ارزیابی عملکرد زیست محیطی راه ماهی دنیل

بابک لشکرآرا[1*]، فرشید قلاوند[2]، محمد ذاکرمشفق[1]

چکیده

الگوی جریان در راه ماهی، تأثیر بسیار مهمی در ایجاد یک معبر امن و دوست داشتنی جهت جذب و صعود ماهیان دارد. آشفتگی زیاد جریان می‌تواند عامل کاهنده‌ی سرعت ماهی‌ها محسوب شده و ضمن بروز جراحت به آنان، باعث تأخیر یا عدم خروج ماهی‌ها از راه ماهی گردد. در این پژوهش طی یک رویکرد ترکیبی، ویژگی‌های هیدرولیکی و زیستی عبور ماهی از سازه راه ماهی دنیل مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. سپس با استفاده از قابلیت‌های سرعت و توانایی شنا کردن ماهی به عنوان یک شاخص ارزیابی، راه ماهی بهینه انتخاب گردید. در این راستا با تغییر در زاویه قاب راه ماهی دنیل تحت زوایای ۳۰ ، ۴۵ و ۶۰ درجه میزان الگوی آشفتگی جریان با استفاده از نرم افزار Flow-3D شبیه سازی و مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس از مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی عددی با نتایج حاصل از مطالعات زیست محیطی صورت گرفته به وسیله‌ی محققان پیشین در خصوص قدرت شنای ماهیان، راه ماهی بهینه انتخاب شد. نتایج مطالعات حاکی از آن است که راه ماهی دنیل با شیب طولی ۲۰ درصد و زاویه قاب ۴۵ درجه از تطابق بیشتری با قدرت شنای ماهیان، بالاخص ماهی قزل آلای رنگین کمان با رده‌های سنی نوجوان، بالغ و بالغ باردار برخوردار است.

کلمات کلیدی: دنیل، قاب، سرعت انفجاری، آشفتگی.

[1]-استادیار گروه مهندسی عمران آب، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

[*]آدرس ایمیل نویسنده مسئول: Lashkarara@jsu.ac.ir

[2]-دانش آموخته دوره کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

مقدمه

کپور ماهیان و آزاد ماهیان از جمله گونه‌های متنوع ماهی‌های رودخانه‌ای محسوب می‌شوند که بر خلاف جهت جریان آب شنا می‌کنند تا خود را به زادگاه‌شان برسانند. تداوم این روند بعنوان رفتاری غریزی، عامل بقاء و تولید مثل این ماهی‌ها گردیده است. ماهیان در حرکت خود به بالا دست اگر با مانعی روبرو شوند، سعی می‌کنند به هر نحو ممکن از آن مانع عبورکنند. آنها آنقدر به این تلاش غریزی خود ادامه می‌دهند که در صورت عدم موفقیت، حیات آنان به خطر خواهد افتاد. در جوامع امروزی، مسائل زیست محیطی یکی از نگرانی‌های مهم در برنامه ریزی و اجرای طرح‌های مرتبط با منابع آب است. سدهای انحرافی و یا تنظیمی، با مسدود کردن رودخانه، بیشترین مشکل را در مسیر حرکت و مهاجرت ماهی‌ها بوجود می‌آورند.

از اثرات سوء نرسیدن ماهی‌ها به بالادست می‌توان به عدم تخم ریزی، کاهش تولید مثل و انقراض گونه‌های فراوانی از ماهی‌ها اشاره کرد. برای این منظور، توجه همزمان به طراحی و احداث سازه‌ای هیدرولیکی بنام راه ماهی در مجاورت سازه‌های متقاطع با آبراه‌ها ضروری است. هر چند ساخت راه ماهی‌ها و سایر سازه‌های مشابه نمی‌تواند به تنهایی تمام مشکلات زیست محیطی حوزه‌ی آبزیان را مرتفع نماید، اما بی شک تنها راهکار برای جابجایی و مهاجرت ماهی‌ها به بالادست موانع محسوب می‌شود. در ایران سدهای انحرافی زیادی در دست اجرا بوده و یا تا کنون احداث شده‌اند، اما متأسفانه در بیشتر این سدها، به این مسئله‌ی مهم زیست محیطی توجهی نشده است.

این سازه‌ها با توجه به شرایط هیدرولیکی جریان و هندسه خود تحت تأثیر نیروهای خاصی قرار خواهند گرفت، که ارزیابی و شناخت این نیروها و فیزیک آشفتگی جریان پیرامون آنها می‌تواند در طراحی ساختار و تأثیر زیست محیطی آنها مؤثر باشد.

با توجه به اهمیت این سازه در حفظ بقاء گونه‌های مختلف ماهیان، امروزه بهینه سازی راه ماهی‌ها مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است. در این راستا تلاش می‌گردد تا با بهره‌گیری از نرم افزارهای پویا سیالات محاسباتی، نسبت به شبیه سازی الگوی جریان عبوری از این سازه اقدام گردد و همچنین با تغییر در هندسه سازه، شرایط لازم جهت غلبه توان ماهی بر سرعت جریان عبوری از آن و همچنین ایجاد یک معبر امن جهت عبور ماهی‌ها به بالادست فراهم گردد.

در این مقاله الگوی جریان، میزان آشفتگی، عمق و سرعت در راه ماهی دنیل با استفاده از شبیه Flow-3D مورد مطالعه قرار گرفته است. این شبیه از قابلیت مناسبی جهت شبیه سازی جریان‌های دو بعدی و سه بعدی در سازه‌های با آشفتگی بالا برخوردار است.

پیشینیه تحقیق

راجاراتنام و کاتوپودیس (۱۹۸۴) مطالعاتی جهت طراحی راه ماهی دنیل با استفاده از یک شبیه فیزیکی انجام دادند. آنان راه ماهی دنیل را با مشخصات عرض نهر پایه‌دار ۵۶ سانتی‌متر، عرض داخلی قاب معادل ۳۶ سانتی‌متر و شیب قاب ۴۵ درجه نسبت به کف را تحت عنوان راه ماهی دنیل استاندارد نامگذاری کردند. آنان با تغییر در ابعاد و فاصله نصب قاب‌های درون راه ماهی نسبت به ارزیابی اثر پارامتر عرض قاب به عرض نهر، روند تغییرات بده مشخصه و پروفیل بدون بعد سرعت را در درون این راه ماهی مورد ارزیابی قرار دادند.

کاریکا و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از روش VOF و شبیه آشفتگی $k-\varepsilon$ و شبکه بندی ترکیبی با سازمان و بی سازمان، راه ماهی استخر -سرریز را با شبیه FLUENT شبیه سازی نمودند و نتایج رضایت بخشی در مقایسه با شبیه فیزیکی بدست آوردند.

سئا و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از شبیه عددی آب‌های کم عمق و شبیه‌سازی آشفتگی، با به کارگیری سه شبیه طول اختلاط، $k-\varepsilon$ و تنش جبری را برای راه ماهی نوع باز شدگی قائم شبیه نمودند. نتایج ایشان نشان داد استفاده از شبیه آشفتگی $k-\varepsilon$ را می‌توان به عنوان ابزاری برای طراحی عملی استفاده کرد.

محمودی کردستانی و همکاران (۱۳۷۷) با ساخت یک شبیه فیزیکی، وضعیت جریان و پروفیل سرعت را در راه ماهی دنیل مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به تشکیل یک ناحیه‌ی کم سرعت در راه ماهی دنیل، امکان عبور ضعیف‌ترین شناگران از انواع مختلف ماهی‌ها فراهم گردیده است. معیری و همکاران (۱۳۸۷) الگوی جریان در سازه‌ی راه ماهی نوع استخر - سرریز را با استفاده از شبیه کامپیوتری Fluent شبیه سازی نموده و نتایج آنان نشان داد که پروفیل

سطح آب در راه ماهی به صورت جریان رویه‌ای است که با نتایج داده‌های فیزیکی تطابق دارد و همچنین یکی از عواملی که باعث استهلاک کارمایه در راه ماهی‌های استخر- سرریز می‌شود، جریان گردشی موجود در هریک از استخرها می‌باشد.

قلاوند و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با استفاده از نرم افزار Flow-3D، هیدرولیک جریان عبوری از راه ماهی دنیل را با استفاده از روش VOF و شبیه آشفتگی $k-\varepsilon$ مورد ارزیابی و شبیه سازی قرار دادند. نتایج حاصل از تحقیق آنان نشان داد که شبیه Flow-3D به عنوان یک ابزار پر قدرت جهت شبیه سازی جریان در سازه‌های با آشفتگی شدید همچون راه ماهی قابل بهره برداری بوده و از آن می‌توان جهت طراحی تحت شرایط مختلف هیدرولیکی بهره جست.

زمینه نظری تحقیق

راه ماهی‌ها تاریخچه‌ای دیرین دارند. با توجه به اسناد موجود، نخستین راه ماهی‌ها اوایل قرن هفدهم در فرانسه ساخته شده‌اند. راه ماهی دنیل نیز از انواع راه ماهی است که به وسیله دانشمندی با نام جی دنیل در سال ۱۹۰۸ معرفی گردید (کاتوپودیس و راجاراتنام، ۱۹۸۳). شناخت راه ماهی‌ها از دو جنبه‌ی هیدرولیکی و زیستی حائز اهمیت است.

از دیدگاه هیدرولیکی راه ماهی‌ها سازه‌های کاهنده‌ی کارمایه با ساز و کارپیچیده‌ای هستند که کارمایه جریان آب را بمنظور کاهش سرعت و افزایش عمق آب مستهلک می‌نمایند. طی سال‌های متمادی، روند طراحی راه ماهی‌ها با توجه به طرح اتلاف کارمایه به سه نوع اصلی طبقه بندی شده اند:

الف) استخر- سرریز ب) شکاف عمودی ج) دنیل

راه ماهی دنیل از یک کانال مستقیم مستطیلی شیب‌دار تشکیل گردیده که درون آن از قاب‌هایی موازی تشکیل شده است. نحوه قرارگیری قاب‌ها باعث اتلاف انرژی جریان شده و جریان نسبتاً مناسبی را برای عبور ماهی در یک مسیر مستقیم و پیوسته فراهم می‌سازد. جریان در راه ماهی دنیل مرکب از دو بخش متقابل است. جریان اصلی در بخش مرکزی نهر و یک سری جریان‌های منظم جانبی که هر کدام از این‌ها هم‌سو با جهت هدایت شده به وسیله‌ی پره‌ها عمل می‌کنند. تعامل بین جریان‌های اصلی و جانبی یک ساز و کار اصلی انتقال جرم و شتاب را فراهم آورده و علاوه بر یک تلاطم قابل ملاحظه، کاهش کارمایه چشمگیری را بوجود می‌آورد. با نگاهی ویژه می‌شود چنین برداشت کرد که وجود سرریزها و پره‌ها به عنوان عناصر بسیار بزرگ زبری، راه ماهی‌ها را نهرهای پایه‌دار بسیار زبری معرفی نموده، که ایجاد ضریب زبری در آنها (از لحاظ زمینه نظری و عوامل اصطکاک) منجر به افت‌های موضعی و اصطکاکی در آن می‌شود.

ساختار راه ماهی‌ها به گونه‌ای است که سرریزهای مجاور در آنها به صورت زنجیره‌ای عمل می‌کنند، وجود قاب‌ها باعث گردیده، جریان موجود در راه ماهی دنیل در هر سرریز به سرعت در حال تغییر باشد، به عبارتی دیگر جریان آب در حوضچه‌های راه ماهی تحت تأثیر جریان موجود بر روی حوضچه‌ها و سرریزهای مجاور قرار می‌گیرد. همچنین می‌توان با بررسی ضریب مقاومت ایجاد شده درک بهتری از این ساختار و خواص هیدرولیکی آنها بدست آورد (کامیولا و بارتل، ۱۹۹۱).

از راه ماهی دنیل بعنوان یکی از کارآمدترین مستهلک کننده‌های کارمایه یاد می‌شود. هنگامی که بده در حد پایینی باشد جریان در راه ماهی دنیل حالت غوطه وری خواهد داشت. با بالاتر رفتن عمق آب، جریان نیز به حالت روگذری می‌رسد، اگر چه در این حالت، اصطکاک جریان بالاتر بوده و خود جریان پایدارتر به نظر می‌رسد، اما با این وجود، افزایش عمق باعث نمی‌شود که سرعت متوسط جریان به میزان زیادی تغییر کند.

از نقطه نظر زیستی راه ماهی‌ها سازه‌هایی هستند که به ماهی این توانایی را می‌دهند که به مهاجرت ادامه داده و با موفقیت از موانع عبور نمایند. از نظر هیدرولیکی، راه ماهی‌ها سازه اتلاف کارمایه هستند. جریان در داخل راه ماهی‌ها باید واضح، مشخص و هدایت‌گر ماهیان باشد و بیش از حد برای گونه‌های مورد نظر سخت و پیچیده نباشد (بلک، ۱۹۹۱)

با توجه به اهمیت ویژه ی موضوع آشفتگی در سازه‌ی راه ماهی، باید اشاره کرد که آشفتگی زیاد جریان می‌تواند عامل کاهنده‌ی سرعت انفجاری ماهی‌ها محسوب شده و ضمن بروز جراحت به ماهی‌های بالغ باردار، باعث تأخیر یا عدم خروج ماهی‌ها از راه ماهی گردد. عوامل مؤثر در شنا کردن ماهی ها فقط به میدان سرعت و عمق آب محدود نگردیده، بلکه میزان آشفتگی حاصل از

اصطکاک جریان‌های داخلی نیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. آشفتگی اضافی می‌تواند بعنوان یک عامل بازدارنده در سر راه حرکت ماهی‌ها محسوب شده و مسیر حرکت آنها را سخت و ناهموار نماید.

عملکرد شنای ماهی به سه دسته مجزای شنای پایدار، شنای مداوم و شنای انفجاری تقسیم بندی شده است. سرعت پایدار سرعتی است که ماهی می‌تواند بطور مستمر و نامحدود شنای خود را برای مدت طولانی بیش از ۲۰۰ دقیقه بدون خستگی عضلانی حفظ کند. در سرعت مداوم ماهی می‌تواند به مدت ۲۰ ثانیه تا ۲۰۰ دقیقه با حفظ خستگی به شنای خود ادامه دهد و عملکرد شنای انفجاری، بالاترین سرعتی است که ماهی می‌تواند فقط برای دوره‌های زمانی کوتاه (کمتر از ۲۰ ثانیه) از آن استفاده کند (بیمیش ۱۹۷۸).

انتظار می‌رود ماهی‌ها هنگام پریدن و گذشتن از روی سرریزها از سرعت انفجاری خود بهره گرفته و در درون استخرها از سرعت حرکت مداوم خود برای شنا کردن استفاده کنند. با توجه به اینکه سرعت انفجاری و سرعت حرکت مداوم مانند سایر فاکتورهای علوم زیستی و زیست محیطی بسته به نوع و اندازه ماهی متغیر می‌باشد، بنابراین راه ماهی برای عبور ضعیف‌ترین شناگر از انواع مورد نظر طراحی می‌شود. شناخت انواع ماهی‌های مهاجر، میزان و فصل مهاجرت، اندازه و ابعاد ماهی‌ها، همچنین سرعت شنا کردن و بررسی رفتار آنها از جمله اطلاعات علوم زیستی لازم برای طراحی است. سرعت‌های شنا، حدودی را برای حداکثر سرعت آب در راه ماهی مشخص می‌کند و به طراح اجازه می‌دهد که شرایط جریان را به نحوی برقرار کند که ماهی بدون خستگی یا تأخیر طولانی در مسیری امن شنا کند. مطالعه رفتار ماهی‌ها در انتخاب نوع راه ماهی مؤثر است. به طوری که مشخص شده است، بعضی از انواع ماهی‌ها یک نوع راه ماهی را از میان انواع دیگر ترجیح می‌دهند (هانتر و مایر ۱۹۸۶).

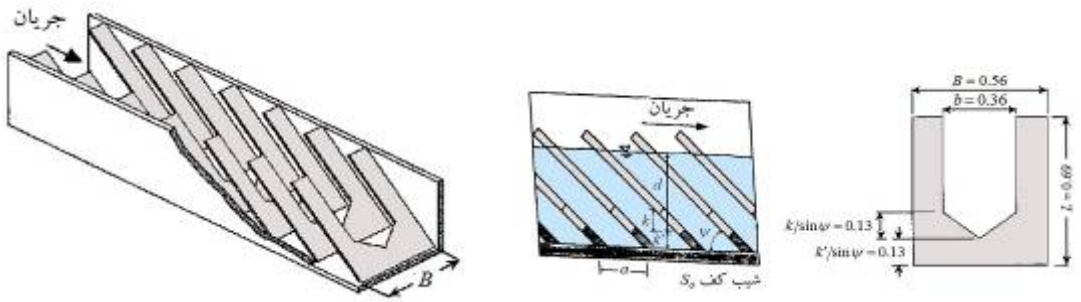
مواد و روش‌ها

جهت انجام پژوهش حاضر از نرم افزار Flow3D که یک نرم افزار پر قدرت محاسباتی جهت شبیه سازی پویای سیالات است استفاده شده است.

این شبیه قابلیت تحلیل سه‌بعدی میدان جریان را دارد و محدوده‌ی کاربردی بسیار وسیعی را در مسائل مربوط به سیالات پوشش می‌دهد. معادلات حاکم در این شبیه، معادلات ناویر استوکس و معادله‌یِ بقای جرم است و برای حل آشفتگی نیز از پنج روش مختلف استفاده می‌شود. شبیه FLOW-3D شامل الگوهای فیزیکی بسیاری از جمله آب‌های کم‌عمق، لزجت، کاویتاسیون، آشفتگی، محیط‌های متخلخل و چندین الگوی دیگر است. این شبیه در زمینه‌هایی چون ریخته‌گری، مهندسی فرآیند، هیدرولیک، محیط زیست، هوافضا، علوم دریایی، نفت، گاز وغیره کاربرد دارد. این برنامه برای جریان‌های سه‌بعدی غیرماندگار که دارای سطح آزاد و هندسه پیچیده هستند کاربرد دارد. در این نرم‌افزار از روش حجم محدود در شبکه‌بندی منظم مستطیلی استفاده می‌شود. به لحاظ استفاده از روش حجم‌محدود در یک شبکه منظم، شکل معادلات گسسته‌شده‌یِ مورد استفاده، نظیر معادلات گسسته شده در روش تفاضل محدود می‌باشند.

برای صحت سنجی شبیه از مطالعات راجاراتنام و کاتاپوتیس (۱۹۸۴) بهره‌گیری شده است. راجاراتنام آزمایش‌های خود را در یک نهر به عرض ۵۶ سانتیمتر، ارتفاع ۶۹ سانتیمتر و طول ۴/۹ متر به اجرا درآورد. برای ساخت قاب‌های دنیل از تخته سه لایی با پوشش رنگ اپوکسی استفاده شد. در پژوهش حاضر برای شبیه سازی راه ماهی دنیل، نخست از نرم افزار AutoCAD برای ترسیم و ساخت نمایه‌ی صلب بهره‌گیری شده است و در ادامه رفتار و تراکنش داده‌ها نسبت به شبیه فیزیکی به کمک نرم افزار Flow-3D شبیه سازی گردید. هندسه‌ی نمایه‌ی صلب شامل یک نهر پایه‌دار با سطح شیب دار تحت زاویه ۲۰ درصد، ۷ عدد قاب به عرض ۰/۵۶ متر، ارتفاع ۰/۶۹ متر، ضخامت ۰/۰۲ متر و فاصله قاب‌ها ۰/۲۵ متر از یکدیگر مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی‌که موضوع تحقیق بررسی اثر زاویه قاب بر شرایط هیدرولیکی و هیدروزیستی می‌باشد، لذا جسم صلب راه ماهی تحت سه زاویه مختلف قاب ۳۰ ، ۴۵ و ۶۰ درجه طراحی و ساخته شد و سپس از درگاه مربوطه به شبیه معرفی گردید. نرخ جریان Q در آزمایشات در شرایط هیدرولیکی متنوع با سه بده۵۶/۶ ، ۸۵ و ۱۱۳/۳ لیتر بر ثانیه، روی نمایه‌های صلب برقرار شد و اثر زوایای مختلف قاب بر شرایط هیدرولیکی جریان عبوری از راه ماهی مورد ارزیابی قرار گرفت.

در بخش بررسی‌های هیدرولیکی، ابعاد دالان امن جهت صعود ماهی‌ها و همچنین نحوه توزیع نیمرخ سرعت مورد تحلیل قرار گرفته است. شرایط این شبیه بر پایه‌یِ سیال آب زلال با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد استوار است. با توجه به تأثیر شگرف کارکرد شبیه‌های آشفتگی بر نتایج حاصله و نیز سازگاری و استفاده گسترده شبیه آشفتگی $k-\varepsilon$، از این شبیه برای شبیه‌سازی جریان‌های متلاطم استفاده شده است. لازم به ذکر است شبیه آشفتگی $k-\varepsilon$ از گزینه‌های مناسب برای رینولدزهای بالا می‌باشد (لاندر و اسپالدینگ، ۱۹۷۴). برش افقی و جزئیات هندسه نمایه‌ی صلب مورد استفاده در تحقیق حاضر در شکل (۱) نمایش داده شده است. شرایط مرزی معرفی شده به شبیه در بالادست بر اساس رقوم سطح آب و بده جریان ورودی، در خروجی شبکه بندی شرایط جریان از نوع خروجی تنظیم گردیده است. شرایط مرزی در دیواره‌های طرفین و بستر از نوع دیواره و شرایط سطح آزاد آب از نوع شرایط متقارن به شبیه معرفی شده است. به منظور بررسی شرایط زیست محیطی، خصوصیات زیستی ماهی قزل آلای رنگین کمان در سه رده سنی مختلف از مراجع استخراج و جهت تحلیل در شرایط مختلف هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات سه طبقه سنی ماهی قزل آلای رنگین کمان تحت عنوان شناگران ضعیف، نیمه قوی یا باردار و قوی مطابق جدول (۱) در تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است (هانتر و مایور، ۱۹۸۶).



شکل ۱. برش افقی و جزئیات نمایه‌ی صلب سازه راه ماهی دنیل استاندارد (ابعاد بر حسب متر)

جدول۱. اطلاعات زیستی آبزیان مورد استفاده در پژوهش بر اساس تحقیقات هانتر و مایر (۱۹۸۶)

طبقه ماهی	گونه	رده سنی	وضعیت شناگر	طول متر	وزن نیوتن	زمان انفجاری ثانیه	سرعت انفجاری متر بر ثانیه	زمان مداوم ثانیه	سرعت مداوم متر بر ثانیه
I	قزل آلای رنگین کمان	بالغ	قوی	۰/۱۵	۰/۲۳۳	۵	۱/۶۷	۱۸۰۰	۰/۷۶۸
II	قزل آلای رنگین کمان	باردار	نیمه قوی	۰/۲	۰/۵۵۲	۲/۵	۰/۹۸۹	۶۰۰	۰/۶۱۹
III	قزل آلای رنگین کمان	نوجوان	ضعیف	۰/۰۶	۰/۰۱۵	۵	۰/۷۳۲	۱۸۰۰	۰/۵۴۷

نتایج

همان‌طوری‌که قبلاً نیز بیان شد نتایج حاصل از تحقیق حاضر از دو دیدگاه هیدرولیکی و زیستی مورد توجه قرار گرفته است. ابتدا پس از صحت سنجی نتایج حاصل از هیدرولیک جریان تحت زاویه قاب ۴۵ درجه مقادیر پارامتر بدون بعد بده مشخصه Q^* که از رابطه (۱) بدست می‌آید محاسبه و با نتایج حاصل از مطالعات راجاراتنام و کاتوپودیس (۱۹۸۴) تحت زاویه قاب ۴۵ درجه مقایسه گردید (شکل ۲).

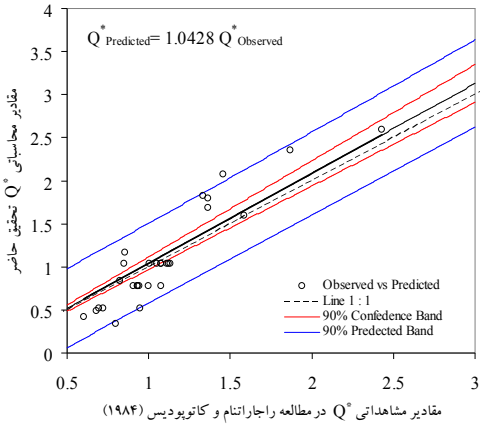
$$Q^* = Q \Big/ \sqrt{g\, S_o\, b^5} \qquad (۱)$$

که در آن Q بده جریان عبوری از راه ماهی، S_o شیب بستر راه ماهی، b عرض داخلی، d عمق جریان درون قاب‌های دنیل می‌باشد. Q^* نیز بده بدون بعد یا بده مشخصه‌یِ راه ماهی نام دارد که از جنس عدد فرود می‌باشد. نتایج مندرج در شکل (۲) گویای آن است که ضریب زاویه خط برازش شده از بین نتایج مشاهداتی و محاسباتی در مقایسه با شیب خط ۱ : ۱ از ضریب زاویه ۱/۰۴۲۸ برخوردار است و این بدان معنی است که مقادیر دبی مشخصه Q^* محاسبه شده به وسیله ی شبیه ۴/۲۸ درصد بیشتر از نتایج مشاهداتی می‌باشد. نتایج حاصل از توابع خطای تخمین شبیه در مقایسه با مشاهدات آزمایشگاهی در جدول (۲) خلاصه شده است. با توجه به کوچک بودن مقادیر توابع ریشه میانگین مربعات خطا و خطای معیار تخمین می‌توان ادعا نمود که تخمین صورت گرفته به وسیله‌ی شبیه Flow-3D از دقت مطلوبی برخوردار است.

جدول ۲- نتایج توابع خطای تخمین در مدل

ریشه میانگین مربعات خطا	خطای استاندارد تخمین	ضریب زاویه خط برازش شده
RMSE	SEE	m
۰/۲۶۸۹	۰/۲۳۰۸	۱/۰۴۲۸

پس از حصول اطمینان از نتایج حاصل از اجرای شبیه، با تغییر در زاویه قاب نسبت به بررسی شرایط هیدرولیکی جریان اقدام گردید. در این حالت با تغییر در میزان بده عبوری نسبت به بده طرح، هیدرولیک جریان عبوری با توجه به مفاهیم الگوی جریان، میزان آشفتگی، عمق و توزیع سرعت در راه ماهی دنیل به دقت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت.



شکل ۲- مقایسه نتایج مشاهداتی و محاسباتی

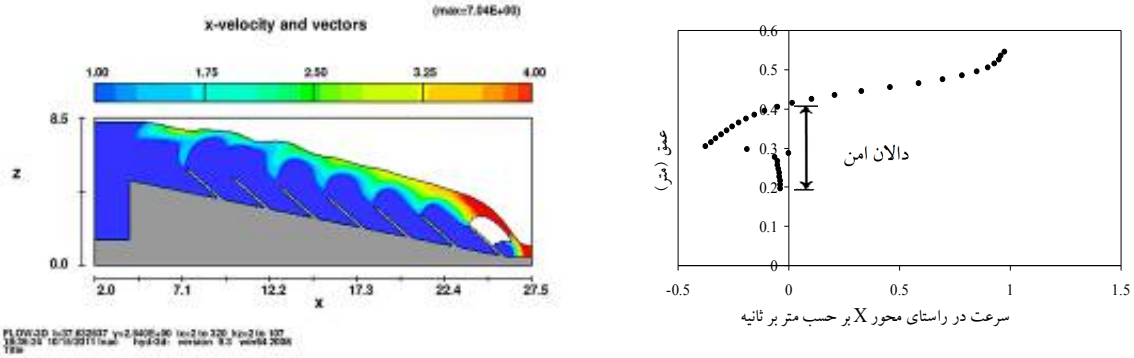
نتایج حاصل از بررسی الگوی جریان و نیمرخ سرعت نشان می‌دهد که زاویه قاب ۳۰ درجه بزرگترین دالان امن را جهت عبور ماهی‌ها فراهم می‌آورد. از طرفی زاویه قاب ۴۵ درجه نیز به علت تشکیل شکل گرداب پیش‌رونده با ۲۵ درصد کاهش در دالان امن در رده دوم اولویت هیدرولیکی قرار می‌گیرد. شکل‌های (۳) الی (۵) نشان دهنده دالان امن و نیمرخ سرعت در بخش انتهایی سازه تحت زاویه قاب ۳۰ ، ۴۵ و ۶۰ درجه می‌باشند.

از آنجایی‌که انتخاب گزینه برتر زاویه قاب به خصوصیات زیستی وابسته است لذا لازم است تا خصوصیات مختلف ماهی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و در مقایسه با شرایط هیدرولیکی ارزیابی گردند. از جمله موارد حایز اهمیت، زمان تداوم در مسیر صعود از راه ماهی، زمان خستگی و زمان انفجاری به منظور ورود به سازه در بخش خروجی آن می‌باشد. برای این منظور راه ماهی مطابق شکل (۶) به سه بخش مختلف تقسیم بندی گردید. به منظور تعیین اولویت سناریویِ برتر در تحقیق حاضر و تعیین زاویه مناسب قاب، در این بخش نسبت به ارزیابی توان آب-زیستی[1] ماهی قزل‌آلا رنگین کمان در مقابل توان هیدرولیکی سازه در بخش مجرای صعود راه ماهی پرداخته شده است. توان هیدرولیکی سازه بر اساس مطالعات دی انو و مارمولا (۲۰۰۲) محاسبه شده است. نگارندگان تحقیق حاضر بر این باورند که تقابل توان زیستی ماهی‌ها در مقابل توان هیدرولیکی راه ماهی می‌تواند بعنوان معیاری جهت انتخاب بهترین زاویه قاب راه ماهی دنیل ایفای نقش نماید. در این راستا جهت

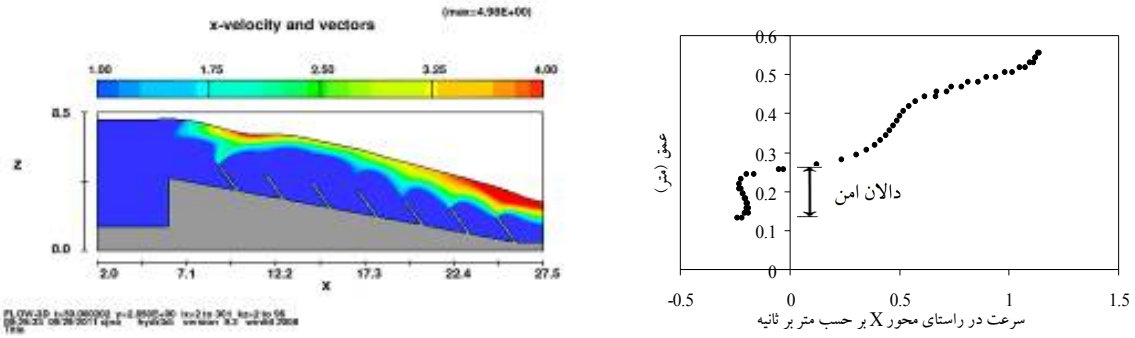
[1] -Hydrobiologic

تسهیل در امر مقایسه بین این دو پارامتر، توان هیدرولیکی سازه بر حجم آب ذخیره شده بین دو قاب متوالی تقسیم گردید و بطور مشابه توان زیستی تخمین زده شده بر حجم ماهی تقسیم گردید.

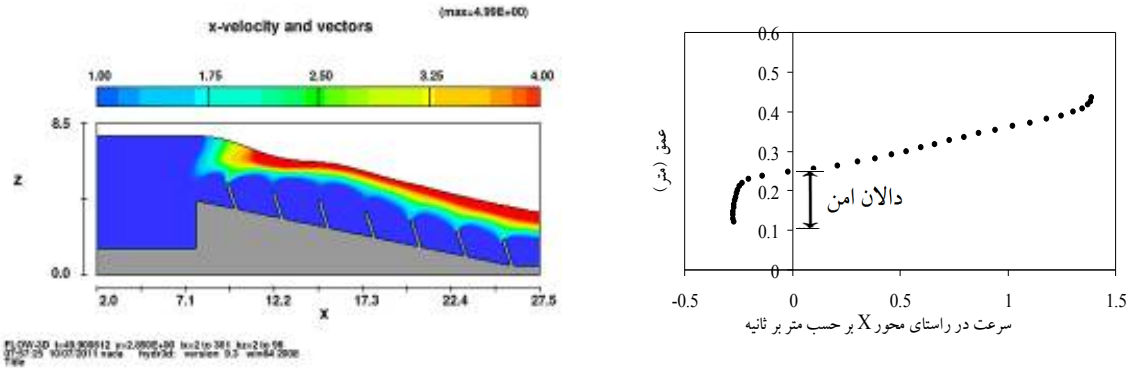
همان‌طوری‌که قبلاً نیز بیان شده است معیار پژوهش حاضر بر سه نوع ماهی نوجوان، بالغ و بالغ باردار استوار بوده و توان‌های مذکور به ازاء سه محدوده بده مختلف برای هر یک از ماهی‌های مذکور مورد ارزیابی قرار گرفته است. جهت تعیین توان زیستی از خصوصیات مندرج در جدول (۱) استفاده شده است.



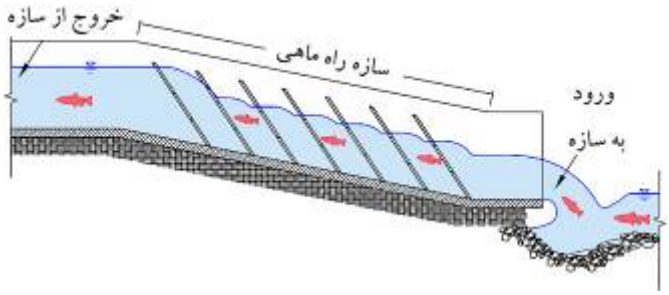
شکل ۳. خطوط جریان و نیمرخ سرعت طولی در دنیل ۳۰ درجه در موقعیت X=20



شکل ۴. خطوط جریان و نیمرخ سرعت طولی در دنیل ۴۵ درجه در موقعیت X=20



شکل ۵. خطوط جریان و نیمرخ سرعت طولی در دنیل ۶۰ درجه در موقعیت X=20



شکل ۶. بخش‌های مختلف راه ماهی دنیل

مطالعات بمنظور محاسبه توان ماهی قزل آلا رنگین کمان، نیروی مؤثر بر شنای ماهی در سرعت نسبی شنای ماهی در راه ماهی ضرب شده است و سپس با توجه به ابعاد متوسط ماهی های جوان، بالغ و بالغ باردار تقسیم گردیده است (بلک و همکاران، ۱۹۹۱).

$$P_B = \left[\frac{(F_D + F_G + F_{vm})(V_{fw})}{\forall}\right] \quad (۲)$$

که در آن P_B توان زیست محیطی بر حسب وات بر متر مکعب، F_D نیروی پس‌کشی[1] وارده بر ماهی، F_G نیروی گرادیان، F_{vm} نیروی جرم مجازی بر حسب نیوتن، V_{fw} سرعت ماهی نسبت به آب اطراف بر حسب متر بر ثانیه و $\forall$ حجم بدن ماهی بر حسب متر مکعب می‌باشد.

همچنین بمنظور محاسبه توان هیدرولیکی سازه راه ماهی مقادیر افت خط کارمایه در سازه طی بده‌های عبوری با استفاده از خروجی نرم افزار تقریب زده شده و سپس نسبت به محاسبه توان هیدرولیکی سازه اقدام شده است (دی انو و مارمولا، ۲۰۰۲).

$$P_H = \frac{\gamma Q \Delta H}{B a D} \quad (۳)$$

که در آن P_H توان آب در واحد حجم استخر بر حسب وات بر متر مکعب، γ وزن مخصوص آب بر حسب نیوتن بر متر مکعب، Q دبی راه ماهی بر حسب متر مکعب بر ثانیه، ΔH بار آبی مربوط به پائین افتادگی در هر استخر بر حسب متر، B عرض استخر بر حسب متر، a فاصله بین دو قاب متوالی دنیل بر حسب متر و D عمق متوسط جریان در استخر بر حسب متر می‌باشد.

در شکل (۷) نتایج حاصل از مقایسه توان هیدرولیکی راه ماهی با توان زیست محیطی ماهیان در بخش میانی سازه ی راه ماهی تحت زاویای مختلف قاب نشان داده شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در بخش پیشین و تعیین اولویت هر یک از سناریوهای پیشنهادی پیرامون شنای مداوم درون راه ماهی لازم است تا شرایط ورود انواع طبقه‌های ماهی معرفی شده به درون راه ماهی در بخش پایاب نیز مورد ارزیابی قرار گیرد

همان‌طوری‌که در بخش زمینه نظری اشاره شد یکی از عوامل مؤثر بر ایفای نقش مفید راه ماهی، همانا موقعیت نسبی عمق پایاب در بخش انتهایی سازه می‌باشد. صرفنظر از گونه‌های مختلف ماهی‌های مهاجر، می‌بایست شرایط کافی بمنظور جلب توجه ماهی‌ها در پایاب فراهم باشد.

مشاهدات نشان داده است که در محل‌هایی که آب بصورت ریزشی به پایین دست منتقل می‌گردد منجر به سپیدی رنگ آب شده و این امر به مثابه یک چراغ راهنما، موجبات جلب توجه ماهی‌ها را فراهم می‌آورد. برای این منظور اختلاط هوا با آب باید در اولویت قرار گیرد. از طرفی بدلیل اینکه در بخش خروجی سازه، سرعت متوسط جریان ریزشی نقش کلیدی را در ورود ماهی‌ها به راه ماهی ایفا می‌نماید، لذا با استناد به سرعت مداوم، ماهی توانایی ورود به سازه راه ماهی را نخواهد داشت. با توجه به مطالعات صورت گرفته، انواع مختلف ماهی‌ها جهت غلبه بر این امر از سرعت انفجاری خود استفاده می‌کنند تا در مدت زمان کوتاهی بتوانند به درون سازه ورود نمایند. در این بخش از پژوهش به منظور تعیین اولویت سناریوهای معرفی شده در تحقیق و تعیین زاویه مناسب قاب از نقطه نظر عمق پایاب و شرایط ورود ماهی به درون راه ماهی نسبت به ارزیابی

[1] -Drag

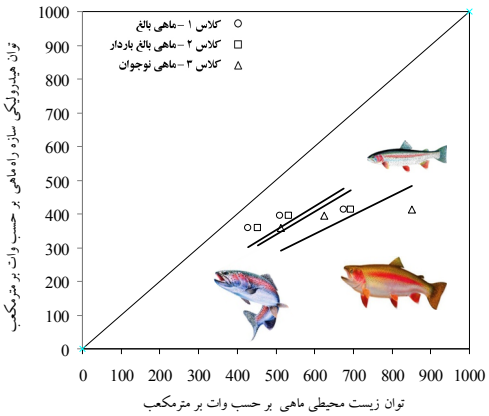
مجدد توان آب-زیستی در مقابل توان هیدرولیکی سازه در بخش پایاب مبادرت ورزیده شد. برای این منظور کلیه عملیات محاسباتی که در بخش پیشین با احتساب سرعت مداوم صورت پذیرفت تکرار می‌گردد. تفاوت عملیات مذکور با بخش قبل استفاده از سرعت متوسط جریان در خروجی سازه و همچنین سرعت انفجاری ماهی به جای سرعت مداوم جهت تخمین توان آب-زیستی ماهی می‌باشد.

از مقایسه توان هیدرولیکی راه ماهی در بخش پایاب تحت زاویای قاب ۳۰ و ۶۰ درجه در مقابل توان زیست محیطی با احتساب سرعت انفجاری چنین نتیجه گیری می‌شود که کلیه ماهی‌های طبقه بندی شده شامل نوجوان، بالغ و بالغ باردار قادر به عبور از راه ماهی نخواهند بود. علت این امر را می‌توان در سرعت انفجاری، زمان خستگی و ابعاد ماهی‌های مذکور جستجو نمود. شکل‌های (۸-الف) و (۸-ج) نمایانگر این تحلیل می‌باشند. از طرفی از مقایسه نظیر پارامترهای توان هیدرولیکی سازه در مقایسه با توان آب-زیستی به ازاء زاویه قاب ۴۵ درجه ملاحظه می‌گردد که کلیه ماهی‌های رنگین کمان طبقه بندی شده شامل نوجوان، بالغ، و بالغ باردار قادر به عبور از راه ماهی می‌باشند. نتایج یاد شده در شکل (۸-ب) نشان داده شده است.

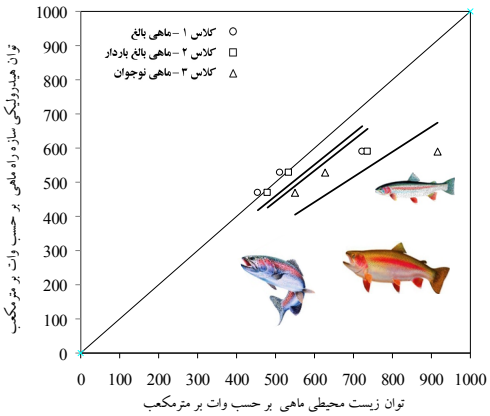
نتیجه گیری

هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی اثرات زیست محیطی سازه راه ماهی دنیل تحت زوایای مختلف قاب می‌باشد. برای این منظور سازه راه ماهی دنیل تحت زوایای قاب ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه با شیب طولی ۲۰ درصد مورد بررسی و ارزیابی هیدرولیکی و هیدروزیستی قرار گرفتند. از مقایسه نتایج حاصل از بخش هیدرولیکی در مقایسه با نتایج حاصل از بخش هیدروزیستی، نسبت به معرفی زاویه قاب بهینه مبادرت ورزیده شد. این ارزیابی جهت سه دسته مختلف سنی ماهی‌های قزل آلا رنگین کمان شامل نوجوان، بالغ و بالغ باردار مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید:

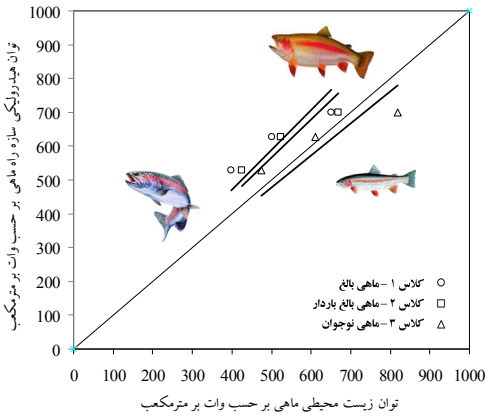
زاویه قاب ۳۰ و ۴۵ درجه به‌ترتیب حداکثر دالان امن را جهت عبور ماهی ایجاد می‌نماید. زاویه قاب ۶۰ درجه از حداکثر تلفات کارمایه و حداقل دالان امن برخوردار است.



الف) زاویه قاب ۳۰ درجه

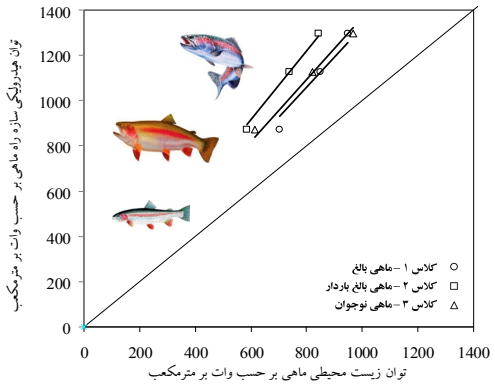


ب) زاویه قاب ۴۵ درجه

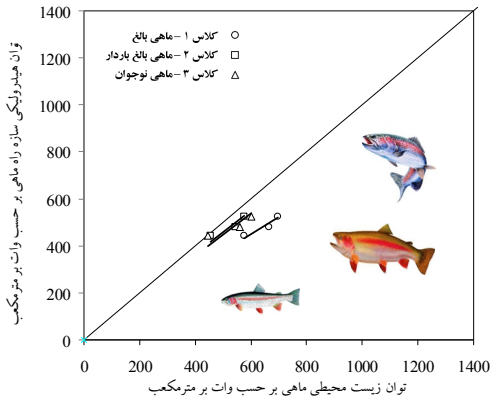


ج) زاویه قاب ۶۰ درجه

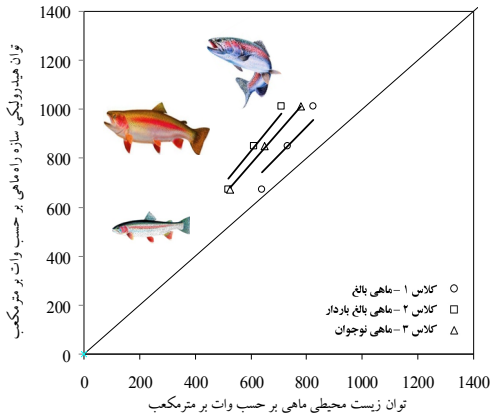
شکل ۷. مقایسه توان هیدرولیکی راه ماهی با توان زیست محیطی در بخش میانی تحت زاویای مختلف قاب



الف) زاویه قاب ۳۰ درجه



ب) زاویه قاب ۴۵ درجه



ج) زاویه قاب ۶۰ درجه

شکل ۸. مقایسه توان هیدرولیکی راه ماهی با توان زیست محیطی در بخش خروجی تحت زاویای مختلف قاب

نتایج حاصل از ارزیابی صورت گرفته در بخش پایاب سازه راه ماهی دنیل تحت زاویه قاب ۴۵ درجه نشان می دهد که در حالت مذکور بهترین شرایط از نقطه نظر بده متوسط در خروجی جهت ورود ماهی‌ها فراهم است.

نتایج حاصل از ارزیابی صورت گرفته در بخش پایاب سازه راه ماهی دنیل تحت زاویای قاب ۳۰ و ۶۰ درجه در مقابل توان زیست محیطی نشان می‌دهد که کلیه ماهی‌های طبقه بندی شده شامل نوجوان، بالغ و بالغ باردار قادر به عبور از راه ماهی نخواهند بود.

سرعت انفجاری کم ماهی قزل آلا از یکسو و زمان خستگی کوتاه آنها از سوی دیگر باعث می‌گردد که راه ماهی دنیل تحت زوایای قاب ۳۰ و ۶۰ درجه معبر مناسبی جهت عبور آنها به بالادست نباشد.

از مقایسه نظیر پارامترهای توان هیدرولیکی سازه در مقایسه با توان آب–زیستی به ازاء زاویه قاب ۴۵ درجه ملاحظه می‌گردد که کلیه ماهی‌های رنگین کمان طبقه شده قادر به عبور از راه ماهی می‌باشند.

مراجع

۱) قلاوند ف، لشکرآرا ب و ذاکر مشفق م. ۱۳۹۱. شبیه سازی جریان در راه ماهی دنیل با استفاده از نرم افزار Flow-3D. نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲) کردستانی م و شفاعی بجستان م. ۱۳۷۷. بهینه سازی شرایط هیدرولیکی جریان در راه ماهی از نوع بازشدگی قائم. مجموعه مقالات پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، اهواز.

۳) معیری م م، حسین زاده دلیر ع، نیک پور م ر و ورجاوند پ، ۱۳۸۷. شبیه سازی عددی جریان در راه ماهی با استفاده از شبیه کامپیوتری Fluent. دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.

4) Beamish FWH. 1978. Swimming cpacity. Fish Physiology, Vol. VII:101-187.

5) Behlke CE. 1991. Power and energy Implications of passage structures for fish. Fisheries Bioengineering Symposium, AFS Symposium 10:289-298.

6) Behlke CE, Kane DL, Mclean RD and Travis MD. 1991. Fundamentals of culver design for passage of weak-swimming fish. Repor No, FHWA-AK-RD-90-10

7) Carrica PM, Turan C and Weber L. 2005. Computation of the free surface flow in a fish passage. Mwcanica Computational Vol.XXIV.

8) Cea L, Pena L and Puertas J. 2007. Application of Several Depth Averaged turbulence models to simulate flow in vertical slot fishways. Journal of Hydroulic Engineering., ASCE P 160.

9) FAO, 2002. Fish Passes: Design, Dimensions and Monitoring. Rome. FAO, 138p.

10) Hunter LA and Mayor L. 1986. Analysis of Fish Swimming Performance Data. Unpublished Report. Vol. I.

11) Kamula R and Bärthel J. 2000. Effects of modifications on the hydraulics of Denil fishways. Boreal Environment Research No 1/2000, 5: 67-79 .

12) Katopodis C and Rajaratnam N. 1983. A review and laboratory study of the hydraulics of Denil fishways. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science 1145: vii+181 p.

13) Launder BE and Spalding DB. 1974. The numerical computation of turbulent flows. Comp. Meth. in Appl. Mech. & Eng., Vol.3, pp269.

14) Rajaratnam N and Katopodis C. 1984. Hydraulics of denil fishways. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol.110, No.9, Pages 1219-1233.