

## تعیین سطح مؤثر حوضچه استراحتگاهی در راه‌ماهی با بازشدگی قائم نوع ۱ به هنگام عبور ماهی آزاد چینوک

سامان بهاروند<sup>۱</sup> و بابک لشکرآرا<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول

<sup>۲</sup> استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول

(دریافت: ۹۶/۹/۱۳، پذیرش: ۹۷/۶/۳۱، نشر آنلاین: ۹۷/۷/۱)

### چکیده

احداث سازه‌های هیدرولیکی در مسیر رودخانه‌ها باعث بروز تداخل میان روند طبیعی زندگی آبزیان و اکوسیستم منطقه خواهد شد. سازه راه‌ماهی به منظور تسهیل راه ارتباطی بین پایین دست و بالادست این دسته از سازه‌های هیدرولیکی متقاطع با رودخانه و برطرف‌سازی عدم توانایی شنای ماهیان به بالادست ناشی از احداث بندها و سدها، کاربرد فراوان دارد. در پژوهش حاضر علاوه بر بررسی توانایی روش حجم محدود در شبیه‌سازی جریان درون سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم نوع ۱، الگوی جریان درون استخرهای سازه راه‌ماهی، توزیع سرعت لحظه‌ای عرضی جریان و همچنین توزیع میزان انرژی آشفتگی مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور کنترل با تحقیقات پیشین، مدل‌سازی به گونه‌ای انجام گرفت که دبی‌های مشخصه ۶/۴، ۱۲/۹، ۲۳/۶ و ۳۲/۸ در مقیاس اصلی مورد آزمون قرار گیرد. شیب سازه به حالت بحرانی ۱۰ درصد محدود گردید. در این شرایط در اعماق نسبی ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر عمق جریان از کف سازه، نواحی امن استراحتگاهی، مطابق با شرایط بیولوژیکی ماهی آزاد چینوک در سه رده مختلف سنی بالغ، جوان و نوجوان تعیین گردید. نتایج نشان داد که اعماق کمتر از عمق نسبی ۰/۲ برابر عمق جریان از کف، از بهترین شرایط استراحتگاهی و صعود این‌گونه ماهی در سه رده سنی با سرعت تداومی برخوردار است. همچنین نتایج حاصل از مقایسه الگوهای توزیع سرعت و خصوصیات بیولوژیکی ماهی مورد آزمون نشان داد که با افزایش دبی مشخصه جریان، کاهش ۱۱ تا ۲۰ درصدی ناحیه امن در رده سنی نوجوان تا بالغ پدید خواهد آمد.

**کلیدواژه‌ها:** راه‌ماهی، راندمان شنای ماهی، ناحیه استراحت ماهی، استهلاک انرژی، توسعه رودخانه.

### ۱- مقدمه

در این میان Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۳)، تحقیقات میدانی گسترده‌ای در انواع سازه‌های راه‌ماهی پایه‌گذاری کردند. انواع سازه‌های راه‌ماهی معرفی شده حاصل از پژوهش‌های آنان، روی انواع مختلف سازه راه‌ماهی استخر و سرریز، بازشدگی قائم و دنیل متمرکز شده است. در شکل (۱) نمایی از دو طرح پرکاربرد سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم نمایش داده شده است.

در میان انواع سازه‌های راه‌ماهی، سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم به دلیل سهولت و هزینه پایین در اجرا از یکسو و همچنین به دلیل کارایی بالا در محدوده وسیعی از دبی‌های جریان و فراهم ساختن امکان صعود ماهیان نسبت به سایر سازه‌های راه‌ماهی از سوی دیگر، بیشتر مورد توجه طراحان قرار گرفته است (Ruidong, ۲۰۱۵).

راه‌ماهی یک سازه مستهلک کننده انرژی است که شرایط هیدرولیکی در آن امکان شنا در خلاف جهت جریان را برای مهاجرت ماهیان به بالادست جریان و عبور از موانع طبیعی و غیر طبیعی چون سد، بند و سرریز فراهم می‌نماید. طراحی این‌گونه سازه‌ها مستلزم توانایی طراحی هیدرولیکی سازه همراه با به کارگیری خواص بیولوژیکی و اکولوژیکی ماهیان خواهد بود (Ruidong, ۲۰۱۶). تحقیقات گسترده‌ای در زمینه طراحی و آنالیز هیدرولیک جریان عبوری از انواع سازه‌های راه‌ماهی صورت پذیرفته است. یکی از زمینه‌های اصلی پژوهش در راستای سازه‌های راه‌ماهی امکان سنجی عبور گونه‌های ماهیان از انواع سازه‌های راه‌ماهی است. با توجه به بررسی توانایی و یا عدم توانایی یک نوع سازه راه‌ماهی در یک اکوسیستم خاص، امکان طراحی و اجرای آن متناسب با شرایط محیطی فراهم خواهد شد.

\* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۶۱-۴۲۴۲۸۰۰۰

قائم (طرح شماره ۱۶) اجرا شده روی سد Wanapum در مسیر رودخانه Columbia در ایالت Washington را مورد ارزیابی و پژوهش قرار دادند.

Carrica و همکاران (۲۰۰۵)، به بررسی انواع حالات شبیه‌سازی جریان در سازه راه‌ماهی استخر و سرریز پرداختند و با استفاده از روش VOF و استفاده از مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  در شبکه‌بندی سازمان یافته و سازمان نیافته را توصیه کرده‌اند.

Cea و همکاران (۲۰۰۷)، با بهره‌گیری از مدل آب‌های کم عمق و شبیه‌سازی آشفتگی جریان، مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  استاندارد را به عنوان بهترین مدل آشفتگی در مدل‌های شبیه‌سازی با استفاده از روش VOF معرفی کردند.

محمودی کردستانی و همکاران (۱۳۷۷)، با استفاده از مدل فیزیکی، وضعیت هیدرولیکی جریان و پروفیل توزیع سرعت جریان در سازه راه‌ماهی دنیل را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش امکان عبور ماهیان با توان جسمانی ضعیف از این نوع سازه را گزارش کرده است.

شاملو و اکنونی (۱۳۹۰)، با شبیه‌سازی سازه راه‌ماهی استخر و سرریز مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  را به‌عنوان مدل بهینه به منظور شبیه‌سازی با جریان در این نوع سازه بیان کردند و همچنین نقاط استراحتگاهی حاصل شده در استخرهای سازه را به منظور طراحی بهینه‌تر مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند.

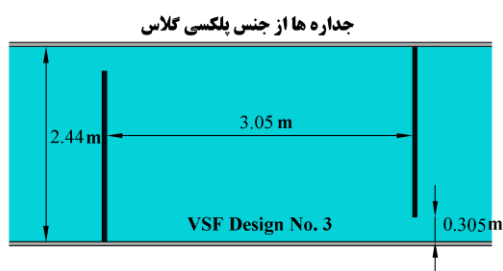
لشکرآرا و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D تأثیر زاویه قرارگیری دیواره‌های استخر در سازه راه‌ماهی دنیل را مورد بررسی قرار دادند و با توجه به سناریوهای بررسی شده، سازه راه‌ماهی دنیل با زاویه قاب ۴۵ درجه را به عنوان زاویه قاب مناسب معرفی نمودند.

بهاروند (۱۳۹۵)، با استفاده از مدل فیزیکی و عددی اقدام به بررسی شرایط هیدرولیکی جریان محتمل در سازه راه‌ماهی پیچان کرده است. استخراج ضوابط طراحی هیدرولیکی و بررسی پروفیل‌های توزیع سرعت با توجه به محدوده‌های سرعتی مختلف ماهیان نتایج تحقیقات ایشان بوده است.

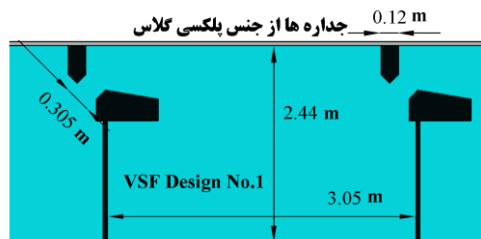
ابتدایی‌ترین سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم در مسیر رودخانه Fraser در منطقه دروازه جهنم Hell's Gate در کشور کانادا احداث شده است (Clay، ۱۹۹۵).

Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۶)، ساختار جریان ایجاد شده در هجده طرح مختلف از سازه راه‌ماهی بازشدگی قائم اجرا شده در ایالات متحده و کانادا را که پیشتر توسط Bell (۱۹۷۳)، ارائه شده بود را به منظور استخراج روابط طراحی هیدرولیکی بهینه مورد بررسی قرار دادند و هفت طرح هندسی اصلی را در چهار مقیاس هندسی به منظور بررسی روند تحقیقات از میان هجده طرح اجرا شده انتخاب کردند. حاصل پژوهش‌های Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۶)، به معرفی پارامترهای دبی مشخصه جریان و نسبت بدون بعد عمق نسبی جریان به عنوان پارامترهای اساسی طراحی هیدرولیکی سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم انجامید. آنان برای هفت طرح اصلی نهایی سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم رابطه‌ای خطی میان پارامتر دبی مشخصه و نسبت بدون بعد عمق جریان ارائه کردند و الگوهای جریان ایجاد شده در این نوع سازه را به عنوان عامل ایجاد نقاط استراحتگاهی و مستهلک کننده انرژی معرفی کردند. در راستای فعالیت‌های انجام شده، پژوهشگران متعددی تحقیقات گسترده‌ای را روی هجده طرح اولیه ارائه شده از سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم انجام داده‌اند، بدین جهت نام‌گذاری نوع سازه راه‌ماهی بازشدگی قائم در متن بدون حفظ تقدم و تأخر شماره‌بندی سازه بیان شده است.

Wu و همکاران (۱۹۹۹)، ساختار متوسط جریان را در طرح شماره ۱۸ سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم در شیب‌های ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ مورد بررسی و آزمون قرار داد. Puertas و همکاران (۲۰۰۴)، آزمون‌های ساختاری جریان را بار دیگر روی طرح‌های هندسی شماره ۶ و ۱۶ از دسته‌بندی هجده‌تایی این نوع سازه انجام دادند که حاصل فعالیت‌های ایشان استخراج رابطه‌ای خطی میان دبی مشخصه بدون بعد جریان و نسبت عمق جریان به عرض بازشدگی در طرح هندسی ۶ و ۱۶ بوده است. Meselhe و همکاران (۱۹۹۸)، با شبیه‌سازی سه‌بعدی راه‌ماهی با بازشدگی



(ب)



(الف)

شکل ۱- طرح و مشخصات فنی دو طرح پرکاربرد سازه راه‌ماهی شکاف قائم مورد استفاده توسط Rajaratnam و همکاران

(۱۹۸۶): (الف) طرح شماره ۱، (ب) طرح شماره ۳

مدل فیزیکی سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم طرح ۱ با طول افقی ۱۳/۷ متر و عرض ۲/۴۴ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آلبرتا کانادا مورد ارزیابی قرار گرفته است. طرح سه بعدی این سازه مطابق با مشخصات پیشنهادی توسط Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۶)، در محیط اتوکد ترسیم گردید و سپس جسم صلب سازه در نرم‌افزار Flow-3D بارگذاری گردید. پس از معرفی شرایط مرزی به مدل امکان برقراری جریان در جسم صلب ترسیم شده امکان‌پذیر خواهد بود. الگوریتم GCI حاصل از تحقیقات Roache (۱۹۹۴)، به منظور پیاده‌سازی شبکه مش‌بندی در پژوهش حاضر استفاده شده است. در این الگوریتم، با توجه به داشتن مقدار دبی آزمایشگاهی حاصل از تحقیقات Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۶)، این پارامتر به عنوان هدف انتخاب شده و ضمن استفاده از شبکه بندی‌های مختلف، شبکه بهینه براساس الگوریتم مزبور انتخاب شده است (صفرزاده، ۱۳۹۳).

در مرز ورودی جریان از شرط دبی ورودی جریان استفاده شده و در مرز پایانی حوضچه پایاب از مرز خروجی جریان بهره‌گیری گردید. شرط مرزی دیواره برای وجوه کناری و بستر سازه و همچنین شرط تقارن برای مرز بالایی سازه انتخاب شده است. شکل (۳) نمایی از جریان ایجاد شده در سازه به همراه نمایشی از جسم صلب سازه تحت شرایط مورد آزمون در مدل را نشان می‌دهد.

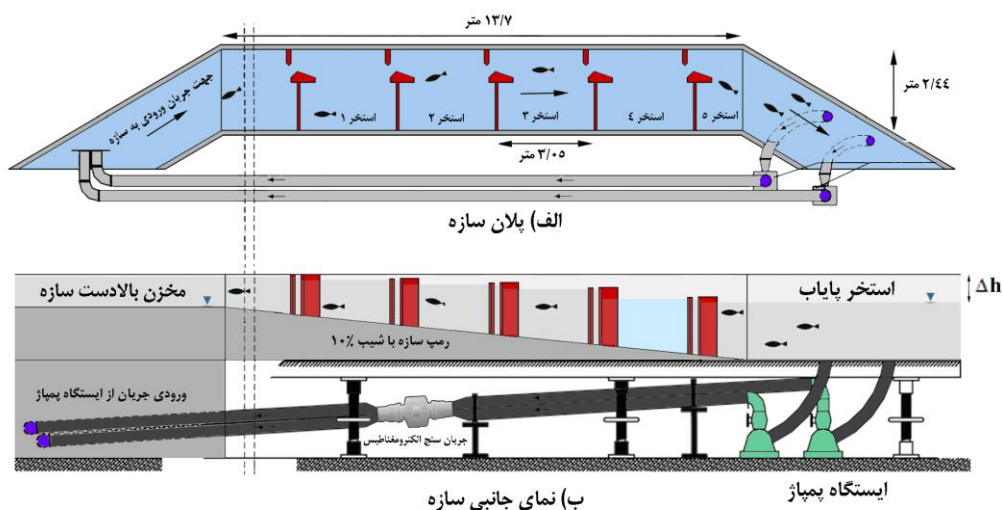
بررسی عوامل هیدرولیکی و بیولوژیکی نشان داد که پارامترهای مؤثر بر این تحقیق از رابطه (۱) تبعیت می‌نماید.

$$f\left(\frac{Q}{\sqrt{gS_0S^5}}, \frac{d}{S}, \frac{h}{S}, Fr, We, Re, S_0\right) = 0 \quad (1)$$

مطالعات صورت گرفته در محبت هیدرولیک جریان سازه راه‌ماهی در حالات مختلف نشان می‌دهد که به منظور دستیابی به انتخاب اصلح بیولوژیکی سازه راه‌ماهی با توجه به شرایط هیدرولیکی نیازمند مطالعات و بررسی‌های بیشتری است. در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های بیولوژیکی سه رده سنی ماهی آزاد چینوک Chinook Salmon به عنوان یکی از مهم‌ترین گونه پروتئینی ماهیان آزاد که در منطقه شمالی کشور و منطقه دریای خزر نیز یافت می‌گردد، توانایی و یا عدم توانایی عبور این گونه از ماهی آزاد را در سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم طرح ۱ به عنوان پرکاربردترین نوع سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با در نظر گرفتن شرایط بحرانی محتمل در سازه راه‌ماهی مذکور مساحت منطقه ایمن استراحتگاهی ماهی آزاد چینوک با استفاده از سرعت تداومی حداقل و حداکثر تخمین زده شده است و به منظور استفاده کاربردی از نتایج، با استفاده از رگرسیون غیر خطی روابط تخمین مساحت ایمن استراحتگاهی این‌گونه ماهی در سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم طرح ۱ به منظور بررسی ترافیک میان استخری ارائه گردیده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

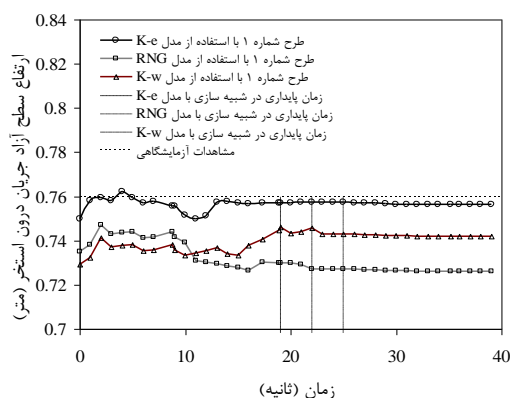
با توجه به استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مدل فیزیکی سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم در شیب ۱۰٪ ارائه شده توسط Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۶)، شبیه‌سازی عددی جریان در سازه مذکور با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D با تمام جزئیات مشابه پژوهش پیشین صورت گرفت. اطلاعات هندسی طرح مذکور در شکل (۲) نمایش داده شده‌اند.



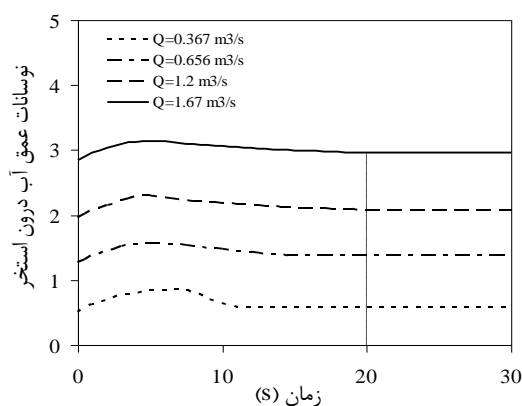
شکل ۲- پلان و نمای جانبی از مدل آزمایشگاهی پیاده‌سازی شده توسط Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۶)

به حالت تعادل پایدار نسبت به سایر مدل‌های ارائه شده مدلی مناسب‌تر محسوب می‌شود. با توجه به نتایج حاصل شده در پژوهش حاضر تمامی شبیه‌سازی‌های صورت گرفته با استفاده از مدل  $k-\varepsilon$  استاندارد انجام شده است.

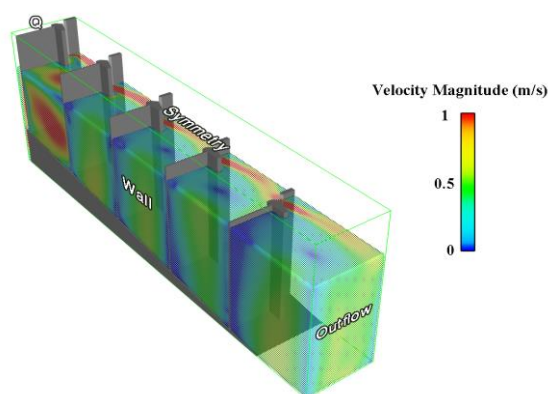
بررسی‌ها نشان داد که پس از طی زمان ۲۰ ثانیه معادلات پیوستگی و ممنت‌ها همگرا شده و نوسانات عمق جریان ورودی به سازه از ثبات نسبی برخوردار است. لذا زمان ۲۰ ثانیه به عنوان مبنای اجرای مدل قرار گرفت. شکل‌های (۵) و (۶) روند تثبیت نوسانات سطح جریان در استخر سازه در مدل عددی و مقایسه نتایج عمق نسبی جریان نسبت به عرض بازشدگی ( $y_0/b_0$ ) در مدل عددی و فیزیکی پژوهش ارائه شده است. محدوده شرایط هیدرولیکی مورد آزمون در شبیه‌سازی در جدول (۱) خلاصه شده است. همچنین توابع خطای آماری برای پارامتر بدون بعد عمق نسبی با توجه به پارامتر اصلی محاسبه دبی مشخصه جریان در جدول (۲) نشان از اعتمادپذیری و شبیه‌سازی مناسب مدل عددی دارد.



شکل ۴- نوسانات ارتفاع سطح آزاد جریان در مدل‌های آشفتگی مختلف



شکل ۵- نرخ ثبات نوسانات عمق جریان



شکل ۳- خروجی سه بعدی جریان در سازه

که در آن  $Q/\sqrt{gS_0S^3}$  دبی بدون بعد یا دبی مشخصه جریان،  $Q$  دبی جریان،  $g$  شتاب گرانش ثقل،  $S_0$  شیب سطح شیب‌دار،  $S$  فاصله بازشدگی،  $d$  عمق متوسط جریان،  $Fr$  عدد فرود جریان،  $We$  عدد وبر جریان و  $Re$  عدد رینولدز جریان می‌باشد.

با توجه به محدوده تغییرات پارامترهای ارائه شده در رابطه (۱) با توجه به رژیم جریان زیر بحرانی ارائه شده عدد فرود  $Fr$  در محدوده کمتر از یک می‌توان از مقدار آن صرف نظر کرد. با توجه به مقادیر بالای ۲۰۰۰ عدد رینولدز و همچنین مقادیر بسیار کوچک عدد وبر از تأثیر این پارامترهای بدون بعد در ادامه روند پژوهش صرف نظر شده است.

در گام بعدی نسبت به واسنجی مدل عددی اقدام گردید. برای این منظور با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۶)، نسبت به اجرای مدل اقدام گردید و شرایط تثبیت جریان تحت چهار دبی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدون شک استفاده از مدل‌های تلاطمی مختلف ممکن است نتایج حاصل از مدل را دستخوش تغییرات نماید. با علم و آگاهی از این مطلب که حصول اطمینان از کارایی مدل‌های تلاطمی مستلزم مقایسه پروفیل عمقی سرعت بالاخص در مجاورت لایه مرزی می‌باشد لذا از آنجایی که داده‌های آزمایشگاهی پروفیل سرعت در دسترس نمی‌باشد لذا مقایسه تراز سطح آب در مدل به ازای دبی ثابت در دستور کار تحقیق قرار گرفت. برای این منظور با استفاده از مدل‌های آشفتگی RNG،  $k-\omega$  و  $k-\varepsilon$  شبیه‌سازی‌های لازم در دبی  $1/67$  متر مکعب بر ثانیه در اصل صورت پذیرفت و نتایج تغییرات عمق جریان در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به نتایج مندرج در شکل (۴) می‌توان دریافت که مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  استاندارد نتایج دقیق‌تر و نزدیک‌تری را نسبت به دو مدل  $k-\omega$  و RNG ارائه نموده است. همچنین با توجه به اهمیت هزینه محاسباتی در شبیه‌سازی‌های عددی، مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  با توجه به صرف زمان کم‌تر در رسیدن

جدول ۱- محدوده داده‌های هیدرولیکی مورد استفاده در تحقیق حاضر

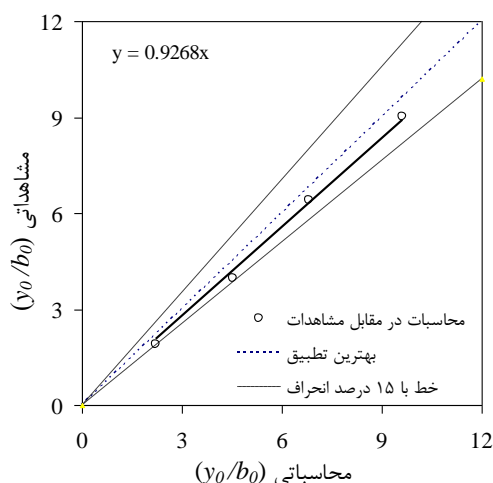
پارامتر	واحد اندازه‌گیری	محدوده تغییرات
شیب بستر سازه ( $S_0$ )	-	۰.۱۰
نسبت عمق نسبی جریان به فاصله بازشدگی میان جداره میان استخری ( $d/S$ )	-	۱/۹ - ۹/۳۱
نسبت عمق نسبی جریان پایاب به فاصله بازشدگی میان جداره میان استخری ( $h/S$ )	-	۰/۴۷۵ - ۹/۳۱
دبی جریان ( $Q$ )	Lit/sec	۰/۳۶۷ - ۱/۶۷
عدد فرود ( $Fr$ )	-	۰/۳۰۸ - ۰/۷۷
عدد رینولدز ( $Re$ )	-	۱۸۷۹۵۱ - ۲۶۴۴۷۱
عدد وبر ( $We$ )	-	۰/۰۰۰۳۱۴ - ۰/۰۰۰۶۲۱

جدول ۲- توابع خطای حاصل از مقایسه نتایج شبیه‌سازی و

مشاهدات پارامتر ( $y_0/b_0$ )			
RMSE	R <sup>2</sup>	ME	MPE
۰/۰۵۲۴	۰/۹۸۱۷	۱/۰۰۰۵	۱/۳۲۴

Hunter و Mayor (۱۹۸۶)؛ Bell (۱۹۷۳) و Beamish (۱۹۷۸)، با استفاده از تحقیقات گسترده میدانی و آزمایشگاهی سرعت انفجاری، زمان خستگی ماهی با شنای مداوم و ابعاد جثه برخی از انواع ماهیان را محاسبه کرده‌اند. ماهی آزاد چینوک به عنوان یکی از مهم‌ترین گونه آزاد ماهیان موجود در مناطق اجرا شده سازه راه‌ماهی بازشدگی قائم طرح ۱ همچون کانادا و آمریکا و همچنین به جهت وجود این‌گونه از ماهی در ناحیه خزری کشور به عنوان گونه هدف بیولوژیکی تحقیق حاضر قرار گرفته است. با استفاده از تحقیقات مرکز تحقیقات علوم جنگل و طبیعت ایالات متحده آمریکا (۲۰۰۶)، داده‌های فیزیکی و بیولوژیکی مورد نیاز ماهی آزاد چینوک در سه رده سنی بالغ، جوان و نوجوان در جدول (۳) ارائه شده است.

شکل (۷) محدوده اندازه‌گیری طول‌های مختلف ماهی آزاد چینوک را نشان می‌دهد. پارامتر BD معرف عمق بدن ماهی می‌باشد. به منظور بررسی توان بیولوژیکی تولید شده توسط ماهی آزاد چینوک در عبور از سازه راه‌ماهی پژوهش حاضر از اطلاعات حاصل از تحقیقات مرکز تحقیقات علوم جنگل و طبیعت ایالات متحده آمریکا (۲۰۰۶) استفاده گردید.



شکل ۶- مقایسه نسبت عمق نسبی به عرض بازشدگی در مدل عددی و فیزیکی

در گام بعد به بررسی صحت داده‌های حاصل از شبیه‌سازی عددی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی پرداخته شد. برای این منظور از توابع خطای آماری جذر میانگین مربعات خطا RMSE، درصد میانگین خطا MPE، خطای استاندارد تخمین ME و همچنین ضریب زاویه خط رگرسیون برازش داده شده از بین نتایج استفاده گردید نتایج در جدول (۲) و شکل (۶) نشان داده شده‌اند.

جدول ۳- مشخصات بیولوژیکی ماهی آزاد چینوک به نقل از مرکز تحقیقات علوم جنگل و طبیعت ایالات متحده آمریکا (۲۰۰۶)

رده سنی	وضعیت جسمانی	پارامترهای طولی عمومی جثه ماهی آزاد چینوک	دمای مناسب شنا (سانتی‌گراد)	سرعت انفجاری (متر بر ثانیه)	سرعت شنا مداومی (متر بر ثانیه)	زمان شنا انفجاری تا خستگی (ثانیه)	زمان شنا تداومی تا خستگی (ثانیه)
		BD/TL TL/SL TL/FL					
بالغ قوی		۱/۰۳ ۱/۱۴ ۰/۲۱	۱۲/۵	۴/۲۶	۱/۹۶	۵	۱۸۰۰
جوان نیمه قوی		۱/۰۳ ۱/۱۴ ۰/۲۱	۱۲/۵	۳/۷۶	۱/۶۴	۵	۱۸۰۰
نوجوان ضعیف		۱/۰۳ ۱/۱۴ ۰/۲۱	۱۲/۵	۳/۳۵	۱/۲۵	۵	۶۰۰

به واسطه حداقل تأثیرپذیری از هد جریان موجود در سر آب و پایاب، به عنوان ملاک اندازه‌گیری‌های پژوهش قرار گرفته است.

### ۳- نتایج و بحث

با توجه به کاربرد اصلی سازه‌های راه‌ماهی مبنی بر توانایی عبور دادن ماهیان در گونه‌های مختلف در اکوسیستم‌های متغیر، سرعت‌های متوسط در بازشدگی قائم سازه شبیه‌سازی شده طرح ۱، در بازه دبی مشخصه‌های کمینه تا بیشینه برای شیب بحرانی ۱۰٪ در جدول (۴) ارائه شده‌است. به منظور بررسی مساحت مناطق استراحتگاهی ایجاد شده برای هر رده سنی ماهی آزاد چینوک ابتدا به بررسی امکان عبور این گونه ماهی با توجه به سرعت انفجاری به مقایسه توان بیولوژیکی در مقابل توان هیدرولیکی استخر سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم طرح ۱ در شکل (۹) اقدام شده است.

با توجه به شکل (۹) ماهی آزاد چینوک در هر سه رده سنی بالغ، جوان و نوجوان توانایی عبور موفق از بازشدگی‌های سازه در تمام محدوده دبی جریان با سرعت انفجاری مربوطه را خواهد داشت. پارامترهای دبی مشخصه و سرعت جریان مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی تأثیرگذار بر شرایط بیولوژیکی ماهیان می‌باشند. با توجه به اهمیت شرایط بحرانی و نیمه بحرانی جهت عبور ماهیان و تعیین حجم محیط ایمن جهت استراحت و عبور ماهیان بحرانی‌ترین سناریو دبی مربوط به دبی مشخصه ۳۲/۸ در شیب ثابت بحرانی ۱۰٪ به منظور بررسی توزیع پارامترهای هیدرولیکی انتخاب شده‌است.



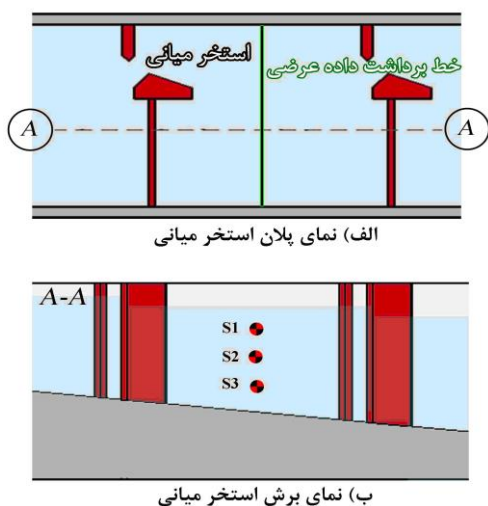
شکل ۷- پارامترهای طولی اندازه‌گیری ماهی آزاد چینوک با استفاده از مرکز تحقیقات علوم جنگل و طبیعت ایالات متحده آمریکا (۲۰۰۶)

نتایج تحقیقات بیولوژیکی این مرکز نشان داد که میزان استهلاك انرژی جریان در هر استخر، سرعت جریان موجود در بازشدگی و عمق جریان در سازه از مهمترین پارامترهای مهم هیدرولیکی مؤثر در طراحی بیولوژیکی سازه‌ی راه‌ماهی می‌باشند. با استفاده از تساوی روابط (۲) و (۳) که به ترتیب نشان‌دهنده توان هیدرولیکی و متعاقباً توان بیولوژیکی هر گونه ماهی است، بررسی آستانه شنا به بالادست ماهی در شرایط حاکم بررسی خواهد شد. توان عبور ماهیان به بالادست استخرها با برتری توان بیولوژیکی آزاد شده از گونه ماهی نسبت به توان هیدرولیکی استخرهای سازه ارتباط مستقیم دارد (Behlke, ۱۹۹۱).

$$PW = \gamma V S_0 \quad (۲)$$

$$PW_f = P_f V_{bf} \quad (۳)$$

در روابط (۲) و (۳)  $S_0$  نشان دهنده شیب طولی سازه و  $V$  سرعت متوسط جریان،  $PW$  توان هیدرولیکی سازه راه‌ماهی در هر استخر می‌باشد.  $PW_f$  توان بیولوژیکی گونه ماهی ناشی از سرعت انفجاری و  $V_{bf}$  نیروی جلوبرنده موافق و عضلانی گونه ماهی است. پس از حصول اطمینان از توانایی بیشتر توان بیولوژیکی ماهی آزاد چینوک در سه رده سنی در مقابل توان هیدرولیکی مستخرج از استخر سازه راه‌ماهی بازشدگی قائم طرح ۱، نسبت به تعیین میزان سطوح دالان امن استراحتگاهی در هر حوضچه اقدام گردید. برای این منظور در نسبت‌های عمقی ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر عمق جریان از کف مقادیر سطوح استراحتگاهی محاسبه شد. موقعیت‌های اندازه‌گیری در شکل (۸) نمایش داده شده‌اند. برای این منظور حوضچه واقع در وسط سازه

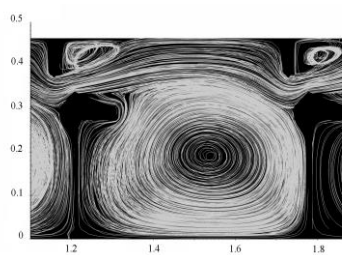


شکل ۸ - ایستگاه‌ها برداشت داده عرضی

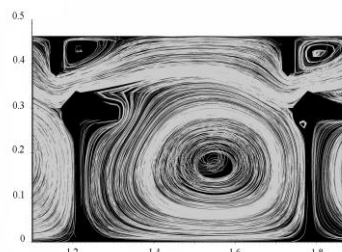
جدول ۴ - پارامترهای هیدرولیکی مستخرج از شبیه‌سازی عددی در دبی مشخصه‌های چهارگانه

$\bar{V}_{(Slot)}$ (m/s)	$y_0/b_0$	$S_0$	$Q^*$	Q (m <sup>3</sup> /s)	نوع سازه راه‌ماهی
سرعت متوسط بازشدگی	نسبت عمق نسبی به عرض بازشدگی	شیب بستر	دبی مشخصه	دبی جریان	
۱/۷۷	۲/۲۲	%۱۰	۶/۴	۰/۳۲۸	بازشدگی قائم طرح ۱
۱/۸۵	۴/۵۲	%۱۰	۱۲/۹	۰/۶۵۶	
۱/۹۸	۶/۸۲	%۱۰	۲۳/۶	۱/۲	
۲/۰۵	۹/۶۲	%۱۰	۳۲/۸	۱/۶۷	

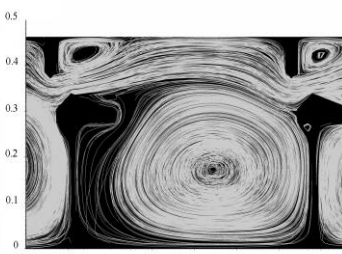
بازشدگی قائم طرح ۱ می‌باشد، ملاحظه می‌گردد که با افزایش نسبت عمق، میزان تراکم خطوط جریان در مرکز دایر جریان‌های گردابه‌ای استخر افزایش می‌یابد. این امر حاکی از آن است که افزایش عمق جریان و توسعه لایه مرزی منجر به کاهش نواحی کم سرعت در استخر میانی سازه خواهد شد.



(الف)



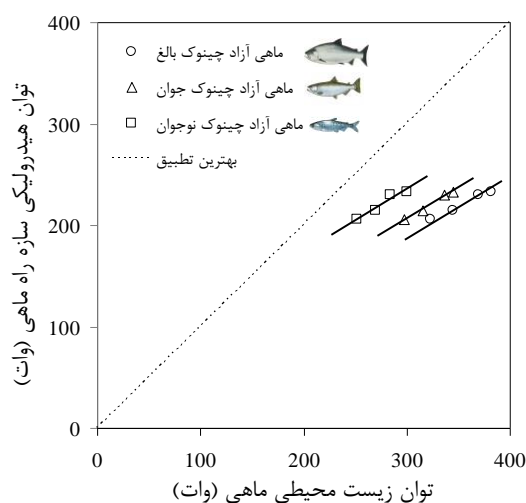
(ب)



(ج)

شکل ۱۰- بررسی نواحی دورانی جریان در نسبت‌های ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر عمق جریان در استخر میانی سازه در دبی مشخصه بیشینه  $Q^*=۳۲/۸$ :

الف)  $y = 0.2 y_0$  ب)  $y = 0.5 y_0$  ج)  $y = 0.75 y_0$



شکل ۹- مقایسه توان بیولوژیکی سه رده سنی ماهی آزاد چینوک در مقابل توان هیدرولیکی استخر سازه در بازه دبی مشخصه ۶/۴ تا ۳۲/۸

### ۳-۱- بررسی الگوی جریان در استخر میانی سازه

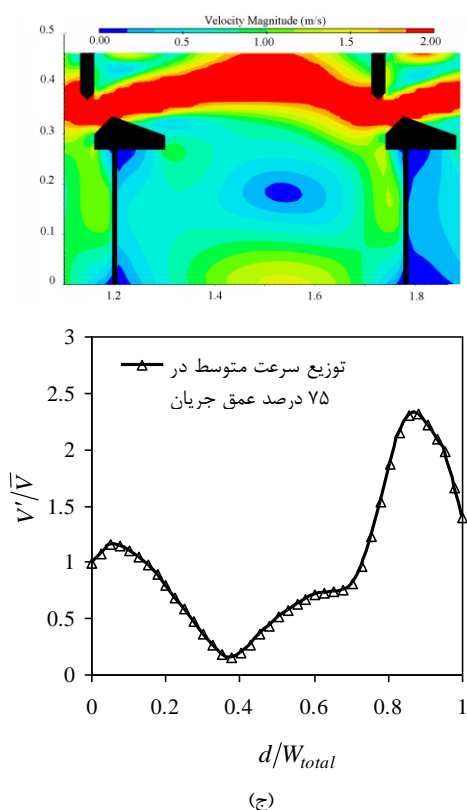
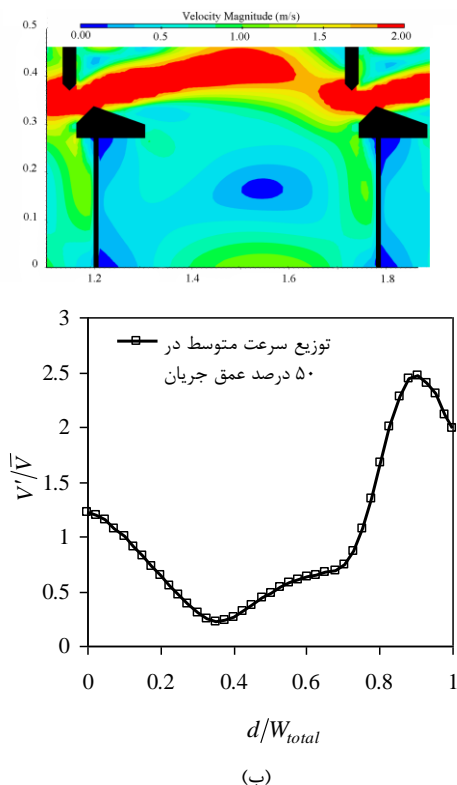
یکی از مهم‌ترین پدیده‌های هیدرولیکی محتمل در سازه‌های راه‌ماهی توانایی ایجاد جریان‌های دورانی است. این نوع سازه‌ها با تشکیل جریان‌های دورانی با مرکزیت دوران بایرون محوریت متغیر در انواع سازه‌ها با هندسه‌های مختلف موجبات استهلاک انرژی جریان تا رسیدن به شرایط مساعدتر به منظور عبور ماهیان و ایجاد مناطق استراحتی با سرعت کم در میانه راه را فراهم خواهند ساخت. با توجه به خطوط جریان نشان داده شده در شکل (۱۰) مناطق دورانی جریان به عنوان مناطق مولد استراحتگاه‌های ماهی ناشی از استهلاک انرژی دورانی در سه نسبت عمقی متفاوت برابر با ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر عمق جریان در حالت بحرانی دبی مشخصه و شیب سازه راه‌ماهی بازشدگی قائم طرح ۱ نشان داده شده است.

با دقت در شکل (۱۰) که حاصل از ترسیم تعداد ۱۰۰۰ عدد خط جریان در وجه ورودی جریان از بالادست سازه راه‌ماهی با

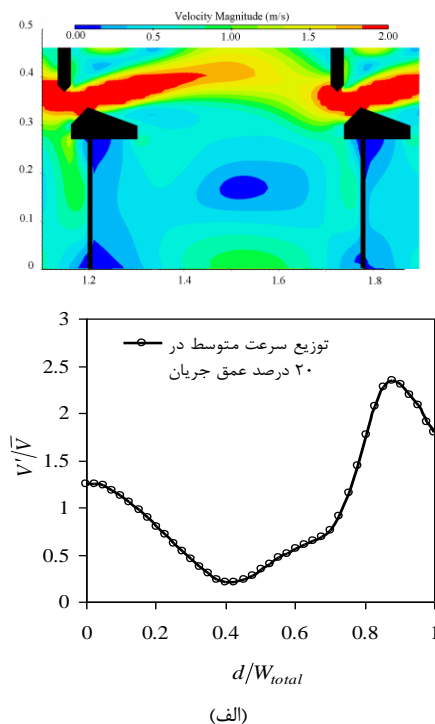
### ۳-۲- پروفیل توزیع بزرگی سرعت در راستای عرض استخر میانی سازه

توزیع سرعت لحظه‌ای جریان و میزان انرژی آشفتگی در راستای عرض سازه می‌تواند بر شرایط عبور ماهیان تأثیرگذار باشد. برای این منظور نسبت به بررسی اثر مقادیر توزیع سرعت و میزان آشفتگی در عرض سازه در در حوضچه میانی به عنوان نماینده سازه اقدام گردید. شکل (۱۱) نمونه‌ای از پروفیل‌های توزیع سرعت در استخر میانی سازه راه‌ماهی را در شیب بحرانی ۱۰٪ و بحرانی‌ترین دبی مشخصه معادل  $Q^* = 32.8$  را ارائه کرده است. روند تغییر نتایج در شکل (۱۱) حاکی از آن است که جت جریان خروجی از بازشدگی، با افزایش نسبت عمق بستر از ۰/۲ به ۰/۷۵ برابر عمق با افزایش نواحی تحت پوشش سرعت بیشینه جریان همراه خواهد بود، لذا متعاقباً حجم نواحی استراحتگاهی استخر میانی سازه کاهش پیدا خواهد کرد. با استفاده از نرم‌افزار Autocad مساحت نواحی مختلف در نسبت اعماق بیان شده برای مقدار حداقل و حداکثر سرعت تداومی برای هر سه رده سنی ماهی آزاد چینوک محاسبه شده است. در جدول (۵) مساحت مناطق ایمن برای استراحت ماهی آزاد چینوک در سه رده سنی با سرعت شنای تداومی ارائه شده است.

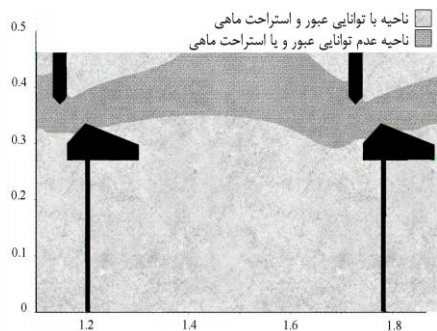
در شکل (۱۲) نحوه تفکیک مناطق ایمن برای بررسی مساحت در نرم‌افزار برای ماهی آزاد چینوک بالغ یا سرعت تداومی در بحرانی‌ترین شرایط هیدرولیکی سازه، به عنوان نمونه نمایش داده شده است.



شکل ۱۱- بررسی نواحی هم‌سرعت جریان در نسبت‌های ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر عمق جریان در استخر میانی سازه در دبی مشخصه  $Q^* = 32.8$  (الف:  $y = 0.2 y_0$  ب:  $y = 0.5 y_0$  ج:  $y = 0.75 y_0$ )







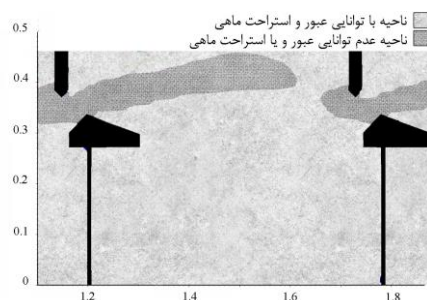
(ج)

شکل ۱۲- تفکیک نواحی آستانه حرکتی ماهی آزاد چینوک  
 بالغ با سرعت شنای تداومی در نسبت‌های ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر  
 عمق جریان در استخر میانی سازه در دبی مشخصه  $Q^* = ۳۲/۸$ :  
 الف)  $y = 0.2 y_0$ ، ب)  $y = 0.5 y_0$ ، ج)  $y = 0.75 y_0$

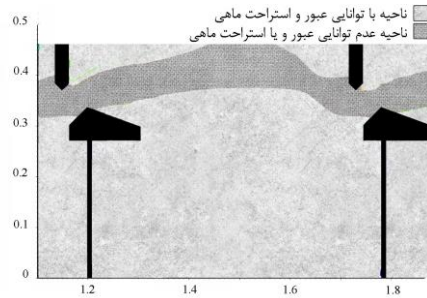
از مقایسه نتایج مندرج در جدول (۵) ملاحظه می‌گردد که با افزایش ۸۰ درصدی دبی مشخصه، میزان مساحت ناحیه ایمن برای عبور ماهی آزاد چینوک با رده سنی نوجوان ۲۸ درصد از خود کاهش نشان می‌دهد. همچنین در یک ارزیابی مشابه این میزان افت در ناحیه استراحتگاهی برای رده‌های سنی جوان و بالغ به ترتیب ۲۵ و ۲۲ درصد خواهد بود.

در شکل (۱۳) نحوه تغییرات مساحت ناحیه ایمن محاسبه شده با سرعت تداومی به کل سطح استخر  $(A_p/A_T)$  به ازای مقادیر متفاوت دبی مشخصه و برای کلیه رده‌های سنی ماهی آزاد چینوک نمایش داده شده است.

در شکل (۱۲) روند تفکیک نواحی ایمن و غیر ایمن استراحتگاهی ماهی آزاد چینوک بالغ در سرعت تداومی خود با توجه به مناطق هم سرعت و استفاده توأم از خصوصیات بیولوژیکی این گونه از ماهی ارائه شده در جدول (۳) حاصل شده است. پس از تفکیک نواحی ایمن و غیر ایمن استراحتگاهی، مقادیر مساحت پلان هر قسمت با استفاده از نرم‌افزار اتوکد در دبی مشخصه‌های مختلف (دبی بیشینه و کمینه) برای سرعت تداومی حاصل از ماهیچه‌های ماهی آزاد چینوک در هر سه رده سنی بالغ، جوان و نوجوان محاسبه شد و مقدار تحت پوشش هر ناحیه در جدول (۵) ارائه گردید.



(الف)



(ب)

جدول ۵- مساحت نواحی ایمن و غیر ایمن استخر میانی راه‌ماهی با بازشدگی قائم طرح ۱ برای ماهی آزاد چینوک در عمق ۰/۲d

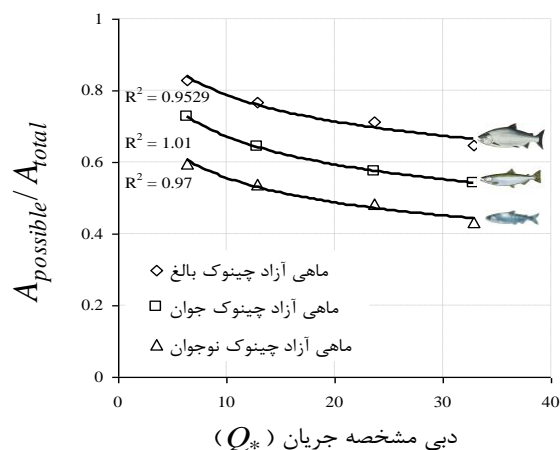
دبی مشخصه $Q^*$	مساحت نواحی غیر ایمن ماهی در $A_{imp}$ (متر مربع)	مساحت نواحی ایمن ماهی (متر مربع) $A_p$	رده سنی ماهی آزاد چینوک	نوع سازه
۶/۴	۱/۲۳	۵/۹۸	بالغ	استخر شماره ۳ سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم طرح ۱
۱۲/۹	۱/۴۸	۵/۵۴		
۲۳/۶	۱/۷۶	۵/۱۵		
۳۲/۸	۱/۸۹	۴/۶۷		
۶/۴	۱/۹۱	۵/۲۴	جوان	
۱۲/۹	۲/۱۱	۴/۶۳		
۲۳/۶	۲/۲۹	۴/۱۵		
۳۲/۸	۲/۴۷	۳/۹۱		
۶/۴	۲/۹	۴/۳۱	نوجوان	
۱۲/۹	۳/۱۴	۳/۸۷		
۲۳/۶	۳/۲۸	۳/۴۹		
۳۲/۸	۳/۴	۳/۱۱		

که در آن  $A_p/A_T$  نشان‌دهنده نسبت مساحت ایمن برای استراحت یا عبور ماهی به مساحت کل استخر میانی سازه و  $Q^*$  دبی مشخصه جریان می‌باشد. جدول (۶) به تفکیک رده سنی ماهی آزاد چینوک، ضرائب ثابت متناسب با خواص بیولوژیکی و شنای هر رده سنی این نوع ماهی را به منظور استفاده از رابطه (۴) ارائه کرده‌است.

با استفاده از روابط (۵) تا (۷) توانایی بررسی میزان مساحت ایمن برای گونه ماهی آزاد چینوک با توجه به دبی مشخصه مختلف در شیب بحرانی ۱۰٪ در سه رده سنی بالغ، جوان و نوجوان حاصل خواهد شد. با توجه به تابع خطای آماری  $R^2$  حاصل شده از نتایج بررسی شده توابع (۵) تا (۷)، هر سه رابطه از دقت بسیار بالایی در تخمین میزان مساحت ایمن با توجه به سرعت شنای تداومی ماهی آزاد چینوک در هر سه رده سنی برخوردار می‌باشند. انرژی آشفته‌گی جریان در سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم، با توجه به شدت آشفته‌گی بالای جریان ناشی از جت جریان خروجی از بازشدگی‌ها به منظور بررسی ناحیه امن در کنار توزیع سرعت جریان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. با توجه به تخمین نواحی ایمن استراحتگاهی از نقطه‌نظر توزیع سرعت عرضی، امکان تأثیر انرژی آشفته‌گی جریان در سه نسبت عمقی ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر عمق جریان در بحرانی‌ترین حالت در عرض سازه مورد بررسی قرار گرفته است.

شکل (۱۴) توزیع انرژی آشفته‌گی در خط و اصل میان عرضی استخر سازه ارائه شده در شکل (۸) را نشان می‌دهد. با توجه به تخمین نواحی ایمن استراحتگاهی از نقطه نظر توزیع سرعت عرضی، امکان تأثیر انرژی آشفته‌گی جریان در سه نسبت عمقی ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر عمق جریان در بحرانی‌ترین حالت در عرض سازه مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۱۴) توزیع انرژی آشفته‌گی در خط و اصل میان عرضی استخر سازه ارائه شده در شکل (۸) را نشان می‌دهد.

با توجه به روند توانی نمودار ارائه شده در شکل (۱۳) با گذر از نسبت‌های مساحت حاصل شده در کمترین دبی مشخصه جریان تا بیشترین دبی مشخصه جریان در هر سه رده سنی ماهی آزاد چینوک روند کاهش نسبتاً ۱۱ الی ۲۰ درصد از رده بالغ تا نوجوان مشاهده می‌گردد.



شکل ۱۳- روند تغییرات درصد مساحت ایمن در مقابل دبی مشخصه جریان حداقل و حداکثر تداومی ماهی آزاد چینوک

با استفاده از روش رگرسیون غیر خطی می‌توان فرم عمومی رابطه تخمین مساحت ایمن در استخر میانی سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم طرح ۱ در حالت بحرانی شیب بستر ۱۰٪ در محدوده دبی کمینه تا بیشینه ارائه شده استخراج شده است. ضرائب  $\alpha$  و  $\beta$  ثابت‌های توانی مرتبط با شرایط بیولوژیکی ماهی آزاد چینوک در هر رده سنی با استفاده از سرعت شنای تداومی خاص می‌باشد.

$$\frac{A_p}{A_T} = \alpha(Q^*)^\beta \quad (۴)$$

جدول ۶- روابط تخمین درصد مساحت ایمن در استخر سازه در نسبت عمقی ۰/۲ در سرعت شنای تداومی مختلف

شماره رابطه	فرم کلی رابطه	$R^2$	$\beta$	$\alpha$	سرعت شنای تداومی ماهی آزاد چینوک
(۵)	$\left(\frac{A_p}{A_T}\right)_{Juvenil} = 0.864(Q^*)^{-0.191}$	۰/۹۷	-۰/۱۹۱	۰/۸۶۴	نوجوان
(۶)	$\left(\frac{A_p}{A_T}\right)_{Young} = 1.014(Q^*)^{-0.179}$	۱/۰۱	-۰/۱۷۹	۱/۰۱۴	جوان
(۷)	$\left(\frac{A_p}{A_T}\right)_{Adult} = 1.094(Q^*)^{-0.143}$	۰/۹۵	-۰/۱۴۳	۱/۰۹۴	بالغ

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تحلیل نتایج آزمایشگاهی Rajaratnam و همکاران (۱۹۸۶)، و بهره‌گیری از شبیه‌سازی عددی مدل آزمایشگاهی مذکور با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D توان بالای روش حجم محدود در شبیه‌سازی جریان درون سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم طرح ۱ نتیجه شد و همچنین نسبت به بررسی توانایی سازه راه‌ماهی شکاف قائم طرح ۱ در ایجاد شرایط مساعدتر برای گذر ماهیان مذکور به سمت بالادست جریان با توجه به داده‌های بیولوژیکی سه رده سنی بالغ، جوان و نوجوان ماهی آزاد چینوک اقدام شده‌است. با توجه به نتایج حاصل شده مدل نرم‌افزاری FLOW-3D با خطای تقریبی ۰/۰۵ درصد توانایی بالایی در شبیه‌سازی جریان درون سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم را داشته‌است.

باتوجه به هدف اصلی پژوهش حاضر توزیع سرعت، انرژی آشفتگی و توانایی سازه در ایجاد مناطق کم سرعت با استفاده از خاصیت جریان دورانی بررسی شده‌است.

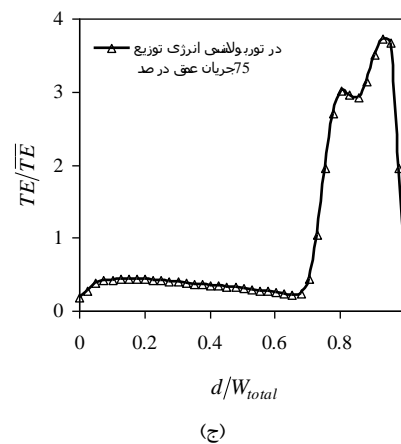
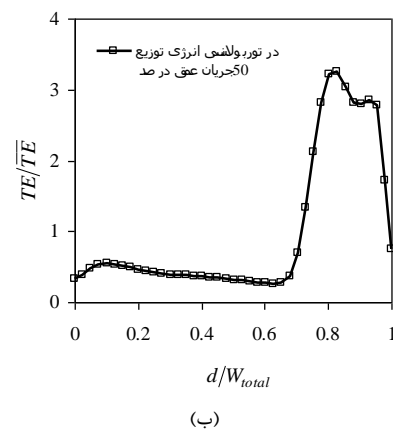
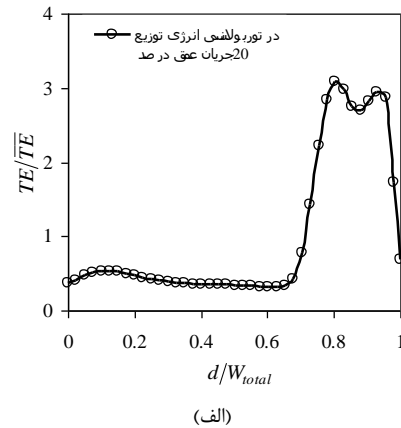
با توجه به نتایج حاصل شده از توزیع پارامترهای هیدرولیکی، تراز ۰/۲ برابر عمق جریان به عنوان مساعدترین صفحه استراحتی و عبوری ماهیان به بالادست جریان در میان ترازهای ۰/۵ و ۰/۷۵ عنوان شده‌است. در پژوهش حاضر برای نخستین بار درصد سطح استراحتگاهی ماهی از نوع چینوک در سازه پرکاربرد راه‌ماهی بازشدگی قائم طرح ۱ در شرایط بحرانی هیدرولیکی در حالت شنای تداومی برای سه رده سنی مختلف ماهی آزاد چینوک مورد ارزیابی قرار گرفته‌است و با استفاده از رگرسیون غیر خطی روابط تخمین مساحت ایمن در تراز ۰/۲ برابر عمق جریان به عنوان مناسب‌ترین صفحه عمقی از لحاظ توزیع بزرگی سرعت و انرژی آشفتگی جریان با تابع خطای متوسط ۰/۹۶ درصد در هر سه رده سنی به منظور بررسی طراحان این‌گونه سازه‌ها پیش از اجرا ارائه شده‌است.

#### ۵- مراجع

بهاروند س، "مطالعه به منظور ایجاد ضوابط طراحی هیدرولیکی سازه راه‌ماهی پیچان نوع C"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور، دزفول، ایران، ۱۳۹۵.  
شاملو ج، اکنونی ش، "شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان در راه‌ماهی نوع حوضچه و سرریز با از نرم‌افزار فلونتت"، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق‌آبی، مرکز همایش‌های بین‌المللی صدا و سیما، تهران، ۱۳۹۰.

صفرزاده ا، نوروزی ب، "هیدرودینامیک سه‌بعدی سرریزهای کلید پیانویی انحدار در پلان"، مجله هیدرولیک ایران، دوره نهم شماره ۳، پاییز ۱۳۹۳، ۶۱-۷۹.

با توجه به روند تغییرات انرژی آشفتگی ارائه شده در شکل (۱۴) تفاوت بسیار زیادی در توزیع انرژی آشفتگی جریان در عرض سازه وجود نداشته اما بیشینه مقدار انرژی آشفتگی در حالت عمق نسبی ۰/۲ عمق کمتر از دو حالت دیگر می‌باشد. با توجه به اطلاعات حاصل شده از شکل‌های (۱۱) و (۱۴) همان‌طور که بیان شد بهترین صفحه عمقی به منظور عبور ماهیان از سازه راه‌ماهی طرح ۱، برابر با ۰/۲ برابر عمق جریان می‌باشد.



شکل ۱۴- بررسی نواحی با انرژی آشفتگی همسان در نسبت‌های ۰/۲، ۰/۵ و ۰/۷۵ برابر عمق جریان در استخر میانی سازه در دبی مشخصه  $Q^*=32/8$ : (الف)  $y = 0.2 y_0$ ، (ب)  $y = 0.5 y_0$ ، (ج)  $y = 0.75 y_0$

- Roache PJ, "Perspective: A method for uniform reporting of grid refinement studies", ASME Journal of Fluid Engineering, 1994, 116, 405-413.
- Ruidong A, Li J, Liang, Ruifeng, Tuo, Youcai. "Three- dimensional simulation and experimental study for optimising a vertical slot fishway", Journal of Hydro-Environmental Research, 2016, pp. 119-129.
- Wu S, Rajaratnam N, Katapodis C, "Structure of flow in vertical slot fishway", Journal of Hydraulic Engineering, 1999, 125 (4), 351-360.
- لشکرآرا ب، قلاوند ف، ذاکرمشفق م، "ارزیابی عملکرد زیست- محیطی راه‌ماهی دنیل"، مجله مهندسی منابع آب، دوره نهم، شماره ۳۰، پاییز ۱۳۹۵، ۲۴-۱۳.
- محمودی کردستانی س، شفاعی بجستان م، "معرفی راه‌ماهی دنیل و مقایسه عملکرد آن با راه‌ماهی از نوع بازشدگی قائم"، چهارمین کنفرانس سدسازی، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۷۷.
- Beamish FWH, "Swimming capacity", Fish Physiology, 1978, Vol. VII: 101-187.
- Bell MC, "Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria", U.S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, 1973, Portland. Calluad, D Pine.
- Behlke CE, "Power and energy Implications of passage structures for fish", Fisheries Bioengineering Symposium, AFS symposium 1991, 10: 289-298.
- Carrica PM, Turan C, Weber L, "Computation of the free surface flow in a fish passage", Mwcanica Computational, 2005, Vol. XXIV.
- Cea L, Pena L, Puertas J, "Application of Several Depth Averaged turbulence models to simulate flow in vertical slot fishways", Journal of Hydraulic Engineering, 2007, PP 160.
- Clay CH, "Design of fishways and other fish facilities, 2nd edition", Lewis Publishers, 1995, Ann Arbor, MI.
- Forest Science Labs, www.fsl.orst.edu, 2006.
- Hunter LA, Mayor L, "Analysis of Fish Swimming Performance Data", Unpublished Report, 1986, Vol. I.
- Meselhe EA, Odgaard AJ, "3D numerical flow model for fish diversion studies at Wanapum Dam", Journal of Hydraulic Engineering, 1998, 124 (12), 1203-1214.
- Puertas J, Pena L, Teijeiro T, "Experimental approach to the hydraulics of vertical slot fishways", Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 130 (1), 10-23.
- Rajaratnam N, Katapodis C, "A Review and Laboratory Study of Hydraulic of Denil Fisheries", Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science 1145, Fisheries and Oceans, Winnipeg, 1983, Canada, 181 pp.
- Rajaratnam N, Van der vinne G, Katapodis C, "Hydraulic of vertical slot fishways", Journal of Hydraulic Engineering, 1986, 112, 909-927.

**EXTENDED ABSTRACT**

## Determining the Effective of Resting Pool Area in Vertical Slot Fishways Type 1 to Pass Chinook Salmon

Saman Baharvand, Babak Lashkar-Ara \*

Faculty of Civil Engineering, Jundi-shapur University of Technology, Dezful, Iran.

Received: 04 December 2017; Accepted: .22 September 2018

**Keywords:**

Fish swimming performance, Fish resting zone, Energy dissipation, River development.

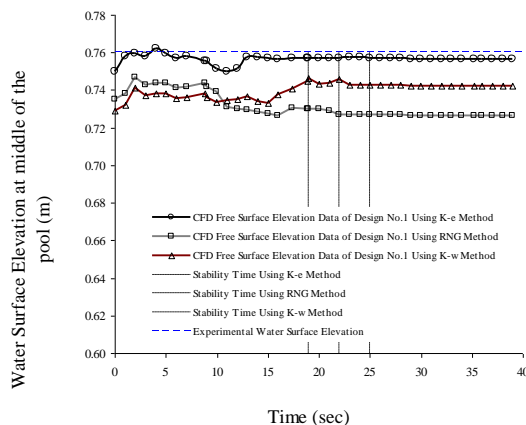
### 1. Introduction

In the present paper, results of a numerical study on the Effect of Resting Pool Area in Vertical Slot Fishways Type 1 to Pass Chinook Salmon are presented. Finite Volume Method was used to simulate the hydraulic of this type of fishway. Some observations have also been made on the turbulent energy and velocity magnitude distribution along the width of the fishway channel. The analysis results were used to present the ability of chinook salmon to pass the fishway and to establish a new set of resting pool area equations.

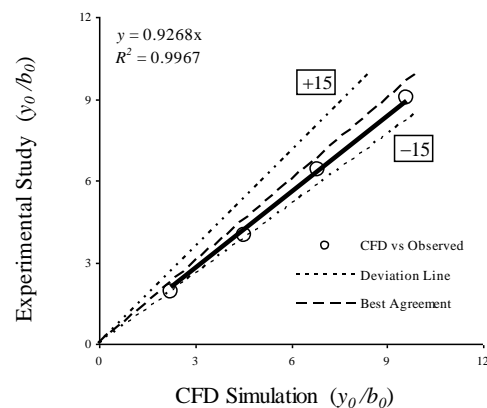
### 2. Methodology

#### 2.1. Finite Volume Modeling

Finite Volume Method (FVM) in modeling the flow in the vertical slot fish passage is considered in the current research. Hydraulic mean depth is the main parameter calculated in this specific structure after considering optimum Turbulent model using error functions and forecast error less than 0.05 percent (Fig. 2, 3).



**Fig. 1.** Water Surface Fluctuations at different Turbulent Models



**Fig. 2.** Contrast of Experimental and CFD Result in Non-dimensional Depth

\* Corresponding Author

E-mail addresses: samanbaharvand@gmail.com (Saman Baharvand), lashkarara@jsu.ac.ir (Babak Lashkar-Ara).

After being confirmed in flow rate range presented by Rajaratnam et. al. (1986), numerical models are simulated in order to find out the requirements for resting zone in the middle pool of the structure. The flow patterns which are made in the middle pool, velocity distribution and layers with the same velocity and also the distribution of turbulent energy are considered in three elevation numbers:  $0.25d$ ,  $0.5d$ ,  $0.75d$ , according to the biological requirement of Chinool Salmon in the most critical situations that might arise in vertical slot fishway design number 1 (10% slope and flow rate  $Q^*=32.8$ ) which was presented by Hunter and Mayor in (1986).

## 2.2. Design and Simulating Software

The FVM-based software package, Flow-3D, was used for the numerical modeling and analysis. Autocad-3D was used to model the solid structure of the vertical slot fishway type 1.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Biological and hydraulically Analysis

After being confirmed in flow rate range presented by Rajaratnam et. al. (1986), numerical models are simulated in order to find out the requirements for resting zone in the middle pool of the structure. The flow patterns which are made in the middle pool, velocity distribution and layers with the same velocity and also the distribution of turbulent energy are considered in three elevation numbers:  $0.25d$ ,  $0.5d$ ,  $0.75d$ , according to the biological requirement of Chinool Salmon in the most critical situations that might arise in vertical slot fishway design number 1 (10% slope and flow rate  $Q^*=32.8$ ) which was presented by Hunter and Mayor in (1986). According to flow patterns, the central density of Stream-lines increases when the elevation numbers are increased. (In case the number of lines is constant). This increase in the density of Stream-lines in the center shows a great stream power; therefore the best elevation number estimated for fish species to pass the pool is  $0.2d$ . Velocity distribution patterns in critical situations are expressed in three elevation numbers and shown in Fig. 3.

Distribution of velocity and turbulent energy in structure width is presented in three elevation numbers: 0.2, 0.5 and 0.75, using transversal data extraction and also the area of resting pools is calculated for different stages of life including Junevile, youth, and Adult, based on the biological feature of Chinook Salmon. When Chinook Salmon is Junevile, 80.4% increase in flow rate leads to 27.84% decrease in the area of secure zone. At the other stages of fish life (which are Youth and Adult) the same increase in flow rate gives 25.38% and 21.91% decreases in the area of secure resting zone respectively. According to the total area of the structure pool given in the previous figure which is 7.21 square meters, figure 3 shows the distribution of area percentage of resting zone ( $A_p/A_T$ ) against non-dimensional flow rate for the three stages of Chinook Salmon life.

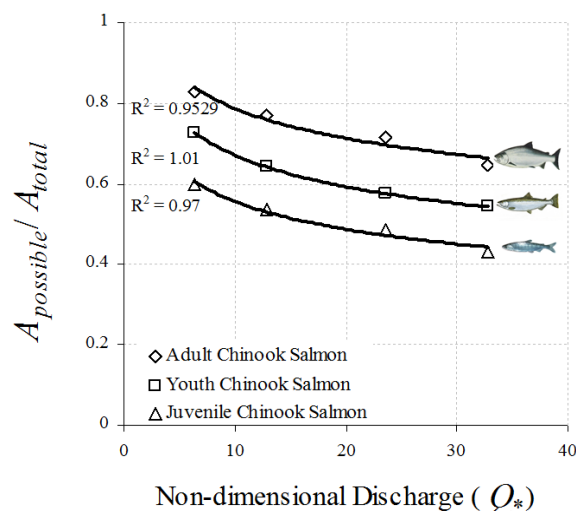


Fig. 3. Distribution of area percentage of resting zone against non-dimensional flow rate

### 3.2. Non-dimensional Resting pool area equations

Equations for gaining the area of resting zone and flow patterns in critical situations have been presented in equation 1 to 3, considering different stages of life and different non-dimensional flow rates for vertical slot fishways and the error function ( $R^2$ ) equals to 0.96.

$$\left(\frac{A_p}{A_T}\right)_{Juvenil} = 0.864(Q_*)^{-0.191} \quad (1)$$

$$\left(\frac{A_p}{A_T}\right)_{Young} = 1.014(Q_*)^{-0.179} \quad (2)$$

$$\left(\frac{A_p}{A_T}\right)_{Adult} = 1.094(Q_*)^{-0.143} \quad (3)$$

## 4. Conclusions

In this study, the numerical simulation results based on finite volume method were used to propose simple equations to determining effective of Resting Pool Area in Vertical Slot Fishways Type 1 to Pass Chinook Salmon. Four different discharge rate with the certain slope (10%) used to simulating the migration path and resting pool of the VSF type 1 using the various stage of the life of chinook salmon biological data. The analysis of results showed that the best depth for swimming of this type of fish is about 0.2d. The velocity and turbulent energy distribution were compared to the biological capacity of chinook salmon to propose the non-dimensional suitable resting pool area focusing on the stage of the life of chinook salmon.

## 5. References

- Hunter LA, Mayor L, "Analysis of Fish Swimming Performance Data", Unpublished Report, 1986, Vol. I.  
Rajaratnam N, Van der vinne G, Katapodis C, "Hydraulic of vertical slot fishways", Journal of Hydraulic Engineering, 1986, 112, 909-927.