Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*Journal of Water and Soil Conservation*

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

# Analysis of Hydrological and Hydraulic Approaches in Suitable Environmental Flow Range Estimation of Zayandehroud River

**Yousef Rajabizadeh[1], Kourosh Qaderi[*2], Mahboobeh Hajiesmaeili[3], Mohammad Mahdi Malekpour[4]**

1. Ph.D. Student of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: yousef.rajabi@agr.uk.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: kouroshqaderi@uk.ac.ir
3. Postdoctoral Fellow, Dept. of Environmental and Life Sciences, Karlstad University of Sweden. E-mail: mahboobeh.hajiesmaeili@kau.se
4. Ph.D. Student, Dept. of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: mm.malekpour@agr.uk.ac.ir

**Article Info**

**Article type:**
Research Full Paper

**Article history:**
Received: 04.15.2024
Revised: 07.19.2024
Accepted: 07.27.2024

**Keywords**:
Ecohydraulic,
Habitat suitability,
Hydraulic approach,
Hydrological approach,
IHA software

**ABSTRACT**

**Background and Objectives:** Environmental flow allocation of rivers is an overlooked factor in sustainable water resources management in Iran and an undeniable necessity to preserve the ecosystems in the country's watersheds and also to prevent the destruction of wetlands and rivers leading to lakes. In Iran, there is a need for much research in order to use new, advanced and accurate methods in order to environmental flow evaluation and determine the validity of its use for rivers inside the country, especially for rivers with high biological value species. The objective of this research is to conduct an environmental flow evaluation of the Zayandehroud River using the RVA method and compare it with the hydrological methods of Tennant, Arkansas and the hydraulic method of the wetted perimeter in order to determine and suggest the best environmental flow evaluation method in different areas of the Zayandehroud River.

**Materials and Methods:** In the present research, the environmental flow evaluation of Zayandehroud River was done using the RVA method and compared with the methods of Tennant, Arkansas and wetted Perimeter with the curve slope algorithm. The study area between Zayandehroud Dam and Gavkhouni Wetland was determined and divided into three parts, which include 8 hydrometric stations along the Zayandehroud River. The flow statistical series used in this research is considered from the beginning of the establishment year of hydrometric stations to the last year when data were available, i.e. 2018, and the mean daily flow values for all existing hydrometric stations in Zayandehroud River were collected from Isfahan Regional Water Department. The flow data in this research was normalized for each station from the year of its establishment to the last year when the flow data was available and included in the calculations.

**Results:** Based on the evaluation of the results, the estimated environmental flow in the hydraulic method is 70%, Arkansas 60%, RVA 49% and Tennant 26% of the mean annual flow. Tennant's method practically considers a small percentage of the river flow for the river environmental flow and it is definitely not enough. The methods of wetted

perimeter and Arkansas also theoretically suggest reliable percentages for the river environmental flow, Still, in terms of implementation and considering the water fair allocation among all stakeholders, these two methods are almost impossible to do. The RVA method provides a better plan and has suggested a relatively more reasonable and feasible flow percentage than other methods, which managers and experts should consider for the allocation of environmental flow.

**Conclusion:** The suggested values of environmental flow with the methods carried out in this research, especially the RVA method, for each area of the river, are able to protect the flow natural regime to maintain the river's ecological values and provide favorable conditions for aquatic species to live. Therefore, the mentioned methods can be used in the management affairs and executive programs of ecohydraulic engineers and specialists according to their advantages and disadvantages and according to the conditions of each project. Also, the results of this research help to estimate a suitable environmental flow range for the Zayandehroud River and consider it in the river restoration projects.

Cite this article: Rajabizadeh, Yousef, Qaderi, Kourosh, Hajiesmaeili, Mahboobeh, Malekpour, Mohammad Mahdi. 2025. Analysis of Hydrological and Hydraulic Approaches in Suitable Environmental Flow Range Estimation of Zayandehroud River. *Journal of Water and Soil Conservation*, 31 (4), 35-62.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2024.22357.3726
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹۴

# تحلیل رویکردهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در برآورد محدوده جریان مطلوب زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود

یوسف رجبی‌زاده[۱]، کورش قادری*[۲]، محبوبه حاجی‌اسماعیلی[۳]، محمدمهدی ملکپور[۴]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: yousef.rajabi@agr.uk.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: kouroshqaderi@uk.ac.ir
۳. دانشجوی فوق دکتری گروه علوم محیطی و زیستی، دانشگاه کارلستاد سوئد. رایانامه: mahboobeh.hajiesmaeili@kau.se
۴. دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: mm.malekpour@agr.uk.ac.ir

**اطلاعات مقاله**

**نوع مقاله:**
مقاله کامل علمی- پژوهشی

**تاریخ دریافت:** ۰۳/۰۱/۲۷
**تاریخ ویرایش:** ۰۳/۰۴/۲۹
**تاریخ پذیرش:** ۰۳/۰۵/۰۶

**واژه‌های کلیدی:**
اکوهیدرولیک،
رویکرد هیدرولوژیکی،
رویکرد هیدرولیکی،
مطلوبیت زیستگاه،
نرم‌افزار IHA

**چکیده**

**سابقه و هدف:** تخصیص جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها یک عامل نادیده گرفته‌شده در مدیریت پایدار منابع آب در ایران و ضرورتی انکارناپذیر برای حفظ اکوسیستم‌های موجود در حوزه‌های آبخیز کشور و هم‌چنین جلوگیری از نابودی تالاب‌ها و رودخانه‌های منتهی به دریاچه‌ها است. در کشور، نیاز به پژوهش‌های متعدد به منظور استفاده از رویکردهای نوین و پیشرو برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی و تعیین میزان اعتبار آن وجود دارد. هدف این پژوهش ارزیابی جریان زیست‌محیطی به روش محدوده تغییرپذیری رودخانه زاینده‌رود است. هم‌چنین مقایسه آن با روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، آرکانزاس و روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده برای ارزیابی بهترین روش از جمله اهداف این طرح است.

**مواد و روش‌ها:** در پژوهش حاضر، ارزیابی نیاز زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از روش محدوده تغییرپذیری انجام شد و با روش‌های تنانت، آرکانزاس و محیط خیس‌شده با الگوریتم شیب منحنی مقایسه گردید. محدوده مطالعاتی حدفاصل سد زاینده‌رود تا تالاب گاوخونی تعیین گردید و در مسیر خود به ۳ بازه تقسیم شد که شامل ۸ ایستگاه هیدرومتری در طول رودخانه موردمطالعه است. سری آماری جریان مورداستفاده در پژوهش حاضر، از ابتدای سال تأسیس ایستگاه‌های هیدرومتری تا آخرین سالی که داده‌ها موجود بودند (سال ۱۳۹۷) در نظر گرفته شده است. مقادیر دبی متوسط روزانه برای کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در رودخانه زاینده‌رود از اداره آب منطقه‌ای اصفهان جمع‌آوری شده است. داده‌های جریان در این پژوهش برای هر ایستگاه از سال تأسیس آن تا آخرین سال ۱۳۹۷ طبیعی‌سازی شد و در محاسبات لحاظ گردید.

**یافته‌ها:** بر اساس ارزیابی نتایج، جریان زیست‌محیطی برآورد شده به ترتیب در روش محیط خیس‌شده ۷۰٪، آرکانزاس ۶۰٪، محدوده تغییرپذیری ۴۹٪ و تنانت ۲۶٪ میانگین جریان سالانه رودخانه به‌دست آمد. روش تنانت عملاً درصد کمی از جریان رودخانه را برای نیاز زیست‌محیطی رودخانه در نظر می‌گیرد و قطعاً کافی نیست. روش‌های محیط خیس‌شده و آرکانزاس نیز ازنظر تئوری درصدهای مطمئنی برای نیاز جریان موردنیاز رودخانه پیشنهاد کرده است اما ازنظر اجرایی و با توجه به تخصیص عادلانه آب بین همه بهره‌برداران تقریباً این ۲ روش قابل انجام نیستند. درنتیجه روش محدوده تغییرپذیری برنامه بهتری ارائه می‌دهد و درصد جریان نسبتاً معقولانه‌تر و قابل‌اجراتر نسبت به سایر رویکردها پیشنهاد کرده است که باید مدنظر مدیران و کارشناسان جهت تخصیص حقابه زیست‌محیطی قرار گیرد.

**نتیجه‌گیری:** مقادیر پیشنهادی جریان زیست‌محیطی به روش‌های انجام‌شده در این پژوهش به‌خصوص روش محدوده تغییرپذیری، قادر به حفاظت از رژیم طبیعی جریان برای نگهداری از ارزش‌های اکولوژیکی رودخانه است. هم‌چنین به استقرار شرایط مطلوب برای زیستن گونه‌های آبزی بسیار کمک‌کننده است. بنابراین، رویکردهای مذکور با توجه به مزایا و معایبی که دارند و متناسب با شرایط هر پروژه، می‌توانند در امور مدیریتی و برنامه‌های اجرایی مهندسان و متخصصان اکوهیدرولیکی برای برآورد یک محدوده جریان مطلوب در این رودخانه استفاده گردند. هم‌چنین مدنظر قرار دادن آن در طرح‌ها و پروژه‌های ساماندهی و احیای رودخانه بسیار دارای اهمیت است.

**استناد**: رجبی‌زاده، یوسف، قادری، کورش، حاجی‌اسماعیلی، محبوبه، ملکپور، محمدمهدی (۱۴۰۳). تحلیل رویکردهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در برآورد محدوده جریان مطلوب زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۱ (۴)، ۶۲-۳۵.

DOI: 10.22069/jwsc.2024.22357.3726

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

رودخانه‌ها سامانه‌های آبی مهم و ارزشمندی هستند که کارکردهای بوم‌شناختی قابل‌توجهی دارند و در بیش‌تر موارد زیستگاه‌های ارزشمندی برای آبزیان محسوب می‌شوند، بنابراین باید در برنامه‌های توسعه و بهره‌برداری منابع آب، جایگاه و برنامه ویژه‌ای برای آن‌ها مدنظر قرار داد. برآورد و تخصیص جریان زیست‌محیطی، یکی از مؤثرترین رویکردها برای جلوگیری از اثرات منفی تنظیم جریان‌های سطحی بر اکوسیستم‌ها است. به‌دلیل عدم وجود حداقل اطلاعات لازم برای رودخانه‌ها در اکثر کشورهای درحال‌توسعه، رویکردهای جامع و انعطاف‌پذیری برای تعیین نیاز زیست‌محیطی رودخانه وجود ندارد. ازاین‌رو، کنترل و حفظ اکوسیستم این رودخانه‌ها کاری بسیار دشوار است (۱). برای احیا و بازگرداندن رودخانه‌ها به وضعیت مطلوب، ابتدا نیاز به انجام مطالعاتی جهت شناخت وضعیت طبیعی رودخانه است. در سالیان اخیر فعالیت‌های انسانی شدیداً جوامع ماهیان رودخانه‌ای را تحت‌تأثیر قرار داده و موجب تغییر در الگوی توزیع و ساختار جوامع ماهیان گردیده است (۲). حدود ۵۰ سال پیش مفهوم جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها تعریف شد که در اکثر کشورها به آن کم‌ترین جریان زیست‌محیطی گفته می‌شود (۳). چالش اصلی در تخمین جریان زیست‌محیطی، شناسایی حدود مجاز اعمال تغییرات در رژیم طبیعی رودخانه و کنار آمدن با عدم قطعیت‌های گسترده در این رابطه است. مدیریت و تخصیص جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها نیاز حیاتی برای حفظ اکوسیستم‌های موجود در حوزه‌های آبخیز و هم‌چنین جلوگیری از نابودی تالاب‌ها و رودخانه‌های منتهی به دریاچه‌ها در مدیریت پایدار منابع آب کشور محسوب می‌شود (۴). پژوهش‌گران مختلفی در سراسر جهان در زمینه ارزیابی نیاز زیست‌محیطی رودخانه با شیوه‌های گوناگون مطالعاتی داشته‌اند. صدیق‌کیا و همکاران (۲۰۱۵) الزامات برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانه دلیچای را با روش‌های هیدرواکولوژیکی مورد ارزیابی قرار دادند. براساس نتایج این پژوهش، جریان موردنیاز تخمین زده شده با استفاده از دو روش تنانت و محیط ترشده اختلاف زیادی داشتند اما ارزیابی زیستگاهی نشان داد که میزان مطلوبیت زیستگاه در طول رودخانه شرایط کاملاً متفاوتی دارد و باید با استفاده از توزیع مکانی زیستگاهی و نمودار سری زمانی مطلوبیت هر بازه، میزان جریان زیست‌محیطی تخمین زده شود (۵). کیخائی و همکاران (۲۰۱۶) حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود در ایستگاه پل خواجو با استفاده از روش تنانت و منحنی تداوم جریان را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که متوسط سالانه نیاز زیست‌محیطی در این دو رویکرد در دامنه یکسان قرار دارد و روش تنانت نسبت به منحنی تداوم جریان با توجه به در نظر گرفتن نوسانات زمانی رودخانه مناسب‌تر است (۶). کیانی و همکاران (۲۰۱۶) رودخانه زاینده‌رود را در حد فاصل سد زاینده‌رود تا تالاب گاوخونی مورد مطالعه قرار داد و حقابه زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود را برای حفظ اکوسیستم‌های آبی به روش هیدرولیکی و با در نظر گرفتن گونه شاخص منطقه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS تعیین نمود. در نهایت پس از کالیبراسیون مدل، دبی زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود به‌منظور تأمین عمق مورد نیاز گونه شاخص در هر بازه تعیین شد (۷). حیات غیبی و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از رویکردهای هیدرولوژیکی، نیاز آب زیست‌محیطی در بالادست و پایین‌دست محل در نظر گرفته شده برای احداث سد پروژه انتقال آب بهشت‌آباد را محاسبه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در موارد متعددی به‌ویژه در سال‌هایی که منطقه با خشکسالی خفیف تا متوسط

مواجه بوده، جریان آب مشاهداتی رودخانه برای تأمین حداقل نیازهای زیست‌محیطی آن کافی نیست (۸). نادری و همکاران (۲۰۲۱) محدوده جریان رهاسازی بهینه از سد جامیشان با در نظر گرفتن نیاز آب زیست‌محیطی مطلوب برای حفظ پتانسیل زیستگاه رودخانه دینور را با روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، روش توزیع سالانه، روش تگزاس و مدل مطلوبیت زیستگاه River2D با استفاده از یک رویکرد طبقه‌بندی جدید رژیم جریان زیست‌محیطی برآورد کردند. نتایج نشان داد که نیاز آبی زیست‌محیطی برآورد شده رودخانه دینور با ترکیب رویکردهای مختلف، در طول سال متفاوت بوده و محدوده رژیم جریان مورد نیاز برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی زیستگاه بین ۰/۱۷ تا ۳/۷۱ مترمکعب بر ثانیه با میانگین دبی سالانه زیستی ۱/۳۸ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۸/۹ درصد جریان طبیعی رودخانه) باید در داخل رودخانه دینور و پایین‌دست سد جامیشان، برقرار باشد (۹). طاهری گرجی و همکاران (۲۰۲۲) نقش طبیعی‌سازی جریان در برآورد حقابه زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود را به روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده و روش هیدرولوژیکی تنانت اصلاح شده مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش تنانت اصلاح شه به دلیل سهولت در محاسبه و ارائه توزیع ماهانه حقابه زیست‌محیطی به شرط استفاده از سری زمانی دبی طبیعی شده در محل ایستگاه‌های مورد مطالعه توصیه می‌شود (۱۰). شکوهی و هانگ (۲۰۱۱) با استفاده از پارامترهای هندسی، هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه‌های دائمی، حداقل نیاز آبی زیست‌محیطی را تعیین کردند. در این مطالعه مشخص شد که استفاده از شیوه‌ها و رویکردهایی که هیچ زمینه مطالعاتی در منطقه ندارند می‌توانند گمراه‌کننده باشند و روش تنانت در رابطه با حداقل نیاز آبی شرایط محیطی ضعیف‌ترین نتایج را نشان می‌دهد. هم‌چنین روش منحنی مدت زمان جریان Q95 سازگاری بیش‌تری با شرایط رودخانه در مقایسه با روش تنانت دارد (۱۱). پنگ و سان (۲۰۱۶) در ارزیابی حقابه زیست‌محیطی رودخانه‌ای در چین، با استفاده از روش شبیه‌سازی زیستگاه و روش هیدرولوژیکی تنانت نشان دادند که به‌منظور تأمین زیستگاه مناسب برای نمونه ماهی غالب رودخانه، رژیم زیست‌محیطی معادل ۲۷/۷ درصد از متوسط دبی رودخانه، مورد نیاز است. براساس نتایج آن‌ها، مقدار دبی به‌دست آمده از روش شبیه‌سازی زیستگاه نزدیک به دبی پیشنهادی تنانت برای سطوح خوب و خیلی‌خوب است (۱۲). استواردسون و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که سیاست‌های جدی که دولت در جهت حفاظت از محیط زیست آب تدوین کرده است باعث شده اواسط دهه ۱۹۹۰ در استرالیا تلاش‌هایی برای برنامه‌ریزی و تحول حقابه‌های زیست‌محیطی صورت گیرد و این تلاش در پاسخ به کاهش وضعیت زیست‌محیطی، عملکرد و تنوع زیستی رودخانه‌ها با شدت بیش‌تری انجام شده است (۱۳). چن و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل ارزیابی پشتیبان تصمیم (DSE)[1] مبتنی بر روش تحلیلی اجزای مهم (MEA)[2] برای بهینه‌سازی جریان زیست‌محیطی رودخانه‌های دارای سد توسعه دادند. نتایج نشان داد که روش تحلیلی MEA به کمی‌سازی و بهینه‌سازی نتایج مختلف و کاهش عدم قطعیت این مدل کمک می‌کند و مدل DSE ارائه شده در این مطالعه می‌تواند برای بهینه‌سازی دبی زیست‌محیطی برای تمام رودخانه‌های دارای سد در چین اعمال شود و به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم برای مدیران عمل کند (۱۴). استوارت و شارپ (۲۰۲۲) به دنبال مرگ‌ومیر

1- Decision Support Evaluation
2- Matter Element Analysis

فاجعه‌بار ماهیان، یک مدل اکوهیدرولیکی برای طراحی جریان‌های زیست‌محیطی در راستای احیای گونه‌ای ماهی در معرض خطر در رودخانه دارلینگ- باکا معرفی کردند. این مدل مفهومی اکوهیدرولیکی با هدف حمایت از تخم‌ریزی ماهیان طراحی شد. مدل هیدرولیکی برای گونه هدف در همه مراحل از جمله تخم‌ریزی موفقیت‌آمیز بود. نتایج این پژوهش، توجیهی برای تغییر سیاست‌های فعلی مدیریت آب در حفاظت از این اکوسیستم ملی را نشان داد (۱۵).

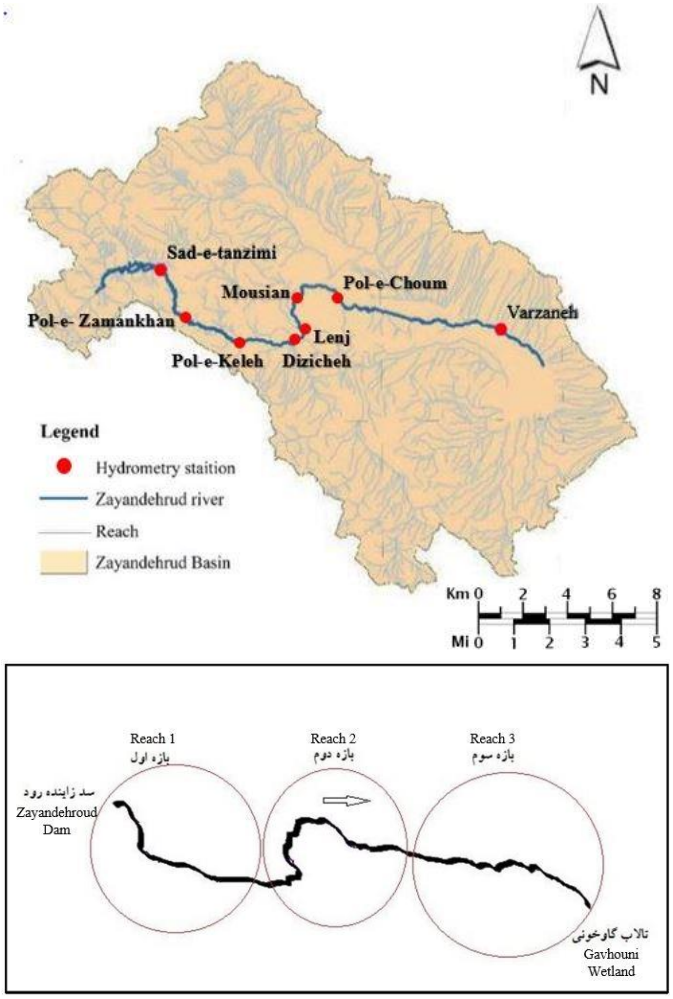
هدف از انجام این پژوهش ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود به روش محدوده تغییرپذیری[1] است که تاکنون به آن کاملاً پرداخته نشده است. هم‌چنین روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، آرکانزاس و روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده نیز در این پژوهش برای ارزیابی نیاز زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود مورد بررسی قرار گرفته‌اند و در نهایت با نتایج روش محدوده تغییرپذیری مقایسه کرده‌ایم تا بهترین شیوه ارزیابی جریان زیست‌محیطی در رودخانه موردمطالعه مشخص و پیشنهاد گردد. در کشور نیاز به پژوهش‌های متعدد به‌منظور استفاده از رویکردهای نوین و دقیق در راستای ارزیابی دبی زیست‌محیطی و تعیین میزان اعتبار به‌کارگیری آن برای رودخانه‌های داخل کشور به‌ویژه برای رودخانه‌های دارای گونه‌های با ارزش بیولوژیکی بالا است. با این وجود، انجام چنین مطالعات کاربردی در ایران بسیار محدود بوده است و رودخانه‌های مهمی از نظر ارزش بیولوژیکی در ایران وجود دارند که جریان زیست‌محیطی مناسب آن‌ها تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین نیاز مبرم و ضروری به رویکردهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و کاربردی کردن متدولوژی‌های پژوهش برای برآورد جریان موردنیاز زیست‌محیطی از دیگر نوآوری‌های این پژوهش است.

## مواد و روش‌ها

در تقسیم‌بندی‌های طرح جامع آب کشور حوزه آبخیز درجه دو زاینده‌رود (گاوخونی) به‌عنوان حوضه اول از منطقه ششم و با کد مطالعاتی ۴۲ مشخص شده است و جزء حوزه آبخیز فلات مرکزی محسوب می‌شود. مساحت این حوضه ۴۱,۵۵۲.۳ کیلومترمربع است. این حوضه به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های سی‌گانه درجه دو ایران شناخته می‌شود. این حوضه بین مختصات طول جغرافیایی ′۰۲ °۵۰ و ′۲۲ °۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی ′۱۲ °۳۱ تا ′۴۲ °۳۳ شمالی قرار گرفته است. تغییرات آب و هوایی در این حوضه چشمگیر است. درحالی‌که ناحیه چلگرد در غرب حوضه دارای بارش متوسط سالانه بیش از ۱۴۰۰ میلی‌متر است در شرق حوضه در کنار تالاب گاوخونی متوسط بارش سالانه از ۱۰۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند (۱۶). رودخانه زاینده‌رود بزرگ‌ترین رودخانه فلات مرکزی ایران و یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های داخلی کشور به‌شمار می‌آید که از کوه‌های زاگرس مرکزی به‌ویژه زردکوه بختیاری سرچشمه می‌گیرد و در کویر مرکزی ایران در امتداد شرق حدود ۲۰۰ کیلومتر پیش می‌رود و نهایتاً به تالاب گاوخونی واقع در شرق اصفهان ختم می‌شود و عمل زهکشی حوزه آبخیز زاینده‌رود را انجام می‌دهد. طول این رودخانه از سرچشمه تا تالاب گاوخونی حدوداً ۴۰۵ کیلومتر از سمت غرب به شرق است. شبکه رودخانه‌ای شاخه اصلی زاینده‌رود عمدتاً از مجموعه چندین شاخه کوچک و پرآب تشکیل شده است. این شاخه‌ها عبارتند از: آب‌زری، چم‌رود، دره نعل‌اشگنان، دره خوربه، دره قاضی، دره دولت‌آباد، دره سودجان، دره درکه‌آباد، دره اورگان و دره قلعه شاهرخ (۱۷). رودخانه زاینده‌رود از نظر زیست‌محیطی بسیار دارای اهمیت است زیرا حاوی گونه‌های با ارزش مختلفی است که باید حداقل

1- Range of Variability Approach

جریان زیست‌محیطی مورد نیاز آن‌ها تامین گردد و تمهیداتی برای مدیریت و تخصیص آن صورت گیرد. برای انتخاب محدوده مطالعاتی رودخانه زاینده‌رود در این پژوهش، از مطالعات گذشته و بازه‌بندی‌های صورت گرفته در پژوهش‌های مربوط به مطالعات دبی زیست‌محیطی در رودخانه مورد مطالعه استفاده شده است (۱۰). در این پژوهش، محدوده مطالعاتی حدفاصل سد زاینده‌رود تا تالاب گاوخونی به طول ۳۵۴.۹ کیلومتر تعیین گردید. مسیر به ۳ بازه تقسیم گردید که شامل ۸ ایستگاه هیدرومتری در طول رودخانه زاینده‌رود است. ایستگاه سد تنظیمی که اولین ایستگاه هیدرومتری بعد از سد زاینده‌رود محسوب می‌شود، به‌عنوان ایستگاه اول و ایستگاه ورزنه که نزدیک‌ترین ایستگاه به تالاب گاوخونی است به‌عنوان آخرین ایستگاه مطالعاتی در این پژوهش در نظر گرفته شد (شکل ۱). جدول ۱ اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری در بازه مطالعاتی را نشان می‌دهند.




**شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی در حوزه آبخیز و رودخانه زاینده‌رود (۱۰).**

**Figure 1. The location of the study area in Zayandehroud basin and river.**

**جدول ۱- اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری در بازه مطالعاتی.**

**Table 1. Information about hydrometric stations in the study area.**

| ایستگاه هیدرومتری<br>Hydrometric Station | ارتفاع (متر)<br>Height (m) | طول جغرافیایی (UTM)<br>Longitude (UTM) | عرض جغرافیایی (UTM)<br>Latitude (UTM) | سال تأسیس<br>Established Year |
|---|---|---|---|---|
| سد تنظیمی<br>SadTanzimi | 1992 | 479910 | 3620510 | 1346 |
| پل زمانخان<br>Pol Zamankhan | 1880 | 490110 | 3595679 | 1328 |
| پل کله<br>Pol Keleh | 1750 | 521766 | 3582519 | 1328 |
| دیزیچه<br>Dizicheh | 1680 | 548815 | 3581536 | 1381 |
| لنج<br>Lenj | 1672 | 552433 | 3584171 | 1359 |
| موسیان<br>Mousian | 1621 | 549381 | 3604510 | 1374 |
| پل چوم<br>Pol Choum | 1551 | 572292 | 3605543 | 1364 |
| ورزنه<br>Varzaneh | 1469 | 656393 | 3588609 | 1328 |

در این پژوهش از سه روش هیدرولوژیکی تنانت، آرکانزاس و محدوده تغییرپذیری و یک روش هیدرولیکی بر مبنای محیط خیس‌شده جهت ارزیابی جریان زیست‌محیطی استفاده شد. رویکردهای هیدرولوژیکی بیش‌تر از آمارهای تاریخی جریان رودخانه استفاده می‌کنند و محدوده جریان را به‌صورت درصدی از متوسط آورد سالانه رودخانه یا به‌صورت جریان با احتمال تجاوز مشخص از روی منحنی تداوم جریان در مقیاس زمانی سالیانه، فصلی یا ماهیانه تعیین می‌گردد (۱۸). رهیافت‌های هیدرولیکی بر اساس استفاده از سری زمانی و داده‌های مقاطع عرضی بحرانی و مهم کانال رودخانه هستند و در آن‌ها هیدرولیک رودخانه به‌صورت تابعی از جریان مدل شده و رابطه‌ای بین پارامترهای هیدرولیکی مانند محیط ترشده، عمق و سرعت جریان رودخانه با فراوانی زیستگاه گونه هدف برقرار می‌شود، سپس جریان موردنیاز را به عنوان یک بده بهینه برای زیستگاه‌ها تعریف خواهد شد (۱۹).

**روش تنانت:** این روش جریان زیست‌محیطی را درصدی از میانگین جریان سالانه را به‌عنوان دبی زیست‌محیطی موردنیاز برای حفظ شرایط هیدرولوژیکی رودخانه تعریف می‌کند. تنانت بر اساس داده‌های برداشت شده خود، درصدی از متوسط جریان سالانه (AAF[1]) را برای حفظ مطلوبیت زیستگاه در رودخانه ارائه کرد (۲۰). جدول ۲ چگونگی محاسبه جریان بهینه زیست‌محیطی را بر اساس میانگین جریان سالانه نشان می‌دهد و به پژوهش‌گران و متخصصین این امکان را می‌دهد که این جریان را به سادگی و بدون جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات بیش‌تر در محل تنظیم

1- Average Annual Flow

نمایند. در این پژوهش، به‌منظور کاربردی بودن نتایج، کاهش محاسبات اضافی و دستیابی به مقایسه‌ای دقیق‌تر، تنها سه حالت عالی، خوب و قابل‌قبول مورد بررسی قرار گرفت.

**جدول ۲- رژیم‌های پیشنهادی جریان پایه در روش تنانت جهت تعیین جریان زیست‌محیطی (۲۰).**

**Table 2. Suggested base flow regimes in Tennant's method to determine environmental flow.**

| توصیف جریان<br>Flow Description | پاییز – زمستان (٪)<br>Autumn – Winter (%) | بهار – تابستان (٪)<br>Spring - Summer (%) |
|---|---|---|
| عالی<br>Excellent | 30 | 50 |
| خوب<br>Good | 20 | 40 |
| قابل‌قبول<br>Acceptable | 10 | 30 |

**روش آرکانزاس:** در این روش از میانگین جریان ماهانه به‌جای سالانه استفاده شد تا نسبت به روش تنانت به تغییرپذیری جریانات در طی سال بیش‌تر توجه شود. هم‌چنین در این رویکرد با بررسی ارتباطات بین دبی جریان و اکوسیستم‌های رودخانه‌ای در طول سال و با آگاهی از نحوه تغییرات فصلی رودخانه‌های آرکانزاس و براساس فرآیندهای بیولوژیکی و فیزیکی رودخانه‌ها، هر سال به ۳ دوره تقسیم می‌گردد و برای هر دوره، درصدی از میانگین جریان ماهانه به‌عنوان حداقل جریان زیست‌محیطی موردنیاز برای حفظ فرآیندهای بیولوژیکی و فیزیکی رودخانه تعیین می‌شود. جریان موردنیاز زیست‌محیطی توصیه‌شده برای رودخانه براساس این شیوه، از آبان‌ماه تا اسفندماه برابر ۶۰٪ میانگین جریان ماهانه، از فروردین‌ماه تا تیرماه ۷۰٪ میانگین جریان ماهانه و از مردادماه تا مهرماه ۵۰٪ میانگین جریان ماهانه تعریف گردیده است (۲۱).

**روش محدوده تغییرپذیری (RVA[1]):** این رویکرد به‌عنوان یک روش بسیار مطلوب و پیچیده از دسته رهیافت‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌شود که توسط ریچتر و همکاران (۱۹۹۶) توسعه یافته است (۲۲). روش محدوده تغییرپذیری برای استفاده در رودخانه‌های تنظیم‌شده است که حفاظت از کارکرد اکوسیستم‌های طبیعی و بومی و حفظ تنوع زیستی طبیعی از اهداف اولیه مدیریت رودخانه است. روش RVA حداقل به آمار ۲۰ ساله جریان نیازمند است و از یک محدوده قراردادی از تغییرپذیری مبنی بر ۱± انحراف استاندارد از میانگین و یا از چارک‌های ۲۵ یا ۷۵ درصد استفاده می‌کند. سپس پیشنهاد می‌شود که مدیریت طرح‌های توسعه منابع آب به‌گونه‌ای صورت گیرد که توزیع مقادیر سالیانه پارامترهای IHA[2] تا حد امکان به توزیع پارامترها در شرایط طبیعی نزدیک باشد. چنان‌چه اغلب سری‌های زمانی هیدرولوژیکی پس از توسعه در محدوده مقادیر طبیعی پارامترهای IHA قرار گیرد به این معنی است که اثرات طرح‌های توسعه روی اکولوژی رودخانه کم است و هنوز در شرایط نسبتاً طبیعی قرار دارد. نرم‌افزار شاخص‌های رژیم متغیر هیدرولوژیکی (IHA) توسط کمیسیون

1- Range of Variability Approach

2- Indicator of Hydrological Alteration

نگهداری جنگل‌ها و شیلات و منابع طبیعی به‌عنوان ابزاری با کاربرد آسان برای محاسبه مشخصات رژیم‌های هیدرولوژیکی طبیعی و تغییریافته ارائه شده است. این نرم‌افزار برای هر نوع داده روزانه هیدرولوژیکی مانند جریان‌های رودخانه، تراز رودخانه، سطوح آب‌زیرزمینی یا ترازهای دریاچه قابل‌استفاده است. مزیت روش IHA این است که می‌تواند داده‌های هیدرولوژیکی روزانه ورودی را به تعداد سری‌های قابل مدیریت از پارامترهای هیدرولوژیکی مرتبط با اکولوژی خلاصه کرد. این نرم‌افزار از داده‌های روزانه جریان برای محاسباتش استفاده می‌کند. نرم‌افزار IHA، ۶۷ پارامتر آماری را محاسبه می‌کند که این پارامترها به دو گروه پارامترهای IHA و پارامترهای مؤلفه‌های جریان زیست‌محیطی تقسیم می‌شوند. تعداد ۳۳ پارامتر IHA و ۳۴ پارامتر EFC[1] وجود دارد. این نرم‌افزار گزینه‌های زیادی دارد که می‌تواند برای کنترل محاسبه این پارامترها مورداستفاده قرار گیرند. یکی از قابلیت‌های مهم این نرم‌افزار امکان مقایسه دو دوره زمانی مجزا و یا تحلیل روند در یک دوره زمانی منفرد است. اگر رودخانه موردمطالعه با یک تغییر ناگهانی مانند احداث سد مواجه شده باشد، IHA می‌تواند برای تحلیل تأثیرات آن بر رژیم جریان از طریق محاسبه پارامترهای هیدرولوژیکی دو دوره قبل و بعد از احداث سد به‌کار رود. پارامترهای IHA با استفاده از آمار پارامتریک (میانگین/انحراف استاندارد) یا آمار ناپارامتریک (صدک) محاسبه می‌شوند. برای اکثر وضعیت‌ها آمار ناپارامتریک گزینه بهتری است زیرا بیش‌تر داده‌های هیدرولوژیکی دارای چولگی (غیرنرمال) می‌باشند (فرض کلیدی آمار پارامتریک این است که داده‌ها دارای توزیع نرمال می‌باشند). اما برای وضعیت‌های معین تناوب سیلاب یا متوسط ماهیانه حجم جریان، آمار پارامتریک ترجیح داده می‌شود. پارامترهای هیدرولوژیکی محاسبه شده توسط IHA بر اساس سال آبی در جداول خروجی دسته‌بندی می‌شوند. سال آبی پیش فرض در IHA از یک اکتبر تا سی سپتامبر است، اما این پیش‌فرض در IHA قابل تغییر است. در آخر وقتی تحلیل تغییرات بین دو دوره زمانی انجام می‌شود نرم‌افزار این امکان را برای کاربر فراهم می‌کند که روش محدوده تغییرپذیری (RVA) را به‌کار ببرد. باید دقت شود که تحلیل RVA فقط برای پارامترهای IHA امکان دارد و برای پارامترهای EFC قابل محاسبه نیست (۲۲).

**روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده:** در مبانی این رهیافت فرض می‌شود که رابطه‌ای میان محیط خیس شده و محیط قابل دسترس برای آبزیان وجود دارد. بر این اساس مفهومی اکولوژیکی برای این پارامتر مربوط به هیدرولیک جریان به وجود می‌آید که بیانگر عدم حساسیت محیط زنده به دبی‌های بالاتر از نقطه بحرانی و به همان نسبت حساسیت به دبی‌های پایین‌تر از خود را نشان می‌دهد. بدین ترتیب اگر دبی حد بحرانی در رودخانه‌ای تأمین شود می‌توان ادامه حیات اکولوژیکی آن رودخانه را تضمین نمود (۲۳). برای انجام روش محیط خیس شده ابتدا باید ضریب زبری مانینگ محاسبه شود. یکی از راهکارهای برآورد ضریب زبری مانینگ پس از بررسی دانه‌بندی و جنس بستر رودخانه، استفاده از منحنی دبی–اشل است که رابطه گرافیکی بین تراز سطح آب و میزان دبی عبوری از یک مقطع را نشان می‌دهد. رابطه بین دبی و اشل به‌صورت یک رابطه نمایی قابل ترسیم است. در مرحله بعد مدلسازی هیدرولیکی با استفاده از داده‌های مقاطع عرضی برداشت شده از رودخانه و پارامترهای دیگری نظیر ساحل راست[2] و ساحل چپ[3] هر یک از

1- Environmental Flow Components

2- Right Bank
3- Left Bank

مقاطع، فاصله بین مقاطع[1]، ضریب زبری مانینگ برای بازه‌های مختلف رودخانه و هم‌چنین شیب طولی رودخانه در نرم‌افزار مدل‌ساز هیدرولیک رودخانه HEC-RAS انجام می‌شود. در مرحله سوم، باید منحنی‌های دبی–محیط خیس‌شده ترسیم شوند. به‌منظور بررسی نقاط مختلف رودخانه و قابل مقایسه شدن نتیجه این رویکرد با سایر روش‌های انجام شده در پژوهش حاضر از بین مقاطع موجود تعدادی به‌عنوان نمونه انتخاب شدند. سپس دبی هر یک از این مقاطع در حالت پر محاسبه شد. هم‌چنین محیط ترشده متناظر با این دبی از جدول نتایج موجود در نرم‌افزار به‌دست آمد. در نهایت با وارد کردن مقادیر مختلف دبی و محاسبه محیط خیس شده متناظر آن برای هر یک از مقاطع انتخابی، منحنی‌های بی‌بعد دبی–محیط خیس شده ترسیم شد. به‌منظور تعیین نقطه شکست بر روی منحنی دبی– محیط خیس شده، در ابتدا رابطه‌ای بین نقاط نمودار برازش داده می‌شود. تعیین نقطه شکست منحنی در پژوهش حاضر به روش شیب منحنی انجام شد زیرا براساس مطالعات گذشته در شرایطی که تعداد نقاط لازم برای رسم منحنی دبی– محیط خیس‌شده کم باشد این روش کارایی بهتری دارد. بر اساس روش شیب منحنی، نقطه بحرانی نقطه‌ای است که به ازای آن شیب خط مماس بر منحنی برابر یک باشد. با ضرب عدد حاصل از این رابطه در دبی حداکثر، حداقل جریان زیست‌محیطی برای مقطع موردنظر به‌دست می‌آید (۲۴).

## نتایج و بحث

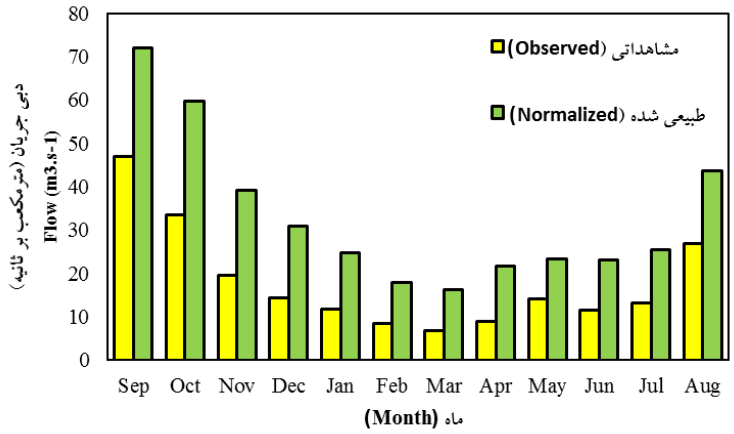
بررسی آمار تاریخی جریان رودخانه برای تحلیل رویکردهای انجام شده امری ضروری است بنابراین در ابتدا به برخی خصوصیات جریان رودخانه موردمطالعه در یک مقطع زمانی مشخص در جدول ۳ اشاره شده است. سری آماری جریان مورد استفاده در این پژوهش، از سال تأسیس ایستگاه‌های هیدرومتری تا آخرین سال موجود (سال ۱۳۹۷) بررسی شده است. مقادیر دبی متوسط روزانه برای تمامی ایستگاه‌ها از اداره آب منطقه‌ای اصفهان جمع‌آوری شده است. مطالعات مربوط به برآورد جریان زیست‌محیطی و مطلوبیت زیستگاه، نیاز به داده‌های طبیعی جریان دارد. باید با استفاده از راهکارهای طبیعی‌سازی، این داده‌ها را اصلاح کرد تا دقت و کارایی نتایج افزایش یابد. داده‌های جریان در این پژوهش برای هر ایستگاه از سال تاسیس آن تا آخرین سالی که داده‌های جریان موجود بود، با استفاده از روش‌های طبیعی‌سازی اصلاح شده‌اند. سال‌هایی که جریان دستخوش تغییرات انسانی مانند احداث سد زاینده‌رود، برداشت آب و ... شده بود با برآورد بارش و آبدهی رودخانه برای دوره آماری مدنظر و برداشت‌های آب در بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری و اضافه نمودن آن به آبدهی مشاهداتی و اصلاح روند سری زمانی آبدهی، طبیعی‌سازی جریان صورت گرفت. در شکل ۲ داده‌های مشاهداتی و طبیعی‌شده جریان رودخانه ارائه شده و مورد مقایسه قرار گرفته است. طبق اطلاعات هیدرولوژیکی موجود، بیش‌ترین دبی آب رودخانه در شهریور ماه تا آبان ماه اتفاق می‌افتد که ناشی از بارندگی زیاد و عدم برداشت آب جهت مصارف گوناگون در منطقه است.

1- Reach Length

جدول ۳- مشخصات آماری جریان در ایستگاه‌های منتخب مطالعاتی.

**Table 3. Statistical characteristics of flow in selected study stations.**

| ایستگاه هیدرومتری<br>Hydrometric Station | دوره آماری<br>Statistical Period | دبی متوسط سالانه<br>Average Annual Flow ($m^3.s^{-1}$) | حداقل جریان سالانه<br>Minimum Annual Flow ($m^3.s^{-1}$) | حداکثر جریان سالانه<br>Maximum Annual Flow ($m^3.s^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|
| سد تنظیمی<br>Sad Tanzimi | 1346-1397 | 34.326 | 16.839 | 63.653 |
| پل زمانخان<br>Pol Zamankhan | 1328 - 1397 | 32.190 | 20.955 | 71.397 |
| پل کله<br>Pol Keleh | 1328-1397 | 33.364 | 18.483 | 52.290 |
| دیزیچه<br>Dizicheh | 1381-1397 | 33.026 | 21.350 | 66.634 |
| لنج<br>Lenj | 1359-1397 | 33.502 | 15.212 | 59.746 |
| موسیان<br>Mousian | 1374-1397 | 32.995 | 11.336 | 47.389 |
| پل چوم<br>Pol Choum | 1364-1397 | 32.031 | 13.022 | 70.325 |
| ورزنه<br>Varzaneh | 1328 - 1397 | 34.246 | 15.937 | 72.35 |
| میانگین<br>Average | | 33.21 | 16.64 | 62.97 |




شکل ۲- مقایسه داده‌های مشاهداتی و طبیعی شده جریان رودخانه زاینده‌رود.

**Figure 2. Comparison of observed and normalized data of Zayandehroud river flow.**

با توجه به جدول ۴، جریان زیست محیطی برای رودخانه زاینده‌رود به روش تنانت برای سه وضعیت قابل‌قبول، خوب و عالی محاسبه گردید که به‌ترتیب برابر ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد میانگین جریان سالانه برای فرودین‌ماه تا شهریورماه و هم‌چنین ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد میانگین جریان سالانه برای مهرماه تا اسفندماه

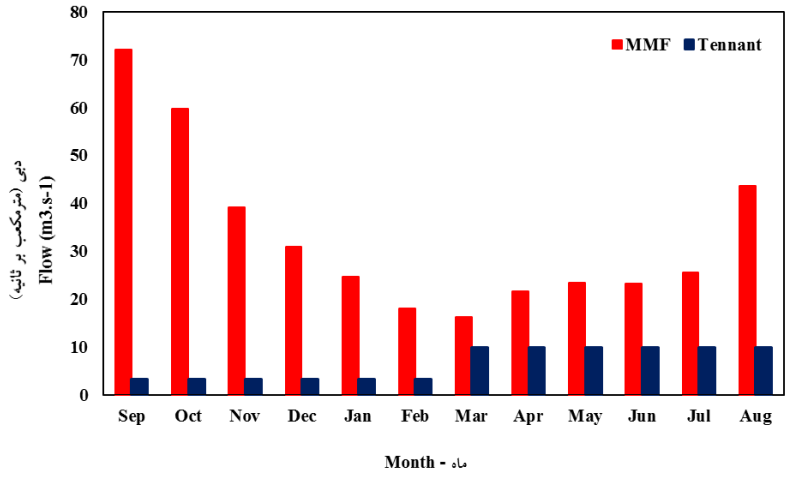
است. هم‌چنین شکل ۲ توزیع ماهیانه جریان زیست‌محیطی رودخانه را با استفاده از روش تنانت در وضعیت قابل‌قبول (حداقل‌ترین وضعیت ممکن برای زیست بومی) را در مقایسه با متوسط جریان ماهانه (MMF)[1] در این پژوهش نشان می‌دهد.

نتایج روش تنانت نشان می‌دهد که در بازه مطالعاتی وضعیت دبی زیست‌محیطی رودخانه موردمطالعه مطلوب است و کمبودی ندارد. اما مقادیر پیشنهادی در مقایسه با جریان ماهانه بسیار کم‌تر هستند و احتمالاً برای تأمین نیازهای زیست‌محیطی رودخانه ناکافی خواهند بود. طبق این نتایج، از فروردین‌ماه تا شهریورماه، به دلیل گرمی هوا و کمبود آب، درصد تخصیص جریان زیست‌محیطی نیز بیش‌تر می‌شود که باید برای بهره‌برداران رودخانه برنامه‌ای همه‌جانبه و عادلانه تدوین گردد تا تداخلی در تامین نیاز زیست‌محیطی نیز صورت نگیرد.

**جدول ۴- برآورد جریان زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود به روش تنانت ($m^3.s^{-1}$).**

**Table 4. Environmental flow estimation of Zayandehroud river by Tennant method.**

| وضعیت<br>Status | قابل‌قبول<br>Acceptable | خوب<br>Good | عالی<br>Excellent |
|---|---|---|---|
| نیمه اول سال<br>First half year | 9.965 | 13.287 | 16.609 |
| نیمه دوم سال<br>Second half year | 3.321 | 6.643 | 9.965 |
| میانگین<br>Average | 6.643 | 9.965 | 13.287 |




**شکل ۳- نمودار توزیع ماهیانه جریان زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از روش تنانت در وضعیت قابل‌قبول.**

**Figure 3. Monthly environmental flow distribution diagram of Zayandehroud river using Tennant's method in acceptable status.**

1- Mean Monthly Flow

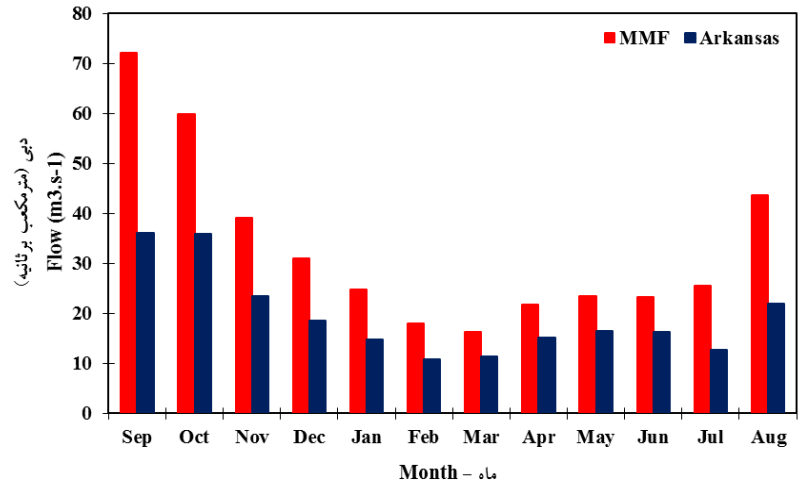
با توجه به جدول ۵ جریان زیست‌محیطی برای رودخانه زاینده‌رود به روش آرکانزاس محاسبه گردید. جریان زیست‌محیطی در این رویکرد برابر ۷۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای فروردین‌ماه تا تیرماه، برابر ۵۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای مردادماه تا مهرماه و برابر ۶۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای آبان‌ماه تا اسفندماه است. با این‌که در این روش به‌جای استفاده از میانگین جریان سالانه در روش تنانت، از متوسط جریان ماهانه استفاده می‌شود اما با این‌حال به‌دلیل در نظر گرفتن حداقل ۵۰ درصد میانگین جریان ماهانه، نباید تنها این رهیافت در ارزیابی دبی زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد زیرا در اکثر موارد به‌دلیل وجود بهره‌برداران مختلف برای آب رودخانه، تخصیص جریان با این مقادیر قابل اجرا نخواهد بود و سبب اختلافات و مناقشات آبی خواهد شد. شکل ۳ توزیع ماهیانه جریان زیست‌محیطی رودخانه را با استفاده از روش آرکانزاس نشان می‌دهد.

**جدول ۵- برآورد جریان زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه زاینده‌رود به روش آرکانزاس ($m^3.s^{-1}$).**

**Table 5. Environmental flow estimation of Zayandehroud river by Arkansas method.**

| ۷۰ درصد میانگین جریان ماهانه | | | ۵۰ درصد میانگین جریان ماهانه | | | ۶۰ درصد میانگین جریان ماهانه | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فروردین March/April | اردیبهشت April/May | خرداد May/June | تیر June/July | مرداد July/August | شهریور August/September | مهر September/October | آبان October/November | آذر November/December | دی December/January | بهمن January/February | اسفند February/March | میانگین Average |
| 11.380 | 15.186 | 16.391 | 16.234 | 12.773 | 21.855 | 36.047 | 35.890 | 23.485 | 18.593 | 14.846 | 10.812 | 19.458 |

نتایج روش آرکانزاس نشان داد که به‌خصوص در ماه‌های گرم سال، درصد تخصیص جریان زیست‌محیطی پیشنهادی این روش درصد بسیار بالایی از جریان متوسط ماهانه می‌باشند و وضعیت تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه در این ماه‌ها با این رویکرد قطعاً دچار مشکل خواهد شد و حتی با توجه به سهم بهره‌برداران دیگر، قابل اجرا نخواهد بود. بنابراین این روش برای تامین دبی زیست‌محیطی نامناسب است و باید بدون تغییر در سیکل طبیعی رودخانه به‌نحوی صحیح آن را مدیریت کرد.




**شکل ۴- نمودار توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود با استفاده از روش آرکانزاس.**

**Figure 4. Monthly environmental flow distribution diagram of Zayandehroud river using Arkansas's method.**

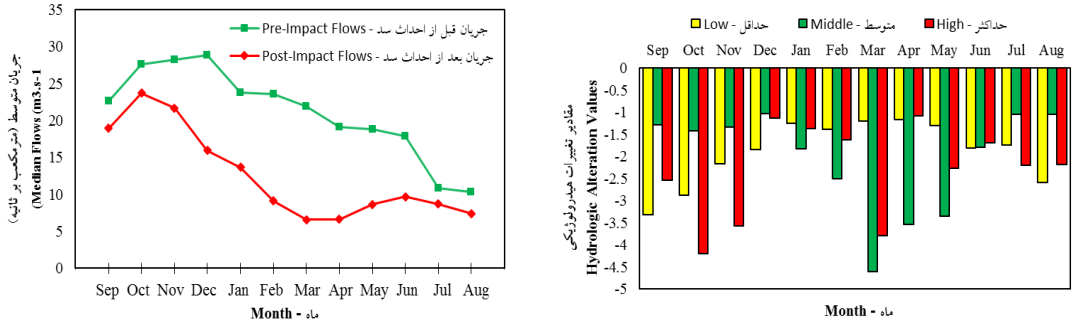
روش محدوده تغییرپذیری برای رودخانه زاینده‌رود با استفاده از داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های مطالعاتی معرفی شده، مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه جریان زیست‌محیطی با روش RVA از نرم‌افزار IHA[1] استفاده گردید. برای اجرای این نرم‌افزار، داده‌های جریان به فایل قابل‌قبول نرم‌افزار یعنی فایل Text تبدیل و وارد نرم‌افزار شدند. دوره آماری مورد استفاده برای ایستگاه‌های مطالعاتی از سال آبی دو دوره قبل و بعد از سال تاسیس سد زاینده‌رود (سال ۱۳۵۰-۱۳۵۱) در نظر گرفته شد که به‌طور کامل طبیعی‌سازی شدند. لازم به ذکر است که در این تحقیق پارامترهای گروه اول IHA (مقادیر ماهانه جریان) مورد بررسی قرار گرفتند زیرا هم‌راستا با هدف این پژوهش یعنی برآورد جریان موردنیاز زیست‌محیطی رودخانه می‌باشند و فقط به نتایج این گروه نیاز است. اما غیر از پارامترهای گروه اول، نتایج یک پارامتر حدی مهم تحت عنوان جریان صفر (یکی از ۳۳ پارامتر IHA که بیانگر تعداد ایامی است که رودخانه خشک و فاقد جریان آب است) ارائه شده است که این پارامتر در برخی مواقع می‌تواند عامل نابودی قابل‌توجهی از ارگانیسم‌های آبی رودخانه و تهدیدی برای تغییر دادن کیفیت و پیوستگی اکولوژیکی در بلندمدت باشد اما در گاهی اوقات وجود جریان صفر نیز لازم است و سیکل طبیعی رودخانه به آن نیاز دارد. همان‌طور که نتایج جدول ۶ نشان داد در زمان قبل از احداث سد زاینده‌رود، برای جریان‌های حداکثر حدود ۶۴ روز جریان صفر مشاهده می‌شود اما بعد از احداث سد جریان صفری مشاهده نشده است که این هم می‌تواند تأثیرات مثبت داشته باشد و هم منفی؛ زیرا در شرایط اصلی و طبیعی رودخانه باید روزهایی با جریان صفر وجود داشته باشد ولی بعد از احداث سد از این حالت خارج شده است اما از طرفی موجب پیوستگی اکولوژیکی و بهبود شرایط زندگی ارگانیسم‌های آبی نیز می‌شود. مطابق جدول ۶ در همه ماه‌ها، پس از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد، متوسط جریان کاهش یافته است. این میزان کاهش نسبت به ماه‌های مختلف متفاوت است که دلیل آن تنظیمات برنامه‌ریزی شده خروجی جریان از سد، عدم نیاز آب کشاورزی در برخی ماه‌ها و نیز برداشت‌های کشاورزی در ماه‌های کشت است. هم‌چنین تغییرات اقلیمی نیز در طول سال‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش می‌تواند بر نتایج حاصل مؤثر باشد. این مفهوم به خوبی در شکل ۵ نشان داده شده است. اهداف RVA (مرز حداقل و حداکثر جریان زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه که توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود) بر مبنای SD± از میانگین است به‌جز در مواردی که این اهداف خارج از محدوده حداقل و حداکثر پارامترها در دوره قبل از احداث سد باشند، در این صورت از چارک‌های ۲۵٪ و ۷۵٪ به‌عنوان اهداف RVA استفاده می‌شود. برای درک بهتر نتایج، در شکل‌های ۵ و ۶ نمودارهای متوسط جریان ماهانه رودخانه در دو دوره قبل و بعد احداث سد زاینده‌رود و نمودار توزیع ماهانه دبی زیست‌محیطی رودخانه موردمطالعه با روش RVA در دوره قبل و بعد از احداث سد در مقابل متوسط جریان ماهانه رودخانه ارائه و مقایسه شده است.

1- Indicator of Hydrological Alteration

**جدول ۶- نتایج تغییرات پارامترهای IHA در روش RVA برای رودخانه زاینده‌رود ($m^3.s^{-1}$).**

**Table 6. The results of IHA parameters changes in RVA method for Zayandehroud river.**

| اهداف RVA RVA Boundaries | | جریان‌های بعد از احداث سد Post-Impact Flows | | | جریان‌های قبل از احداث سد Pre-Impact Flows | | | پارامترهای شاخص تغییرات هیدرولوژیکی IHA Parameters |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حداکثر Max. | حداقل Min. | حداکثر Max. | حداقل Min. | متوسط Med. | حداکثر Max. | حداقل Min. | متوسط Med. | |
| 7.73 | 5.66 | 17 | 4.02 | 6.61 | 43.25 | 5.2 | 21.93 | مهر September/October |
| 7.16 | 6.29 | 12.41 | 4.39 | 6.64 | 52.15 | 6.21 | 19.14 | آبان October/November |
| 10.79 | 7.79 | 15.95 | 6.06 | 8.64 | 56.95 | 8.07 | 18.78 | آذر November/December |
| 12.16 | 8.11 | 47.5 | 6.6 | 9.67 | 53.4 | 6.83 | 17.84 | دی December/January |
| 10.79 | 7.79 | 28 | 3.11 | 8.72 | 38.35 | 5.7 | 10.84 | بهمن January/February |
| 12.86 | 9.21 | 19.33 | 3.03 | 7.41 | 31.5 | 7.6 | 10.30 | اسفند February/March |
| 38.2 | 18.27 | 37 | 2.49 | 18.96 | 140 | 11.45 | 22.6 | فروردین March/April |
| 50.7 | 23.9 | 116.75 | 5.33 | 23.68 | 129.97 | 18.83 | 27.65 | اردیبهشت April/May |
| 23.6 | 21.03 | 55 | 5.22 | 21.7 | 124.66 | 17.5 | 28.21 | خرداد May/June |
| 17.62 | 15.63 | 27.92 | 5.29 | 15.93 | 47.23 | 9.5 | 28.88 | تیر June/July |
| 14.45 | 11.92 | 20.25 | 5.24 | 13.65 | 44.6 | 5.5 | 23.76 | مرداد July/August |
| 11.82 | 7.6 | 19.6 | 5 | 9.11 | 42.85 | 5.21 | 23.62 | شهریور August/September |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | تعداد روزهای جریان صفر Number of zero days |

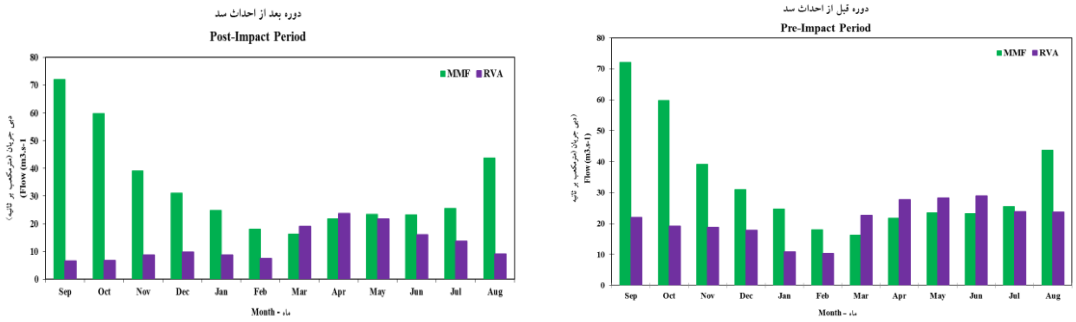



(الف) (A)

(ب) (B)

**شکل ۵- الف) تغییرات هیدرولوژیکی پارامترهای ماهانه IHA در رودخانه زاینده‌رود ب) متوسط جریان ماهیانه رودخانه در دو دوره قبل و بعد احداث سد زاینده‌رود.**

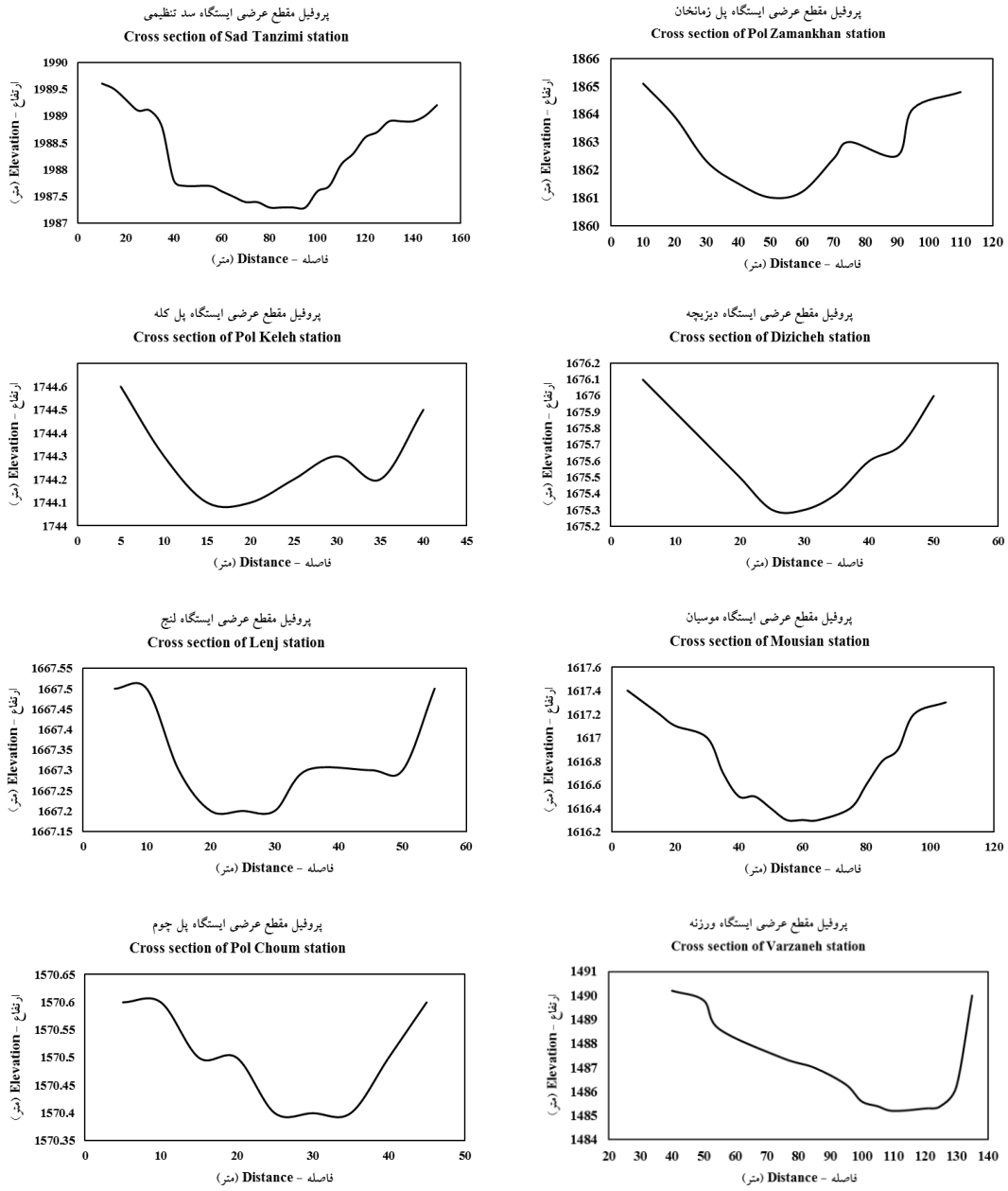
**Figure 5. A) Hydrological alterations of IHA monthly parameters in the Zayandehroud river B) Monthly flow alteration in pre-impact and post-impact periods.**




**شکل ۶- نمودار توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود با روش RVA در دوره قبل و بعد از احداث سد.**

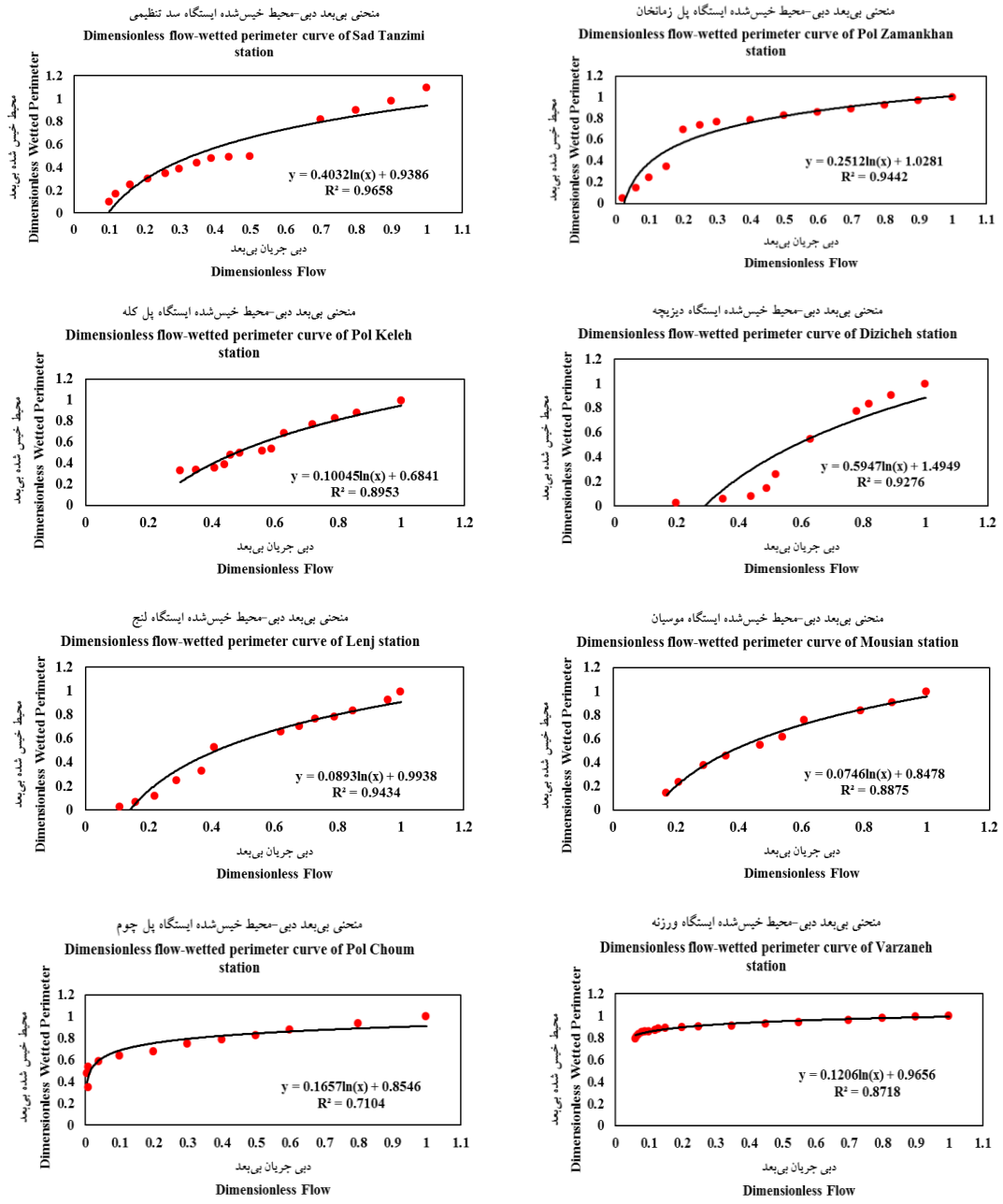
**Figure 6. Monthly environmental flow distribution diagram of Zayandehroud River with RVA method in pre-impact and post-impact periods.**

برای انجام روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده، ابتدا محاسبات مربوط به ضریب زبری مانینگ ایستگاه‌های مطالعاتی از طریق نرم‌افزار Hec-Ras انجام شد. سپس با استفاده از ضریب زبری، ابعاد مقطع در هر ایستگاه هیدرومتری و هم‌چنین پارامترهایی مانند دبی، محیط ترشده، سرعت جریان، مساحت مقاطع، متناسب با افزایش عمق در مقاطع مختلف محاسبه شد. لازم به ذکر است که شیب طولی رودخانه موردمطالعه ۰/۰۰۴۳ است و در محاسبات نیز جریان به‌صورت ماندگار فرض شد. در ادامه به معرفی مقاطع منتخب ایستگاه‌های مطالعاتی و ارائه نتایج به‌دست آمده هر کدام از آن‌ها پرداخته شده است (شکل‌های ۷ و ۸). در ابتدا برای هر یک از این مقاطع دبی حداکثر (حالتی که کانال اصلی مقطع پر باشد)، برآورد شد و سپس به‌ازای دبی‌های مختلف تا نهایتاً دبی حداکثر، محیط خیس‌شده کانال اصلی محاسبه گردید. هم‌چنین با تقسیم مقادیر دبی و محیط ترشده بر مقدار حداکثر، این پارامترها بی‌بعد شدند تا با کم‌ترین پیچیدگی و تعداد متغیر در نهایت یک منحنی دبی – محیط خیس‌شده به‌صورت بی‌بعد ترسیم گردد. با بی‌بعد شدن این پارامترها می‌توان معادلات حاصله را به مطالعات مشابه دیگر نیز تعمیم داد و از آن‌ها به خوبی استفاده نمود. رابطه مناسب برای هر منحنی برازش داده شده است و پس از محاسبه حداقل دبی از روش شیب منحنی، نتایج در جدول ۸ ارائه گردید.




**شکل ۷- پروفیل مقاطع عرضی ایستگاه‌های مطالعاتی رودخانه زاینده‌رود.**

**Figure 7. Cross section of study stations in Zayandehroud river.**




شکل ۸- منحنی‌های بی‌بعد دبی- محیط خیس‌شده ایستگاه‌های مطالعاتی رودخانه زاینده‌رود.

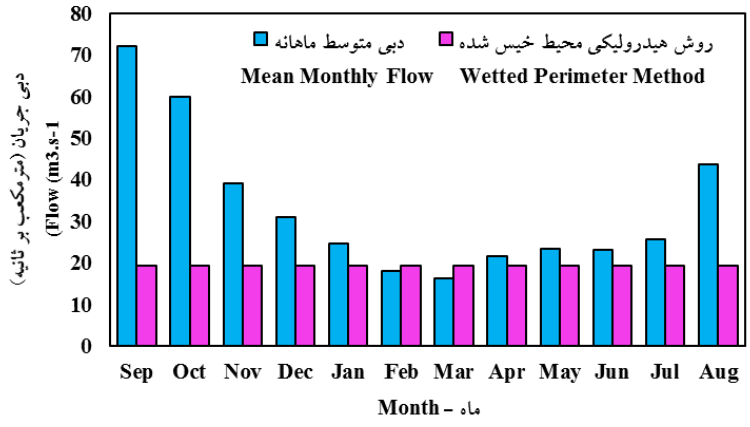
**Figure 8. Dimensionless curves of Flow - Wetted perimeter in study stations in Zayandehroud River.**

جدول ۷- نتایج روش محیط خیس‌شده در مقاطع منتخب هر ایستگاه مطالعاتی.

**Table 7. The results of wetted perimeter method in selected sections in study stations.**

| شماره مقطع<br>Section Number | ایستگاه مطالعاتی<br>Study Station | معادله<br>Equation | ضریب همبستگی<br>Correlation Coefficient | حداقل دبی ($m^3.s^{-1}$)<br>Minimum Flow |
|---|---|---|---|---|
| 1 | سد تنظیمی<br>Sad Tanzimi | p = 0.4032ln(q) + 0.9386 | 0.96 | 22.68 |
| 2 | پل زمانخان<br>Pol Zamankhan | p = 0.2512ln(q) + 1.0281 | 0.94 | 21.64 |
| 3 | پل کله<br>Pol Keleh | p = 0.10045ln(q) + 0.6841 | 0.89 | 17.38 |
| 4 | دیزیچه<br>Dizicheh | p = 0.5947ln(q) + 1.4949 | 0.92 | 24.17 |
| 5 | لنج<br>Lenj | p = 0.0893ln(q) + 0.9938 | 0.94 | 15.99 |
| 6 | موسیان<br>Mousian | p = 0.0746ln(q) + 0.8478 | 0.88 | 14.28 |
| 7 | پل چوم<br>Pol Choum | p = 0.1657ln(q) + 0.8546 | 0.71 | 20.35 |
| 8 | ورزنه<br>Varzaneh | p = 0.1206ln(q) + 0.9656 | 0.87 | 18.25 |
| میانگین دبی محاسبه شده همه ایستگاه‌های مطالعاتی | | | | 19.34 |

با توجه به نتایج جدول ۷، حداقل دبی از طریق رویکرد هیدرولیکی محیط ترشده برای مقاطع همه ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه گردید و میانگین جریان همه ایستگاه‌ها برابر ۱۹/۳۴ مترمکعب بر ثانیه و محدوده جریان پیشنهادی روش محیط خیس‌شده، از ۱۴/۲۸ تا ۲۴/۱۷ مترمکعب بر ثانیه است. با توجه به شکل ۹ مشخص است که در اکثر ماه‌ها، دبی موردنیاز زیست‌محیطی پیشنهادی روش هیدرولیکی درصد بالایی از دبی متوسط ماهانه را شامل می‌شود و حتی در اسفندماه و فروردین‌ماه، جریان زیست‌محیطی مورد نیاز محاسبه شده از دبی متوسط ماهانه بیش‌تر است و به‌عبارتی در ماه‌های مذکور این شیوه غیرقابل اجراست. اما در شهریورماه تا آذرماه مقادیر نسبتاً مناسبی جهت تأمین نیاز زیست‌محیطی پیشنهاد شده است.




شکل ۹- مقایسه دبی متوسط ماهانه با جریان زیست‌محیطی محاسبه شده به روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده در رودخانه زاینده‌رود.

**Figure 9. Comparison of mean monthly flow with the wetted perimeter method at Zayandehroud River.**

در جدول ۸، توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی رویکردهای انجام شده در این پژوهش مقایسه شدند. طبق نتایج، دبی زیست‌محیطی برآورد شده به‌ترتیب در روش محیط خیس‌شده ۷۰٪، آرکانزاس ۶۰٪، محدوده تغییرپذیری ۴۹٪ و تنانت ۲۶٪ میانگین جریان سالانه رودخانه محاسبه شده است. رهیافت مورد استفاده وزارت نیرو روش تنانت است که پرواضح است همه رویکردهای استفاده شده در این پژوهش متوسط و دامنه جریان بیش‌تری نسبت به آن پیشنهاد می‌دهند پس قطعا روش تنانت جهت تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه زاینده‌رود کافی نیست و در این خصوص باید در سطح مدیریتی و اجرایی بازنگری صورت گیرد. روش‌های محیط ترشده و آرکانزاس بیش‌ترین درصد تخصیص جریان زیست‌محیطی را برای رودخانه موردمطالعه پیشنهاد داده‌اند که از نظر اجرایی و با توجه به سایر بهره‌برداران و مصرف‌کنندگان رودخانه به سختی می‌توان از آن استفاده نمود و احتمالاً موجب منازعات و اختلافات آبی خواهد شد و اجرای آن نیازمند برنامه‌ریزی و سطح مدیریتی قدرتمند و عادلانه خواهد بود. روش محدوده تغییرپذیری درصد نسبتاً معقولانه‌تر و قابل اجراتری نسبت به سایر راهکارها پیشنهاد داده است که باید حتما مدنظر مدیران و کارشناسان مربوطه در امر تخصیص حقابه زیست‌محیطی قرار گیرد و حتی با توجه به جدول ۸، برای هر ماه دبی زیست‌محیطی مجاز و مناسب برآورده شده را جهت تخصیص در نظر گرفته و جریان را با توجه به این برنامه کنترل کنند. البته روش محدوده‌تغییرپذیری برای فروردین تا تیرماه مقادیر بسیار بالایی در نظر گرفته است که بهتر است برای این ماه‌ها از مقادیر برآورد شده رویکردهای دیگر استفاده نمود.

بر اساس مطالعات نادری و همکاران (۲۵) برای رودخانه قره‌سو، صدیق‌کیا و همکاران (۵) برای رودخانه دلیچای و شکوهی و هانگ (۱۱) برای رودخانه کاظم‌رود ثابت شد که استفاده از رویکرد هیدرولوژیکی تنانت با توجه به این‌که با دخالت کم‌ترین پارامترهای مؤثر به تخصیص جریان اقدام می‌کند، برآورد نامناسبی از جریان زیست‌محیطی برای رودخانه‌ها انجام می‌دهد که در بلندمدت منجر به تخریب و نابودی محیط زیست و مرگ اکولوژیکی رودخانه می‌شود. نتایج کار پژوهش‌گران یاد شده در مطالعه موردی حاضر نیز تأیید می‌گردد. هم‌چنین در مطالعه مرید و همکاران (۲۶) برای رودخانه کردان، دایی‌چینی و همکاران (۲۷) برای رودخانه گرگان‌رود و خسروی و همکاران (۲۸) برای رودخانه خرمارود مشخص شد که روش محدوده تغییرپذیری یک دامنه مناسب برای جریان موردنیاز زیست‌محیطی رودخانه‌ها پیشنهاد می‌دهد و نسبت به سایر رهیافت‌های هیدرولوژیکی ارجحیت دارد که این موضوع در پژوهش حاضر نیز تأیید شد. روش محیط خیس‌شده در پژوهش عطایی کچوئی (۲۹) برای رودخانه دز و زرگری (۳۰) برای رودخانه گرگان‌رود کارایی بهتری نسبت به رودخانه زاینده‌رود (پژوهش حاضر) نشان داده است و مقادیر مناسب‌تری ارائه می‌دهد که این ثابت می‌کند کارآمد بودن این راهکار بسیار به شرایط هیدرولیکی رودخانه و مقاطع آن وابسته است.

جدول ۸- مقایسه توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی روش‌های معرفی شده در این پژوهش ($m^3.s^{-1}$).

**Table 8. Comparison of the monthly environmental flow distribution of the methods introduced in this research.**

| محیط خیس‌شده Wetted Perimeter | | محدوده تغییرپذیری RVA | | آرکانزاس Arkansas | | تنانت Tennant | | MMF | ماه Month |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % | Q | % | Q | % | Q | % | Q | | |
| 26.83 | 19.34 | 7.85 | 5.66 | 50.00 | 36.047 | 4.61 | 3.321 | 72.094 | مهر September/October |
| 32.33 | 19.34 | 10.52 | 6.29 | 60.00 | 35.890 | 5.55 | 3.321 | 59.818 | آبان October/November |
| 49.41 | 19.34 | 19.90 | 7.79 | 60.00 | 23.485 | 8.48 | 3.321 | 39.142 | آذر November/December |
| 62.41 | 19.34 | 26.17 | 8.11 | 60.00 | 18.593 | 10.72 | 3.321 | 30.9885 | دی December/January |
| 78.16 | 19.34 | 31.48 | 7.79 | 60.00 | 14.846 | 13.42 | 3.321 | 24.744 | بهمن January/February |
| 107.32 | 19.34 | 51.11 | 9.21 | 60.00 | 10.812 | 18.43 | 3.321 | 18.0215 | اسفند February/March |
| 118.96 | 19.34 | 112.38 | 18.27 | 70.00 | 11.380 | 61.29 | 9.965 | 16.2575 | فروردین March/April |
| 89.14 | 19.34 | 110.16 | 23.9 | 70.00 | 15.186 | 45.93 | 9.965 | 21.6955 | اردیبهشت April/May |
| 82.59 | 19.34 | 89.81 | 21.03 | 70.00 | 16.391 | 42.56 | 9.965 | 23.416 | خرداد May/June |
| 83.39 | 19.34 | 67.39 | 15.63 | 70.00 | 16.234 | 42.97 | 9.965 | 23.1925 | تیر June/July |
| 75.70 | 19.34 | 46.66 | 11.92 | 50.00 | 12.773 | 39.01 | 9.965 | 25.5475 | مرداد July/August |
| 44.24 | 19.34 | 17.39 | 7.6 | 50.00 | 21.855 | 22.80 | 9.965 | 43.7115 | شهریور August/September |
| 70.87 | 19.34 | 49.23 | 11.93 | 60.83 | 19.46 | 26.31 | 6.64 | 33.22 | میانگین Average |

## نتیجه گیری کلی

با توجه به‌ضرورت برآورد جریان زیست‌محیطی مطلوب رودخانه زاینده‌رود به‌منظور تأمین نیاز اکوسیستم، کاربرد و الزامات روش‌های تنانت، آرکانزاس، محدوده تغییرپذیری و محیط خیس‌شده جهت ارزیابی دبی موردنیاز زیست‌محیطی در یک بازه مطالعاتی از رودخانه بررسی شد. طبق نتایج این پژوهش، مقادیر پیشنهادی تنانت برای این‌که وضعیت زیست‌محیطی منطقه در شرایط قابل‌قبول قرار گیرد، به‌ترتیب برای نیمه اول سال (فصل کم‌آب) و دوم سال (فصل پرآبی)، ۹/۹۶ و ۳/۳۲ مترمکعب بر ثانیه است. نتایج روش تنانت نشان داد که در بازه‌ی مطالعاتی وضعیت جریان زیست‌محیطی رودخانه موردمطالعه مطلوب است و کمبودی ندارد اما مقادیر پیشنهادی نسبت به متوسط جریان ماهانه بسیار کم است و بعید است برای تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه کافی باشد. در نیمه اول سال، به‌دلیل گرمای هوا و کمبود آب، درصد تخصیص جریان زیست‌محیطی افزایش می‌یابد. در این شرایط، باید برای بهره‌برداران رودخانه برنامه‌ای جامع و عادلانه تدوین شود تا تداخلی در تأمین

جریان زیست‌محیطی نیز صورت نگیرد. طبق نتایج روش آرکانزاس و با مقایسه این مقادیر با دبی متوسط رودخانه در طی دوره آماری مطالعاتی، بااین‌که در این رویکرد به‌جای استفاده از میانگین جریان سالانه در روش تنانت، از متوسط جریان ماهانه استفاده می‌شود اما بااین‌حال به‌دلیل در نظر گرفتن حداقل ۵۰ درصد میانگین جریان ماهانه، نباید تنها این راهکار در ارزیابی دبی زیست‌محیطی مورداستفاده قرار گیرد زیرا در اکثر موارد به‌دلیل وجود بهره‌برداران مختلف برای آب رودخانه، تخصیص جریان با این مقادیر قابل‌اجرا نخواهد بود و سبب اختلافات و مناقشات آبی به‌خصوص در فروردین تا مردادماه خواهد شد. زیرا در این دوره بیش‌ترین بیلان منفی آب (نفوذ و برداشت) در رودخانه است و امکان تأمین حداقل جریان زیست‌محیطی لازم با این شیوه نیست. نتایج روش محدوده تغییرپذیری نشان می‌دهد که احداث سد زاینده‌رود تأثیر منفی بر محدوده پایین‌دست رودخانه داشته و باعث کاهش جریان شده است. این میزان کاهش نسبت به ماه‌های مختلف متفاوت است؛ دلیل آن تنظیمات برنامه‌ریزی‌شده خروجی جریان از سد، عدم نیاز آب کشاورزی در برخی ماه‌ها و برداشت‌های کشاورزی در ماه‌های کشت است. هم‌چنین تغییرات اقلیمی نیز در طول سال‌های آماری مورداستفاده در این پژوهش می‌تواند بر نتایج حاصل مؤثر باشد. با توجه به مقادیر حداقل اهداف RVA و میانگین آن، نیاز زیست‌محیطی برآورد شده نسبت به سایر رهیافت‌های هیدرولوژیکی مناسب‌تر است و می‌توان از آن استفاده نمود زیرا با توجه به لزوم تخصیص جریان به بخش‌های دیگر مانند کشاورزی، شرب، صنعت و ... ازلحاظ مدیریتی قابلیت اجرای بیش‌تری دارد. حداقل جریان زیست‌محیطی موردنیاز رودخانه زاینده‌رود از طریق روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده برای مقاطع همه ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه گردید و میانگین جریان همه ایستگاه‌ها برابر ۱۹/۳۴ مترمکعب بر ثانیه و محدوده جریان پیشنهادی روش محیط ترشده، از ۱۴/۲۸ تا ۲۴/۱۷ مترمکعب بر ثانیه برآورد شد. در اکثر ماه‌ها، جریان زیست‌محیطی پیشنهادی رهیافت هیدرولیکی درصد بالایی از دبی متوسط ماهانه را شامل می‌شود و حتی در اسفندماه و فروردین‌ماه، دبی زیست‌محیطی موردنیاز محاسبه‌شده از دبی متوسط ماهانه بیش‌تر است و به‌عبارتی در ماه‌های مذکور این شیوه غیرقابل اجراست و فقط در شهریورماه تا آذرماه مقادیر نسبتاً مناسبی جهت تأمین جریان زیست‌محیطی پیشنهاد شده است. درنتیجه روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده ازنظر تئوری، شاخص نسبتاً مناسبی جهت ارزیابی جریان زیست‌محیطی رودخانه موردمطالعه است اما به لحاظ اجرایی مقادیر پیشنهادی قابل‌اجرا نیست.

درنتیجه با توجه به مقایسه رویکردهای انجام‌شده در این پژوهش، دبی زیست‌محیطی برآورد شده به‌ترتیب در روش محیط خیس‌شده ۷۰٪، آرکانزاس ۶۰٪، محدوده تغییرپذیری ۴۹٪ و تنانت ۲۶٪ میانگین جریان سالانه رودخانه است. روش محدوده تغییرپذیری درصد نسبتاً معقولانه‌تر و قابل‌اجراتری نسبت به سایر شیوه‌ها پیشنهاد داده است که باید حتماً مدنظر مدیران و کارشناسان مربوطه در امر تخصیص حقابه زیست‌محیطی قرار گیرد و می‌توان گفت که این راهکار قادر به حفاظت از رژیم طبیعی جریان برای نگهداری از ارزش‌های اکولوژیکی رودخانه زاینده‌رود و استقرار شرایط مطلوب برای زیستن گونه‌های آبزی است. بنابراین، رویکردهای مذکور به‌خصوص روش محدوده تغییرپذیری با توجه به مزایا و معایبی که دارند و متناسب با شرایط هر پروژه، می‌توانند در امور مدیریتی و برنامه‌های اجرایی مهندسان و متخصصان اکوهیدرولیکی استفاده گردند و به برآورد یک محدوده جریان زیست‌محیطی مطلوب برای رودخانه زاینده‌رود

و مدنظر قرار دادن آن در طرح‌ها و پروژه‌های ساماندهی و احیای رودخانه کمک کنند. براساس شناخت و ریشه‌یابی فاکتورهای محدودکننده مطلوبیت زیستگاه می‌توان شیوه‌های اصلاح رودخانه به‌منظور برگشت به وضعیت مطلوب و طبیعی را ارائه و اجرا کرد تا روند تأثیر فعالیت‌های انسانی را کاهش داد. این اقدامات موجب می‌شود که سطح مدیریت منابع آب در مدیریت حوزه آبخیز زاینده‌رود ارتقا یابد و به حفظ پتانسیل زیستگاه رودخانه و بهره‌برداری بهینه از آن کمک بسیاری می‌کند. جهت توسعه و مطالعات تکمیلی این پژوهش، با در نظر گرفتن شرایط بحرانی رودخانه زاینده‌رود پیشنهاد می‌شود که علاوه بر تکمیل اطلاعات جامع اکولوژیکی رودخانه، از دیگر راهکارهای موجود و توسعه‌یافته جهت ارزیابی جریان موردنیاز زیست‌محیطی برای رودخانه موردمطالعه با تأکید بر ارزش زیستگاهی آن استفاده گردد و مقایسه آن‌ها با رویکردهای انجام‌شده در این پژوهش الزام‌آور است زیرا پیدا کردن مناسب‌ترین و بهینه‌ترین روش برآورد نیاز زیست‌محیطی، از میزان خسارات وارده و اثرات منفی بر زیستگاه‌های رودخانه‌ای و عواقب جبران‌ناپذیر آن برای بهره‌برداران رودخانه می‌کاهد. هم‌چنین ایستگاه‌های هیدرومتری و بازه‌های دیگر رودخانه زاینده‌رود در صورت امکان مورد ارزیابی زیست‌محیطی قرار گیرند.

## تقدیر و تشکر

نویسندگان این پژوهش از جناب آقای مهندس محمدحسن نادری به‌دلیل همکاری و ارائه مشاوره‌های ارزشمند در اجرای پژوهش، و هم‌چنین از داوران مقاله که با نظرات سازنده خود به بهبود متن کمک کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند. هم‌چنین، از مدیران و کارشناسان اداره آب منطقه‌ای استان اصفهان به‌خاطر تسهیل دسترسی به داده‌های مورد نیاز این پژوهش، قدردانی می‌نمایند.

## داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش از اداره آب منطقه‌ای استان اصفهان اخذ شده است.

## تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

## مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله، طرح تحقیق و روش‌شناسی، مشارکت در آنالیزها

نویسنده دوم: اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، نظارت تحقیق

نویسنده سوم: مشارکت در طرح و روش تحقیق، بازبینی مقاله

نویسنده چهارم: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها و اطلاعات مکانی، بازبینی مقاله

## اصول اخلاقی

اصول اخلاقی در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت گردیده است و این موضوع مورد تأیید همه نویسندگان این مقاله است.

## حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مستقیم مالی برخوردار نبوده است.

## منابع


1. Shokoohi, A., & Amini, M. (2013) Introducing a new method to determine rivers' ecological water requirement in comparison with hydrological and hydraulic methods. *Int. J. Environ. Sci. Technol*. 11, 747-756.
2. Ayyoubzadeh, S. A., Sedighkia, M., & Hajiesmaeili, M. (2018). Ecohydraulics and simulation of river habitats. Water engineering research institute Tarbiat Modares University. 288p. [In Persian]
3. Mostafavi, S. (2013). Evaluation of environmental flow in river using eco-hydrological methods (Case study: The Barandoozchi river). The thesis for the master of science degree in Water Resources Engineering. Faculty of Agriculture. University of Urmia. 137p. [In Persian]
4. Alizadeh, S. (2017). Evaluation of environmental flows in the Ajichay river using eco-hydrological methods. The thesis for the master of science degree in Hydraulic Structures. Department of Water Engineering. Faculty of Agriculture. University of Urmia. 154p. [In Persian]
5. Sedighkia, M., Ayyoubzadeh, S. A., & Hajiesmaeili, M. (2015). Investigation on the necessities of Instream Flow Needs assessment in the rivers using hydro-ecological methods (Case study: Delichai river in Tehran, Iran). *Journal of Ecohydrology.* 2 (3), 289-300. [In Persian]
6. Keykhaei, M., Dalalzadeh, A., Pourabadeh, T., & Zadbagher, E. (2016). The effect of releasing the minimum environmental flow of the Zayandehroud river at Pol Khajou station on the river ecosystem in Isfahan city. P 74-83. 10th International River Engineering Conference. Shahid Chamran University. Ahvaz. Iran. [In Persian]
7. Kiani, N., Majdzadeh Tabatabaei, M., Moridi, A., & Mousavi Nedushani, S. (2016). Determining the environmental flow of Zayandehroud river by hydraulic method according to the indicator species. P 107-114. 3rd Conference & Exhibition of Future Environmental Crisis. Tehran. Iran. [In Persian]
8. Hayatgheibi, F., Shahnoushi, N., Ghahreman, B., Samadi Borujeni, H., Ghorbani, M., & Sabouhi Sabouni, M. (2021). Environmental flow assessment of karun river in upstream and downstream of Beheshtabad dam. *Journal of Water and Soil.* 35 (3), 319-333. [In Persian]
9. Naderi, M. H., Arab, N., Jahandideh, O., Salarijazi, M., & Arab, A. (2021). Estimation of optimal release flow range from jamishan dam considering the optimal instream ecological water demand for conservation the habitat potential of the Dinavar river. *Journal of Water and Soil*. 35 (2), 203-225. [In Persian]
10. Taheri Gorji, Sh., Moridi, A., & Majdzadeh Tabatabaei, M. R. (2022). Role of flow naturalization in estimating environmental flow by hydraulic and hydrological approaches. *Journal of Water and Irrigation Management.* 12 (3), 615-628. [In Persian]
11. 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, 3490-3498.
12. 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 Science*. 75, 2-8.
13. Stewardson, M. J., Webb, J. A., & Horne, A. (2017). Environmental flows and eco-hydrological assessments in rivers. decision making in water resources policy and management: An Australian Perspective. December. 113-132.

14. Chen, A., Wu, M., Shen, D., & Song. Sh. (2022). Developing a decision support evaluation model based on the matter element analysis method to optimize the environmental flows in dammed rivers. *Water*. 14, 1-17.
15. Stuart, I. G., & Sharpe, C. P. (2022). Ecohydraulic model for designing environmental flows supports recovery of imperilled Murray cod (*Maccullochella peelii*) in the Lower Darling–Baaka River following catastrophic fish kills. *Marine and Freshwater Research*. 73, 247-258.
16. Shirani, K., Chitsaz, V., & Modares, R. (2006). Development of river information database in Zayandehroud basin using geographic information systems. P 55-62. 1st Conference on Optimum Utilization of Water Resources. Shahrekourd. Iran. [In Persian]
17. Ahmadi Toudechki, M. (2016). Computation of river minimum flow and estimation of economic losses (Case study: Zayandeh Rood river basin). The thesis for the master of science degree in Water Resources Engineering. Faculty of Agriculture. Shahid Bahonar University of Kerman. 81p. [In Persian]
18. Postel, S. L., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (1996). Human appropriation of renewable freshwater. *Science*. 271, 785-788.
19. Moore, M. (2004). Perceptions and interpretations of environmental flows and implications for future water resources management – A Survey Study, Master Thesis, Department of Water and Environmental Studies, Linkoping University, Sweden, 67 p.
20. Tenant, D. L. (1976). Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*. 1, 6-10.
21. Filipek, S. P., Keith, W. E., & Giese, J. (1987). Status of the instream flow issue in Arkansas. *Journal of the Arkansas Academy of Science*. 41 (1), 43-8.
22. Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J., & Braun, D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conserv. Biol*. 10 (4), 1163-1174.
23. Suxia, L., Xingguo, M., Jun, X., Changming, L., Zhonghui, L., Baohui, M., & Lina, J. (2006). Estimating the minimum in-stream flow requirements via wett perimeter method based on curvature and slope techniques. *Journal of Geographical Sciences*, 16 (2), 242-250.
24. Gipple, C. J., & Stewardson, M. J. (1998). Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. Regulated Rivers: *Research and Management.* 14, 53-67.
25. Naderi, M. H., Zakerinia, M., & Salarijazi, 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). Ecohydrology. 5 (3), 941-955. [In Persian]
26. Morid, R., Delavar, M., & Eagderi, S. (2015). Impact assessment of climate on environmental flows by using hydrological indicators – Case stude of Kordan River. *Journal of natural environment, natural resources of Iran*, 69 (4), 1109-1127. [In Persian]
27. Daiechini, F., Vafakhah, M., & Moosavi, V. (2020). Impacts of the Golestan and Voshmgir Dams on Indicators of Hydrologic Alterations in the Gorganroud River Using Range of Variability Approach. *Ecohydrology*, 7 (3), 595-607. [In Persian]
28. Khosravi, GH., Sadodin, A., Ownegh, M., Bahremand, A., & Mostafavi, H. (2019). Classification and identification of changes in river flow regime using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) Case study: (The Khormarud River- Tilabad Watershed- Golestan Province). *Ecohydrology*. 6 (3), 651-671. [In Persian]
29. Atatie Kachouie, Z. (2018). Calculation and assessment of environmental flow using hydraulic and hydrological

30. Zargari, A. (2021). Estimation of the environmental flow of the Gorganroud river using different hydrological. The thesis for the master of science degree in Water and Soil Engineering, Faculty of Agriculture, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 94p. [In Persian]

methods (Case study: Dez diversion check dam to Karun river). The thesis for the master of science degree in Department of Hydrology and Water Resources, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. 102p. [In Persian]