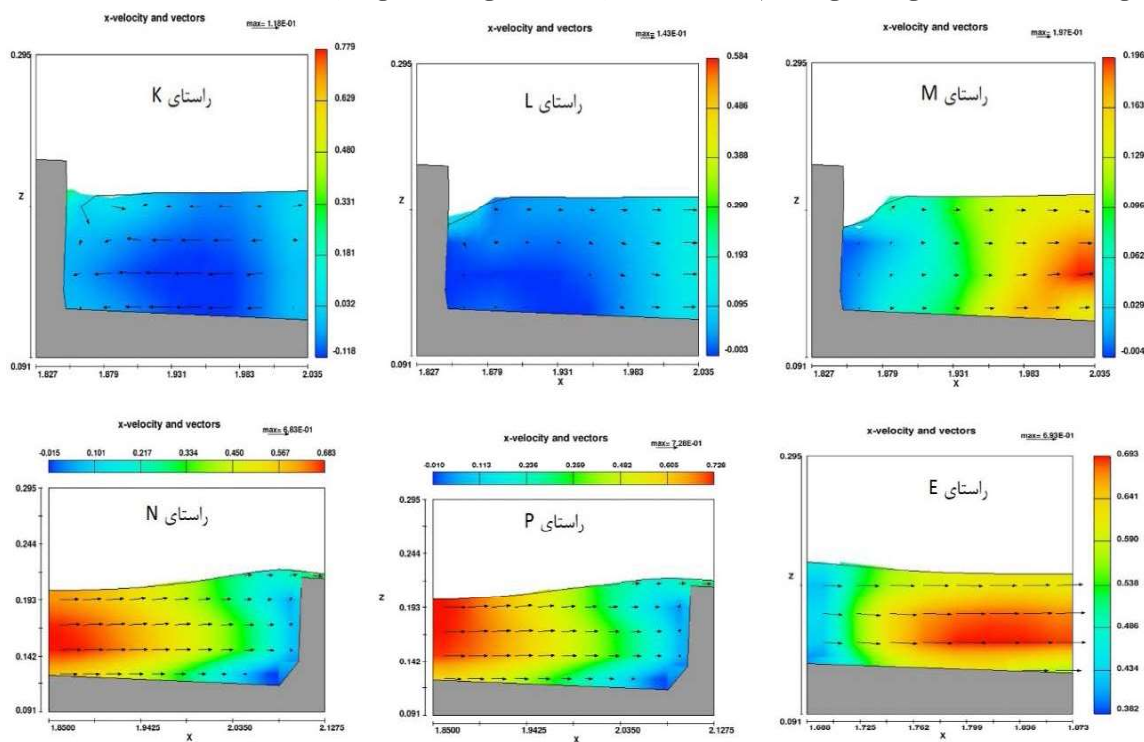
در این تحقیق نتایج ذیل به‌طور خلاصه بیان می‌شود:

۱- با مقایسه مدل عددی و آزمایشگاهی مشخص شد که میزان خطا برای عمق و سرعت جریان، به ترتیب ۳ و $۱۱/۵$ درصد بوده است.

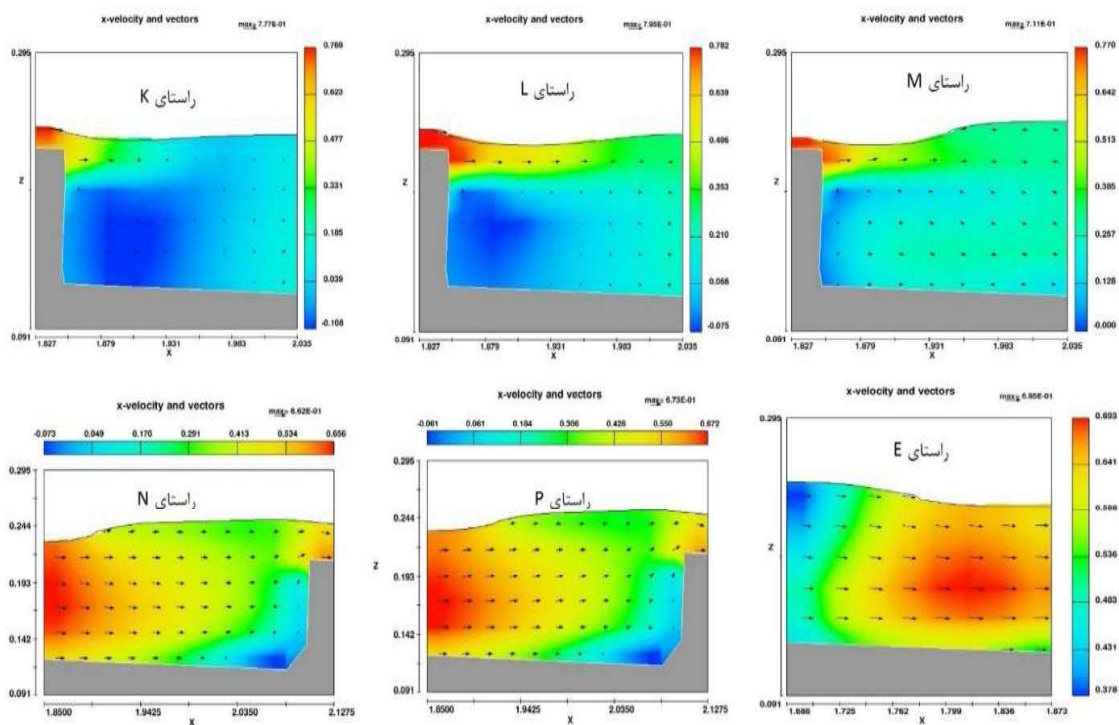
۲- با انجام مدل عددی مشاهده شد که سرعت‌های طولی بیشینه، در بازشدگی‌ها و در جلوی بازشدگی‌ها در حوضچه‌ها، اتفاق می‌افتد. ماهی طرح جهت عبور از بازشدگی‌ها از سرعت انفجاری خود استفاده می‌کند. بیشینه سرعت در بازشدگی در دبی سوم، $۰/۶۹$ متر بر ثانیه و در دبی چهارم $۰/۷۰$ متر بر ثانیه است. با ملحوظ داشتن بیشینه سرعت انفجاری مجاز برای ماهی طرح مقادیر سرعت‌ها در محدوده مجاز قرار دارند.

۳- سرعت‌های کمینه در داخل حوضچه‌ها، پشت برس‌ها اتفاق می‌افتد. بنابراین در این مناطق، ماهی طرح جهت عبور از سرعت مداوم خود استفاده می‌کند. سرعت بیشینه در دبی سوم $۰/۱۴$ متر بر ثانیه است. با توجه به اینکه سرعت مداوم ماهی طرح $۰/۲۷$ متر بر ثانیه است، سرعت‌های داخل حوضچه در محدوده مجاز قرار دارند.

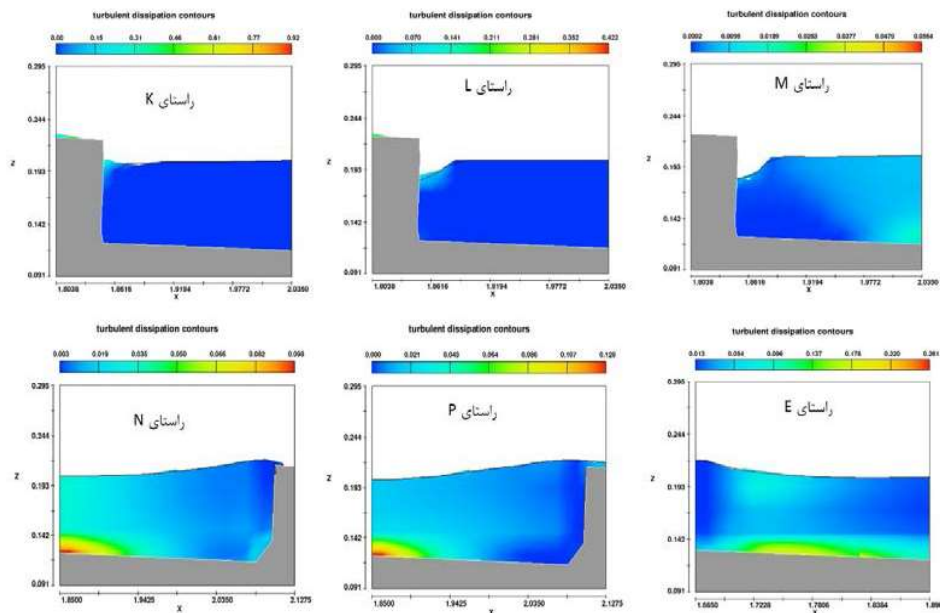
۴- بیشینه آشفته‌گی در دبی سوم (شرایط زیر تراز استغراق) در درون حوضچه اتفاق می‌افتد که مقدار آن ۰/۱۸۵ ژول بر کیلوگرم بر ثانیه است. با توجه به مقادیر بیشینه می‌افتد. بیشینه آشفته‌گی در دبی چهارم (شرایط استغراق) در راه‌ماهی، این مقادیر در محدوده مجاز قرار دارند.



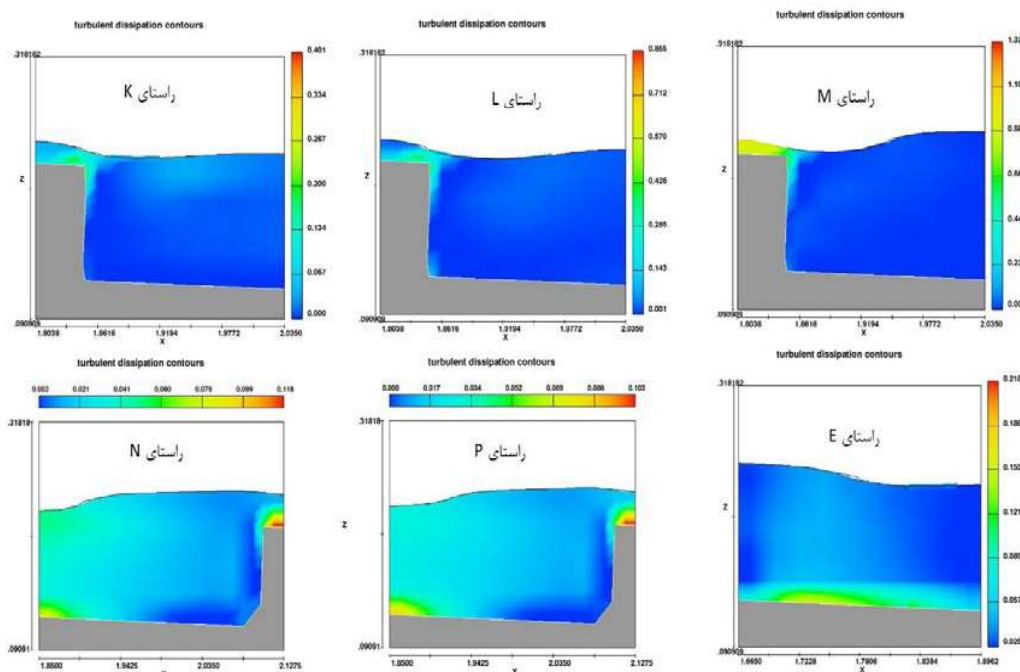
شکل (۷): سرعت طولی جریان در راستاهای مختلف حوضچه به ازای دبی سوم



شکل (۸): سرعت طولی جریان در راستاهای مختلف حوضچه به ازای دبی چهارم



شکل (۹): آشفتگی در راستاهای مختلف حوضچه به ازای دبی سوم



شکل (۱۰): آشفتگی در راستاهای مختلف حوضچه به ازای دبی چهارم

۲- شفاعی بجنستان، م. (۱۳۸۹). "مبانی و کاربرد مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی". انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. صفحات ۱۱۲ تا ۱۱۵.

۳- زلکی زاده، ع. و کیامنش، ح. (۱۳۹۲). "شبیه سازی اثر تغییر شرایط هیدرولیکی و شیب کف بر توزیع سرعت و الگوی جریان در راهمایی استخر و سرریز". هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان.

مراجع

۱- احسانی، ر. و حسن زاده، ی. (۱۳۹۵). "بررسی آزمایشگاهی شرایط جریان در راهمایی از نوع کانال ماهی- قایقرو". مجله علوم و مهندسی آبیاری، دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ نشده.

- 14- Hassinger,R., Kraetz,D. (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.
- 15- Hassinger,R. (2009). "Borsten-Fischpässe und Fisch-Kanu-Pässe Beschreibung des Standes der Technik."
- 16- Hiekel,I., Hassinger,R. (2007). "Pilotprojekt Borstenanlagen im Spreewald. Erhaltung, Studien und Tagungsberichte des Landesumweltamtes." Band 54.
- 17- Katopodis, C. (1981). "Consideration in the design of fishways for freshwater species." Proceedings of the 5th Canadian Hydrotechnical Conference., Canadian society of Civil Engineering. pp: 857-878.
- 18- Katopodis, C. (1992). "Introduction to fishway design." Working document. *Freshwater Institute, Deptment of Fisheries and Oceans, Canada*. pp: 3-5.
- 19- Katopodis, C., Rajaratnam, N., Sabur, M.A. and Wu, S. (1997). "Hydraulics of resting pools for Denil fishways." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 123(7), 632- 638.
- 20- Rajaratnam, N., Katopodis, C. and Solanki, S. (1992). "New designs for vertical slot fishways." *Journal of Civil Engineering*, 19 (3), 402-414.
- 21- Savage, B.M. and Johnson, M.C. (2001). "Flow over ogee spillway:physical and numerical model case study." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 127 (8), 640-648.
- 22- Cea, L., Pena, L. and Puteras, J. (2007). "Application of several depth averaged turbulence models to simulate flow in vertical slot fishways." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 133 (2), 160.
- ۴- عباسی چناری، س. و شیرالی، م. (۱۳۹۰). "بررسی ریاضی الگوی جریان و توزیع سرعت در راه ماهی نوع استخر سرریز با استفاده از مدل Flow3d." نخستین همایش ملی جهاد اقتصادی در عرصه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، قم.
- ۵- قلاوند، ف. و لشکرآرا، ب. (۱۳۹۱). " شبیه سازی جریان در راه ماهی دنیل با استفاده از نرم افزارFlow3d." نهمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۶- محمودی کردستانی، س. و شفاعی بیجستان، م. (۱۳۷۹). "معرفی راه‌ماهی دنیل و مقایسه عملکرد آن با راه‌ماهی از نوع بازشدگی قائم." مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سد سازی، تهران.
- ۷- معیری، م. و حسین زاده دلیر، ع. (۱۳۸۷). " شبیه سازی عددی جریان در راه ماهی با استفاده از مدل کامپیوتر Fluent." دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.
- ۸- هدایتی، ه.، مسعودیان، م.، احسانی، ر. و غلامی، م. (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.
- 9- Carrica, P.M., Turan C. and Weber L. (2005). "Computation of the free surface flow in fish passage". *Mecánica Computacional*. 24(1), 167-177
- 10- Chen, Q., Dai, G. and Liu, H. (2002). "Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway overflow." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 128(7), 683-688.
- 11- Clay, C.H. (1995). "Design of fishways and other fish facilities." Deptment. of Fisheries of Canada, Ottawa,301p.
- 12- Denil, G. (1909). "Les echelles a poissons et leur application aux barrages de Meuse et d'Ourthe (Fish ladders and their use at the Meuse and Ourthe dams)." Bull. Acad. Sci. Belg .pp:1221-1224.
- 13- Hassinger,R. (2002). "Der Borstenfischpass – Fischeaufstieg und Bootsabfahrt in einer Rinne." *Wasserwirtschaft*. 92(4), 38-42.

Evaluation of Hydraulic Condition in Canoe-fishway Using Flow-3D Modeling

Roohollah Ehsani ^{*1}
Yousef Hassan zade ²
Alireza Mojtahedi ³
Mojtaba Sanei ⁴

Abstract

Since the fishway serves important roles in fish migration and survival, they are the main components of river cross structures like dams. In this study, the numerical modeling of Canoe-fishways was conducted using Flow-3D software. For verification, it was used as the results of experimental modeling. By comparing numerical results with experimental model, it was found that the error rates for the depth and velocity of flow were 3 and 11.5%, respectively. Then, using numerical models, the velocity of flow was shown in different directions for optimization discharges, a low-velocity area in pools was found after each brush was formed which was the best place for resting of migratory fishes. Providing the amount of turbulence in different parts of the canal, it was determined that the maximum turbulence occurred in the canal slot. The maximum velocity occurred in slot and in pool front slot. It was also found that velocity and turbulence in different parts of the canal were within the allowable range.

Keywords

Canoe fishway, Experimental model, Numerical modeling, Burst speed, Cruising speed.

^{1*} 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.

Received: 2016/08/16

Accepted: 2016/12/29