Original Article
Journal of Natural Environment 75(2): 240-252 (2022)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

مقاله کامل
نشریه محیط زیست طبیعی
دوره ۷۵، شماره ۲: ۲۴۰-۲۵۲ (۱۴۰۱)

ارزیابی دقت نتایج داده‌های رودخانه‌های بالا دست و رودخانهٔ پایاب سد در برآورد نیاز آبی محیطزیستی در مدل PHABSIM (مطالعهٔ موردی حوضهٔ سد آزاد)

هانا عزیزی، جمیل امان‌اللهی*

گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۶ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۲**

چکیده

رودخانه‌ها از آسیب پذیرترین اکوسیستم‌ها در جهان هستند، به‌همین دلیل تعیین و تأمین حداقل نیاز آبی محیطزیستی برای حفظ کارکردهای اکولوژیک آن‌ها و حفظ سلامت اکوسیستم رودخانه‌ها موضوع بسیار پیچیده‌ای از نظر علمی و فنی، مدیریتی، اجرائی و در نهایت اجتماعی و اقتصادی است. به‌منظور تعیین نیاز آبی محیطزیستی رودخانهٔ آزاد که یکی از رودخانه‌های مهم استان کردستان است، پژوهش حاضر با استفاده از مدل PHABSIM صورت گرفت. در این پژوهش صحت داده‌های رودخانه‌های بالادست در مقایسه با رودخانهٔ پایاب سد در برآورد میزان نیاز آبی محیطزیستی مورد آزمون قرار گرفت. در این راستا داده‌های عمق و سرعت مناسب آب و شاخص کف بستر مناسب رودخانه برای زیست گونهٔ شاخص ماهی در ماه‌های دی، بهمن و اسفند سال ۱۳۹۷ و فروردین و اردیبهشت سال ۱۳۹۸ به‌عنوان داده ورودی مدل مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در روش استفاده از داده‌های بالادست میزان نیاز آبی محاسبه شده برای فروردین و اسفند ماه به‌ترتیب برابر با ۶/۷ m^3/s و ۴/۷ m^3/s است و همین میزان نیاز بر اساس داده‌های خود رودخانهٔ آزاد به‌ترتیب برابر با ۴/۴ m^3/s و ۴/۲ m^3/s است این در حالی است که میزان جریان کمینه رودخانه در بازهٔ زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ برابر با ۷/۳۲۷ m^3/s و ۷/۷۷۹m^3/s است که این امر نشان می‌دهد داده‌های به‌دست آمده از روش جمع نیاز آبی سر شاخه‌ها در مقایسه با برآورد نیاز آبی در خود رودخانه دارای نزدیکی بیشتری به حداقل جریان در بازهٔ زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ است.

کلید واژگان: نیاز آبی محیطزیستی، مدل PHABSIM، گونهٔ شاخص، سرعت آب

*نویسنده مسئول j.amanollahi@uok.ac.ir

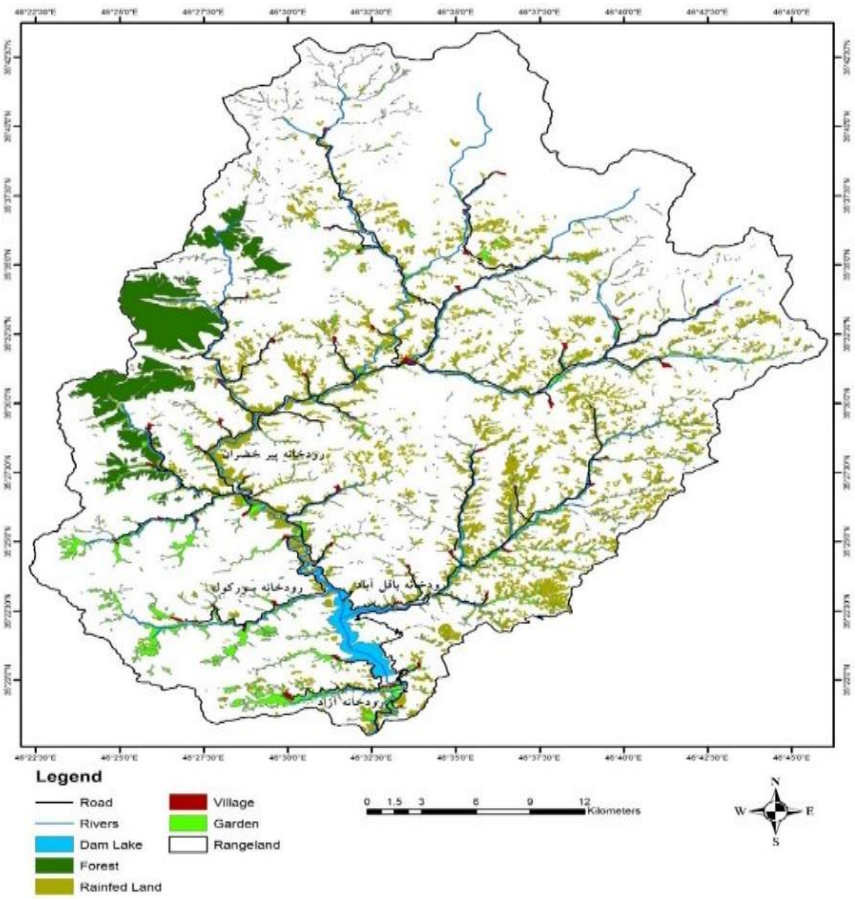
مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین عوامل شکل‌گیری حیات است که استفادهٔ صحیح و حفاظت از این منابع در کنار سایر منابع طبیعی وظیفهٔ مشترک عمومی تلقی می‌شود. در بین منابع آب، رودخانه‌ها از آسیب‌پذیرترین اکوسیستم‌های جهان هستند که به‌طور فزاینده‌ای از انواع آلودگی‌ها، برداشت آب، تغییرات کانال رودخانه و ایجاد سد رنج می‌برند. این امر سبب توجه محققان زیادی در زمینه‌های کیفیت زیستگاه آبزیان (Sun *et al.*, 2021)، عملکرد سیستم رودخانه (Adnan *et al.*, 2022)، حفاظت رودخانه (Huang *et al.*, 2022)، و عوامل مؤثر بر میزان آب جاری در رودخانه‌ها (Abou Rafee *et al.*, 2022) شده است. از طرف دیگر، ذخیرهٔ آب رودخانه‌ها در پشت سدها و استفاده‌های مختلف از آب رودخانه در صنایع و کشاورزی سبب برهم زدن میزان جریان و کیفیت طبیعی آب رودخانه‌ها شده است (Gao *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2020). این امر ساختارهای موجود برای حفظ اکوسیستم رودخانه‌ها را تغییر داده است. دانش برآورد نیاز آبی محیطزیستی راهکاری است که سبب حفظ اکوسیستم‌های رودخانه‌ای شده و آن‌ها را از آسیب‌های محیطزیستی ناشی از تغییرات ذکر شده حفظ می‌کند (Tharme and King,1998). در این راستا کیفیت زندگی آبزیان موجود در رودخانه و همچنین وابستگی حیات وحش منطقه به رودخانه در اولویت برنامه‌ها قرار می‌گیرد (Oryan *et al.*, 2014). میزان نیاز آبی محیطزیستی در رودخانه‌ها و نهرها به مقدار آبی گفته می‌شود که به‌منظور حفظ اکوسیستم و کارکردهای آن مانند کیفیت زندگی آبزیان و پوشش‌های گیاهی برآورد می‌گردد (Arthington *et al.*, 2018). نیاز آبی محیط زیستی باید سبب حفظ کامل و یا بخشی از اکوسیستم رودخانه شود که در آن برگشت پذیری به حالت اولیه رودخانه امکان‌پذیر باشد (Hughes and Hannart, 2003; Archfield *et al.*, 2013). محققین زیادی در پژوهش‌های خود میزان نیاز آبی محیطزیستی را برای مقاصد مختلف برآورد کرده‌اند. Stamou و همکاران (۲۰۱۸)، روش جدید مدل‌سازی یکپارچه 3H-EMC را برای تعیین جریان محیطزیستی در رودخانه‌ها با استفاده از یک رویکرد مدل‌سازی هیدرولوژیکی–هیدرودینامیکی و زیستگاه ارائه دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر نیاز آبی محیطزیستی برای گونه‌های اصلی ماهی بین ۰/۱ تا ۰/۴ (مترمکعب بر ثانیه) متغیر است.

مدل PHABSIM نمونه‌ای از مدل‌های استفاده شده در روش شبیه‌سازی زیستگاه است که مدلی جامع بوده و برای اولین بار در دهZ ۱۹۹۰ با هدف برآورد نیاز آبی محیط زیستی برای محافظت از کل اکوسیستم رودخانه توسعه داده شد (Stalnaker *et al.*, 1995). در رابطه با دقت مدل PHABSIM مطالعات زیادی صورت گرفته است (Nagaya *et al.*, 2008; Knack *et al.*, 2020; Miao *et al.*, 2020; Weng *et al.*, 2021). Nagaya و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از مدل PHABSIM میزان نیاز آبی محیط زیستی برای تخم‌گذاری ماهیان را با استفاده از شاخص‌های و سرعت مناسب آب و همچنین شاخص کف بستر بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل PHABSIM دارای دقت بالای در برآورد میزان نیاز آبی محیطزیستی است. در مطالعات گذشته، برای برآورد میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانه‌های پایاب سدها از داده‌های خود رودخانهٔ پایاب استفاده شد که به‌دلیل عدم تشابه میزان جریان آب جاری در رودخانه‌های پایاب با میزان طبیعی آن در فصول مختلف و ماه‌های پرآب و کم آب، دقت این برآورد کم است. بنابراین در مطالعهٔ حاضر، دقت استفاده از داده‌های رودخانه‌های بالادست سد در مقایسه با داده‌های خود رودخانهٔ پایاب سد در برآورد میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانهٔ پایاب مورد آزمون و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش ها

منطقهٔ مورد مطالعه: منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش حوضهٔ بالادست سد آزاد و پائین‌دست آن تا ورودی رودخانهٔ شـویشـه (با مسـاحت حدود ۱۰۰۷/۶۰۷۹۸۱ کیلومتر مربع)



شکل ۱- محدودهٔ مورد مطالعه.

است. این حوضه در غرب استان کردستان که یکی از حو ضه‌های رودخانهٔ سیروان ا ست قرار دارد، نمونه‌برداری میدانی در سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ صورت گرفت. رودخانه‌های که در منطقهٔ مورد مطالعه برای برآورد نیاز آبی محیطزیستی مورد ا ستفاده قرار گرفتند شامل رو ستاهای پیرخضران، باقل‌آباد و سورکول در بالادست سد و همچنین رودخانهٔ آزاد است که به‌عنوان رودخانهٔ پایاب سد آزاد در نظر گرفته شده است.

داده‌ها: داده‌های موردنیاز برای مدل‌سازی PHABSIM شامل عمق، سرعت آب و شاخص کف بستر است که در فواصل یک متری در سطح مقطع رودخانه‌ها در ماه‌های دی، بهمن و اسفند ۱۳۹۷ و فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸ ثبت شدند. بدین صورت که در ماه‌های پر آبی رودخانه از روی پل تلفریک و در ماه‌های کم آبی با حرکت در سطح مقطع رودخانه این داده‌ها اندازه‌گیری شدند. از طرف دیگر برآورد همین داده‌ها در شرایط مناسب زندگی گونهٔ شاخص که در این تحقیق گونهٔ ماهی *Barbus lacerta* است، صورت گرفت که در جدول ۱ نشان داده شده است. که این امر در رودخانهٔ شویشه که در حوضهٔ کناری منطقهٔ مورد مطالعه بود، انجام شد. در مطالعه حاضر انتخاب گونهٔ شاخص با توجه به روش توصیه شده توسط بخش ماهی و حیات وحش آمریکا صورت گرفته است (Bovee, 1982). در این روش ۸ معیار شامل ارزش حفاظتی بین‌المللی، ارزش حفاظت در ایران، پراکنش در حوضه، ارزش صید ورزشی، ارزش اقتصادی، ارزش اکولوژیک و بومی یا غیر بومی بودن استفاده گردید.

با توجه به اینکه سال آبی آبان ۱۳۹۷ تا مهر ۹۸۱۳ جزء سال‌های با بارندگی زیاد در منطقه بوده به‌طوری‌که حجم پهنهٔ آبی سد آزاد کاملاً پر شده و از فروردین این سد سر ریز داشته است، می‌توان گفت که نیازهای اکولوژیک به‌دست آمده در این سال آبی برای شرایطی است که در آن تمامی

جدول شماره ۱- داده‌های عمق مناسب، سرعت مناسب و شاخص کف بستر مناسب برای زیست گونهٔ *Barbus lacerta*.

زمان نمونه برداری	داده‌های مطلوبیت زیستگاه		
	سرعت (m^3/s)	عمق (m)	شاخص کف بستر
دی۱۳۹۷	۰/۵ – ۰/۶۴	۲۲ – ۵۰/۳	۵
بهمن۱۳۹۷	۰/۷۲ – ۰/۸۳	۵۳/۱ – ۶۵/۳	۶
اسفند۱۳۹۷	۰/۴۱ – ۰/۵۴	۳۰ – ۳۸/۳	۶
فروردین ۱۳۹۸	۰/۶۱ –۰/۸۳	۳۵ – ۴۳/۴	۶
اردیبهشت۱۳۹۸	۰/۳۹ – ۰/۵۵	۵۹/۳ – ۷۰/۱	۶

جدول ۲- کدهای شاخص کف بستر بر اساس مواد کف بستر (Platts *et al.*, 1983).

شاخص کف بستر	مواد کف بستر	اندازه (mm)
۱	مواد آلی	–
۲	رس نرم	–
۳	سیلت و لای	۰/۰۶۲>
۴	ماسه	۰/۰۶۲-۲
۵	شن	۲-۶۴
۶	قلوه سنگ	۶۴-۲۵۰
۷	تخته سنگ	۲۵۰-۴۰۰۰
۸	کف صخره‌ای	کف کاملاً صخره‌ای است.

زیستگاه‌های داخل رودخانه آزاد حفظ می‌گردد، که این شرایط به‌صورت دوره‌ای بوده و در دورهٔ بازگشت‌های مختلف چندین ساله رخ می‌دهد. بر این اساس می‌توان بیان کرد که نیاز آبی محیطزیستی به‌دست آمده برای ماه‌های مختلف در این مطالعه برای سال آبی با بارندگی زیاد است. نیاز آبی محیطزیستی محاسبه شده در این پژوهش برای ۵ ماه انجام شد که دلیل این امر وجود داده‌های لازم در این پنج ماه جهت برآورد نیاز آبی محیطزیستی در رودخانه‌های بالا دست سد شامل پیرخضران، باقل‌آباد و سورکول است. در ماه‌های دیگر فقط برای دو سرشاخه یعنی پیرخضران و باقل‌آباد داده وجود داشت.

برآورد میزان عمق، سرعت و شاخص کف بستر رودخانه: داده‌های عمق و سرعت آب با استفاده از مولینه در فواصل یک متری سطح مقطع رودخانه‌ها در زمان‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد (جدول ۱). این داده‌ها هم در رودخانه‌های بالادست و پایین‌دست سد آزاد و هم در رودخانهٔ شویشه به‌عنوان منطقهٔ بیان‌کننده مقادیر مناسب این داده‌ها برای زیست گونهٔ شاخص برداشت گردید. جهت تعیین شاخص کف بستر نمونه‌برداری از مواد کف بستر با ابزارهای مناسب صورت گرفت. برای این کار از محل نمونه‌برداری تیم‌های مطالعاتی دیگر در هر رودخانه سه نمونه از مواد تشکیل‌دهندهٔ کف بستر برداشت گردید و در آزمایشگاه با استفاده از الک، کولیس و خط‌کش، قطر تمامی سنگ‌ها، سنگریزه‌ها، شن و ماسه داخل هر نمونه ثبت شد. برآورد شاخص کف بستر براساس درصد دامنهٔ قطرهای اندازه‌گیری شده و بر اساس جدول ۲ برای رودخانه‌های مختلف محاسبه گردید.

برآورد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه HSC [1]: به‌دست آوردن منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه یکی از مهم‌ترین مراحل انجام مدل‌سازی است. شرایط مناسب تا نامناسب جهت زیست گونهٔ شاخص در رودخانه‌ها با استفاده از این منحنی‌ها مشخص می‌شود. به‌عنوان مثال اگر متغیر سرعت

[1]Habitat Suitability Curve

جدول ۳- میزان نیاز آبی محیط زیستی محاسبه شده برای رودخانه‌های باقل‌آباد، پیرخضران و سورکول.

	نیاز آبی محیط زیستی (m^3/s)				
	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی
باقل آباد	۲	۲/۲	۱/۹	۱/۸	۱
پیرخضران	۲	۳	۲	۲	۲
سورکول	۱/۷	۱/۵	۰/۹	۱/۲	۰/۴
جمع	۵/۷	۶/۷	۴/۸	۵	۳/۴

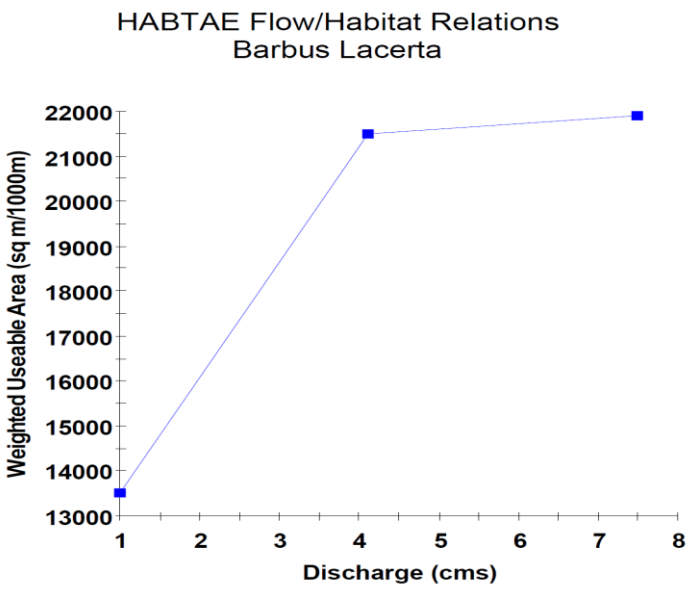
آب در نظر گرفته شود می‌توان مشخص کرد در چه دامنه‌ای از سرعت آب، شرایط زیست برای گونهٔ شاخص در بهترین حالت بوده و در دامنهٔ کمتر و یا بیشتر شرایط زیست با چه شیبی تغییر پیدا خواهد کرد. در این رابطه برای مدل‌سازی تعین نیاز آبی محیطزیستی از سه منحنی مطلوبیت زیستگاه شامل منحنی عمق مناسب آب، منحنی سرعت مناسب آب و منحنی شاخص کف بستر مناسب استفاده گردید.

مدل‌سازی برآورد جریان زیست محیطی با استفاده مدل PHABSIM: شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی عمدتاً بر اساس مفهوم Methodology of Incremental Flow Instream (IFIM) استوار است. این روش در مواردی مانند تعیین تخلیهٔ مورد نیاز برای حفظ بهره‌وری بالقوه اکوسیستم رودخانه مربوط به تنوع‌زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل مورد استفاده شده به‌منظور برآورد جریان آبی شبیه‌سازی زیستگاه فیزیکی روش PHABSIM است که بر مبنای مفهوم (IFIM)، یک تکنیک نوآورانه‌ای دربررسی ارزیابی "مناسب بودن زیستگاه ناشی از تغییر در جریان آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد" (Im *et al.*, 2017). این تکنیک عمدتاً ترکیبی از مدل‌های هیدرولیکی و شبیه‌سازی زیستگاه است و شرایط جریان را برای مناسب بودن زیستگاه‌های فیزیکی به‌منظور حفاظت از گونه‌های هدف در سلامت اکوسیستم رودخانه مرتبط می‌کند. در روش شبیه‌سازی برای هر بخش موردنظر، تابع‌های مناسب بودن متناسب با عمق، سرعت و مشخصات بستر را با وضعیت موجود در هر سلول مقایسه می‌شود تا درجهٔ مناسب بودن سلول را تعریف کند. در نهایت، نمرات محاسبه شده برای هر پارامتر نام برده، با هم ترکیب می‌شوند تا شاخص مناسب بودن کامپوزیت برای هر سلول در هر بخش مشخص شود. شاخص نهایی مورد استفاده شده، که در تعیین EF اعمال می‌شود، منطقهٔ قابل استفاده وزنی (WUA) نام دارد که با ضرب HSI برای هر سلول در سطح مربوطه در دسترس، مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

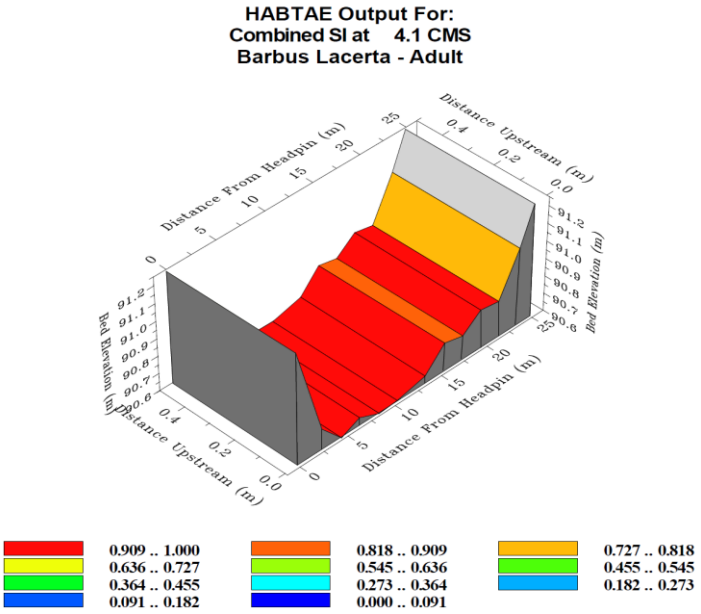
نتایج

داده‌های اکولوژیکی مورد نیاز برای زیست گونهٔ شاخص شامل: عمق و سرعت مناسب آب و شاخص کف بستر به‌عنوان داده ورودی مدل PHABSIM در برآورد حداقل نیاز آبی محیطزیستی رودخانه‌های بالادست سد آزاد و همچنین خود رودخانهٔ پایاب سد آزاد مورد استفاده قرار گرفت که نتایج آن در زیر بیان می‌شود. لازم به ذکر است که نیاز محیطزیستی بر اساس داده‌های سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ که یکی از سال‌های پرآب منطقه بوده، برآورد شده است. با توجه به زیاد بودن تعداد شکل‌های خروجی نرم افزار PHABSIM فقط شکل‌های مدل برای رودخانه‌ی پایاب سد آزاد ارائه می‌گردد و برای رودخانه‌های ورودی سد شامل: باقل‌آباد، پیرخضران و سورکول میزان حداقل نیاز آبی محیطزیستی در جدول ۳ ارائه شده است.

بر اساس نتایج بیشترین میزان نیاز آبی محیطزیستی برای رودخانهٔ باقل‌آباد در فروردین ماه با ۲/۲ m^3/s و برای رودخانه پیرخضران در فروردین ماه با ۳ m^3/s و رودخانه سورکول در اردیبهشت ماه با ۱/۷ m^3/s، بوده است. علاوه بر این در جمع جبری نیاز آبی سه رودخانهٔ ورودی بالادست



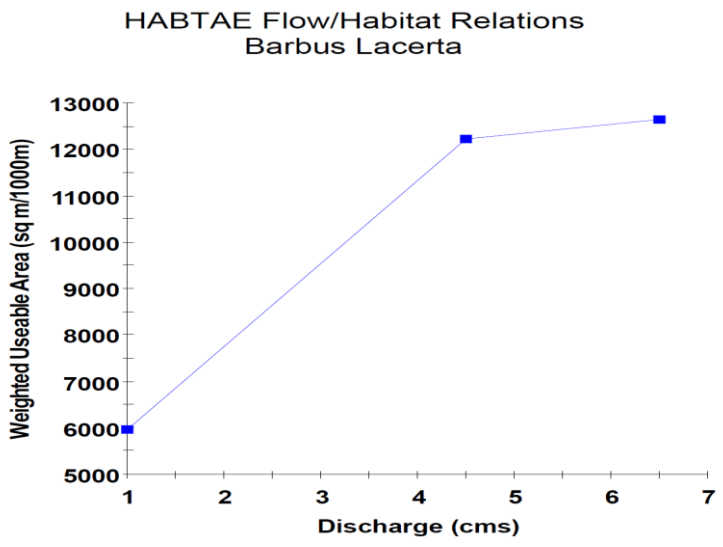
شکل ۲- میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانه‌ی آزاد در دی ماه بر حسب (m^3/s).



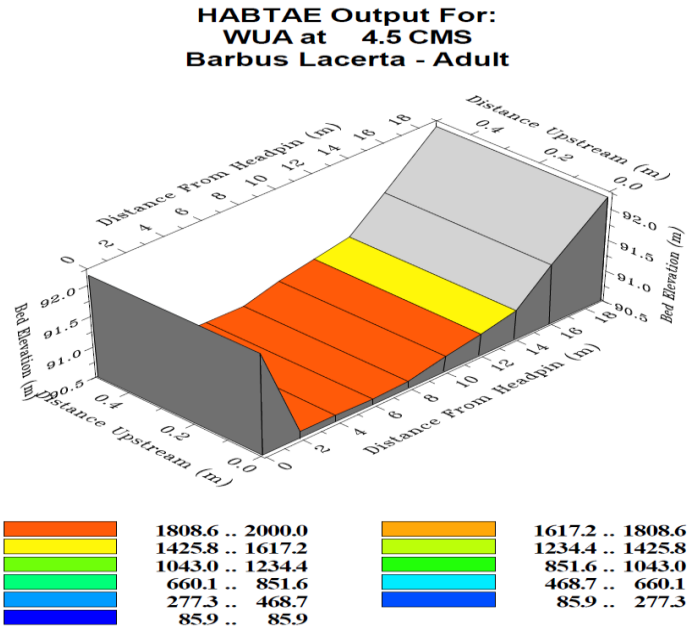
شکل ۳- مطلوبیت قسمت‌های مختلف رودخانهٔ آزاد در میزان نیاز آبی محیط زیستی اندازه‌گیری شده در دی ماه.

سد می‌توان به این نتیجه رسید که ماه‌های فروردین و اردیبهشت با نیاز آبی به‌ترتیب m^3/s ۶/۷ و m^3/s ۵/۷ بیشترین مقدار بوده است. به‌دلیل اهمیت بالای میزان نیاز آبی رودخانه آزاد در این پژوهش خروجی‌های مدل PHABSIM در ماه‌های ذکر شده در شکل‌های ۲ تا ۱۱ ارائه شده است. بر اساس شکل ۲، میزان نیاز آبی محیطزیستی در رودخانهٔ آزاد در دی ماه برابر با m^3/s ۴/۱ است. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد در جاری بودن این میزان آب در رودخانهٔ آزاد بیشتر قسمت‌های آن دارای بالاترین کیفیت برای زندگی گونه شاخص هستند. شکل ۴ و ۵ میزان نیاز آبی محیطزیستی و کیفیت زندگی گونهٔ شاخص را در بهمن ماه برای رودخانهٔ آزاد نشان می‌دهند.

بر اساس نتایج شکل ۴، میزان نیاز آبی محیطزیستی در بهمن‌ماه برای رودخانهٔ پایاب سد آزاد برابر با m^3/s ۴/۵ است که در این میزان آب، رودخانهٔ آزاد در قسمت چپ سطح مقطع دارای بیشترین کیفیت زندگی و در دو بخش در سمت راست سطح مقطع دارای کیفیت پایین برای زندگی گونهٔ شاخص است. میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانهٔ پایاب

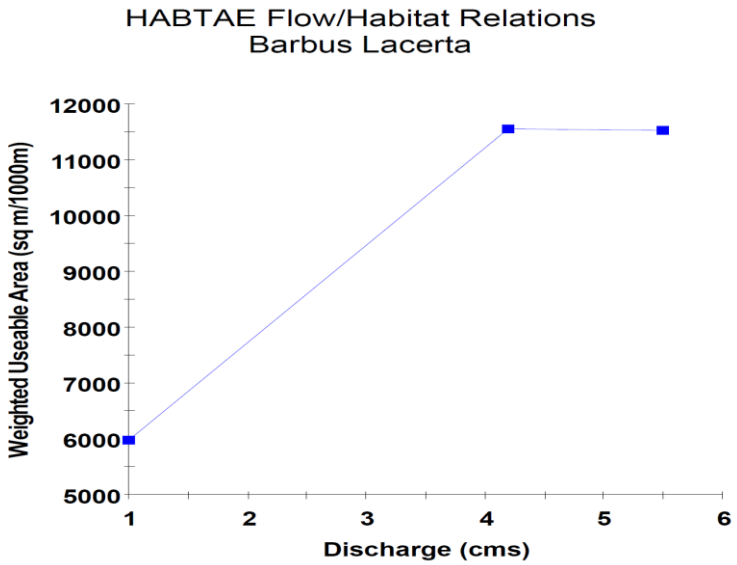


شکل ٤- میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانهٔ آزاد در بهمن ماه بر حسب (m^3/s).

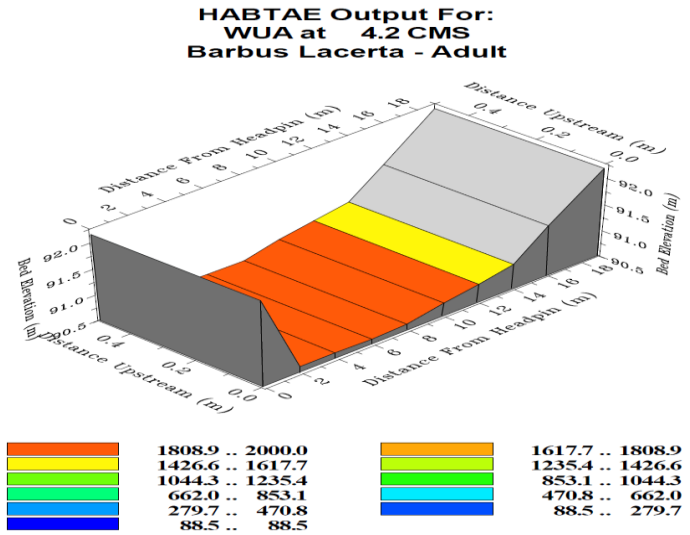


شکل ٥- مطلوبیت قسمت‌های مختلف رودخانهٔ آزاد در میزان نیاز آبی محیطزیستی در بهمن ماه.

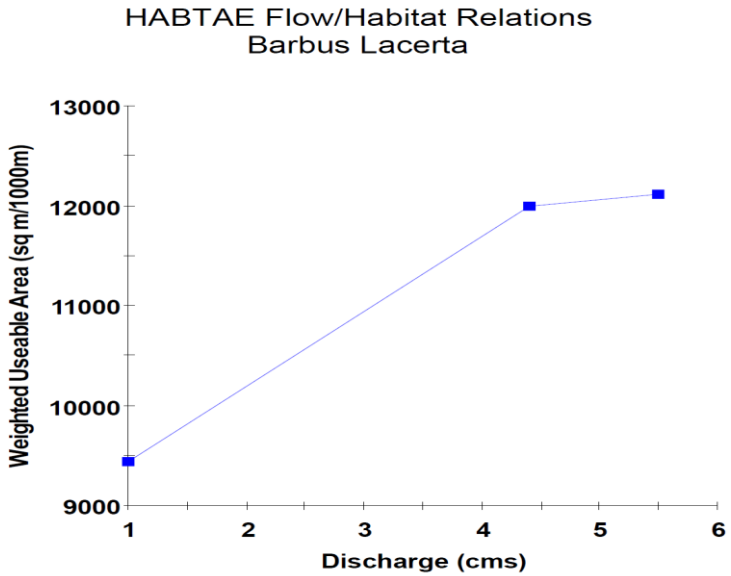
سد در اسفندماه در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانهٔ پایاب سد آزاد در اسفند ماه برابر با ۴/۲ m^3/s است (شکل ۶) و کیفیت زندگی گونهٔ شاخص تحت جاری بودن این میزان نیاز آبی شبیه به بهمن‌ماه است به‌طوری‌که در قسمت‌های وسط و چپ رودخانه دارای بالاترین کیفیت و در قسمت راست رودخانه کیفیت کاهش یافت است (شکل ۷). میزان نیاز آبی محیطزیستی برآورد شده در فروردین ماه نیز در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. بر اساس نتایج، میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانهٔ پایاب سد آزاد در فروردین‌ماه برابر با ۴/۴ m^3/s است (شکل ۸) و کیفیت زندگی برای گونهٔ مورد مطالعه تحت جاری بودن این میزان نیاز آبی شبیه به ماه‌های بهمن و اسفند است فقط در قسمت چپ رودخانه شرایط زندگی برای گونه مساعد نیست و در دیگر قسمت‌های رودخانه مشکلی وجود ندارد (شکل ۹). شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نیز میزان نیاز آبی محیط زیستی برآورد شده در اردیبهشت ماه را نشان می‌دهند.



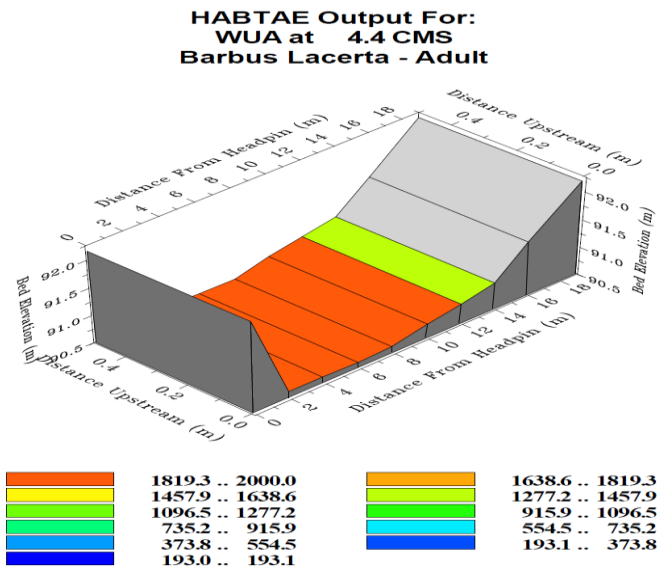
شکل ٦- میزان نیاز آبی محیط زیستی رودخانهٔ آزاد در اسفند ماه بر حسب (m^3/s).



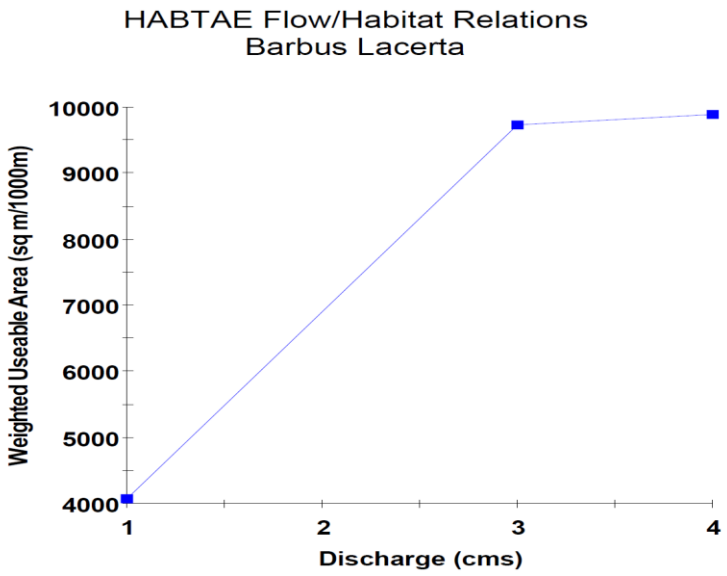
شکل ۷- مطلوبیت قسمت‌های مختلف رودخانهٔ آزاد در میزان نیاز آبی محیط زیستی در اسفند ماه.



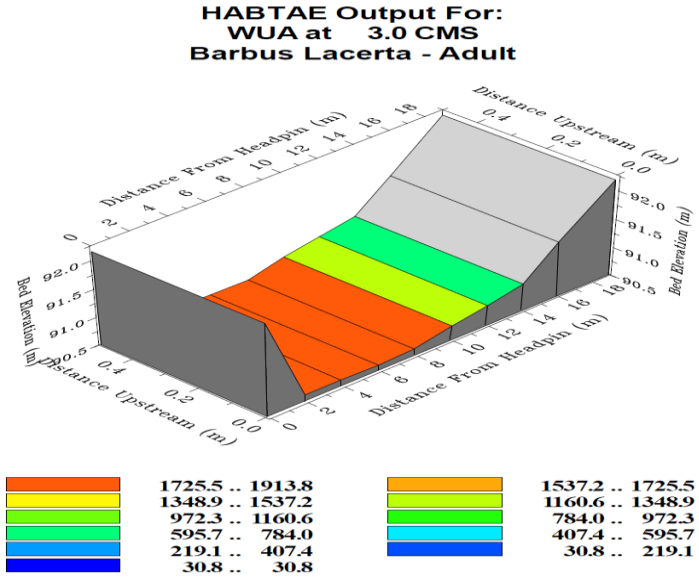
شکل ۸- میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانهٔ آزاد در فروردین ماه بر حسب (m^3/s).



شکل ۹- مطلوبیت قسمت‌های مختلف رودخانهٔ آزاد تحت جریان آبی محیطزیستی در فروردین ماه.



شکل ۱۰- میزان نیاز آبی محیطزیستی رودخانهٔ آزاد در اردیبهشت ماه بر حسب (m^3/s).



شکل ۱۱-مطلوبیت قسمت‌های مختلف رودخانهٔ آزاد تحت جریان آبی محیطزیستی در اردیبهشت ماه.

جدول ٤- مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه جریان آب در رودخانهٔ آزاد قبل از احداث سد.

آماره‌ها	جریان آب رودخانه آزاد از سال ۱۳۶۶ تا سال ۱۳۸۹ (m^3/s)				
	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی
میانگین	۱۹/۷۲۶	۳۶/۰۴۹	۲۸/۱۳۳	۱۰/۰۶۱	۶/۹۶۹
بیشینه	۸۸/۹۵۳	۱۰۵/۱۵۷	۸۶/۷۱۲	۲۶/۳۶۷	۳۱/۱۶۸
کمینه	۱/۹۶۰	۷/۳۲۷	۷/۷۷۹	۲/۱۰۶	۱/۳۹۱

میزان نیاز آبی محیط زیستی ارائه شده در شکل ۱۰ در اردیبهشت ماه برابر با m^3/s ۳ است تحت این میزان آب، گونهٔ شاخص شرایط مناسبی برای زندگی در قسمت چپ دارد و این شرایط تقریباً وسط رودخانه و قسمت راست آن کاهش یافته است. همان‌طور که نتایج شکل‌های بالا نشان داد بیشترین میزان نیاز آبی در رودخانهٔ آزاد در بهمن و فروردین ماه است که به‌ترتیب برابر با m^3/s ۴/۵ و m^3/s ۴/۴ است. علاوه بر این، برای صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده در هر دو نظریهٔ جمع نیاز محیطزیستی رودخانه‌های بالادست و برآورد نیاز در خود رودخانهٔ پایین دست سد، میزان آب جاری در رودخانهٔ آزاد در بازهٔ زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ (قبل از تشکیل سد در این منطقه) در سه آمارهٔ میانگین، بیشینه و کمینه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج این آماره‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج، بیشینهٔ جریان به‌ترتیب در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و اسفند به‌دست آمد علاوه بر این، میزان میانگین نیزدارای روندی مشابه آماره بیشینه است. در حالی که کمینهٔ جریان به‌ترتیب در اسفند و فروردین دارای بیشترین مقدار و کمترین آن در دی‌ماه برآورد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

اثرات منفی سدها روی حیات آبزیان بالادست و پایین‌دست آن‌ها توسط محققین مور بررسی قرار گرفته است (Tang *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021; Null *et al.*, 2014). مدل PHABSIM که در نرم‌افزاری تحت همین نام ارائه شده است یکی از مدل‌های با دقت بالا و پر کاربرد در برآورد نیاز آبی محیطزیستی رودخانه‌ها است (Kim and Choi, 2018; Zhu *et al.*, 2020; Wen *et al.*, 2021). میزان نیاز آبی محاسبه شده در این پژوهش در روش جمع نیازهای محیطزیستی بالادست برای فروردین و اسفندماه به‌ترتیب برابر با m^3/s ۶/۷ و m^3/s ۴/۷ به‌دست آمد و برای روش برآوردی در خود رودخانهٔ آزاد برای فروردین و اسفند به‌ترتیب برابر با m^3/s ۴/۴ و m^3/s ۴/۲ است که در مقایسه با آماره‌های میانگین، بیشینه و کمینه جریان رودخانه در بازهٔ زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد که روش جمع نیازهای آبی بالادست، میزان آب بهتری را برای حداقل نیاز آبی محیطزیستی برآورد کرده است. دلیل این امر را می‌توان در کمینه جریان در بازهٔ زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ مشاهده کرد که برای فروردین و اسفند به‌ترتیب برابر با m^3/s ۷/۳۲۷ و m^3/s ۷/۷۷۹ است. داده‌های جریان کمینه در بازهٔ زمانی طولانی مدت نشان می‌دهد که رودخانه در این بازهٔ زمانی برای حفظ وضعیت اکولوژیک خود نیاز به حداقل این میزان نیاز آبی یعنی با m^3/s ۷/۳۲۷ و m^3/s ۷/۷۷۹ برای ماه‌های فروردین و اسفند داشته است که داده‌های به‌دست آمده از روش جمع نیاز آبی سر شاخه‌ها در مقایسه با برآورد نیاز آبی در خود رودخانه، دارای نزدیکی بیشتری به حداقل جریان در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ هستند. در ماه‌های دی ، بهمن و اردیبهشت میزان نیاز آبی محاسبه شده در هر دو روش بیشتر از میزان آب جاری در بازهٔ زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۹ در آماره کیمنه است. در اردیبهشت‌ماه میزان نیاز محاسبه شده در روش جمع نیازهای آبی بالا دست برابر با m^3/s ۵/۷ است و در روش برآوردی در خود رودخانه برابر با m^3/s ۳ است. با توجه به نیاز آبی بالا در رودخانه در اردیبهشت جهت تغذیه گیاهان آبزی و کنار آبزی که به مرحلهٔ گل‌دهی و حداکثر رشد فیزیولوژیکی خود می‌رسند به نظر می‌رسد که وجود آب بیشتر که در روش جمع جبری سر شاخه‌های بالاتر بهتر بتواند جوابگوی نیازهای محیطزیستی و حفظ

اکوسیستم‌های کنار آبزی و تقویت آن‌ها برای مقابله با خشک‌سالی در منطقه باشد. نتایج به‌دست آمده برای برآورد حداقل نیاز آبی محیطزیستی در ماه‌های دی و بهمن در هر دو سناریو با هم تفاوت زیادی ندارند هر چند نظریهٔ برآورد بر اساس داده‌های هیدرولوژی خود رودخانه در برآورد دی‌ماه بیشتر از نظریه جمع نیاز آبی سر شاخه‌ها است. در کل می‌توان بیان کرد که برای برآورد نیاز آبی رودخانهٔ پایاب سد (تا محل ورود یک انشعاب جدید) بهتر است از نظریهٔ جمع نیاز آبی رودخانه‌های بالادست سد (دارای جریان طبیعی) استفاده کرد که این امر به دلایل زیر دارای دقت بیشتری است:

اگر به هر دلیلی مقاطع انتخاب شده در رودخانه خروجی سد برای برآورد حداقل نیاز آبی محیطزیستی صحیح نباشد میزان نیاز آبی اشتباه به‌دست می آید. مقاطع V شکل سبب افزایش میزان عمق و سرعت آب در بخش‌های مختلف آن مقطع خواهند شد که این افزایش، سبب کاهش تعداد بخش‌های مناسب از مقطع رودخانه که دارای همخوانی سرعت آب و عمق آب مناسب برای زندگی گونه‌های شاخص است می‌شود در این‌صورت نرم افزار PHABSIM این بخش‌ها را غیر مناسب تشخیص داده و عملاً میزان آب کمتری برای زیست گونه‌های شاخص تحت عنوان حداقل نیاز آبی محیطزیستی به‌دست می‌آید. اگر مقطعی به‌صورت U شکل با پخ شدگی کناری زیادی باشد سبب کاهش عمق آب و به‌صورت غیر خطی کاهش سرعت آب در آن مقطع می‌شود که این کاهش نیز می‌تواند فراتر از حداقل عمق مورد نیاز برای زیست گونهٔ شاخص باشد، بنابراین، سبب حذف بخش‌های زیادی از مقطع و کاهش برآورد حداقل نیاز آبی محیط زیستی شود. جریان خروجی سدها که رودخانه‌های پایین‌دست را می‌سازند قابل تنظیم هستند که در اکثر موارد با جریان واقعی رودخانه در حالتی که سد موجود نباشد متفاوت است. در این صورت کم یا زیاد بودن جریان سبب تغییر در برآورد میزان نیاز آبی محیط زیستی رودخانه‌ی پایاب سد می‌شود.

در مواردی که میزان حجم جریان در سر شاخه‌های بالادست به‌صورتی باشد که داده‌های هیدرولوژی را بتوان در داخل خود سطح مقطع رودخانه برداشت کرد ولی میزان حجم آب خروجی از سد به‌صورتی نباشد که هیدرلوژیست بتواند داخل رودخانه نمونه‌برداری کند برآورد بر اساس نظریهٔ جمع حداقل نیاز آبی محیطزیستی در بالادست دقت بیشتری خواهد داشت. زیرا در پایین‌دست سد که رودخانه دارای حجم بالای آب است برداشت داده‌های آبی روی پل‌های مستقر در رودخانه و یا محل پل تلفریک که هر دو دارای طول مقطع کمتری از طول رودخانه هستند، انجام می‌شود. در این صورت دادهٔ حجم میزان آب برداشت شده روی پل و یا پل تلفریک باید وارد مدل HecRas شود تا برای مقاطع برداشت شده مدل‌سازی شود و داده‌های عمق و سرعت برای بخش‌های مختلف رودخانه به‌دست آید که این مدل سازی خود دارای ضریب خطایی است که نهایتاً این خطا در مدل‌سازی برآورد میزان نیاز آبی محیطزیستی اثرگذار خواهد بود.

در حالت طبیعی و در فصول خشک سال مانند تابستان جریان آب در رودخانه‌ها خیلی کم است که این شرایط با وضعیت سر شاخه‌ها هماهنگی دارد ولی رودخانه‌های منتجه از سد دارای آب است. و تعیین حداقل نیاز محیطزیستی در رودخانهٔ خروجی سد نتایج را با فاصلهٔ زیادی از میزان آب جاری در رودخانه در زمان قبل از احداث سد ارائه می‌دهد در حالی‌که استفاده از جمع نیاز آبی محیطزیستی در سر شاخه‌ها برای رودخانه خروجی سد نتایج واقعی‌تری بر اساس حالت طبیعی رودخانه را نشان می‌دهد. در بیشتر مواقع به‌دلیل خروجی آب دائمی در تمامی فصل‌ها از سدها برای تأمین نیروی برق، زمین‌های اطراف رودخانه‌های خروجی سد به باغستان و زمین‌های دارای کشت آبی تبدیل شده است و در این رابطه دست اندازی‌هایی به حریم رودخانه که گیاهان کنار آبزی در آن زیست دارند، می‌شود،که این امر انتخاب مقطع مناسب برای برآورد حداقل نیاز آبی محیطزیستی در رودخانهٔ پایاب سد را دشوار می‌کند.

تقدیر و تشکر

داده‌های اولیهٔ مورد استفاده برای مدل‌سازی در این پژوهش از طرح انجام شـده توسـط دانشـگاه کردسـتان برای این منطقه، تحت عنوان "مطالعات تعیین نیاز آبی محیطزیستی محدودهٔ پایین دست سد آزاد تا نی‌آباد بر اساس شاخص‌های اکولوژیک" تهیه شده است. که بدینوسیله نویسندگان این مقاله از همکاری اعضای محترم تیم‌های مختلف مطالعاتی طرح مذکور تشـــکر و قدردانی می‌کنند و همچنین اعلام می‌دارند که نتایج پژوهش حاضـــر بر اســـاس حفظ کامل زیستگاه‌های پایاب سد بوده و این نتایج هیچگونه مشابهتی با نتایج طرح مذکور ندارد.

References

Abou Rafee, S.A., Uvo, C.B., Martins, J.A., Machado, C.B., Freitas, E.D., 2022. Land use and cover changes versus climate shift: Who is the main player in river discharge? Acase study in the Upper Parana River basin. Journal of Environmental Management 309, 114651.

Adnan, R.M., Yaseen, Z.M., Heddam, S., Shahid, S., Sadeghi-Niaraki, A., Kisi, O., 2022. Predictability performance enhancement for suspended sediment in rivers: Inspection of newly developed hybrid adaptive neuro-fuzzy system model. International Journal of Sediment Research 37(3), 383-398.

Archfield, S.A, Steeves, P.A., Guthrie, J.D., 2013. Towards a publicly available, mapbased regional software tool to estimate. Unregulated daily streamflow at ungauged rivers. Geoscientific Model Development. 115 p.

Arthington, A.H., 2018. Comparative evaluation of environmental flow assessment techniques: review of methods. Land and Water Resources Research and Development Corporation. 138 p.

Bovee, K.D., 1982. A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. Instream Flow Information Paper 12. U.S.D.I. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services. FWS/OBS-82/26. 248 p.

Huang, L., Wang, J., Chen, X., 2022. Ecological infrastructure planning of large river basin to promote nature conversation and ecosystem functions. Journal of Environmental Management 306, 114482.

Hughes, D.A., Hannart, P., 2003. A desktop model used to provide an initial estimate of the ecological instream flow requirements of rivers in South Africa. Journal of Hydrology 270(3-4), 167-181.

Im, D., Choi, S-U., Choi, B., 2017. Physical habita simulation for a fish community using the ANFIS method. Ecological Informatics 43, 73-78.

Kim, S.K., Choi, S-U., 2018. Predicting of suitable feeding habitat for fishes in a stream using physical habitat simulations. Ecological Modelling 385, 65-77.

Knack, I.M., Huan, F., Shen, H.T., 2020. Modeling fish habitat condition in ice affected rivers. Cold Regions Science and Technology 176, 103086.

Li, Q., Li, Y., Jiang, M., Wang, Y., Xu, D., Chu, L., Yan, Y., 2021. Effect of low-head dams on fish assemblages in subtropical streams: Context dependence on local habitat and landscape conditions. Ecological Indicators 121, 107190.

Miao, Y., Li, J., Feng, P., Dong, L., Zhang, T., Wu, J., Katwal, R., 2020. Effects of land use changes on the ecological operation of the Panjiakou-Daheiting Reservoiir system, China. Ecological Engineering 152, 105851.

Nagaya, T., Shiraishi, Y., Onitsuka, K., Higashino, M., Takami, T., Otsuka, N., Akiyama, J., Ozeki, H., 2008. Evaluation of suitable hydraulic conditions for spawning of ayu with horizontal 2D numerical simulation and PHABSIM. Ecological Modelling 215(1-3), 133-143.

Null, S.E., Medellin-Azuara, J., Escriva-Bou, A., Lent, M., Lund, J.R., 2014. Optimizing the dammed: Water supply losses and fish habitat gains from dam removal in California. Journal of Environmental Management 136, 121-131.

Oryan, S., Makhdoom, M., 2014. Comparison of Environmental Assessment Methods and ProposedApplication Approach for Iran Rivers according toTOPSSIS decision method. Journal ofEnvironmental Research 4(8), 3-14.

Platts, W.S., Megahan, W.F., Minshall, G.W., 1983. Methods for evaluating stream, riparian, and biotic conditions. U.S.D.A. Forest Service, Intermountain Research Station, GTR-INT-138, Ogden, UT.

Stalnaker, C., Lamb, B.L., Henriksen, J., Bovee, K.and Bartholow, J., 1995. The Instream flow incremental methodology: a primer for IFIM.National Biological Service Fort Collins Co Midcontinent Ecological Science Cente 45 p.

Stamou, A., Polydera, A., Papadonikolaki, G., Martínez-Capel, F., Mu~noz-Mas, R., Papadaki, Ch., Zogaris, S., Bui, M.D., Rutschmann, P., Dimitriou, E., 2018. Determination of environmental flows in rivers using an integrated hydrological-hydrodynamic-habitat modelling approach. Journal of Environmental Management 209, 273-285.

Sun, F., Mu, Y., Leung, K. M. Y., Su, H., Wu, F., Chang, H., 2021. China is establishing its water quality standards for enhancing protrction of aquatic life in freshwater ecosystems. Environmental Science & Policy 124, 413-422.

Tang, L., Mo, K., Zhang, J., Wang, J., Chen, Q., He, S., Zhu, C., Lin, Y., 2021. Removing tributary low-head dams can compensate for fish habitat losses in dammed rivers. Journal of Hydrology 598, 126204.

Tharme, R. E., King, J. M., 1998. Development of the building block methodology for instream flowAssessments, and supporting research on the effects of different magnitude flows on riverineEcosystems. Water Research Commission Report No. 576/1/98, 452 p

Wen, X., Lv, Y., Liu, Z., Ding, Z., Lei, X., Tan, Q., Sun, Y., 2021.Operation chart optimization of multi-hydropower system incorporating the long-and short-term fish habitat requirements. Journal of Cleaner Production 281, 125292.

Weng, X., Jiang, C., Yuan, M., Zhang, M., Zeng, T., Jin, C., 2021. An ecological dispatch strategy using environmental flows for a cascade multi-sluice system: A case study of the Yongjiang River Basin, China. Ecological Indicators 121, 107053.

Zhao, H., Liu, Y., Lindley, S., Meng, F., Niu, M., 2020. Change, mechanism, and response of pollutant discharge pattern resulting from manufacturing industrial transfer: A case study of the Pan-Yangtze River Delta, China. Journal of Cleaner Production 244, 118587.

Zhu, Z-X., Li, Y., Li, K-F., Cheng, B-X., Yang, S-R., Liu, Q-Y., Qing, J., Zhang, B-C., Yan, X., Liang, R-F., 2020. Study of quality maintenance of fish habitats in small- and medium-sized mountain rivers with low flow rate. Ecological Engineering 147, 105780.