اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۸، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰، ص ۱۰۲۴-۱۰۰۷

بررسی تأثیر پارامترهای مقاومت جریان بر زیستگاه گونهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ جاجرود)

محمدامین نجفی کوپایی[۱]، محمدرضا مجدزاده طباطبایی[۲*]، غلامرضا شوبیری[۲]

۱. کارشناس ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکدهٔ مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
۲. استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکدهٔ مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۰۵/۱۳؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۸/۲۲)

چکیده

مقاومت جریان یک عامل اساسی در تجزیه‌وتحلیل هیدرولیک کانال‌های روباز است. با تغییر مقطع و اندازهٔ ذرات، مقاومت تغییر می‌کند. در این تحقیق پارامترهای مقاومت جریان (عمق و عرض جریان، ارتفاع معادل زبری) مؤثر بر زیستگاه مورد بحث قرار گرفته‌اند. برای بررسی تأثیر این پارامترها بر زیستگاه آبزیان، با توجه به در دسترس بودن منحنی‌های مطلوبیت، رودخانهٔ جاجرود و گونهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انتخاب شده اند. در بازدید میدانی، اقدام به تطبیق مختصات نقشه با محل و برداشت نمونهٔ مصالح سطحی و زیرسطحی بستر شد. با انجام دانه‌بندی در آزمایشگاه و استفاده از رابطهٔ مانینگ و رابطهٔ دبی اشل، ضریب زبری هیدرولیکی محاسبه شد. سپس، با به‌کارگیری روابط تجربی ضریب زبری دانه‌بندی به دست آمد و در نهایت، از تفاضل این دو ضریب، زبری شکل حاصل شد و در شبیه‌سازی هیدرولیکی به کار برده شد. ترازهای سطح آب به‌دست‌آمده از مدل هیدرولیکی برای شبیه‌سازی زیستگاه مورد استفاده قرار گرفت. تأثیر پارامترهای عمق و عرض جریان و ارتفاع معادل زبری بر زیستگاه سه دورهٔ سنی گونهٔ هدف، شامل نوزاد، جوان و بالغ، با استفاده از نتایج شبیه‌سازی تجزیه‌وتحلیل شد. با افزایش عرض و عمق جریان و ارتفاع معادل زبری مطلوبیت زیستگاه برای گونهٔ هدف افزایش یافت. شاخص نشان‌دهندهٔ مطلوبیت زیستگاه «مساحت قابل استفاده وزنی» است. عاملی که باعث بیشترین تغییر در مطلوبیت زیستگاه می‌شود، عرض جریان است که با افزایش این عامل، مساحت قابل استفادهٔ وزنی افزایش نشان داد.

کلیدواژگان: پارامترهای مقاومت جریان، مطلوبیت زیستگاه، رودخانهٔ جاجرود، مدل هیدرولیکی، مدل زیستگاهی.

* نویسندهٔ مسئول
Email: m_majdzadeh@sbu.ac.ir

مقدمه

رودخانه‌ها از جمله منابع اصلی آب در طبیعت هستند. کشور ایران جزء مناطق خشک و کم‌آب شناخته می‌شود. با توجه به محدودیت منابع آبی باید مدیریت صحیحی بر رودخانه‌ها در کشور اعمال شود. از آنجا که آب‌های سطحی ذی‌نفعان گوناگونی دارد، متولیان متعددی نیز در مدیریت آب رودخانه‌ها دخالت دارند. بنابراین، درک مشترک و هماهنگی این متولیان در حفظ و استفادهٔ درست از رودخانه‌ها نقش اساسی ایفا می‌کند. لازمهٔ هماهنگی در این زمینه، اطلاع از دانش رودخانه و برخورد علمی با جریان آب و حیات آبزیان است.

در رودخانه‌ها به واسطهٔ عوامل مختلفی مقاومت جریان ایجاد می‌شود. Chow [۱] در بررسی‌های خود مقاومت در برابر جریان را تحت تأثیر مقاومت به اندازه و شکل دانه‌ها، پوشش گیاهی، بی‌نظمی کانال، ترازبندی کانال، صلب و لایروبی مقطع، انسداد، اندازه و شکل کانال، تغییر فصلی، بار معلق و بار بستر دانسته است. Cowan [۲] طی پژوهشی به این نتیجه رسید که مقاومت در برابر جریان در رودخانه‌های طبیعی از یک طرف به شکل، ابعاد مقطع و نظم دانه‌بندی بستر بستگی دارد و از طرف دیگر، مقاومت جریان به عوامل اتلاف انرژی بستگی دارد؛ مثل تغییرات ناگهانی جهت جریان، شکل مقطع و پوشش گیاهی. ضریب زبری مانینگ کلی را می‌توان از مجموع مقادیر مربوطه بیان کرد.

در کشور ما نیز مطالعاتی در خصوص عوامل مؤثر بر مقاومت جریان در رودخانه‌های ایران انجام شده است. به عنوان مثال، ابراهیمی و سکوتی اسکویی [۳] مقاومت جریان و ضریب زبری متأثر از عوامل فیزیکی، هیدرولیکی و بیوفیزیکی بستر در سه بازهٔ انتخابی از رودخانهٔ شهرچای آذربایجان غربی را تخمین زدند. محمدی و مولودی [۴] با اعمال تغییرات در شرایط هیدرولیکی رودخانه، عوامل مؤثر بر مقاومت جریان را بررسی کردند. مقدار بهینهٔ ضریب زبری مانینگ رودخانهٔ شهرچای با استفاده از مشخصات هیدرولیکی و دانه‌بندی بستر رودخانه برآورد شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد تعیین ضریب زبری مانینگ به سه روش چاو، کاون و مقایسه با تصاویر به لحاظ عوامل متعدد در تخمین ضریب زبری، دقت زیادی دارند.

پیشینهٔ تحقیق

مطالعات Tennant [۵] نشان می‌دهد وضعیت زیستگاه آبزیان در بیشتر رودخانه‌ها برای یک شرایط جریان به طرز چشمگیری مشابه است. تجزیه و تحلیل مشابه صدها رژیم جریان در ۲۱ ایالت مختلف طی ۱۷ سال گذشته این همبستگی را در طیف گسترده‌ای از جریان‌ها اثبات کرده است. روش افزایشی جریان (Instream Flow Incremental Methodology IFIM) که توسط گروهی از متخصصان در ایالات متحدهٔ امریکا طی دو دهه توسعه یافته و در تحقیق حاضر از آن استفاده شده است، اجازه می‌دهد تا با تعریف شرایط هیدرولیکی، شرایط مناسب زیستی برای گونه‌های آبزی رودخانه محاسبه شود. در متدولوژی IFIM رابطهٔ بین زیستگاه فیزیکی و جریان رودخانه امکان تنظیم رژیم‌های بهینه برای مدیریت جریان زیست‌محیطی را فراهم می‌کند [۶ و ۷]. Mouton و همکاران [۸] یک ابزار شبیه‌سازی اکو هیدرولیکی با ترکیب مدل هیدرولیکی HEC-RAS و ماژول زیستگاه CASiMiR ایجاد کردند. سپس، شرایط واقعی را برای محاسبهٔ زیستگاه مناسب برای سه مرحلهٔ زندگی گاو ماهی در چهار سرعت جریان مختلف وارد کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد پس از حذف آب‌بند یا سد از مسیر جریان، مطلوبیت زیستگاه به میزان قابل توجهی برای تمام مراحل زندگی و تمام سرعت جریان افزایش یافته است. در تحقیق Nagaya و همکاران [۹]، منحنی‌های مطلوبیت عمق، سرعت و شاخص کانال بستر مورد بررسی میدانی قرار گرفت و یک شبیه‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار PHABSIM، برای ماهی (ayu) با تغییر میزان دبی در رودخانه Gokasegawa ژاپن انجام شد. Wilding و همکاران [۱۰] یک مدل زیستگاه عمومی‌شده را برای ماهی قزل‌آلای قهوه‌ای و رنگین‌کمان در رودخانهٔ رشته‌کوه‌های راکی کلرادو توسعه دادند که نتیجه‌های مشابه مدل PHABSIM را ارائه می‌دهد، ولی نیاز به داده‌های کمتری دارد. منحنی‌های دبی- فیزیک زیستگاه نرم‌افزار PHABSIM در این مدل ساده‌سازی شده است. Peng & Sun [۱۱] با شبیه‌سازی زیستگاه خانواده ماهی‌های prinidae را با استفاده از منحنی‌های مطلوبیت سرعت و عمق مورد بررسی قرار دادند. نتیجهٔ پژوهش یادشده نشان می‌دهد مدل PHABSIM برای بهینه‌سازی جریان خروجی نیروگاه‌های برق‌آبی در جنوب غربی چین مفید بوده است. در تحقیق Nikghalb و

همکاران [۱۲] دو روش معمول هیدرولوژیکی (Tennant و Q95) با روش شبیه‌سازی زیستگاه (PHABSIM)در شرایط کمبود داده مقایسه شده است. در پژوهش یادشده نتیجه‌گیری شده که نتایج روش شبیه‌سازی زیستگاه حتی با استفاده از داده‌های ورودی نادرست قابل توجیه بوده است. هاشمی و همکاران [۱۳] با ایجاد ارتباط بین فرایندهای هیدرولوژیک، هیدرولیک، مورفولوژیک و اکولوژیک، روشی تحلیلی و کاربردی برای ارزیابی زیستگاه‌های قزل‌آلای خال قرمز ارائه دادند. سپس، با بازدید صحرایی و اندازه‌گیری‌های لازم، با استفاده از فرمول شیلدز، آستانه‌های تنش برشی بی‌بعد شامل آستانهٔ دبی زیست‌محیطی، آستانهٔ دبی مقطع پر و آستانهٔ دبی رسوبی، در هر یک از رودخانه‌های لار، دلیچای و سفیدآب را محاسبه کردند. پس از آن، با استفاده از محاسبهٔ آستانه‌های تنش برشی بی‌بعد رودخانه، تأثیر تغییر دبی بر پراکنش و فراوانی آبزیان در پاسخ به تغییرات مورفولوژیک رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. Hajiesmaeili و همکاران [۱۴] در تحقیقات خود از مدل زیستگاه هیدرولیکی یک‌بعدی (PHABSIM) برای شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی قزل‌آلای رنگین‌کمان استفاده کرده‌اند. آنها تأثیر سه ویژگی اصلی هیدرولیکی جریان، شامل عرض سطح جریان، شیب و زبری جریان را روی زیستگاه‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان بررسی کرده‌اند. از نتایج این تحقیق می‌توان برای ارزیابی سریع زیستگاه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بدون نیاز به مدل‌سازی هیدرولیکی زیستگاه استفاده کرد.

همان‌طور که اشاره شد، در زمینه‌های هیدرولیکی و زیستگاهی به طور مجزا تحقیقات متعددی توسط پژوهشگران صورت پذیرفته است. همچنین، به اندرکنش این دو موضوع و نقش آن در زیستگاه آبزیان نیز پرداخته شده است. در این رابطه پارامترهای هیدرولیکی شیب، عرض و عمق برای بررسی تأثیر آنها بر زیستگاه آبزیان مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ولی به تأثیر مقاومت پوسته‌ای (دانه‌بندی) سطحی و زیرسطحی و شکل بستر کمتر پرداخته شده است. به این مفهوم که نقش هریک از متغیرهای یادشده روی زیستگاه آبزیان به صورت کمی مورد مطالعه قرار گیرد تا تأثیر آن روی چرخهٔ زندگی گونهٔ هدف شناخته شود.

در تحقیق پیش رو با مطالعات میدانی و نمونه‌برداری از لایهٔ سطحی و زیرسطحی، تأثیر این دو بر مقاومت جریان و تأثیر آنها بر زیستگاه گونهٔ هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد، تا با تحلیل نتایج، میزان تأثیر هر یک شناسایی شود و در نهایت، نقش آنها بر زیستگاه گونهٔ هدف ارزیابی شود. در تحقیق حاضر، زیستگاه رودخانهٔ جاجرود انتخاب شده که گونه‌های موجود در آن ماهی قزل‌آلای خال قرمز، رنگین‌کمان و سگ‌ماهی جویباری هستند، ولی از آنجا که در خصوص ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان، تحقیق کمتری انجام شده، این گونه مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش تحقیق

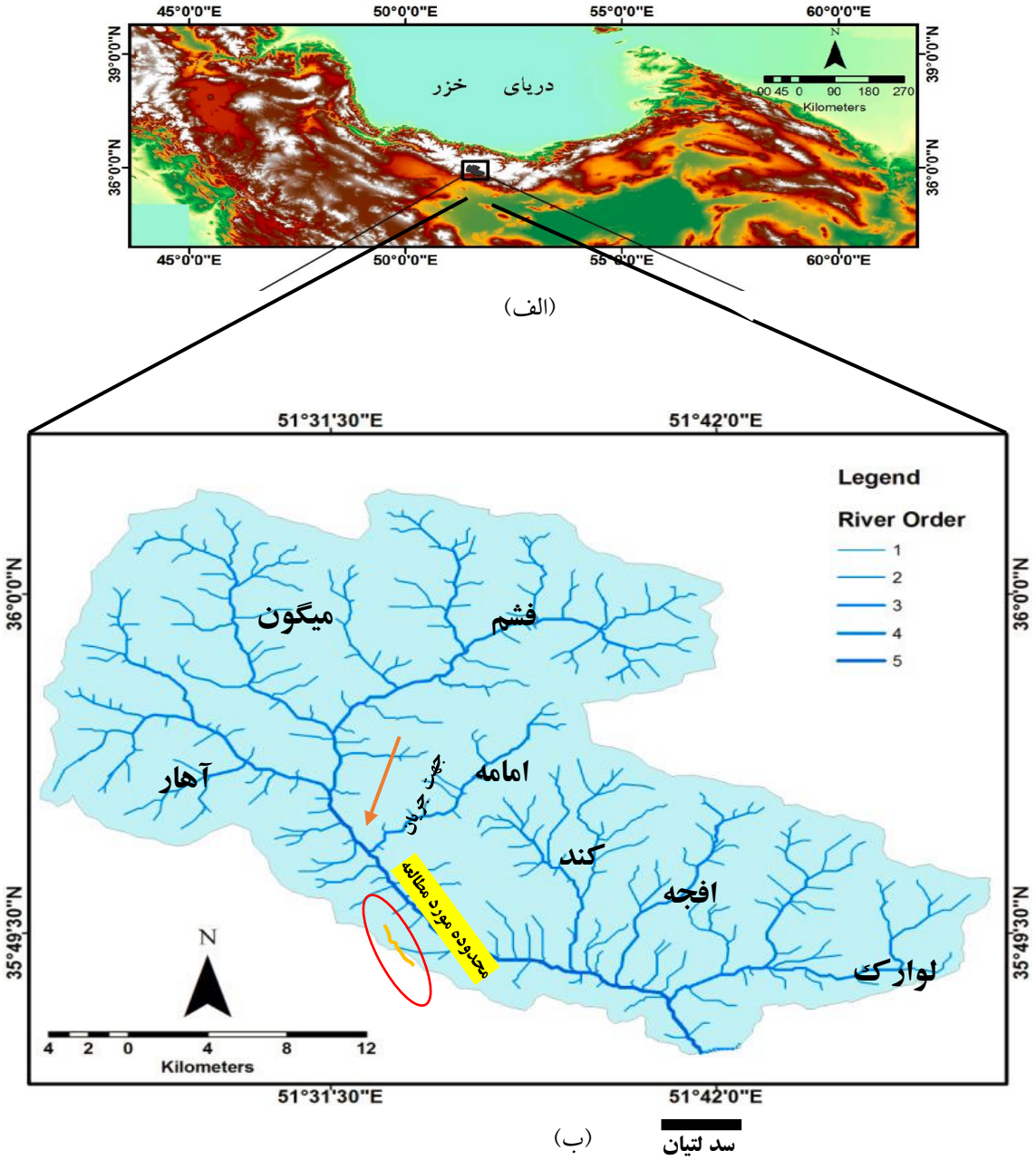
محدودهٔ مطالعه‌شده

رودخانهٔ جاجرود یکی از رودخانه‌های مهم استان تهران است که ۴۰ کیلومتر طول و ۷۱۰ کیلومتر مربع مساحت حوضهٔ آبریز دارد و بین طول‌های جغرافیایی ′۲۲ ،°۵۱ تا ′۵۲ ، °۵۱ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ′۴۵ ، °۳۵ تا ′۵۰ ، °۳۶ شمالی واقع شده است. شیب حوضه به طور متوسط برابر با ۴ درصد برآورد شده و یک رودخانهٔ سنگ‌ریزه‌ای، ماسه‌ای است. حوضهٔ آبریز جاجرود به دو بخش تقسیم شده است، بخش نخست از شمال این رودخانه شروع شده و به سد لتیان منتهی می‌شود (شکل ۱). و بخش دوم آن از سرریز و آب رهاشده از سد لتیان شروع شده است و به اتفاق رودخانهٔ دماوند با عبور از سد ماملو به دشت ورامین و دریاچهٔ نمک وارد می‌شود.

تعیین گونهٔ هدف در منطقهٔ مطالعه‌شده

براساس تحقیق عبدلی و نادری [۱۶] گونه‌های ماهی موجود در رودخانهٔ جاجرود عبارت‌اند از: انواع قزل‌آلا (از جمله رنگین‌کمان و خال قرمز)، انواع سیاه‌ماهی (شامل معمولی، زرده پر و شمشیری)، خیاطه، سفید رودخانه‌ای، سگ‌ماهی جویباری (معمولی و تاجدار).

در تحقیق حاضر پس از مراجعه به سازمان محیط زیست و سازمان شیلات ایران در آبان‌ماه ۱۳۹۸ و رایزنی با کارشناسان مربوط به آبزیان و مرتبط با حوضهٔ رودخانهٔ جاجرود در این دو سازمان از یک‌طرف و با توجه به این موضوع که منحنی‌های مطلوبیت برای گونه‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان در مراجع معتبر موجود بود از طرف دیگر، گونهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به عنوان گونهٔ هدف در این تحقیق تعیین شد.



شکل ۱. موقعیت مورد مطالعه: (الف).محدودهٔ مطالعه‌شده در کشور ایران (ب). حوضهٔ جاجرود در بالادست سد لتیان [۱۵]

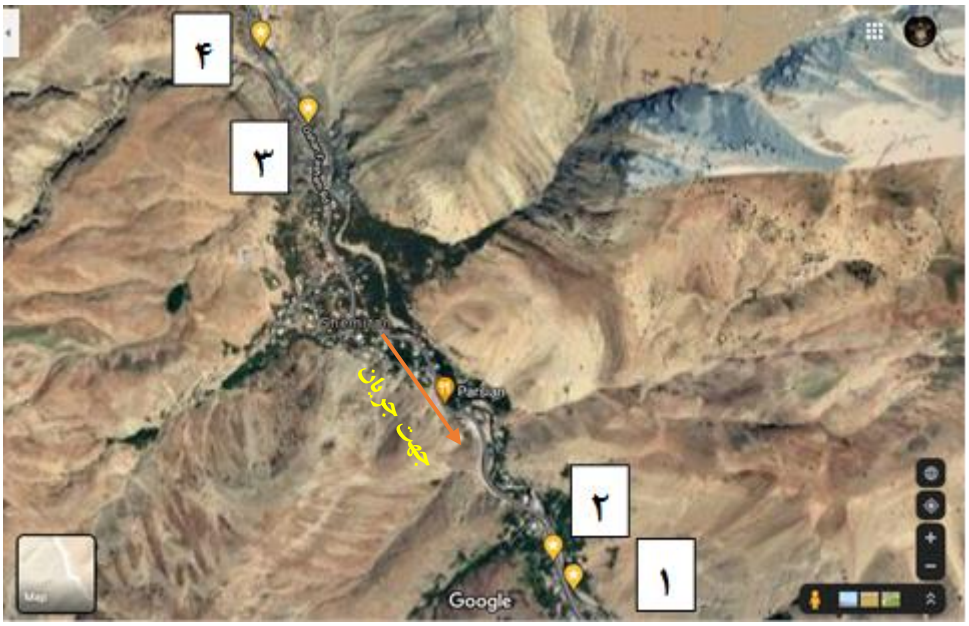
بر اساس مطالعات عبدلی [۱۷] ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از ماهیان سرد آبی است و رودخانهٔ آب شیرین، خنک، بستر شن و سنگلاخی و پوشش گیاهی طبیعی را ترجیح می‌دهد. این ماهی دارای بالهٔ چربی، دندان‌ها روی آرواره‌های بالا و پایین، خال‌های تیره‌رنگ در باله دمی و دارای فلس‌های کوچک است. در دریاچه‌های با آب سرد و نهرها و رودخانه‌هایی با بستر قلوه‌سنگی به سر می‌برد. زمان تخم‌ریزی این نوع ماهی در فصل زمستان است و تخم‌ریزی در قسمت‌های بالایی رودخانه که دمای آب ۱۱ــ ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد است، انجام می‌شود. دمای بهینهٔ آب برای این ماهیان ۱۲ تا ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد است، اما می‌توانند دمایی را که از صفر تا ۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد متغیر است، تحمل کنند. ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در ماه اسفند و ابتدای بهار تخم‌ریزی در بستر شنی انجام می‌دهد، سپس آن را با شن می‌پوشاند تا بچه‌ماهی بین خرداد تا مرداد از بستر شن خارج شود. این گونه معمولاً در یک‌سالگی به بلوغ می‌رسد. ماهی متوسط بالغ، حدود ۴۰ سانتی‌متر طول دارد و وزن آن بین ۱ تا ۳ کیلوگرم است [۱۸].

شکل ۲. روندنمای انجام تحقیق

عملیات میدانی

طی یک بازدید صحرایی از مسیر رودخانهٔ جاجرود، بالادست سد لتیان در طرفین ایستگاه هیدرومتری رودک، مختصات ابتدا و انتهای بازه با دستگاه GPS ثبت شده و سپس، روی نقشهٔ DEM وارد شد. از اختلاف این مختصات متوسط‌گیری شد و به عنوان ضریب تصحیح اعمال شد. در چهار مقطع مطالعاتی مختصات مقاطع در سه نقطه (ساحل چپ و راست و خط القعر رودخانه) برداشت شده تا با ضرایب تصحیح به‌دست‌آمده، نقاط تدقیق شود (شکل ۳).

نمونه‌برداری از مواد سطحی و زیرسطحی در چهار مقطع یادشده به روش Wolman [۱۹] نیز انجام گرفت. محل نمونه‌برداری اول در فاصلهٔ حدود ۶۵۰ متر پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری رودک و محل نمونهٔ دوم در فاصلهٔ حدود ۱۰۰۰ متر پایین‌دست ایستگاه هیدرومتری رودک انتخاب شد. محل نمونه‌برداری سوم در فاصلهٔ حدود ۱۱۰۰ متر بالادست ایستگاه هیدرومتری رودک و نمونهٔ چهارم با فاصلهٔ حدود ۱۴۰۰ متری بالادست ایستگاه هیدرومتری رودک انتخاب و نمونه‌ها برداشت شدند.

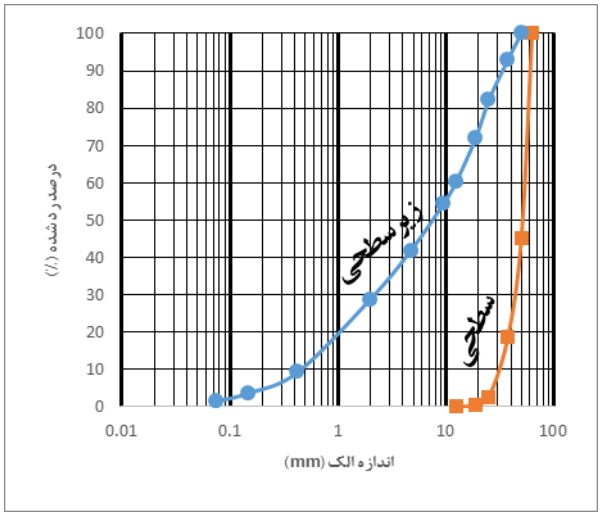


شکل ۳. محل نمونه‌برداری از بستر رودخانه روی نقشهٔ Google map [۲۰]

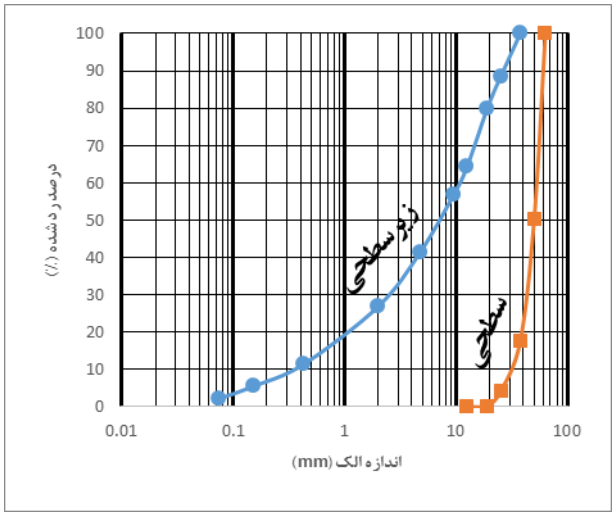
بعد از نمونه‌برداری از مقاطع یادشده در غالب چهار نمونه لایهٔ سطحی و چهار نمونه لایهٔ زیرسطحی، نمونه‌ها به آزمایشگاه مکانیک خاک انتقال داده شد و در آزمایشگاه اقدام به دانه‌بندی آنها شد. در این رابطه دو نمونه از منحنی‌های دانه‌بندی در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شوند.

تعیین رابطهٔ دبی – اشل

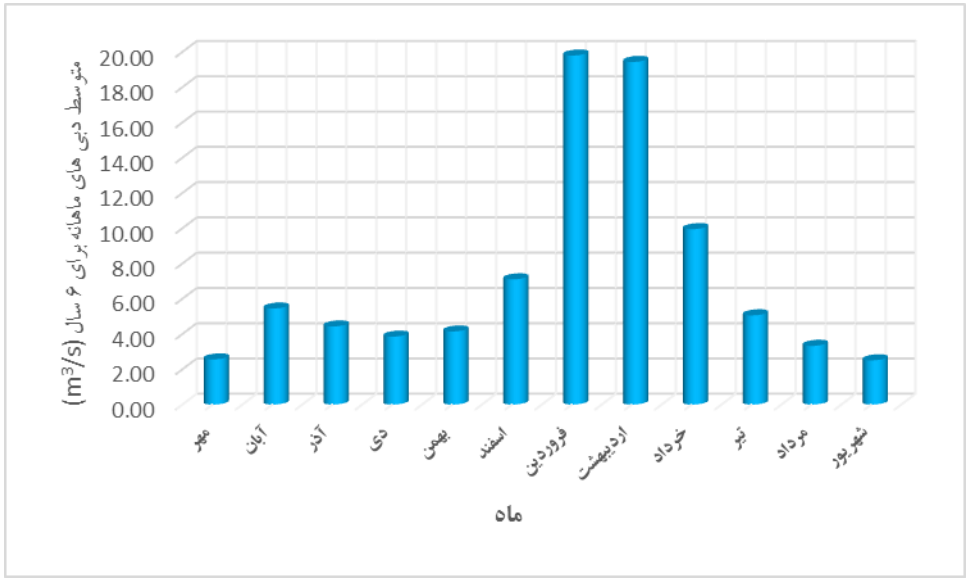
برای تعیین ضریب زبری مانینگ به روش هیدرولیکی، به منحنی دبی اشل نیاز است. با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای تهران اطلاعات دبی‌های روزانه و دبی اشل اخذ شد و داده‌های ۶ سال (۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵) در نظر گرفته شد. سپس، برای به دست آوردن دوازده دبی ماهانه، متوسط دبی‌های روزانه در هر ماه محاسبه شد. در شکل ۶ سری زمانی متوسط دبی‌های ماهانه مشاهده می‌شود.



شکل ۴. منحنی دانه‌بندی مقطع ۱ در لایهٔ سطحی



شکل ۵. منحنی دانه‌بندی نمونهٔ ۳ در لایهٔ سطحی و زیرسطحی



شکل ۶. سری زمانی متوسط ۶ ساله

همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، حداکثر دبی متوسط ماهانه در ۶ سال برای ماه فروردین ۱۹/۷۹ مترمکعب بر ثانیه و حداقل دبی متوسط برای ماه شهریور ۲/۵۱ مترمکعب بر ثانیه است. رابطهٔ دبی اشل متوسط ۶ ساله (۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵) محاسبه شد که در زیر ارائه شده است. به این‌صورت که از تغییرات ضریب اشل با حداقل

۱۵/۴۸۸ و حداکثر ۲۱/۸۷۸ و همچنین، توان اشل با حداقل ۱/۶۰ و حداکثر ۲/۹۹۲ متوسط‌گیری شد. در نهایت، معادلهٔ ۱ حاصل شد.

$$Q = 19.65H^{2.518} \quad (1)$$

تعیین ضرایب زبری مانینگ

برای تعیین ضریب زبری مانینگ به روش هیدرولیکی، با قرار دادن دبی‌های چهار ماه نخست هر فصل در رابطهٔ دبی اشل، عمق آب برای هر یک به دست آورده شد. سپس، با رسم مقطع عرضی ایستگاه رودک در نرم‌افزار اتوکد و مشخص کردن سطح آب، اقدام به استخراج اطلاعات هیدرولیکی اعم از سطح جریان و محیط خیس‌شده شد. با داشتن شیب بستر، ضریب زبری به وسیلهٔ رابطهٔ مانینگ برای هریک از دبی‌ها به دست آمد. متوسط این ضرایب ۰/۰۳۶ محاسبه شد و به عنوان ضریب زبری مانینگ به روش هیدرولیکی در محدودهٔ مطالعه‌شده در نظر گرفته شد.

برای دست آوردن ضریب زبری مانینگ به روش رسوبی از هشت رابطهٔ تجربی که توسط محققان مختلف پیشنهاد شده است، استفاده شد که با توجه به اطلاعات منحنی دانه‌بندی برای چهار نمونه لایه رو و زیر محاسبه شده است. سپس، با توجه به ضرایب به‌دست‌آمده از هشت رابطهٔ تجربی، مشاهده شد که اختلاف محسوسی بین ضرایب وجود ندارد [۲۱]. بنابراین، با متوسط‌گیری، ضرایب مربوط به D_{50}، D_{65}، D_{75} و D_{90} برای هر لایهٔ سطحی و زیرسطحی به صورت جداگانه محاسبه شد و هشت ضریب زبری به دست آمد (جدول ۱).

جدول ۱. متوسط ضرایب زبری رسوبی بر اساس قطر ذره [۲۱]

	$n_{surface}$ دانه بندی	$n_{Subsurface}$ دانه بندی
D_{50}	۰.۰۲۸	۰.۰۲۰
D_{65}	۰.۰۲۵	۰.۰۲۰
D_{75}	۰.۰۳۰	۰.۰۲۵
D_{90}	۰.۰۲۴	۰.۰۲۲

با اطلاعات به‌دست‌آمده از دو بخش قبل می‌توان ضریب زبری شکل را با تفریق ضریب زبری هیدرولیکی و متوسط ضریب زبری رسوبی از یکدیگر به دست آورد. در نهایت، دو ضریب زبری شکل یکی برای لایهٔ سطحی و دیگری برای لایهٔ زیرسطحی محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲. ضرایب زبری شکل [۲۱]

	$n_{surface}$ شکل	$n_{Subsurface}$ شکل
D_{50}	۰.۰۰۸	۰.۰۱۶
D_{65}	۰.۰۱۱	۰.۰۱۶
D_{75}	۰.۰۰۶	۰.۰۱۱
D_{90}	۰.۰۱۲	۰.۰۱۴
میانگین	۰.۰۰۹	۰.۰۱۴

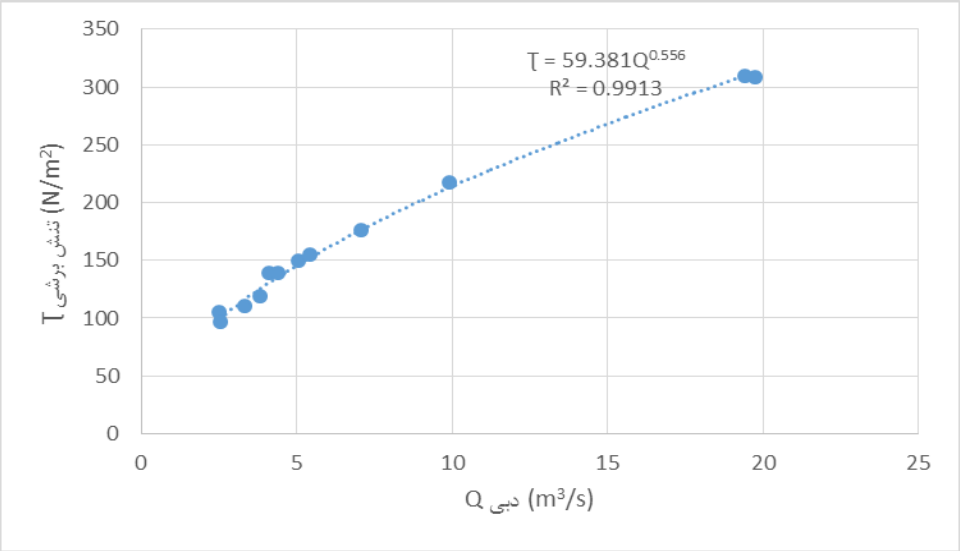
برای بررسی اثرات پارامترهای مقاومت جریان روی زیستگاه گونهٔ آبزی هدف از نرم‌افزار PHABSIM استفاده شده است. این نرم‌افزار یکی از اجزای IFIM است که براساس متدولوژی که پیش‌تر اشاره شد، توسعه یافته است و نتایج مدل‌سازی با PHABSIM در تکمیل فرایند تصمیم‌سازی در چارچوب IFIM به کار می‌رود.

شبیه‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی

در این بخش به ارائه و تحلیل نتایج حاصل از مدل‌سازی هیدرولیکی و زیستگاهی پرداخته خواهد شد. ابتدا خروجی‌های حاصل از مدل هیدرولیکی اعم از سرعت، سطح جریان، عدد فرود و تنش برشی در هر دبی و مقطع ارائه می‌شود. در بخش بعدی تأثیر زبری هیدرولیکی، زبری دانه‌بندی و زبری شکل برای لایهٔ سطحی و زیرسطحی بر زیستگاه مورد مطالعه بررسی می‌شود.

شبیه‌سازی هیدرولیکی

شبیه‌سازی هیدرولیکی برای محدودهٔ مطالعه‌شده به طول ۴ کیلومتر در نرم‌افزار HEC-RAS صورت پذیرفت، به این شکل که پس از انتقال داده‌های توپوگرافی از نرم‌افزار Arc GIS به HEC-RAS و وارد کردن داده‌هایی از جمله متوسط دبی‌های ماهانهٔ شش سال برای ۱۲ ماه سال، ضریب زبری مانینگ و سایر مشخصات مورد نیاز، مدل‌سازی در نرم‌افزار HEC-RAS انجام شد. در شکل ۷ مقایسهٔ دبی و تنش برشی حاصل از مدل‌سازی هیدرولیکی در یک مقطع از محدودهٔ مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۷. تغییرات دبی و تنش برشی در یک مقطع از محدودهٔ مطالعه‌شده

واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-RAS

واسنجی مدل HEC-RAS به این صورت انجام گرفت که در اولین مرحله چهار دبی نخست هر فصل سال که دربرگیرندهٔ رژیم‌های مختلف جریان در سال باشد، انتخاب شد و در مدل HEC-RAS وارد شد. سپس، دبی‌های انتخابی در رابطهٔ دبی اشل قرار داده شد و عمق‌ها به دست آمدند. از عمق‌های به‌دست‌آمده تراز سطح آب محاسبه و به عنوان تراز سطح آب مشاهداتی در نظر گرفته شد. تراز سطح آب حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار HEC-RAS نیز به عنوان تراز سطح آب محاسباتی در نظر گرفته شد.

یکی دیگر از اقداماتی که پس از مدل‌سازی در نرم‌افزار صورت می‌گیرد، صحت‌سنجی است. صحت‌سنجی مدل HEC-RAS به این شکل انجام شد که در قدم نخست دبی ماه‌های دوم هر فصل انتخاب شده و در مدل HEC-RAS وارد شد و تراز سطح آب محاسباتی با ضریب زبری واسنجی‌شده (در پاراگراف قبلی) به دست آمد. سپس، با قرار دادن چهار دبی در رابطهٔ دبی اشل از عمق‌های به‌دست‌آمده، تراز سطح آب مشاهداتی محاسبه شد. در قدم بعدی، مقدار ضریب زبری مانینگ در هر دبی به شکلی تغییر داده شد که خطای نسبی بین تراز سطح آب‌های مشاهداتی و محاسباتی به کمترین حالت ممکن برسد.

شبیه‌سازی زیستگاهی

در این تحقیق مدل‌سازی زیستگاهی در نرم‌افزار PHABSIM انجام شد که از جمله خروجی‌های مهم و اساسی آن مساحت قابل استفادهٔ وزنی (WUA: Weighted Usable Area) است. در تحقیق حاضر تأثیر ضریب زبری‌های هیدرولیکی، دانه‌بندی و شکل بستر روی زیستگاه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان برای سه گروه سنی نوزاد، جوان و بالغ مورد بررسی قرار گرفته است. روش انجام شبیه‌سازی زیستگاه در نرم‌افزار PHABSIM به این صورت است که ابتدا یک پروژهٔ جدید در مدل تعریف می‌شود و داده‌های مربوط به مقاطع عرضی رودخانه شامل فاصلهٔ هر مقطع از مقطع پایین‌دست، تراز جریان صفر، شیب خط انرژی، تراز سطح آب مشاهده‌شده در مقطع، دبی اندازه‌گیری‌شده در مقطع و مختصات نقاط برداشت‌شده در هر مقطع شامل فاصله از ابتدای مقطع، ارتفاع کف آبراهه و سرعت به عنوان ورودی برای کالیبراسیون مدل وارد می‌شود. می‌توان شبیه‌سازی تراز سطح آب را خارج از مدل PHABSIM به وسیلهٔ برنامه‌های دیگر انجام داد و نتایج را وارد مدل کرد. در تحقیق حاضر برای انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی از مدل HEC-RAS استفاده شده است. مرحلهٔ بعدی کالیبراسیون و شبیه‌سازی توزیع سرعت در مقاطع عرضی با استفاده از مدل VELSIM است. در این مرحله داده‌های مربوط به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه (Habitat Suitability Curves) نیز برای گونهٔ هدف و دوره‌های رشد مختلف گونهٔ هدف وارد شد. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای گونهٔ قزل‌آلای رنگین‌کمان از کتاب راهنمای نرم‌افزار PHABSIM برگرفته شدند [۲۲]. با انتخاب یکی از مدل‌های موجود

شبیه‌سازی زیستگاه انجام شد و منحنی‌های دبی – زیستگاه برای گونهٔ هدف تولید شدند [۲۲].

در قدم بعد، مشخصات جریان برحسب عمق و سرعت با معیار مطلوبیت زیستگاه ترکیب شد تا شاخصی از زیستگاه در دسترس به عنوان تابعی از دبی به دست آید. در PHABSIM شاخص مطلوبیت مرکب برای هر سلول با ترکیب مطلوبیت‌های مربوط به سرعت، عمق و شاخص کانال به دست آمد. با تعیین شاخص مرکب هر سلول، مقدار WUA (Weighted Usable Area) با استفاده از همهٔ سلول‌ها در دبی مشخص براساس رابطهٔ ۲ محاسبه شد:

$$WUA = \sum_{i=1}^{n} A_i * C_i \qquad (۲)$$

در رابطهٔ یادشده WUA مساحت قابل استفادهٔ وزنی کل در جریان دبی مشخص، A_i نمای عمودی سطح سلول i (سطح یا حجم بستر)، C_i مطلوبیت مرکب برای سلول i است.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل PHABSIM

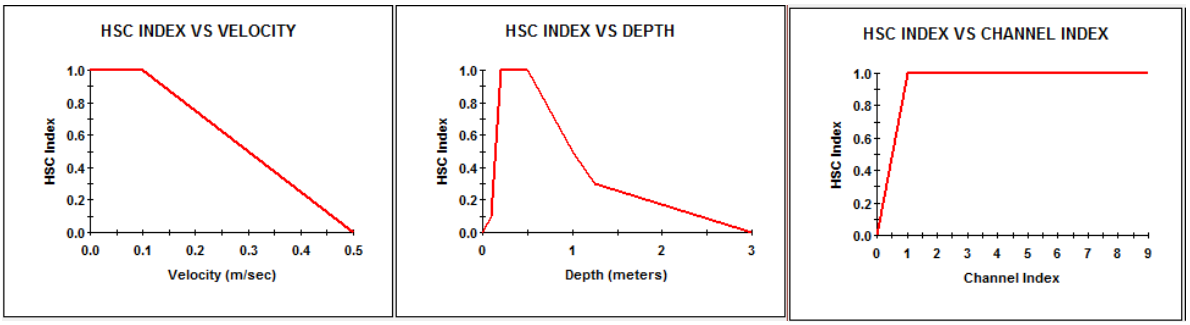
برای واسنجی مدل در PHABSIM در هر مقطع سه سری دادهٔ دبی و سطح آب نظیر آن وارد شد و در نرم‌افزار با توجه به داده‌های ورودی دبی- اشل ایجاد شد. برای دبی‌های مربوط به مدل‌سازی زیستگاهی واردشده به منظور مدل‌سازی، رقوم سطح آب به دست آمد و با داده‌های ورودی در قسمت واسنجی مقایسه شد. سپس، ضریب β به دست آمد و با اعمال این ضریب در رقوم سطح آب‌های مدل‌شده، واسنجی صورت گرفت. از آنجا که در هر مقطع مورد بررسی رودخانهٔ جاجرود منحنی دبی- اشل موجود نبود، با اطلاعاتی که از ایستگاه رودک وجود داشت، در قدم اول HEC-RAS واسنجی، صحت‌سنجی و حساسیت‌سنجی شد و بعد از حصول اطمینان از خروجی‌های HEC-RAS، سه سری دبی و رقوم سطح آب متناظر آن در هر مقطع PHABSIM ثبت شد.

برای اطمینان از صحت خروجی‌های نرم‌افزار PHABSIM در قدم نخست سطوح آب شبیه‌سازی‌شده با سطوح آب خروجی نرم‌افزار HEC-RAS مقایسه شد. برای این امر دوازده دبی به همراه سطح آب آنها در مقطع ۷ مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، صحت‌سنجی آنها انجام شد. سپس، سرعت‌های شبیه‌سازی‌شده برای دوازده دبی در PHABSIM که در هر مقطع در واحد طول تعریف‌شده در نرم‌افزار به دست آمده بود، متوسط‌گیری وزنی انجام شد و با سرعت‌های متوسط شبیه‌سازی‌شده با HEC-RAS برای دوازده دبی مورد مقایسه قرار گرفت و با توجه اختلاف کمتر از ۳ درصد، از صحت آنها اطمینان حاصل شد [۲۱].

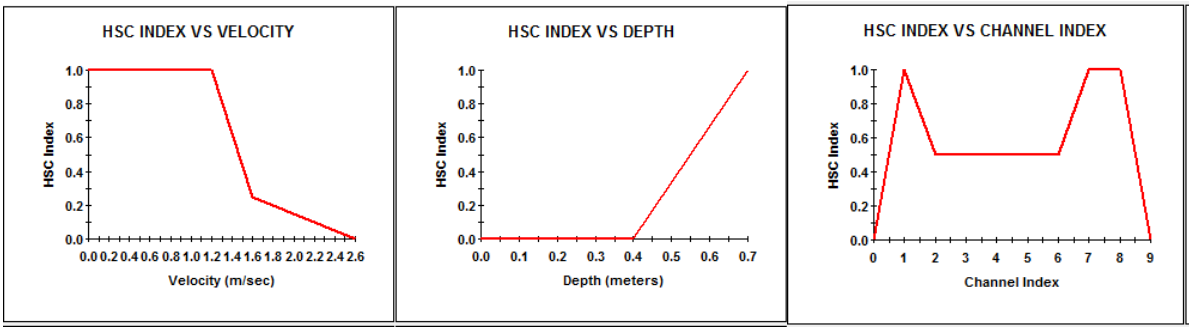
ارائه و تحلیل نتایج

در این بخش ابتدا تأثیر ضرایب هیدرولیکی، شکل و دانه‌بندی بر مطلوبیت زیستگاه مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس، اثر پارامترهای حاصل از تحلیل ابعادی روی زیستگاه بررسی خواهد شد. منحنی‌های مطلوبیت (Suitability Curves) برای سه دورهٔ زندگی گونهٔ هدف شامل نوزاد، جوان و بالغ مربوط به سه متغیر عمق، عرض و شاخص کانال با استفاده از مرجع [۲۲] در شکل ۸ نشان داده شده‌اند. این منحنی‌ها در نرم‌افزار PHABSIM وارد شده و نتایج حاصل از نرم‌افزار تحلیل خواهند شد.

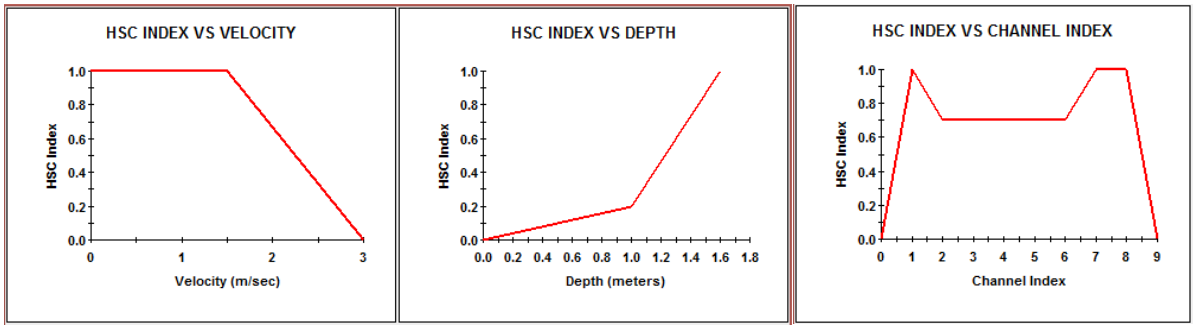
شکل ۱۱ مربوط به تأثیر ضرایب هیدرولیکی، شکل و دانه‌بندی بر گونهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان نوزاد، شکل ۱۲ مربوط به تأثیر ضرایب بر گونهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان جوان و شکل ۱۳ مربوط به تأثیر ضرایب بر گونهٔ ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بالغ است.



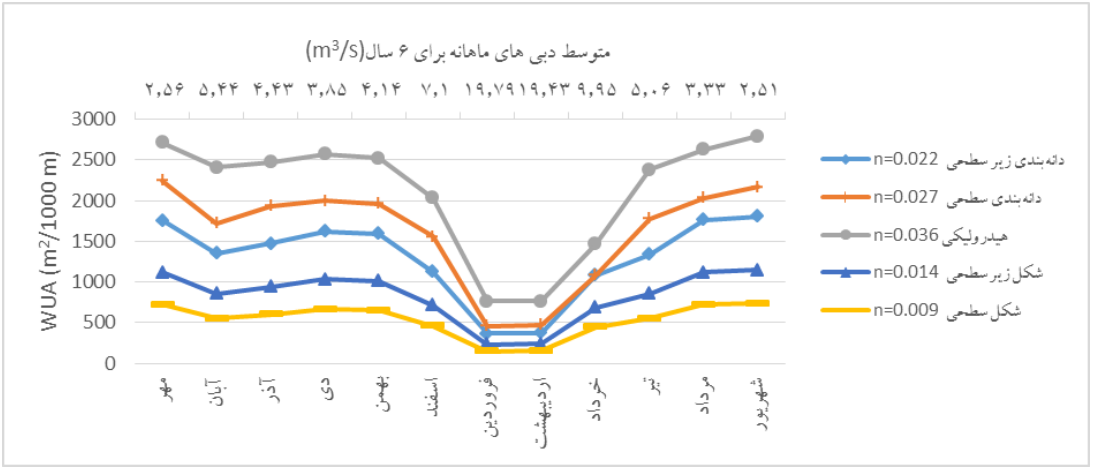
شکل ۸. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه سرعت، عمق و شاخص کانال برای ماهی نوزاد قزل‌آلای رنگین‌کمان



شکل ۹. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه سرعت، عمق و شاخص کانال برای ماهی جوان قزل‌آلای رنگین‌کمان



شکل ۱۰. منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه سرعت، عمق و شاخص کانال برای ماهی بالغ قزل‌آلای رنگین‌کمان

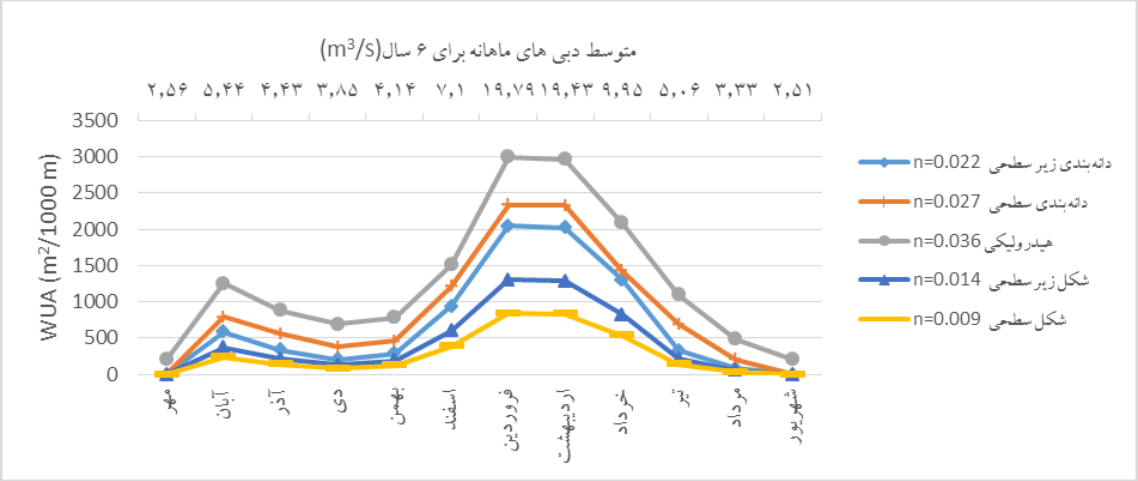


شکل ۱۱. تأثیر زبری‌های هیدرولیکی، دانه‌بندی و شکل بر ماهی نوزاد

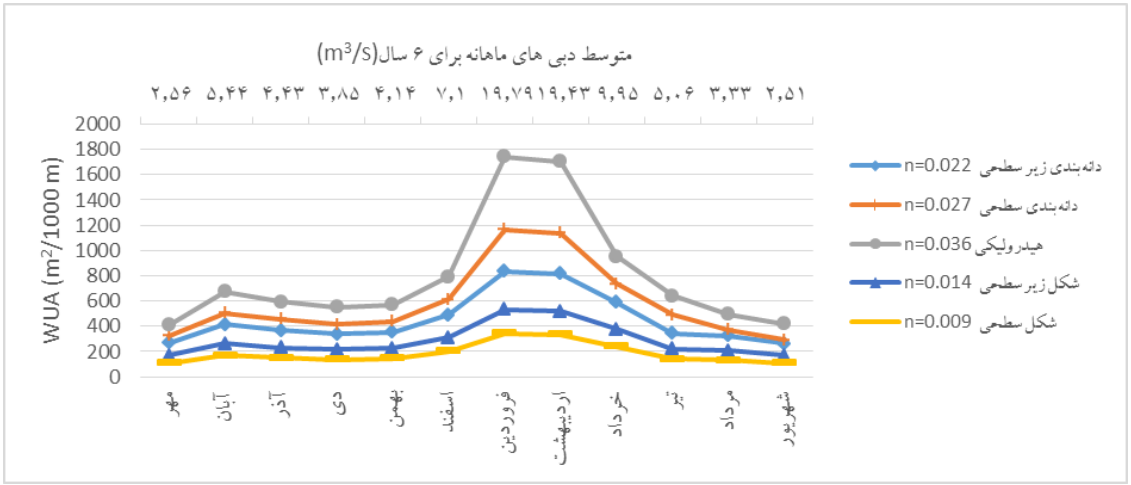
با توجه به شکل ۱۱ می‌توان دریافت که زبری هیدرولیکی که برابر ۰/۰۳۶ است و بیشترین زبری را در بین زبری‌های شکل و دانه‌بندی دارد، برای ماهی نوزاد بیشترین مطلوبیت (۲۸۰۰ متر مربع در هر ۱۰۰۰ متر) را به خود اختصاص داده است. افزایش دبی باعث کاهش مطلوبیت برای ماهی نوزاد می‌شود، به طوری که برای ماه‌های مهر و آبان که کمترین دبی در سال را دارد، بیشترین مطلوبیت و برای ماه‌های فروردین و اردیبهشت که بیشترین دبی را دارد، کمترین مطلوبیت را برای ماهی نوزاد می‌توان مشاهده کرد. بعد از زبری هیدرولیکی به‌ترتیب با کاهش مقدار زبری از زبری دانه‌بندی لایهٔ سطحی با مقدار ۰/۰۲۷، زبری دانه‌بندی لایهٔ زیرسطحی با مقدار ۰/۰۲۲، زبری شکل لایهٔ زیرسطحی با مقدار ۰/۰۱۴ و زبری شکل لایهٔ سطحی با مقدار ۰/۰۰۹ مطلوبیت برای ماهی نوزاد کاهش می‌یابد. دلیل این موضوع را می‌توان در تأثیر ضرایب زبری در ایجاد عمق

آب‌ها پیدا کرد که با افزایش ضریب زبری عمق آب افزایش (تلاطم کمتر) و با کاهش ضریب زبری عمق آب کاهش (تلاطم بیشتر) می‌یابد که برای ماهی نوزاد به دلیل حساسیت بالا در تلاطم کم شرایط بهتر و در تلاطم بالا شرایط بدتر است.

همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده، با توجه به اینکه توالی قرارگیری منحنی‌ها برای ماهی جوان مشابه ماهی نوزاد است، ولی برای ماهی جوان شرایط مطلوبیت به گونهٔ دیگری است. به خلاف ماهی نوزاد، بیشترین مطلوبیت برای ماهی جوان در ماه‌های فروردین و اردیبهشت (۳ هزار متر مربع در هر یک هزار متر) که دارای بیشترین دبی هستند، وجود دارد. مشابه ماهی نوزاد، با افزایش ضریب زبری مطلوبیت افزایش و با کاهش ضریب زبری مطلوبیت برای ماهی جوان کاهش یافته است. در مجموع، می‌توان به این نتیجه رسید که ماهی جوان از میزان حساسیت ماهی نوزاد برخوردار نبوده است و در دبی‌های بالای جریان شرایط بهتری نسبت به ماهی نوزاد دارد. همچنین، از مقایسهٔ منحنی‌های مربوط به ماهی نوزاد و جوان می‌توان نتیجه گرفت که مساحت قابل استفادهٔ وزنی (WUA) به طور کلی در ازای زبری‌های یکسان، برای ماهی نوزاد بیشتر از ماهی جوان طی سال آبی است.



شکل ۱۲. تأثیر زبری‌های هیدرولیکی، دانه‌بندی و شکل بر ماهی جوان



شکل ۱۳. تأثیر زبری‌های هیدرولیکی، دانه‌بندی و شکل بر ماهی بالغ

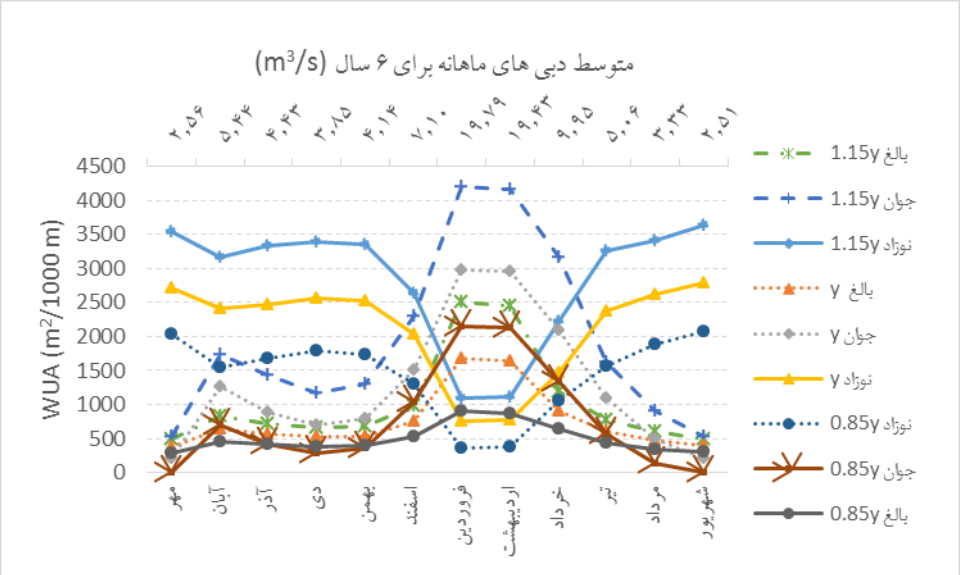
برای ماهی بالغ که در شکل ۱۳ نشان داده شده، شرایط تقریباً همانند ماهی جوان است، ولی با این تفاوت که با افزایش و کاهش ضرایب زبری در نیمهٔ اول سال آبی از ماه مهرتا اسفند و در نیمهٔ دوم سال آبی از ماه‌های خرداد تا شهریور تغییرات مطلوبیت محسوس نبوده است، در حالی که برای ماه‌های فروردین و اردیبهشت که بیشترین دبی‌ها را دارند، مطلوبیت به شکل محسوسی تغییر یافته است. اینجا نیز از مقایسهٔ منحنی‌های مربوط به ماهی نوزاد و جوان و بالغ می‌توان نتیجه گرفت که مساحت قابل استفادهٔ وزنی (WUA) به طور کلی، در ازای زبری مساوی برای ماهی نوزاد بیشتر از ماهی جوان و بالغ است. همچنین، مقایسهٔ منحنی‌های مربوط به ماهی جوان و ماهی بالغ نشان می‌دهد مساحت قابل استفادهٔ وزنی (WUA) به طور کلی، در ازای زبری مساوی برای ماهی جوان بیش از ماهی بالغ است. در رودخانهٔ جاجرود مساحت قابل استفاده وزنی از ۴۰۰ مترمربع در ماه‌های شهریور و مهر به ۱۸۰۰ مترمربع در هر یک هزار متر در ماه فروردین افزایش نشان داد.

بررسی اثر پارامترهای مقاومت جریان بر مطلوبیت زیستگاه

در صورتی که متغیرهای مؤثر بر یک پدیدهٔ فیزیکی شناخته شده باشد اما ارتباط بین آنها معلوم نباشد، با استفاده از تحلیل ابعادی می‌توان پدیده را به صورت رابطه‌ای بین چند گروه بی‌بعد که تعدادشان کمتر از تعداد متغیرها است، فرموله کرد. با انجام تحلیل ابعادی مشاهده شد که ضریب زبری به ابعاد هندسی یعنی عرض، عمق و زبری مواد بستر بستگی دارد. در بخش بعد اثر این پارامترها روی زیستگاه بررسی خواهد شد.

الف) بررسی تأثیر عمق جریان

برای بررسی تغییرات عمق روی زیستگاه در سه گروه سنی نوزاد، جوان و بالغ، عمق آب در ده مقطع محدودهٔ بررسی‌شده به میزان ۱۵ درصد افزایش و ۱۵ درصد کاهش داده شد و تغییرات هریک برای ماهی نوزاد، ماهی جوان و ماهی بالغ بررسی شد (شکل ۱۴). درخور یادآوری است که روند تغییرات عمق بر مطلوبیت در ماهی بالغ، مشابه ماهی جوان است [۲۱].



شکل ۱۴. تأثیر عمق بر سه دورهٔ سنی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

با افزایش عمق آب، میزان مساحت قابل استفادهٔ وزنی برای ماهی نوزاد افزایش می‌یابد و در نیمهٔ اول سال آبی در ابتدا میزان مساحت قابل استفادهٔ وزنی ثابت و سپس، نزولی است و در نیمهٔ دوم سال آبی روند صعودی است. بنابراین، در ماه‌های اردیبهشت و فروردین که بیشترین میزان دبی سالانه در رودخانه و کمترین میزان مساحت قابل استفادهٔ وزنی محاسبه شد، حساسیت ماهی نوزاد به عمق نشان داده شد. در ماه‌های مهر و شهریور که کمترین دبی در رودخانه وجود دارد، مساحت قابل استفادهٔ وزنی بیشترین میزان است، یعنی هرچه محیط آرام‌تری برای

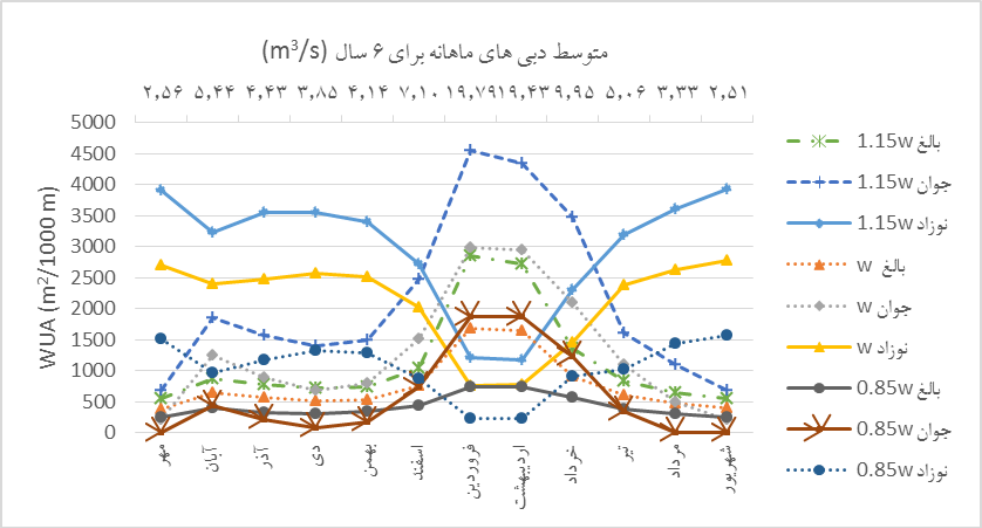
این ماهی در این سن فراهم باشد، از شرایط زندگی بهتری برخوردار خواهد بود.

اما برای ماهی جوان شرایط متفاوت از ماهی نوزاد است. در نیمهٔ اول سال آبی مساحت قابل استفادهٔ وزنی ماهی جوان درمجموع، روند صعودی دارد و برای نیمهٔ دوم سال آبی روند نزولی، که این امر نشان می‌دهد هرچه عمق و دبی بیشتر می‌شود، مطلوبیت برای ماهی جوان هم افزایش می‌یابد، به طوری که در ماه‌های اردیبهشت و فروردین با بیشترین دبی در سال، بالاترین مساحت قابل استفاده وزنی در محدودهٔ مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

شرایط برای ماهی بالغ تقریباً شبیه ماهی جوان است با این تفاوت که منحنی‌ها با افزایش و کاهش عمق آب، بسیار به هم نزدیک‌اند و فقط در ماه‌های فروردین و اردیبهشت فاصلهٔ منحنی‌ها از یکدیگر بیشتر است و بیشترین مساحت قابل استفادهٔ وزنی برای این گروه سنی وجود دارد. از مقایسهٔ منحنی‌های مربوط به ماهی نوزاد، جوان و بالغ می‌توان نتیجه گرفت که ماهی‌های جوان و بالغ به دلیل عبور از سن حساس نوزادی با افزایش عمق و دبی از شرایط مطلوب‌تری برخوردار می‌شوند.

ب) بررسی تأثیر عرض جریان

بررسی اثر عرض روی زیستگاه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در سه گروه سنی نوزاد، جوان و بالغ با افزایش و کاهش عرض آب در ده مقطع به میزان ۱۵ درصد صورت گرفته و مساحت قابل استفادهٔ وزنی در ماه‌های سال آبی به عنوان خروجی نرم‌افزار PHABSIM مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. تأثیر عرض بر سه دورهٔ سنی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

برای ماهی نوزاد با افزایش عرض آب مطلوبیت زیستگاه افزایش می‌یابد، به طوری که بیشترین میزان برای افزایش ۱۵ درصد عرض آب است. با کاهش عرض آب، میزان مطلوبیت زیستگاه ماهی نوزاد کاهش می‌یابد، به نحوی که در میزان ۱۵ درصد کاهش عرض کمترین مطلوبیت را می‌توان مشاهده کرد. در نیمهٔ اول سال آبی مطلوبیت روندی نزولی دارد، به صورتی که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به کمترین میزان می‌رسد و در نیمهٔ دوم سال آبی روند صعودی دارد.

با افزایش میزان عرض آب برای ماهی جوان افزایش مطلوبیت و با کاهش عرض کاهش مطلوبیت حاصل می‌شود. از ماه‌های مهر تا اسفند و از تیر تا شهریور این میزان کمتر تغییر کرده، ولی در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد بیشتر تغییر می‌کند که نشان می‌دهد در دبی‌های بالا تغییرات زیاد و در دبی‌های پایین‌تر تغییرات کمتر است. در نیمهٔ اول سال آبی به طور کلی روند صعودی مطلوبیت و در نیمهٔ دوم سال آبی روند نزولی مطلوبیت برای ماهی جوان وجود دارد. شکل کلی

منحنی‌های مطلوبیت برای ماهی جوان مشابه ماهی بالغ است [۲۱].

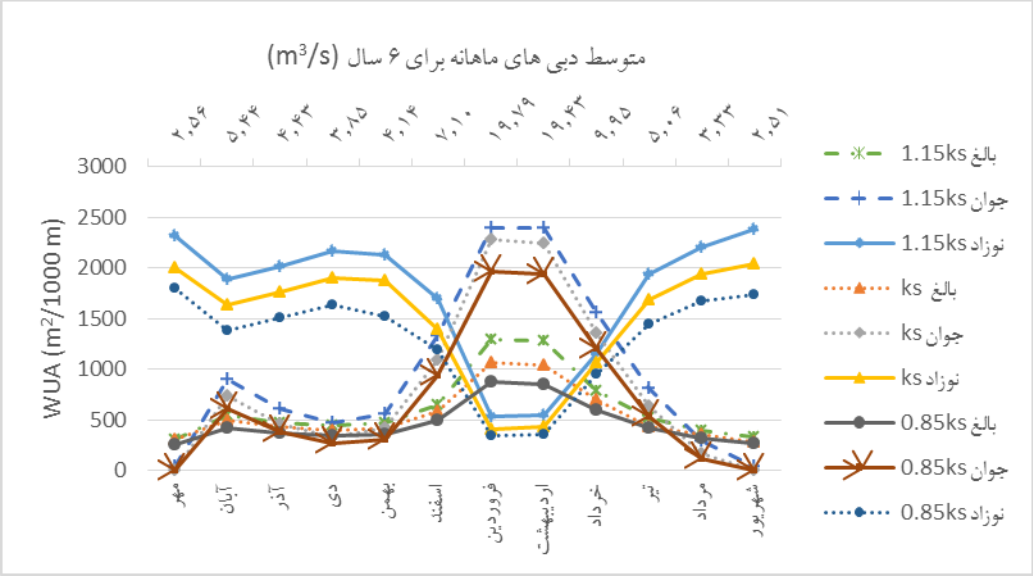
برای ماهی بالغ شرایط مطلوبیت زیستگاه شبیه به ماهی جوان است، با این تفاوت که با افزایش و کاهش عرض آب برای ماه‌های مهر تا اسفند و خرداد تا شهریور تغییرات مطلوبیت زیاد نبوده، ولی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت تغییرات زیادی مشاهده شده است.

ج) بررسی اثر ارتفاع معادل زبری

در این بخش با استفاده از روابطی که مرجع [۲۳] از محققان گردآوردی کرده، (k_s) مربوط به رودخانه به شرح ذیل در لایهٔ زیرسطحی و سطحی محاسبه شده است. نخست با تعیین قطر مؤثر ذره در قسمت سطحی و زیرسطحی بستر با استفاده از انحراف معیار هندسی، قطر مؤثر برای قسمت سطحی، D_{65} و برای قسمت زیرسطحی، D_{90} تعیین شد. سپس، با تعیین قطر مؤثر، مقدار (k_s) به دست آمد. این مقدار برای لایهٔ سطحی، ۱۸۴ میلی‌متر و برای لایهٔ زیرسطحی، ۱۱۹ میلی‌متر است. در نهایت، تأثیر (k_s) بر زیستگاه به طور جداگانه برای لایهٔ زیرسطحی و لایهٔ سطحی مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- تأثیر ارتفاع معادل زبری سطحی

برای مشاهدهٔ تأثیر ارتفاع معادل زبری قسمت سطحی بستر بر زیستگاه رودخانه با تغییر ارتفاع معادل زبری به میزان ۱۵ درصد (افزایش و کاهش) میزان تغییرات مطلوبیت زیستگاه برای سه گروه سنی نوزاد، جوان و بالغ به دست آمد (شکل ۱۶) [۲۱].



شکل ۱۶. تأثیر ارتفاع معادل زبری (سطحی) بر سه دورهٔ سنی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

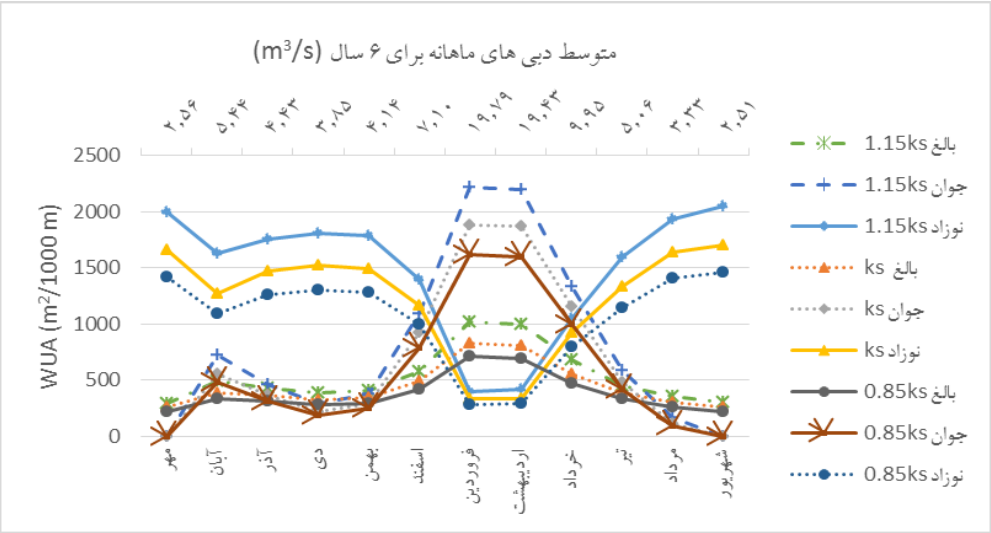
با افزایش ارتفاع معادل زبری مطلوبیت هم افزایش یافته و به‌عکس با کاهش ارتفاع معادل زبری مطلوبیت کاهش یافته است. در ماه‌های فروردین و اردیبهشت تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مساحت قابل استفادهٔ وزنی مشاهده نشد (منحنی‌ها کاملاً به هم نزدیک شده‌اند) و همان‌گونه که انتظار می‌رفت، افزایش دبی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت موجب کاهش مساحت قابل استفادهٔ وزنی شده است. در ماه‌های مهر تا اسفند و تیر تا شهریور تغییرات نسبی بیشتر به چشم می‌خورد. همچنین، روند نزولی مطلوبیت در نیمهٔ اول سال آبی و روند صعودی مطلوبیت در نیمهٔ دوم سال آبی ملاحظه می‌شود.

برای ماهی جوان نتیجهٔ بررسی به این صورت است که در شرایط مطلوبیت با افزایش و کاهش ارتفاع، معادل زبری در ماه‌های مهر تا اسفند و خرداد تا شهریور تغییر محسوسی مشاهده نمی‌شود، ولی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت تغییرات محسوس‌ترند، اما این تغییرات به میزان ماهی نوزاد نیست. همچنین، در نیمهٔ نخست سال آبی روند صعودی و در نیمهٔ دوم سال آبی روند نزولی مطلوبیت وجود دارد.

برای ماهی بالغ شرایط بسیار شبیه به ماهی جوان است، به این صورت که فقط در ماه‌های فروردین و اردیبهشت که دبی حداکثر است، با افزایش و کاهش ارتفاع معادل زبری تغییرات محسوس‌تر بوده است، ولی برای بقیهٔ ماه‌های سال تغییرات زیادی ملاحظه نمی‌شود. همچنین، همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شد، در دبی زیاد شرایط مطلوبیت برای ماهی جوان و بالغ مناسب‌تر است، در حالی که همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، برای ماهی نوزاد شرایط مناسب نیست.

۲- تأثیر ارتفاع معادل زبری لایهٔ زیرسطحی

با استفاده از ارتفاع معادل زبری مربوط به ذرات لایهٔ زیرسطحی بستر رودخانه، تغییرات مطلوبیت برای سه گروه سنی همانند ذرات سطحی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱۷ مربوط به ماهی نوزاد و شکل ۱۸ مربوط به ماهی جوان است. شکل کلی منحنی‌های مطلوبیت ماهی بالغ مشابه ماهی جوان است [۲۱].



شکل ۱۷. تأثیر ارتفاع معادل زبری (زیرسطحی) بر سه دورهٔ سنی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

برای ماهی نوزاد همانند ذرات سطحی با افزایش ارتفاع معادل زبری مطلوبیت هم افزایش یافته است و به‌عکس با کاهش ارتفاع معادل زبری مطلوبیت هم با کاهش مواجه شده و این تغییرات برای ماه‌های فروردین و اردیبهشت که از دبی‌های بالا در سال است، کمتر شده تا جایی که تقریباً منحنی‌ها بر هم منطبق شده‌اند، ولی در ماه‌های نیمهٔ اول سال آبی و از ماه تیر تا شهریور نیمهٔ دوم سال آبی میزان تغییرات بیشتر شده است. مقایسهٔ نتایج سطحی و زیرسطحی نشان‌دهندهٔ آن است که هرچقدر مصالح بستر درشت‌دانه‌تر باشد، با افزایش و کاهش ارتفاع معادل زبری، تغییرات بیشتری در مطلوبیت مشاهده خواهد شد.

برای ماهی جوان در نیمهٔ اول سال آبی از مهر تا اسفند و خرداد تا شهریور با تغییر ارتفاع معادل زبری تغییرات زیادی مشاهده نمی‌شود، ولی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت تغییرات مطلوبیت قابل ملاحظه است. درخور یادآوری است که در ماه‌های مهر و شهریور که دارای کمترین دبی در متوسط ۶ سال هستند، مطلوبیت به صفر می‌رسد و در ماه‌های فروردین و اردیبهشت که بیشترین دبی تجربه شده است، بیشترین مطلوبیت وجود دارد.

برای ماهی بالغ در ماه‌های فروردین و اردیبهشت با کاهش ارتفاع معادل زبری به اندازهٔ ۱۵ درصد مطلوبیت به میزان کمی تغییر می‌کند و با افزایش ۱۵ درصد ارتفاع معادل زبری، تغییرات مطلوبیت زیستگاه بیشتری مشاهده می‌شود. در مقایسهٔ سطحی و زیرسطحی این نتیجه گرفته می‌شود که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت که بیشترین دبی در رودخانه وجود دارد، میزان سطح قابل استفادهٔ وزنی در شرایط زبری لایهٔ سطحی بیشتر است.

بحث و نتیجه‌گیری

پارامترهایی که باعث ایجاد مقاومت جریان در رودخانه می‌شوند، به دو دسته تقسیم شدند: ۱) پارامترهای هیدرولیکی (مثل عرض و عمق) ۲) پارامترهایی که در

جدارهٔ ایجاد زبری می‌کنند (مثل دانه‌بندی مواد) و نقش هر یک مورد بررسی قرار گرفت. به این شکل که پارامتر عمق به میزان ۱۵ درصد افزایش و کاهش داده شد و مشاهده شد بیشترین مطلوبیت در ماه فروردین مربوط به ماهی جوان با مقدار ۴۲۰۰ متر مربع در هر هزار متر و در نتیجه ۱۵ درصد افزایش عمق است. پس از آن، بیشترین مطلوبیت برای ماهی بالغ با مقدار ۲۵۰۰ مترمربع در هر هزار متر در همان ماه با همین میزان افزایش عمق ملاحظه شد. در حالی که برای ماهی نوزاد، بیشترین مطلوبیت در ماه شهریور با افزایش ۱۵ درصد عمق و مقدار ۳۶۰۰ مترمربع در هر هزار متر مشاهده شد.

در ادامهٔ تحقیق، با تغییر پارامتر عرض به میزان ۱۵ درصد افزایش و کاهش، مشاهده شد بیشترین مطلوبیت در ماه فروردین مربوط به ماهی جوان با مقدار ۴۵۶۰ متر مربع در هر هزار متر در نتیجه ۱۵ درصد افزایش عرض است. پس از آن، بیشترین مطلوبیت برای ماهی بالغ با مقدار ۲۸۵۰ مترمربع در هر هزار متر در همان ماه با همین میزان افزایش عرض ملاحظه شد. در حالی که برای ماهی نوزاد، بیشترین مطلوبیت در ماه شهریور با افزایش ۱۵ درصد عرض و مقدار ۳۹۲۰ مترمربع در هر هزار متر مشاهده شد.

در بررسی زبری جدارهٔ نخست لایهٔ سطحی بستر مورد بررسی قرار گرفت که با تغییر پارامتر ارتفاع معادل زبری به میزان ۱۵ درصد افزایش و کاهش، مشاهده شد بیشترین مطلوبیت در ماه اردیبهشت مربوط به ماهی جوان با مقدار ۲۴۰۰ متر مربع در هر هزار متر در نتیجه ۱۵ درصد افزایش ارتفاع معادل زبری است. پس از آن، بیشترین مطلوبیت برای ماهی بالغ با مقدار ۱۳۰۰ مترمربع در هر هزار متر در ماه فروردین با همین میزان افزایش ارتفاع معادل زبری ملاحظه شد. در حالی که برای ماهی نوزاد، بیشترین مطلوبیت در ماه شهریور با افزایش ۱۵ درصد ارتفاع معادل زبری و مقدار ۲۳۸۰ مترمربع در هر هزار متر مشاهده شد. در لایهٔ زیرسطحی بستر هم با تغییر پارامتر ارتفاع معادل زبری به میزان ۱۵ درصد افزایش و کاهش، مشاهده شد بیشترین مطلوبیت در ماه فروردین مربوط به ماهی جوان با مقدار ۲۲۲۰ متر مربع در هر هزار متر در نتیجه ۱۵ درصد افزایش ارتفاع معادل زبری است. پس از آن، بیشترین مطلوبیت برای ماهی بالغ با مقدار ۱۰۲۰ مترمربع در هر هزار متر در همان ماه با همین میزان افزایش ارتفاع معادل زبری ملاحظه شد. در حالی که برای ماهی نوزاد، بیشترین مطلوبیت در ماه شهریور با افزایش ۱۵ درصد ارتفاع معادل زبری و مقدار ۲۰۴۰ مترمربع در هر هزار متر مشاهده شد.

حاجی اسماعیلی و همکاران [۱۴] در تحقیقات خود روی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در رودخانهٔ دلیچای به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان عرض برای ماهی جوان و بالغ موجب افزایش مطلوبیت و برای ماهی نوزاد باعث کاهش مطلوبیت شده است. همچنین، افزایش میزان عمق در تحقیق حاجی اسماعیلی و همکاران [۱۴] موجب افزایش مطلوبیت برای ماهی جوان و بالغ و کاهش مطلوبیت برای ماهی نوزاد شد. این یافته‌ها با یافته‌های تحقیق حاضر تطبیق دارند. به علاوه، در تحقیق حاضر مشاهده شد که رفتار ماهی جوان و بالغ مشابه هم است. این موضوع در تحقیق حاجی اسماعیلی و همکاران [۱۴] هم مشاهده شده است.

در بررسی ضرایب زبری، مقادیر این ضریب از ضریب زبری شکل لایهٔ سطحی معادل ۰/۰۰۹ تا ضریب زبری هیدرولیکی معادل ۰/۰۳۶ تغییر کرده است. ضریب زبری هیدرولیکی با مقدار ۰/۰۳۶ باعث ایجاد بیشترین مطلوبیت در ماه فروردین برای ماهی جوان به میزان ۳ هزار متر مربع در هر هزار متر، برای ماهی بالغ در همان ماه به میزان ۱۷۴۰ متر مربع در هر هزار متر و در نهایت، برای ماهی نوزاد در ماه شهریور ۲۷۸۰ متر مربع در هر هزار متر مشاهده شد. حاجی اسماعیلی و همکاران [۱۴] در تحقیق خود برای ماهی جوان و بالغ ضریب زبری مناسب برای بهترین شرایط مطلوبیت را در بازهٔ ۰/۰۲ تا ۰/۰۲۷ تعیین و برای ماهی نوزاد بیشتر از ۰/۰۳۴ را به دست آوردند. در تحقیق حاضر زبری بیشتر، مطلوبیت زیستگاه بیشتری به همراه داشت. به بیان دیگر، به‌ترتیب زبری هیدرولیکی بیشترین مطلوبیت، سپس زبری دانه‌بندی سطحی، دانه‌بندی زیرسطحی، زبری شکل زیرسطحی و زبری شکل سطحی کمترین مطلوبیت را به وجود آورد.

درخصوص ارتباط مقدار دبی با مطلوبیت زیستگاه ملاحظه شد که در ماه‌های با بیشترین دبی، کمترین مطلوبیت برای ماهی نوزاد، ولی برای ماهی جوان و بالغ بیشترین مطلوبیت وجود داشت. از سوی دیگر، در دبی‌های

پایین جریان، برای ماهی نوزاد بیشترین مطلوبیت، ولی برای ماهی جوان و بالغ کمترین مطلوبیت وجود داشت. با افزایش عمق و افزایش عرض جریان و همچنین، افزایش ارتفاع معادل زبری، مطلوبیت زیستگاه برای سه دورهٔ سنی گونه هدف افزایش یافت. در رژیم‌های بالای جریان، برای ماهی نوزاد تغییرات مطلوبیت بسیار کم، برای ماهی جوان بیشتر و برای ماهی بالغ بیشترین تغییرات مطلوبیت وجود دارد. در رژیم‌های پایین جریان ماهی نوزاد بیشترین تغییر، ماهی بالغ کمترین تغییر مطلوبیت را دارد. با بررسی نتایج حاصل از مدل‌سازی زیستگاه، باتوجه به اینکه ملاک سنجش مطلوبیت، سطح قابل استفادهٔ وزنی است، عاملی که باعث بیشترین تغییر در مطلوبیت زیستگاه می‌شود، عرض جریان است که با افزایش این عامل بیشترین مطلوبیت برای زیستگاه گونهٔ هدف در سه دورهٔ سنی، مشاهده شد.

منابع

[1]. Chow V. Open-channel hydraulics. International student edition. McGraw-Hill Civ Eng Ser. 1959;xviii:680.

[2]. Cowan WL. Estimating hydraulic roughness coefficients: Agricultural Engineering,. Agric Eng. 1956;337(1956):470–500.

[3]. Ebrahimi, N., Sokouti Oskoee, R. Experimental study on flow resistance of the inclined river, case study: Shahr-chay River. Watershed Engineering and Management, 2017; 9(3): 239-249.[Persian]

[4]. Mohammadi, M., moludi, M. Determination of Resistance Coefficient in Gravel Bed Rivers (case study: Urmia Shahr-Chay River). Water and Soil Science, 2021.[Persian]

[5]. Tennant DL. Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources. Fisheries. 1976 [cited 2021 Jun 10];1(4):6–10.

[6]. Stalnaker C, Lamb BL, Henriksen J, Bovee K, Bartholow J. The instream flow incremental methodology: a primer for IFIM. Biol Rep - US Dep Inter Natl Biol Serv. 1995 [cited 2020 Nov 6];29.

[7]. Bovee KD, Lamb BL, Bartholow JM, Stalnaker CB, Taylor J, Henriksen J. Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. USGS/BRD-Information and Technology Report. Fort Collins, CO; 1998.

[8]. Mouton AM, Schneider M, Depestele J, Goethals PLM, De Pauw N. Fish habitat modelling as a tool for river management. Ecol Eng. 2007 Mar 1;29(3):305–15.

[9]. Nagaya T, Shiraishi Y, Onitsuka K, Higashino M, Takami T, Otsuka N, et al. Evaluation of suitable hydraulic conditions for spawning of ayu with horizontal 2D numerical simulation and PHABSIM. Ecol Modell. 2008 Jul 10;215(1–3):133–43.

[10]. Wilding TK, Bledsoe B, Poff NL, Sanderson J. Predicting habitat response to flow using generalized habitat models for trout in Rocky Mountain streams. River Res Appl. 2014 Sep 1;30(7):805–24.

[11]. Peng L, Sun L. Minimum instream flow requirement for the water-reduction section of diversion-type hydropower station: a case study of the Zagunao River, China. Environ Earth Sci. 2016 Sep 1 [cited 2021 Jun 10];75(17):1–8.

[12]. Nikghalb S, Shokoohi A, Singh VP, Yu R. Ecological Regime versus Minimum Environmental Flow:Comparison of Results for a River in a Semi Mediterranean Region. Water Resour Manag [Internet]. 2016 Oct 1 [cited 2021 Jun 14];30(13):4969–84.

[13]. Hashemi, S , Tabatabai, M. R. M., Mousavi Nadoushani, R, Brown trout functional flows range, based on morphologic and physical habitat parameters in Lar Headwaters, Journal of Natural Environment, 2016; 69(3): 865-880.[Persian]

[14]. Hajiesmaeili M, Ayyoubzadeh SA, Sedighkia M. Effects of stream hydraulic characteristics on habitat suitability for rapid habitat assessment of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Int J Fish Aquat Stud. 2018;6(5):10–9.

[15]. Asghari S, Feizollah pour M, Mohammad nejad A. Investigation of sediment delivery ratio (SDR) in Jajroud river basin. Quantitative Geomorphological Research, 2018; 2(1): 67-78.

[16]. Abdoli A, Naderi M. Biodiversity of fish in the southern basin of the Caspian Sea. Aquatic Science Publications, 2008. [Persian]

[17]. Abdoli A, Determination of water need and basic environmental discharge of Jaajrud river. Department of Environment, 2018. [Persian]

[18]. Coad BW, Fresh water Fishes of Iran, Species Accounts - Salmonidae - Oncorhynchus mykiss. 2020. Available from: http://www.briancoad.com

[19]. Wolman, M.G. (1954) A Method of Sampling Coarse River-Bed Material. Transactions-American Geophysical Union, 35, 1954, 951-956.

[20]. Google map: Jajrud River. 2021. Available from: https://www.maps.google.com.

[21]. Najafi M.A. The Effect of Flow Resistance Parameters on Jaajrud River Habitats. 2021. MSc. Thesis. University of Shahid Beheshti, Iran.

[22]. Milhous RT, Waddle TJ. Physical Habitat Simulation (PHABSIM) Software for Windows (v.1.5.1). Fort Collins, CO: USGS Fort Collins Science Center. Midcontinent Ecological Science Centre. 2012.

[23]. Cheng N-S. Representative Grain Size and Equivalent Roughness Height of a Sediment Bed. J Hydraul Eng. 2016 [cited 2021 May 29];142(1):06015016.