اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۶، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸، ص ۱۳-۱

طرح راه ماهی شبه‌طبیعی و ارزیابی کارایی آن با مدل شبیه‌سازی زیستگاه PHABSIM

سارا سادات بدری[۱]، سیدعلی ایوب‌زاده[۲*]، مهدی یاسی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، رشتهٔ سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. استاد گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. دانشیار مهندسی رودخانه، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۱/۱۴؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۶/۲۵)

چکیده

ساخت سازه‌های متعدد سبب قطع مسیر مهاجرت ماهیان رودخانه می‌شود. مؤثرترین روش برای برقراری مجدد جریان، ساختن راه ماهی است. راه ماهی شبه‌طبیعی از جمله سازه‌های احداث‌شده برای این منظور طی دو دههٔ اخیر در جهان است. به‌منظور احیای رودخانه‌ها و تأمین توسعهٔ پایدار سامانهٔ رودخانه، ضروری است تا مهندسان رودخانه در کشور به دنبال طراحی سازه‌هایی سازگار با محیط زیست، همچون راه ماهی شبه‌طبیعی باشند. هدف از پژوهش حاضر، ارائهٔ مبانی بومی‌سازی طراحی راه ماهی شبه‌طبیعی و طراحی آن برای یکی از رودخانه‌های ایران و ارزیابی آن به عنوان زیستگاه آبزیان است. برای پیاده‌سازی یک نمونهٔ طراحی، رودخانهٔ جاجرود به‌دلیل احداث چهار بند روی آن و قطع‌شدن مسیر مهاجرت گونه‌ها، انتخاب شد. مسیر کانال کنارگذر با استفاده از سرریزهایی با افت هیدرولیکی ۰/۲۵ متر طراحی شد و استخرهایی به عرض چهار و طول پنج متر و میزان تلفات انرژی ۹۸/۱ وات بر مترمکعب و خیزآب‌هایی به عرض دو متر در طراحی مورد توجه قرار گرفت. همچنین، با استفاده از مدل ریاضی PHABSIM ارزیابی مطلوبیت زیستگاه راه ماهی طراحی‌شده صورت گرفت و مشاهده شد که درصد عرض مطلوب رودخانه در دبی طراحی در استخرها برای هر یک از گروه های سنی به‌ترتیب۱/۹۶، ۴۳/۹۷ و ۴۱/۹۳ درصد و در خیزآب‌ها ۵/۸۲، ۳۸/۵ و ۱۸/۲ است. مطلوبیت زیستگاه استخرهای استراحت در مقایسه با زیستگاه‌های خیزآب مناسب‌تر بود و نتایج بررسی‌ها نشان داد ماهیان در زیستگاه خیزآب به خلاف زیستگاه استخرها، کناره‌های راه ماهی را به‌دلیل سرعت‌های مطلوب‌تر به‌عنوان زیستگاه انتخاب می‌کنند.

کلیدواژگان: راه ماهی شبه‌طبیعی، کانال کنارگذر، مطلوبیت زیستگاه، PHABSIM.

* نویسندهٔ مسئول

Email: ayyoub@modares.ac.ir

مقدمه

ساخت سازه‌های متعدد مانند سد و سرریزها، سبب تغییر خصوصیات رودخانه و سواحل طبیعی آن شده است و همچنین با کاهش سرعت جریان، کیفیت آب نیز تحت تأثیر قرار گرفته و مهم‌تر از همه، سبب قطع اتصال مسیر مهاجرت و تخم‌گذاری ماهیان از پایین‌دست به بالادست رودخانه و در نتیجه کاهش جمعیت آنها شده است [۱]. راه ماهی (نردبان ماهی یا پلکان ماهی)[1]، بهترین و مؤثرین روش برای برقراری مجدد جریان از بالادست به پایین‌دست و به عکس است. راه ماهی‌ها به‌طور کلی به دو دستهٔ «راه ماهی‌های تکنیکی[2]» و «راه ماهی‌های شبه‌طبیعی[3]» تقسیم می‌شوند. بیشتر راه ماهی‌هایی که تا کنون احداث شده از نوع راه ماهی‌های تکنیکی هستند، اما در چند دههٔ اخیر، در آلمان و اتریش، راه ماهی‌های شبه‌طبیعی که مسیری برای مهاجرت ماهیان هستند، احداث شده‌اند [۲]. این نوع راه ماهی‌ها مسیر قطع‌شدهٔ جریان را بسیار سریع‌تر و بهتر از راه ماهی‌های تکنیکی برقرار می کنند. طراحی راه ماهی شبه‌طبیعی در بسیاری از کشورهای جهان صورت گرفته اما تا کنون در ایران طراحی و احداث این نوع سازه بررسی نشده است. در تحقیق حاضر به بومی‌سازی راه ماهی شبه‌طبیعی در ایران و به‌طور موردی و خاص برای رودخانهٔ جاجرود، که شامل جمع‌آوری و بررسی مبانی و تجارب طراحی از منابع خارجی است و علاوه بر آن، با توجه به مبانی دسته‌بندی‌شده و اطلاعاتی که تا کنون موجود هستند، به طراحی یک نمونه راه ماهی شبه‌طبیعی از نوع کانال کنارگذر پرداخته می‌شود.

معرفی راه ماهی‌های شبه‌طبیعی

راه ماهی شبه‌طبیعی با استفاده از تخته‌سنگ‌ها، قطعات چوب و بقایای گیاهان برای تقلید از محیط طبیعی به جای استفاده از بتن و فولاد ساخته می‌شود و بنابراین خصوصیات هیدرودینامیکی و مورفولوژی مشابه رودخانهٔ اصلی در آن به وجود می‌آید. با توجه به این خصوصیات، راه ماهی شبه‌طبیعی به خلاف راه ماهی‌های دیگر، برای گونه‌های وسیعی از اندازه و توانایی شنای مختلف استفاده می‌شود [۳]. این راه ماهی‌ها آبراهه‌های عبوری برای ماهیان هستند که با درنظرگرفتن خصوصیات طبیعی رودخانهٔ اصلی طراحی می‌شوند و تا حدودی می‌توان این سازه را روشی برای احیا و بازسازی رودخانه در نظر گرفت، زیرا سبب بازسازی بخشی از زیستگاه رودخانهٔ قطع‌شده توسط سازه‌های دیگر می‌شود. به‌طور کلی، این راه ماهی را می‌توان به سه دستهٔ کانال کنارگذر[4]، رمپ بستر[5] و رمپ ماهی[6] تقسیم کرد [۴].

کانال‌های کنارگذر با پیروی از مسیر جریان رودخانهٔ اصلی احداث می‌شوند و موانع را دور می‌زنند. این کانال‌ها مسیری با شیب کم و سواحلی پوشیده از گیاهان دارند که سبب بازگرداندن تداوم جریان از بالادست به پایین‌دست می‌شود و همچنین زیستگاه مناسبی برای ماهیان و موجودات کفزی فراهم می‌کند (شکل ۱). این مسیرها می‌توانند به گونه‌ای طراحی شوند که در آنها امکان عبور قایق‌های کوچک نیز فراهم شود. در این‌صورت، قایقرانی در آن منطقه رواج می‌یابد و سبب پیشرفت در صنعت توریست و گردشگری می‌شود [۵].

روش و محدودهٔ انجام تحقیق

روش طراحی در تحقیق حاضر شامل سه بخش اصلی می‌شود که عبارت‌اند از:

الف) بررسی روش‌های متداول جهانی و کلاسه‌بندی شاخص‌های اصلی و مبانی طراحی راه ماهی شبه‌طبیعی؛

ب) انجام طراحی راه ماهی شبه‌طبیعی و تعیین نیازهای ماهی شاخص، عرض، عمق، شیب بستر، مواد بستری این آبراهه با استفاده از اطلاعات موجود برای محدودهٔ مد نظر و با استفاده از مبانی طراحی مرحلهٔ قبل؛

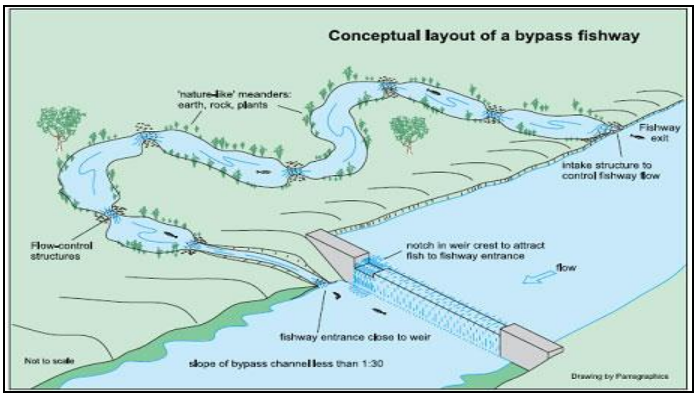
ج) بررسی مطلوبیت فیزیک زیستگاه با استفاده از مدل ریاضی PHABSIM.

شاخص‌های اصلی در طراحی راه ماهی

محل احداث ورودی راه ماهی

مهم‌ترین عامل در موفقیت یک راه ماهی، ظرفیت و محل قرارگیری ورودی آن است. اگر ظرفیت ورودی راه ماهی توان عبور سیل ماهی‌های مهاجر را نداشته باشد، ممکن است مهاجرت ماهی‌ها در زمان‌هایی به تأخیر بیفتد و در

1. Fish way
2. Technical Fishways
3. Nature- Like Fishways
4. Bypass channel
5. Bottom Ramp
6. Fish Ramp



شکل ۱. راه ماهی کانال کنارگذر [۲]

نهایت ممکن است بعضی از ماهی‌ها هرگز وارد راه ماهی نشده و تلف شوند. ماهی‌ها و بی‌مهرگان بیشتر به سمت بالادست و در امتداد جریان اصلی مهاجرت می‌کنند. برای آنکه ورودی راه ماهی توسط ماهیان مهاجر شناسایی شود، ضروری است در سواحلی راه ماهی احداث شود که جریان حداکثر عبور می‌کند. ورودی راه ماهی نیز باید در بالادست‌ترین نقطهٔ ممکن (نزدیک به مانع) قرار گیرد تا از ایجاد مناطق پرتلاطم و همچنین فضاهای مرده جلوگیری شود [۲ و ۵]. معیارهای یادشده در منابع خارجی برای ایران نیز قابل اجرا هستند، همان طور که ورودی راه ماهی‌های تکنیکی احداث‌شده در سد سردآبرود، سد انحرافی چالوس و سد انحرافی تجن نیز براساس جهت اصلی جریان ساخته شده است [۶]. از جمله مشکلات موجود در ورودی راه ماهی‌های تکنیکی، تجمع رسوبات در ورودی است که سبب کاهش عمق و نیز کاهش جریان جاذب برای ماهیان می‌شود و ماهیان قادر به پیداکردن مسیر نیستند. برای جلوگیری از شرایط یادشده، پاکسازی و نگهداری منظم این سازه ضروری است. خوشبختانه، راه ماهی شبه‌طبیعی به نگهداری و کنترل کمتری احتیاج دارد، اما با توجه به فراوانی رسوبات موجود در رودخانه‌های ایران، کنترل دوره‌ای این سازه در بهبود عملکرد آن مؤثر خواهد بود.

خروجی راه ماهی

در بالادست سد، راه ماهی در محلی باید به پشت سد وارد شود که ماهی به‌راحتی بتواند در مخزن بالادست مستقر شود و پایدار بماند. ماهی باید از خطر افتادن به پایین‌دست جریان و یا افتادن در دهانهٔ آبگیرها دور باشد. بنابراین، برای جلوگیری از کشیده‌شدن ماهی به پایین‌دست، ضروری است که خروجی راه ماهی حداقل پنج متر با مانع فاصله داشته باشد. همچنین، سرعت در این ناحیه باید کمتر از ۰/۵ تا ۰/۶ متر بر ثانیه باشد. به‌طور کلی، مورفولوژی رودخانه در محل مد نظر برای خروجی باید بررسی شود و از مسدودشدن آن توسط رسوبات و یا مصالح دیگر جلوگیری کرد. جریان ورودی باید به گونه‌ای باشد که کانال در بیشتر جریان‌ها پایدار بماند و علاوه بر آن در شرایط کمترین تراز سطح آب، حداقل آب مورد نیاز در کانال فراهم شود [۲ و ۵]. رعایت این معیارها در بهبود عملکرد راه ماهی بسیار مؤثر است.

دبی و شرایط هیدرولیکی جریان در راه ماهی

تلاطم جریان در راه ماهی تا حد امکان باید کم باشد تا تمامی گونه‌ها بتوانند از این مسیر عبور کنند. برای این منظور، سرعت جریان به‌خصوص در مسیرهای باریک مانند روزنه‌ها، نباید از دو متر بر ثانیه بیشتر شود و متوسط سرعت جریان در راه ماهی باید کمتر از این مقدار باشد [۲ و ۵]. البته، این سرعت جریان به نوع گونه‌های ماهی عبوری از راه ماهی نیز بستگی دارد و طبق تقسیم‌بندی ووگل [۷]، برای ماهی‌های قزل‌آلا و سالمونید[1] بیشترین سرعت جریان ms^{-1} ۲، برای سیپرینیدها[2] ۱/۵ms^{-1} و برای ماهی‌های جوان و کوچک ms^{-1} ۱ در نظر گرفته می‌شود. مطابق دستورالعمل‌های جهانی، سرعت بیشترین جریان براساس توانایی‌های شنای ماهیان انتخاب می شود. هرچه گونه‌ها توانایی شنای بیشتری داشته باشند، میزان سرعت جریان قابل تحمل برای آنها نیز بیشتر خواهد بود.

1. Salmonidae
2. Cyprinidae

براساس پروژه‌های انجام‌شده در داخل کشور، بیشترین سرعت در آنها نیز کمتر از دو متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. اما این معیار براساس توانایی شنای گونه‌های خارجی است، بنابراین توصیه می‌شود با توجه به توانایی شنای گونه‌های داخلی، این معیار استخراج شود. همچنین، با معلوم‌بودن بیشترین سرعت جریان قابل تحمل برای گونهٔ آبزی مد نظر می‌توان با استفاده از رابطهٔ ۱ میزان اختلاف تراز بالادست و پایین‌دست هر سرریز را تعیین کرد. در رابطهٔ یادشده Δh افت سطح آب بر حسب متر و V_{max} سرعت حداکثر بر حسب متر بر ثانیه است.

$$V_{max} = \sqrt{2g\Delta h} \qquad (۱)$$

علاوه بر سرعت جریان، تلاطم در استخرهای استراحت ماهی[1] نیز باید کنترل شود و این تلاطم با تلفات انرژی در واحد حجم[2] سنجیده می‌شود. محدودهٔ این انرژی به نوع گونهٔ آبزی مد نظر بستگی دارد. در جدول ۱ که براساس منطقهٔ زندگی ماهیان که نوعی تقسیم‌بندی اروپایی است، محدودهٔ تلفات انرژی در واحد حجم و همچنین شیب این مناطق گفته شده است. به‌طور کلی، برای گروه ماهیان قزل‌آلا ۱۵۰-۱۰۰ Wm^{-3} در نظر گرفته می‌شود، اما برای ماهیان سالمونید گاهی این مقادیر بیشتر نیز می‌شود (۲۰۰-۱۵۰ Wm^{-3}) [۹]. همچنین، با توجه به آنکه تلفات انرژی در واحد حجم از نسبت توان ورودی به استخر به حجم استخر به دست می‌آید، می‌توان به کمک آن ابعاد استخر را نیز با استفاده از رابطهٔ ۲ برآورد کرد. در این رابطه E تلفات انرژی در واحد حجم (Wm^{-3})، ρ جرم مخصوص جریان (kgm^{-3})، g شتاب ثقل (ms^{-1})، Δh اختلاف سطح آب بین دو استخر (m)، Q دبی جریان (m^3s^{-1})، A_P سطح مقطع استخر (m^2) و L_P طول استخر (m) است.

$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{A_p L_p} \qquad (۲)$$

جدول ۱. میزان تلفات انرژی در واحد حجم (E) استخرها براساس مناطق ماهیان [۱۰]

منطقهٔ ماهیان	بیشترین شیب بستر	تلفات انرژی در واحد حجم
منطقهٔ قزل‌آلا (Trout Zone)	٪ ۵	Wm^{-3} ۱۵۰-۱۰۰
منطقهٔ آزاد ماهی (Grayling Zone)	٪ ۰/۷۵	Wm^{-3} ۱۰۰-۵۰
منطقهٔ باربل (Barbel Zone)	٪ ۰/۳۰	Wm^{-3} ۵۰-۱۰
منطقهٔ کپور (Bream Zone)	٪ ۰/۱۰	Wm^{-3} ۵۰-۱۰

مطابق پژوهش‌های صورت‌گرفته، تلفات انرژی در واحد حجم در کشور ایران در محدودهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰ وات بر مترمکعب، ترجیحاً نزدیک حد پایین به‌دلیل وجود گونه‌های متنوع و ضعیف‌تر در بیشتر رودخانه‌ها توصیه می‌شود. متأسفانه، مشاهده شده است که در راه ماهی‌های احداث‌شده در سدهای انحرافی کشور، میزان تلفات انرژی بسیار زیاد است و بنابراین ماهی قادر به عبور از آنها نخواهد بود. البته، در راه ماهی احداث‌شده در سد انحرافی چالوس، میزان تلفات انرژی ۲۱۴ وات بر مترمکعب بوده که به‌دلیل قوی‌بودن گونه‌های موجود در آن رودخانه، این میزان قابل قبول است. به‌طور کلی، با توجه به توانایی تحمل زیاد ماهی قزل‌آلای خال‌قرمز، این معیار برای ماهی یادشده حدود ۱۰۰ وات بر مترمکعب توصیه می شود. اختلاف سطح آب میان دو استخر (Δh) نیز به توانایی شنای ماهیان و توانایی پرش آنها بستگی دارد. برای شرایط بهینه و برای ماهیان قزل آلا عمق کمتر از ۰/۲ متر، برای گروه ماهیان آزاد کمتر از ۰/۱۵ متر و برای گروه ماهیان باربل کمتر از ۰/۱۳ متر اختلاف تراز باید در نظر گرفته شود [۸]. البته، شایان یادآوری است که این مقادیر بیشتر در طراحی راه ماهی‌های تکنیکی کاربرد دارد در صورتی که در طراحی راه ماهی‌های شبه‌طبیعی، به‌دلیل استفاده از مصالح طبیعی، این اختلاف می‌تواند بیشتر باشد و به طور مثال برای ماهیان قزل‌آلا تا ۰/۳ متر نیز افزایش یابد. با توجه به پژوهش‌های داخلی صورت‌گرفته و بررسی گونه‌هایی که ارزش اقتصادی و شیلاتی دارند و به رودخانه‌های شمال ایران مهاجرت می‌کنند، خصوصیات بیومتری بیش از ۲۰ گونهٔ آنها از منابع مختلف استخراج شد. با توجه به اینکه سرعت ماهی با طول آن رابطهٔ مستقیم دارد، با استفاده از فرمول ژو [۱۱] (رابطهٔ

1. Pools
2. Volumetric Dissipated Energy

۳)، سرعت گونه‌هایی که طول کمتری داشتند، محاسبه شد. سرعت حداکثر بیش از ۲/۱۵ متر بر ثانیه در دمای ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد، که دمای متوسط رودخانه‌ها در زمان مهاجرت این ماهی بود، برآورد شد. با درنظرگرفتن اختلاف ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری بین حوضچه، سرعت حداکثر معادل ۱/۹۸ متر بر ثانیه روی سرریز به دست می‌آید که از سرعت حداکثر ضعیف‌ترین گونهٔ ماهی کمتر بوده و بنابراین مناسب است. بر این اساس، در رودخانه‌های دارای ماهیانی با میزان بیشترین سرعت برابر این مقدار، اختلاف بار آبی بین حوضچه‌ها حدود ۲۰ سانتی‌متر توصیه می‌شود. در مواردی که ضعیف‌ترین گونه سرعت حداکثر بیش از این مقدار داشته باشد، مقادیر اختلاف ارتفاع بین حوضچه‌ها به ۲۲/۵ سانتی‌متر یا بیشتر تا ۳۰ سانتی‌متر قابل اعمال خواهد بود. هر گونه افزایش این میزان باید با توجه به توانایی شنای گونه‌ها و مطالعات هیدرولیک صورت گیرد. در این رابطه U بیشترین سرعت شنای ماهی برحسب متر بر ثانیه، L_F طول ماهی و t زمان کشش و انقباض ماهیچه‌ها است.

$$U = \frac{۰/۷L_F}{۲t} \qquad (۳)$$

علاوه بر تلاطم، انتخاب میزان جریان جاذب خروجی از مسیر (ورودی ماهی) اهمیت زیادی دارد. میزان این جریان بسته به منطقه، میزان آب موجود، زمان مهاجرت ماهیان و هدف طرح است و بر این اساس مقادیر مختلفی در مراجع مشاهده می‌شود. براساس دستورالعمل ایتالیایی پراتو [۵] میزان جریان منحرف‌شده برای راه ماهی، یک تا پنج درصد متوسط جریان اصلی رودخانه در زمان مهاجرت ماهی است، اما براساس دستورالعمل انگلیسی [۱۲] میزان دبی باید بیش از پنج درصد متوسط سالانهٔ جریان اصلی رودخانه باشد. همچنین، در کنار درصدهای ارائه‌شده، نمودار تداوم جریان رودخانه نیز بررسی شده و دبی حداقل و حداکثر آن براساس $Q_{10\%}$ و $Q_{90\%}$ که به‌ترتیب احتمال وقوع این دبی ۱۰ و ۹۰ درصد بیشتر از آن مقدار است. در صورتی که $Q_{90\%}$ بیش از دبی انتخاب شده باشد، می‌توان از برقراربودن جریان در راه ماهی در کل سال مطمئن شد.

در ایران، میزان دبی پیشنهادی عبوری از راه ماهی حدود یک تا ۱۰ درصد دبی کل رودخانه توصیه شده است [۶]. حد پایین برای رودخانه‌های دارای دبی زیاد و حد بالا برای رودخانه‌های دارای جریان کم توصیه می‌شود. البته، در ایران فصل مهاجرت ماهیان تا کنون در نظر گرفته نشده است، در صورتی که این گزینه نیز اهمیت زیادی دارد. در صورتی که گونهٔ مد نظر در فصل زمستان یا بهار، که معمولاً پرآب‌ترین فصل هستند، بررسی شود، مطابق دستورالعمل ایتالیایی می‌توان ۱ ـ ۵ درصد متوسط دبی فصل مهاجرت را نیز در نظر گرفت. در غیر این‌صورت به عنوان پیشنهاد کلی، انتخاب درصدی از متوسط جریان سالیانهٔ رودخانهٔ اصلی توصیه می‌شود. طی برخی شرایط در ایران، چنانچه رودخانهٔ اصلی مد نظر علاوه بر تأمین آب، در تأمین برق یا مصارف دیگر کاربرد داشته باشد، میزان آب انحرافی برای راه ماهی کمتر در نظر گرفته می‌شود و از آن برای مصارفی مانند قایقرانی استفاده نخواهد شد.

یکی از فاکتورهای دیگر هیدرولیکی، عمق آب در کانال است. عمق آب باید به گونه‌ای باشد که ماهی در آن کاملاً مستغرق شود و همچنین بتواند زیستگاه مناسبی را برای ماهی فراهم کند. مطابق جدول‌های ارائه‌شده در منابع مشاهده می‌شود که برای گونه‌های قزل‌آلا عمق بیش از ۰/۴ متر، برای گروه ماهیان آزاد عمق بیش از ۰/۴۵ متر و برای گروه ماهیان باربل عمق بیش از ۰/۵ متر لازم است [۸]. یکی دیگر از روش‌های قابل استفاده برای برآورد حداقل عمق مورد نیاز برای گونه‌ها، استفاده از نمودارهای مطلوبیت زیستگاه تهیه‌شده توسط محققان است. همچنین در صورت رعایت این معیارها، احتمال استفادهٔ گونه‌ها از کانال مد نظر به عنوان یک زیستگاه نیز افزایش می‌یابد. مطابق نمودارهای مطلوبیت «رالی» [۱۳]. حداقل عمق لازم برای گونهٔ قزل‌آلا در دورهٔ تخم‌ریزی بیش از ۰/۲ متر، برای بچه‌ماهی[1] بین ۰/۴ تا ۰/۶ متر و برای ماهی نابالغ[2] و بالغ[3] بین ۰/۵ تا یک متر است. برای بومی‌سازی پارامتر عمق، استفاده از نمودارهای مطلوبیت زیستگاه داخلی مقادیر دقیق‌تری را ارائه خواهد داد. در این نمودارها مشاهده می‌شود که بیشترین مطلوبیت زیستگاه برای ماهی نابالغ در عمق ۰/۴ متر و برای ماهی بالغ بیش از ۰/۴ است.

1. Fry
2. Juvenile
3. Adult

طراحی کانال کنارگذر

در طراحی راه ماهی شبه‌طبیعی از نوع کانال کنارگذر، ضوابطی توسط [۲FAO] ارائه شد. در این ضوابط ابتدا شیب کانال بررسی شده است و بسته به طبیعت رودخانه، شیب از ۱:۱۰۰ تا حداکثر ۱:۲۰ پیشنهاد می‌شود. عرض کف مقطع مد نظر باید متغیر باشد و کمترین مقدار آن ۰/۸ متر است. همچنین، کمترین عمق آب لازم در کانال ۰/۲ متر است که مطابق شاخص‌های طراحی، این مقدار با توجه به نوع گونه‌های موجود تعیین می‌شود. برای برآورد دبی جریان آبراهه‌های سطحی از معادلهٔ تجربی مانینگ[1] استفاده می‌شود. در طراحی استخرهای کانال کنارگذر با استفاده از مصالح طبیعی، از رابطهٔ سرریز استفاده می‌شود. طراحی مقطع عرضی کانال به گونه‌ای که طی مسیر پهن و باریک شود، سبب طبیعی‌تر نشان‌دادن کانال کنارگذر می‌شود. پایداری و مقاوم‌سازی مقطع عرضی نیز معمولاً ضروری است. دستورالعمل‌های متعدد ساماندهی رودخانه، در انتخاب بهترین روش مقاوم‌سازی مقطع عرضی می‌تواند مفید باشد. اما به طور کلی در بستر کانال از یک یا چند لایه ریپ‌رپ شامل شن‌های درشت و یا مصالح ژئوتکستایل و یا حتی سنگ‌های درشت استفاده می‌شود. فضای ایجادشده میان این ذرات نیز می‌تواند محل مناسبی برای تخم‌گذاری ماهیان و زیستگاهی برای بی‌مهرگان کفزی باشد [۲]. برای برآورد ابعاد ذرات تشکیل‌دهندهٔ لایهٔ ریپ‌رپ، روابط متعددی ارائه شده‌اند و بیشتر آنها به‌دلیل کاربرد در طراحی رمپ‌ها، معمولاً برای کانال‌هایی با شیب زیاد استفاده می‌شوند. بنابراین، از میان روابط ارائه‌شده رابطهٔ رابینسون و همکارانش [۱۵]، برای شیب‌های کوچک‌تر از ۰/۱ بهترین انتخاب در طراحی کانال کنارگذر است (رابطهٔ ۴).

$$d = \mathrm{Kq}^{\frac{۲}{۳}}\mathrm{S}^{\frac{۷}{۹}} \qquad (۴)$$

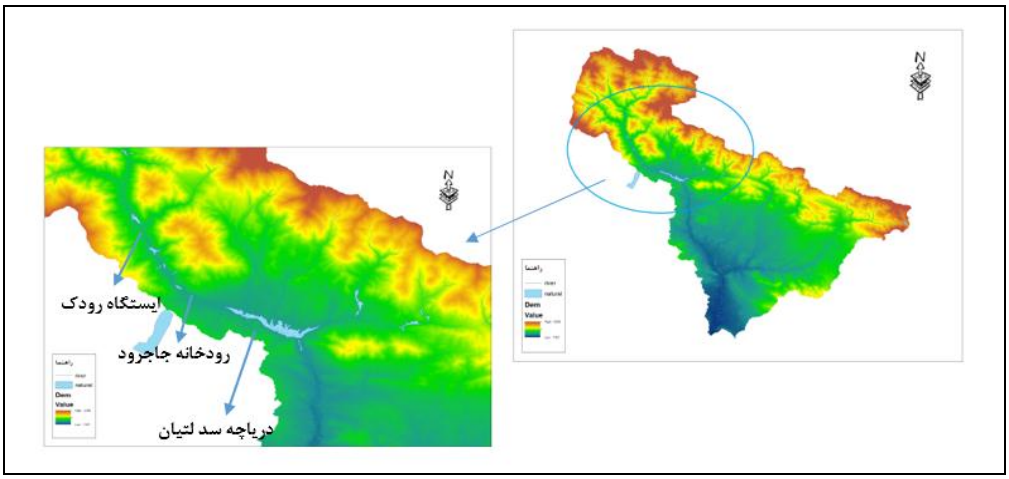
در این رابطه، S شیب کانال، q دبی در واحد عرض (m^2s^{-1})، d اندازهٔ ذرات بر حسب متر و K ضریب پایداری است که در صورت پایداری کامل این ضریب برابر ۱/۸ و در صورت ناپایداری ۱/۲ خواهد بود. علاوه بر لایهٔ ریپ‌رپ، توصیه می‌شود سواحل اطراف با بوته و تنهٔ درختان نیز حفاظت شوند. همچنین، استفاده از این روش سبب ایجاد سایهٔ جزئی توسط درختان شده و تأثیر فراوانی بر مهاجرت ماهیان خواهد داشت، زیرا می‌تواند پناهگاه مناسبی هنگام فرار از شکارچیان باشد [۲].

منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقهٔ جاجرود و روستاهای اطراف آن از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین مراکز سیاحت و تفرج در شرق تهران است. دریاچهٔ سد لتیان با وسعتی حدود ۳۳۰ هکتار در ۲۵ کیلومتری شمال شرقی تهران روی رودخانهٔ جاجرود ایجاد شده است و در این دریاچه انواع ماهی نیز پرورش داده می‌شود. حوضهٔ آبخیز رودک واقع در شمال شرقی تهران با وسعتی معادل ۴۲۰ کیلومترمربع از مهم‌ترین منابع تأمین‌کنندهٔ آب سد لتیان است. ایستگاه رودک که در موقعیت جغرافیایی طول ″۳۳ °۵۱ و عرض ″۵۱ °۳۵ قرار دارد، روی رودخانهٔ جاجرود واقع شده است [۱۶]. شکل ۲ نقشهٔ DEM رودخانهٔ جاجرود و منطقهٔ مطالعه‌شده را نمایش می‌دهد.

در منطقهٔ لواسانات، طرح ساماندهی و معماری رودخانهٔ جاجرود در بالادست سد لتیان از پل لشکرک تا ابتدای حریم مخزن سد لتیان صورت گرفته است. این بازه از رودخانه که حدود دو کیلومتر است، بین دو ایستگاه رودک و لتیان قرار دارد. در این بازه عرض رودخانه در بالادست ۶۵ متر و در پایین‌دست به ۲۶۵ متر می‌رسد. شیب آن نیز حدود ۰/۰۱۱ است. برای ملاحظات گردشگری و توریسم، حاشیه‌های این رودخانه پهنه‌بندی شده و مسیرهای پیاده‌روی، فضای بازی کودکان، زمین‌های بازی، دریاچهٔ مصنوعی و اسب‌سواری برای این محدوده در نظر گرفته شده است. طی طرح زیباسازی این رودخانه و ایجاد پهنه‌های آبی، چهار بند با مصالح سنگ و ملات احداث شده و اطراف آن نیز از پوشش‌های گابیونی، سنگ و ملات استفاده شد. ارتفاع هر بند حدود ۲ــ ۲/۵ متر است. احداث این بندها سبب ته‌نشست رسوبات، کم‌کردن شیب رودخانه و کاهش سرعت جریان می‌شود، اما در مسیر تخم‌گذاری و مهاجرت ماهیان موجود تداخل ایجاد می‌کند.

1. Manning formula



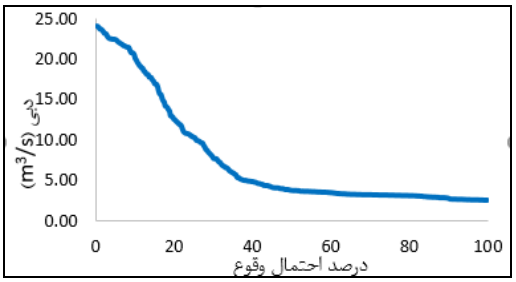
شکل ۲. نقشهٔ DEM رودخانهٔ جاجرود و منطقهٔ مطالعه‌شده

مشخصات بیولوژیکی رودخانهٔ جاجرود

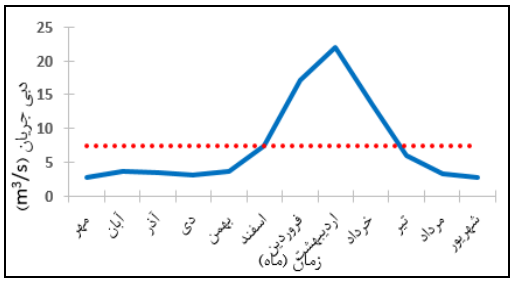
مطابق تحقیقات میدانی صورت‌گرفته در این منطقه، در رودخانهٔ جاجرود بیشتر گونه‌های سیپرینند و نیز گونهٔ قزل‌آلای خال‌قرمز از دستهٔ ماهیان سالمونید مشاهده می‌شود. با توجه به دستورالعمل‌هایی که تا کنون ارائه شده‌اند، بیشتر طرح‌های اجراشده برای گونه‌های سالمونید بوده است، اگرچه به‌منظور ایجاد یک طرح معتبر، باید پژوهش های دقیق برای دوره های زیستی، تولید مثل و سایر موارد بیولوژیک ماهی صورت گیرد. در حال حاضر تنها گونه‌ای که به‌طور گسترده در ایران کلیهٔ رفتارهای محیطی آن بررسی شده است، قزل آلای خال‌قرمز است. بنابراین، طراحی راه ماهی در تحقیق حاضر براساس ماهی شاخص رودخانه یعنی قزل آلای خال‌قرمز صورت گرفته است. در این طرح سعی شده است که در صورت وجود اطلاعات، شرایط اضطراری برای گونه‌های سیپرینند نیز رعایت شود.

مشخصات هیدرولوژیکی رودخانهٔ جاجرود

براساس اطلاعات آماری جمع‌آوری‌شده در ایستگاه رودک، متوسط دبی جریان در ماه‌های سال محاسبه شده و با استفاده از آنها هیدروگراف دبی جریان رسم شد (شکل ۳-الف). همان طور که مشاهده می‌شود، بیشترین دبی در ماه اردیبهشت و به‌طور کلی در فصل بهار است. علت این پدیده باران‌های بهاری و نیز ذوب‌شدن برف‌ها در ارتفاعات با آغاز فصل گرما است که سبب افزایش دبی رودخانه می‌شود. اما کمترین دبی در ماه شهریور که گرم‌ترین ماه سال بوده و میزان تبخیر بسیار زیاد است، رخ می‌دهد. براساس این اطلاعات، دبی متوسط سالانه برابر با ۷/۴۶ مترمکعب بر ثانیه است. همچنین، با رسم نمودار تداوم جریان (شکل ۳-ب)، دبی‌های حداکثر و حداقل به‌خوبی قابل مشاهده هستند که براساس آن، دبی‌های برابر و یا بزرگ‌تر از درصد احتمال وقوع ۱۰، ۵۰، ۹۰ و ۹۵ درصد در آن به‌ترتیب معادل ۲۰/۲، ۳/۷۲، ۲/۷ و ۲/۵۸ مترمکعب بر ثانیه است.



(الف)



(ب)

شکل ۳-الف. هیدروگراف دبی جریان ماهانه در رودخانهٔ جاجرود- ایستگاه رودک

شکل ۳-ب. نمودار تداوم جریان رودخانهٔ جاجرود- ایستگاه رودک

میزان دبی کانال کنارگذر براساس دستورالعمل ایتالیایی پراتو [۵] ۱ـ ۵ درصد متوسط جریان اصلی رودخانه در زمان مهاجرت ماهی است، اما این شرایط زمانی کاربرد خواهد داشت که ماهیان در فصول پرآب مهاجرت کنند. بنابراین، برای گونه‌های تحقیق حاضر که در فصل پاییز مهاجرت می‌کنند، مناسب نیست. براساس دستورالعمل انگلیسی [۱۲] میزان دبی باید بیش از پنج درصد متوسط سالانهٔ جریان اصلی رودخانه باشد. کمترین عمق لازم برای عبور ماهیان و نیز فعالیت قایقرانی، ۰/۴ متر است و براساس شیب تعیین‌شده برای کانال کنارگذر (۱:۲۰۰)، حدود ۱۰ درصد متوسط سالانهٔ جریان اصلی رودخانه مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین شرایط را فراهم می‌کند. بنابراین، میزان ۰/۸ مترمکعب بر ثانیه دبی برای کانال کنارگذر در نظر گرفته خواهد شد. به‌طور قطع، هرچه دبی کانال کنارگذر بیشتر باشد، شرایط بهتری برای ماهیان و فعالیت قایقرانی فراهم می‌شود، اما با توجه به شرایط منطقه‌ای و اقتصادی، این میزان مناسب‌ترین انتخاب است. برای شبیه‌سازی نیم‌رخ سطح آب از نرم‌افزار HEC-RAS 4.0 استفاده شد و براساس نتایج به‌دست‌آمده میزان تراز سطح آب در ورودی جریان در دبی متوسط سالیانه برابر با ۱۶۲۳/۱۷ متر با عمق ۰/۷۶ متر است. همچنین، اختلاف تراز کل در دبی متوسط جریان از بالادست به پایین‌دست برابر ۹/۸۵ متر برآورد شد. به علاوه، ضروری است برای جلوگیری از وقوع سیلاب و ورود آب به مناطق اطراف، در طراحی کانال میزان اختلاف سطح آب در دبی‌های حداکثر و حداقل بررسی شود. بنابراین، میزان تغییرات سطح آب در سال‌های متوالی در دبی‌های با احتمال وقوع ۱۰ و ۹۵ درصد بررسی شده و این اختلاف کمتر از ۰/۶ متر برآورد شد.

یافته‌ها

طراحی سرریزها

با توجه به اینکه کانال کنارگذر آبراهه‌ای شبه‌طبیعی و یا نزدیک به طبیعت است، از سرریزهایی با مصالح طبیعی استفاده شد. مناسب‌ترین سرریز انتخاب‌شده، سرریز مستطیلی با استفاده از بلوک و تخته‌های سنگی است. با توجه به زیادبودن اختلاف تراز پایاب و سراب و همچنین وجود گونه‌های مقاوم مانند ماهی قزل آلا، میزان هد عبوری ۰/۲۵ متر در نظر گرفته شده است. همچنین، با محاسبهٔ سرعت حداکثر برای میزان هد انتخابی، سرعتی معادل ۲/۲۱ متر بر ثانیه برآورد خواهد شد و با مقایسهٔ آن با سرعت انفجاری ماهی قزل آلای خال‌قرمز، مشاهده می‌شود که این سرعت از حداکثر سرعت ماهی (۲/۴۱ متر بر ثانیه) کمتر است و بنابراین ماهی قادر به عبور از سرریز خواهد بود [۱۷]. سرریزها با استفاده از رابطهٔ ۶ طراحی شده‌اند و عرض بازشدگی سرریز ۲/۷۵ متر برآورد می‌شود. شکل ۵ نمونهٔ سرریز سنگی طراحی‌شده برای کانال مد نظر است. با توجه به طبیعی‌بودن کانال مد نظر و براساس پروژه‌های مشابه صورت‌گرفته، شیب طولی مناسب برای این آبراهه ۰/۰۰۵ (۱:۲۰۰) انتخاب می‌شود. براساس این شیب و دبی تعیین‌شده، اندازهٔ ذرات تشکیل‌دهندهٔ لایهٔ ریپ‌رپ ۲۰ میلی‌متر (شن ریز) برآورد خواهد شد. مطابق نمودارهای مطلوبیت زیستگاه ماهی قزل آلا خال‌قرمز ارائه‌شده توسط رالی [۱۳] مشاهده می‌شود که مناسب‌ترین مصالح برای این گونه‌ها ماسه و شن ریز است اما براساس نمودارهای تهیه‌شده توسط صدیق‌کیا [۱۴]، برای گونه‌های قزل‌آلای خال‌قرمز در کشور ایران، مناسب‌ترین مصالح، شن درشت و قلوه‌سنگ است. بنابراین، مناسب‌ترین شرایط، ایجاد دو یا چند لایهٔ ریپ‌رپ با مصالح مختلف است. در این پروژه برای بستر کانال از یک لایهٔ ۵۰ میلی‌متری با ذرات به قطر ۲۰ میلی‌متر، یک لایه به ضخامت ۲۰۰ میلی‌متر با ذرات شن درشت (ذرات به قطر ۶۴ تا ۱۰۰ میلی‌متر) استفاده خواهد شد. همچنین، طی مسیر از قلوه‌سنگ‌های بزرگ به قطر ۳۰۰ میلی‌متر نیز استفاده خواهد شد.

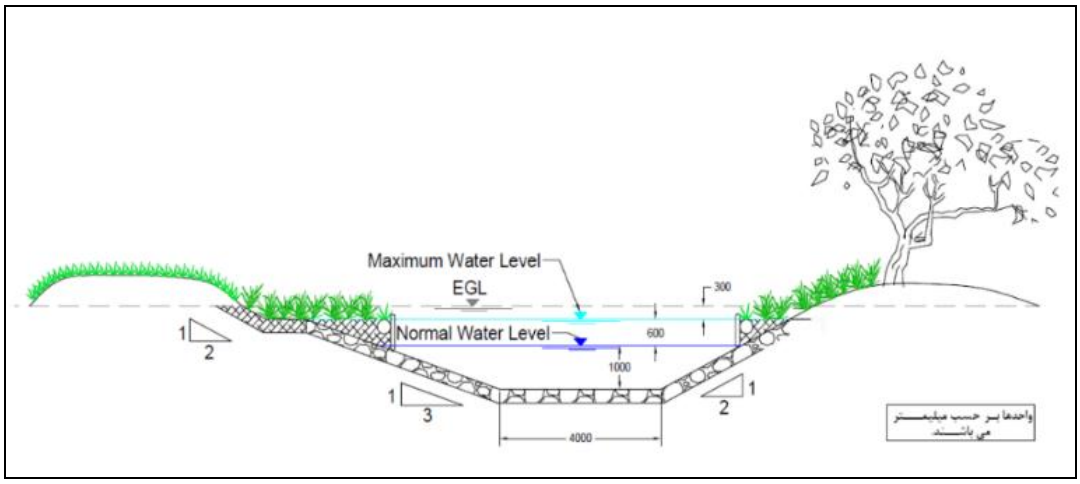
طراحی استخر استراحت ماهی

طی مسیر کانال کنارگذر ضروری است مناطقی برای استراحت ماهیان فراهم شود. در این نواحی سرعت و تلاطم جریان بسیار کم است. تلاطم با تلفات انرژی در واحد حجم که به نوع گونه‌ها بستگی دارد، سنجیده می‌شود. با توجه به جدول ۱، محدودهٔ تلفات انرژی در واحد حجم برای گروه ماهیان قزل آلا $۱۰۰ - ۱۵۰\ Wm^{-3}$ در نظر گرفته می‌شود. به‌دلیل وجود ماهیانی ضعیف‌تر مانند گونه‌های سیپرینند در رودخانهٔ جاجرود، میزان تلفات انرژی در واحد حجم کمتر از $۱۰۰\ Wm^{-3}$ در نظر گرفته می‌شود. عرض مناسب استخرها مطابق با دستورالعمل‌های یادشده ۱/۵ تا دو برابر بازشدگی سرریزها در نظر گرفته

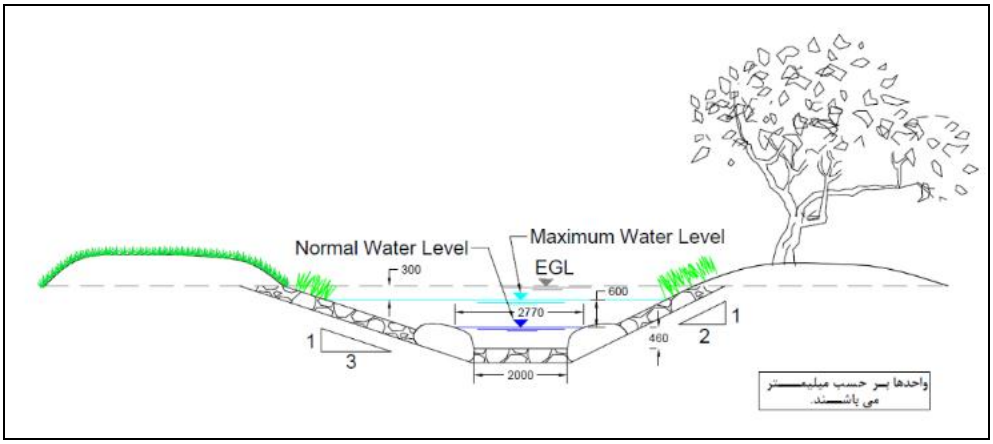
می‌شود. همچنین، به‌دلیل استفاده از این کانال به عنوان مسیر عبور کایاک، طول استخرها نیز بیش از چهار متر مناسب اند. میزان افت در هر سرریز ۰/۲۵ متر در نظر گرفته شد، بر این اساس به طراحی این استخرها پرداخته شده و نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد استخرهایی با عرض چهار متر، عمق یک متر و طول پنج متر مناسب‌ترین شرایط با کمترین تلاطم را فراهم می‌کنند. با داشتن این ابعاد، میزان تلفات انرژی در واحد حجم ۹۸/۱Wm^{-3} برآورد می‌شود که برای گونه‌های موجود مناسب و قابل تحمل است. مصالح به‌کاررفته در استخرها مشابه مصالح استفاده‌شده برای سرریزها است و همچنین برای افزایش پایداری می‌توان اطراف آن گیاهان و درختان مختلف کاشت. شکل ۴ نقشهٔ مقطع نهایی استخر استراحت ماهیان را نمایش می‌دهد.

طراحی خیزآب

طی مسیر کانال گذر پس از استخرهای استراحت ماهی، مناطق خیزآب ایجاد می‌شوند. خیزآب‌ها یکی از زیستگاه‌های شاخص در آبراهه‌های سرد آبی هستند و می‌توانند منبع تأمین مواد غذایی باشند. همچنین، یکی از ویژگی‌های مهم این نوع زیستگاه، وجود اکسیژن کافی محلول در آب در محیط آبی است. با درنظرگرفتن عرض دو متر، عمق مناسب برای این محدوده ۰/۴۶ متر برآورد می‌شود که با توجه به نمودارهای مطلوبیت زیستگاه، این میزان عمق و عرض برای عبور گونه‌های این رودخانه مناسب است. همچنین، به‌دلیل داشتن عمق ایده‌آل، زیستگاه مناسبی برای گونه‌ها فراهم می‌شود. شکل ۵ نقشهٔ مقطع نهایی بخش خیزآب به همراه سرریزهای سنگی را نمایش می‌دهد.



شکل ۴. مقطع عرضی طراحی‌شدهٔ استخر استراحت ماهی برای کانال کنارگذر با سرریز سنگی



شکل ۵. مقطع عرضی طراحی‌شدهٔ خیزآب برای کانال کنارگذر با سرریز سنگی

پلان و نیمرخ طولی کانال کنارگذر

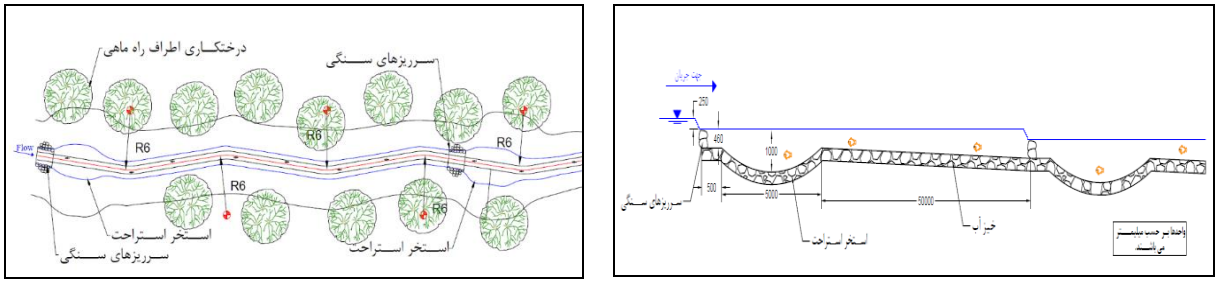
حد فاصل سرریزهای احداث‌شده و استخرهای استراحت ماهیان، مسیری مسطح به طول ۰/۵ متر در نظر گرفته شده است. طول استخرها با توجه به طراحی صورت‌گرفته پنج متر و طول خیزآب با توجه به میزان افت و شیب لحاظ‌شده ۵۰ متر است. بنابراین، طول کل مسیر کانال کنارگذر ۲۱۶۴ متر (دو کیلومتر و ۱۶۴ متر) برآورد می‌شود که با توجه به فضای موجود، طول مناسبی است. پلان و نیمرخ طولی و مسیر طراحی‌شده به همراه استخرها و سرریزها در شکل‌های ۶ نشان داده شده‌اند.

شبیه‌سازی و ارزیابی زیستگاهی با استفاده از مدل PHABSIM

برای بررسی مطلوبیت زیستگاهی کانال کنارگذر طراحی‌شده، از مدل زیستگاهی PHABSIM استفاده شد. این مدل در شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه شکل گرفته و هنوز هم استفاده می‌شود [۱۸]. بررسی کانال طراحی‌شده به دو بخش استخر استراحت و خیزآب تقسیم شد و در سه دبی طراحی، دبی حداقل و دبی حداکثر برای سه گروه سنی دوران تخم‌ریزی، بچه‌ماهی و بالغ قزل‌آلای خال‌قرمز صورت گرفت.

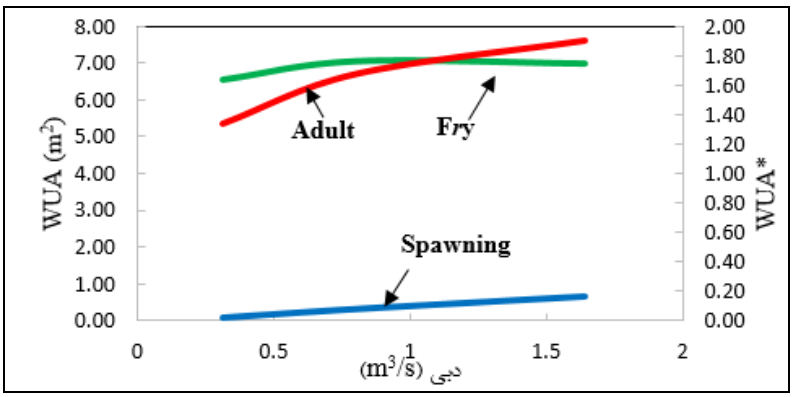
بررسی مطلوبیت زیستگاه در استخرهای استراحت

در شکل ۷ نمودار دبی- فیزیک زیستگاه راه ماهی شبه‌طبیعی از نوع کانال کنارگذر برای سه گروه سنی دوران تخم‌ریزی، بچه‌ماهی و بالغ قزل آلای خال‌قرمز برای استخر استراحت ارائه شده است. همچنین، در این شکل مقادیر WUA نسبت به جریان برای سه گروه سنی با توجه به عرض متوسط کانال نرمالایز و بی بعد شده و در محور عمود سمت راست نشان داده شده است. به بیانی، این پارامتر برای محاسبه و بررسی درصد نسبت میزان عرض مطلوب به عرض متوسط راه ماهی است. همان طور که مشاهده می‌شود، بیشترین WUA برای هر یک از گروه های سنی دوران تخم‌ریزی، بچه‌ماهی و بالغ به‌ترتیب برابر با ۰/۶۵۷، ۷/۰۳۵ و ۷/۶۲۹ است. همچنین، درصد عرض مطلوب رودخانه در دبی طراحی (۰/۸ مترمکعب بر ثانیه) برای هریک از گروه‌های سنی به‌ترتیب ۱/۹۶، ۴۳/۹۷ و ۴۱/۹۳ است.

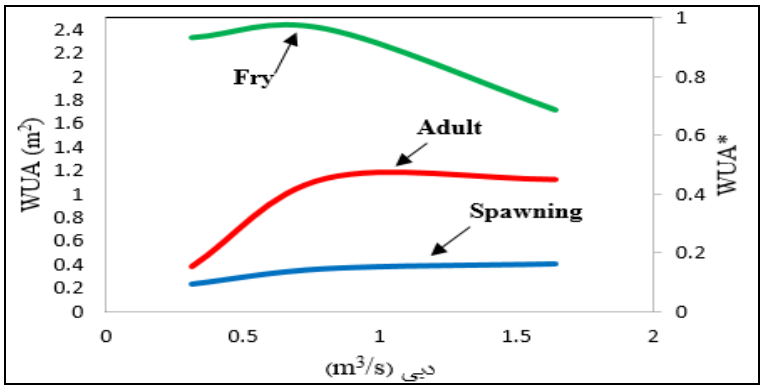


(ب) (الف)

شکل ۶. الف-پلان، ب- نیمرخ طراحی‌شده برای کانال کنارگذر با سرریز سنگی



شکل ۷. نمودار دبی- مطلوبیت زیستگاه برای گروه‌های سنی قزل‌آلای خال‌قرمز در استخر استراحت



شکل ۸. نمودار دبی- مطلوبیت زیستگاه برای گروه‌های سنی قزل‌آلای خال‌قرمز در خیزآب

نتایج به‌دست‌آمده از توزیع سه‌بعدی مساحت قابل استفاده وزنی نشان می‌دهد گونه‌ها در مرحلهٔ تخم‌ریزی و در دوران بالغ، بستر استخر استراحت ماهی را انتخاب می‌کنند، در صورتی که بچه‌ماهی کناره‌های استخر را به عنوان زیستگاه انتخاب می‌کند.

بررسی مطلوبیت زیستگاه در خیزآب‌ها

در شکل ۸ نمودار دبی- فیزیک زیستگاه کانال کنارگذر برای سه گروه سنی دوران تخم‌ریزی، بچه‌ماهی و بالغ قزل‌آلای خال‌قرمز برای خیزآب ارائه شده است. حداکثر WUA برای هر یک از گروه های سنی دوران تخم‌ریزی، بچه‌ماهی و بالغ به‌ترتیب برابر با ۰/۴۰۷، ۲/۴۰۶ و ۱/۱۳۶ است. همچنین، درصد عرض مطلوب رودخانه در دبی طراحی (۰/۸ مترمکعب بر ثانیه) برای هر یک از گروه‌های سنی به‌ترتیب ۵/۸۲، ۳۸/۵ و ۱۸/۲ درصد است. نتایج به‌دست‌آمده از توزیع سه‌بعدی مساحت قابل استفاده وزنی نشان می‌دهد در این بخش از راه ماهی، دیواره‌های آن به عنوان زیستگاه مناسب‌تر از بستر آن هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

براساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده در منطقهٔ مطالعه شده و ضوابط طرحی کانال کنارگذر، به طراحی این سازه در رودخانهٔ جاجرود برای بازگرداندن تداوم جریان و فراهم‌کردن مسیر عبور ماهیان، پرداخته شد. همچنین، با توجه به فضای زیاد موجود در ساحل راست این رودخانه و به‌دلیل وجود خانه‌های مسکونی در ساحل چپ رودخانه و پرهزینه‌بودن تخریب آنها و ایجاد مشکلات اجتماعی، کانال کنارگذر برای ساحل راست رودخانهٔ جاجرود طراحی شد. برای فراهم‌کردن عمق و شیب لازم در راه ماهی، میزان دبی عبوری از کانال کنارگذر ۰/۸ مترمکعب بر ثانیه و به بیانی حدود ۱۰ درصد از دبی متوسط جریان سالانه برآورد شد. همچنین، با استفاده از نرم‌افزار PHABSIM به ارزیابی راه ماهی طراحی‌شده به عنوان یک زیستگاه مناسب برای گونه‌های آبزی پرداخته شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، واکنش ماهی در دوران تخم‌ریزی نسبت به افزایش دبی شدت کمتری نسبت به دوره‌های دیگر دارد، اما با افزایش دبی، مطلوبیت زیستگاه نیز افزایش می‌یابد. واکنش گروه سنی بچه‌ماهی نیز نسبت به تغییرات دبی کم است و تغییرات شرایط زیستگاهی درخور توجهی مشاهده نمی شود. اما در گروه سنی بالغ با افزایش دبی شرایط فیزیک زیستگاه در حالت بهینه قرار خواهد گرفت. برای ماهی بالغ در دبی‌های بیشتر با افزایش عمق و سرعت جریان، مطلوبیت زیستگاه نیز بیشتر شده زیرا ماهی بالغ در این دورهٔ رشد به عمق آب بیشتری نیاز دارد. اما میزان مطلوبیت زیستگاه دوران تخم‌ریزی ماهی نسبت به گروه‌های سنی دیگر کمتر است و علت آن می‌تواند مناسب‌نبودن راه ماهی به عنوان زیستگاه برای این گروه سنی باشد، زیرا ماهیان به بالادست حرکت می کنند و در جایی که شرایط ایده‌آل‌تر باشد، تخم‌ریزی می‌کنند. همان طور که گفته شد، گونه‌ها در مرحلهٔ تخم‌ریزی و در دوران بالغ، بستر استخر استراحت ماهی را انتخاب می کنند که علت این امر با توجه به نمودارهای مطلوبیت عمق و سرعت ارائه‌شده، آن است که بستر استخر استراحت عمق و سرعت مناسبی برای این دوران سنی دارد. در صورتی که بچه‌ماهی عمق کمتر را ترجیح می دهد و کناره‌های استخر را به عنوان زیستگاه انتخاب می کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استخرهای طراحی‌شده برای کانال کنارگذر علاوه بر محل استراحت گونه‌ها، می‌توانند محل مناسبی برای زیستگاه آنها نیز باشند.

افزایش دبی رودخانه به‌دلیل افزایش عمق و سرعت جریان در کانال اصلی رودخانه، میزان مطلوبیت زیستگاه‌ها برای بچه‌ماهی به‌سرعت کاهش می‌یابد، اما در گروه سنی بالغ با افزایش دبی شرایط فیزیک زیستگاه در حالت بهینه قرار خواهد گرفت. واکنش ماهی در دوران تخم‌ریزی نسبت به افزایش دبی شدت کمتری نسبت به دوره‌های دیگر دارد، اما با افزایش دبی مطلوبیت زیستگاه برای آن افزایش می‌یابد. بیشترین زیستگاه در دسترس (WUA) برای قزل‌آلای خال‌قرمز بچه‌ماهی در دبی طراحی یعنی ۰/۸ متر مکعب بر ثانیه، است و پس از آن با افزایش بیشتر دبی، کاهش یافته است. برای قزل آلای خال‌قرمز بالغ و دوران تخم‌ریزی نیز WUA با افزایش دبی افزایش یافته و حداکثر آن در دبی ماکزیمم ایجاد خواهد شد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد نواحی ساحلی کانال در بخش خیزآب راه ماهی، زیستگاه مناسب‌تری نسبت به بخش میانی تشکیل می‌دهند. عمق مناسب در کل خیزآب برای ماهی در دوران تخم‌ریزی و بچه‌ماهی فراهم شده، اما برای ماهی بالغ، مطلوبیت عمق به‌دلیل بزرگ‌ترشدن ابعاد ماهی و نیاز به عمق بیشتر، کاهش یافته است. علاوه بر آن، مطلوبیت سرعت در کناره‌های آبراهه بیشتر بوده و در بستر آبراهه به‌دلیل سرعت‌های زیاد، مطلوبیت آن بسیار کم است. همچنین، میزان مطلوبیت سرعت از دوران تخم‌ریزی تا ماهی بالغ نیز کاهش می‌یابد. به بیانی، عامل محدودکنندهٔ زیستگاه برای سه گروه سنی سرعت جریان آبراهه است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که خیزآب‌های طراحی‌شده برای کانال کنارگذر علاوه بر محل عبور گونه‌ها می‌توانند در کناره‌های آبراهه محل مناسبی برای زیستگاه آبزیان فراهم کنند.

منابع

[1]. Moiri M, Hosseinzadehdalir A, Nickpour M, Varjavand P. Flood Numerical Simulation Using Fluent Computer Model, Second Conference on Environmental Engineering, 2008. Tehran, University of Tehran, Faculty of Environment (in Persian).

[2]. FAO, DVWK. Fish passes, Design, Dimensions and Monitoring, Translation of DVWK Merkblatt, 2002- 232/1996.

[3]. Kim J. H, Yoon J. D, Baek S. H, & Jang M. H. Estimation of optimal ecological flowrates for fish habitats in a nature-like fishway of a large river. Journal of Ecology and Environment, 2016, 39(1), 43-49.

[5]. Prato E, Falciai M. Linie guida per la progettazione, valutazione tecnica e pianificazione di passaggi artificiali per pesci, 2009.

[6]. Moosavi Sh. Assessment of Fish Ecological Structures. MSc Thesis in Civil Engineering, 2003, Khaje Nasir Al-Din Toosi University (in Persian)

[7]. Vogel. 2003, „Ansätze zur Bemessung rauer Rampen in aufgelöster Bauweise, Universität der Bundeswehr München.

[8]. Wang, R. W. 2008. Aspects of design and monitoring of nature-like fish passes and bottom ramps. Techn. Univ., Lehrstuhl für Wasserbau und Wasserwirtschaft.

[9]. Larinier, M. 1992. Les passes à ralentisseurs. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, (326-327), 73-94.

[10]. MUNLV (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) 2005. Handbuch Querbauwerke, p. 112, 129.

[11]. Zhou, Y., 1982. The swimming speed of fish in towed gears, a reexamination of the principles. Dept. of Agriculture and Fisheries for Scotland, Work. Pap. 4, 55 p.

[12]. National Fishpass Manual, Armstrong et.al., 2009 Environment Agency v1.1 Guidance Notes On the Legislation, Selection and Approval of Fish Passes in England and Wales.

[13]. Raleigh, R. F., Zuckerman, L. D., & Nelson, P. C. 1984. Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: brown trout (No. 82/10.124). US Fish and Wildlife Service.

[14]. Sedighkia. M., 2017. Investigation on the effect and application of Ecohydraulic indices in river ecosystem analysis (Case study: Lar national Park, Brown trout species). PhD Thesis. Tarbiat modares University (in Persian).

[15]. Robinson, K.M.., Kadavy, K.C. and Rice, C.E.1998 Roughness of Loose Rock Riprap on Steep Slopes. Journal of Hydraulic Engineering, 124, 179-185.

[16]. Ahmadi, H., Malekian, A., Abedi, R., 2012. The most suitable statistical method for estimating the suspended sediment of Jajrood River (Case study: Roodak Station of Jajrood Watershed). Journal of Environmental Erosion Research, Volume 2, Page 78-88, Islamic Azad

Tehran (in Persian)

[17]. Badri. S., 2018. Customization of the Design and Evaluation of a Nature-Like Fishway and its related structures in a river restoration plan (Case Study: Jajrud River). MSc Thesis. Tarbiat modares University (in Persian)

University, Science and Research Branch of

[18]. Hajiesmaeili. M., 2014. Effect of Flow Hydraulic Parameters on Rainbow Trout in the River Using Physical Habitat Simulation Model (PHABSIM). MSc Thesis. Tarbiat modares University (in Persian)