شیلات، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۳ شماره ۱، بهار ۱۳۹۹
صفحات ۴۰-۱۷

تعیین و طراحی محدوده رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل با بررسی مشخصه‌های هیدرومورفو- اکولوژیکی، رویکردهای مبتنی بر شاخص هیدرولوژیکی و مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه

محمدحسن نادری[۱*]، مسعود پورغلام آمیجی[۲]، خالد احمدآلی[۳]، زانیار امیری[۴]، آلتین قجقی[۵]، لیلی قربانی مینائی[۶]

۱- کارشناس ارشد مهندسی منابع آب و پژوهشگر اکوهیدرولیک زیستگاه رودخانه، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استادیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۴- دانشجوی دکترای علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۵- گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۶- کارشناس ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶

چکیده

در مطالعات برنامه‌ریزی توسعه پایدار منابع آب در حوضه‌های آبریز، بایستی ارزش‌های اکولوژیکی و تداوم حیات اکوسیستم‌های رودخانه‌ای به رسمیت شناخته شود. رژیم طبیعی جریان، نقش کلیدی در حفاظت از اجزای زیستگاه رودخانه و شکل‌گیری تنوع زیستی دارد. به این منظور، در پژوهش حاضر با محاسبات گام به گام، جریان اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل استان گلستان با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تسمن، تگزاس و کمبود جریان اکولوژیکی تعیین شد و تحلیل زیستگاه گونه ماهی هدف با مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه (PHABSIM)، جهت ایجاد شرایط پایدار اکولوژیک، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد با انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی و آنالیز سری زمانی دبی- فیزیک زیستگاه با استفاده از منحنی‌های شاخص مطلوبیت، محدوده رژیم جریان موردنیاز برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی زیستگاه گونه سگ‌ماهی جویباری (*Paracobitis hicanica*) بین ۰/۸۵ تا ۴/۴۲ مترمکعب برثانیه، با میانگین دبی سالانه ۱/۷۳ مترمکعب برثانیه (معادل ۸۰ درصد جریان طبیعی رودخانه) بایستی در داخل رودخانه زرین‌گل برقرار باشد. انعطاف‌پذیری و اثربخشی رژیم جریان در روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، تگزاس و تسمن برای حفاظت و احیا زیستگاه رودخانه مورد مطالعه کافی نیست. اما روش کمبود جریان اکولوژیکی با ارائه آمارهای جریان سازگار با محیط زیست، ضمن تأمین نیازهای درون جریانی، تغییرات هیدرولوژیکی رژیم جریان رودخانه زرین‌گل را به خوبی توصیف می‌نماید. بر اساس نتایج بدست آمده، رژیم جریان مطلوب زیست‌محیطی اختصاص یافته با استفاده از روش شبیه‌سازی زیستگاه، قادر به حفاظت از رژیم جریان طبیعی برای نگهداری از ارزش‌های اکولوژیکی رودخانه، عملکرد مناسب زیستگاه‌های رودخانه‌ای و حفظ شرایط مورفولوژیکی بستر رودخانه می‌باشد. روش‌های مورد استفاده در این مطالعه و نتایج بدست آمده، در برنامه‌ریزی منابع آب و حفاظت اکوسیستم رودخانه‌ها، ارزشمند است.

واژگان کلیدی: جریان اکولوژیکی، سگ‌ماهی جویباری، مساحت قابل استفاده وزنی، مطلوبیت زیستگاه، میانگین جریان سالانه

* نویسنده مسئول: محمدحسن نادری
Email: naderigau@gmail.com

Journal of Fisheries
Vol. 73, No. 1, Spring 2020
pp. 17-40

Determining the Range of Optimal Environmental Flow in Zarin-Gol River through Hydromorphological Characteristics, Hydrological Regime and Habitat Suitability Simulation Ecohydraulic Model

Mohammad Hasan Naderi[1*], Masoud Pourgholam Amiji[2], Khaled Ahmadaali[3], Zaniar Amiri[4], Altin Ghojoghi[5], Leyli Ghorbani Minaei[6]

1. M.Sc. of Water Resources Engineering and Ecohydraulic Researcher of River Habitats, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2.Ph.D. Candidate, Department of Irrigation & Reclamation Engineering, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Assistant Prof., Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
4. PhD student of soil resources management, Faculty of Soil and Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
5. Department of Fisheries, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
6. M.Sc. of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: 01-Jun-2020 **Accepted: 04-Apr-2020**

Abstract

In the studies of water resources sustainability and development planning in the watersheds, ecological values and continuance life cycle of the river ecosystems should be recognized. The natural flow regime, plays a key role in protecting river habitat components and biodiversity formation. For this purpose, in the present study, with step-by-step measuring and calculating the environmental flow of the Zarin_Gol River in Golestan province and using hydrological methods of Tennant, Tessman, Texas and Ecodeficit , the sustainable ecological conditions were studied and target fish habitat analysis with Ecohydraulic Habitat Physical Simulation Model (PHABSIM) compared. The results showed that by performing hydraulic simulation and analysis of habitat discharge-physics time series using curves Suitability Index, range of flow regime required to provide habitat ecological potential *Paracobitis hicanica* was between 0.85 to 4.42 m^3/s, with Mean Annual Flow of 1.73 m^3/s (equivalent 80 percent of natural stream of the river), It should have existed in inside the Zarin_Gol River. The flexibility and effectivenessof the flow regime of the hydrological methods of Tannant, Texas and Tessman were not sufficient for the conservation and restoration of the studied river habitat. But Ecodeficit method, by providing environmentally friendly flow statistics, while providing in-stream needs, well describes the hydrological changes of the Zarin_Gol River flow regime. According to the results, the ecological optimum flow regime assigned by habitat simulation method is able to protect the natural flow regime for preserving the ecological values of the river, Proper performance of river habitats and preservation of morphological conditions of river bed. The methods used in this study and the obtained results, provide a valuable reference for water resources planning and ecosystem protection in rivers.

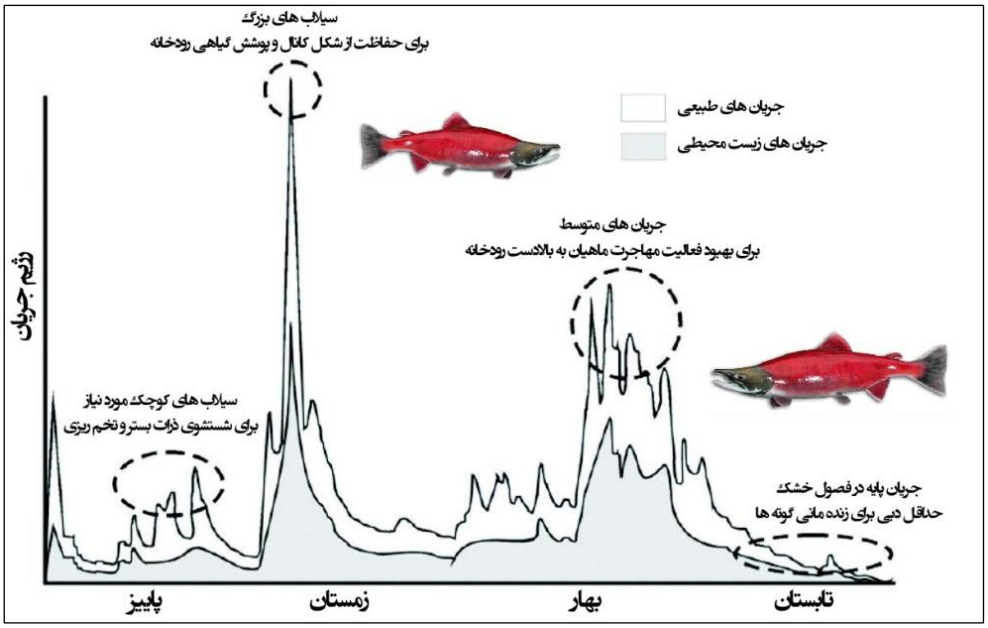
Keywords: Ecological Flow, Habitat Suitability, Mean Annual Flow, *Paracobitis hicanica*, Weighted Usable Area, Zarin-Gol River.

Corresponding author: Mohammad Hasan Naderi Email: naderigau@gmail.com

۱. مقدمه

از مهم‌ترین اصول در یکپارچه‌سازی موضوعات مربوط به مدیریت اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و رژیم جریان آب، برقراری تعادل پایدار در شرایط اکولوژیکی رودخانه‌ها و به حداقل رساندن آسیب‌های وارده به بخش‌های محیط‌زیست آبی است. رژیم هیدرولوژیکی جریان، یک عامل کنترل کننده شاخص‌های کلیدی زیستگاه رودخانه مانند عمق و سرعت آب بوده و همچنین نقش کلیدی نیز در شکل‌گیری تنوع‌زیستی و حفظ سلامت و پایداری اکوسیستم رودخانه دارد (Smakhtin *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2010; Zhao *et al.*, 2017). در طرح‌های توسعه منابع‌آب، انتقال آب در مقیاس وسیع و بالاتر از حد توان حوضه‌های آبریز می‌تواند نتایج فاجعه‌آمیزی از لحاظ زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی به دنبال داشته باشد. ملاحظات زیست‌محیطی در رابطه با حفظ محیط زیست رودخانه‌ها، حفظ موقعیت طبیعی تالاب‌ها و زیبایی مسیر رودخانه‌ها، حفظ وضعیت حیات وحش و آبزیان و حفظ شرایط خودپالاینده جریان‌های موجود در رودخانه‌ها از جمله نگرانی‌هایی هستند که بایستی در توسعه منابع آب در یک حوضه به آنها توجه شود (Zarakani *et al.*, 2017; Arthington *et al.*, 2018). جریان اکولوژیکی، میزان گردش آب موردنیاز برای حفظ سلامت اکوسیستم رودخانه است. این جریان شامل جریان بهینه و حداقل جریان می‌باشد. جریان بهینه، میزان جریانی است که عملکرد کامل یک اکوسیستم آبی را تضمین می‌نماید. حداقل جریان، میزان جریانی است که درجریان‌های کمتر از آن، پایداری و سلامت یک اکوسیستم آبی نمی‌تواند حفظ شود (Kim and Choi, 2019). جریان‌های زیست‌محیطی رودخانه به عنوان مهم‌ترین اجزای رژیم اکولوژیکی می‌باشند. برای تخمین حق‌آبهٔ زیست‌محیطی رودخانه‌ها در مدیریت پایدار منابع آب و حفظ اکوسیستم‌های موجود در حوضه‌های آبریز، روش‌های مختلف با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی، اکولوژیکی، هیدرولیکی، انعطاف‌پذیری و سازگاری با منطقه، مورد بررسی قرار می‌گیرد (Shokoohi and Hong, 2011; Zhang *et al.*, 2015; Nakvachara *et al.*, 2018; Naderi *et al.*, 2020). در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است که تخصیص و اجرای رژیم‌های جریان زیست‌محیطی، ابزار امیدوار کننده برای محافظت و احیای اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، تالاب، خدمات اکوسیستمی آنها و حفظ ارزش‌های فرهنگی و اقتصادی ارائه می‌دهد (Nikghalb *et al.*, 2016; Fattahpour *et al.*, 2018; Naderi *et al.*, 2018). پویایی اکولوژیکی رودخانه وابسته به تغییر جریان رودخانه با گذشت زمان و میزان ناپایداری مورفولوژیکی است. تنظیم جریان در زیرشاخه‌های رودخانه، باعث تغییر انرژی جریان و ظرفیت حمل مواد معلق نیز می‌شود (Boavida *et al.*, 2020). امروزه عموماً در این باره توافق وجود دارد که جریان‌های زیست‌محیطی بسته به بزرگی جریان و نوع خاص زیستگاه، می‌توانند تاثیر معنی‌دار و مطلوبی بر ترکیب جوامع ماهیان داشته باشند (Pishkahpour *et al.*, 2019; Naderi *et al.*, 2019; Kim and Choi, 2019). به دلیل اهمیت جریان‌های بهاره در فرآیند تخم‌ریزی آبزیان بومی رودخانه و برای جلوگیری از پرشدن محل تخم‌ریزی آبزیان با رسوبات درشت دانه، بایستی به مدیریت اکولوژیکی جریان‌های زیست‌محیطی توجه خاصی شود تا از بروز تنش آبی شدید بر اکوسیستم رودخانه جلوگیری شود (شکل ۱). چنانچه مولفه‌های جریان نظیر سرعت و عمق جریان آب رودخانه و کیفیت آب رودخانه مناسب باشد، امکان تخم‌ریزی ماهیان و باروری آن‌ها فراهم می‌شود و در صورت عدم تأمین شرایط مورد نیاز، امکان باروری و میزان احتمال زنده ماندن تخم ماهیان به شدت کاهش می‌یابد (Hajiesmaeili, 2019; Boavida *et al.*, 2020). شکل هندسی مقاطع رودخانه در طراحی، برنامه‌ریزی و ساماندهی رودخانه و همچنین شبیه‌سازی زیستگاه آبزیان، اهمیت اساسی دارد (Ochs *et al.*, 2018; Rezvani *et al.*, 2020). در هنگام تعیین جریان‌های زیست‌محیطی بایستی به حداقل عمق موردنیاز جریان آب در دوره‌های نگهداری و پرورش ماهیان، به‌عنوان میانگین

طبیعی جریان، حداقل عمق آب لازم برای دوره‌های تخم‌ریزی ماهیان در زیستگاه رودخانه، عمق مورد نیاز در جریان‌های سیلابی برای غرق‌آب شدن (سیلاب‌دشت)، زنده‌مانی و حفظ پوشش گیاهی که یکی از اجزای اکوسیستم رودخانه بوده و نقش بسیار زیادی در سلامت رودخانه دارد، توجه گردد (Fazelnajafabadi and Naiman .(Tare a *et al.*, 2017; Afzalimehr, 2019 و همکاران (۲۰۰۸) بر اهمیت مدیریت رژیم‌های پویا تأکید می‌کنند چرا که باید از حداقل جریان‌های کم و همچنین حداکثر جریان سیلابی برای حفاظت از اکوسیستم‌های آب شیرین برخوردار باشند (شکل ۱). با عنایت به اهمیت رژیم جریان زیست‌محیطی (اکولوژیکی) برای حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهی‌ها و ایجاد پناهگاه مناسب برای بی‌مهرگان و نیز جریان مورد نیاز برای حفاظت از پوشش گیاهی آبزی و کنار رودخانه‌ای و سیلاب‌دشت، تحقیقات در حوزه اکوهیدرولیک زیستگاه رودخانه، در سال‌های اخیر در مدیریت اکوسیستمی حوضه‌های آبریز، مورد توجه قرار گرفته است (Nakvachara *et al.*, 2018; Ayyoubzadeh *et al.*, 2018; Ochs *et al.*, 2018; Siepker and Quinn, 2019; Naderi *et al.*, 2019; Naderi *et al.*, 2020).



شکل ۱- شماتیک توانایی تطبیقی رژیم جریان طبیعی و جریان زیست‌محیطی در ایجاد و حفظ زیستگاه ماهی در مراحل مختلف زندگی (Naiman *et al.*, 2008)

با توجه به نقش رژیم طبیعی جریان در جهت فعل و انفعالات موجودات زنده، حفاظت و ادامه حیات زیست‌بوم رودخانه‌ها به عنوان مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های آبی، محققین زیادی از زوایای مختلفی به بررسی برقراری تعادل بین نیازهای اکوسیستم‌های آبی و سایر مصارف آب در حوضه آبریز پرداخته و به نتایج مهمی دست یافته‌اند. Karakoyun و همکاران (۲۰۱۶) در توصیف رژیم جریان زیست‌محیطی رودخانه هالدیزن در پایین‌دست نیروگاه برقابی کمباسی واقع در ترکیه با استفاده از روش‌های مختلف هیدرولوژیکی، بیان کردند که جریان زیست‌محیطی پیشنهادی روش تسمن و روش تنانت در سطح خوب، سبب حفظ کارایی نیروگاه برقابی شده و می‌تواند شرایط مناسبی را برای حفظ زیستگاه آبزیان فراهم نماید. Peng و Sun (۲۰۱۶) در ارزیابی

حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه زاگونائو چین، با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه و تنانت نشان دادند که به منظور تأمین زیستگاه مناسب (عمق و جریان مناسب) برای نمونه ماهی غالب رودخانه، رژیم اکولوژیکی معادل ۲۷/۷ درصد از متوسط دبی رودخانه مورد نیاز می‌باشد. بر اساس نتایج آنها، مقدار جریان به دست آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه نزدیک به جریان پیشنهادی روش تنانت برای سطوح خوب و خیلی خوب است. Nakvachara و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه ناخون نایوک تایلند با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و مدل شبیه‌سازی زیستگاه بیان کردند، که برای حفاظت از زیستگاه رودخانه، رویکردهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، رژیم جریان زیست‌محیطی را خیلی زیاد و یا خیلی کم برآورد کرده، در حالی‌که مدل شبیه‌سازی زیستگاه، نیازهای اکولوژیکی را با توجه به شرایط بیولوژیکی و تعاملات موجودات آبزی در رودخانه پیشنهاد داده است. در تحقیقی دیگر، Boavida و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه رودخانه، مطلوبیت و در دسترس بودن زیستگاه گونه‌های ماهی را برای سناریوهای مختلف رژیم جریان و مورفولوژی رودخانه را به خوبی شبیه‌سازی کرده و نیز در پروژه‌های احیای زیستی رودخانه و تعیین جریان‌های زیست‌محیطی می‌تواند کاربرد داشته باشد.

در راستای تعیین جریان مورد نیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها در ایران، مطالعات مختلفی صورت گرفته است که در ادامه به بیان برخی از این مطالعات، پرداخته می‌شود. در بررسی دبی زیست‌محیطی رودخانه سفیدرود با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه، Fattahpour و همکاران (۲۰۱۸) مقادیر ۲۰ و ۳۰ درصد میانگین جریان رودخانه را برای حفظ سلامت رودخانه به ترتیب در شرایط قابل قبول و نسبتاً خوب، پیشنهاد دادند. آنها همچنین بیان کردند، مقادیر پیشنهادی جریان زیست‌محیطی در صورتی می‌تواند زیستگاه رودخانه را برای حیات گونه‌های آبزی حفظ کند که ورود آلاینده‌ها به رودخانه کنترل شده و نیز تغییری در بستر رودخانه و محل تخم‌ریزی ماهیان بوجود نیامده باشد. در تحقیقی دیگر، Esmaili و همکاران (۲۰۱۸) در برآورد حق‌آبه محیط زیستی رودخانه گرگانرود با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی بیان کردند که شاخص‌های هیدرولوژیکی در غیاب اطلاعات اکولوژیکی می‌توانند یک تخمین اولیه از نیازهای جریان زیست‌محیطی رودخانه را ارائه دهند. همچنین Razzaghi Rezaeieh و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از روش‌های مختلف هیدرولوژیکی، جریان زیست‌محیطی رودخانه مهابادچای را در سناریوهای مختلف مدیریت جریان مورد مطالعه قرار دادند و نتایج حاصل از روش تغییر منحنی تداوم جریان را به دلیل مطابقت خوب با پتانسیل جریان رودخانه در ماه‌های مختلف و اینکه از لحاظ هیدرولوژیکی و اکولوژیکی قابل تخصیص می‌باشد، حدود ۳۰-۲۰ درصد جریان متوسط رودخانه را به‌عنوان رژیم جریان مطلوب زیست‌محیطی پیشنهاد دادند. آنها همچنین بیان کردند حداقل نیاز آبی زیست‌محیطی رودخانه مهابادچای در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت، بیشتر از دیگر ماه‌ها بوده است.

در ایران مطالعات اندکی در مورد کاربرد مدل‌های اکوهیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه رودخانه‌ای در تحلیل رژیم جریان زیست‌محیطی رودخانه انجام شده است. در پژوهشی Naderi و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش شبیه‌سازی زیستگاه و روش‌های هیدرولوژیکی، شرایط اکولوژیکی رودخانه قره‌سو را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نتایج بدست آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه در تبیین رژیم جریان اکولوژیکی در دوره‌های مختلف زندگی گونه ماهی شاخص را، مناسب، واقع بینانه و حافظ بقای محیط اکولوژیکی بیان کردند. Hajiesmaeili (۲۰۱۹) در بررسی سناریوهای تغییر رژیم جریان رودخانه الرم در پارک ملی لار با توسعه رویکرد بیوانرژی inSTREAM، محدوده دبی ۰/۲۲ تا ۰/۳۱ مترمکعب بر ثانیه را به عنوان جریان بهینه اکولوژیکی با توجه به شاخص‌های اکوهیدرولیکی و مطلوبیت زیستگاه گونه قزل‌آلای خال‌قرمز

(*brown trout*) قابل قبول دانست.

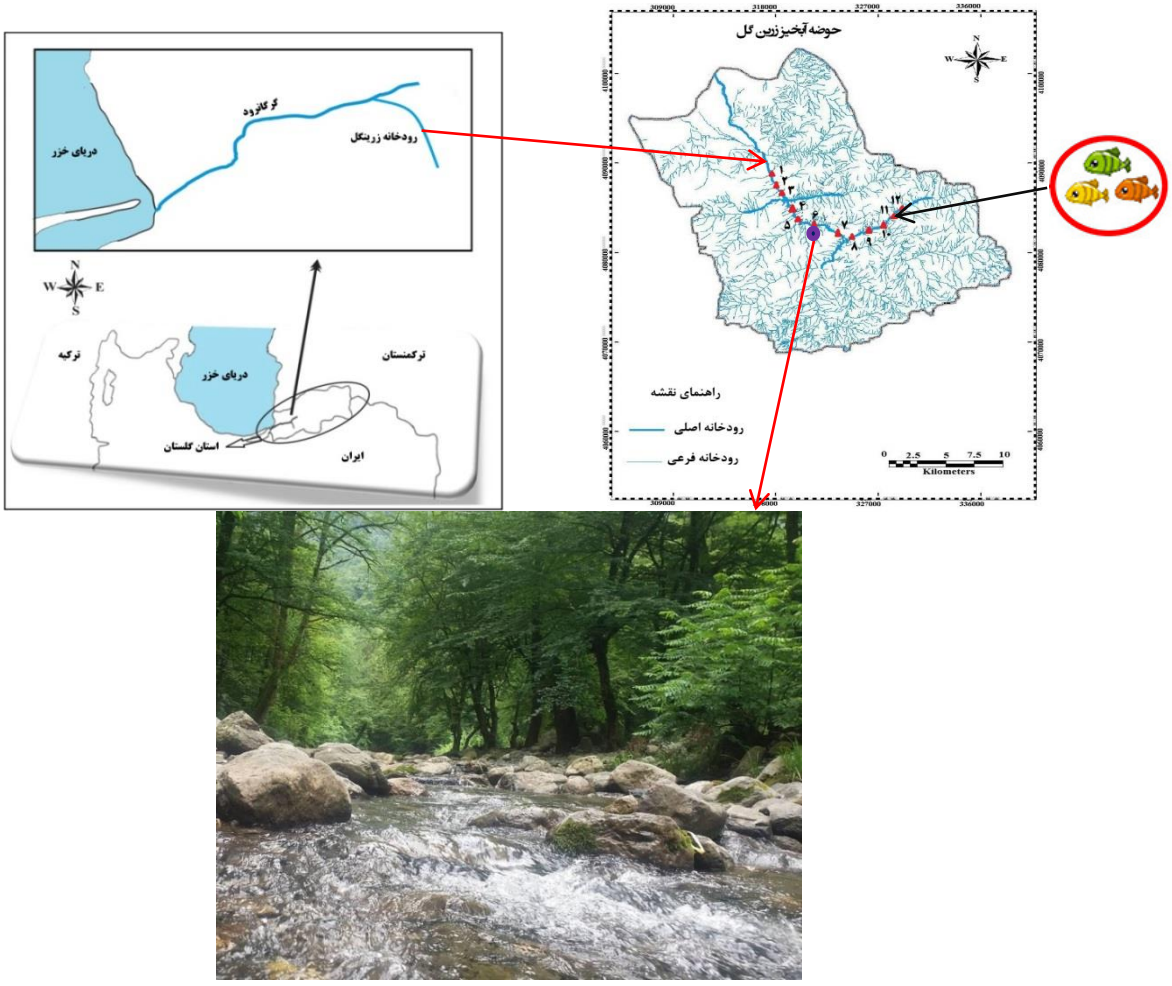
بر اساس مرور منابع ملاحظه می‌گردد که در برنامه‌ریزی توسعه پایدار منابع آب، برای جلوگیری از وارد شدن خسارت‌های جبران‌ناپذیر به اکوسیستم‌های آبی با هدف حفظ بقای محیط اکولوژیکی، بایستی به شاخص‌های هیدرولوژیکی، شاخص‌های اکوهیدرولیکی و شبیه‌سازی فیزیک زیستگاه تحت تأثیر دبی رودخانه، توجه گردد. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که برآورد و اختصاص حداقل جریان زیست‌محیطی جهت حفاظت از کارکردهای اکوسیستم‌های طبیعی و بومی و تنوع‌زیستی آنها برای مدیریت اکوسیستم رودخانه‌ای و سایر اکوسیستم‌های آبی یک امر ضروری است. وسعت مباحث در شناخت اکوسیستم رودخانه‌ها و بررسی پدیده‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیک، موفولوژیک و زیستی مرتبط با موجودات زنده، همچنین برآورد دقیق‌تر پاسخ اکولوژیکی رودخانه نسبت به تغییرات ایجاد شده در آن، مستلزم انجام مطالعه در این زمینه است. با توجه به جدید بودن علم مدل‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای در جهان، مطالعات اندکی در زمینه تعیین رژیم جریان زیست‌محیطی با مدل‌های شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌های رودخانه‌ای در کشور صورت گرفته است. بر این اساس در پژوهش حاضر سعی شده است که با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی (تنانت، تسمن، تگزاس و کمبود جریان اکولوژیکی) و نیز خصوصیات هیدرومورفواکولوژیکی رودخانه و مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی زیستگاه، به منظور حفظ سلامت رودخانه زرین‌گل در استان گلستان، راهی نو با نتایج دقیق‌تر و سازگارتر با شرایط جریان رودخانه‌ای، معرفی شود.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقهٔ مورد مطالعه

رودخانهٔ زرین‌گل به‌عنوان یکی از سرشاخه‌های گرگانرود، در حوضه‌ای مرطوب در جنوب‌شرقی شهرستان علی‌آبادکتول استان گلستان، به طول ۲۲ کیلومتر و با بستر سنگی- شنی در عرض شمالی '۵۷°۳۷ و طول شرقی '۵۲°۳۶، واقع شده است. این رودخانه از دامنه‌های شمالی البرز شرقی و ارتفاعات سرخان، میلان، آقند و کمر، سرچشمه گرفته و با جهت عمومی جنوب‌شرقی- شمال‌غربی حرکت خود را شروع نموده و پس از عبور از مناطق کوهپایه‌ای شرق علی‌آبادکتول به سمت شمال جریان داشته و در نهایت، حوالی روستای باغه‌یلمه‌سالیان به رودخانهٔ گرگانرود می‌پیوندد (شکل ۲). این رودخانه از آبدهی مناسب و سیلاب بالایی برخوردار است و در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار (ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت) به علت بارش‌های فصلی باران و همچنین ذوب برف، قابلیت سیلابی شدن را دارد. متوسط بارندگی سالانه در منطقه حدود ۵۷۳ میلی‌متر است و بر اساس اقلیم نمای دومارتن، آب و هوای معتدل و معتدل مرطوب را تداعی می‌کند (Naderi *et al.*, 2019). رودخانهٔ زرین‌گل با توجه به دانه‌بندی ذرات بستر از رودخانه‌های با بستر درشت‌دانه است و دارای پراکنش گونه‌ای مختلف ماهیان بومی منطقه (سیاه‌ماهی، خیاطه ماهی، سگ‌ماهی جویباری و گاوماهی شنی خزری) می‌باشد (Gholizadeh *et al.*, 2017). ایستگاه هیدرومتری مورد استفاده برای محاسبات هیدرولوژیکی، ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل واقع در '۵۲°۳۶ عرض شمالی و '۵۷°۵۴ طول شرقی است، و یک ایستگاه هیدرومتری درجه یک و دارای تجهیزات موجود در آن شامل اشل، لیمنوگراف و پل‌تلفریک است. بر اساس آمار و اطلاعات دوره ۴۳ ساله (۱۳۹۶-۱۳۵۳) ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل، دریافتی از شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، حداکثر میانگین جریان ماهانه[1] رودخانهٔ زرین‌گل در ماه فروردین و برابر ۵/۹۵ مترمکعب بر ثانیه و حداقل میانگین جریان ماهانه در ماه آبان و برابر ۱/۰۴ مترمکعب بر ثانیه و میانگین جریان سالانه[2]، ۲/۱۵ مترمکعب برثانیه است. آبدهی سیستم رودخانه‌ای زرین‌گل، در حدود ۶۸/۵ میلیون مترمکعب در سال است.

1. Mean Monthly Flow: MMF
2. Mean Annual Flow: MAF



شکل ۲- موقعیت حوضه آبریز زرین‌گل، منطقه مورد مطالعه و نمایی از رودخانه به همراه موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

۲.۲. روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی

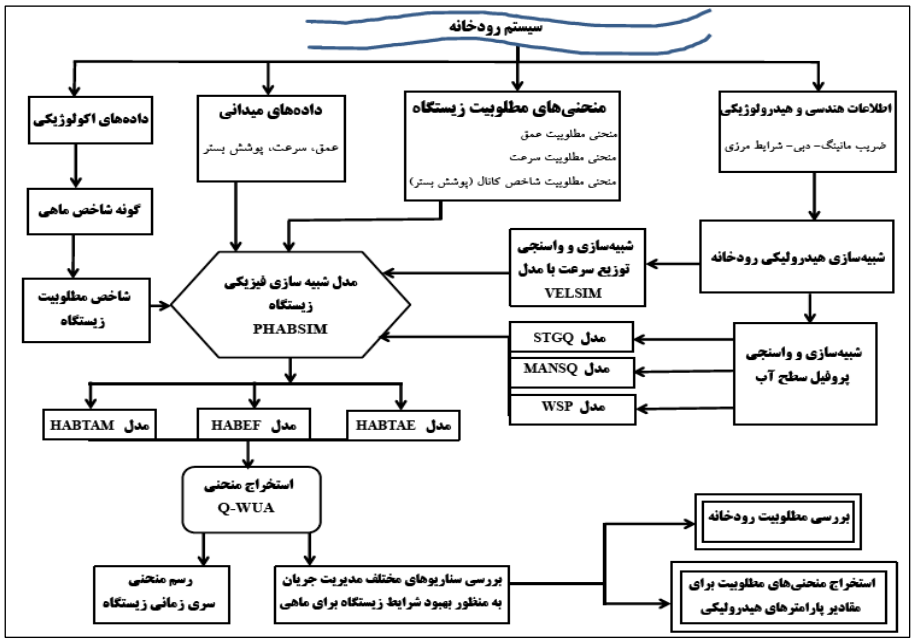
پرکاربردترین روش هیدرولوژیکی برای تعیین جریان درون رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها، روش «تنانت[1]» می‌باشد. Tennant (۱۹۷۶) جریان‌های مشخصی که هر یک معرف کیفیت زندگی ماهیان بودند را در قالب سه پارامتر عمق، سرعت و درصد محیط خیس شده همراه با ملاحظات بیولوژیکی و مورفولوژیکی برای زندگی ماهیان به صورت زیستگاه بقای کوتاه مدت، زیستگاه حیاتی و زیستگاه عالی برای بقاء، تعریف کرد. زیستگاه بقای کوتاه‌مدت، با حفظ ۱۰ درصد جریان متوسط سالانه تأمین می‌شود. زیستگاه حیاتی، در ۳۰ درصد جریان متوسط سالانه و زیستگاه عالی برای حیات، در جریان‌های بیش از ۶۰ درصد متوسط سالانه فراهم می‌شوند (Shokoohi and Hong, 2011; Karakoyun *et al.*, 2016). روش «تسمن[2]» به عنوان روش تنانت اصلاح شده، بر پایه تجزیه و تحلیل سوابق درازمدت ایستگاه‌های هیدرومتری است. در این روش برای لحاظ کردن شرایط و تغییرپذیری هیدرولوژیکی رودخانه، توصیه‌های جریان به جای آنکه در دو دوره خشک و تر از سال تعیین شود، به صورت ماهانه مشخص می‌گردد و نتایج آن به صورت درصدی از میانگین جریان ماهانه یا سالانه بیان می‌شود (Gopal, 2013;

1. Tennant
2. Tessman

Bayat *et al.*, 2019). دستورالعمل‌های جریان حداقل به روش تسمن بدین شرح است: اگر MAF > MMF ۰/۴ باشد، MMF به عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود. اگر MAF < MMF ۰/۴ باشد، MAF ۰/۴ به عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود. اگر MAF < MMFباشد، MMF ۰/۴ به عنوان حداقل جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود (Karakoyun *et al.*, 2016; Naderi *et al.*, 2018). روش «کمبود جریان اکولوژیکی[1]» بر اساس سری زمانی داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری، با استفاده از منحنی تداوم جریان متوسط سالانه که نشان‌دهنده جریان‌های یک سال شاخص است (که می‌تواند منحنی تداوم جریان فصلی و یا ماهانه نیز باشد) (Zhang *et al.*, 2015) و شامل متوسط چندین منحنی تداوم جریان سالانه در یک دوره آماری بلندمدت، بدست می‌آید (Gao *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2018). بر این اساس، با محاسبه آمارهای جریان سازگار با محیط زیست که کمبود جریان اکولوژیکی (جریانی که مقدار آن کمتر از جریان زیست‌محیطی است) و مازاد اکولوژیکی (جریانی که مقدار آن بیشتر از جریان زیست‌محیطی است) نامیده می‌شود، می‌توان تدابیر کلی را برای تغییرات هیدرولوژیک جریان رودخانه فراهم کرد (Vogel *et al.*, 2007; Gao *et al.*, 2009). روش «تگزاس» دیگر روش هیدرولوژیکی است که در واقع برگرفته از روش تنانت بوده و برای رودخانه‌هایی که گونه جانوری شاخصی دارند و زنجیره غذایی آنها شناخته شده است، به کار برده می‌شود. در این روش درصدهای متغیری از میانگین ماهانه جریان برای تعیین حقابه زیست‌محیطی به کار می‌رود. این روش در برابر روش‌های اولیه یک روش پیشرفته است چرا که اولین روش از روش‌های هیدرولوژیکی است که درصد جریانات ماهانه را به‌عنوان متغیری از مشخصه‌های بیولوژیکی (دوره تخم‌ریزی، مهاجرت و...) و ویژگی‌های هیدرولوژیکی منطقه‌ای (جریانات ماهانه با تغییرات شدید با چولگی مثبت) در نظر می‌گیرد (Bounds and Lyons, 1979). در روش تگزاس، ۴۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای ماه‌های اکتبر تا فوریه (مهر- بهمن) و ۶۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای ماه‌های مارس تا سپتامبر (اسفند - شهریور) به عنوان جریان حداقل برای حفاظت از بوم‌سازگان رودخانه‌ها در نظر گرفته می‌شود (Shokoohi and Hong, 2011).

اولین مدل مهم در زمینه شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه رودخانه، مدل «PHABSIM[2]» می‌باشد. این مدل، یک مدل اکوهیدرولیکی- هیدرواکولوژیکی (Nikghalb *et al.*, 2016; Ayyoubzadeh *et al.*, 2018) است که مطلوبیت متغیرهایی از زیستگاه که مربوط به هیدرولیک جریان آبراهه و ساختار مجرای اصلی (عمق، سرعت و پوشش) را برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه‌های ماهیان توصیف می‌نماید. در شکل ۳، فرآیند شبیه‌سازی زیستگاه در مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM نشان داده شده است. عملکرد مدل به این صورت است که در ابتدا اطلاعات هیدرولیکی مربوط به رودخانه، شامل دبی، عمق و سرعت‌جریان و همچنین هندسه مقاطع معرف رودخانه وارد نرم‌افزار می‌شوند. زیر مدل هیدرولیکی این نرم‌افزار، به کمک این اطلاعات قادر است شرایط جریان را برای دبی‌های دلخواه شبیه‌سازی نماید. خروجی مدل، منحنی‌های مساحت قابل استفاده وزنی[3] است که دبی جریان را به یک شاخص زیستگاه ماهیان برای مراحل مختلف زندگی گونه‌های هدف ماهی‌ها، مرتبط می‌کند (Waddle, 2012; Ayyoubzadeh *et al.*, 2018; Naderi *et al.*, 2018) (رابطه ۱). در مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه، فرض اصلی رابطه مستقیم و خطی بین مساحت قابل استفاده وزنی و سطح حفاظت از زیستگاه یا به بیان دیگر پاسخ بیولوژیکی است (Fazelnajafabadi and Afzalimehr, 2019). با استفاده از تابع مساحت قابل استفادهٔ وزنی در مقابل دبی جریان، رژیم اکولوژیکی جریان به ازای ماه‌ها و دوره‌های مختلف زندگی گونهٔ هدف ماهی، قابل محاسبه است.

1. Ecodeficit
2. Physical HABitat SIMulation Model
3. Weighted Usable Area: WUA



شکل ۳- فلوچارت مدل PHABSIM (Waddle, 2012)

$$WUA = [\frac{(\sum_{i=1}^{n} A_i \times CSI_i)}{L}] * 1000 \quad (۱)$$

$$CSI = SI_d \times SI_v \times SI_b \quad (۲)$$

که در روابط فوق: A_i: سطح هر سلول زیستگاهی، CSI_i شاخص مطلوبیت ترکیبی[1] هر سلول، L طول بازه، WUA (مساحت قابل استفاده وزنی) تابعی از Q (دبی جریان) و SI_i شاخص مطلوبیت[2] هر متغیر می‌باشند.

۳.۲. اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی و اکولوژیکی رودخانه

خصوصیات فیزیکی رودخانه نظیر عمق و سرعت آب، از نوع جریان تأثیر می‌گیرند و نوع جریان، یک عامل کلیدی در رودخانه‌هاست که نقش بسزایی در هیدرولوژی و هیدرواکولوژی آب دارد. نوع جریان روی کیفیت آب، انرژی رها شده درون جریان، فیزیک زیستگاه و تعاملات زیستی اثر می‌گذارد و همه این‌ها در نهایت روی ادامه حیات اکولوژیکی رودخانه، حفظ تعادل و پایداری زیست‌محیطی مؤثر است (Fazelnajafabadi and Afzalimehr, 2019; Naderi *et al.*, 2019). ماهیان برای ادامه حیات و رشد و نمو به زیستگاه‌هایی نیاز دارند که شرایط لازم برای بقا و تخم‌ریزی آن‌ها را فراهم سازد. شرایط هیدرولوژیکی و هیدرومورفواکولوژیکی رودخانه‌ها پیوسته در حال تغییر بوده و زیستگاه‌های متنوعی را برای ماهیان و دیگر آبزیان فراهم می‌سازد (Gholizadeh *et al.*, 2017; Siepker and Quinn, 2019; Rezvani *et al.*, 2020). این زیستگاه‌ها شرایط زیستی و غیر زیستی موردنیاز جهت تداوم حیات گونه مورد مطالعه را مهیا می‌کنند. پارامترهای هیدرولیکی نظیر سرعت جریان، عرض سطح آب، عمق هیدرولیکی، تنش برشی و شعاع هیدرولیکی همگی به نوعی وابسته به دبی جریان رودخانه هستند (Tare *et al.*, 2017). به دلیل نیاز به منحنی‌های شاخص مطلوبیت، با بازدیدهای میدانی و بهره‌مندی از نظرات متخصصان اکولوژی آبزیان، داده‌های مورد نیاز جهت تولید منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه مهیا شد. اندازه‌گیری پارامترهای محیطی، هیدرولیکی و هیدرومورفواکولوژیکی

1. Combined Suitability Index
2. Suitability Index

(مقاطع عرضی رودخانه شامل فاصله هر مقطع از مقطع پایین‌دست، موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا، عمق، عرض و سرعت آب، ساختار و پوشش بستر، ضریب مانینگ) در نقاط حضور ماهی و نمونه‌برداری از ماهیان (جهت تخمین سن و مرحله زندگی آن) از طریق صید الکتریکی[1]، جهت تولید منحنی‌های مطلوبیت در فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۷-۱۳۹۶ از ۱۲ ایستگاه نمونه‌برداری (جدول ۱) با حضور تیم عملیاتی (متشکل از پژوهشگران اکولوژی آبزیان و مهندسی آب)، از پایین‌دست (ایستگاه ۱) رودخانهٔ زرین‌گل به سمت بالادست (ایستگاه ۱۲)، انجام شد.

به‌منظور انتخاب یک مدل بیولوژیک دقیق، بایستی پژوهش‌های دقیق برای دوره‌های زیستی، تولیدمثل و سایر موارد بیولوژیک صورت گرفته باشد که در رودخانه زرین‌گل، کلیه رفتارهای محیطی گونهٔ‌های مختلف ماهیان بررسی شده است(Gholizadeh *et al.*, 2017; Gholizadeh *et al.*, 2018). در این مطالعه، گونهٔ سگ‌ماهی جویباری به‌دلیل پراکنش وسیع در رودخانهٔ زرین‌گل، همچنین بر اساس اطلاعات بلندمدت اجرای مطالعات بیولوژیکی و بررسی ویژگی‌های زیست‌سنجی و خصوصیات زیست‌شناختی آن و با استفاده از تکنیک دلفی و تهیه پرسشنامه‌های علمی و بهره‌مندی از نظرات کارشناسان با تجربه در زمینه اکولوژی آبزیان در دانشگاه‌های منابع طبیعی گرگان، گنبد و مرکز تحقیقات ذخایر آبزیان آب‌های داخلی گرگان، به‌عنوان گونهٔ هدف برای توسعه و تولید منحنی مطلوبیت زیستگاه انتخاب گردید. سگ‌ماهی جویباری (*Paracobitis hicanica*) از خانواده لوچ ماهیان (*Nemachelidae*) و راسته کپورماهی شکلان است و از لحاظ ارزش بومی، صید ورزشی و مطالعه جغرافیای جانوری حائز اهمیت است. سگ‌ماهی جویباری از حشرات آبزی، موجودات بنتیک و جلبک‌های اپیفیتیک تغذیه می‌کند. تخم‌ریزی سگ‌ماهی جویباری عمدتاً در فصل بهار و تابستان از اردیبهشت‌ماه تا مرداد ماه صورت می‌گیرد (Keivani *et al.*, 2016).

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه‌های اندازه‌گیری و پارامترهای هیدرولیکی و محیطی در رودخانه زرین‌گل

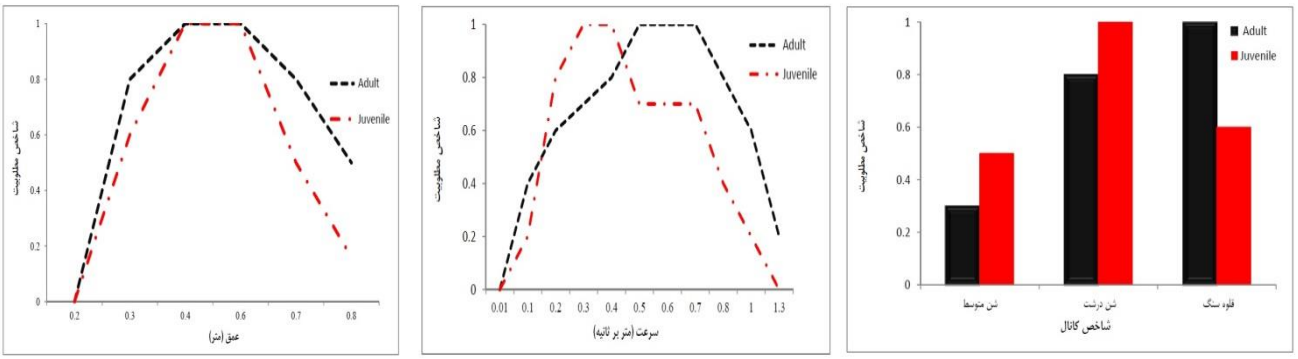
پارامترهای محیطی						موقعیت جغرافیایی		
فراوانی ماهی	زیستگاه	عرض رودخانه	عمق جریان	سرعت جریان	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه
(قطعه درمترمربع)	هیدرومورفواکولوژیکی	(m)	(m)	(m/s)	(m)			
۰/۰۵۵	گوداب[2]	۳/۵۲	۰/۳۶	۰/۳۶	۲۸۶	"۴۱ '۹۰ °۳۶	"۰۷ '۹۳ °۵۴	۱
۰/۰۷۲	گوداب	۳/۶۸	۰/۴۱	۰/۳۲	۳۰۴	"۹۸ '۸۹ °۳۶	"۴۷ '۹۳ °۵۴	۲
۰/۰۸۸	گوداب	۳/۷۴	۰/۵۲	۰/۳۶	۳۷۴	"۶۵ '۸۸ °۳۶	"۶۱ '۹۴ °۵۴	۳
۰/۱۵۸	خیزاب	۴/۲۵	۰/۴۸	۰/۵۱	۵۲۶	"۱۳ '۸۸ °۳۶	"۱۳ '۹۵ °۵۴	۴
۰/۲۴۷	خیزاب	۴/۷۲	۰/۴۵	۰/۴۷	۵۵۷	"۴۶ '۸۷ °۳۶	"۴۳ '۹۵ °۵۴	۵
۰/۱۶۸	گوداب	۳/۶۲	۰/۴۷	۰/۶۴	۶۰۱	"۱۴ '۸۷ °۳۶	"۵۲ '۹۵ °۵۴	۶
۰/۱۷۵	گوداب	۳/۳۵	۰/۶۷	۰/۵۲	۶۳۶	"۹۱ '۸۵ °۳۶	"۶۷ '۹۶ °۵۴	۷
۰/۳۲۱	خیزاب[3]	۴/۷۴	۰/۴۸	۰/۸۴	۶۵۲	"۲۹ '۸۵ °۳۶	"۸۵ '۹۶ °۵۴	۸
۰/۲۹۶	گوداب	۴/۲۵	۰/۶۴	۰/۷۲	۶۸۴	"۷۵ '۸۴ °۳۶	"۰۲ '۹۷ °۵۴	۹
۰/۶۲۵	خیزاب	۴/۸۴	۰/۵۸	۰/۹۴	۷۰۵	"۶۷ '۸۱ °۳۶	"۲۸ '۰۲ °۵۵	۱۰
۰/۴۴۱	خیزاب	۳/۵۴	۰/۶۸	۰/۹۵	۷۲۶	"۴۲ '۸۱ °۳۶	"۱۵ '۰۳ °۵۵	۱۱
۰/۱۸۴	خیزاب	۳/۱۵	۰/۶۴	۰/۹۳	۷۴۸	"۶۴ '۸۱ °۳۶	"۲۹ '۰۳ °۵۵	۱۲

1. Electrofishing
2. Pool
3. Riffle

ترجیح زیستگاهی این ماهی اعماق کم با سرعت جریان متوسط تا زیاد و بسترهای سنگی با اندازه متوسط تا درشت می‌باشد (Gholizadeh *et al.*, 2018).

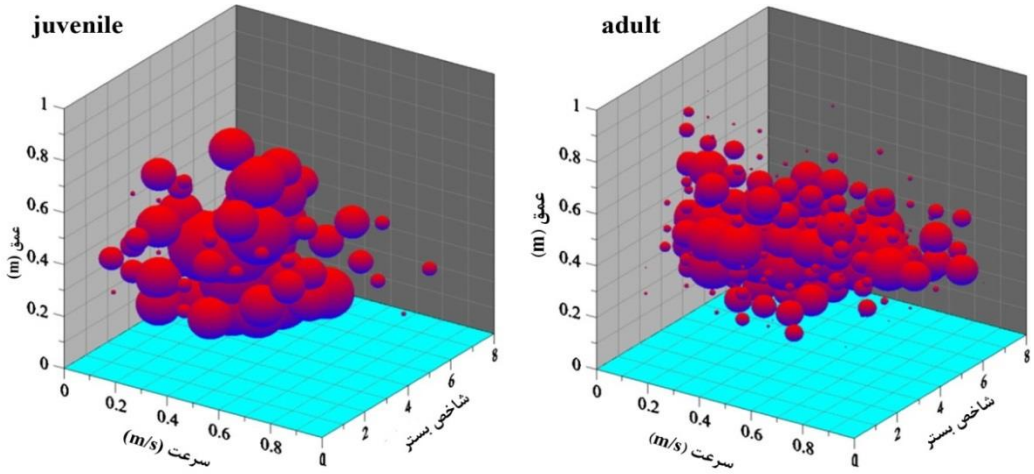
ضریب زبری عمدتاً منعکس کننده مقاومت جریان رودخانه است که به جهت موثر بودن روی شرایط جریان رودخانه (تراز سطح آب و سرعت) مهم می‌باشد. مقدار ضریب زبری مانینگ با توجه به دانه‌بندی مصالح بستر رودخانه زرین‌گل از طریق بازدید میدانی و روابط تجربی، در محدودهٔ مورد مطالعه بین ۰/۰۳۹ تا ۰/۰۵ متفاوت می‌باشد و با توجه به اینکه عواملی همچون نامنظمی کناره‌ها و همچنین وجود پوشش گیاهی، زبری کناره‌ها را افزایش می‌دهد و دیگر شرایط حاکم بر رودخانه در مقاطع مختلف همچون درجه ناهمواری، وجود موانع و شکل مسیر، با استفاده از جداول تعیین ضریب زبری ونتی چاو و تطبیق آن با مشاهدات میدانی به‌عمل آمده در بازهٔ مطالعاتی، مقدار این پارامتر در قسمت‌های انتهایی به‌دلیل وجود پوشش گیاهی در بستر رودخانه ۰/۰۳۵ منظور و به مدل معرفی شد. شکل بستر رودخانه، تأثیر مشخصی روی زبری بستر و در نتیجهٔ مقاومت جریان دارد. در واقع شکل بستر، تابعی از خصوصیات هیدرومورفواکولوژیکی، دبی عبوری، ژئومورفولوژی منطقه و نیروی هیدرودینامیک رودخانه است (Tare *et al.*, 2017). بسترهای شامل توپوگرافی گوداب- خیزاب محل پرورش و تخم‌ریزی آبزیان از جمله ماهی‌ها می‌باشد.

ماهیان رودخانه‌ای بر اساس سازگاری‌های رفتاری، فیزیولوژیکی و مورفولولوژیکی، زیستگاه خاصی را ترجیح می‌دهند که برای بقا و پایداری گونه‌ها و جمعیت‌ها، حائز اهمیت می‌باشند (Gholizadeh *et al.*, 2017; Siepker and Quinn, 2019). در ادامه به منظور بررسی شرایط اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل، با توجه به مشاهدات میدانی، برای گروه سنی بالغ[1] و نابالغ[2] سگ‌ماهی جویباری، منحنی‌های مطلوبیت فیزیک زیستگاه بر طبق روش انتخاب زیستگاه ژاکوب توسعه داده شد (Siepker and Quinn, 2019). در شکل ۴ منحنی‌های شاخص مطلوبیت اکوهیدرولیکی در مراحل مختلف زندگی گونه هدف (نابالغ و بالغ)، برای هر ۳ پارامتر اصلی عمق، سرعت و شاخص بستر نشان داده شده است. همچنین نمایش ۳ بعدی نحوه پراکندگی جمعیت گونه هدف در زیستگاه رودخانه زرین‌گل، با تأثیر از متغیرهای فیزیک زیستگاه (سرعت، عمق و بستر) در شکل ۵ ارائه شده است. در پژوهش حاضر، مطابق شکل ۴ و شکل ۵ می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که جریاناتی به عنوان جریان زیست‌محیطی در رودخانه زرین‌گل برای گونه سگ ماهی جویباری مناسب است که بتواند در زیستگاه‌های گوداب و خیزاب اعماقی بین ۳۵ تا ۶۵ سانتی‌متر ایجاد کند و همچنین سرعت جریان در این زیستگاه‌ها، حدود ۰/۳ تا ۰/۷ متر بر ثانیه باشد.



شکل ۴- منحنی‌های شاخص مطلوبیت (عمق، سرعت و شاخص کانال) سگ ماهی جویباری در رودخانهٔ زرین‌گل

1. Adult
2. Juvenile



شکل ۵- نحوه پراکنش گونه ماهی هدف در زیستگاه رودخانه زرین‌گل در برابر پارامترهای سرعت، عمق و بستر

۳. نتایج

هدف پژوهش‌های مهندسی رودخانه در نقاط مختلف جهان، کمک به بهبود ساختار و عملکرد زیست‌محیطی اکوسیستم یک رودخانه رو به تخریب و احیا و بازطبیعی سازی دوباره فرآیندهای لازم به‌منظور حمایت از اکوسیستم‌های طبیعی و بهبود آنها است. به رسمیت شناختن جریان‌های زیست‌محیطی در سیاست‌ها و قوانین منابع آب، انگیزه مهمی برای گنجاندن جریان‌های زیست‌محیطی در برنامه‌های مدیریت حوضه و مبنای مهمی برای تصمیم‌گیری در سطح پروژه، درباره تخصیص‌های آب فراهم می‌کند. در مطالعه حاضر، تخصیص جریان زیست‌محیطی، تنظیم، مقدار و زمان‌بندی آن با توجه به نقش مؤثری که در ادامه فعالیت‌های موجود در زیست‌بوم، بوجود آوردن شرایط مناسب برای تخم‌ریزی آبزیان و احیا اکوسیستم رودخانه دارد، مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفته است.

روش تنانت: روش تنانت در سال‌های اخیر به‌عنوان روشی مطمئن در پروژه‌های توسعه منابع آب کشور استفاده شده است. نتایج پیشنهادی حاصل از روش تنانت در درصدهای مختلفی از متوسط جریان سالانه به عنوان جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل، در جدول ۲ ارائه شده است. مطابق جدول برای آنکه وضعیت عادلانه‌ای (قابل قبول) در رودخانه زرین‌گل حاکم باشد، در شش ماه اول سال، باید جریانی معادل ۰/۶۴ مترمکعب برثانیه و در شش ماه دوم سال، دبی برابر ۰/۲۱ مترمکعب برثانیه با میانگین دبی سالانه ۰/۴۲ مترمکعب برثانیه (معادل ۱۹ درصد جریان طبیعی رودخانه) در رودخانه زرین‌گل برقرار باشد.

روش تسمن: بر اساس نتایج به دست آمده از کاربرد روش تسمن (جدول ۳)، مقدار جریان زیست‌محیطی در دامنه ۰/۸۶ تا ۲/۳۸ مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های مختلف قرار دارد. مقدار متوسط جریان زیست‌محیطی برآورد شده با استفاده از روش تسمن برابر با ۱/۰۹ مترمکعب بر ثانیه است. روش تسمن برگرفته از روش تنانت است و با مقایسه جریان ماهیانه موجود با متوسط جریان سالیانه، کمترین نیاز آبی زیست‌محیطی مورد نیاز را در ماه‌های مختلف پیشنهاد می‌کند. بررسی نسبت جریان زیست‌محیطی برآورد شده با روش تسمن به مقدار متوسط جریان ماهانه نشان می‌دهد که این نسبت در دامنه ۴۰ تا ۸۲ درصد با میانگین ۵۱ قرار دارد (جدول ۴). همچنین بر اساس نتایج روش تسمن دوره سه‌ماهه اسفند- اردیبهشت دارای بیشترین و از تیر تا بهمن ماه دارای کمترین مقادیر برآورد شده جریان زیست‌محیطی است.

جدول ۲- جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل در ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل با استفاده از روش تنانت

شرح جریان	روش تنانت (% MAF)		جریان پیشنهادی (m^3/s)	
	مهر –اسفند	فروردین –شهریور	مهر –اسفند	فروردین –شهریور
شستشوی سریع	۲۰۰		۴/۳	
محدوده بهینه	۶۰-۱۰۰		۱/۲۹ -۲/۱۵	
بسیارعالی	۴۰	۶۰	۰/۸۵	۱/۲۹
عالی	۳۰	۵۰	۰/۶۴	۱/۰۷
خوب	۲۰	۴۰	۰/۴۳	۰/۸۶
قابل قبول	۱۰	۳۰	۰/۲۱	۰/۶۴
ضعیف	۱۰	۱۰	۰/۲۱	۰/۲۱
بسیار ضعیف	<۱۰	<۱۰	<۰/۲۱	<۰/۲۱

جدول۳- جریان زیست‌محیطی محاسبه شده رودخانه زرین‌گل در ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل با استفاده از روش تسمن

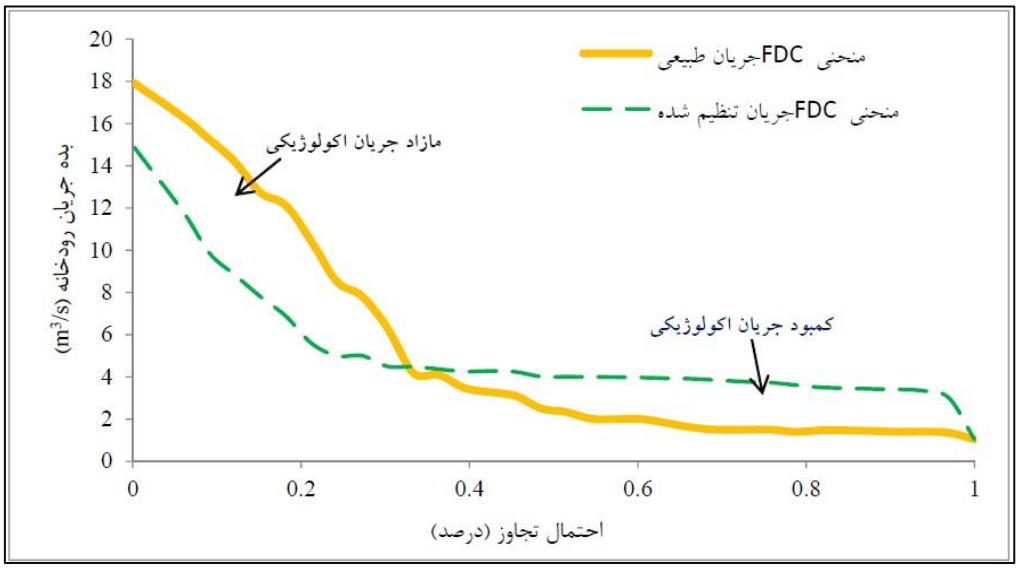
ماه	MMF (m^3/s)	0.4MMF (m^3/s)	MAF (m^3/s)	0.4MAF (m^3/s)	جریان زیست‌محیطی پیشنهادی (m^3/s)
مهر	۱/۲۲	۰/۴۸	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۸۶
آبان	۱/۰۴	۰/۴۱	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۸۶
آذر	۱/۱۵	۰/۴۶	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۸۶
دی	۱/۲۸	۰/۵۱	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۸۶
بهمن	۱/۵۲	۰/۶	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۸۶
اسفند	۲/۷۳	۱/۰۹	۲/۱۵	۰/۸۶	۱/۰۹
فروردین	۵/۹۵	۲/۳۸	۲/۱۵	۰/۸۶	۲/۳۸
اردیبهشت	۴/۵۷	۱/۸۲	۲/۱۵	۰/۸۶	۱/۸۲
خرداد	۲/۴۱	۰/۹۶	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۹۶
تیر	۱/۵۳	۰/۶۱	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۸۶
مرداد	۱/۳۶	۰/۵۴	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۸۶
شهریور	۱/۱۲	۰/۴۴	۲/۱۵	۰/۸۶	۰/۸۶
میانگین	۲/۱۵	۰/۸۶	۲/۱۵	۰/۸۶	۱/۰۹

مقایسه نتایج جریان برآورد شده زیست‌محیطی از روش تسمن با نتایج روش تنانت (جدول ۴) به روشنی نشان می‌دهد، روش تسمن در همه ماه‌های سال مقدار جریان را بیشتر از روش تنانت برآوردکرده است و نیز دامنه و بزرگی مقادیر برآورد شده جریان زیست‌محیطی در این روش به مراتب بزرگتر از روش تنانت است که نتایج تحقیقات Esmaili و همکاران (۲۰۱۸) موید این مطلب می‌باشد. از تحقیقات Naderi و همکاران (۲۰۱۸) و Naderi و همکاران (۲۰۲۰) استنباط می‌شود روش تسمن به دلیل اینکه تابع کلاس‌های مدیریتی نیست و برای همه رودخانه‌ها از یک الگو پیروی می‌کند، نمی‌تواند نتایج دقیقی ارائه دهد. اما این روش نسبت به روش تنانت ارجحیت دارد، چرا که نسبت به جریان‌های ماهانه رودخانه بی تفاوت نیست و در هر ماه میزان جریان متفاوتی را ارائه می‌دهد (Gopal, 2013; Bayat *et al.*, 2019). در ایران روش تسمن می‌تواند به‌عنوان مدلی برای تعیین حداقل جریان مورد نیاز محیط زیست رودخانه‌ها در زمان برآورد اولیه در حوضه آبریز بکار رود. برای این که این روش

به‌عنوان یک چارچوب به کار رود، نیاز به فعالیت‌های میدانی وسیع‌تری وجود دارد تا داده‌های بیولوژیکی و هیدرولوژیکی رودخانه جمع‌آوری شوند. این روش برای مناطق خشک و نیمه‌خشکی که رودخانه‌ها در چندین ماه از سال در حالت طبیعی خشک می‌شوند، مناسب نیست، چرا که ممکن است منجر به پیشنهاد جریان‌هایی شود که خیلی کم و یا خیلی زیاد باشد و این مسئله تخریب محیط زیست رودخانه‌ها را به دنبال دارد (Esmaili *et al.*, 2018; Naderi *et al.*, 2018). Bayat و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند جریان پیشنهادی روش تسمن برای رودخانه تالار، روش نسبتا مناسبی بوده و تطابق خوبی را با وضعیت طبیعی رودخانه دارد (معادل ۴۵ درصد متوسط جریان سالیانه)، در حالی که نتایج پیشنهادی این روش برای رودخانه کرج در ماه‌های کم‌آبی، غیر قابل قبول است.

روش تگزاس: نتایج محاسباتی ماهانه جریان زیست‌محیطی روش تگزاس برای ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل در جدول ۴، ارائه شده است. متوسط جریان زیست‌محیطی سالانه پیشنهادی توسط روش تگزاس، ۱/۱۸ مترمکعب بر ثانیه، معادل ۵۵ درصد متوسط جریان سالانه می‌باشد. روش تگزاس را می‌توان برای رودخانه زرین‌گل، روش نسبتاً مناسبی دانست، زیرا در این روش، احتمال تجاوز جریان‌های ماهانه پیشنهادی در ماه‌های کم‌آبی، بیشتر از ۴۰ درصد می‌باشد و جریان پیشنهادی در این ماه‌ها تطابق خوبی با وضعیت این رودخانه دارد. از طرفی دیگر، با بررسی جدول ۴، مشاهده می‌شود روش تگزاس در ماه‌های فروردین و اردیبهشت، جریانی بالاتر از میانگین جریان سالانه را برای تأمین حداقل جریان زیست‌محیطی، پیشنهاد داده است.

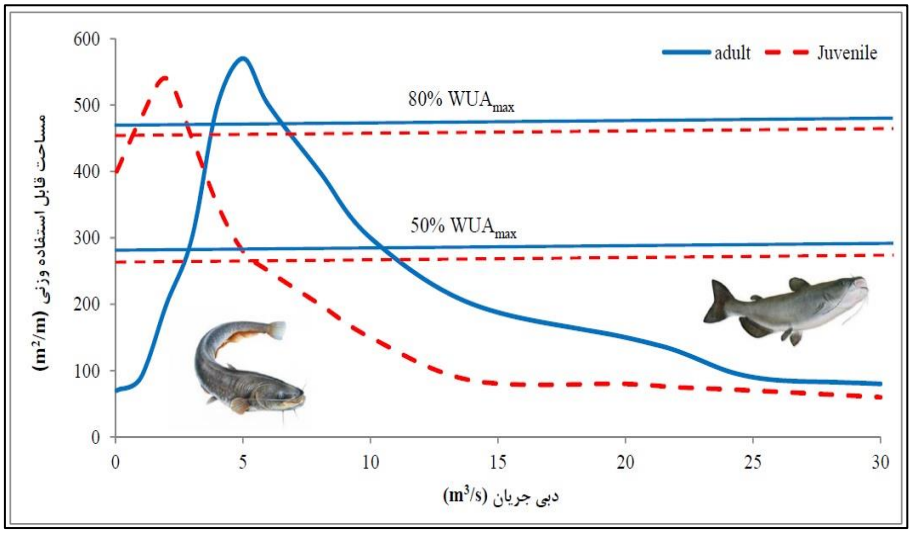
روش کمبود جریان اکولوژیکی: در شکل ۵، نمودار FDC برای دو حالت داده‌های تاریخی در ایستگاه هیدرومتری زرین‌گل در حالت طبیعی و نیز تنظیم شده رسم گردیده است. شکل ۵، مساحت پایین نمودار منحنی تداوم جریان طبیعی و بالای حالت تنظیم شده «مازاد جریان اکولوژیکی» را نشان می‌دهد. همچنین مفهوم «کمبود جریان اکولوژیکی» که در شکل ۵ نشان داده شده است بیانگر این است که در این حالت منحنی تداوم جریان طبیعی رودخانه پایین‌تر از منحنی جریان تنظیم شده قرار می‌گیرد و نشان دهنده جریان مازاد به دلیل تغییرات رژیم هیدرولوژیکی رودخانه در دوره‌های مختلف آماری می‌باشد.



شکل ۵- منحنی تداوم جریان طبیعی و تنظیم شده و نمایش معیارهای کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی در رودخانه زرین‌گل

آنچه که در شکل ۵ به وضوح مشاهده می‌شود، تقارن بین کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی است و همچنین کمبود جریان اکولوژیکی از ۳۳ تا ۹۵ درصد افزایش می‌یابد که معادل درصد جریان زیست‌محیطی تأمین شده، خواهد بود. با استفاده از منحنی میانگین تداوم جریان (شکل ۵)، مقادیر رژیم ماهانه جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل با روش کمبود جریان اکولوژیکی در جدول ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از کاربرد روش کمبود جریان اکولوژیکی، مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل در دامنه ۰/۵۴ تا ۴/۰۱ مترمکعب بر ثانیه در ماه‌های مختلف با میانگین جریان سالانه ۱/۳۱ مترمکعب برثانیه (معادل ۶۱ درصد جریان طبیعی رودخانه) قرار دارد.

روش شبیه‌سازی زیستگاه: با اجرای مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM به عنوان یک روش شبیه‌سازی زیستگاه متداول و معتبر برای رودخانه زرین‌گل، پس از تولید و توسعه منحنی‌های شاخص مطلوبیت زیستگاه و انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی، مساحت قابل استفاده وزنی (میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس) برای دبی‌های مختلف (منحنی دبی- فیزیک زیستگاه) برای هر مرحله از زندگی گونه سگ‌ماهی جویباری (نابالغ و بالغ)، استخراج گردید و در ادامه رژیم ماهانه جریانات زیست‌محیطی بدست آمد. در نهایت میزان مطلوبیت رودخانه از لحاظ مقدار و موقعیت، مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM، مساحت قابل استفاده وزنی برای دبی‌های مختلف جریان، در مراحل مختلف زندگی گونه هدف، در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود افزایش جریان به میزان بیش از حداکثر میانگین دبی ماهانه رودخانه، باعث کاهش میزان مطلوبیت زیستگاه خواهد شد. در منحنی دبی- فیزیک زیستگاه (شکل ۶)، حداکثر مساحت قابل استفاده وزنی برای هر یک از دوره‌های زندگی نابالغ و بالغ گونه هدف به ترتیب در محدوده دبی‌های ۲/۱۵ و ۵/۲۵ مترمکعب بر ثانیه قرار می‌گیرد. مطابق با شکل ۶ با تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه و افزایش دبی به میزان بیشتر از حداکثر میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۵/۹۵ متر مکعب بر ثانیه است و در شرایط سیلابی میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای دوره‌های مختلف زندگی گونه هدف، کاهش می‌یابد. کاهش جریان به میزان کم‌تر از حداقل میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۱/۰۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد نیز بیانگر پایین بودن میزان مساحت قابل استفاده برای دوره بالغ گونه هدف است، ولی برای دوره نابالغ با کاهش میزان دبی جریان، شرایط مناسب‌تری از نظر میزان مطلوبیت حاکم بوده و میزان مساحت قابل استفاده وزنی نسبت به دوره بالغ، بیشتر است.



شکل ۶- منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف زندگی سگ ماهی جویباری در رودخانه زرین‌گل

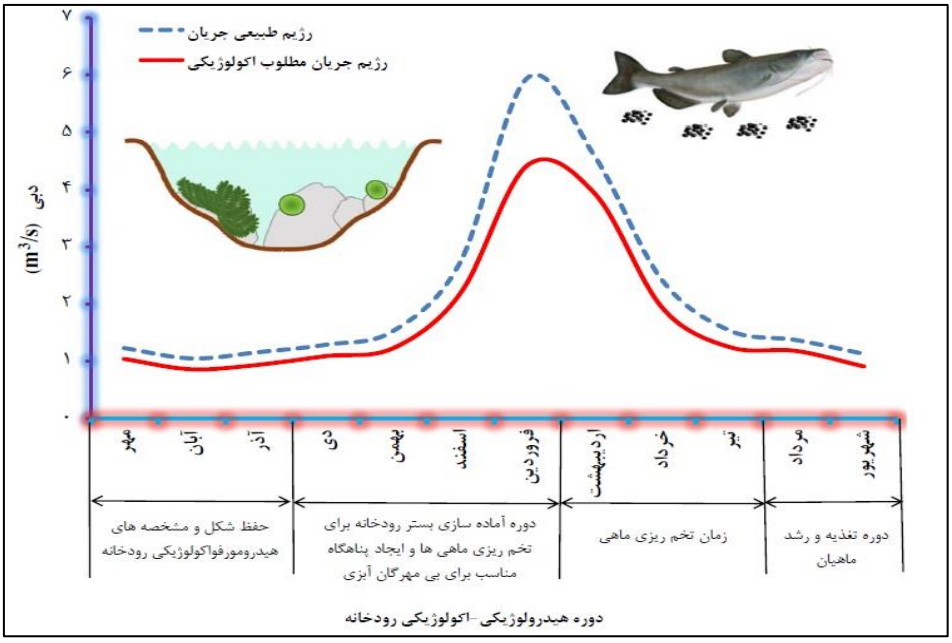
برای تعیین رژیم جریان اکولوژیکی، میزان مساحت قابل استفاده وزنی بر اساس درصد کاهش زیستگاه، دبی معادل مساحت قابل استفاده وزنی کاهش یافته از منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی، قرائت گردید. با توجه به ملاحظات اکولوژیکی و میزان درصد کاهش زیستگاه تا مقداری که حداقل زیستگاه برای گونهٔ شاخص حفظ شود، معادل ۶۰-۵۰ درصد از زیستگاه‌های مطلوب در دسترس و به تبع آن ۸۰-۷۰ درصد میزان مطلوبیت زیستگاهی به عنوان سطح حفاظتی متوسط (برای زیستگاه‌هایی که گونه‌های با ارزش اکولوژیکی کمتری را داشته باشند) و ۱۰۰-۹۰ درصد میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس به عنوان حداکثر حفاظت (برای زیستگاه‌هایی که گونه‌های با ارزش اکولوژیکی بالایی دارا باشند)، در تحلیل رژیم جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود. بر طبق پیشنهاد مطالعات قبلی، برای بدست آوردن حداکثر دبی قابل برداشت از رودخانه برای حفظ اکوسیستم کاهش جریان تا حدی که ۲۰- ۱۵ درصد از فضای در اختیار موجودات زنده از دست برود (به نحوی که آسیبی متوجه آن نشود)، معادل حد نهایی قابل تحمل برای اکوسیستم می‌باشد (Nikghalb *et al.*, 2016; Naderi *et al.*, 2019; Boavida *et al.*, 2020). نتایج تحلیل رژیم اکولوژیکی ماهانه پیشنهادی مدل PHABSIM در مقابل میانگین جریان ماهانه در جدول ۴ ارائه شده است. مطابق با جدول ۴، حداکثر و حداقل جریان مطلوب زیست‌محیطی برآورد شده در ماه‌های فروردین و آبان به ترتیب معادل ۴/۴۲ و ۰/۸۵ مترمکعب بر ثانیه، با میانگین جریان سالانه ۱/۷۳ مترمکعب برثانیه (معادل ۸۰ درصد جریان طبیعی رودخانه) است که بایستی در داخل رودخانهٔ زرین‌گل برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی و حفاظت اکولوژیکی گونهٔ هدف (معادل سطح حفاظتی متوسط) برقرار باشد. در این جدول مشاهده می‌شود که مدل اکوهیدرولیکی PHABSIM قادر به شبیه‌سازی نوسانات طبیعی جریان رودخانه زرین‌گل می‌باشد، در حالی که رژیم اکولوژیکی به دست آمده از این روش تقریباً برای همه ماه‌ها کمتر از میانگین جریان ماهانه می‌باشد.

جدول ۴- توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل با روش‌های مختلف (مترمکعب برثانیه)

ماه	میانگین	تگزاس		تسمن		تنانت		کمبود جریان اکولوژیکی		شبیه سازی زیستگاه	
	جریان	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%	Q	%
مهر	۱/۲۲	۰/۴۸	۴۰	۰/۸۶	۷۰/۴۹	۰/۲۱	۱۷/۲۱	۰/۵۵	۴۵/۳۳	۱/۰۳	۸۴/۴۲
آبان	۱/۰۴	۰/۴۱	۴۰	۰/۸۶	۸۲/۶۹	۰/۲۱	۲۰/۱۹	۰/۵۴	۵۲/۴۲	۰/۸۵	۸۱/۷۳
آذر	۱/۱۵	۰/۴۶	۴۰	۰/۸۶	۷۴/۷۸	۰/۲۱	۱۸/۲۶	۰/۶۶	۵۸/۱۲	۰/۹۳	۸۱/۷
دی	۱/۲۸	۰/۵۱	۴۰	۰/۸۶	۶۷/۱۸	۰/۲۱	۱۶/۴	۰/۷۵	۵۹/۲۱	۱/۰۸	۸۴/۶۷
بهمن	۱/۵۲	۰/۶	۴۰	۰/۸۶	۶۵/۵۷	۰/۲۱	۱۳/۸۱	۰/۸۵	۵۶/۳۶	۱/۲۲	۸۰/۲۶
اسفند	۲/۷۳	۱/۶	۶۰	۱/۰۹	۴۰	۰/۲۱	۷/۶۹	۱/۷۱	۶۲/۶۷	۲/۱۸	۸۰
فروردین	۵/۹۵	۳/۵۷	۶۰	۲/۳۸	۴۰	۰/۶۴	۱۰/۷۵	۴/۰۱	۶۷/۵۲	۴/۴۲	۷۴/۲۸
اردیبهشت	۴/۵۷	۲/۷۴	۶۰	۱/۸۲	۴۰	۰/۶۴	۱۴	۳/۰۵	۶۶/۷۵	۳/۹۲	۸۵/۷۷
خرداد	۲/۴۱	۱/۴۴	۶۰	۰/۹۶	۴۰	۰/۶۴	۲۶/۵۵	۱/۵۲	۶۳/۴۲	۱/۹۳	۸۰
تیر	۱/۵۳	۰/۹۱	۶۰	۰/۸۶	۵۶/۲	۰/۶۴	۴۱/۸۳	۰/۷۹	۵۷/۲۶	۱/۲۴	۸۱/۰۴
مرداد	۱/۳۶	۰/۸۱	۶۰	۰/۸۶	۶۳/۲۳	۰/۶۴	۴۷/۰۵	۰/۷۲	۵۳/۱۷	۱/۱۷	۸۶/۴۶
شهریور	۱/۱۲	۰/۶۷	۶۰	۰/۸۶	۷۶/۷۸	۰/۶۴	۵۷/۱۴	۰/۶	۵۴/۲۶	۰/۹	۸۰/۸۶
میانگین	۲/۱۵	۱/۱۸	۵۵/۰۳	۱/۰۹	۵۰/۹	۰/۴۲	۰/۱۹	۱/۳۱	۶۱/۱۶	۱/۷۳	۸۰/۹

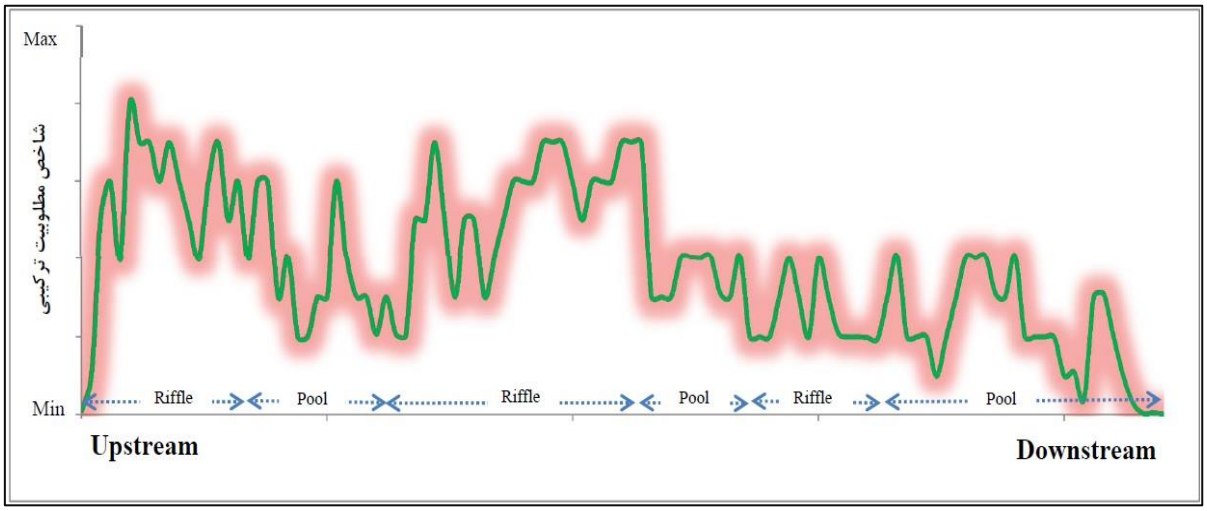
بررسی جدول ۴ نشان می‌دهد که در تمامی ماه‌های سال، مقدار جریان زیست‌محیطی برآورد شده توسط همه روش‌ها کمتر از جریان متوسط ماهانه بوده است. همچنین با بررسی این جدول مشخص است که در بازه

زمانی اسفند- خرداد تفاوت بین متوسط جریان ماهانه رودخانه و برآوردهای جریان زیست‌محیطی در بالاترین سطح است. اگر بازه زمانی آبان- فروردین در نظر گرفته شود مشخص می‌شود در این بازه زمانی یک الگوی مشخصی بین نتایج برآوردهای جریان زیست‌محیطی در روش‌های مختلف برقرار است که طبق این الگو ترتیب بزرگی مقادیر برآورد شده دبی زیست‌محیطی به ترتیب مدل شبیه‌سازی زیستگاه، کمبود جریان اکولوژیکی، تگزاس، تسمن و تنانت می‌باشد درحالی‌که از تیر تا مهر یک الگوی ثابت بین نتایج برآوردهای مختلف جریان زیست‌محیطی مشاهده نمی‌شود. بر اساس مقادیر به‌دست آمده از روش‌های مختلف، محدوده رژیم جریان اکولوژیکی معقول‌تر و قابل اطمینان‌تری را می‌توان بر اساس مدل شبیه‌سازی زیستگاه در این پژوهش به‌دست آورد که بهترین سناریو را برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در حوضه رودخانه زرین‌گل، فراهم می‌کند. در شکل ۷ رژیم طبیعی جریان رودخانه زرین‌گل در مقابل رژیم جریان اکولوژیکی پیشنهادی به‌دست آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۷ و جدول ۴ مشاهده می‌شود، مقادیر رژیم جریان زیست‌محیطی پیشنهادی روش شبیه‌سازی زیستگاه در ماه‌های کم جریان (خرداد تا بهمن) نسبت به ماه‌های جریان پرآبی (اسفند تا اردیبهشت) به نسبت بیشتری از میانگین جریان ماهانه رودخانه زرین‌گل را نیاز دارند. نکته جالب در نتایج بدست آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه این است که رژیم جریان اکولوژیکی مدل PHABSIM بیشتر از میانگین دبی سالانه (۲/۱۵ مترمکعب بر ثانیه) در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت بوده است. با توجه به شکل ۷ این نتیجه‌گیری به‌عمل می‌آید که مدل PHABSIM قادر به ارائهٔ رژیم اکولوژیکی رودخانهٔ زرین‌گل از دو نقطه‌نظر علمی و عملی است. آنچه از شکل ۷ دریافت می‌گردد، تعیین مؤثرترین فرآیند افزایش جریان برای بهبود شرایط تخم‌ریزی سگ‌ماهی جویباری از طریق تخصیص بهینه رژیم جریان اکولوژیکی با در نظر گرفتن همبستگی لازم بین روابط مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی، اکوهیدرولیکی، فرآیندهای هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و درک پویایی زیستگاه در رودخانه زرین‌گل و برقراری رابطه مستقیم بین مساحت مطلوب زیستگاهی و پاسخ بیولوژیکی گونه هدف طی فعالیت‌های زیستی در دوران رشد و چرخه زندگی، در زمینه مدیریت و تنظیم جریان درون رودخانه‌ای، نقش مهم و بارزی ایفا می‌کند.



شکل ۷- توزیع مقادیر رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی پیشنهادی مدل PHABSIM و رژیم طبیعی جریان ماهانه رودخانه زرین‌گل

همچنین با توجه به نتایج مشاهدات میدانی (جدول ۱) و توزیع مطلوبیت زیستگاهی (شکل ۸) در دبی‌های مختلف می‌توان نشان داد که به‌طورکلی محدوده بالادست رودخانهٔ زرین‌گل (با شیب متوسط ۲/۶ درصد) به لحاظ وضعیت زیستگاهی، دارای شرایط مساعدتری بوده و با حرکت به سمت پایین‌دست رودخانه، به‌لحاظ مطلوبیت شاخص‌های فیزیک زیستگاه، شرایط ضعیف‌تر خواهد شد و در این صورت مطابق جدول ۱، از بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه زرین‌گل از جمعیت سگ‌ماهی جویباری کاسته می‌شود.



شکل ۸- توزیع مطلوبیت زیستگاهی ترکیبی گونه ماهی هدف در مسیر رودخانه زرین‌گل

در رودخانه زرین‌گل، بیشترین فراوانی سگ‌ماهی جویباری در ایستگاه ۱۰ با عدد ۰/۶۲۵ ماهی در هر مترمربع و کمترین فراوانی در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ برآورد گردید (جدول ۱). به‌طور کلی در مطالعه حاضر، فراوانی سگ‌ماهی جویباری، ارتباط مثبتی با سرعت و دبی جریان در بالادست رودخانه زرین‌گل که در ناحیه کوهپایه‌ای و در محیط جنگلی واقع شده است، دارد. همان‌طور که در شکل مربوط به بررسی توزیع مطلوبیت در طول رودخانه دیده می‌شود (شکل ۸)، نوسانات مشاهده شده در پراکنش سگ‌ماهی جویباری در ایستگاه‌های مختلف نیز به دلیل تغییر در شرایط هندسی و هیدرولیکی در مسیر رودخانه می‌باشد که داده‌های میدانی موجود در رابطه با تعداد و پراکنش سگ‌ماهی جویباری در ایستگاه‌های مختلف رودخانه زرین‌گل نیز صحت این مطلب را تأیید می‌کند (جدول ۱).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

تعیین و تخصیص جریان زیست‌محیطی از اجزاء مهم مدیریت یکپارچه منابع آب بوده و مؤثرترین نگرش برای جلوگیری از اثرات سوء تنظیم جریان رودخانه‌ها است. جهت نیل به توسعه پایدار حوضه‌های آبریز، رعایت تعادل اکولوژیکی، شفاف‌سازی حقابه‌ها در مقیاس مکانی و زمانی و لحاظ نمودن آنها در تحلیل‌ها و نیز شفاف‌سازی طرح‌های انتقال آب از دیدگاه زیست‌محیطی و اجتماعی، توجیه‌پذیری زیست‌محیطی طرح در مراحل مطالعاتی الزامی می‌باشد. همچنین بایستی به این نکته توجه داشت که تداوم دوره‌های کمینه رژیم جریان رودخانه، پوشش گیاهی، تنوع و پراکنش آنها و همچنین حیات موجودات آبزی را نیز تحت تأثیر قرار داده و در درازمدت سبب اثرات مخرب در اکوسیستم‌های آبی می‌گردد. از این‌رو، بررسی تغییرات مولفه‌های کمینه جریان رودخانه در تأمین حداقل مقادیر حقابه‌زیستی در رأس

برنامه‌ریزی‌های مدیریتی حوضه‌های آبریز و پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای می‌تواند انعکاس بهتری از رژیم جریان رودخانه‌ها ارائه نماید. تغییرات هیدرومورفولوژیکی به تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم ارتباط دارد. هر گونه دست‌کاری و ایجاد تغییر در اکوسیستم رودخانه‌ها، موجب تغییر در رژیم جریان و بار رسوبی می‌شود (Nikghalb *et al.*, 2016; Zhang *et al.*, 2015; Kim and Choi, 2019).

دلیل اینکه در مطالعه حاضر روش‌های مختلف هیدرولوژیکی با روش شبیه‌سازی زیستگاه مقایسه شدند این است که در روش‌های هیدرولوژیکی گونه آبزی نقشی نداشته و تنها جریانات تاریخی معیار مقایسه‌اند، ولی در روش شبیه‌سازی زیستگاه اولویت با موجود زنده یا گونه شاخص است، بنابراین در صورت مقایسه، نتایج به‌دست آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه اعتبار بیشتری خواهد داشت. پژوهشگران مختلفی در مطالعات خود بیان کرده‌اند که روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه در تعیین جریان زیست‌محیطی، اجزای ریز اکوسیستم (ویژگی‌های هندسی و هیدرولیکی) علاوه بر آبزیان رودخانه را در نظر می‌گیرند (Ayyoubzadeh *et al.*, 2018; Nakvachara *et al.*, 2018; Naderi *et al.*, 2019; Hajiesmaeili, 2019). بررسی داده‌های آماری در مطالعه حاضر نشان داد، طی فصل‌های تابستان و پاییز، بیشترین فراوانی وقوع حداقل مقادیر جریان در شبکه رودخانه‌ای مشاهده می گردد. شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه برای حداقل جریانات رودخانه زرین‌گل نشان داد که حداقل جریان برآوردی توسط روش‌های هیدرولوژیکی، ممکن است در تأمین حداقل نیاز برای زیستگاه آبی کافی نباشد. با توجه به آنچه که گفته شد مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل می‌بایست از حالتی‌که آب رودخانه دارای مشکلات کیفی بوده و از این حیث رودخانه مورد مطالعه در وضعیت مخاطرات زیست‌محیطی قرار گیرد، بیشتر باشد. از سوی دیگر میزان جریان برآورد گردیده، می‌بایست بیشتر از مقدار جریان اندک باشد. با توجه به آنکه این جریان معادل حالتی است که رودخانه دارای دبی کافی بوده و جریان به‌صورت مداوم و پایدار است و از اکوسیستم محافظت می‌نماید، درنتیجه جهت برآورد جریان زیست‌محیطی می‌بایست جریان رودخانه از این مقدار افزون شود. از آنجا که مقدار جریان اندک برابر مقدار ۱۰ درصد بدست آمده از روش تنانت است، لذا مقدار جریان تخمینی در صورتی‌که از این مقدار بیشتر در نظر گرفته شود، اکوسیستم را در شرایط مناسب و ایمن نگه می‌دارد. Bayat و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند برای رودخانه‌های نواحی شمالی ایران که دارای اقلیم مرطوب می‌باشد، می‌توان روش تنانت را توصیه کرد، هرچند این روش نسبت به دیگر روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی از دقت بسیار کمتری برخوردار است، اما از نظر اقتصادی بیشتر قابل قبول است. بر اساس بررسی نتایج روش تنانت در تحقیق حاضر، این روش هیدرولوژیکی مرسوم، نتایج قابل قبول اکولوژیک به دنبال نداشته و بر این اساس، به لحاظ اکولوژیک استفاده از این روش در پروژه‌های توسعه منابع آب در حوضه جنوب‌شرقی دریای خزر که دارای اقلیم نیمه معتدل و مدیترانه‌ای است، قابل قبول نیست.

روش تسمن در جهت بهبود روش تنانت توسعه داده‌شده است. به نظر می‌رسد در منطقه مورد مطالعه، کاربرد روش تسمن نتوانسته به شکل کاملاً مؤثری موجب بهبود نتایج روش تنانت شود که Esmaili و همکاران (۲۰۱۸)، Naderi و همکاران (۲۰۱۸)، Razzaghi Rezaeieh و همکاران (۲۰۱۹) و Naderi و همکاران (۲۰۲۰) نتایج مشابهی را در پژوهش خود گزارش کرده‌اند. آنچه مسلم است مقادیر حاصل از روش‌های تنانت، تسمن و تگزاس برای تأمین جریان زیست‌محیطی و لزوم تأمین سایرحقابه‌های حوضه آبریز زرین‌گل، محافظ کارانه‌تر خواهد بود. از طرفی دیگر، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که معیارهای کمبود جریان اکولوژیکی و مازاد جریان اکولوژیکی، می‌توانند نمای کلی خوبی از میزان تغییرات یک‌سری زمانی جریان را ارائه دهند و به طور کلی می‌توان کمبود یا افزایش جریان اکولوژیکی ناشی از تنظیم جریان را در هر دوره زمانی (ماه، فصل و سال) محاسبه و اقدامات مناسب برای حفاظت زیستگاه به‌عمل آورد.

Fattahpour و همکاران (۲۰۱۸) و Nakvachara و همکاران (۲۰۱۸) در تعیین دبی موردنیاز برای ادامه چرخه طبیعی زندگی ماهیان رودخانه‌های مورد مطالعه‌شان با استفاده از مدل میکروزیستگاهی PHABSIM، این مدل را به عنوان ابزاری برای معرفی یک رژیم جریان مطلوب، قابل اعتماد دانستند. Esmaili و همکاران (۲۰۱۸)، Arthington و همکاران (۲۰۱۸) وRazzaghi Rezaeieh و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند برآورد جریان‌های زیست‌محیطی بسته به انتخاب متدولوژی (روش)، تا حد زیادی متفاوت هستند.

به‌طور خاص، حداقل جریان‌های زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی به طور قابل توجهی کمتر از میزان جریان برآورد شده توسط روش‌های هیدرولیکی و روش شبیه‌سازی زیستگاه است (Nikghalb *et al.*, 2016; Naderi *et al.*, 2018; Fattahpour *et al.*, 2018) و جریان بهینه با استفاده از روش‌های هیدرولیکی بسیار بیشتر از روش‌های هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی زیستگاه می‌باشد (Shokoohi and Hong, 2011; Zhao *et al.*, 2017; Fattahpour *et al.*, 2018). از دیدگاه مطالعات مختلف رویکردهای هیدرولوژیکی در برآورد میزان جریان اکولوژیکی رودخانه، برای مرحله برنامه‌ریزی طرح‌های توسعه منابع آب مناسب بوده، همچنین از نقاط قوت آن، محاسبات ساده، سریع و ارزان و عدم نیاز به داده‌های میدانی وسیع و قابلیت کاربردی و انعطاف‌پذیری در وضعیت‌های اکولوژیکی متفاوت رودخانه، می‌باشد (Tennant, 1976; Bounds and Lyons, 1979; Smakhtin *et al.*, 2006; Shokoohi and Hong, 2011; Naderi *et al.*, 2020). همچنین این رویکرد در تعاملات تخصیص آب در کشورهای پیشرفته، از قابلیت دفاع کمی برخوردار است. شایان ذکر است هیچ‌کدام از روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در این پژوهش مطابق با بررسی در منابع تایید شده (Tennant, 1976; Vogel *et al.*, 2007; Gao *et al.*, 2009; Gopal, 2013; Naderi *et al.*, 2020) نیاز به صحت‌سنجی ندارند. در مجموع روش‌های هیدرولوژیکی به دلیل عدم پیوند هیدرولیک و هیدرولوژیک رودخانه با شرایط اکولوژی و زیستگاه‌های رودخانه‌ای، دارای عدم قطعیت و چالش‌های متعدد هستند.

باید خاطر نشان کرد که بر اساس بررسی نتایج مطالعه حاضر و دیدگاه مطالعات مختلف (Nikghalb *et al.*, 2016; Naderi *et al.*, 2018; Ayyoubzadeh *et al.*, 2018)، در روش شبیه‌سازی زیستگاه، همواره افزایش جریان رودخانه به دلیل سرعت بالای جریان و نوسانات شدید در مساحت مطلوب قابل استفاده وزنی، باعث بهبود وضعیت اکولوژیکی و پاسخ‌های بیولوژیکی گونه‌های آبزی نمی‌گردد. با در نظر گرفتن مقدار جریان متوسط زیست‌محیطی برآورد شده در ماه‌های مختلف سال مشخص می‌شود که بر اساس بزرگی مقدار ترتیب نتایج به‌صورت شبیه‌سازی زیستگاه (۱/۷۳ مترمکعب بر ثانیه)، کمبود جریان اکولوژیکی (۱/۳۱ مترمکعب بر ثانیه)، تگزاس (۱/۱۸ مترمکعب بر ثانیه)، تسمن (۱/۰۹ مترمکعب بر ثانیه) و تنانت (۰/۴۲ مترمکعب بر ثانیه) است. به عبارتی روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه و تنانت با تفاوت محسوس نسبت به تسمن و تگزاس به ترتیب منجر به برآوردهای بالاتر و پایین‌تر شده‌اند.

نتایج بررسی‌های مطالعه حاضر نشان داد ترجیح زیستگاهی گونه سگ‌ماهی جویباری در رودخانه زرین‌گل، زیستگاه‌هایی با عمق و سرعت جریان نسبتاً متوسط، با پوشش بستر قطعات سنگی و عرض مقطع رودخانه متوسط تا کم می‌باشد، در حالی‌که در مطالعه Gholizadeh و همکاران (۲۰۱۸) زیستگاه مطلوب سگ‌ماهی جویباری در رودخانهٔ زرین‌گل را در شیب کم و سرعت جریان متوسط بیان کرده، به صورتی که تعداد سگ‌ماهیان جویباری با افزایش ارتفاع در سرشاخه‌های کوهپایه‌ای کاهش می‌یابد و مناطق زیستی مطلوب ماهیان، مناطق میانی و بالادست می‌باشد که با تحلیل صورت گرفته در مطالعه حاضر اندکی متفاوت است. در مطالعات بسیاری، شرایط فیزیکی زیستگاه و ناهمگونی آن به عنوان عامل تأثیرگذار در فراوانی و تراکم گونه‌های ماهی و دیگر آبزیان، مطرح شده است (Naiman, 2008; Hajiesmaeili, 2019; Pishkahpour *et al.*, 2019;

Fazelnajafabadi and Afzalimehr, 2019; Rezvani *et al.*, 2020). نتایج مطالعات دیگر نیز به این مطلب اشاره داشته‌اند که در قسمت‌های بالادست رودخانه زرین‌گل و در زیستگاه‌هایی که آب سرد و غنی از اکسیژن است، بستر قلوه‌سنگی با افزایش مطلوبیت زیستگاه از طریق افزایش تنوع و ناهمگونی زیستگاه و ثبات آن، تنوع مواد غذایی (درشت بی‌مهرگان کفزی) و ضخامت لایه با سرعت خطی در بستر، زیستگاه مناسبی را برای سگ‌ماهیان جویباری فراهم می‌کند (Gholizadeh *et al.*, 2017; Gholizadeh *et al.*, 2018).

همچنین بر اساس خصوصیات هیدرومورفواکولوژیکی رودخانه زرین‌گل و مدل اکوهیدرولیکی شبیه‌سازی زیستگاه، حداکثر میزان زیستگاه در دسترس برای دوره بالغ گونه هدف در دوره پرآبی رودخانه (دبی حداکثر) معادل ۵۷۰ مترمربع بر متر و برای دوره نابالغ گونه هدف در متوسط جریان سالانه برابر ۵۵۰ مترمربع بر متر می‌باشد. Pishkahpour و همکاران (۲۰۱۹) با محاسبه میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس در بازه‌های مختلف رودخانه دینورآب استان کرمانشاه گزارش کردند که میزان ناحیه مطلوب در بازه‌های این رودخانه، ۴۰۶/۸۰۱ مترمربع برای زیست گونه شاه‌کولی سلال بوده و از این نظر اکوسیستم تقریبا پایداری را برای زندگی این ماهی فراهم کرده است. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، نیز باید این مطلب را در نظر گفت که رویکرد شبیه‌سازی زیستگاه، می‌تواند در سطح بهینه، میانگین و حداقل، به حفظ شرایط مطلوب زیستگاه رودخانه زرین‌گل بپردازد. بدین ترتیب با گزینش و اجرای رژیم اکولوژیکی حاصل از به‌کارگیری روش‌های کمبود جریان اکولوژیکی و مدل شبیه‌سازی زیستگاه، کفه ترازو به سمت تأمین حقابه زیست‌محیطی سنگین‌تر خواهد بود. یادآور می‌شود که هر چه روش تعیین جریان زیست‌محیطی گسترده‌تر و پیچیده‌تر باشد، بر قابلیت دفاع‌پذیری آن افزوده می‌شود.

نتایج حاصل در پژوهش حاضر، نیز ضمن تأیید نتایج پژوهش اشاره شده، نشان دهنده این مطلب است که با افزایش فراوانی زیستگاه خیزاب، ارتباط زیستگاه بیشتری بوجود آمده است و پیش بینی می‌شود تأثیرات مثبتی بر بازگردانی و عملکرد اکوسیستم رودخانه داشته و تا ۳ برابر افزایش تعداد ماهی‌های جوانی که رودخانه می‌تواند از آنها پشتیبانی و حمایت کند، در پی داشته باشد که با نتایج مطالعات Peng و Sun (۲۰۱۶)، و Hajiesmaeili (۲۰۱۹)، Siepker و Quinn (۲۰۱۹) و Naderi و همکاران (۲۰۱۹) مبنی بر وابستگی فراوانی گونه‌های مختلف ماهی به توزیع زیستگاه‌های مطلوب در طول رودخانه، در یک راستا است. Pishkahpour و همکاران (۲۰۱۹) در محاسبه میزان مطلوبیت زیستگاه رودخانه دینورآب دریافتند که مساحت قابل استفاده وزنی با شاخص مطلوبیت زیستگاه ارتباط مستقیمی داشته و با افزایش میزان شاخص مطلوبیت زیستگاه (سرعت جریان کمتر و عمق بیشتر)، زیستگاه مطلوب شاه‌کولی سلال (*Alburnus sellal* Heckel, 1843) در ایستگاه منتخب به حداکثر می‌رسد و با حرکت به سمت ایستگاه‌های بالادست، به لحاظ مطلوبیت پارامترهای فیزیکی، کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش های متعدد دیگری نیز در مورد اهمیت رژیم جریان‌های قوی (سیلاب‌های بزرگ) در ساختار زیستگاه‌های رودخانه‌ای نشان می‌دهد بر اساس تغییرپذیری عمق و سرعت جریان و شاخص‌های هیدرومورفواکولوژیکی، با وقوع سیل طبیعی در امتداد رودخانه، فرصتی را برای تأمین و بهبود شرایط مناسب زیستگاه رودخانه بوجود می آورد (Zarakani *et al.*, 2017; Tare a *et al.*, 2017; Ochs *et al.*, 2018). وجود زیستگاه‌های خیزاب و تنداب در رودخانه، به افزایش کیفیت و سلامت اکولوژیکی آب، کمک می‌کند. نتایج مطالعه حاضر و سایر تحقیقات بر این نکته تاکید دارد در زمان‌های حداقل دبی جریان در رودخانه (دوره‌های کم آبی)، عمق جریان کاهش یافته و به واسطه آن زیستگاه‌های گودابی نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه جمعیت گونه‌های ماهی نیازمند به این زیستگاه‌ها، نیز کاهش می‌یابد (Gholizadeh *et al.*, 2017; Naderi *et al.*, 2019; Fazelnajafabadi and Afzalimehr, 2019; Kim and Choi, 2019). Boavida و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که در رودخانه‌های با رژیم کم جریان، پراکنش ماهی‌ها به طور

خاصی در زیستگاه‌های گوداب کوچک و جدا شده، محدود می‌شود که باعث ایجاد رقابت برای بهره‌مندی از منابع محدود غذایی و پناهگاهی در مناطق عمیق رودخانه خواهد شد. پژوهشگران دیگری در مطالعاتشان گزارش کردند که عواملی از قبیل مساحت حوضه آبریز، خصوصیات هیدروگرافی و ژئومورفولوژی، سبب تغییر در مورفولوژی و زیستگاه‌های رودخانه‌ای شده و با حضور و عدم حضور گونه‌های ماهیان در ارتباط است (Peng and Sun, 2016; Arthington *et al.*, 2018; Gholizadeh *et al.*, 2018).

در این مطالعه نشان داده شد روش‌های مختلف تعیین جریان زیست‌محیطی، جریان‌های مختلفی را برای نگهداری و بازطبیعی‌سازی اکوسیستم حوضه رودخانه زرین‌گل پیشنهاد می‌کنند. با مقایسه نتایج حاصل از مقادیر پیشنهادی رژیم جریان زیست‌محیطی رودخانه زرین‌گل مشخص شد که روش تنانت دبی ۰/۶۳ مترمکعب بر ثانیه را برای فروردین تا شهریور ماه و ۰/۲۱ مترمکعب بر ثانیه را برای مهر تا اسفند ماه، روش تگزاس ۱/۱۸ مترمکعب بر ثانیه، روش کمبود جریان اکولوژیکی دبی ۱/۳۱ مترمکعب بر ثانیه، روش تسمن با میانگین دبی سالانه ۱/۰۹ مترمکعب بر ثانیه و مدل شبیه‌سازی زیستگاه ۱/۷۳ مترمکعب بر ثانیه را برآورد می‌نمایند. با مقایسه برآوردهای جریان زیست‌محیطی مشخص می‌شود که تأثیر، انعطاف‌پذیری و اثربخشی روش‌های ساده هیدرولوژیکی تنانت، تسمن و تگزاس برای تأمین شرایط مطلوب اکوسیستمی رودخانه مورد مطالعه کافی نیست و روش شبیه‌سازی زیستگاه با مدل‌سازی اثرات تغییر جریان روی زیستگاه آبزیان در رودخانه زرین‌گل، رژیم جریان مطلوب زیستگاه‌های گونه سگ‌ماهی جویباری را در حد بهینه و ایده‌آل تعیین می‌کند. بدیهی است روش‌های تنانت، تسمن و تگزاس همواره مقدار کمتری نسبت به روش شبیه‌سازی زیستگاه به دست می‌دهند.

بارزترین نکته موجود در پژوهش حاضر این است که انتخاب و اجرای مقادیر دبی زیست‌محیطی در اختیار مدیر حوضه آبریز رودخانه است که کدام یک از مقادیر گزارش شده توسط روش‌های مورد مطالعه را برگزینند. در نهایت دستاورد پژوهش حاضر، ایجاد شرایط مطلوب و مناسب برای تأمین سلامت اکوسیستم رودخانه زرین‌گل از نظر فراهم نمودن زیستگاه موجودات زنده، با اعمال میزان جریان اکولوژیک خواهد بود که بیشترین تشابه را با الگوی طبیعی جریان رودخانه دارد. با توجه به موارد ذکر شده می‌توان پذیرفت که اگر برداشت آب از رودخانه زرین‌گل به دقت مدیریت شود، می‌توان تأثیرات کاهش جریان بر روی موجودات زنده و فرآیندهای رسوبی که باعث حفاظت از مورفولوژی رودخانه می‌شود را به حداقل رساند، یا دست کم در سطح قابل قبولی نگه داشت. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که نیاز مبرمی به مدل شبیه‌سازی زیستگاه PHABSIM به منظور مدیریت و تنظیم جریان درون رودخانه‌ای برای حفاظت از سامانه حیاتی زیستگاه سگ‌ماهی جویباری در رودخانه زرین‌گل وجود دارد. همچنین بررسی رویکرد رهاسازی سیلاب مدیریت شده برای حفظ شرایط هیدرولیکی زیستگاه و حفظ تعادل فرآیندهای هیدرولوژیکی و اکولوژیکی و نیز مدل‌سازی پیشرفته اکوهیدرولیکی برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی و حفاظت زیستگاه ماهیان در رودخانه‌های تنظیم شده، به عنوان مطالعات آینده، پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از راهنمایی‌های ارزنده اعضای هیئت علمی گروه شیلات دانشگاه‌های تهران، علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و گنبدکاووس و پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه شهید بهشتی، همچنین از همفکری‌های سرکارخانم دکتر محبوبه حاجی اسماعیلی و جناب آقای مهندس سعید نیک‌قلب، همراهی و همکاری تیم مطالعات میدانی و نیز از نقطه‌نظرات و پیشنهادات داوران گرامی که باعث ارتقای پژوهش حاضر گردید، همچنین همکاری و مساعدت سردبیر گرانقدر و اعضای هیات تحریریه مجله شیلات، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

۵. منابع

References

Arthington, A.H., Kennen, J.G., Stein, E.D., Webb, J.A. 2018. Recent advances in environmental flows science and water management—Innovation in the Anthropocene. *Freshwater Biology* 1-13.

Ayyoubzadeh, S.A., Sedighkia, M Hajiesmaeili, M. 2018. Ecohydraulics and simulation of river habitats.*water engineering research institude Tarbiat Modares University* 288p. (In Persian)

Bayat, S., Ebrahimi, K., Araghinejad, Sh., Yasi, M. 2019. Comparison of the Environmental Flow Assessment Methods Involving Case Studies of Karaj and Talar Rivers. *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 13(45), 77-86. (In Persian)

Boavida, I., Caetano, L., Pinheiro, A.N. 2020. E-flows to reduce the hydropeaking impacts on the Iberian barbel (Luciobarbus bocagei) habitat. An effectiveness assessment based on the COSH Tool application. *Science of The Total Environment* 699, 134209.

Bounds, R.L., Lyons, B.W. 1979. Existing Reservoir and Stream Management Recommendations Statewide Minimum Streamflow Recommendations. Federal Aid Project F30-R-4. Performance Report. Te*xas Parks and Wildlife Department, Austin, Texas* 28p.

Esmaili, K., Sadeghe, Z., Kaboli, A., Shafaei, H. 2018. Application Hydrological methods for estimating River Environmental water rights (Case Study of Gorganroud River). *Journal of Natural Environmenatal (Iranian Journal of Natural Recorces)* 71(4), 437-451. (in Persian)

Fattahpour, F., Ebrahimi, K., Bayat, S. 2018. Determination of the Environmental Flow Requirements for the SefidRud River, IRAN. *Journal of Ecohydrology* 5(3), 753-762. (In Persian)

Fazelnajafabadi, E., Afzalimehr, H. 2019. Comparison of Two-and Three-Dimensional Flow and Habitat Modeling in Pool–Riffle Sequences. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering* 1-10.

Gao, Y., Vogel, R.M., Kroll, C.N., Poff, N.L., Olden, J.D. 2009. Development of representative indicators of hydrologic alteration. *Journal of Hydrology* 374(1-2), 136-147.

Gholizadeh, M., Toomaj, A., Hossiendost, S. 2017. Modeling habitat requirements of riverine stone loach, Paracobitis hircanica (Teleostei: Nemacheilidae) in the Zarin-Gol River, Caspian Sea basin, Iran. *Iranian Journal of Ichthyology* 4(4),340-351.

Gholizadeh, M., Patimar, R., Harsij, M. 2018. Investigation of Selected Habitat Range of the Paracobitis hicanica in the Zarin-Gol River, Golestan Province. *Journal of Applied Ichthyological Research* 6(2),1-12. (In Farsi)

Gopal, B. 2013. Environmental Flows: An Introduction for Water Resources Managers. *National Institute of Ecology, New Delhi* 248p.

Hajiesmaeili, M. 2019. Modification of the inSTREAM model using bioenergetics approach in order to simulate habitat suitability in rivers (Case study: Brown Trout in Elarm River, Lar National Park). Phd thesis, Department of Water Structures Engineering, *Tarbiat Modares University* 278p. (In Persian)

Karakoyun, Y., Yumurtaci, Z., Donmez, A.H. 2016. Environmental flow assessment for energy generation sustainability employing different hydraulic evaluation methods: cambasi hydropower plant case study in Turkey. *Clean Technologies and Environmental Policy* 18(2), 583-591.

Keivani, Y, Nasr,i M, Abbasi, K., Abdoli, A. 2016. Atlas of Inland Water Fishes of Iran. *Iran Department of Environment* 216p. (In Persian)

Kim, J.S., Lee, C.J., Kim, W., Kim, Y.J. 2010. Roughness coefficient and its uncertainty in gravel-bed river. *Water Science and Engineering* 3(2), 217-232.

Kim, S.K., Choi, S.U. 2019. Comparison of environmental flows from a habitat suitability perspective: A case study in the Naeseong - cheon Stream in Korea. *Ecohydrology* 12(6), 1-10.

Naderi, M.H., Zakerinia, M., Salarizji, M. 2018. Application of the PHABSIM model in Explaining the Ecological Regime of the River in order to Estimate the Environmental Flow and Compare with Hydrological Methods (Case Study: Gharasoo River). *Journal of Ecohydrology* 5(3), 941-955. (In Persian)

Naderi, M.H, Zakerinia, M., Salarijazi, M. 2019. Investigation of Ecohydraulic Indices in Environmental Flow Regime and Habitat Suitability Simulation Analysis using River2D Model with Relying on the Restoration Ecological in Zarrin-Gol River. *Journal of Ecohydrology* 6(1), 205-222. (In Persian)

Naderi, M.H., Saeidi, S., Imani-Harsini, J. 2020. Implementation of the Environmental Flow Regime in the Improvement of River Environment. *Journal of Wetland Ecobiology* 11(4), 35-52. (in Persian)

Nakvachara, P., Rittima, A., Talaluxmana, Y. 2018. Quantification of Environmental Flow Requirement of Khun Dan Prakan Chon Dam Using Hydrological-hydraulic-ecological Methods. *Applied Environmental Research* 40(2),76-90.

Naiman, R.J., Latterell, J.J., Pettit, N.E., Olden, J.D. 2008. Flow variability and the biophysical vitality of river systems. *Comptes Rendus Geoscience* 340(9-10), 629-643.

Nikghalb, S., Shokoohi, A., Singh, V.P., Yu, R. 2016. Ecological regime versus minimum environmental flow: comparison of results for a river in a semi Mediterranean region. *Water resources management* 30(13), 4969-84.

Ochs, K., Rivaes, R.P., Ferreira, T., Egger, G. 2018. Flow Management to Control Excessive Growth of Macrophytes–An Assessment Based on Habitat Suitability Modeling. *Frontiers in plant science* 9, 356.

Peng, L., Sun, L., 2016. Minimum instream flow requirement for the water-reduction section of diversion-type hydropower station: a case study of the Zagunao River, China. *Environmental Earth Sciences* 75(17), 1210.

Pishkahpour, Z., Poorbagher, H., Eagderi, S. 2019. Effects of Ecological Conditions and Physical Variables of the Dinvarab River in the Kermanshah Province on the Habitat Suitability Index of Alburnus sellal Heckel (1843). *Journal of Fisheries (Iranian Journal of Natural Recources)* 71(3), 317-328. (in Persian)

Razzaghi Rezaeieh, A., Ahmadi, H., Haghdoust, N.A., Hessari, B. 2019. The evaluation of river environmental flow by using the ecohydrological methods (Case study: Mahabad-Chai River). *Journal of Water and Soil Conservation* 25(6), 47-65. (In Persian)

Rezvani, S.A., Gholizadeh, M., Patimar, R., Farhangi, M. 2020. The effect of environmental factors on the distribution and abundance of benthic macroinvertebrates in Chehel Chai River in Golestan province. *Journal of Fisheries (Iranian Journal of Natural Recources)* 72(4), 375-386. (in Persian)

Shokoohi, A., Hong, Y. 2011.Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran Sea Basin—Iran). *Hydrological Processes* 25(22), 3490-3498.

Smakhtin, V.U. Shilpakar, R.L., Hugheds, D.A. 2006. Hydrology-based assessment of environmental flows: an example from Nepal. *Hydrological Sciences Journal* 51(2), 207-222.

Siepker, M., Quinn, J. 2019. Managing Centrarchid Fisheries in Rivers and Streams. *American Fisheries Society* 270p.

Tare, V., Gurjar, S.K., Mohanta, H., Kapoor, V., Modi, A., Mathur, R.P., Sinha, R. 2017. Eco-geomorphological approach for environmental flows assessment in monsoon-driven highl & rivers: A case study of Upper Ganga, India. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 13, 110-121.

Tennant, D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries* 1(4), 6-10.

Vogel, R.M., Sieber, J., Archfield, S.A., Smith, M.P., Apse, C.D., Huber-Lee, A. 2007. Relations among storage, yield, and instream flow. *Water Resources Research* 43(5), 1-12.

Waddle, T., 2012. PHABSIM for Windows user's manual and exercises. *U.S. Geological Survey Open-File Report* 288p.

Zarakani, M., Shookohi, A., Pisin, V. 2017. Introducing a comprehensive ecological diet in the absence of data to determine the true environmental status of rivers. *Iranian Water Resources Research Journal* 13(2), 140-153. (In Persian)

Zhao, C.S., Yang, S.T., Zhang, H.T., Liu, C.M., Sun, Y., Yang, Z.Y., Zhang, Y., Dong, B.E., Lim, R.P. 2017. Coupling habitat suitability and ecosystem health with AEHRA to estimate E-flows under intensive human activities. *Journal of Hydrology* 551:470-483.

Zhang, Q., Gu, X., Singh, V.P., Chen, X. 2015. Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. *Journal of Hydrology* 529, 711-722.

Zhang, Q., Zhang, Z., Shi, P., Singh, V.P., Gu, X. 2018. Evaluation of ecological instream flow considering hydrological alterations in the Yellow River basin, China. *Global and Planetary Change* 160, 61-74.