

اندرکش جریان زیست محیطی و توان بیولوژیکی سازه راه ماهی با شکاف قائم

سامان بهاروند^۱، بابک لشکر آرا^{۲*}

۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول

*آدرس رایانامه نویسنده مسئول Lashkarara@jsu.ac.ir

خلاصه

جریان زیست محیطی به جریانی اطلاق خواهد شد که حداقل شرایط لازم بمنظور فراهم سازی امکان ادامه ی حیات برای موجودات اکوسیستم مورد نظر را فراهم سازد. یکی از مهم ترین پارامترهای تعیین کننده در جریان زیست محیطی، عمق جریان می باشد. در پژوهش حاضر ضمن بررسی شبیه سازی عددی سازه ی راه ماهی با بازشدگی قائم در دو طرح هندسی شماره ۱ و ۳ با بکارگیری سناریوهای عمقی پایاب ۰/۲۵، ۰/۱۵، $d/h = 0$ میزان تأثیر درصد غوطه وری ایستگاه ورودی ماهیان به سازه ی راه ماهی که خروجی جریان از سازه ی راه ماهی می باشد، مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان دهنده ی نقش بسیار مهم و تعیین کننده ی عمق جریان زیست محیطی در توانایی و یا عدم توانایی ماهیان در مهاجرت به بالادست سازه راه ماهی با بازشدگی قائم در طرح ۱ و ۳ بوده است بطوریکه امکان مهاجرت در سناریوهای پژوهش با کاهش ۷۵ درصدی در عمق جریان زیست محیطی کاهش چشمگیر حدود ۴۰ درصدی در توانایی عبور ماهیان در هر دو طرح سازه شده است. پارامتر توان بیولوژیکی در ۱۵ گونه مختلف ماهیان در قالب ۵ خانواده بمنظور توانایی مهاجرت به بالادست سازه در هر دو طرح مذکور مورد بررسی قرار گرفته است و توانایی و یا عدم توانایی گونه های مختلف در قالب نمودارهای مقایسه ای ارائه شده است، همچنین ماهی قزل آلا رنگین کمان بعنوان مهمترین گونه در میان ۱۵ گونه ی ماهی انتخاب شده، در سه رده ی سنی نوجوان، بالغ و باردار مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج نشان از توانایی بیولوژیکی بسیار بالای این ماهی در مقایسه با توان هیدرولیکی سازه در بهترین شرایط سناریو جریان زیست محیطی دارد.

کلمات کلیدی: راه ماهی، توان بیولوژیکی، هیدرولیک محیط زیستی، شبیه سازی عددی، Flow-3D

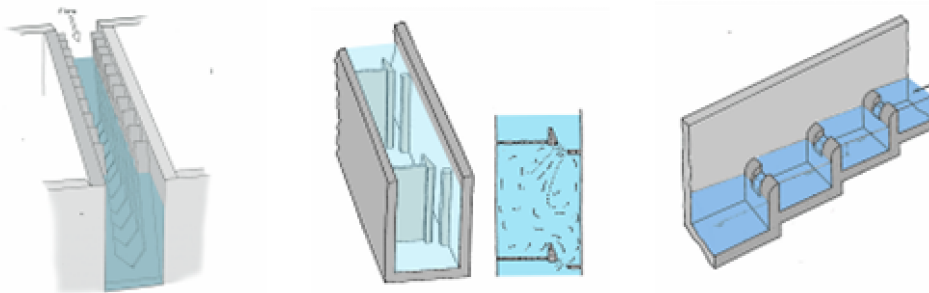
۱. مقدمه

متناسب با افزایش علم و پیشرفت صنعت بشری در اغلب نقاط جهان در اثر ساخت سازه های هیدرولیکی مختلف در مسیر رودخانه ها به منظور استحصال آب و مصارف مختلف کشاورزی، نیروگاه، صنعت و استفاده های شهری، باعث پدید آمدن تغییرات مخرب و جدی در گستره ی رودخانه ها به عنوان زیستگاه اصلی آبزیان، شده است. تغییرات حاصل شده به موجب ساخت سازه های هیدرولیکی در بستر رودخانه، اثرات زیادی را بر خدمات هیدرولیکی و اکولوژیکی اکوسیستم این رودخانه ها وارد نموده است. رودخانه ها و سازه های هیدرولیکی آن، زیستگاه اصلی آبزیان می باشد و رودخانه ها در تولید مثل ماهیان به عنوان مسیر مهاجرت آنها به سوی مناطق تخم ریزی نقشی حیاتی ایفا می کنند [۵]. ماهیان ممکن است در اثر تغییرات زیست محیطی و یا بطور غریزی برای تخم ریزی به بالادست مهاجرت نمایند. در این میان آبشارهای طبیعی و سدهای انحرافی از موانعی هستند که ممکن است از مهاجرت ماهی ها به بالادست جریان جلوگیری کرده و یا مهاجرت آنها را به تاخیر بیندازند [۳]. یکی دیگر از مشکلاتی که سدهای انحرافی برای ماهی ها ایجاد می کنند زیر آب بردن محل های مناسب تخم ریزی ماهیان می باشد که به منظور رفع این مشکل از سازه ای به نام راه ماهی استفاده گردیده است [۶]. سازه راه ماهی را می توان در دسته سازه های هیدرولیکی و محیط زیستی قرار داد. زیرا این سازه علاوه بر لزوم برخورداری از خصوصیات هیدرولیکی، می بایست از تناسب لازم با پارامترهای بیولوژیکی مورد نیاز ماهیان جهت صعود به بالادست رودخانه به منظور تامین مواد غذایی از یکسو و محل مناسبی جهت تخم ریزی را از سوی دیگر تامین نمایند. به همین جهت باید با خصوصیات هیدرولیکی جریان و شرایط بهینه بیولوژیکی ماهیان آشنا بود تا بتوان بهترین سازه راه ماهی را با توجه به قیدهای ذکر شده مورد طراحی و استفاده قرار داد [۵]. سازه ی راه ماهی بعنوان سازه ی مستهلک کننده ی

انرژی در زمینه‌ی هیدرولیکی شاخص بوده و همچنین با توجه به کاربرد بیولوژیکی آن در انتقال ماهیان به بالادست بعنوان یک شاخص بیولوژیکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [۱]. کلی (۱۹۵۵) به بررسی برخی از سازه‌های عبوردهنده ماهیان پرداخت. او در تحقیقات خود سازه‌ی راه‌ماهی را بعنوان یک سازه‌ی هیدرولیکی - محیط‌زیستی دانست و یک دسته‌بندی کلی با توجه به هندسه اولیه از این گونه سازه‌ها را ارائه نمود [۹]. راجاراتنام و کاتاپودیس (۱۹۸۳) تحقیقات مشترکی را بر روی هیدرولیک جریان در راه‌ماهی آغاز کرده و عمده فعالیت خود را روی راه‌ماهی نوع دنیل قرار دادند و نتیجه کار آنها رسیدن به معیارهای جالبی برای طراحی بهینه راه‌ماهی نوع دنیل برای دبی و شیب‌های مختلف بستر بوده است. مدل فیزیکی سازه راه‌ماهی مورد پژوهش در دانشگاه آلبرتا کانادا ساخته شد و در سازه آن از یک دبی سنج مغناطیسی برای اندازه‌گیری دبی و یک جریان سنج مینیاتوری برای اندازه‌گیری سرعت در اعماق مختلف استفاده شد. نتایج کار راجاراتنام و کاتاپودیس (۱۹۸۳) به ارائه‌ی رابطه (۱) انجامید که این رابطه جهت تعیین دبی عبوری از راه‌ماهی دنیل استاندارد کاربرد دارد. با استفاده از رابطه (۱) می‌توان منحنی دبی اشل راه‌ماهی دنیل استاندارد را تعیین نمود [۱۲].

$$Q_e = 0.94 \left[\frac{d}{b} \right]^2 \quad (1)$$

راجاراتنام و همکاران^۱ (۱۹۸۶) تحقیقات گسترده‌ای را بار دیگر بر روی سازه راه‌ماهی از نوع دنیل انجام دادند با این تفاوت که سازه راه‌ماهی دنیل دو طبقه را در آزمایشگاه مورد بررسی قرار دادند و علاوه بر حاصل شدن یک منحنی دبی - اشل برای طراحی راه‌ماهی دنیل دو طبقه به این نتیجه رسیدند که عامل اصلی در طراحی سازه راه‌ماهی از لحاظ هیدرولیکی توانایی اتلاف انرژی سازه راه‌ماهی بوده و با توجه به این هدف راه‌ماهی‌ها به سه دسته راه‌ماهی‌های استخر و سرریز، شکاف قائم و دنیل تقسیم بندی کرده‌اند [۱۱]. در شکل (۱) نمایی از انواع راه‌ماهی استخر-سرریز، شکاف قائم و دنیل نمایش داده شده است.



الف) راه‌ماهی استخر و سرریز ب) راه‌ماهی شکاف قائم ج) راه‌ماهی دنیل

شکل ۱ - طبقه بندی انواع سازه‌های راه‌ماهی (راجاراتنام و کاتاپودیس ۱۹۸۶)

راجاراتنام و همکاران (۱۹۸۶) در تحقیقات خود جزئیات هندسی راه‌ماهی با بازشدگی قائم را نیز ارائه نمودند. تحقیقات آنان نشان داد که پرکاربردترین نوع سازه‌ی راه‌ماهی از لحاظ اجرا و همچنین استهلاک انرژی، سازه‌ی راه‌ماهی با بازشدگی قائم است. در ادامه‌ی تحقیقات، آنان به بررسی الگوهای جریان ایجاد شده در استخرهای سازه‌ی راه‌ماهی با بازشدگی قائم پرداختند و الگوی جریان ثبت شده را در ۷ نوع طرح مختلف هندسی با در نظر گرفتن چهار محدوده‌ی مقیاسی مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۱۱].

وو و همکاران^۲ (۱۹۹۹) با استفاده از تکنیک سرعت سنج داپلر میکروآکوستیک اقدام به بررسی شرایط متوسط ساختاری جریان در دو شیب مختلف ۵ و ۱۰ درصد در سازه راه‌ماهی با بازشدگی قائم موسوم به طرح شماره ۱۸ پرداخته‌اند [۱۶].

سنا و همکاران^۳ (۲۰۰۷) با بررسی مدل‌های آشفتگی گوناگون بمنظور شبیه‌سازی جریان در سازه‌ی راه‌ماهی با بازشدگی قائم در مدل عددی آب‌های کم عمق^۴، تصدیقی بر کارایی بهتر مدل آشفتگی k-ε در شبیه‌سازی جریان در سازه‌ی راه‌ماهی با بازشدگی قائم ارائه کردند [۸].

¹ Rajaratnam et al (1986)

² Wu et al (1999)

³ Cea et al (2007)

⁴ Shallow Water Model

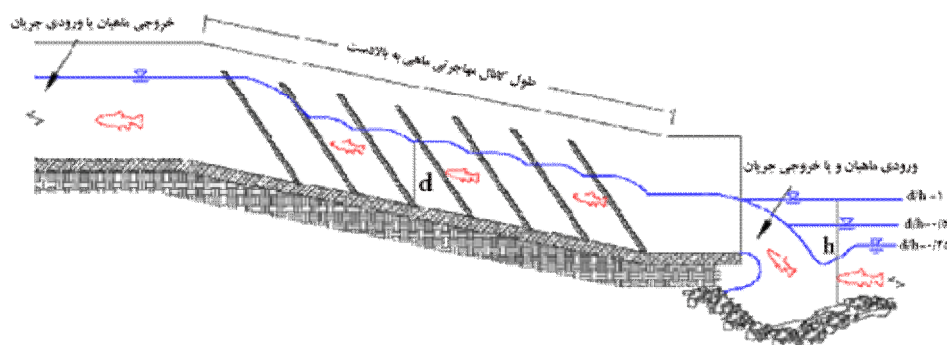
تنانت^۱ (۱۹۷۶) با توجه به زنجیره‌ی تغییرات متصل هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و اکولوژیکی بیان شده و تاثیر مستقیم و مخرب آن بر اکوسیستم موجود، محققان مختلفی اقدام به بررسی روش‌هایی بمنظور کاهش اثرات منفی حاصل از تغییرات ایجاد شده در اکوسیستم کرده‌اند. در حال حاضر سعی شده است که تغییرات ایجاد شده در جریان رودخانه را به وسیله‌ی حفاظت از خدمات اکولوژیکی تا حد امکان به نقطه‌ی تعادل رساند. جریان‌های مورد نیاز برای حفاظت از خدمات اکولوژیکی را جریان‌های زیست محیطی و فرآیندهای تخمین و تعیین جریان حداقل مورد نیاز اکوسیستم راه ارزیابی جریان زیست محیطی بیان می‌کنند [۱۴].

بررسی و اهمیت تعیین جریان آب زیست محیطی و یا به عبارتی تأمین جریان‌های زیست محیطی در کشور ایران از دهه‌ی ۴۰ مورد بررسی قرار گرفت. بطوریکه، تحقیقات بهروزی راد (۱۳۹۲) بصورت تفاهم‌نامه‌ای میان سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت نیرو تأمین حداقل آب مورد نیاز محیط زیست در پروژه‌های عمرانی و سدسازی به صورت آیین‌نامه اجرایی اعمال شده است [۲].

تارمه^۲ (۲۰۰۳) روش‌های متنوعی را با توجه به اهمیت تعیین میزان جریان زیست محیطی بررسی نمود. بر اساس این تحقیق، بررسی‌های صورت گرفته در میان بیش از ۲۰۰ روش ارائه شده برای تعیین نیاز آب زیست محیطی رودخانه‌ها، چهار دسته‌بندی کلی ارائه گردید بشرح زیر ارائه شد:

روش‌های هیدرولوژیکی، روش درجه‌بندی هیدرولیکی، روش شبیه‌سازی زیستگاه‌ها و روش جامع طبقه‌بندی نمود. [۱۵]

در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت جریان زیست محیطی و همچنین جانمایی حوضچه‌ی پایاب سازه‌ی راه‌ماهی امکان غرق شدن و یا خشک شدن استخر پایاب وجود دارد. این امر منجر ممکن است به ایجاد جریان ریزشی در صورت پایین بودن جریان زیست محیطی شود. با توجه به شکل (۲) بررسی میزان اثر عمق جریان پایاب بعنوان جریان زیست محیطی بر توانایی مهاجرت ماهی قزل‌آلارنگین کمان به بالادست سازه‌ی راه‌ماهی بازشدگی قائم که در تحقیقات راجاراتنام و همکاران [۱۱] با مشخصه‌های طرح هندسی شماره‌های ۱ و ۳ معرفی شده‌اند، در دستور کار این تحقیق قرار گرفته است. بدون شک ضرورت وجود عمق پایاب کافی متناسب با توان بیولوژیکی ماهیان ضروری می‌باشد.



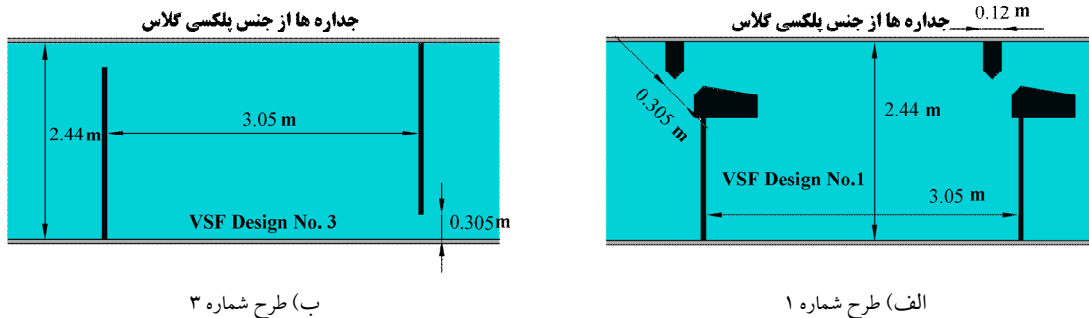
شکل ۲- روند تغییرات تراز عمق پایاب بر چگونگی الگوی جریان

۲. روش پژوهش

در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از طرح هندسی و بازه‌ی تغییرات دبی جریان ورودی، سازه‌ی راه‌ماهی بازشدگی قائم طرح‌های شماره‌ی ۱ و ۳ ارائه شده توسط راجاراتنام و همکاران (۱۹۸۶) در دانشگاه آلبرتا کانادا با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی *Flow-3D* تحت حالات مختلف جریان مورد بررسی قرار گرفته است. این نوع سازه بعنوان اصلی‌ترین سازه‌ی راه‌ماهی اجرایی در کانادا از میان هفت طرح مهم سازه‌ی راه‌ماهی بازشدگی قائم مورد بررسی و پژوهش قرار گرفته است. آزمایش‌های صورت گرفته بر روی سازه‌ی راه‌ماهی بازشدگی قائم طرح ۱ در یک فلوم با شیب بستر ۱۰٪ و دارای طول افقی معادل ۱۳/۷ متر و عرض ۲/۴۴ متر مورد آزمون قرار گرفته است. در شکل شماره (۳) مشخصات فنی طرح مورد بحث نمایش داده شده است. شکل هندسی صلب این طرح با ۵ استخر متوالی توسط نرم‌افزار اتوکد ترسیم شده است و سپس به مدل *Flow-3D* معرفی گردید (شکل (۴)).

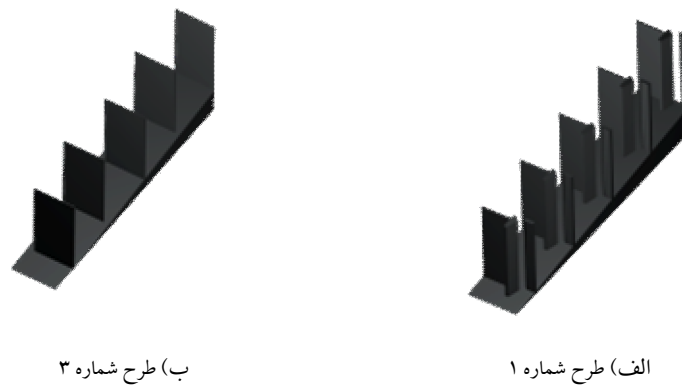
¹ Tennant (1976)

² Tharme (2003)



شکل ۳- پلان مشخصات فنی سازه راه‌ماهی شکاف قائم طرح های شماره ۱ و ۳ در تحقیقات راجار اتنام و همکاران (۱۹۸۶)

لازم به ذکر است که تمامی مشخصات هندسی از جمله میزان بازشدگی، طول جداره‌های جداکننده بزرگ و همچنین فاصله‌ی میان استخری در طرح ۱ و ۳ یکسان بوده و تنها شماتیک سازه متفاوت است. نمای سه‌بعدی هندسه دو طرح ارائه شده در تصویر (۴) ارائه شده است.



شکل ۴- نمایه صلب سه بعدی طرح های شماره ۱ و ۳ سازه راه‌ماهی بازشدگی قائم معرفی شده به مدل

به منظور تعیین رابطه‌ی حاکم بر فضای پژوهش از آنالیز ابعادی استفاده گردید. بررسی منابع و شرایط هیدرولیکی نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای موثر بر فضای پژوهش بشرح ذیل می باشند:

خصوصیات سیال: ρ وزن مخصوص سیال، μ لزوجت سیال، σ کشش سطحی سیال
 خصوصیات جریان: V سرعت متوسط سیال در بازشدگی بین جداره‌های جداکننده میان استخری، g شتاب ثقل
 خصوصیات هندسی: S فاصله بازشدگی میان جداره‌های جداکننده میان استخری، S_0 شیب بستر سازه نسبت به افق، d عمق متوسط جریان در بازشدگی‌های سازه، h مت متوسط جریان زیست محیطی پایاب
 با توجه به پارامترهای ضروری بیان شده در پژوهش حاضر، پارامترهای موثر بمنظور فرمول‌بندی تحقیق حاضر بصورت رابطه‌ی ذیل بیان خواهد شد:

$$f(V, g, S, \rho, \mu, \sigma, S_0, d, h) \quad (2)$$

با استفاده از تئوری Π - باکینگهام می‌توان نوشت:

$$f\left(\frac{V^2}{gS}, \frac{\rho VS}{\mu}, \frac{\rho V^2 S}{\sigma}, \frac{d}{S}, \frac{h}{S}, S_0\right) \quad (3)$$

که با استفاده از ضرب پارامترهای بدون بعد حاصله می‌توان رابطه‌ی (۴) را بعنوان رابطه‌ی حاکم بر هیدرولیک جریان عبوری از سازه‌ی راه‌ماهی با بازشدگی قائم ارائه نمود:

$$f\left(\frac{Q}{\sqrt{gS_0S^5}}, \frac{d}{S}, \frac{h}{S}, Fr, We, Re, S_0\right) = 0 \quad (4)$$

پارامترهای حاصل شده بر ترتیب بیانگر دبی مشخصه جریان عبوری $Q_* = Q/\sqrt{gS_0S^5}$ ، d/S نسبت بدون بعد عمق جریان، Fr عدد فرود جریان، We عدد وبر جریان، Re عدد رینولدز جریان و در نهایت S_0 معرف شیب بستر جریان می‌باشد. با توجه به تحقیقات راجارانتام و همکاران (۱۹۸۶) اصلی‌ترین پارامتر بمنظور طراحی هیدرولیکی سازه‌های راه‌ماهی Q^* خواهد بود. جدول (۱) محدوده‌ی تغییر پارامترهای پژوهش حاضر را نشان می‌دهد.

جدول ۱ - محدوده داده‌های مورد آزمون در تحقیق حاضر

پارامتر	واحد اندازه‌گیری	محدوده‌ی تغییرات
شیب بستر سازه (S_0)	-	٪۱۰
نسبت عمق نسبی جریان به فاصله‌ی بازشدگی میان جداره میان استخری (d/S)	-	۱/۹ - ۹/۳۱
نسبت عمق نسبی جریان پایاب به فاصله‌ی بازشدگی میان جداره میان استخری (h/S)	-	۰/۴۷۵ - ۹/۳۱
دبی جریان (Q)	Lit/s	۰/۳۶۷ - ۱/۶۷
عدد فرود (Fr)	-	۰/۳۰۸ - ۰/۷۷
عدد رینولدز (Re)	-	۱۸۷۹۵۱ - ۲۶۴۴۷۱
عدد وبر (We)	-	۰/۰۰۰۳۱۴ - ۰/۰۰۰۶۲۱

در این پژوهش بمنظور بررسی اثر جریان زیست‌محیطی در توانایی انتقال ماهی قزل‌آلارنگین کمان به بالادست سازه پس از اطمینان از صحت داده‌های مستخرج با استفاده 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 در مقایسه با خط ۴۵ درجه پرداخته شده‌است. پس از بررسی اعتمادپذیری مدل، سناریوهای عمق پایاب به صورت (d ، $0/5d$ ، $0/25d$) در پایاب به مدل معرفی گردید و در نهایت میزان تاثیر عمق جریان پایاب بر روند انتقال ماهی گونه‌ی قزل‌آلارنگین کمان با استفاده نمودارهای مقایسه‌ای و جداول کیفی و کمی ارائه شده‌است. در ادامه با توجه به اهمیت بالای گونه‌ی ماهیان قزل‌آلای رنگین کمان و همچنین وجود این گونه از ماهی در کشور، داده‌های بیولوژیکی و فیزیکی این نوع ماهی با استفاده از مطالعات پژوهشگران پیشین استخراج و در بررسی روند انتقال و بهبود شرایط اکوسیستمی از آن بهره‌گیری شده‌است [۱، ۴، ۵، ۷].

۲-۱. شبیه‌سازی هیدرولیکی

مدل عددی پیاده‌سازی شده با استفاده از شبکه‌ی منظم مش‌بندی شده، با تعداد شبکه مش ($60 \times 300 \times 40$) و با تعداد نهایی 720000 عدد مش می‌باشد. الگوریتم GCI حاصل از تحقیقات رُوآخه^۱ (۱۹۹۴) بمنظور پیاده‌سازی شبکه‌ی مش‌بندی استفاده شده‌است. [۱۳] در مرز ورودی جریان از شرط دبی ورودی جریان استفاده شده و در مرز پایانی حوضچه‌ی پایاب از مرز خروجی^۲ جریان بهره‌گیری گردید. شرط مرزی دیواره^۳ برای وجوه کناری و بستر سازه و همچنین شرط تقارن^۴ برای مرز بالایی سازه انتخاب شده‌است. پس از بررسی‌های صورت گرفته همگرایی مدل عددی و تثبیت شرایط جریان با بررسی دبی خروجی از میدان و همچنین نرخ تغییرات سطح آب در مدت زمان ۴۲ ثانیه ارزیابی و تأیید شده‌است. در شکل (۵) و (۶) بر ترتیب روند تثبیت ارتفاع سطح جریان در ورودی سازه در مدل عددی و مقایسه نتایج عمق و سرعت نسبی در مدل عددی و فیزیکی پژوهش ارائه شده‌است. همچنین توابع

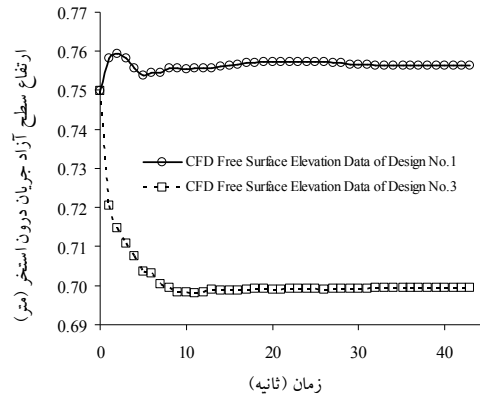
^۱ Roache (1994)

^۲ -Output

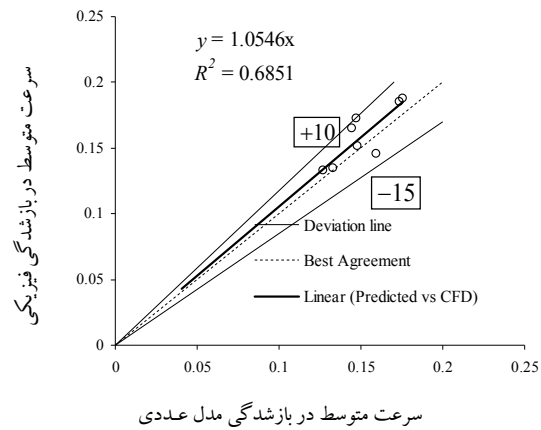
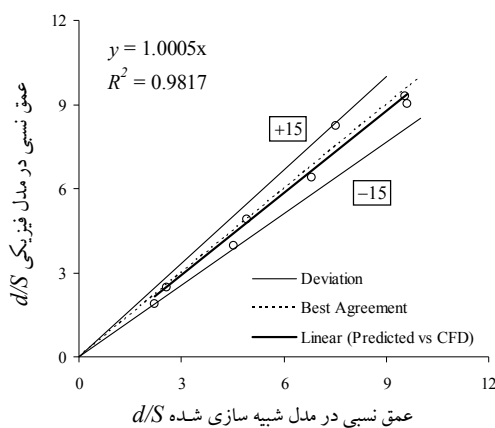
^۳ -Wall

^۴ - Symmetry

خطای آماری برای پارامتر بدون بعد عمق نسبی با توجه به پارامتر اصلی محاسبه‌ی دبی مشخصه جریان در جدول (۲) نشان از اعتمادپذیری و شبیه‌سازی مناسب مدل عددی دارد.



شکل ۵- روند تثبیت ارتفاع سطح جریان در ورودی سازه



الف) مقایسه نتایج سرعت متوسط نسبی در مدل عددی و فیزیکی

ب) مقایسه نتایج عمق نسبی (d/S) در مدل عددی و فیزیکی

شکل ۶ - مقایسه نتایج عمق و سرعت نسبی در مدل عددی و فیزیکی

جدول ۲- توابع خطای آماری مدل عددی و آزمایشگاهی پارامتر نسبی عمق (d/S)

شماره طرح	MPE	ME	R ²	RMSE
طرح شماره ۱	۱/۳۲۴	۱/۰۰۰۵	۰/۹۸۱۷	۰/۰۵۲۴
طرح شماره ۳	۱/۵۳۴	۱/۰۵۴۶	۰/۶۸۵۱	۰/۰۹۹۵

۲-۲. تجزیه و تحلیل خصوصیات بیولوژیکی

بلک^۱ (۱۹۹۱) پارامترهای مهم هیدرولیکی مؤثر در طراحی بیولوژیکی سازه‌ی راه‌ماهی را متناسب با انواع گونه‌های مختلف ماهی مورد بررسی قرار داد. وی در تحقیقات خود میزان استهلاك انرژی جریان در هر استخر از سازه، سرعت جریان موجود در بازشدگی و متعاقباً عمق جریان در سازه را ارزیابی نمود [۷]. با استفاده از تساوی رابطه‌ی (۵) و (۶) که بترتیب نشان‌دهنده‌ی توان هیدرولیکی و متعاقباً توان بیولوژیکی هر گونه ماهی است، بررسی آستانه‌ی شای به بالادست ماهی در شرایط

¹ Behlk

حاکم بررسی شد. توان عبور ماهیان به بالادست استخرها با توسط مقایسه سرعت انفجاری نسبت به سرعت بیشینه خروجی از بازشدگی سازه مورد مقایسه قرار گرفت. در واقع با این امر توان بیولوژیکی نسبت به توان هیدرولیکی سازه ارزیابی خواهد شد.

$$PW = \gamma V S_0 \quad (5)$$

$$PW_f = P_f V_{bf} \quad (6)$$

در روابط فوق S_0 نشان دهنده شیب طولی سازه و V سرعت متوسط جریان، PW توان هیدرولیکی سازه راه ماهی در هراستخرمی باشد. PW_f توان بیولوژیکی گونه‌ی ماهی ناشی از سرعت انفجاری و V_{bf} نیروی جلوبرنده‌ی موافق و عضلانی گونه‌ی ماهی است. هانتر و همکاران^۱ (۱۹۸۶) با استفاده از تحقیقات گسترده‌ی میدانی و آزمایشگاهی سرعت انفجاری، زمان خستگی ماهی با شنای مداوم و ابعاد جثه‌ی برخی از انواع ماهیان را محاسبه کرده‌اند. جدول (۳) حاوی اطلاعات بیولوژیکی ماهی قزل‌آلارنگین کمان می باشد [۱۰].

جدول ۳- مشخصات بیولوژیکی ماهی قزل‌آلارنگین کمان با توجه به تحقیقات هانتر و همکاران (۱۹۸۶)

گونه	رده سنی	وضعیت شناگر	طول	وزن	زمان انفجاری	سرعت انفجاری	زمان شنای مداوم	سرعت مداوم
			m	N	sec	m/sec	sec	m/sec
قزل‌آلای	بالغ	قوی	۰/۱۵	۰/۲۳۳	۵	۱/۶۷	۱۸۰۰	۰/۷۶۸
رنگین کمان	باردار	نیمه قوی	۰/۲	۰/۵۵۲	۲/۵	۰/۹۸۹	۶۰۰	۰/۶۱۹
نوجوان		ضعیف	۰/۰۶	۰/۱۵	۵	۰/۷۳۲	۱۸۰۰	۰/۵۴۷

۳. نتایج و بحث

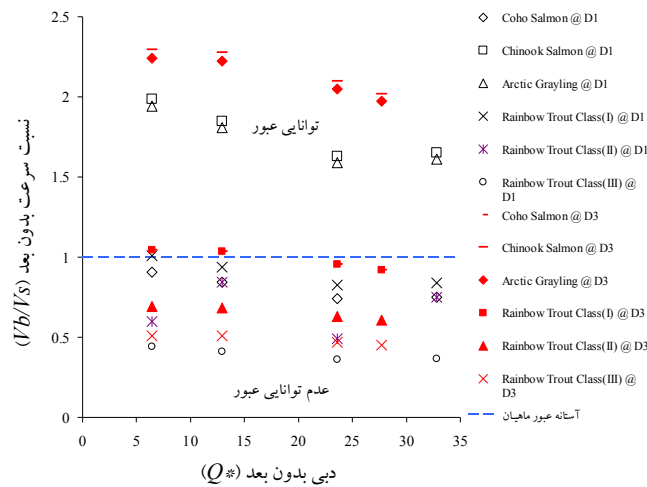
باتوجه به مباحث و سناریوهای بیان شده، دوطرح شماره ۱ و ۳ سازه‌ی راه‌ماهی با بازشدگی قائم در سناریوهای سه‌گانه عمق پایاب مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. جدول (۴) خلاصه‌ای از داده‌های سرعت متوسط مستخرج از مدل‌های شبیه‌سازی شده با تقسیم‌بندی چهارگانه‌ی دبی جریان ورودی را ارائه کرده‌است.

جدول ۴- داده‌های سرعت مستخرج از مدل عددی

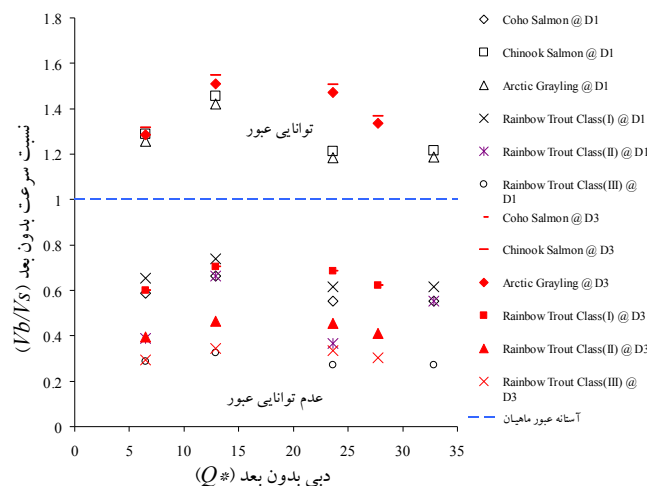
نوع سازه	نسبت عمق پایاب به سراب			دبی جریان (لیتر بر ثانیه)
	۱/۱	۱/۲	۱/۴	
سازه طرح ۱	۱/۵۵۴	۱/۶۸۵	۱/۷۰۳	۰/۳۲۸
	۱/۷۷۷	۱/۸۰۴	۱/۸۴۱	۰/۶۵۶
	۲/۰۱۷	۲/۱۹۸	۲/۳۴۶	۱/۲
	۲/۱۰۱	۲/۳۲۵	۲/۵۷۳	۱/۶۷
سازه طرح ۳	۱/۴۳۳	۱/۵۱۳	۱/۵۸۹	۰/۳۲۸
	۱/۵۴۵	۱/۶۵	۱/۷۴۳	۰/۶۵۶
	۱/۶۶۷	۱/۶۱۵	۱/۸۳۴	۱/۲
	۱/۸۲۷	۱/۹۲۸	۲/۱۷۴	۱/۴۱

باتوجه به نتایج مندرج در جدول (۴) ملاحظه می‌شود که مطابق با اصل قانون پیوستگی، افزایش سرعت با کاهش سطح مقطع جریان، ناشی از کاهش کد ارتفاعی بستر رودخانه پایین دست پایاب سازه‌ی راه‌ماهی و یا کاهش عمق جریان زیست‌محیطی می‌باشد. نمودارهای زیر روند تغییرات نسبت بدون بعد سرعت انفجاری در دسترس ۶ گونه از ماهیان بر سرعت متوسط در بازشدگی، در مقابل تغییر در دبی مشخصه حاصل از تغییر در عمق نسبی بعنوان اولین پارامترهای موثر در توانایی صعود ماهیان مورد ارزیابی قرار گرفته‌است.

¹ Hunter et al (1986)



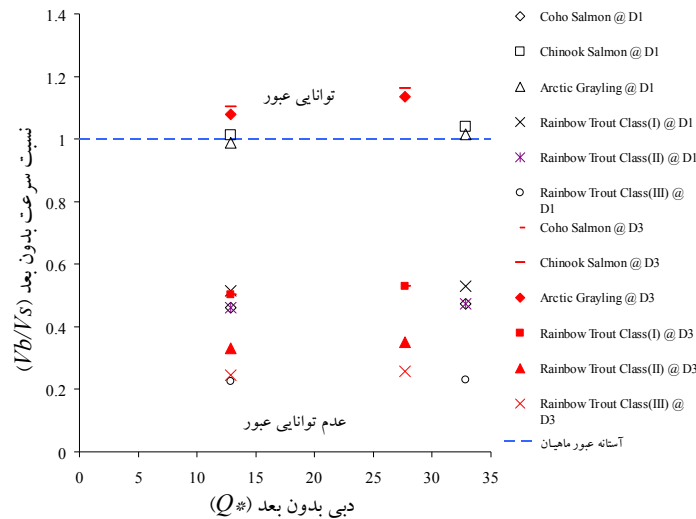
شکل ۷- تغییرات سرعت انفجاری بدون بعد ماهیان در مقابل دبی مشخصه در طرح های شماره ۱ و ۳ در سناریو عمق نسبی پایاب $d/h=1$
 باتوجه به شکل (۷) توانایی و یا عدم توانایی عبور ماهیان با توجه به نسبت بدون بعد سرعت انفجاری ماهیان در سناریوهای مختلف تراز سطح جریان زیست محیطی در چهار دبی مشخصه در هر طرح سازه مورد ارزیابی قرار گرفته است. در سازه طرح شماره ۱ با سناریو جریان زیست محیطی $d/h=1$ ماهی گونه‌ی کوهو سالمون^۱، قزل‌آلارنگین کمان گروه^۲ (II,III) در تمامی دبی‌های مشخصه قادر به صعود به بالادست جریان نخواهند بود. ماهیان گونه‌ی سالمون چینوک^۳ و ماهی خاکستری قطبی^۴ در تمامی دبی‌های مشخصه قادر به صعود موفق به بالادست جریان می‌باشند اما گونه‌ی قزل‌آلارنگین کمان گروه (I) تنها در دبی مشخصه‌ی کمینه جریان قادر به صعود به بالادست خواهد بود. با دقیق شدن در شکل فوق نسبت بدون بعد سرعت انفجاری ماهیان نسبت به همین پارامتر در طرح ۱ بیشتر بوده و متعاقباً توانایی بیشتر انواع گونه‌ی ماهیان بیان شده در این پژوهش را شامل خواهد شد. در طرح شماره ۳، گونه‌ی ماهیان سالمون چینوک و ماهی خاکستری قطبی در تمامی دبی‌های مشخصه قادر به صعود موفق به بالادست جریان می‌باشند. گونه‌ی کوهو سالمون و قزل‌آلارنگین کمان در طرح شماره ۳ برخلاف طرح شماره ۱ در دو دبی کمینه‌ی جریان قابلیت صعود را از خود نشان می‌دهد. دو گونه‌ی دیگر ماهی قزل‌آلارنگین کمان همچون سازه در طرح شماره ۱ قادر به صعود به بالادست جریان نخواهند بود. بصورت کلی بررسی توانایی عبور شش گروه ماهیان در ۸ دبی مشخصه در دو طرح سازه ۱ و ۳ و در حالت $d/h=1$ مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۸- تغییرات سرعت انفجاری بدون بعد ماهیان در مقابل دبی مشخصه در طرح های شماره ۱ و ۳ در سناریو عمق نسبی پایاب $d/h=0.5$

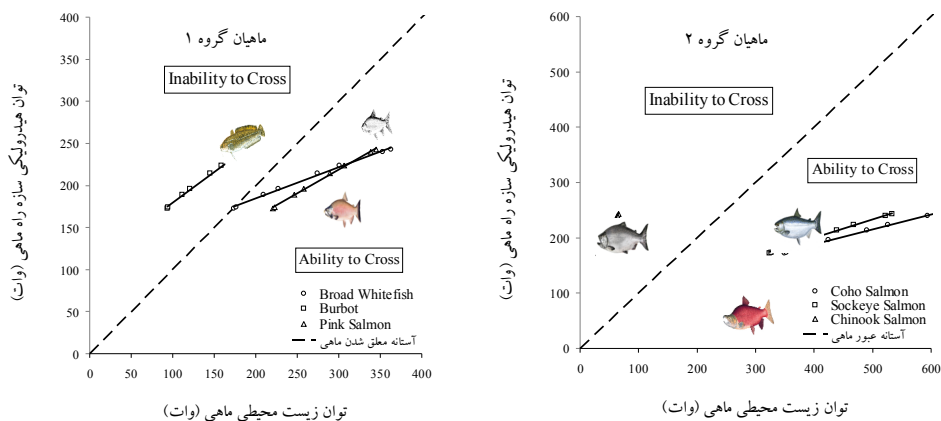
¹ Coho Salmon
² Rainbow Trout
³ Chinook Salmon
⁴ Arctic Grayling

در صورت بررسی تجمعی توانایی عبور تمامی گونه‌های ماهیان در تمامی دبی مشخصه‌های موجود در هر دو طرح سازه میزان تغییرات در توانایی عبور ماهیان بعنوان مقایسه در امکان عبور ماهیان در طرح‌های سازه‌ای ۱ و ۳ و در سناریوهای عمقی جریان زیست‌محیطی مختلف عنوان کرد. با توجه به شکل (۸) در حالت سناریو $d/h = 0.5$ کاهش $27/135$ درصدی در سازه با طرح ۱ و همچنین کاهش $33/78$ درصدی در سازه با طرح ۳ ناشی از افزایش سرعت متوسط جریان در مقادیر نسبت بدون بعد V_b/V_S مشاهده شده است. در حالت سناریو $d/h = 0.25$ نمایش داده شده در شکل (۹) نسبت بدون بعد V_b/V_S در سازه‌ی طرح ۱ و ۳ نسبت به سناریو $d/h = 1$ نشان داده شده در تصویر (۷)، بترتیب با $41/14$ و $43/66$ درصد کاهش تنها توانایی عبور صددرصدی ماهیان گونه‌ی سالمون چینوک و ماهی خاکستری قطبی با باند اطمینان کمتر از $0/1$ برابر نسبت V_b/V_S نتیجه شده است.



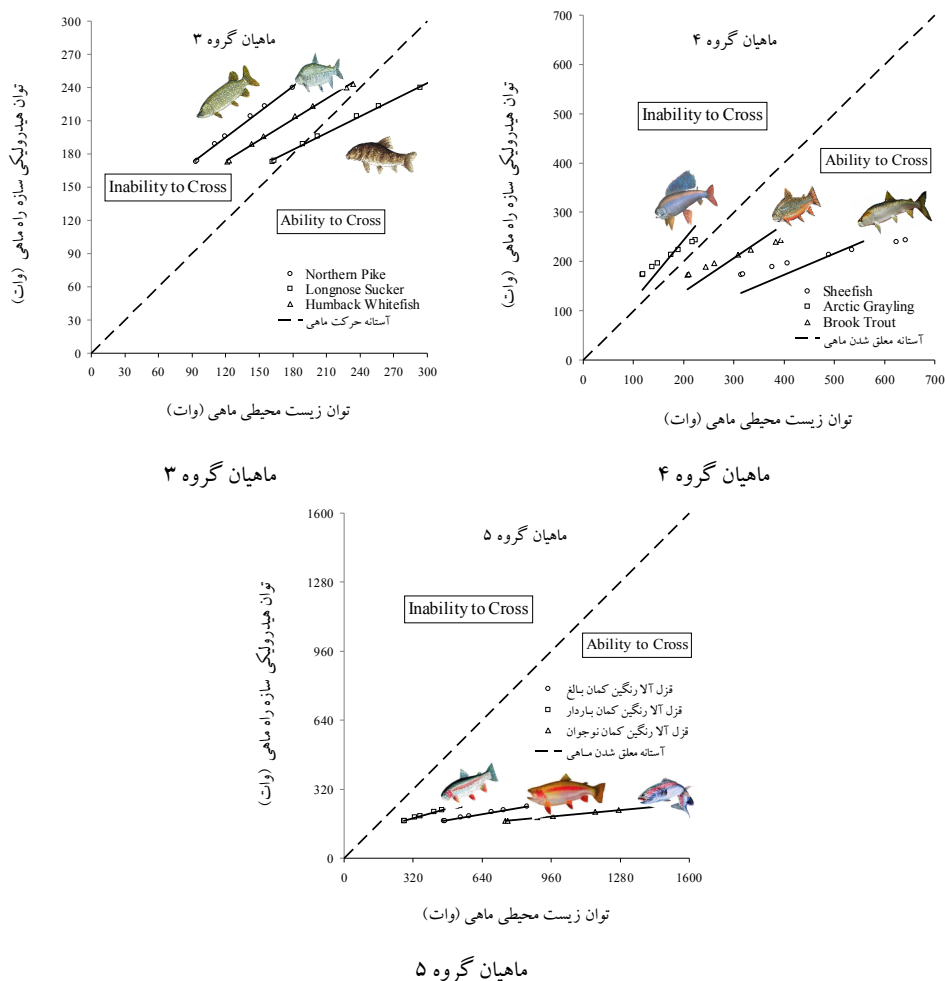
شکل ۹- تغییرات سرعت انفجاری بدون بعد ماهیان در مقابل دبی مشخصه در طرح های شماره ۱ و ۳ در سناریو عمق نسبی پایاب $d/h = 0.25$

از بررسی همزمان تصاویر (۷) تا (۹)، اهمیت بالای عمق جریان زیست‌محیطی در ایجاد مقادیر بیشتر پارامتر بدون بعد حیاتی V_b/V_S برای عبور ماهیان بعنوان یکی از پارامترهای اصلی بیولوژیکی بررسی شده است بگونه‌ای که کاهش ۷۵ درصدی در مقدار نسبت عمق جریان زیست‌محیطی (d/h) در سازه با طرح ۱ و ۳ بترتیب $41/14$ و $43/66$ درصد کاهش در مقدار پارامتر V_b/V_S را شامل خواهد شد. پس از استحصال برترین سناریو عمق جریان زیست‌محیطی $d/h = 1$ با استفاده از روابط (۵) و (۶) توان بیولوژیکی در مقابل توان هیدرولیکی استخرسازه بعنوان پارامتر اصلی دیگری تعیین توانایی صعود ماهیان با سناریو ثابت عقی جریان زیست‌محیطی ($d/h = 1$) در شکل (۱۰) بررسی شده است.



ماهیان گروه ۱

ماهیان گروه ۲



شکل ۱۰ - مقایسه توان بیولوژیکی گروه مختلف ماهیان در مقابل توان هیدرولیکی استخرهای سازه بمنظور بررسی امکان صعود به بالادست استخرها

در میان ماهیان گروه ۱ ماهی بربوت^۱ توان زیست محیطی لازم را برای شنای تداومی در سازه راه ماهی بازشدگی قائم طرح ۱ و ۳ نداشته و به عبارتی با بهترین حالت جریان زیست محیطی شرایط ادامه مهاجرت با سازه‌ی مذکور برای این گونه ماهی فراهم نمی‌باشد. در گروه ماهیان شماره ۲ گونه‌ی ماهی سالمون چینوک در مقایسه با دو گونه‌ی دیگر توان زیست محیطی مناسبی برای غلبه بر توان هیدرولیکی سازه در هر دو طرح ۱ و ۳ را دارا نمی‌باشد اما دو گونه‌ی دیگر جوابگویی قابل قبولی در صعود به سمت بالادست جریان را در هر دو سازه نشان می‌دهند. در گروه ۴ گونه‌ی ماهی خاکستری قطبی نیز همانند سالمون چینوک و گونه‌ی بربوت در صعود از هر دو طرح سازه‌ی ۱ و ۳ با شکست روبرو می‌شوند. بدترین گروه از لحاظ قابلیت عبور به سمت بالادست مسیر جریان از طریق هر دو نوع سازه، گروه شماره ۲ می‌باشد. در این گروه نزدیک به ۷۸ درصد از ماهیان مورد پژوهش در قالب سه گروه پایک شمالی^۲، لانگوس ساکر^۳ و ماهی سفید کوهستانی^۴ امکان عبور صد در صد از سازه‌های مذکور را ندارند و تنها گونه‌ی لانگوس ساکر در طرح سازه‌ی شماره ۱ امکان عبور به بالادست را نشان می‌دهد. ماهی قزل آلا رنگین کمان یکی از مهمترین گونه‌های قزل آلا در جهان است و به همین جهت در پژوهش حاضر علاوه بر معرفی این گونه ماهی و شرایط مورد نیاز برای ادامه حیات آن در سه رده مختلف جسمی بالغ، باردار و نوجوان مورد ارزیابی بیولوژیکی قرارداد شده است. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه‌ی توان بیولوژیکی هر سه رده‌ی ماهی قزل آلا رنگین

¹ Burbot

² Northern Pike

³ Longnose Sucker

⁴ Humberk Whitefish

کمان در مقابل توان هیدرولیکی سازه راه‌ماهی بازشدگی قائم در هر دو طرح ۱ و ۳ در حالت بهینه عمق جریان زیست‌محیطی، تمامی رده‌های ماهی قزل‌آلا رنگین کمان امکان‌شنای تداومی را در شیب ۱۰ درصد هر دو نوع سازه دارا می‌باشند و این امر نشان از قابلیت و توانایی بالای این نوع ماهی در شنای تداومی می‌باشد.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از تحلیل نتایج آزمایشگاهی راجاراتنام و همکاران (۱۹۸۶) و بهره‌گیری از شبیه‌سازی عددی مدل آزمایشگاهی مذکور با استفاده از نرم‌افزار *FLOW3D* نسبت به بررسی توانایی سازه راه‌ماهی شکاف قائم طرح ۱ و ۳ در عبور ماهیان ۶ گروه مختلف در حالت شنای انفجاری و ۱۶ گروه ماهی در حالت شنای مداوم مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور صحت‌سنجی مدل شبیه‌سازی شده از روش‌های خطای آماری پارامترهای مستخرج و همچنین بررسی تثبیت تغییرات تراز سطح جریان آب در دبی‌های مختلف سازه استفاده شده است. تحلیل و مقایسه‌ی نتایج بیولوژیکی و هیدرولیکی نشان داد که عمق پایاب در نظر گرفته شده توسط راجاراتنام و همکاران (۱۹۸۶) بهترین عمق پایاب به منظور عبور دادن ماهیان به سمت بالادست سازه در هر دو طرح ۱ و ۳ می‌باشد. در ادامه بررسی‌ها سازه‌ی راه‌ماهی طرح ۳ با توجه به استهلاک انرژی بیشتر و فراهم آوردن سرعت‌های بحرانی کمتر در بازشدگی‌های سازه امکان‌عبور تعداد گونه‌های بیشتری از ماهیان را در دبی‌های مختلف تأمین می‌کند. با بررسی توان بیولوژیکی ماهیان ۱۶ گروه مختلف در قالب ۵ دسته بندی برترین گونه‌ی ماهی ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در تمامی رده‌های سنی و جسمی شناخته شد و بیشترین توان بیولوژیکی غالب بر توان هیدرولیکی سازه را ارائه کرده است. با توجه به ناکامی گونه‌های متعددی از ماهیان در صعود از طریق شنای انفجاری و تداومی، شرایط جسمی این گونه ماهیان از جمله طول، عرض و یا وزن آنها بعنوان موانع فیزیولوژیکی موثر در توان بیولوژیکی پایین قلم‌داد گردد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر جریان زیست محیطی موجود در اکوسیستم‌های پایین دست سد، از لحاظ تراز سطح آب نقش بسیار تأمین‌کننده‌ای در توانایی ماهیان اکوسیستم برای صعود به بالادست سازه‌ی راه‌ماهی شکاف قائم نوع ۱ و ۳ می‌باشند بطوریکه کاهش ۷۵ درصدی عمق جریان پایاب کاهش میزان توانایی عبور ماهیان به مقدار ۴۱/۱۴٪ در طرح شماره ۱ و ۴۳/۶۶٪ را بدنبال خواهد داشت.

۵. مراجع

- بهاروند، س. (۱۳۹۵). مطالعه بمنظور ایجاد ضوابط طراحی هیدرولیکی سازه‌ی راه‌ماهی پیچان نوع C، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور. دزفول. ایران.
- بهروزی‌راد. (۱۳۹۲). حبابه محیط‌زیست رودخانه‌ها، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
- چناری، س. شیرالی، م. (۱۳۹۰). بررسی ریاضی‌الگوی جریان و توزیع سرعت در راه‌ماهی نوع استخر-سرریز با استفاده از مدل *FLOW3D*، نخستین همایش ملی جهاد اقتصادی در عرصه کشاورزی و منابع طبیعی. مرکز همایش‌های نظام مهندسی استان قم.
- صدیق‌کیا، م. ایوب‌زاده، م. حاجی اسماعیلی، م. (۱۳۹۴). بررسی الزامات برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها با روش‌های هیدرواکولوژیکی (مطالعه‌ی موردی: رودخانه دلچای تهران)، مجله‌ی اکوهیدرولوژی. دوره ۲. شماره ۳، ص ۲۸۹-۳۰۰.
- لشکرآرا، ب؛ قلاوند، ف؛ ذاکر مشفق، م.؛ ۱۳۹۵. ارزیابی عملکرد زیست محیطی راه‌ماهی دنیل. مجله مهندسی منابع آب. دوره نهم. پاییز ۱۳۹۵.
- مشعوف، م. خیری. ف. (۱۳۹۱). عملکرد و طراحی سازه راه‌ماهی استخر و سرریز و شبیه‌سازی عددی جریان با استفاده از نرم‌افزار *Fluent*، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی. دانشگاه آزاد تبریز. تبریز.
- Behlke, C.E., (1991). Power and energy Implications of passage structures for fish. Fisheries Bioengineering Symposium, AFS Symposium 10:289-298.
- Cea, L., Pena, L. and Puertas, J. (2007). Application of Several Depth Averaged turbulence models to simulate flow in vertical slot fishways. J. Hydraulic. Eng. PP 160.
- Clay, C.H., (1995). Design of Fishways and other Fish facilities, 2nd ed. Lewis Publishers, Ann Arbor, MI.
- Hunter, L.A., Mayor, L., (1986). Analysis of Fish Swimming Performance Data. Unpublished Report. Vol. I.
- Rajaratnam, N., Van der vinne, G., Katapodis, C., (1986). Hydraulic of vertical slot fishways. J. Hydraulic. Eng. 112, 909-927.
- Rajaratnam, N., Katapodis, C., (1983). A Review and Laboratory Study of Hydraulic of Denil Fisheries. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Science 1145, Fisheries and Oceans, Winnipeg, Canada,

181 pp.

13. Roache, P.J. (1994). Perspective: A method for uniform reporting of grid refinement studies. ASME Journal of Fluid Engineering. 116, pp. 405-413.

14. Tennant, D.L., (1976). Instream flow regims for fish wildlife. recreation and related environmental resouraces Fisheries 1:6-10.

15. Tharme, R. E., (2003). A global perspective on encironmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. Published online in Wiley InterScience.

16. Wu, S., Rajaratnam, N., Katapodis, C., (1999). Structure of flow in vertical slot fishway. J. Hydraul. Eng. 125(4), 351-360.