Journal of Iranian Water Engineering Research

Research Article, P. 55-70
https://doi.org/10.22034/ijwer.2025.513518.1071

Explaining the application of hydraulic and hydrological methods in estimating the environmental water requirement of the Tajan River

Javad Vejahat[1*], Shadi Saraf[2]

[1]MSc Graduated, Department of Irrigation and Development Engineering, University of Tehran, Consulting Engineer, Tehran, Iran
[2]MSc Graduated, Department of Water Engineering, Sari Agricultural and Natural Resources University, Sari, Iran

Corresponding Author's E-mail: J.vejahat@ut.ac.ir

Received: **18 Apr. 2025** Accepted: **19 Oct. 2025**
Revised: **20 July 2025** Published: **22 Dec. 2023**

Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Abstract: The present study was conducted to assess the environmental needs of the Tajan River in Mazandaran Province. The results showed that the average environmental flow in the Tajan River using different methods had some differences according to the desired method and, on the other hand, the construction of the dam led to the amount released not being in good agreement with the calculated amount. The highest value obtained in the flow continuity transfer curve method was equal to 25 cubic meters per second, so that in these conditions, from a management perspective, it is in the biological class with the approach of maintaining the minimum biological conditions of the river. The average flow rate in the presence of the dam during release days is about 16 cubic meters per second, which is relatively consistent with the values calculated in other methods.

Keywords: Shahid Rajaee Dam, Sari, Tannat, Flow rate

Introduction: In order to estimate the environmental water rights of rivers in the sustainable management of water resources and the preservation of ecosystems in watersheds, various methods are examined, taking into account hydrological, ecological, and hydraulic conditions, and flexibility and compatibility with the region. Methods for determining environmental flows are classified into four groups: hydrological, hydraulic, habitat simulation, and comprehensive. The evaluations conducted indicate that the assessment of environmental needs in important rivers is a priority and therefore it is necessary to estimate them in accordance with the conditions of the region. In this regard, this important issue has been carried out in the present study using hydrological methods as a case study in the Tajan River using statistical data collected during the water years 1370-1395. Among the most important research sources on the issue under consideration in this study are the findings of Ghurghi and Khaledi, 2016, Rajaei et al., 2021, Naderi et al., 2021, Tasnim et al., 2023, and Behboudian et al., 2023.

Methodology: The Tajan River basin, with an area of about 4015.88 square kilometers and geographical coordinates of 52 degrees and 56 minutes to 54 degrees and 59 minutes east longitude and 35 degrees and 56 minutes to 36 degrees and 49 minutes north latitude, is located in Zone 39 of the UTM geographical system in Mazandaran Province. The perimeter of the basin is close to 414 kilometers due to its large extent and elongation. The Shahid Rajaee Reservoir Dam is a double-arch concrete type that was built on the Tajan River about 40 kilometers south of Sari city at the location of Soleiman-Tangeh with a geographical longitude of 53 degrees and 13 minutes and a geographical latitude of 36 degrees and 14 minutes. Figure 1 shows the location of the Tajan watershed in Mazandaran province. The distinction and innovation aspect of this research compared to research on a similar subject is based on the fact that, at first, one of the rivers in the north of the country, which is located in the vicinity of the main and important dam in the study area, was studied. Secondly, the assessment of the effects of dam construction is very extensive and in addition to evaluating the hydrological characteristics on the river flow conditions, the situation resulting from its impact on other parameters is also carried out. The selection of a station (hydrometry) to analyze the flow conditions in the Tajan River depends on the location of the dam in the region. For this purpose, the statistics of the stations obtained from the Regional Water Company of Mazandaran

Province are evaluated with respect to the dispersion of the stations relative to the dam. Table 1 presents the locations of the hydrometric stations used.

Results and Discussion: This study was conducted to investigate the environmental characteristics and impacts of Shahid Rajaee Dam on the conditions of the study area. In addition, using hydraulic and hydrological methods, the amount of environmental flow of this river in the upstream and downstream stations was estimated and its impact on the characteristics of the river was presented. The chemical quality of Tajan River water for agricultural purposes was determined as C2S1 based on the minimum and maximum changes in the average values of two factors: sodium absorption coefficient and electrical conductivity according to the Wilcox classification. In terms of drinking, the quality of river water in all study stations was acceptable in terms of total hardness and concentration of dissolved substances in the upstream and middle areas. Biologically, in all studied stations, the river water is unsuitable for drinking purposes and requires purification and chlorination. Monthly flow rate changes at two stations, Soleiman-Tangeh and Rig-Cheshmeh, as upstream and downstream stations of the dam, were investigated during the 26-year statistical period from 1991 to 2016. The results for Soleiman-Tangeh station indicate flow control in the periods after the construction of the dam from the beginning of the water year to Farvardin. After that, due to the release of flow during the cultivation seasons, the peak flow value increases significantly compared to before the construction of the dam. In the hydrological method, the flow continuity curve transfer method, Tannat and Tasman, and in the hydraulic method, the wetted medium method were used as appropriate approaches in this regard. The results indicated that the average environmental flow in the Tajan River using different methods was different according to the desired method, and on the other hand, the construction of the dam led to the released amount not being in good agreement with the calculated amount. The highest value obtained in the flow continuity transfer curve method was 25 cubic meters per second, so that in these conditions, from a management perspective, it is in biological class C with the approach of maintaining the minimum biological conditions of the river. The average flow value in the presence of the dam during the release period is about 16 cubic meters per second, which is relatively consistent with the values calculated in other methods. Tables 12 and 13 and 14 and Figures 5 to 11 presents the Results.

Conclusion: The amount of released flow is about one-third of the minimum environmental flow required by the river downstream. Comparing the statistics of the two stations shows that the changes in water quality parameters at the Sulayman-Tangeh station are more noticeable than at other stations. Also, the changes in parameters at the Rig-Cheshmeh station are significant compared to Sulayman-Tangeh. The study of environmental flow conditions and also flow quality after the construction of the dam indicates that despite the fact that the amount of released flow is about one-third of the environmental requirement obtained from the flow continuity curve method, for various reasons such as high groundwater levels, appropriate rainfall in the basin, temporal distribution of rainfall, etc., no serious problems have been observed, and as a result, no significant changes have been observed in the environmental characteristics and quality characteristics.

© 2023 University of Zabol, Zabol, Iran.

This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

نشریه علمی
پژوهش‌های مهندسی آب ایران

مقاله پژوهشی، ص ۷۰-۵۵
https://doi.org/10.22034/ijwer.2025.513518.1071

تبیین کاربرد روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی در برآورد نیاز آبی-زیست‌محیطی رودخانه تجن

جواد وجاهت[1*]، شادی صراف[2]

[1] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، مهندس مشاور، تهران، ایران
[2] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

پست الکترونیکی نگارنده مسئول: j.vejahat@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹ تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱
وبگاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir

چکیده: پژوهش حاضر به منظور ارزیابی نیاز زیست‌محیطی رودخانه تجن در استان مازندران صورت گرفت. با استفاده از روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی، مقدار جریان زیست‌محیطی این رودخانه در محدوده سد شهید رجایی برآورد شد و میزان اثرگذاری آن بر کیفیت مصارف شرب، کشاورزی و بیولوژیکی این رودخانه ارائه گردید. کیفیت شیمیایی آب رودخانه تجن از نظر مصارف کشاورزی مطابق با طبقه‌بندی ویلکاکس در حد خوب و در رده C2S1، از نظر شرب به دلیل تاثیر آب دریا و ورود پساب زهکش‌های مزارع از کیفیت مناسبی برخوردار نبوده و در مواقع سیلابی نیز به دلیل افزایش مواد جامد معلق کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب جهت شرب نیز نامناسب می‌گردد. از حیث بیولوژیکی، مجموع تعداد کلی فرم‌ها به‌دلیل تراکم کم مراکز شهری و پایین بودن جمعیت در مناطق بالادست رودخانه تجن نسبت به سد کم می‌باشد. نتایج مشخص نمود که متوسط جریان زیست‌محیطی در رودخانه تجن با استفاده از روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی و از سوی دیگر، احداث سد منجر شده تا مقدار رهاسازی شده با مقدار محاسباتی تطابق چندانی نداشته باشد. بیشترین مقدار به‌دست‌آمده در روش منحنی انتقال تداوم جریان و برابر با ۲۵ مترمکعب در ثانیه بوده به‌نحوی‌که در این شرایط از نظر مدیریتی در طبقه زیستی با رویکرد حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه قرار دارد. مقدار متوسط جریان در شرایط وجود سد در ایام رهاسازی حدود ۱۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد که این مقدار با مقادیر محاسبه‌شده در سایر روش‌ها همخوانی نسبی دارد.

کلیدواژه‌ها: سد شهید رجایی، ساری، تنانت، دبی جریان

۱- مقدمه

استفاده بهینه از منابع آبی یکی از عوامل اصلی ایجاد سازه‌های مختلف بر روی رودخانه‌ها و سایر سامانه‌های آبی می‌باشد. ایجاد و احداث هر سازه‌ای مستلزم طی مطالعات گسترده با هدف لحاظ عوامل موثر در طرح می‌باشد. یکی از مهم‌ترین بخش‌های مطالعات، ارزیابی تاثیر طرح بر شرایط زیست‌محیطی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. علاوه بر این اعمال میزان آب مورد نیاز با هدف حفظ اکوسیستم نکته مهم و حائز اهمیتی است که باید در نظر گرفته شود. بروز اتفاقات مختلف در طرح‌های منابع آب ناشی از عدم رعایت رویکردهای مختلف زیست‌محیطی و بهداشتی در

مدیریت کاربرد و مصرف آب می‌باشد، بنابراین ضروری است تا این مهم همواره در نظر گرفته شود. این امر موازی با سایر پارامترهای فنی و نیازها شامل شرب، صنعت و کشاورزی یکی از مولفه‌های اصلی تشکیل‌دهنده نیاز آبی پایین‌دست می‌باشد.

به منظور تخمین حق‌آبه زیست‌محیطی رودخانه‌ها به منظور مدیریت پایدار منابع آبی و حفظ اکوسیستم‌های موجود در حوضه‌های آبخیز، روش‌های مختلف با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی، اکولوژیکی، هیدرولیکی با توجه بده سازگاری با منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی در چهار گروه هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه و جامع‌نگر طبقه‌بندی می‌شوند. تحقیقات گسترده‌ای به منظور ارزیابی میزان جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها با استفاده از شرایط مختلف صورت گرفته است که در ادامه به برخی از مهم‌ترین و آخرین آن‌ها و نتایج یافته‌ها اشاره می‌شود.

قورقی و خالدی به بررسی کارایی مدل‌های برآورد بار رسوبی معلق در شمال و غرب ایران در رودخانه قره‌سو و تجن پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مقدار رسوب معلق تخمینی در روش‌های منحنی سنجه معمولی و LQMLE در حالت روش کلی و سال پرآب و کم‌آب در ایستگاه قورباغستان کمتر از مقدار مشاهده‌ای بوده و در روش‌های CF1، CF2، FAO و LQMLE در حالت فصول هیدرواقلیمی، فصول اصلی و روش ترکیبی بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای بوده است (Ghurghi and Khaledi, 2016).

حاجی بیگلو و بردی به بررسی مکان‌یابی ایجاد تالاب‌های رودخانه‌ای در حوزه‌های آبخیز در رودخانه تجن در استان خراسان رضوی پرداختند. آن‌ها دریافتند که در دو موقعیت از چهار موقعیت مورد بررسی که در محدوده جنگل جهان‌بانی سرخس قرار دارند براساس مطالعات هیدرولیک جریان و ریخت‌شناسی رودخانه، به‌دلیل سرعت کم جریان آب و عریض بودن رودخانه در این بازه‌ها، می‌توان عملیات احیاء پوشش گیاهی و تالاب را اجرایی نمود (Hajibeigloo and Berdi, 2018). رجایی و همکاران به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز رودخانه تجن با تکیه بر سنجه‌های سیمای سرزمین پرداختند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی تغییرات کاربری اراضی و تجزیه و تحلیل سیمای سرزمین در دوره‌های زمانی مختلف، شامل سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۰ پرداخته شد. جهت بررسی چگونگی روند تغییرات کاربری و سیمای سرزمین در افق زمانی آینده از مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) استفاده شد. شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) نشان داد اراضی جنگلی پوشش غالب در کل دوره است. هم‌چنین افزایش سنجه تراکم حاشیه (ED) در طی دوره آینده در هر سه کاربری مرتع، جنگل و کشاورزی نشان می‌دهد که حوضه تجن خیلی متفاوت‌تر از حال حاضر خواهد شد. (Rajaei et al., 2021).

نادری و همکاران به بررسی، طراحی و تحلیل رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و مدل اکوهیدرولوژیکی شبیه‌سازی زیستگاه پرداختند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی هیدرولیکی و تحلیل سری زمانی در تحقیق آن‌ها نشان داد که دبی جریان در زیستگاه با استفاده از منحنی‌های شاخص مطلوبیت، محدوده رژیم جریان مورد نیاز برای تامین پتانسیل اکولوژیکی زیستگاه گونه شاخص بین ۲/۴۹ و ۰/۵۸ مترمکعب در ثانیه با دبی میانگین ۱/۲۵ مترمکعب در ثانیه سالانه (معادل ۵۹ درصد جریان طبیعی رودخانه) می‌باشد. علاوه بر این، توزیع مطلوبیت زیستگاهی در طول رودخانه زرین‌گل، تحت تاثیر پارامترهای هندسی، هیدرولیکی و میزان دبی جریان بیانگر شرایط مطلوب زیستگاهی گونه سیاه‌ماهی در محدوده پایین‌دست و شرایط ضعیف در محدوده بالادست رودخانه می‌باشد (Naderi et al., 2021). نادری و همکاران به بررسی و تحلیل جنبه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در طراحی رژیم جریان ایده‌آل و بهینه زیست‌محیطی به منظور حفاظت از اکوسیستم رودخانه قره‌سو پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که به منظور حفاظت از رودخانه قره‌سو در حداقل شرایط زیست‌محیطی قابل قبول، روش انتقال منحنی تداوم جریان با دبی ۰/۹۶ مترمکعب بر ثانیه در کلاس مدیریت C (معادل ۵۳ درصد دبی طبیعی رودخانه) به دلیل در نظر گرفتن کلاس‌های مختلف اکولوژیکی و

انعطاف‌پذیری آن نسبت به تغییرات جریان ماهانه رودخانه مورد مطالعه، نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. همچنین آن‌ها دریافتند که روش‌های دیگر تامین جریان زیست‌محیطی مقادیر بالاتر از ۲۰ درصد میانگین جریان سالیانه را تامین می‌کند که محافظت بهتر جریان را برای زیستگاه رودخانه فراهم می‌کنند (Naderi et al., 2021).

حیات‌غیبی و همکاران برآورد حداقل جریان آب زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه کارون در بالادست و پایین‌دست سد بهشت‌آباد را بررسی نمودند. براساس نتایج حاصل در بالادست محل سد، حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه بهشت‌آباد بین ۱/۲۲ مترمکعب بر ثانیه برای شهریور تا ۱۶/۷۵ مترمکعب بر ثانیه برای فروردین برآورد شده است. حداقل جریان زیست‌محیطی برآورد شده برای رودخانه کوهرنگ نیز از ۳/۶۹ مترمکعب بر ثانیه برای شهریور تا ۱۶/۸۱ مترمکعب بر ثانیه برای فروردین متغیر می‌باشد (Hayatgheibi et al., 2022).

کریم و همکاران تعیین نیاز آبی محیط‌زیستی زیرحوزه‌های رودخانه کرج با استفاده از رویکرد منحنی تداوم و شاخص‌های تغییرپذیری جریان را ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که روش منحنی تداوم جریان Q_{95} بالاترین و تنانت اصلاح‌شده وزارت نیرو کمترین مقادیر را برآورد می‌کنند (Karimi et al., 2022). یی و همکاران با مدل‌سازی مطلوب زیستگاه آبزیان با استفاده از مدل یک‌بعدی شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه نشان دادند که در پروژه‌های احیا و باز زنده‌سازی زیستگاه رودخانه، با ارزیابی شاخص‌های مطلوب زیستگاه در مراحل مختلف زندگی‌گونه شاخص، بایستی اقدامات لازم جهت تنظیم جریان اکولوژیکی را به عمل آورد (Yi et al., 2017).

مِزگر و همکاران برقراری جریان‌های زیست‌محیطی را به عنوان ابزاری کارآمد برای مدیریت آب در کاهش تاثیر تغییرات رژیم جریان هیدرولوژیکی رودخانه و در دستیابی به وضعیت اکولوژیکی قابل قبول توصیف کردند. نتایج بیانگر آن است که استفاده از رویکردهای مدیریتی از جمله ارزیابی دقیق منابع، مطالعات اجتماعی، تبیین وضعیت زیست‌محیطی و ... نقش بسزایی در برقراری جریان زیست‌محیطی ایفا می‌نماید (Mezger et al., 2019). حمیدی‌فر و همکاران ارزیابی تخصیص نیاز آبی زیست‌محیطی در رودخانه‌های دارای سد و نیروگاه با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی پرداختند. نتایج نشان داد که اگرچه تامین جریان زیست‌محیطی در برخی ماه‌ها به طور متوسط در شرایط نسبتا قابل قبولی قرار دارد، اما کمبودی در تخصیص نیاز آبی زیست‌محیطی در محدوده ۱/۹۲ تا ۳۰/۲ درصد از کل تخم ماهی‌ها در دوره تخم‌ریزی گونه ماهی غالب وجود دارد (Hamidifar et al., 2022).

هائو و همکاران به بررسی روش ارزیابی آستانه تقاضای آب اکولوژیکی پوشش گیاهی طبیعی در منطقه خشک حوضه رودخانه داخلی بر اساس داده‌های ماهواره‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین حداقل و بهینه شاخص توسعه پوشش گیاهی به ترتیب ۱۰۵/۴۵ و ۱۳۵/۵۳ میلی‌متر است (Hao et al., 2023). تسنیم و همکاران ارزیابی جریان محیطی با روش هیدرولوژیکی در سامانه رودخانه داکا را انجام دادند. تجزیه و تحلیل صورت گرفته نشان‌دهنده آن است که در دسترس بودن آب به طور رضایت بخشی بالاتر از نیاز جریان زیست‌محیطی در تمام رودخانه‌های پیرامونی داکا به‌جز رودخانه توراگ در فصلی که جریان کمتر از میزان متوسط است، می‌باشد (Tasnim et al., 2023).

بهبودیان و همکاران افزایش انعطاف‌پذیری رویکرد اکوسیستم تحت رویدادهای شدید در سامانه‌های اجتماعی - هیدرولوژیکی را در قالب یک تحلیل مکانی- زمانی بررسی نمودند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سناریوی WERM SC12346 می‌تواند مقادیر معیار تاب‌آوری را در زیرحوضه‌ها تا ۰/۸۵ بهبود بخشد و آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه را نسبت به خشک‌سالی کاهش دهد (Behboudian et al., 2023) ارزیابی‌های صورت گرفته بیانگر آن است که بررسی نیاز زیست‌محیطی در رودخانه‌های مورد بررسی از اولویت برخوردار بوده و بنابراین ضروری است تا متناسب با شرایط منطقه برآورد شوند. در این راستا این مهم در پژوهش حاضر با استفاده از روش هیدرولوژیکی به‌صورت مطالعه موردی در رودخانه تجن با استفاده از آمار داده‌های برداشت‌شده در طی سال‌های آبی ۱۳۹۵-۱۳۷۰ صورت گرفته است.

وجه تمایز و جنبه نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های دارای موضوع مشابه مبتنی بر این است که در وهله اول به بررسی یکی از رودخانه‌های شمال کشور که در مجاورت سد در محدوده مورد مطالعه قرار دارد پرداخته شده‌است. در وهله دوم ارزیابی صورت گرفته از تاثیرات ساخت سد بسیار گسترده بوده و علاوه بر ارزیابی خصوصیات هیدرولوژیکی بر شرایط جریان آب رودخانه، وضعیت ناشی از اثرگذاری آن بر سایر پارامترها نیز صورت می‌گیرد. انتخاب ایستگاه (هیدرومتری) به منظور تحلیل شرایط دبی جریان در رودخانه تجن وابسته به موقعیت سد در منطقه می‌باشد.

۲- روش‌شناسی

حوضه آبریز رودخانه تجن با وسعتی حدود ۴۰۱۵/۸۸ کیلومترمربع و مختصات جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی در زون ۳۹ سیستم جغرافیایی UTM در استان مازندران واقع شده است. طول محیط حوضه به دلیل گستردگی و کشیدگی زیاد نزدیک به ۴۱۴ کیلومتر است. شاخه‌بندی رودخانه تجن نیز ترکیبی از شاخه‌بندی دندریتی و موازی می‌باشد (Razaghi et al., 2019). در شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز رودخانه تجن مشخص شده است.

به لحاظ فیزیوگرافیکی، حوضه آبریز رودخانه تجن به ۵ زیرحوضه به شرح زیر تقسیم می‌شود که در شکل ۲ نیز مشخص شده است (Mostafavi and yasi, 2016):

- زیرحوضه سفیدرود و شیرین‌رود (زیرحوضه دودانگه)
- زیرحوضه چهاردانگه
- زیرحوضه زارم‌رود
- زیرحوضه تجن

سد مخزنی شهید رجائی از نوع بتنی دو قوسی است که در حدود ۴۰ کیلومتری جنوب شهر ساری در محل سلیمان‌تنگه با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه بر روی رودخانه تجن احداث شده است.

طول تاج سد ۴۲۷ متر، ارتفاع از پی ۱۳۸ متر، حجم کل مخزن ۱۶۲ میلیون مترمکعب و مساحت دریاچه سد در رقوم سرریز ۵۲ کیلومترمربع می‌باشد. عملیات اجرایی سد در سال ۱۳۷۶ پایان و در اول فروردین ۱۳۷۷ به بهره‌برداری رسیده است. حوضه آبریز سد شهید رجایی یکی از زیرحوضه‌های رودخانه تجن و با وسعت حدود ۱۲۲۴ کیلومترمربع می‌باشد.

آمار داده‌های مربوط به خصوصیات کمی و کیفی اخذشده از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران که مربوط به داده‌های آماری سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۵ به مدت ۲۶ سال می‌باشد، با توجه به پراکندگی ایستگاه‌ها نسبت به سد ارزیابی می‌گردد. لازم به ذکر است با توجه به تعداد داده‌های موجود، کیفیت داده‌های موردنظر و همچنین اهداف موردنظر در انجام پژوهش حاضر، داده‌ها از کفایت لازم برخوردار می‌باشند. رایج‌ترین روش‌هایی که در تعیین جریان زیست‌محیطی کاربرد دارند شامل روش تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان و هیدرولیک محیط خیس شده می‌باشد که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند که به طور مختصر در بخش‌های مربوطه تشریح شده‌اند. در جدول ۱ شمایی از وضعیت ایستگاه‌های هیدرومتری رودخانه تجن مشخص شده است.

موقعیت و محل قرارگیری ایستگاه‌ها در مجاورت سد در نواحی بالادستی و پایین‌دستی آن پراکنده شده است. از سوی دیگر بررسی داده‌ها و ارزیابی آماری آن‌ها در تعیین ایستگاه‌ها تاثیرگذار می‌باشد. از این‌رو با در نظر گرفتن جمیع جوانب ایستگاه‌های سلیمان‌تنگه و ریگ‌چشمه به منظور بررسی و تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مصارف کشاورزی

بر اساس نتایج حاصل از بررسی‌های به‌عمل‌آمده از اندازه‌گیری غلظت املاح محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC و pH) و آنیون‌ها و کاتیون‌های اصلی موجود در آب

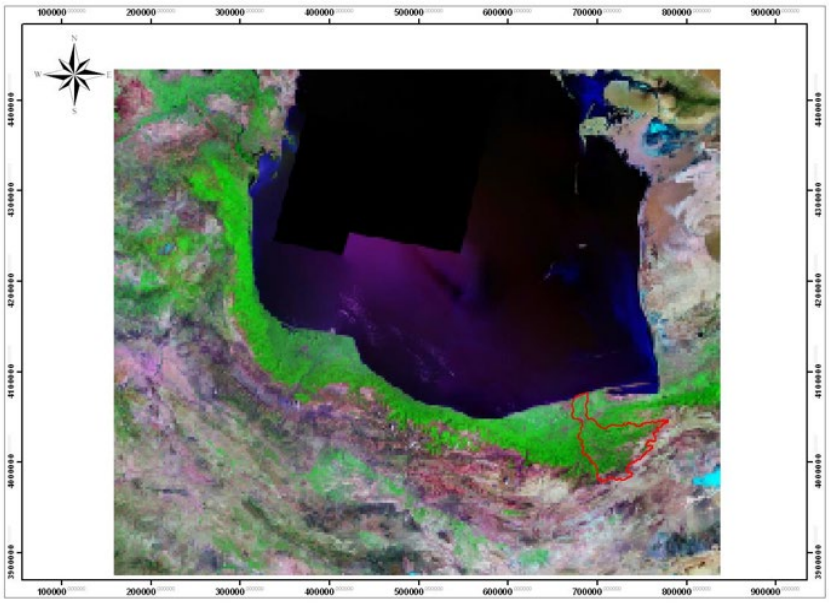

Fig. 1 Location of Tajan watershed in Mazandaran province

شکل ۱ موقعیت حوضه آبریز تجن در استان مازندران

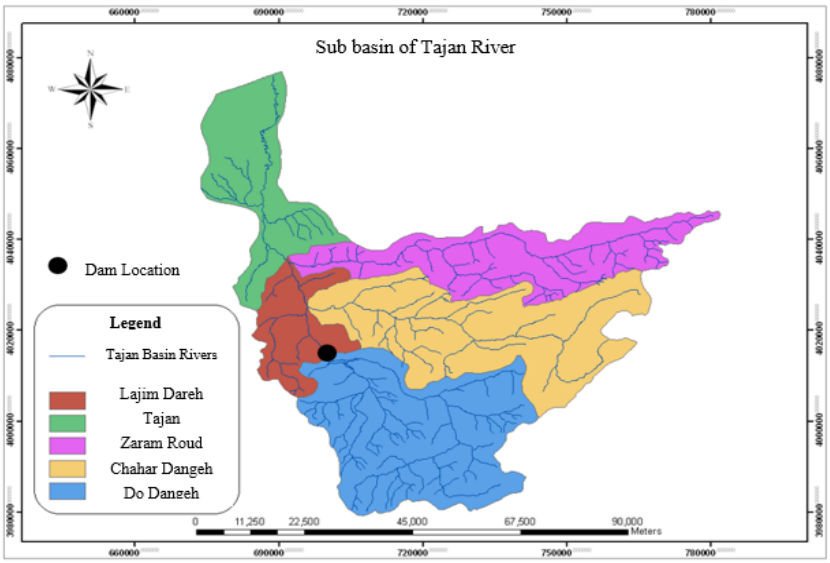

Fig. 2 Tajan River Sub-basins

شکل ۲ زیرحوضه‌های رودخانه تجن

جدول ۱ ایستگاه‌های هیدرومتری در رودخانه تجن

Table 1 Hydrometric stations on the Tajan River

Row	Station	El (m)	Area (ha)	UTM	
				X	Y
1	Soleiman Tange	386	1250	700138	4014343
2	Rig Cheshme	223	2715	695134	4027768
3	Kordkhil	506	800	708390	4013722

رودخانه تجن را می‌توان بر اساس دیاگرام ویلکاکس در جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل‌ها در آزمایشگاه معتمد ارزیابی و مورد استفاده قرار گرفته است. در جدول ۳ کیفیت شیمیایی آب رودخانه تجن در ایستگاه‌های هیدرومتری موردنظر ارائه شده است (Razaghi et al., 2019).

جدول ۲ طبقه‌بندی کیفی آب از نظر Ec و SAR جهت مصارف کشاورزی

Table 2 Water quality classification in terms of Ec and SAR for agricultural uses

Salinity class	Salinity factor changing limit (µm/cm)	Salinity class	Alkali factor changing limit (l/mg)
C1	100 - 250	S1	0 - 10
C2	250 - 750	S2	10 - 18
C3	750 - 2250	S3	18 - 26
C4	>2250	S4	>26

جدول ۳ کیفیت شیمیایی آب رودخانه تجن جهت مصارف کشاورزی در طول دوره آماری

Table 3 Chemical quality of Tajan River water for agricultural use during the statistical period

Station	EC	SAR	Qualitative class
Soleiman Tange	C1	S1	Good
Rig Cheshme	C2	S2	Good
Kordkhil	C4	S4	Not bad

کیفیت شیمیایی آب رودخانه تجن از نظر مصارف کشاورزی بر اساس تغییرات حداقل و حداکثر میانگین مقادیر دو عامل ضریب جذب سدیم و هدایت الکتریکی مطابق با طبقه‌بندی ویلکاکس در تمامی مسیر رودخانه در حد خوب و به‌صورت C2S1 بوده؛ ولی در نواحی پایاب، همان‌گونه که در نتایج نیز مشخص نمود، تحت تاثیر ورود املاح مختلف موجود در پساب‌ها و آب‌های برگشتی کشاورزی و نیز پیشروی آب لب‌شور دریای خزر با محدودیت نسبی مواجه است به‌طوری که در ایستگاه کردخیل در حد قابل قبول C3S1 می‌باشد. میانگین TDS در مناطق بالادست و حوضه میانی رودخانه قبل از ورود به دشت کمتر و حتی در روزهای کم‌آبی نیز از ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر کمتر است؛ درحالی‌که در مناطق انتهایی دشت به دلیل اینکه رودخانه تجن آب‌های زیرزمینی منطقه را زهکشی می‌نماید غلظت املاح محلول افزایش می‌یابد.

۳-۲- مصارف شرب

بررسی آب رودخانه تجن جهت مصارف شرب از جمله پارامترهای مهم از نظر مصارف شرب شامل سختی کل و غلظت مواد محلول می‌باشد که مطابق با طبقه‌بندی شولر صورت می‌گیرد. در جدول ۴ نتایج حاصل از ارزیابی بررسی کیفیت آب شرب رودخانه تجن و همچنین در جدول ۵ کیفیت شیمیایی آب رودخانه تجن جهت مصارف شرب در طول دوره آماری ارائه شده است (Razaghi et al., 2019).

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از پایاب (ایستگاه کردخیل) که تحت تاثیر شوری آب دریا قرار دارد و نیز زهکش آب‌های زیرزمینی بخش انتهایی دشت و ورود پساب‌های مزارع و کشتزارها و زهکش‌های سطحی (به‌ویژه مصرف بالای کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات نباتی در فصول زراعی) موجب کاهش کیفیت آب جهت مصارف شرب می‌گردد. در مواقع سیلاب که میزان مواد جامد معلق در رودخانه تجن به‌شدت افزایش می‌یابد، کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب جهت شرب نیز نامناسب می‌گردد.

۳-۳- کیفیت بیولوژیکی آب رودخانه تجن

آب‌ها در طبیعت معمولا عاری از میکروب‌های زیان‌آور می‌باشند ولی به‌واسطه وجود فاضلاب انسانی و یا فضولات حیوانی و نیز پساب‌های میکروبی نظیر پساب‌های مراکز بهداشتی و خانگی آلوده می‌شوند (Tharme, 2003).

اشریشاکلی نوعی کلی‌فرم است که وجود آن در آب‌ها نشانه قطعی آلودگی آب‌ها از طریق ورود فاضلاب‌های انسانی و یا فضولات حیوانی می‌باشد. از این رو ضرورت ارزیابی وضعیت سلامت بیولوژیکی رودخانه تجن در ادامه ارائه شد شایان‌ذکر است که ارزیابی خصوصیات بیولوژیکی در نواحی متفاوت از ایستگاه‌های ذکرشده در جدول ۶ و در همان محدوده و در جدول ۷ تعداد باکتری‌های کلی‌فرم در ایستگاه‌های منتخب رودخانه تجن ارائه شده است.

پایین بودن مجموع تعداد کلی فرم‌ها به‌ویژه کلی‌فرم‌های مدفوعی و باکتری‌های بیماری‌زا در ایستگاه ۱ و ۲ نسبت به سایر ایستگاه‌ها ناشی از تراکم کم مراکزی شهری و پایین بودن جمعیت مناطق بالادست رودخانه تجن نسبت به سد می‌باشد. آلودگی میکروبی موجود در این دو ایستگاه با توجه به بررسی صورت گرفته از کلی فرم‌ها ناشی از ورود فاضلاب‌های انسانی در روستاهای زیرحوضه سد شهید رجایی به علت تراکم جوامع روستایی در مجاورت رودخانه‌ها و عدم دفع مناسب و اصولی فاضلاب‌های انسانی و دامی و

جدول ۴ طبقه‌بندی کیفی آب از نظر TDS و TH جهت مصارف شرب

Table 4 Water quality classification in terms of TDS and TH for drinking purposes

TDS changing limit (l/mg)	TDS class	TH factor changing limit (l/mg)	TH class
TH1	50-200	TD1	100-500
TH2	200-500	TD2	500-1000
TH3	500-1000	TD3	1000-2000
TH4	1000-2000	TD4	2000-4000
TH5	2000-4000	TD5	4000-8000
TH6	>4000	TD6	>8000

جدول ۵ کیفیت شیمیایی آب رودخانه تجن جهت مصارف شرب در طول دوره آماری

Table 5 Chemical quality of Tajan River water for drinking purposes during the statistical period

Station	TDS	TH	Qualitative class
Soleiman Tange	TDS1	TH3	Not bad
Rig Cheshme	TDS2	TH3	Not bad
Kordkhil	TDS3	TH3	bad

جدول ۶ موقعیت ایستگاه‌های موردنظر جهت بررسی خصوصیات بیولوژیکی

Table 6 Location of stations to be used for biological characteristics

Station No	Name
1	Soleiman Tange (dam loc)
2	1.5 km down of dam loc
3	Tajan bridge
4	Mouth (1 km before sea)

دفع مواد زائد جامد (زباله‌ها) و رهاسازی بخشی از آن در رودخانه‌ها می‌باشد.

بررسی شرایط نیاز جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی بررسی شده و با مقایسه مقادیر آن‌ها با منحنی تغییرات دبی ماهانه ایستگاه‌های سلیمان تنگه و ریگ‌چشمه، شرایط برحسب این مورد ارزیابی گردید.

۳-۴- روش انتقال منحنی تداوم جریان

به منظور استفاده از روش FDC[1] از نرم‌افزار GEFC استفاده شد. منحنی تداوم جریان و منحنی‌های موردنظر هر کدام از طبقه‌های زیست‌محیطی در رودخانه تجن تعیین و در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج مربوط به دبی‌های زیست‌محیطی حاصل از روش انتقال منحنی تداوم جریان به‌صورت درصدی از متوسط جریان سالانه (MAR) در جدول ۸ ارائه شده است. بازدیدهای میدانی در منطقه و بررسی شواهد هیدرولوژیکی و اکولوژیکی محدوده مورد مطالعه و اهمیت زیست‌محیطی رودخانه، طبقه زیستی C (حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه) به عنوان طبقه مدیریتی موردنظر انتخاب گردید.

روش انتقال منحنی تداوم جریان به عنوان یک روش ترکیبی هیدرولوژیکی - اکولوژیکی، نیاز زیست‌محیطی را بر اساس دید اکولوژیکی در طبقه‌های مدیریتی زیستی مختلف با توجه به شرایط زیستی رودخانه و با استفاده از آمار دبی‌های ماهیانه ایستگاه‌های هیدرومتری موجود بر روی رودخانه ارائه می‌کند. توزیع ماهیانه شدت جریان زیست‌محیطی به‌دست‌آمده از روش FDC و دبی متوسط ماهانه در ایستگاه‌های بالادست (سلیمان‌تنگه) و پایین‌دست

جدول ۷ تعداد باکتری‌های کلی‌فرم در ایستگاه نمونه‌برداری منتخب رودخانه تجن

Table 7 Number of coliform bacteria at selected sampling stations in the Tajan River

Coliform	Station	Period					
		April 2016	June 2016	August 2016	October 2016	January 2016	Mars 2016
Total solotion coliform	St 1	440	480	325	200	410	360
	St 2	540	630	450	840	580	540
	St 3	28000	28000	22000	22000	21000	19000
	St 4	460	930	1400	1000	1500	980
Total solotion coliform settlement	St 1	23	26	18	11	25	12
	St 2	42	30	21	51	39	39
	St 3	2200	2100	1300	2000	2100	2100
	St 4	22	41	64	64	86	60

[1] Flow Duration Curve

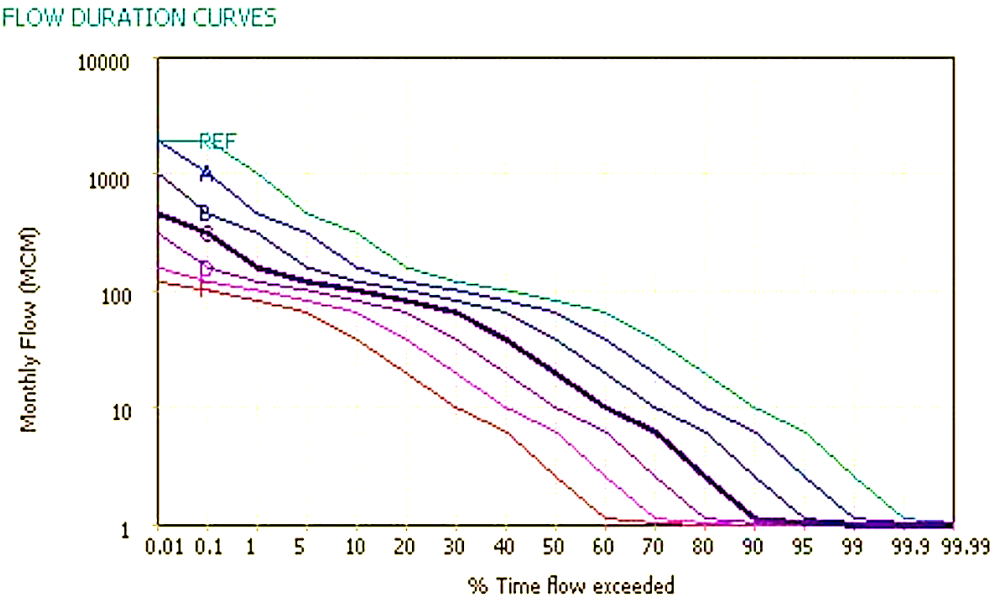

Fig. 3 Tajan River Environmental Flow Continuity Curve

شکل ۳ منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی رودخانه تجن

جدول ۸ تعیین نیاز آب زیست‌محیطی با استفاده از روش انتقال منحنی تداوم جریان برحسب درصدی از MAR

Table 8 Determining environmental water demand using the flow continuity curve transfer method as a percentage of MAR

Environment flow percentage of MAR						Q (MAR) (m^3/s)	River
F	E	D	C	B	A		
10	15	23	33	46	68	45	Tajan

(ریگ‌چشمه) در شکل ۴ مشخص شده است. جدول ۹ مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه تجن مطابق با روش انتقال تداوم جریان و جدول ۱۰ نیز مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه تجن در ماه‌های مختلف بر اساس روش منحنی انتقال جریان را مشخص نموده است.

۳-۵- روش تنانت

در روش تنانت میزان ۱۰ درصد متوسط جریان شش ماه کم آب سال و ۳۰ درصد متوسط جریان شش ماه پر آب سال را به عنوان نیاز زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۱۱ درصدهای خاصی از متوسط جریان سالانه که تحت عنوان جریان زیست‌محیطی می‌باشد، ارائه شده است. در شکل ۵ نمودار تغییرات توزیع جریان زیست‌محیطی در رودخانه در طی ماه‌های مختلف سال با استفاده از روش تنانت و تنانت اصلاح‌شده مطابق با دستورالعمل وزارت نیرو برای ایستگاه پایین‌دست سد ارائه شده است.

۳-۶- روش تسمن

در جدول ۱۲ نتایج محاسبه جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش تسمن ارائه شده است. دبی زیست‌محیطی محاسباتی به روش تسمن برای رودخانه تجن برای برخی ماه‌ها در طی سال‌های آبی، شامل مقادیر بیشتر یا کمتر از متوسط سالانه (MAR) می‌باشد که قابل قبول نیست و رقم منطقی محسوب نمی‌شود. نتایج به‌دست‌آمده بر اساس متدولوژی روش تسمن محاسبه شده ولی از نظر مدیریتی و مصارف محیط‌زیست مجاور رودخانه در منطقه مورد قبول نمی‌باشد. در شکل ۶ نمودار تغییرات توزیع جریان زیست‌محیطی در رودخانه در طی ماه‌های مختلف سال با استفاده از روش تسمن ارائه شده است.

۳-۷- روش هیدرولیکی محیط خیس شده

به منظور تعیین جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش

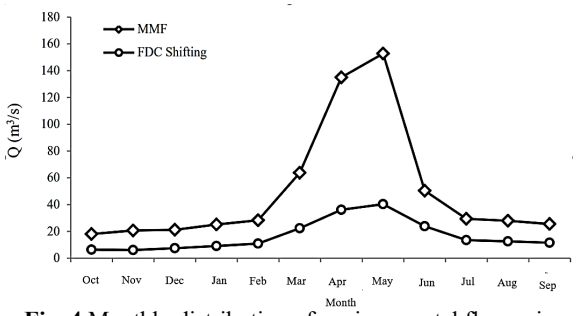

Fig. 4 Monthly distribution of environmental flow using the flow continuity curve method

شکل ۴ توزیع ماهانه جریان زیست‌محیطی با استفاده از روش منحنی تداوم جریان

هیدرولیکی محیط خیس‌شده، در محل ایستگاه واقع در پایین‌دست سد نیمرخ ۵ مقطع برداشت شده و رابطه دبی-محیط خیس‌شده مربوط به هر مقطع ترسیم و در شکل‌های ۷ تا ۱۱ مشخص شده است.

جدول ۹ مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه تجن در روش انتقال تداوم جریان

Table 9 Environmental flow value of Tajan River in flow continuity transfer method

Method	Environment flow		
	Management class	Q (m^3/s)	MAR (%)
FDC	A	23.9	68
	B	14.8	46
	C	16.4	**33**
	D	7.5	**23**
	E	5	**15**
	F	19.9	**10**

جدول ۱۰ مقدار جریان زیست‌محیطی رودخانه تجن در ماه‌های مختلف بر اساس روش منحنی انتقال

Table 10 The environmental flow rate of the Tajan River in different months based on the transfer curve method

Month	Environment flow	
	Q (m^3/s)	FDC
Sep.	18	6.3
Oct.	20.6	6
Nov.	21.2	7.5
Dec.	25.2	9.1
Jan.	28.3	10.9
Feb.	51.8	26.3
Mar.	134.9	36.1
Apr.	152.7	40.3
May.	50.4	23.8
Jun.	29.9	13.5
Jul.	27.9	12.6
Aug.	25.5	11.6
Average	25	16.4

جدول ۱۱ جریان زیست‌محیطی محاسبه‌شده رودخانه تجن با استفاده از روش تنانت

Table 11 Calculated environmental flow of the Tajan River using the Tannat method

Flow classification	Proposed environmental flow for the river in MAF (m3/s)	
	Jul - Dec	Jan - Jun
Maximum flow with flushing	16.85	16.85
Optimal flow rate	5.05 – 8.42	5.05 – 8.42
Very Excellent	3.37	5.05
Excellent	3.37	4.21
good	1.68	3.37
Medium	0.84	2.52
Weak	0.84	0.84
Severe destruction	> 0.84	> 0.84

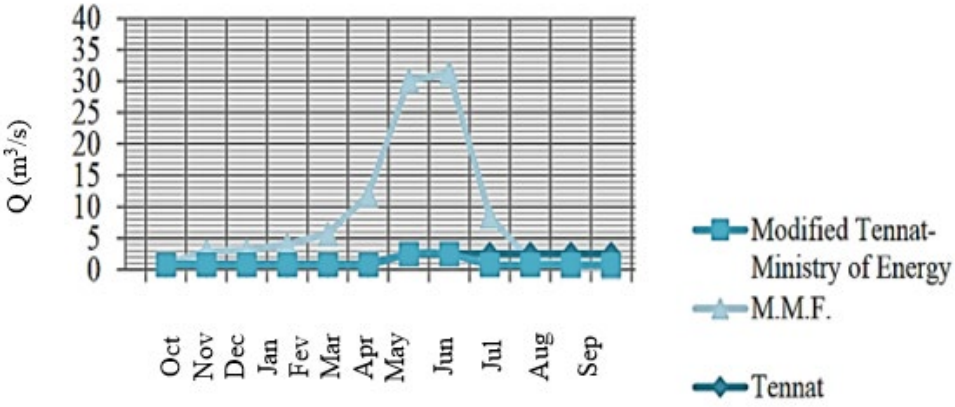

Fig. 5 Diagram of changes in the distribution of environmental flow in the river during different months of the year using Tannat and modified Tannat methods

شکل ۵ نمودار تغییرات توزیع جریان زیست‌محیطی در رودخانه در طی ماه‌های مختلف سال با استفاده از روش تنانت و تنانت اصلاح‌شده

جدول ۱۲ جریان زیست‌محیطی محاسبه‌شده رودخانه تجن با استفاده از روش تسمن

Table 12 Calculated environmental flow of the Tajan River using the Tasman method

Month	MMF (m^3/s)	0.4 MMF (m^3/s)	MAF (m^3/s)	0.4 MAF (m^3/s)	Proposed environmental flow (m^3/s)
Sep.	0.856	0.342	8.425	3.27	0.856
Oct.	2.99	1.197	8.425	3.27	2.99
Nov.	3.09	1.237	8.425	3.27	3.093
Dec.	4	1.601	8.425	3.27	3.37
Jan.	5.7	2.281	8.425	3.27	3.37
Feb.	11.86	4.744	8.425	3.27	4.74
Mar.	30.12	1.051	8.425	3.27	12.05
Apr.	31.27	1.551	8.425	3.27	12.551
May.	8.47	3.388	8.425	3.27	3.388
Jun.	1.56	0.627	8.425	3.27	1.568
Jul.	0.61	0.242	8.425	3.27	0.605
Aug.	0.41	0.179	8.425	3.27	0.448
Average	8.42	---	---	---	4.08

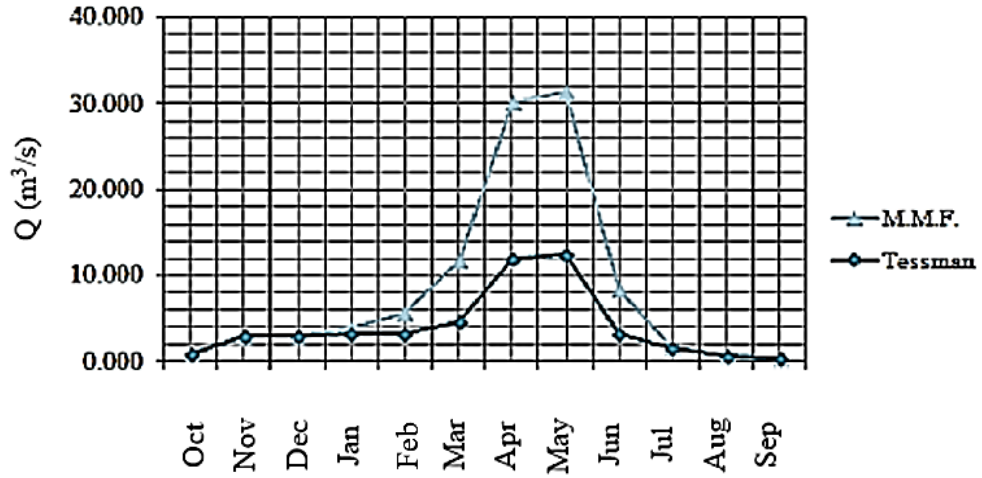

Fig. 6 Diagram of changes in the distribution of environmental flow in the river during different months of the year using the Tasman method

شکل ۶ نمودار تغییرات توزیع جریان زیست‌محیطی در رودخانه طی ماه‌های مختلف سال با استفاده از روش تسمن

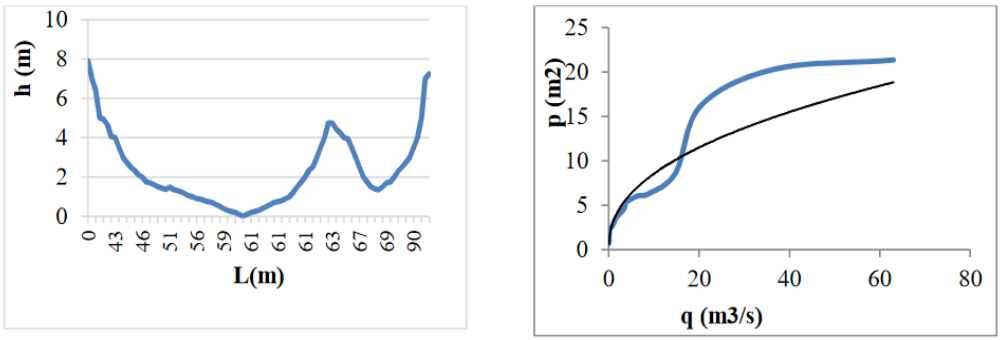

Fig. 7 Section number one and the discharge-wetted medium diagram in the curve slope method

شکل ۷ مقطع شماره یک و نمودار دبی-محیط خیس‌شده در روش شیب منحنی

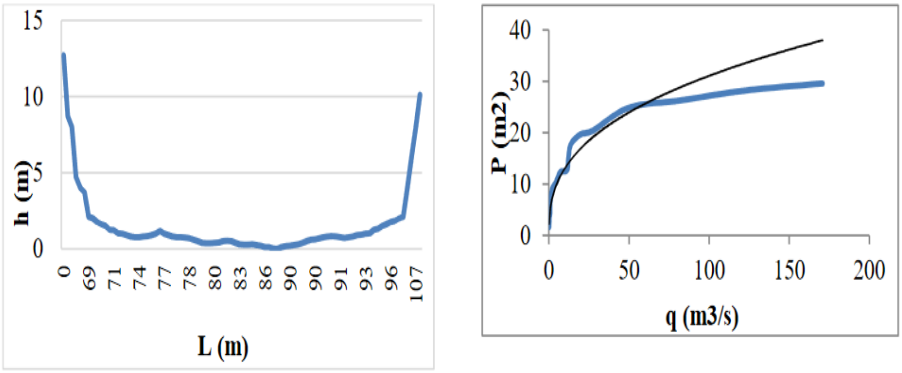

Fig. 8 Section number two and the discharge-wetted medium diagram in the curve slope method

شکل ۸ مقطع شماره دو و نمودار دبی-محیط خیس‌شده در روش شیب منحنی

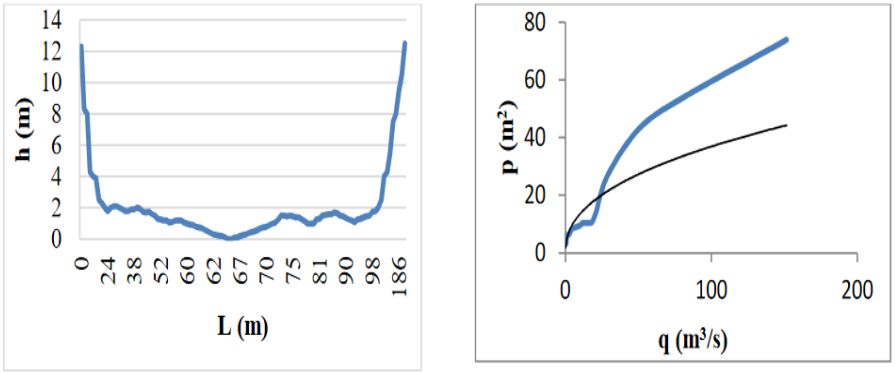

Fig. 9 Section number three and the discharge-wetted medium diagram in the curved slope method

شکل ۹ مقطع شماره سه و نمودار دبی-محیط خیس‌شده در روش شیب منحنی

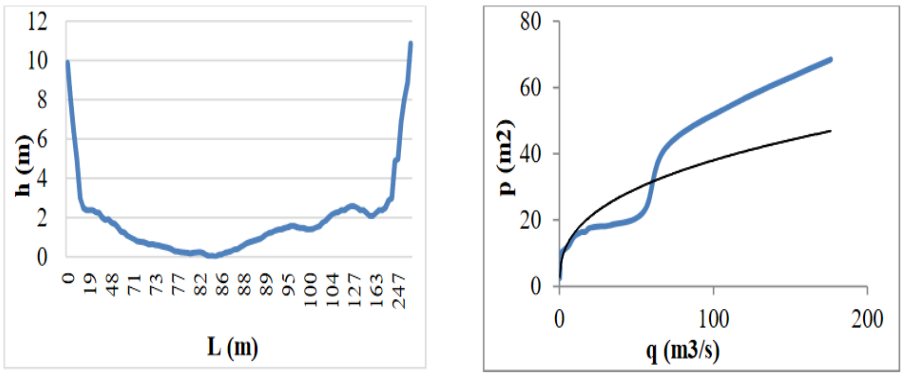

Fig. 10 Section number four and the discharge-wetted medium diagram in the curved slope method

شکل ۱۰ مقطع شماره چهار و نمودار دبی-محیط خیس‌شده در روش شیب منحنی

در جدول ۱۳ دبی بحرانی، عمق بحرانی، ضریب R^2 و رابطه منحنی برازش برای هر مقطع ارائه شده است. علاوه بر این، نتایج روش انحنا برای ۵ مقطع عرضی رودخانه در جدول ۱۴ مشخص شده است. کمترین دبی محاسبه‌شده از این روش ۰/۳ و بیشترین مقدار دبی ۲/۱ مترمکعب در ثانیه می‌باشند.

همان‌طور که مشخص است، روش شیب منحنی نسبت به روش انحنا مقادیر بیشتری را در خصوص دبی بحرانی برآورد می‌نماید. در مقاطع مختلف در روش شیب و انحنا به علت تغییر کردن بازه عرضی رودخانه مقادیر مختلفی از دبی را

ارائه می‌دهد و در هر مقطع، دبی بستگی به هندسه بازه

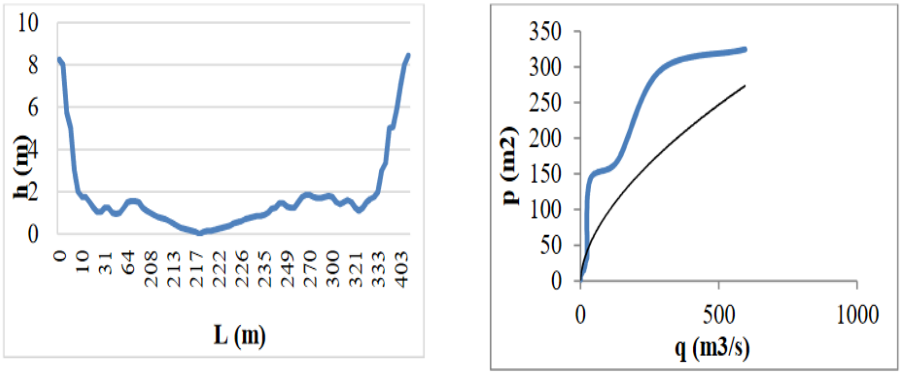

Fig. 11 Section number five and the discharge-wetted medium diagram in the curved slope method

شکل ۱۱ مقطع شماره پنج و نمودار دبی-محیط خیس‌شده در روش شیب منحنی

جدول ۱۳ دبی و عمق بحرانی به‌دست‌آمده از روش هیدرولیکی شیب منحنی

Table 13 Discharge and critical depth obtained from the curved slope hydraulic method

Section No.	Fitted relationship	R^2	Critical depth (m)	Critical Q (m^3/s)
1	$P=3.17\ q^{0.43}$	0.95	0.53	1.99
2	$P=5.51\ q^{0.37}$	0.95	0.46	2.88
3	$P=4.92\ q^{0.43}$	0.84	0.51	6.67
4	$P=6.98\ q^{0.36}$	0.91	0.57	7.09
5	$P=6.55\ q^{0.58}$	0.9	0.65	9.35

جدول ۱۴ دبی بحرانی به‌دست‌آمده از روش هیدرولیکی انحنا

Table 14 Critical flow rate obtained from the hydraulic curvature method

Section No.	1	2	3	4	5
Critical Q (m^3/s)	0.26	0.69	0.87	1.72	1.7

جدول ۱۵ نتایج محاسبه دبی زیست‌محیطی در روش هیدرولیکی

Table 15 Results of calculating environmental flow rate using the hydraulic method

Method	Percentage of annual average (m^3/s)	Environmental calculation flow rate (m^3/s)
Curve slope	69	5.18
Curvature	12	0.94

رودخانه (کم‌عرض و عمیق بودن تا عریض و کم‌عمق بودن) دارد. در جدول ۱۵ نتایج حاصل از کاربرد روش‌های مختلف موردنظر در رویکرد هیدرولیکی ارائه شده است. در مقام مقایسه روش شیب منحنی بیشتر از روش انحنا، برآورد نیاز زیست‌محیطی را صورت می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش به منظور بررسی خصوصیات و تاثیرات زیست‌محیطی سد شهید رجایی بر شرایط محدوده مورد مطالعه ارائه شد. علاوه بر این با استفاده از روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی، مقدار جریان زیست‌محیطی این رودخانه در محدوده ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست برآورد شده و میزان اثرگذاری آن بر خصوصیات رودخانه ارائه شد. کیفیت شیمیایی آب رودخانه تجن از نظر مصارف کشاورزی بر اساس تغییرات حداقل و حداکثر میانگین مقادیر دو عامل ضریب جذب سدیم و هدایت الکتریکی مطابق با طبقه‌بندی ویلکاکس در حد خوب و به‌صورت C2S1 تعیین گردید. از لحاظ شرب، کیفیت آب رودخانه در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه از لحاظ سختی کل و غلظت مواد محلول در مناطق بالادست و میانی در حد قابل قبول بوده از لحاظ بیولوژیکی در کلیه ایستگاه‌های بررسی شده، آب رودخانه برای مصارف شرب نامناسب و نیاز به تصفیه و کلرزنی دارد. در روش هیدرولوژیکی، روش انتقال منحنی تداوم جریان، تنانت و تسمن و در روش هیدرولیکی، روش محیط خیس شده به عنوان رویکردهای مناسب در این راستا مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مشخص نمود که متوسط جریان زیست‌محیطی در رودخانه تجن با استفاده از روش‌های مختلف متناسب با روش موردنظر دارای

تفاوت‌هایی بوده و از سوی دیگر، احداث سد منجر شده تا مقدار رهاسازی شده با مقدار محاسباتی تطابق چندانی نداشته باشد. بیشترین مقدار به‌دست‌آمده در روش منحنی انتقال تداوم جریان و برابر با ۲۵ مترمکعب در ثانیه بوده به‌نحوی‌که در این شرایط از نظر مدیریتی در طبقه زیستی C با رویکرد حفظ حداقل شرایط زیستی رودخانه قرار دارد.

مقدار متوسط جریان در شرایط وجود سد در ایام رهاسازی حدود ۱۶ مترمکعب در ثانیه می‌باشد که این مقدار با مقادیر محاسبه‌شده در سایر روش‌ها همخوانی نسبی دارد. بنابراین مقدار جریان رهاسازی شده حدود ثلث حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز رودخانه در پایین‌دست می‌باشد.

5- List of symbols

TDS (l/mg)	Concentration of dissolved solutes
EC (µmohs/cm)	Electrical conductivity
El (m)	Height
TH (l/mg)	Total hardness
Q (m^3/s)	Flow rate
P (m^2)	Wet environment
L (m)	Distance

Acknowledgments

We would like to express our deepest gratitude and appreciation for the cooperation of the Mazandaran Regional Water.

Credit Authorship Contribution Statement

Conceptualization, J.V.; methodology, Sh.S., and J.V.; software, Sh.S.; data analysis, Sh.S.; writing — original draft preparation, J.V.; writing—review and editing, J.V. and Sh.S.; supervision, Sh.S.; All authors have read and agreed to the published version of the manuscript

Funding

No financial support was received from any organization for this research.

Data Availability Statement

The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors upon reques

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

Mezger, G., De Stefano, L. and del Tánago, M. G. (2019). Assessing the Establishment and Implementation of Environmental Flows in Spain. Environmental Management. 3 (12), 1-15, https://doi.org/10.1007/s00267-019-01222-2.

Tharme, R.E. (2003), A global persprctive on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers, Wiley Inter Science, London. https:// doi.org/10.1002/rra.736

Hao, X., Zhao, Z., Fan, X., Zhang, J. and Zhang, S., (2023). Evaluation method of ecological water demand threshold of natural vegetation in arid-region inland river basin based on satellite data. Ecological Indicators, 146, p.109811. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109811

Yi Y., Cheng X., Yang Z., Wieprecht S., Zhang S., and Wu Y. (2017). Evaluating the ecological influence of hydraulic projects: A review of aquatic habitat suitability models. Renewable and Sustainable Energy Review, 68 (5), 748-762. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.138

Tasnim, T., Rahman, A. and Yunus, A., (2023). Environmental Flow Assessment by Hydrological Method: A Case Study on Dhaka Peripheral River System.wiley, newyork

Mostafavi, S. Yasi, M. (2016). Evaluation of Minimum Environmental Flow of Rivers with Ecohydrological Methods: Case Study of Baranduzchay River in Lake Urmia Basin, Water and Soil. 29 (5), 1219 – 1231 (In Persian), https://sid.ir/paper/141446/en

Hayatgheibi, F. Shahnooshi, N. Ghahreman, B. Samadi, H. Ghorbani, M. Masahbovani, A. (2022). Estimating the minimum environmental water flow required by the Karun River upstream and downstream of Beheshtabad Dam. Water and Soil. 35 (3), 319 – 333 (In Persian)

Karimi, S. Pourebrahim, Sh. Salajeghe, A. Malekian, A. (2022). Determining the environmental water requirement of Karaj River sub-basins using the continuity curve approach and flow variability indices. Watershed management, 74 (2), 393 – 405 (In Persian)

Rajaei, F. Esmaeili, A. Mahini, A. Delavar, M. (2021). Evaluation of land use changes in the Tajan River watershed based on landscape metrics. Environment sciences, 22 (1), 351 – 361 (In Persian)

Naderi, M. Zakerinia, M. Salari, M. (2021). Improving the habitat simulation method using the River 2D hydrodynamic model to determine the ecological regime of the river. Iran

Environment and water resource. 72 (2), 263-277 (In Persian)

Naderi, M. Saeidi, S. Imani, J. (2021). Implementing an ecological flow regime to improve the river environment. Pond Ecobioligy. 11 (42), 35 – 52 (In Persian)

Razaghi, A. Ahmadi, H. Haghdust, N, Hesari, B. (2019). Implementing an ecological flow regime to improve the river environment. Conservation water and soil. 25 (6), 47 – 65 (In Persian)

Behboudian, M., Anamaghi, S., Mahjouri, N. and Kerachian, R., (2023). Enhancing the resilience of ecosystem services under extreme events in socio-hydrological systems: a spatio-temporal analysis. Journal of Cleaner Production, 397, p.136437. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136437

Hamidifar, H., Akbari, F. and Rowiński, P.M., 2022. Assessment of Environmental Water Requirement Allocation in Anthropogenic Rivers with a Hydropower Dam Using Hydrologically Based Methods—Case Study. Water, 14(6), 880 – 893 (In Persian), https://doi.org/10.3390/ w14060893

Ghurghi, H. Khaledi, A. (2016). Performance evaluation of suspended sediment load prediction models in North and West of Iran (Case study: Gharasoo and Tajan rivers). Water research, 9 (2), 73 – 78 (In Persian), https://sid.ir/paper/159925/en

Hajibeigloo, M. Berdi, V. (2018). Site selection to create riverine wetlands in watersheds (case study: Tajan river – Razavi Khorasan Province), 24 (4), 1-22 (In Persian). https://doi.org/10.22069/jwsc.2017.10889.2529