

## بررسی الزامات برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها با روش‌های هیدرواکولوژیکی (مطالعه موردی: رودخانه دلیچای واقع در استان تهران)

مهدی صدیق‌کیا<sup>۱</sup>، سید علی ایوب‌زاده<sup>۲\*</sup>، محبوبه حاجی اسماعیلی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۳. کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۷/۲۰)

### چکیده

در پژوهش حاضر الزامات برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها با تمرکز بر رودخانه دلیچای به‌عنوان نمونه مطالعاتی با استفاده از روش‌های هیدرواکولوژیکی بررسی شده است. ابتدا با استفاده از دو روش مرسوم تنانت و محیط ترشده به تخمین جریان زیست‌محیطی پرداخته شده است. سپس با توجه به اهمیت و غالب بودن گونه قزل‌آلای رنگین‌کمان در این رودخانه شرایط اکولوژیکی رودخانه برای این‌گونه بررسی شده و ارزیابی زیستگاهی صورت گرفته است. براساس نتایج، جریان زیست‌محیطی تخمین زده شده با استفاده از دو روش استفاده شده در این پژوهش اختلاف زیادی دارد و عملاً نتایج این دو بسیار مبهم خواهد بود. مطابق با نمودار سری زمانی زیستگاه نیز، شرایط مطلوبیت زیستگاهی برای سه گروه سنی مختلف قزل‌آلای رنگین‌کمان بسیار متفاوت است. میزان زیستگاه‌های مطلوب در دسترس نیز در ماه‌های مختلف سال بسیار متغیر است. بنابراین تخمین یک میزان خاص برای جریان زیست‌محیطی کار مشکلی خواهد بود. در صورت استفاده از روش محیط ترشده عملاً ذی‌نفعان در رودخانه حق بهره‌برداری از آن را نخواهند داشت، و در صورت استفاده از روش‌هایی مانند حداقل تنانت برای تخمین حداقل جریان زیست‌محیطی طبق سری زمانی زیستگاهی عملاً تنش‌های جبران‌ناپذیری برای اکوسیستم رودخانه به‌خصوص در ماه‌های بحرانی مانند تخم‌ریزی گونه مد نظر (اسفند و فروردین) ایجاد می‌شود. در مجموع ابتدا باید توزیع مکانی زیستگاهی در طول رودخانه استخراج و سپس با توجه به نمودار سری زمانی مطلوبیت هر بازه میزان جریان زیست‌محیطی تخمین زده شود.

**کلیدواژه‌گان:** جریان زیست‌محیطی، رودخانه دلیچای، روش‌های هیدرواکولوژیکی، قزل‌آلای رنگین‌کمان، مطلوبیت زیستگاه.

## مقدمه

براساس پژوهش‌های انجام‌شده در دهه ۹۰ حدود ۵۰ درصد از آب‌های سطحی در زمین توسط بشر در قالب پروژه‌های مختلف بهره‌برداری می‌شود و این رقم تا سال ۲۰۲۵ به حدود ۷۰ درصد خواهد رسید [۲۵]. از حدود ۵۰ سال پیش مفهومی با عنوان جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها تعریف شده است. در ایران تا کنون در بحث جریان زیست‌محیطی تنها به روش‌های تعیین حداقل جریان توجه شده است و روش تأییدشده وزارت نیرو در زمینه تخمین جریان آب زیست‌محیطی روش تنانت است [۲]. براساس تقسیم‌بندی مؤسسه بین‌المللی منابع آب (IWMI) روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی به چهار دسته کلی هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاهی و جامع تقسیم می‌شوند و همچنین گاهی با توجه به شرایط روش‌های ترکیبی در تعیین جریان زیست‌محیطی کاربرد دارد [۱]. روش‌های هیدرولوژیکی که به روش‌های رومیزی نیز معروف‌اند، از داده‌های ماهانه یا روزانه دبی جریان در مدت زمان آماری معقول به‌منظور تعیین جریان زیست‌محیطی استفاده می‌کنند [۲۶ و ۳۲]. در روش هیدرولیکی از ارتباط بین یکی از مشخصه‌های هیدرولیکی کانال رودخانه و دبی جریان برای تعیین حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه استفاده می‌شود [۹]. این روش فرض می‌کند که رابطه مستقیمی بین محیط ترشده در زیستگاه خیزآب و شرایط زیستی رودخانه وجود دارد. این روش بر پایه رسم نمودار ارتباط بین محیط ترشده و دبی جریان استوار است. نقطه‌ای که حداکثر انحنا در منحنی را دارد به‌عنوان نقطه معیار در تعیین حداقل جریان زیست‌محیطی استفاده می‌شود و دبی معادل این نقطه میزان جریانی است که برای حفظ اکوسیستم رودخانه مورد نیاز است. تشخیص مشاهداتی این نقطه صحیح نیست و دو روش برای تشخیص این نقطه شکست وجود دارد در روش اول مشتق اول معادله دبی- محیط ترشده برابر ۱ قرار داده می‌شود که البته با توجه به شرایط مدیریتی اعداد دیگری به‌جز یک نیز کاربرد دارد و در روش دوم با توجه به رابطه حداکثر انحنای تابع دبی- محیط ترشده، دبی معادل بیشترین انحنای تابع محاسبه‌شده و این مقدار به‌عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز در نظر گرفته می‌شود. در

روش شبیه‌سازی زیستگاه بین پارامترهای هیدرولیکی و اکولوژیکی گونه هدف ارتباط برقرار می‌شود و مساحت قابل استفاده وزنی (WUA)<sup>۱</sup> برای گونه مشخص می‌شود [۷]. در روش‌های جامع با یک دید جامع‌نگر تأثیر تمامی عوامل مؤثر بر جریان زیست‌محیطی دیده می‌شود. این روش‌ها نیازمند اطلاعات کاملی از نظر هیدرولیکی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، زیستگاهی، اکولوژیکی آبزیان و گیاهان، آب‌های زیرزمینی و اطلاعات اجتماعی و اقتصادی هستند [۴]. رهیافت هیدرولوژیکی عموماً برای مرحله برنامه‌ریزی توسعه منابع آب مناسب است [۱۴]. در این روش به‌طور مستقیم بر ارزش‌های اکولوژیکی موجود تمرکز نمی‌شود. روش تنانت که از جمله این روش‌هاست [۳۱] درصدی از میانگین جریان سالانه را به‌عنوان جریان زیست‌محیطی مورد نیاز برای حفظ شرایط هیدرولوژیکی رودخانه در نظر می‌گیرد. این روش بر پایه داده‌های میدانی برداشت‌شده از ۱۱ رودخانه در مناطقی مانند مونتانا و نبراسکا در ایالات متحده است. ایشان ۱۰ درصد متوسط جریان سالانه را به‌عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی اعلام داشت. آستانه جریان اعلام‌شده توسط تنانت با قضاوت‌های دیگری نیز به‌کار گرفته شده است. برای مثال در منطقه آتلانتیک کانادا ۲۵ درصد متوسط جریان سالانه به‌عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی به‌کار گرفته شده است. مان (2006) صحت روش تنانت را در ۷ ایالت غربی آمریکا (شامل مناطقی که تنانت در آن‌ها داده‌برداری کرده بود) بررسی کرد. بر اساس نتایج تحقیق ایشان توصیه‌های تنانت در مناطقی کاربردی است که شیب آبراهه‌ها در آن کمتر از ۱ درصد باشد و برای آبراهه‌های با شیب بیش از ۱ درصد در مناطق غربی آمریکا مناسب نیست [۱۸]. شایان توضیح است براساس شرایط مدیریتی محدوده‌ای را به‌عنوان جریان زیست‌محیطی ارائه داده است، که با توجه به توصیه‌های تنانت محدوده ۶۰ درصد تا ۱۰۰ درصد جریان سالانه به‌عنوان میزان بهینه جریان زیست‌محیطی تعریف شده است. پایه روش‌های هیدرواکولوژیکی (روش‌هایی که تأکید عمیق بر اکولوژی آبزیان دارند) در برآورد وضعیت زیست‌محیطی رودخانه براساس تلاش‌های باوی در فاصله

1. Weighted Usable Area

از زیبایی زیستگاهی صورت گرفته است. همچنین الزامات محاسبه جریان زیست‌محیطی با روش هیدرواکولوژیکی بررسی شده است. با توجه به اینکه تا کنون به این روش‌ها در ایران توجه نشده است، ضروری است پایه تحقیقاتی لازم برای ورود به این روش‌ها ایجاد شود.

### مواد و روش‌ها

#### مشخصات رودخانه مطالعه‌شده

رودخانه دلیچای واقع در استان تهران و شهرستان دماوند، یکی از سرشاخه‌های مهم و پرآب حبله‌رود است که از زه‌کش دو دریاچه هویر و تار سرچشمه گرفته است و در سیمین‌دشت به حبله‌رود می‌پیوندد. پس از آن حبله‌رود مسیر خود را به سمت جنوب ادامه می‌دهد و در نهایت به منطقه گرمسار وارد می‌شود. رودخانه دلیچای از ارتفاعات ۳۵۰۰ متری منطقه در مسیر غربی- شرقی حرکت می‌کند و بعد از طی مسافت ۹ کیلومتر در محل برخورد به جاده فیروزکوه تغییر جهت می‌دهد و در ارتفاع ۱۴۸۰ متر به حبله‌رود می‌ریزد. محدوده جغرافیایی حوضه مطالعه‌شده به تقریب بین عرض‌های شمالی ۳۵ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه و طول‌های شرقی ۵۲ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه قرار دارد. حوضه آبریز این رودخانه مساحتی تقریباً برابر ۳۴۰ کیلومتر مربع دارد. تحقیقاتی که تا کنون روی رودخانه انجام گرفته است نشان می‌دهد اکنون شرایط رودخانه از نظر پارامترهای کیفی آب در حالت بحران قرار ندارد و شرایط هیدرولیکی و مورفولوژیکی رودخانه اجازه خودپالایی را به خود می‌دهد. در شکل ۲ نمای کلی رودخانه در منطقه مطالعه‌شده نشان داده شده است. با بررسی داده‌های آماری بیست‌ساله ایستگاه هیدرومتری سیمین‌دشت واقع در بخش انتهایی رودخانه مشاهده شد که دبی متوسط سالانه در درازمدت تقریباً برابر ۱/۱۱ مترمکعب بر ثانیه است و دبی حداکثر ماهانه در درازمدت در ماه پرآبی (فروردین) برابر ۲/۸۱۳ مترمکعب بر ثانیه بوده است. همچنین رودخانه دوره‌های کم‌آبی شدید را نیز در ماه‌های گرم سال تجربه کرده و میانگین ماهانه درازمدت رودخانه در مردادماه حدود ۱۸۲ لیتر بر ثانیه است و به دلیل داشتن شرایط متغیر هیدرولوژیکی نماینده‌ای مناسب برای بررسی وضعیت زیست‌محیطی در رودخانه‌های کوهستانی مشابه

سال‌های ۱۹۸۰ تا کنون بوده است. سایر پژوهشگران نیز هم‌زمان فعالیت‌های مستمری در این زمینه داشته‌اند. رهیافت نقشه‌برداری فیزیک زیستگاه (RHS) که توسط آژانس محیط زیست بریتانیا توسعه داده شده، شامل ثبت داده‌های فیزیک زیستگاه در کانال رودخانه، سواحل و اراضی مجاور تا فاصله ۵۰۰ متری است [۱۱]. روش‌های جامعی مانند BBM نیز به منظور تخمین جریان زیست‌محیطی توسعه داده شده است. این روش که روشی جامع است در کشور آفریقای جنوبی توسعه داده شده است که جامعیت مناسبی دارد و تمامی عوامل مؤثر (آبزی، پوشش گیاهی، هیدرولوژی، آب زیرزمینی، کیفیت آب) دیده می‌شود، اما مدل‌سازی ریاضی جدی در این روش صورت نمی‌گیرد و پس از جمع‌آوری داده‌های میدانی بسیار وسیع توسط تیم‌های قوی جمع‌آوری داده‌های میدانی براساس کارگاه‌های علمی متعدد که بین متخصصان علوم مختلف هیدرولیکی، هیدرولوژیکی و اکولوژیکی برگزار خواهد شد جریان زیست‌محیطی تعیین خواهد شد [۱۵]. در این میان پژوهشگرانی نیز نه در عنوان محاسبه جریان زیست‌محیطی بلکه برای شناخت محیط زیست آبراهه‌ها تلاش‌های ارزنده‌ای داشته‌اند. توسعه یک سیستم منطقی و پایدار در طبقه‌بندی زیستگاه‌های رودخانه‌ای همواره یک چالش برای پژوهشگران آبراهه‌ها و مدیران بخش آبریان رودخانه‌ای برای سال‌ها بوده است [۲۳]. یک سیستم طبقه‌بندی عمومی باید بتواند اهداف مختلف را ارضا کند. این سیستم باید بتواند چارچوبی استاندارد برای ارتباط بین پژوهشگران و مدیران ایجاد کند. همچنین باید براساس مفاهیم اکولوژیکی تعریف شود تا هم توسط پژوهشگران و هم توسط مدیران به راحتی قابل فهم و شناخت باشد. در منابعی مانند [۳۳] شرح تفصیلی این ویژگی‌ها آمده است. تغییر در ساختار شرایط دینامیکی محیط فیزیکی اولین پارامتر تأثیرگذار بر تولید مثل و تنوع زیستی آبریان در آبراهه است [۲۲].

در پژوهش حاضر با استفاده از دو روش مرسوم تنانت و محیط ترشده به تخمین جریان زیست‌محیطی پرداخته شده است که روش محیط ترشده از دسته روش‌های هیدرولیکی و روش تنانت از دسته روش‌های هیدرولوژیکی است. سپس شرایط اکولوژیکی رودخانه بررسی شده و

$q_i$ : دبی در ناحیه‌ای از مقطع که بین دو خط عمودی  $i$  و  $i+1$  قرار گرفته است ( $m^3/s$ ).

$V_i$ : متوسط سرعت آب در خط عمودی  $i$  ( $m/s$ )

$V_{i+1}$ : متوسط سرعت آب در خط عمودی  $i+1$  ( $m/s$ )

$d_i$ : عمق آب در خط عمودی  $i$  ( $m$ )

$d_{i+1}$ : عمق آب در خط عمودی  $i+1$  ( $m$ )

$b_i$ : عرض سطح آب بین دو خط  $i$  و  $i+1$  ( $m$ )

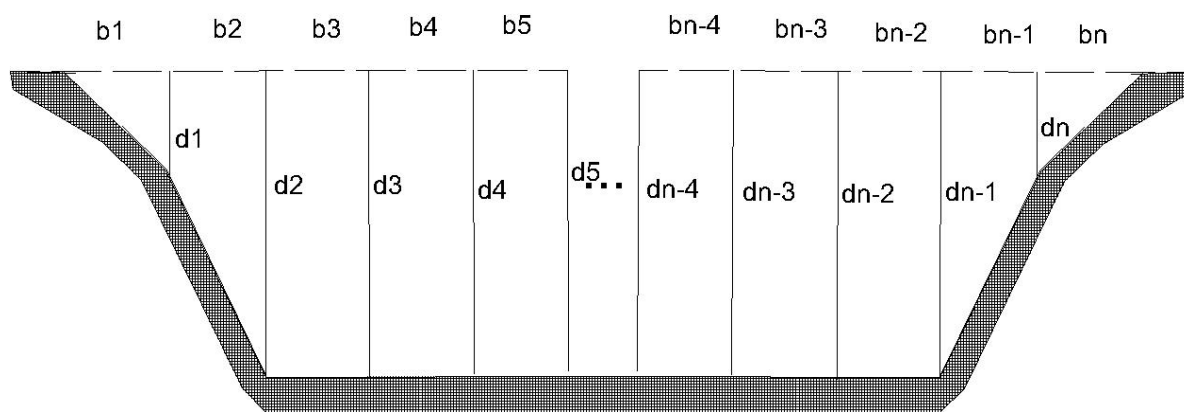
با محاسبه  $q_i$  در هر یک از اجزای سطح مقطع مقدار دبی کل ( $Q$ ) عبارت خواهد بود از:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

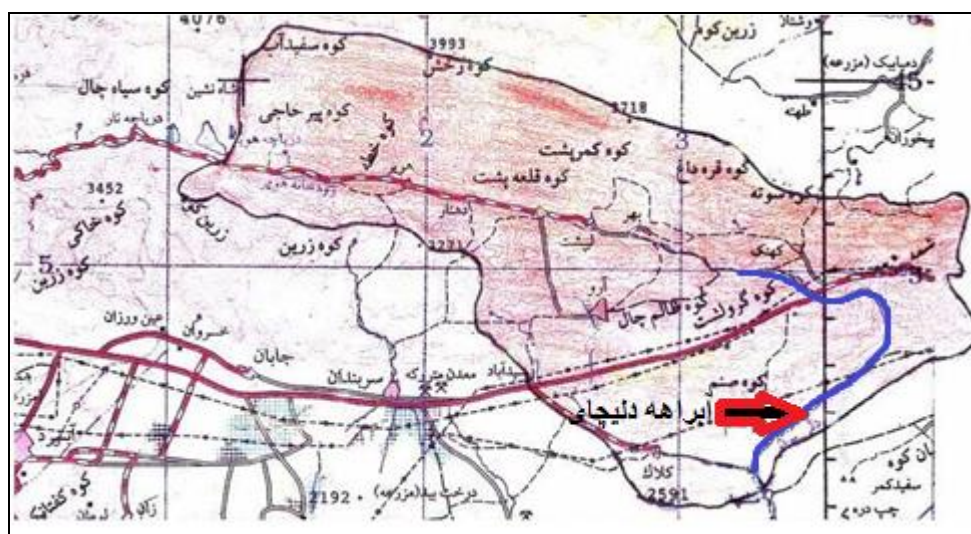
که  $n$  تعداد زیرمقاطع است.

است. شیب متوسط این رودخانه نیز برابر ۲ درصد است. به‌منظور محاسبه دبی متوسط در بازه‌های مختلف بالادست رودخانه در بازدیدهای میدانی انجام‌شده، از روش ریاضی زیر استفاده شد. اگر یک مقطع را مطابق شکل ۱ به چند قسمت  $b_1, b_2, \dots, b_n$  تقسیم کنیم و عمق آب در محل هر یک از تقسیمات  $d_1, d_2, \dots, d_n$  باشد با اندازه‌گیری سرعت متوسط در هر یک از نقاط تقسیم  $V_1, V_2, \dots$  می‌توان مقدار دبی جریان عبوری از هر یک از قطعات تقسیم‌شده سطح مقطع می‌گذرد (جریان هر زیرمقطع) از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$q_i = \left[ \frac{V_i + V_{i+1}}{2} \right] \times \left[ \frac{d_i + d_{i+1}}{2} \times b_i \right]$$



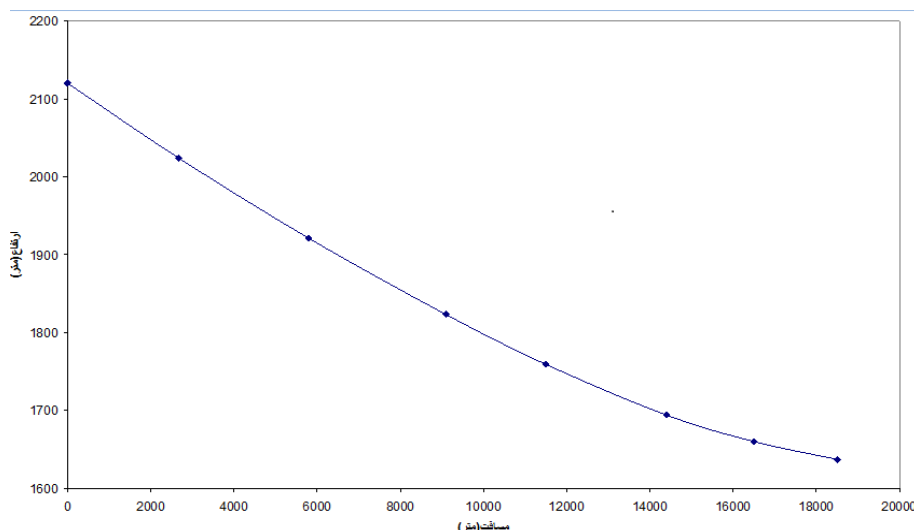
شکل ۱. تقسیم‌بندی مقطع عرضی رودخانه برای محاسبه سطح مقطع و دبی جریان رودخانه



شکل ۲. نمای کلی رودخانه دلیچای

ایستگاه هیدرومتری سیمین‌دشت (نشان داده‌شده در شکل ۲) اطلاعات کاملی از میزان دبی جریان در اختیار قرار داد. پروفیل آبراههٔ دلیچای در شکل ۳ نشان داده شده است.

در بازدیدهای میدانی مختلف دبی رودخانه در ۸ مقطع رودخانه به فواصل ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۴، ۱۷، ۱۹ و ۲۱ کیلومتر از ابتدای رودخانه اندازه‌گیری شد و در نهایت خروجی حاصل از این بازدیدها و اطلاعات موجود در



شکل ۳. پروفیل آبراههٔ دلیچای

[۲۴]. در مجموع آب‌های صاف و سرد که بستر درشت‌دانه و محدوده‌های مناسب زیستگاه‌های خیزآب و بینابینی دارند، مطلوب‌ترین زیستگاه‌های رنگین‌کمان تعریف می‌شوند [۲۷]. پوشش به‌عنوان یکی از اجزای ضروری و زیستگاه‌های قزل‌آلا محسوب می‌شود [۶]. عموماً تا دو هفته بعد از بیرون آمدن از تخم بچه‌ماهی‌های این نوع ماهی در بستر شنی باقی می‌مانند [۲۹]. و پس از حدود ۴۵ تا ۷۵ روز از تخم‌گذاری سر از بستر شنی بیرون می‌آورند. که بسته به دمای آب این زمان در این محدوده تغییر می‌کند [۸ و ۱۶]. بچه‌ماهی‌ها عمیق و سرعت‌های کمتر را نسبت به سایر گروه‌های سنی ترجیح می‌دهند [۱۳ و ۲۱]، و سرعت‌های کمتر از ۸ سانتی متر در ثانیه در بررسی‌های میدانی توسط این گروه سنی ترجیح داده شده است [۱۲]. براساس پژوهش‌هایی مانند موارد اشاره‌شده، منحنی‌های معیارهای مطلوبیت سه پارامتر اصلی عمق، سرعت و زیرلایه استخراج شده است و در منابعی مانند [۲۷] اشاره شده است.

### روش انجام پژوهش

به‌منظور انجام این تحقیق ابتدا روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در رودخانه مد نظر بررسی شدند. در این راستا

بستر آبراهه عمدتاً در محدودهٔ قلوه‌سنگ تا شن درشت قرار داشت که با حرکت به سمت پایین‌دست آبراهه این بستر ریزتر می‌شد، اما در مجموع کل بستر رودخانه برای حیات و تولید مثل گونهٔ هدف در محدودهٔ مناسبی قرار داشت.

### قزل‌آلای رنگین‌کمان

قزل‌آلای رنگین‌کمان بومی رودخانه‌های مکزیک، تا جنوب غربی آلاسکا است [۵]. این گونه در ارتفاع سطح دریای ۰ تا ۴۵۰۰ متر مشاهده شده است [۱۷]. این گونه یکی از گونه‌های بسیار مهم رودخانه‌ای است که در بسیاری از تحقیقات به آن توجه شده است و می‌تواند به‌عنوان شاخصی مناسب در مطالعات زیست‌محیطی آبراهه‌ها به آن توجه شود. در ایران با توجه به مطالعات انجام‌شده در بسیاری از مناطق این گونه در محدودهٔ ۱ تا ۲ سالگی بالغ می‌شود و تخم‌ریزی آن در اسفند و اوایل بهار است. بیشترین اندازهٔ این ماهی بسته به جمعیت و مساحت زیستگاه‌های در دسترس متفاوت است [۲۹]. از نظر تغذیه رنگین‌کمان به‌خصوص در گروه‌های سنی بالغ و جوان محدودهٔ وسیعی از تغذیه دارد. فراهمی غذاهای مختلف به فاکتورهای زیادی بستگی دارد. فاکتورها شامل نوع آب، فصل و اندازهٔ ماهی است [۱۹]. تخم‌ریزی رنگین‌کمان در عموم مناطق در آبراهه‌ها اتفاق می‌افتد [۱۰ و

که در آن،  $A_j$  و  $CSI_j$  به ترتیب سطح و شاخص مطلوبیت ترکیبی سلول زام و  $L$  طول بازه است که از تعداد  $k$  سلول تشکیل شده است.

همان طور که در رابطه ۲ مشاهده می شود، به منظور فراهم شدن امکان مقایسه مقدار مساحت قابل استفاده وزنی در بازه ها و رودخانه های مختلف، مقدار  $WUA$  محاسبه شده توسط مدل به وسیله طول بازه استاندارد شده و محاسبه  $WUA$  در مدل بر حسب مترمربع در هر ۱۰۰۰ متر از طول رودخانه ( $m^2/1000 m$ ) و یا ( $ft^2/1000 ft$ ) است.

پس از انجام شبیه سازی زیستگاهی به منظور ارزیابی وضعیت زیستگاهی گونه هدف، نمودار دبی- فیزیک زیستگاه رودخانه با داده های سری زمانی دبی رودخانه ترکیب و نمودار سری زمانی زیستگاه رودخانه برای سه گروه سنی بچه ماهی، جوان و بالغ قزل آلی رنگین کمان استخراج شد. در مرحله بعد وضعیت توزیع مکانی مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه بررسی شده است. در بررسی توزیع مطلوبیت در طول رودخانه برای هر سه گروه سنی قزل آلی رنگین کمان متوسط میزان شاخص مطلوبیت ترکیبی ( $CSI$ ) با داشتن توزیع آن در هریک از مقاطع عرضی در طول رودخانه محاسبه شد و این مقدار در مقابل فاصله هریک از مقاطع از بالادست رودخانه ترسیم شد، که این امر برای کل دبی های بررسی شده انجام شده است.

### نتایج و بحث

در جدول ۱ دبی های برآورد شده با رهیافت هیدرولوژیکی نشان داده شده است.

جدول ۱. دبی های برآورد شده با رهیافت هیدرولوژیکی

میزان برآورد شده (مترمکعب بر ثانیه)	روش برآورد	شاخص
۰/۱۱	۱۰٪ متوسط جریان سالانه	حداقل دبی روش تنانت
۰/۸۸	۸۰٪ متوسط جریان سالانه	متوسط بهینه روش تنانت
۲/۲۲	۲۰۰٪ متوسط جریان سالانه	حداکثر دبی روش تنانت
۰/۲۷	۲۵٪ متوسط جریان سالانه	حداقل دبی در روش منطقه آتلاتیک

روش تنانت در حالت حداقل (۱۰ درصد جریان سالانه)، متوسط شرایط بهینه (۸۰ درصد جریان سالانه) و حداکثر (۲۰۰ درصد جریان سالانه) بررسی شد. همچنین میزان ۲۵ درصد جریان سالانه پیشنهاد شده در منطقه آتلاتیک نیز محاسبه شد. در رهیافت هیدرولوژیکی ابتدا سطح آب در بازه مد نظر با توجه به مقاطع متعدد برداشت شد و همچنین در برداشت شده رودخانه با ورود از نرم افزار GIS در مدل یک بعدی HEC-RAS شبیه سازی شد. با توجه به ابعاد و وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه مدل یک بعدی جواب های مناسبی را در اختیار قرار داد. سپس مقاطع خیز آب دارای وضعیت بحرانی تر انتخاب شد (۸ مقطع) و منحنی دبی - محیط ترشده در این مقاطع رسم و در نهایت با برآزش مناسب تابع دبی - محیط ترشده استخراج شد و با توجه به روش های شرح داده شده در بخش قبل و استفاده از روش های بیشترین شیب و بیشترین انحناء، حداقل جریان زیست محیطی مورد نیاز استخراج شد. سپس با استفاده از روش شبیه سازی زیستگاه و مدل یک بعدی هیدرولوژیکی- زیستگاهی شرایط اکولوژیکی رودخانه ارزیابی شد. در پژوهش حاضر با در نظر داشتن رابطه خطی میان مساحت قابل استفاده وزنی و وزن زیستی شبیه سازی زیستگاه به صورت یک بعدی با استفاده از مدل تک متغیره انجام گرفت. مدل تک متغیره در حالت کلی به صورت رابطه زیر است [۳].

$$CSI_j = \prod_{i=1}^m a_i SI_i^{b_i} \quad (1)$$

که در آن  $a$  و  $b$  ضریب و نمای، شاخص  $SI_j$  است.  $SI_j$  و  $CSI_j$  به ترتیب شاخص مطلوبیت پارامتر نام و شاخص مطلوبیت ترکیبی سلول زام است که از حاصل ضرب  $m$  شاخص مطلوبیت تعیین می شود. در پژوهش حاضر، مدل سازی زیستگاهی با در نظر گرفتن ضرایب و نمای برابر واحد به عنوان معمول ترین روش در بررسی های زیستگاهی استفاده شده است. بدیهی است شاخص های  $SI_j$  و  $CSI_j$  بدون بعد است و مقادیری در محدوده صفر و ۱ یا برابر با آن ها دارند. در ضمن مقدار شاخص یک پارامتر معین تابعی از نوع و مرحله رشد گونه زیستی بررسی شده است.

مساحت قابل استفاده وزنی نیز در یک دبی معین در کل بازه رودخانه به طول  $L$  از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$WUA = \left( \frac{\sum_{j=1}^k A_j * CSI_j}{L} \right) * 1000 \quad (2)$$

با تقسیم بر بیشترین میزان WUA که مربوط به قزل‌آلای رنگین‌کمان بالغ در دبی ۲/۸۱۳ مترمکعب بر ثانیه است بی‌بعد شده و در محور عمود سمت راست نشان داده شده است.

بر اساس شکل ۴ مشاهده می‌شود، اولاً برای سه گروه سنی مختلف قزل‌آلای رنگین‌کمان شرایط مطلوبیت زیستگاهی بسیار متفاوت است. دوم اینکه میزان زیستگاه‌های مطلوب در دسترس در ماه‌های مختلف سال بسیار متغیر است. بنابراین، تخمین یک میزان خاص برای جریان زیست‌محیطی کار بسیار مشکلی خواهد بود. در صورتی که بخواهیم از روش محیط ترشده استفاده کنیم، عملاً ذی‌نفعان در رودخانه حق بهره‌برداری از آن را نخواهند داشت، و در صورت استفاده از روش‌هایی مانند تنانت (۱۰ درصد متوسط جریان سالانه) برای تخمین حداقل جریان زیست‌محیطی طبق سری زمانی زیستگاهی مشاهده می‌شود عملاً تنش‌های جبران‌ناپذیری برای اکوسیستم رودخانه به‌خصوص در ماه‌های بحرانی مانند تخم‌ریزی گونه مد نظر (اسفند و فروردین) ایجاد می‌شود. در مجموع می‌توان گفت با توجه به اینکه شرایط اکولوژیکی و زیستگاهی رودخانه یک شرایط کاملاً دینامیک است و با تغییر فصول به‌شدت تغییر می‌کند، استفاده از روش‌های تخمین حداقل جریان زیست‌محیطی (غیراکولوژیکی) هیچ‌گونه توجیهی ندارد و علاوه بر حل‌نشدن مشکل زیست‌محیطی رودخانه در مواردی مناقشات میان ذی‌نفعان و مدیران بخش زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد.

با توجه به تحلیل‌های انجام‌شده رابطه بین دبی و محیط ترشده در ناحیه خیزآب با برازش بین تمامی داده‌ها به‌صورت زیر استخراج شد. که  $p$  محیط ترشده و  $Q$  دبی جریان است.

$$P = 3/71 \ln(Q) + 13/64 \quad (3)$$

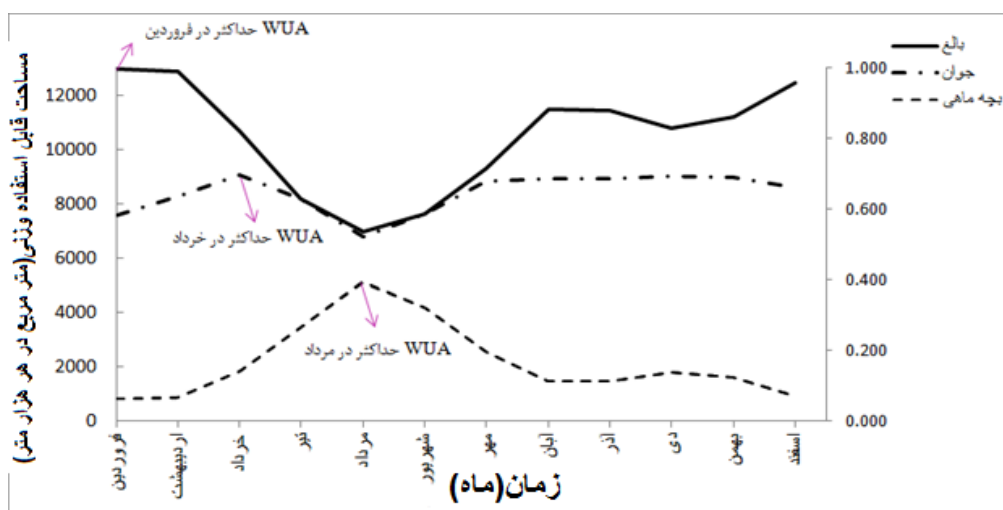
رابطه ۴ و ۵ حداقل جریان زیست‌محیطی با روش بیشترین شیب منحنی و بیشترین انحنا در روش محیط ترشده را به ترتیب نشان می‌دهند.

$$\frac{dP}{dQ} = \frac{3/71}{Q} = 1 \Rightarrow Q = 3/71 \text{ m}^3/\text{s} \quad (4)$$

$$\kappa = \frac{\left| \frac{-3/71}{Q^2} \right|}{\left[ 1 + \left( \frac{3/71}{Q} \right)^2 \right]^{1.5}} \Rightarrow \frac{d\kappa}{dQ} = 0 \quad (5)$$

$$\Rightarrow Q = 2/63 \text{ m}^3/\text{s}$$

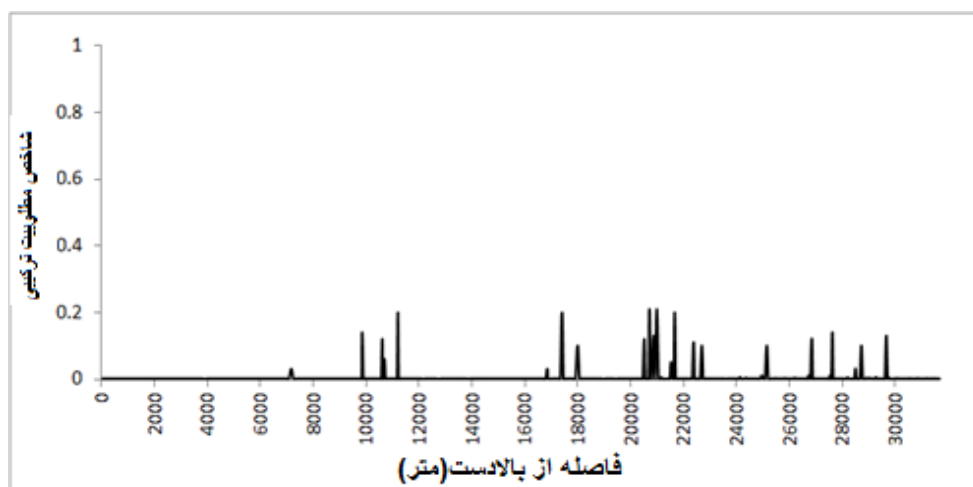
رابطه ۴ شیب منحنی رابطه ۳ و پارامتر  $\kappa$  در رابطه ۵ نیز بیشترین انحنای منحنی یعنی مشتق دوم رابطه ۳ است. همان‌طور که دیده می‌شود بین نتایج حاصل از روش تنانت و روش محیط ترشده، با اینکه هر دو روش از روش‌های مقبول در محاسبه جریان زیست‌محیطی هستند اختلاف زیادی وجود دارد، و عملاً نتایج این دو روش بسیار مبهم خواهد بود. در شکل ۲ نمودار سری زمانی مطلوبیت زیستگاه برای سه گروه سنی قزل‌آلای رنگین‌کمان نشان داده شده است. شایان توضیح است که در این شکل مقادیر WUA در جریان‌های مختلف برای سه گروه سنی



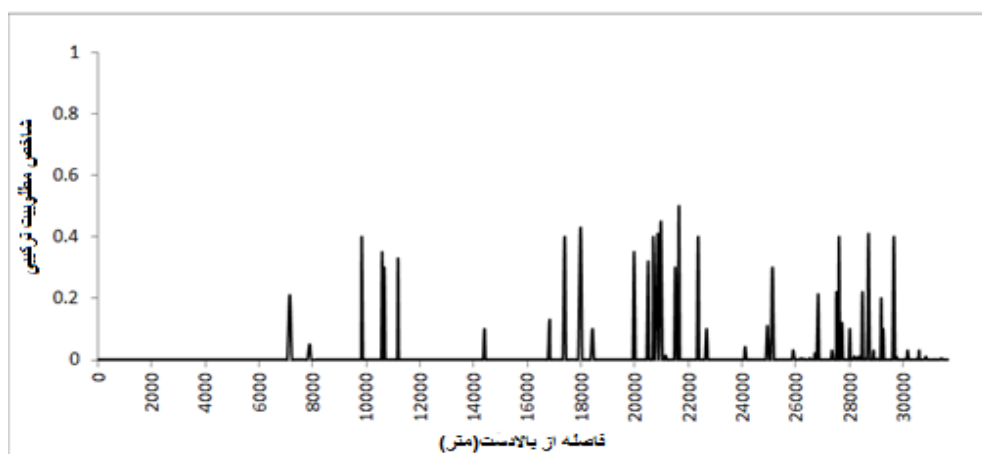
شکل ۴. نمودار سری زمانی زیستگاه رودخانه برای سه گروه سنی قزل‌آلای رنگین‌کمان برای کل بازه مطالعه‌شده

تانیه) و برای هر سه گروه سنی قزل‌آلای رنگین‌کمان نشان داده شده است.

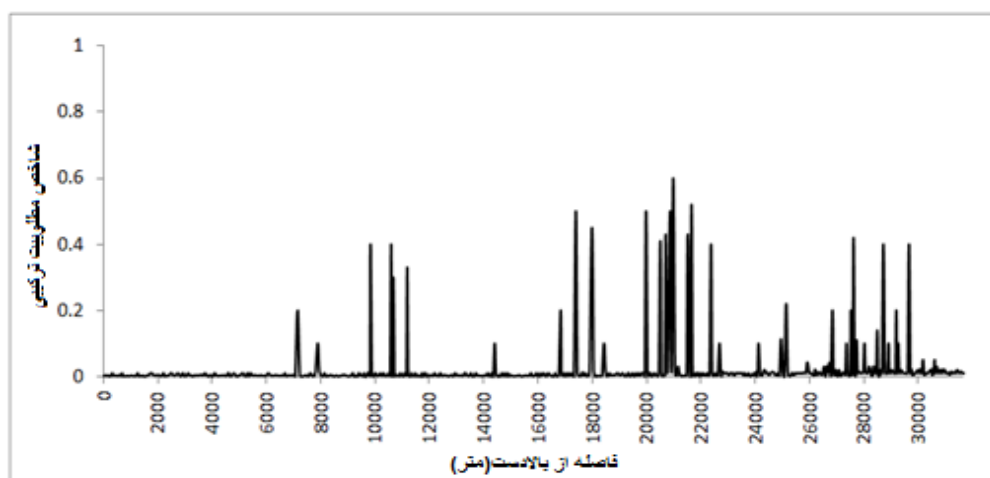
در شکل ۵ توزیع مکانی مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه برای دبی متوسط سالانه (۱/۱۱) مترمکعب بر



الف



ب



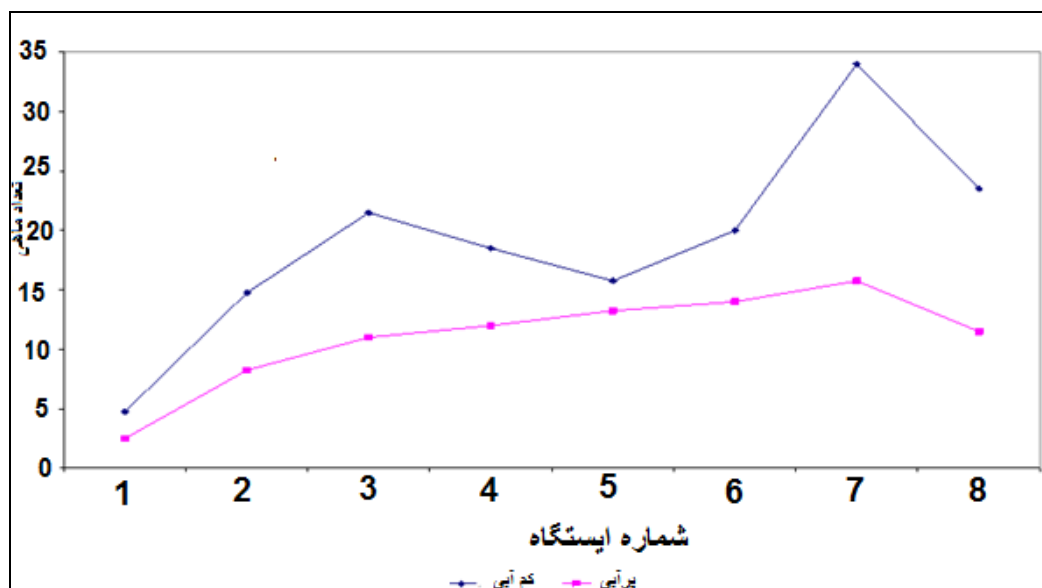
ج

شکل ۵. توزیع مطلوبیت زیستگاه برای سه گروه سنی: الف) بچه‌ماهی؛ ب) جوان؛ ج) بالغ قزل‌آلای رنگین‌کمان



مطلوبیت زیستگاهی در دبی‌های مختلف نشان داد که به‌طور کلی، محدوده بالادست آبراهه (دارای شیب ۰/۰۳) از نظر وضعیت زیستگاهی در دبی‌های مختلف ضعیف‌ترین شرایط را دارد و با حرکت به سمت پایین دست آبراهه از نظر مطلوبیت پارامترهای فیزیکی زیستگاه شرایط مساعدتری خواهد شد. به بیان دیگر در صورت حرکت ماهی به بازه‌های بالادست آبراهه، تنش‌های فیزیکی وارد بر آن بیشتر می‌شود و متعاقباً آسیب‌های وارد بر جوامع ماهی‌های قزل‌آلای رنگین‌کمان نیز افزایش خواهد یافت. داده‌های میدانی موجود در رابطه با تعداد و پراکنش ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در ایستگاه‌های مختلف آبراهه دلچای نیز صحت این مطلب را تأیید کرد. نتایج حاصل از داده‌برداری میدانی و نمونه‌برداری از گونه هدف در شکل ۶ نشان داده شده است.

محور عمودی این رابطه شاخص مطلوبیت ترکیبی است که در رابطه ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود میزان مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه شرایط کاملاً متفاوتی دارد. در حالی‌که در محدوده پایین دست رودخانه شرایط مطلوب‌تری مشاهده می‌شود. در محدوده بالادست عدم مطلوبیت زیستگاهی به‌وضوح دیده می‌شود. بنابراین باید توجه داشت که به‌خصوص در رودخانه‌هایی که شاخه‌های فرعی دارند و دبی رودخانه در طول آن تغییر می‌کند ابتدا باید توزیع مکانی زیستگاهی در طول آن استخراج و سپس با توجه به نمودار سری زمانی مطلوبیت هر بازه میزان جریان زیست‌محیطی تخمین زده شود و در بازه‌هایی که شرایط مطلوبیت مناسب‌تر است، امکان اضافه برداشت بیشتر و در بازه‌هایی که تحت تنش‌های زیستی هستند باید محدودیت‌های بیشتری از نظر برداشت صورت گیرد. توزیع



شکل ۶. تغییرات پراکنش جمعیت ماهی در طول رودخانه در دوره‌های کم آبی و پر آبی

جریان زیست‌محیطی مقادیری بسیار بزرگ‌تر از دبی متوسط رودخانه را پیشنهاد می‌کند که می‌تواند در مناطقی با بحران آب مانند ایران سؤال برانگیز باشد. بنابراین، باید از روشی استفاده شود که بتوان با آن مقادیر مختلف جریان رودخانه را بررسی و تغییرات زیستگاه ماهی‌ها را با آن‌ها بررسی و مقایسه کرد. مان صحت روش تنانت را در ۷ ایالت غربی آمریکا (شامل مناطقی که تنانت در آن‌ها داده‌برداری کرده بود) بررسی کرد؛ براساس نتایج پژوهش او، توصیه‌های تنانت

در پژوهش‌هایی که توسط شکوهی و هانگ [۲] در رودخانه صفارود در شمال کشور و امینی و شکوهی در بخش جنوبی دریای خزر انجام شده است نیز ثابت شد که روش تنانت در برخی از رودخانه‌ها مقداری پایین‌تر از حداقل نیاز زنده‌مانی آن‌ها ارائه می‌دهد [۳۰] و استفاده از این روش با تحمیل تنش بر سیستم هیدرولوژیکی می‌تواند انتخابی نامناسب برای تعیین جریان حداقل برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه‌ها باشد، روش محیط ترشده نیز برای

توجیهی ندارد و علاوه بر حل نشدن مشکل زیست‌محیطی رودخانه در مواردی مناقشات میان ذی‌نفعان و مدیران بخش زیست‌محیطی را افزایش می‌دهد. توزیع مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه نشان داد میزان مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه شرایط کاملاً متفاوتی دارد، بنابراین ضروری است ابتدا توزیع مکانی زیستگاهی در طول رودخانه استخراج و سپس با توجه به نمودار سری زمانی مطلوبیت هر بازه، میزان جریان زیست‌محیطی تخمین زده شود. بنابراین، استفاده از روش‌های هیدرواکولوژیکی در محاسبه جریان زیست‌محیطی ضروری است و با توجه به اینکه تا کنون به این روش‌ها در ایران توجه نشده است، ضروری است پایه تحقیقاتی لازم برای ورود به این روش‌ها ایجاد شود. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با تحقیقات دیگر که در بخش قبل ارائه شد نیز مؤید این مطلب است تخمین جریان زیست‌محیطی با روش‌های هیدرواکولوژیکی الزام‌آور است و از میزان خسارات وارده بر زیست‌بوم‌های رودخانه‌ای می‌کاهد.

#### منابع

[۱]. دهزاد، بهزاد؛ سیما، سمیه، ۱۳۹۰، «راهنمای تعیین آب مورد نیاز اکوسیستم‌های آبی»، نشریه شماره ۵۵۷، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، وزارت نیرو.

[۲]. شکوهی، علی‌رضا؛ هانگ، یانگ، ۱۳۹۰، «استفاده از مشخصه‌های مرفولوژیکی در رودخانه‌های دایمی برای تعیین حداقل نیاز آبی محیط اکولوژیکی»، مجله محیط‌شناسی، سال سی و هفتم، شماره ۵۸: ۱۲۸-۱۱۷.

[3]. Ahmadi- Nedushan, B. ST-Hilare, A. Berube, M. Robichaud, E. Thiemonge, N. Bobee, B. 2006, A review of Statistical Methods for the Evaluation of Aquatic Habitat Suitability for the Instream Flow Assessment, River Research and Applications, 22: 503-523.

[4]. Arthington, A.H., King, J., O'Keeffe, J.H., Bunn, S.E., Day, J.A., Pusey, B.J., Bluhdorn, B.R., Tharme, R. 1992. Development of an holistic approach for assessing environmental flow requirements of riverine ecosystems. In: Water al location for the environment, 69-76, The Centre for Policy Research, University of New England, Armindale

در مناطقی کاربردی است که شیب آبراهه در آن کمتر از ۱ درصد باشد و برای آبراهه‌های با شیب بیش از ۱ درصد مناطق غربی آمریکا مناسب نیست [۱۸]. بنابراین، ملاحظه می‌شود که استفاده از روش‌های قدیمی در محاسبه جریان زیست‌محیطی رودخانه، مناسب نیست و این موضوع در پژوهش حاضر و گذشته تأیید شده است.

#### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر الزامات برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها با استفاده از روش‌های هیدرواکولوژیکی در قالب مطالعه موردی رودخانه دلیچای بررسی شد. رودخانه دلیچای یکی از سرشاخه‌های مهم و پرآب حبله‌رود است که از زهکش دو دریاچه هویر و تار سرچشمه گرفته است و در سیمین‌دشت به حبله‌رود می‌پیوندد. در این پژوهش ابتدا با استفاده از دو روش مرسوم تنانت و محیط ترشده به تخمین جریان زیست‌محیطی پرداخته شد. سپس شرایط اکولوژیکی رودخانه بررسی شد و ارزیابی زیستگاهی صورت گرفت. نتایج نشان داد بین نتایج حاصل از روش تنانت و روش محیط ترشده، به‌رغم اینکه هر دو روش از روش‌های مقبول در محاسبه جریان زیست‌محیطی هستند اختلاف زیادی وجود دارد، و عملاً نتایج این دو روش بسیار مبهم خواهد بود. مطابق با نمودار سری زمانی زیستگاه، شرایط مطلوبیت زیستگاهی برای سه گروه سنی مختلف قزل‌آلای رنگین‌کمان بسیار متفاوت است. میزان زیستگاه‌های مطلوب در دسترس نیز در ماه‌های مختلف سال بسیار متغیر است. بنابراین، تخمین یک میزان خاص برای جریان زیست‌محیطی کار بسیار مشکلی خواهد بود. در صورتی که بخواهیم از روش محیط ترشده استفاده کنیم عملاً ذی‌نفعان در رودخانه حق بهره‌برداری از آن را نخواهند داشت، و در صورت استفاده از روش‌هایی مانند تنانت (۱۰ درصد متوسط جریان سالانه) برای تخمین حداقل جریان زیست‌محیطی طبق سری زمانی زیستگاهی مشاهده شد عملاً تنش‌های جبران‌ناپذیری برای اکوسیستم رودخانه به‌خصوص در ماه‌های بحرانی مانند تخم‌ریزی گونه مد نظر (اسفند و فروردین) ایجاد می‌شود. در مجموع می‌توان گفت با توجه به اینکه شرایط اکولوژیکی و زیستگاهی رودخانه یک شرایط کاملاً دینامیک است و با تغییر فصول به‌شدت تغییر می‌کند، استفاده از روش‌های تخمین حداقل جریان زیست‌محیطی غیراکولوژیکی هیچ‌گونه

- [5]. Behnke, R. J, 1979, Monograph of the native trouts of the genus *Salmo* of western North America. U.S. Fish Wildl. Serv., Region 6, Denver, CO. 215 pp.
- [6]. Boussu, M. F, 1954, Relationship between trout populations and cover on a small stream, J. Wildl. Manage, 18(2): 229-239.
- [7]. Bovee, K. D, 1986, Development and Evaluation of Habitat Suitability Criteria for Use in the Instream Flow Incremental Methodology, Instream Flow Information Paper 21, U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Report, 86(7). 235 pp.
- [8]. Calhoun, A. J, 1944, The food of the black-spotted trout in two Sierra Nevada lakes. Calif. Fish Game, 30(2): 80-85.
- [9]. Christopher, J. Gippel and Micheal J. Stewardson, 1998, Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows, Regul. Rivers: Res. Mgmt, 14: 53-67.
- [10]. Everest, F. H, 1973, Ecology and management of summer steelhead in the Rogue River. Oregon State Game Comm., Fish. Res. Rep. 7.
- [11]. Fox P.J.A., Naura M. & Raven P. (1996). Predicting habitat components for semi-natural rivers in the United Kingdom. Proceedings of the 2nd International Symposium Habitats and Hydraulics
- [12]. Griffith, J. S, 1972. Comparative behavior and habitat utilization of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and cutthroat trout (*Salmo clarki*) in small streams in northern Idaho, J. Fish. Res. Board Can, 29(3): 265-273.
- [13]. Horner, N., and T. C. Bjornn, 1976, Survival, behavior, and density of trout and salmon fry in streams. Univ. of Idaho, For. Wildl. Exp. Stn, Contract 56, Prog. Rep. 1975, 38 pp.
- [14]. Karim, K., Gubbels, M.E., and Goulter, I.C., 1995. Review of determination of instream flow requirements with special application to Australia. Water Resources Bulletin, 31: 1063-1077.
- [15]. King, J.M. & Louw, D. 1998. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. Aquatic Ecosystem Health & Management 1: 109-124.
- [16]. Lea, R. N, 1968, Ecology of the Lahontan cutthroat trout, *Salmo clarki henshawi*, in Independence Lake, California. M.A. Thesis, Univ. California, Berkeley, 95 pp.
- [17]. MacCrimmon, H. R, 1971, World distribution of rainbow trout (*Salmo gairdneri*), J. Fish. Res. Board Can, 28:663-704.
- [18]. Mann, J. L, 2006, Instream Flow Methodologies: An Evaluation of the Tennant Method for Higher Gradient Streams in the National Forest System Lands in the Western U.S. MSc. Thesis, Colorado State University, Fort Collins.
- [19]. McAfee, W. B, 1966, Rainbow trout. Pages 192-215 in A. Calhoun, ed, Inland fisheries management. Calif. Dept, Fish Game, 546 pp.
- [20]. Milhouse, R. T. Waddle, T.J, 2012, Physical Habitat Simulation (PHABSIM) Software for Windows (v.1.5.1). Fort Collins, CO: USGS Fort Collins Science Center.
- [21]. Miller, R. B, 1957, Permanence and size of home territory in stream-dwelling cutthroat trout. J. Fish. Res. Board Can, 14(5):687-691.
- [22]. Minshall, G. W. 1984. Aquatic insect-substratum relationships. Pages 358-400 in V. H. Resh and D. M. Rosenberg, eds. The ecology of aquatic insects. Praeger Publishers, New York.
- [23]. Platts, W. S. 1980. A plea for fishery habitat classification. Fisheries (Bethesda)
- [24]. Price, D. G., and R. E. Geary, 1979, An inventory of fishery resources in the Big Sulphur Creek drainage. Pacific Gas and Electric Co., Dept. Eng. Res. 49 pp. + Appendix.
- [25]. Postel SL, 1998. Water for food production: will there be enough in 2025? BioScience 48: 629-637.
- [26]. Pyrcce, R, 2004. Hydrological Low Flow Indices and their Uses. WSC REPORT No. 04-2004
- [27]. Raleigh, R. F. Hickman, R. C. Solomon, R.C. Nelson, P. C, 1984, Habitat Suitability Information: Rainbow Trout, U.S. Fish and Wildlife Service, FWS/OBS-82/10.60, 64 pp.
- [28]. [Raleigh, R. F., D. A. Duff, 1980, Trout stream habitat improvement: ecology and management. Pages 67-77 in W. King, ed. Proc. of Wild Trout Symp. II. Yellowstone Park, WY.
- [29]. Scott, W. B. Crossman, E. J, 1973, Freshwater fishes of Canada, Fish. Res. Board Can. Bull. 184, 966 pp.
- [30]. Shokoohi, A., M. Amini, 2013, Introducing a New Method to Determine River's Ecological Water Requirement in Comparison with

- Hydrological and Hydraulic Methods, Int J Environ Sci Technol, 11:747-756.
- [31]. Tennant, D. L, 1976, Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related Environmental Resources, Fisheries, 1: 6-10.
- [32]. Tharme, R.E, 2003, A global prespective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers, River Research and Applications, 19: 397-441.
- [33]. Warren, C. E. 1979. Toward classification and rationale for watershed management and stream protection. Environmental Protection Agency EPA-600/3-79-059. Cincinnati, OH.