

بررسی شرایط هیدرولیکی راهمایی از نوع کanal ماهی-قایق رو با استفاده از مدل عددی Flow-3D

روح الله احسانی^{۱*}

یوسف حسن‌زاده^۲

علی رضا مجتبی‌هدی^۳

مجتبی صانعی^۴

چکیده

راهمایی‌ها، 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 کanal ماهی-قایق رو با استفاده از نرم افزار Flow-3D تهیه شده است. به منظور صحبت‌سنگی 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 بیشینه، 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 آشفتگی جریان در نقاط مختلف کanal، مشخص گردید که بیشینه آشفتگی در بازشدگی کanal اتفاق می‌افتد. همچنین مشخص شد که سرعت‌ها و آشفتگی‌ها در نقاط مختلف کanal در محدوده مجاز قرار دارند.

واژه‌های کلیدی

کanal ماهی-قایق رو، 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.

تحقیقات در زمینه هیدرولیک جریان راه‌ماهی دنیل توسط راجاراتنم^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 آشافتگی نیز مؤثر است. آشافتگی اضافی می‌تواند مسیر حرکت ماهی‌ها را مسدود کند. توسط کلی^۷ (۱۹۹۵) پیشنهاد شد که در طراحی راه‌ماهی نقاط با آشافتگی 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 دی‌ری را در چنین سازه‌هایی پیش‌بینی کرد. با استفاده از مدل عددی جریان آشافتگی k-E 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 آشافتگی روشی مؤثری برای شبیه‌سازی سرریزهای پلکانی است. با شبیه‌سازی جریان توسط کاریکا^{۱۱} (۲۰۰۵)، با استفاده از روش حجم سیال (VOF) و مدل آشافتگی k-E 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 سئا^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۷)، با استفاده از مدل عددی آبهای کم‌عمق و شبیه‌سازی آشافتگی با بکارگیری سه مدل طول اختلاط، k-E و تنش جبری انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از مدل آشافتگی را می‌توان به عنوان ابزاری برای طراحی عملی استفاده کرد.

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 مستهلك 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 برای 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 مجرأ 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. راه- ماهی 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).

⁷Clay

⁸Savage

⁹Johnson

¹⁰Chen

¹¹Karrica

¹²Sea

¹Weir fishway

²Vertical Slot Fishways

³Denil Fishways

⁴Canoe-Fishway

⁵Katopodis

⁶Rajaratnam

الاستیکی می تواند از یک طرف انرژی را بخوبی مستهلاک کند و از طرف دیگر قایق ران بدون هیچ گونه مشکلی از داخل آن عبور کند. جنس ساقه های 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 بینید از روی آن رد شود و پس از عبور قایق ساقه ها به حالت اولیه خود برگردد. حدود نیمی از تجربه های اجرا شده این نوع تاسیسات به عنوان راه ماهی و نیمی دیگر آنها به عنوان یک سازه ترکیبی برای عبور ماهی ها و معبر قایق ها هستند. در شکل (۱) یک نمونه از این نوع راه ماهی نشان داده است. در سال ۲۰۰۷ دانشگاه کاسل با همکاری موسسه تحقیقات و وزارت محیط زیست و آب آلمان تحقیقاتی در زمینه حفاظت از نوعی صدف رودخانه ای با استفاده از جانمایی علف های مصنوعی انجام داده است. در انگلستان نخستین بار توسط گروه هالکرو^۴ در سال ۲۰۰۸، در منطقه پارترز لاک^۵ روی رودخانه مدوای، کانال ترکیبی ماهی - قایق رو طراحی و ساخته شد. در سال ۲۰۰۹ در ۱/۵ کیلومتری بالادست آن دو مین نمونه این نوع راه ماهی در منطقه الدریگس لاک^۶ و بعد در سال ۲۰۱۰، در منطقه ایست لاک^۷ توسط همین گروه طراحی و اجرا شد. در این سایت، برخلاف 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 رودخانه های شمال کشور، لزوم احداث راه ماهی های منطبق با محیط زیست را ضروری می سازد. احداث سدهای لاستیکی در نزدیکی دریا، موجب قطع تردد ماهیگیران و در نتیجه ایجاد تنفس های اجتماعی متعددی گردیده است. کانال ماهی - قایق رو ایده ای برای راه ماهی است که بیشینه انطباق را با شرایط زیست محیطی داشته و در آن برای ایجاد تلفات انرژی در مجرای عبور ماهی، از برس های مشابه پوشش گیاهی مصنوعی، استفاده شده است که امکان عبور قایق های کوچک ماهی گیری را فراهم می کند. (هدایتی و همکاران، ۱۳۹۱).

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

با بررسی وضعیت جریان و پروفیل سرعت در راه ماهی 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 می دهد و راه ماهی از نوع دنیل با تشکیل یک ناحیه کم سرعت در راه ماهی و امکان عبور ضعیف ترین شناگران از انواع مختلف ماهی ها، به راه ماهی از نوع بازشدگی قائم برتری دارد.

با شبیه سازی الگوی جریان در سازه راه ماهی با استفاده از مدل کامپیوتی Fluent توسط معیری و حسین زاده (۱۳۸۷)، نشان داده شد که پروفیل سطح آب در راه ماهی به صورت جریان رویه ای است که با نتایج داده های فیزیکی تطابق دارد و همچنین یکی از عواملی که باعث استهلاک انرژی در راه ماهی های استخر و سرریز می شود، جریان گردشی موجود در هریک از استخرها است. عباسی چناری و کمان بدست (۱۳۹۰) در تحقیقی به شبیه سازی عددی آشفتگی جریان و استهلاک انرژی در سازه راه ماهی بوسیله مدل Flow-3D پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که در اعمق کمتر سرعت بیشتر است و در نزدیک دیواره ها سرعت کمتر است. همچنین یکی از عواملی که باعث استهلاک انرژی در راه ماهی های استخر و سرریز می شود، جریان گردشی موجود در هریک از استخرها است. در تحقیقات قلاوند و لشکر آرا (۱۳۹۱) هیدرولیک جریان عبوری از راه ماهی دنیل با بهره گیری از مدل Flow-3D مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از تحقیق ایشان نشان داد که مدل Flow-3D به عنوان یک ابزار پرقدرت جهت شبیه سازی جریان در سازه های با آشفتگی شدید مانند راه ماهی دنیل قابل بهره برداری است. در تحقیقات زلکی زاده و کیامنش (۱۳۹۲)، با شبیه سازی راه ماهی حوضچه و سرریز، شبیب بهینه ای برای این نوع راه ماهی بدست آمد.

ایده استفاده از کانال ماهی - قایق رو، نخستین بار در سال ۲۰۰۲ توسط رینهارد هاسینگر^۸ مطرح و در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه کاسل^۹ بصورت آزمایشی انجام شد. معرفی و ارائه اصول کلی در طراحی و بهره برداری کانال ماهی - قایق رو توسط هاسینگر (۲۰۰۴) انجام گرفت. ایده این تحول جدید از این فکر نشأت گرفت که تعداد زیادی از قلم های نازک زبر

⁴ Porters Lock

⁵ Eldridges Lock

⁶ East Lock

¹ Reinhart Hassinger

² kassel

³ Halcrow

پارامترهای مذکور در راهمایی از نوع ماهی-قایقران با استفاده از مدل عددی مورد ارزیابی قرار گرفته است. توزیع سرعت و آشفتگی جریان در حوضچه و بازشده‌ی در راستاهای مختلف کanal مشخص شده است و نقاط با سرعت و آشفتگی بیشینه و کمینه تعیین گردیده است. مقادیر بیشینه سرعت و آشفتگی در کanal 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 کanal ماهی-قایقران، توسط احسانی و همکاران (۱۳۹۵)، عمق و سرعت جریان در نقاط مختلف کanal 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 به منظور عبور ماهی طرح مورد بررسی قرار گرفت.

سرعت و آشفتگی جریان، پارامترهای مهم به منظور عبور ماهی از راهمایی هستند. در صورت بالابودن سرعت و آشفتگی، امكان عبور ماهی از راهمایی وجود ندارد. در این تحقیق



شکل(۱): راهمایی از نوع کanal ماهی-قایقران

در فلوم ایجاد شد. ابعاد هر برس ۱۵ (عرض) در ۱۸ (طول) سانتیمتر و طول هر حوضچه ۲۵ سانتیمتر است. عرض بازشده‌ی نیز ۱۲ سانتیمتر است. ابعاد هندسی در این چیدمان بر اساس ابعاد ماهی کپور دریای مازندران به عنوان ماهی طرح با مقیاس ۱:۵، 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 بازشده‌ی های سرعت به ازای دبی سوم در نقاط مختلف حوضچه چهارم و بازشده‌ی های چهارم و پنجم و ششم انجام شد. اندازه‌گیری- و پراکندگی نقاط برداشت سرعت جریان در حوضچه و بازشده‌ی و همچنین راستاهای مختلف اندازه‌گیری سرعت جریان نشان داده شد. اندازه‌گیری‌های سرعت جریان برای ۲۴ نقطه در حوضچه چهارم و همچنین بازشده‌ی های چهارم و پنجم انجام شد. ردیفهای K, L, M, N و P شامل نقاط اندازه‌گیری در حوضچه و ردیفهای E و F شامل نقاط اندازه- گیری در بازشده‌ی ها 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 به منظور شبیه- سازی کanal ماهی-قایقران، 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 شیری در بالادست تنظیم می‌شود. مخزن آرام‌کننده جریان نیز در بالادست جهت آرام‌سازی جریان قبل از ورود به فلوم، تعییه شد. برای اندازه- گیری دبی جریان در پایین دست از یک سرریز مثلثی استفاده شد. قبل از سرریز مثلثی یک مخزن آرام‌کننده جریان تعییه شد. اندازه‌گیری عمق جریان با عمق سنج انجام شد. سرعت جریان در دو بعد طولی و عرضی با استفاده از سرعت سنج 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 کanal نشان داده شده است. در مجموع با نصب هشت برس، هفت حوضچه و هشت بازشده‌ی

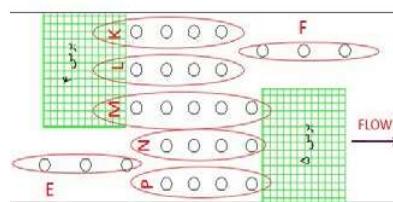
مقایسه می شود. دبی هایی با عمق کمتر از ارتفاع برس، دبی های زیر تراز استغراق و دبی هایی با عمق بیشتر از ارتفاع برس، دبی های بالای تراز استغراق محسوب می شوند.



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

جدول(۱): مقادیر دبی آزمایشگاهی

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



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

در روابط بالا، $\partial F = \text{کسر حجم باز به جریان} = \rho$: چگالی حجمی سیال، $FDIF = \text{پخش آشفتگی}$ ، $(u, v, w) = \text{مولفه‌های سرعت در جهات} (x, y, z)$ و A_x, A_y, A_z به ترتیب سطح جریان در جهات x, y و z هستند.^۱ ویسکوزیته دینامیکی سیال. ضریب نفوذ به صورت $C_F = \frac{V_S}{F}$ است که C_F 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، سریز دایره‌ای، شکست سد، پارشال فلوم، آبشنستگی، جریان روی یک پلکان، جریان‌های با عمق کم، جریان در کانال‌های کنترل پرش هیدرولیکی، موج‌های کم ارتفاع، دریچه‌های کشویی و جریان سریز 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 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 کanal 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، بهای تویید 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 زمان برخواهد بود. لذا برای ساده‌سازی مدل، صرف نظر از فاصله بین ساقه‌ها، برس‌های موجود در کanal به صورت یک جعبه یکپارچه (با همان ابعاد برس‌ها) در نظر گرفته شده است.

معرفی نرم افزار Flow-3D

Flow-3D یک نرم افزار قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی، است که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط شرکت علوم جریان^۲ است. این نرم افزار برای کمک به تحقیق در زمینه رفتار دینامیکی مایعات و گازها در موارد کاربردی وسیع طراحی شده است. یکی از قابلیت‌های دو بعدی و سه‌بعدی طراحی شده است. یکی از قابلیت‌های عمده این نرم افزار برای تحلیل‌های هیدرولیکی، توانایی مدل کردن جریان‌های با سطح آزاد است. این نرم افزار 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 نظری معادله‌های گسسته‌شده در روش تفاضل محدود هستند. بر این اساس نرم افزار از روش‌های دقیق مرتبه اول و دوم در حل معادلات بهره می‌برد. در این نرم افزار از دو روش عددی برای شبیه سازی هندسه استفاده می‌شود:

۱- روش حجم سیال^۳: 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^۴: این روش برای شبیه‌سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی کاربرد دارد. از آنجایی که این نرم افزار 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:

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

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

³ FAVOR

¹ Flow science, Inc

² VOF

کالیبراسیون مدل عددی

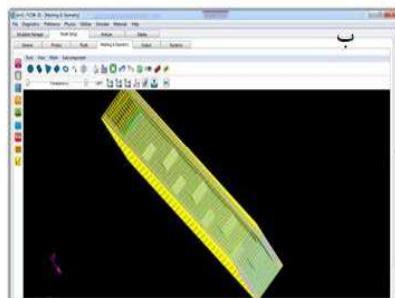
اولین گام در یک مدل عددی، کالیبره کردن مدل است. بدین معنی که تأثیرات عامل های خارجی را به کمینه رسانده و شرایط مدل را به شرایط واقعی نزدیکتر کرد. برای استخراج مقادیر درست داده های یک مدل عددی یا آزمایشگاهی رسیدن حالت جریان به یک شرایط پایدار ضروری است. در مدل عددی حاضر پس از بررسی چند مدل، زمان مناسب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

جدول (۲): شرایط مرزی اعمال شده

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

در مدل آزمایشگاهی کanal ماهی-قایق رو، با اندازه‌گیری‌های انجام شده مشخص شد که سرعت جریان در داخل و پشت برس‌ها خیلی نزدیک به صفر است که ناشی از عبور ناچیز جریان از بین حفره‌های برس است. همچنین آزمایش‌های انجام شده در مدل آزمایشگاهی با برآدهای چوب که برای تعیین خطوط جریان در آزمایشگاه انجام شد نیز مovid این مطلب است (احسانی و همکاران، ۱۳۹۵).

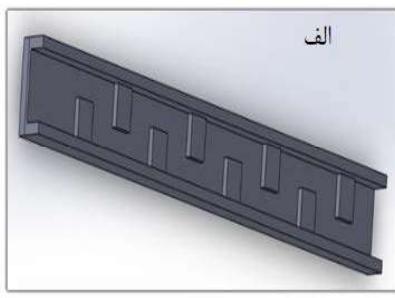
مدل تلاطمی استفاده شده در نرم افزار مدل RNG است. این نرم‌افزار مدل آشفتگی جدیدی بر مبنای گروههای نرمال شده رینولدز پیاده سازی کرده است. این دیدگاه شامل روش‌های آماری برای استحصال یک معادله متوضط‌گیری شده برای کمیت‌های آشفتگی است. این مدل کمتر بر ارقام ثابت تجربی تکیه می‌کند و برای توصیف دقیق‌تر آشفتگی جریان‌های باشدت کمتر و جریان‌هایی با مناطق دارای برش، قوی تر شناخته شده است. در شکل (۴)، هندسه مدل و شماتیک از شبکه بنده تولید شده در نرم افزار نشان داده شده است.



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

شکل (۴): تهیه مدل عددی

نتایج مدل عددی نیز مovid این مطلب است. از آنجایی که کنترل سرعت‌های بیشینه در طراحی راه‌راهی برای عبور ماهی، دارای اهمیت است، بنابراین تنها عمق و سرعت جریان در راستاهای N و P در حوضچه و راستای E در بازشدگی که دارای سرعت‌های 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.

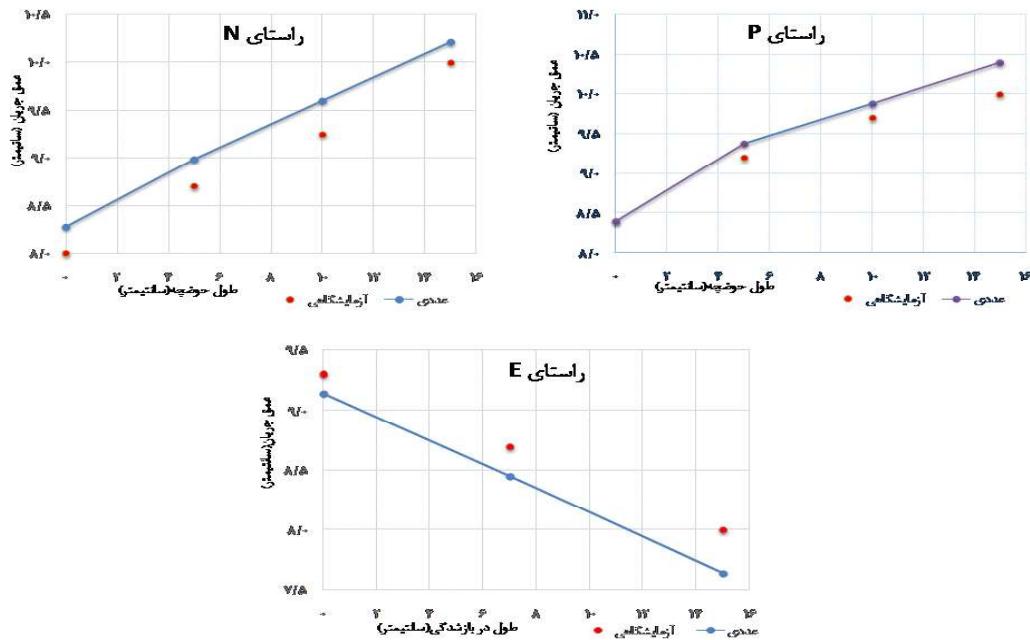


الف- تهیه هندسه مدل در محیط Solid Work

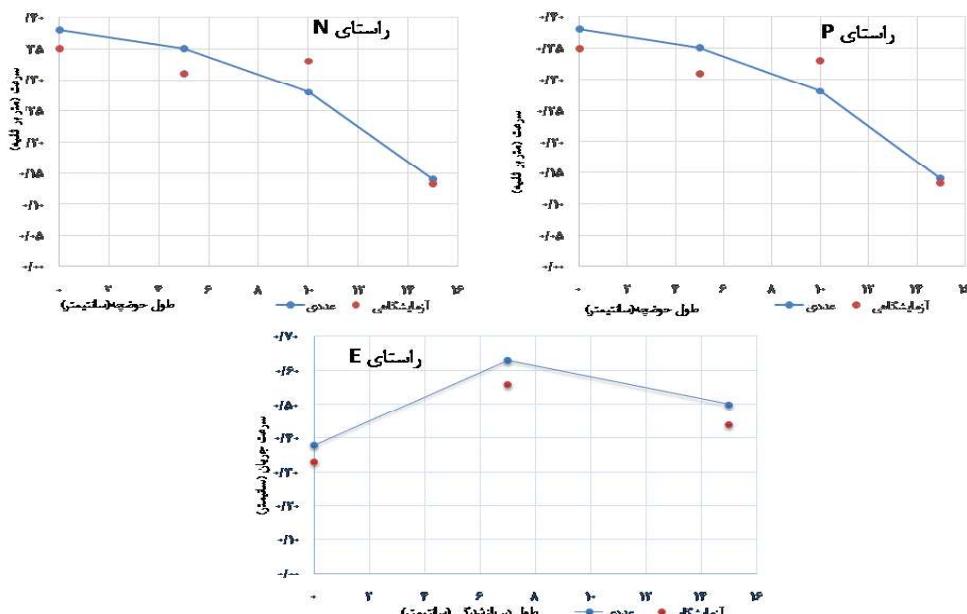
نتایج و بحث

صحبت سنجی مدل عددی

دبی‌های سوم و چهارم جدول (۲) از لحاظ مقادیر عمق و سرعت جریان، به منظور عبور ماهی طرح بهینه هستند (احسانی و همکاران، ۱۳۹۵). بهمنظور صحبت‌سنجی، عمق و سرعت جریان به ازای دبی سوم، در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه شد. در مدل آزمایشگاهی مشاهده شد که یک ناحیه کم‌سرعت در پشت برس‌ها ایجاد می‌شود 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

(بازشدگی و جلوی بازشدگی) لکه های کوچک آشفتگی بیشتر در اعمق پایین مشهود است. بیشینه مقدار آشفتگی در راستای E (بازشدگی) 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. دردبی 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 کاتال 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 K, L 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 به طور خلاصه بیان میشود:

- با مقایسه مدل عددی و آزمایشگاهی مشخص شد که میزان خطای برای عمق و سرعت جریان، به ترتیب ۳ و ۱۱/۵ درصد بوده است.
- 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 انفجری 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 ملاحظه داشتن بیشینه سرعت انفجری مجاز برای ماهی طرح مقادیر سرعت‌ها در محدوده مجاز قرار دارند.
- 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.

بررسی نتایج مدل عددی

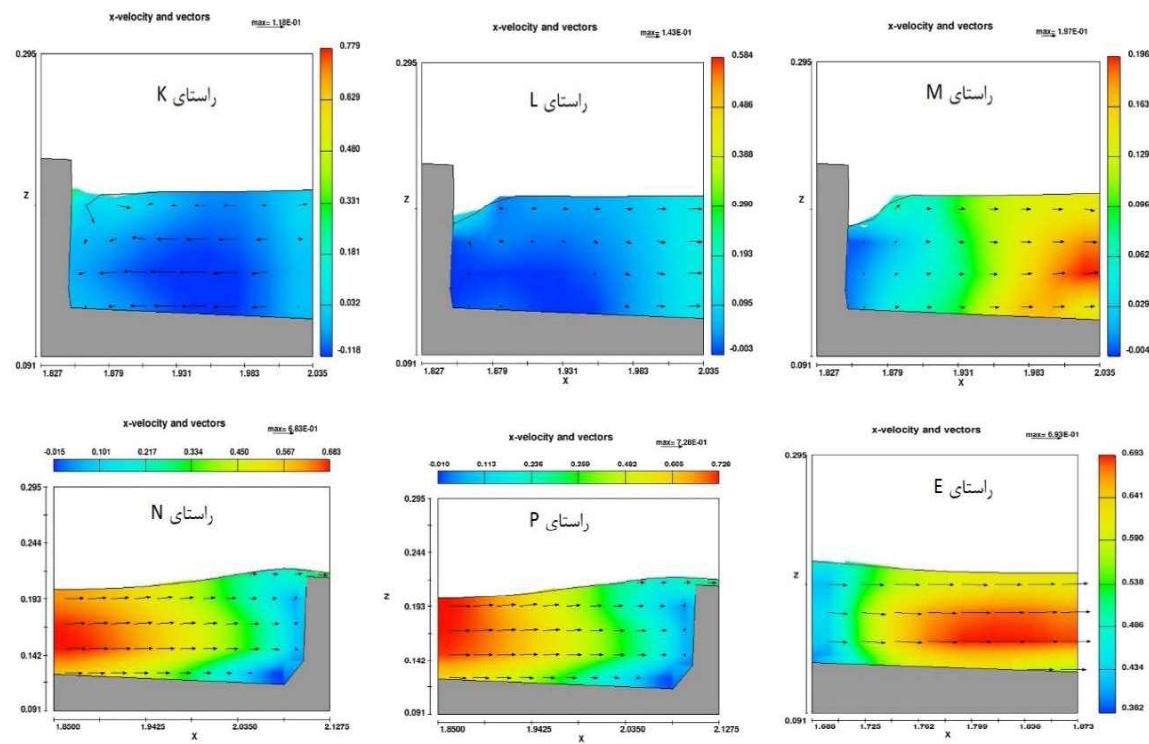
برای بررسی سرعت و آشفتگی جریان در حوضچه‌ها و بازشدگی‌ها، برنامه برای دبی‌های سوم و چهارم (با توجه به ایجاد عمق مناسب و بهینه جریان)، اجرا شد. دبی سوم زیر تراز استغراق و دبی چهارم بالای تراز استغراق است. در شکل - های (۷) و (۸) سرعت جریان در راستای طولی برای دبی‌های سوم و چهارم نشان داده شده است. همچنین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

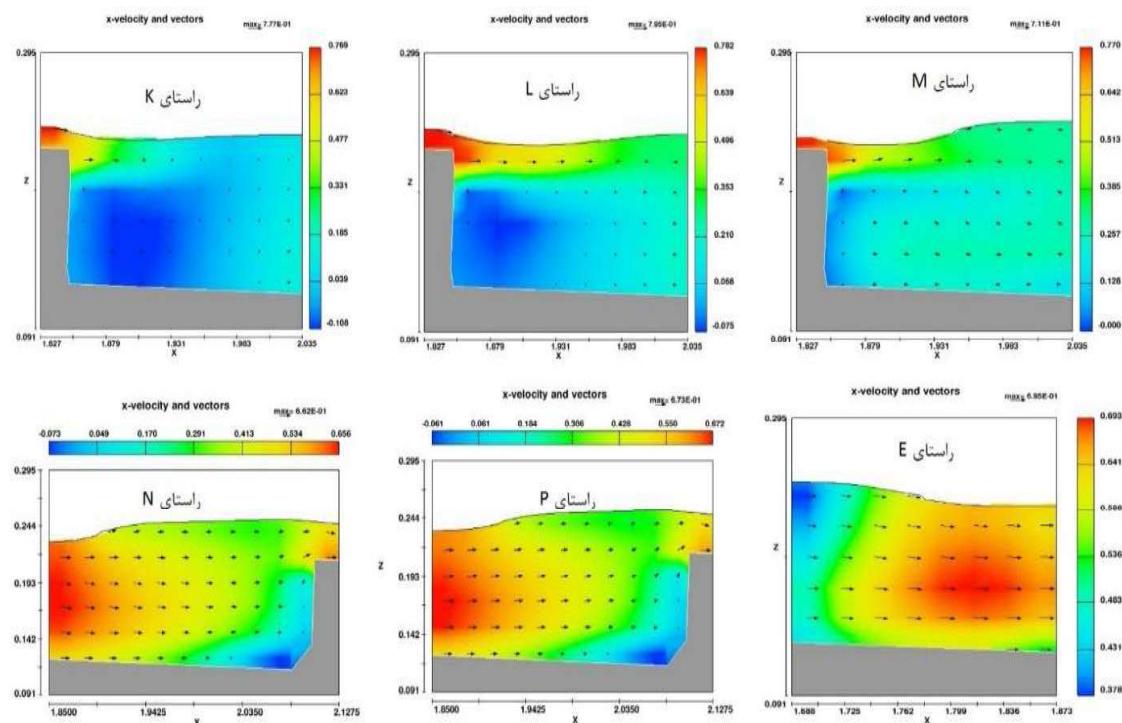
۲- سرعت‌های طولی بیشینه در دبی سوم و چهارم در بازشدگی (راستای E) و همچنین در جلوی بازشدگی (ابتدا راستاهای N و P حوضچه) اتفاق میافتد. ماهی طرح، برای عبور از این مناطق از سرعت انفجری خود استفاده میکند. سرعت جریان در راه‌ماهی، نباید از سرعت مهاجرت ماهی طرح بزرگ‌تر باشد، در غیراین صورت امکان مهاجرت ماهی‌ها وجود ندارد. سرعت انفجری ماهی طرح در مقیاس واقعی ۰/۶۰ 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 ملاحظه داشتن بیشینه سرعت انفجری 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. وگرنم 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 K, L و M که پشت برس قرار دارند، ناچیز است. در راستاهای N, P و E

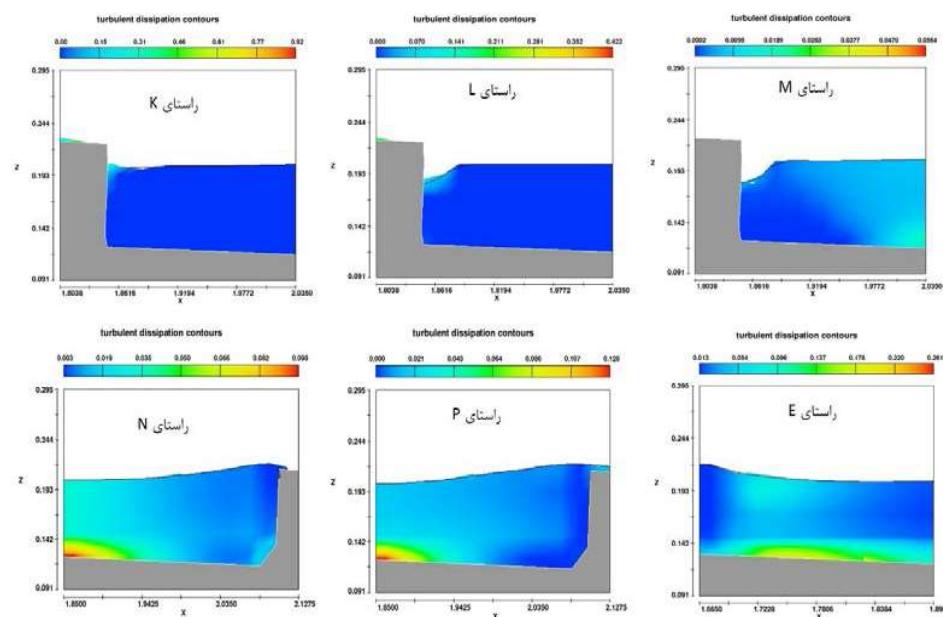
برس) در درون حوضچه اتفاق می‌افتد که مقدار آن $185/0$ رُول بر کیلوگرم بر ثانیه است. با توجه به مقادیر بیشینه آشفتگی در راهمایی، این مقادیر در محدوده مجاز قرار دارند.



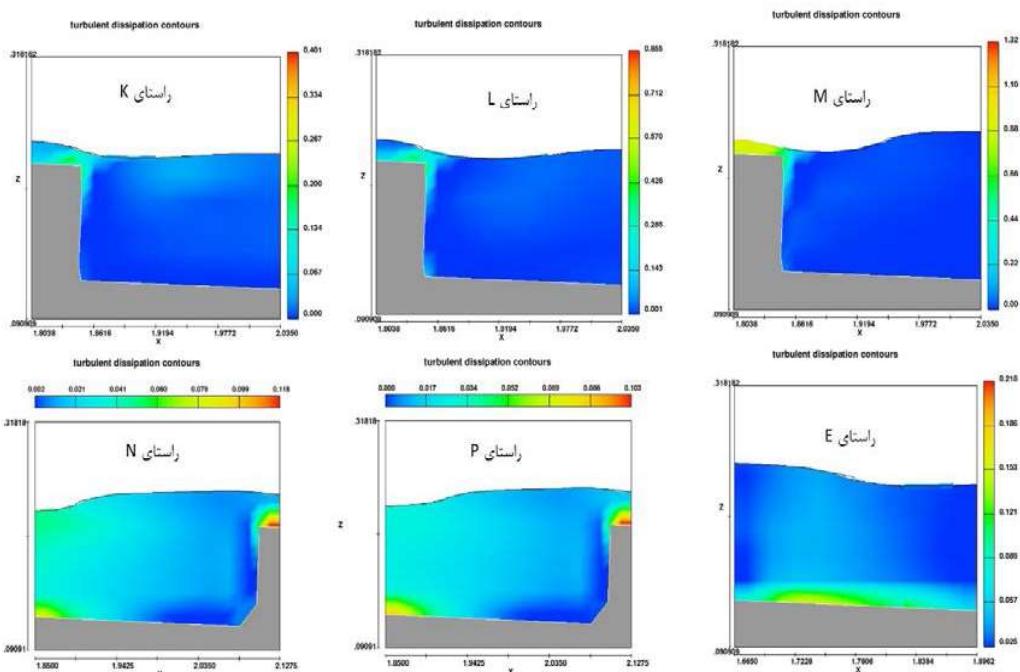
شکل(۷): سرعت طولی جریان در راستاهای مختلف حوضچه به ازای دبی سوم



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 بجستان، 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 شبیه کف بر توزیع سرعت و الگوی جریان در راهماهی استخراج و سریز". هفتمين كنگره ملي مهندسي عمران، دانشکده مهندسي شهيد نيكبخت، زاهدان.

مراجع

- ۱- احسانی، ر. و حسن زاده، ی. (۱۳۹۵). "بررسی آزمایشگاهی شرایط جریان در راهماهی از نوع کanal ماهی- قایق رو". 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." *Jounral 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.
- 4- عباسی چناری، س. و شیرالی، م. (۱۳۹۰). "بررسی ریاضی الگوی جریان و توزیع سرعت در راه ماهی نوع استخراج سریز با استفاده از مدل Flow3d". نخستین همایش ملی جهاد اقتصادی در عرصه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، قم.
- 5- قلاوند، ف. و لشکرآرا، ب. (۱۳۹۱). " شبیه سازی جریان در راه ماهی دنیل با استفاده از نرم افزار Flow3d ". نهمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- 6- محمودی کردستانی، س. و شفاعی بختان، م. (۱۳۷۹). "معرفی راهمایی دنیل و مقایسه عملکرد آن با راهمایی از نوع بازشدنگی قائم." مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سد سازی، تهران.
- 7- 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.
- 8- هدایتی، م.، مسعودیان، م.، احسانی، ر. و غلامی، م. (۱۳۹۱). "بررسی امکان استفاده از کانال ماهی رو - قایقران با گیاه مصنوعی و مقایسه آن با راهمایی شیار قائم در سد لاستیکی فرح آباد." نهمین سمینار بین المللی 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 échelles à 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 – Fischaufstieg 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 Mojtabehi 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