



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Estimation of the minimum environmental flow of the river using hydrological and hydraulic methods (Case study: Beshar watershed)

Shiva Mohammadi Shamsabadi¹, Hakimeh Amanipoor*¹, Sedigheh Battaleb-Looie¹,
Sayed Hussein Roshun²

1. Department of Geology, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.
- 2: Watershed Management Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

* Corresponding Author Email: h_amanipoor@yahoo.com

Received: 29 April 2023

Revise Date: 11 June 2023

Accepted: 14 June 2023

Abstract

In this study, to investigate the hydrological regime and determine the environmental flow requirement of Beshar River at the Pataveh hydrometric station, hydrological methods (Tennant, Tessman, flow duration curve shifting) and hydraulic methods (wetted area) were used. For this purpose, the river flow data were used in the statistical period of 1998-2020. First, the homogeneity and normality of the data were checked with the Run and Klotmogrov-Smirnov tests. Then the hydrological characteristics of the stream were calculated in the IHA software. Finally, the environmental flow (EF) for the desired station was obtained with the above-mentioned methods. The results of this research showed that the flow rate has decreased for at least one to 90 days and the continuous period for the minimum annual flow has increased, which can be a threat to the life of plants and animals of the Beshar river ecosystem if the increasing trend continues. The environmental flow for semi-saturated and dehydrated periods by using Tennant's method were determined at 3.99 and 11.97 m³/s, respectively. Also, the environmental flow by the Tessman method indicated that the environmental demand is particularly important in the low water season and the first half of the full water period, and this amount of flow should be maintained to prevent the destruction of the river ecosystem. In the FDC-Shifting method, the environmental flow requirement (EFR) in Class A (normal), 69.60%, in class B (slightly changed) 50.10%, in class C (relatively changed) 37.80%, in Class D (largely changed) was 29.70%, in class E (severely changed) 24.20% and in class F (critically changed) 20.10%. Based on this, the FDC-Shifting class C method with an EF of about 72.54 cubic meters per second was selected as an environmental component. The environmental flow series in class C showed a decrease in flow rate over time. Based on the hydraulic method of the wet environment, the amount of environmental flow required was found to be about 20.6% of MAR.

Keywords: Environmental Flow Requirement (EFR), Hydrological, River Ecosystem, IHA, Beshar River.

INTRODUCTION

Rivers are crucial components of watersheds, directly and indirectly influenced by human activities. While watersheds rely on rivers as waste disposal systems to maintain their ecological balance (Sun et al, 2018), excessive human interventions, such as dam construction, water transfers, and agricultural water abstraction, have caused significant disruptions to river flows, altering seasonal patterns, flood frequency, and overall river health. Therefore, analyzing and predicting river flows is essential for the efficient management and utilization of freshwater resources, particularly in preserving riparian ecosystems and maintaining their ecological integrity (Trenberth et al, 2017; Liu et al., 2017).

MATERIALS AND METHODS

The research process was organized as follows:

A) Data Collection: River flow data spanning 24 years (1997-2020) was collected from the Pataveh hydrometric station.

B) Initial Data Analysis: To facilitate the initial analysis of flow rate data, missing data for specific years was repaired and supplemented.

C) Flow Analysis: Flow analysis and frequency analysis were performed using the Hyfran hydrological analysis software.

D) Environmental Flow Determination: The IHA software was employed to determine the hydrological characteristics and parameters of hydrological changes in the flow. This research utilized both hydrological methods (Tennant, Tesman, and transfer of flow duration curve) and hydraulic methods (wettered environment).

RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of flow characteristics revealed that the number of days with minimum annual flow and maximum annual flow were 240 and 47 days, respectively. Furthermore, there were an average of 1.8 low pulses per rainy year and 3.8 high pulses per rainy year.

Results of the Tasman analysis determined the environmental flow requirement for different months, highlighting the crucial importance of maintaining environmental flow during the low water season and the first half of the high water period to prevent river ecosystem degradation.

CONCLUSION

-Tennant's method yielded environmental flow rates of 3.99 and 11.97 cubic meters per second during the high and low water periods, respectively.

-Tasman's method indicated that the environmental flow requirement is particularly important during the low-water season and the first half of the high-water period.

-The flow duration curve method, on the other hand, calculated the environmental flow for six environmental management classes, ranging from 69.6% in class A (natural) to 20.1% in class F (critically changed).

-The study concluded that management class C, with an environmental flow requirement of 72.54 cubic meters per second, was most suitable for the studied river.

-The wetted environment method further supported this finding, suggesting an environmental flow requirement of approximately 20.6% of the average annual flow.

-The study emphasized the importance of considering the environmental flow requirement while managing rivers to preserve their ecological integrity and ensure the well-being of human life. By incorporating environmental flow into river engineering practices, we can safeguard the future of both human and riverine ecosystems.

REFERENCES

- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S. and Hsu, K.L., 2018. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), pp. 79-107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>.
- Liu, X., Yang, T., Hsu, K., Liu, C. and Sorooshian, S., 2017. Evaluating the streamflow simulation capability of PERSIANN-CDR daily rainfall products in two river basins on the Tibetan Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(1), pp. 169-181.
- Trenberth, K.E., Zhang, Y. and Gehne, M., 2017. Intermittency in precipitation: Duration, frequency, intensity, and amounts using hourly data. *Journal of Hydrometeorology*, 18(5), pp. 1393-1412. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0263.1>.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.





تخمین حداقل جریان زیست‌محیطی رودخانه با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و

هیدرولیکی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بشار)

شیوا محمدی شمس‌آبادی^۱، حکیمه امانی‌پور*^۱، صدیقه بطالب‌لویی^۱، سیدحسین روشن^۲

۱. گروه زمین‌شناسی دریاء، دانشکده منابع طبیعی دریاء، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

۲. گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: h_amanipoor@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹

چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی رژیم هیدرولوژیکی و تعیین نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ی بشار در ایستگاه هیدرومتری پاتاوه از روش‌های هیدرولوژیکی (تانت، تسمن و انتقال منحنی تداوم جریان) و روش‌های هیدرولیکی (محیط خیس شده) استفاده گردید. بدین منظور از داده‌های جریان رودخانه در دوره آماری ۱۳۷۶-۱۳۹۹ بهره گرفته شد. در ابتدا همگنی و نرمال بودن داده‌ها با آزمون‌های ران تست و کلموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. سپس خصوصیات هیدرولوژیکی جریان در نرم‌افزار IHA محاسبه گردید. در نهایت با روش‌های مذکور جریان زیست‌محیطی برای ایستگاه موردنظر محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که دبی جریان حداقل یک تا ۹۰ روزه کاهش داشته است و دوره‌ی تداوم برای جریان حداقل سالانه افزایش داشته که می‌تواند با ادامه این روند در آینده تهدیدی برای حیات گیاهان و جانوران اکوسیستم رودخانه بشار باشد. نتایج حاصل از روش تانت نشان می‌دهد که جریان زیست‌محیطی برای نیمه پرآبی و دوره کم آبی به ترتیب ۳/۹۹ و ۱۱/۹۷ مترمکعب بر ثانیه است. همچنین تعیین جریان زیست‌محیطی به روش تسمن بیانگر این است که در فصل کم آبی و همین‌طور نیمه‌ی اول دوره‌ی پرآبی نیاز زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و باید جهت جلوگیری از تخریب اکوسیستم رودخانه این میزان جریان حفظ شود. در روش انتقال منحنی تداوم جریان نیاز زیست‌محیطی در کلاس A (طبیعی)، ۶۹/۶۰ درصد، در کلاس B (اندکی تغییر یافته) ۵۰/۱۰ درصد، در کلاس C (نسبتاً تغییر یافته) ۳۷/۸۰ درصد، در کلاس D (تا حد زیادی تغییر یافته) ۲۹/۷۰ درصد، در کلاس E (به شدت تغییر یافته) ۲۴/۲۰ درصد و در کلاس F (به طرز بحرانی تغییر یافته) ۲۰/۱۰ به دست آمد. براساس این روش، جریان در کلاس C در حدود ۲۲/۵۴ مترمکعب بر ثانیه به‌عنوان جریان زیست‌محیطی انتخاب گردید. سری جریان زیست‌محیطی در کلاس C بیانگر کاهش دبی جریان با گذشت زمان است. براساس روش هیدرولیکی محیط خیس شده میزان نیاز جریان زیست‌محیطی حدود ۲۰/۶ درصد MAR به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: نیاز زیست‌محیطی، اکوسیستم رودخانه، رودخانه بشار.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱. مقدمه

اصلی رودخانه کارون محسوب شده و سالیانه بیش از ۱/۵ میلیارد مترمکعب آب را به دشت‌های خوزستان و از آنجا به خلیج فارس انتقال می‌دهد (Zamani et al., 2012). رودخانه بشار که موقعیت جغرافیایی آن در شکل ۱ نشان داده شده است، حوضه‌ای به وسعت ۲۷۲۴/۸۵ کیلومترمربع را زهکشی می‌کند. این رودخانه از جنوب شرقی بویراحمد علیا (و از کوه‌های اردکان و ممسنی در استان فارس) سرچشمه می‌گیرد و به سوی شمال شرقی بویراحمد سفلی پیش می‌رود. سرچشمه‌های اصلی این رودخانه، نهرهای گنجگون تیز آب و تنگ سرخ هستند که از ارتفاعات زاگرس جنوبی و از چشمه‌های روستای تنگ سرخ و کوه‌های دهنو سرچشمه می‌گیرند. این رودخانه منبع تأمین آب شهر یاسوج و زمین‌های کشاورزی اطراف آن می‌باشد. مهمترین ایستگاه هیدرومتری بر روی این رودخانه که در محل خروجی حوضه آبخیز بشار قرار دارد، ایستگاه پاتاوه بوده که دوره‌ی آماری طولانی مدت دارد (شکل ۱).

حوضه رودخانه بشار به علت گسل خوردگی، از نظر زمین‌شناسی نسبت به سایر مناطق استان پیچیده‌تر است. این بخش به سبب ارتفاع زیاد کوه دنا، جزئی از زاگرس مرتفع در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه‌ی عملکرد گسل شمالی-جنوبی دنا، از سایر قسمت‌های استان جدا می‌شود و تنها جایی است که رسوبات دوران اول زمین‌شناسی و نهشته‌ی کنگلومرای سازند بختیاری و جوان‌ترین سازندها را می‌توان در آن دید. در سایر نقاط، سنگ‌های مربوط به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی و عصر حاضر قرار دارند. بیشترین ارتفاع منطقه در کوه‌های شرقی جای دارد که از نهشته‌های جوان کواترنری تشکیل شده و در جنوب، کنگلومرای بختیاری و در برخی نقاط سازند پابده، گورپی، گچساران، بختیاری دیده می‌شود. از جمله سازندی که به وفور در این حوضه دیده می‌شود، سازند آسماری است که حکایت از کارستی بودن منطقه دارد (Shahriari et al., 2019).

۲. مواد و روش‌ها

به منظور انجام پژوهش حاضر و دستیابی به اهداف مورد نظر، مراحل انجام کار به ترتیب زیر تشریح می‌شوند:

الف) جمع‌آوری داده‌ها: داده‌های مربوط به دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری پاتاوه از شرکت آب منطقه‌ای استان کهگیلویه و بویراحمد در بازه‌ی زمانی ۲۴ ساله (۱۳۷۶-۱۳۹۹) اخذ شد.

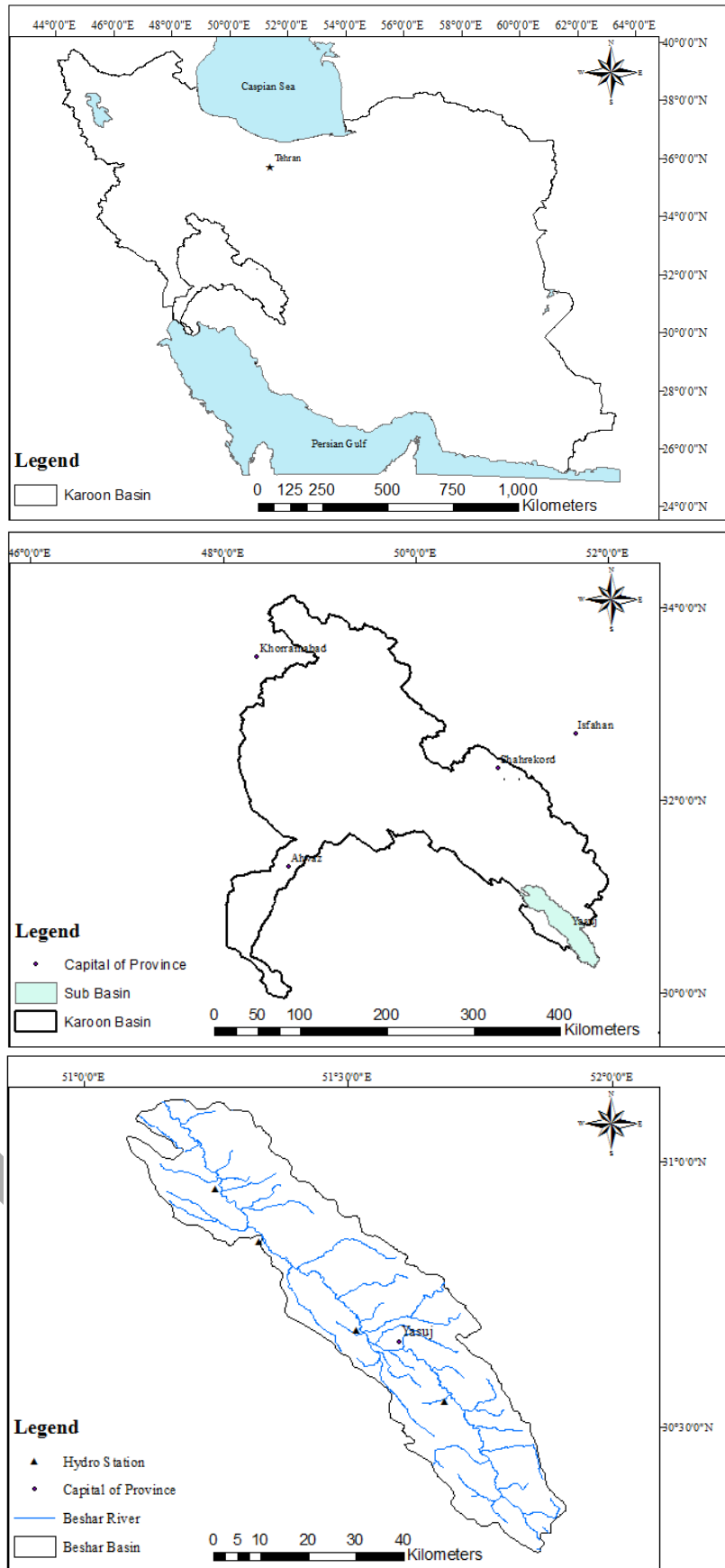
ب) آنالیز اولیه داده‌ها: به منظور آنالیز اولیه داده‌های دبی جریان، ترمیم و تکمیل داده‌ها برای سال‌هایی که نقص داده داشتند، انجام گردید. سپس جهت بررسی وضعیت همگن بودن داده‌های دبی جریان و بررسی انحراف‌های احتمالی در داده‌ها، از آزمون‌های همگنی ران تست (Run test) استفاده شد. همچنین آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام

رودخانه‌ها به‌عنوان شریان‌های حیاتی حوضه‌های آبخیز محسوب می‌شوند که هرگونه فعالیت انسانی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روی آن‌ها تأثیر می‌گذارد. از طرفی حوضه‌ی آبخیز در جهت حفظ تعادل خود، از رودخانه‌ها به‌عنوان سامانه‌ی دفع مواد زائد و آلوده‌کننده، تا حدی که به اکوسیستم رودخانه صدمه وارد نشود، استفاده می‌کند (Sun et al., 2018). مداخلات بشری از جمله احداث سد، انتقال آب بین حوضه‌ای و استحصال آب کشاورزی، ۶۰ درصد رودخانه‌های جهان را در معرض تهدید قرار داده است و این مداخلات موجب کاهش چشمگیر کل جریان رودخانه، تغییرات فصلی جریان، اندازه و تناوب سیلاب شده است (Pirozian et al., 2020). بنابراین تحلیل و پیش‌بینی جریان رودخانه برای استفاده از منابع محدود آب شیرین و مدیریت عاقلانه آن (Trenberth et al., 2017) و به همان اندازه در حفظ منظر اکوسیستم کناری رودخانه مهم است (Liu et al., 2017).

ارزیابی جریان زیست‌محیطی یکی از موضوعات مهم و نوینی است که در سال‌های اخیر به‌منظور کاهش مسائل محیط‌زیستی ایجاد شده توسط توسعه طرح‌های منابع آبی، بیان شده است (Adhikary et al., 2017). این موضوع برای تخمین حقایق زیست‌محیطی رودخانه‌ها در مدیریت پایدار منابع آب و حفظ اکوسیستم‌های موجود در حوضه‌های آبخیز استفاده می‌شود. روش‌های مختلف با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی، اکولوژیکی، هیدرولیکی، انعطاف‌پذیری و سازگاری با منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرند (Naderi et al., 2021). این ارزیابی از یک سو ابزاری کاربردی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و از سوی دیگر چالشی برای محققان و برنامه‌ریزان حوضه‌ی آبخیز است (Feki et al., 2012; Chen et al., 2021).

رودخانه بشار یکی از اصلی‌ترین سرشاخه‌های رود کارون بزرگ است و یک محیط‌زیست مهم برای موجودات زنده و همچنین منبع تأمین آب برای اراضی کشاورزی در دشت خوزستان و بخش‌های اراضی اطراف خود مهم است؛ بنابراین یک اکوسیستم آبی مهم محسوب می‌شود. با توجه به پروژه‌های سدسازی که در حال حاضر در حال انجام بر روی سرشاخه‌های این رودخانه است و یا پیش‌تر به بهره‌برداری رسیده است، مطالعه میزان جریان زیست‌محیطی در این رودخانه اهمیت پیدا می‌کند. رودخانه بشار از نظر تأمین مواد رسوبی و مصالح رودخانه‌ای نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به‌طوری‌که چند کارگاه استخراج شن و ماسه در بستر این رودخانه وجود دارد. آگاهی از حداقل جریان زیست‌محیطی و تعیین آن در این رودخانه برای مدیریت بهتر منابع آبی و موارد بیان‌شده از جمله مدیریت برداشت شن و ماسه و حفظ اکوسیستم آبی این رودخانه لازم و ضروری است.

رودخانه بشار در استان کهگیلویه و بویراحمد بخشی از اکوسیستم‌های مهم در جنوب غربی کشور و یکی از سرچشمه‌های



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه رودخانهی بشار
Fig. 1- Geographical location of Beshar river watershed

جریان، چهار مرحله اصلی وجود دارد که عبارت‌اند از (Smakhtin and Anpurhas, 2006):

- ۱- شبیه‌سازی وضعیت‌های هیدرولوژیکی موجود
 - ۲- تعریف کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی
 - ۳- تولید منحنی‌های تداوم جریان زیست‌محیطی
 - ۴- تولید سری زمانی جریان زیست‌محیطی ماهیانه
- روش انتقال منحنی جریان به‌منظور حفظ محیط‌زیست رودخانه و الگوی کلی تغییرپذیری جریان از شیفت منحنی تداوم جریان طبیعی استفاده می‌کند و بر این اساس نیاز جریان زیست‌محیطی را برای کلاس‌های مدیریت زیست‌محیطی A تا F پیشنهاد می‌کند.
- روش محیط خیس شده یکی از روش‌های هیدرولیکی تعیین نیاز جریان زیست‌محیطی به‌شمار می‌رود (Kumari et al, 2016). این روش به‌دلیل استفاده از معادلات ریاضی و تعیین نقطه‌ی بحرانی در رابطه بین محیط خیس شده و دبی جریان و همچنین استفاده از داده‌های هیدرولیکی جریان رودخانه از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار است. این روش به این صورت عمل می‌کند که با تعیین نقطه‌ی بحرانی در نمودار محیط خیس شده و دبی جریان، مشخص می‌کند که پایین‌تر از نقطه بحرانی شرایط به‌سرعت عوض می‌شود، زیرا که با کوچک‌ترین تغییر در دبی جریان، محیط خیس شده نیز به‌سرعت کاهش می‌یابد (Harka et al., 2021). بنابراین در این روش فرض بر این است که رابطه‌ای میان دبی جریان و محیط خیس شده و اکوسیستم رودخانه و محیط قابل‌دسترس جانوران موجود در محیط رودخانه وجود دارد. تعیین میزان جریان زیست‌محیطی در این روش به سه صورت استفاده از شیب رودخانه، انحنا و نقطه ایده‌آل انجام می‌شود (Seo et al, 2014).

۳. نتایج و بحث

نتایج بررسی داده‌های دبی جریان در ایستگاه پاتاوه با آزمون ران تست نشان داد که سطح معناداری برابر با ۰/۰۵۲ و نشان‌دهنده‌ی تصادفی بودن داده‌های موردنظر است. بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگورف - اسمیرنوف نشان داد که سطح معناداری برابر با ۰/۰۵۶ است که بیانگر نرمال بودن توزیع داده‌هاست.

نتایج تحلیل مشخصات جریان نشان داد که شماره‌ی روز وقوع حداقل جریان سالانه و شماره‌ی روز وقوع حداکثر جریان سالانه به‌ترتیب ۲۴۰ و ۴۷ روز بوده است. همچنین تعداد پالس‌های کم در هر سال آبی ۱/۸ و تعداد پالس‌های بالا در هر سال آبی نیز ۳/۸ روز به‌دست آمد.

نتایج حاصل از تعیین جریان زیست‌محیطی نیز نشان می‌دهد که در روش تنانت درصد‌های مختلفی از میانگین آورد سالانه جهت تعیین جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود (جدول ۱). در حالت کلی برای کلاس قابل‌قبول ۱۰ درصد میانگین آورد سالانه برای نیمه پرآبی (مهر تا اسفند) و ۳۰ درصد میانگین آورد سالانه برای نیمه کم‌آبی (فروردین تا شهریور) برای کشورمان مدنظر است.

شد. در ادامه با انتخاب توزیع آماری مناسب (تابع چگالی و تابع توزیع) تحلیل جریان انجام شد.

ج) آنالیز جریان: تحلیل جریان و تحلیل فراوانی آن در نرم‌افزار تحلیل هیدرولوژیکی Hyfran انجام شد. به این منظور توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال دو پارامتری، لوگ نرمال سه پارامتری، گاما دو پارامتری، پیرسون تیپ سه، لوگ پیرسون تیپ سه و گمبل مورد استفاده شدند. در نهایت توزیع آماری منطبق بر داده‌های جریان انتخاب و داده‌های برای استفاده در روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی تعیین جریان زیست‌محیطی آماده شدند (Hassim et al., 2020).

د) تعیین جریان زیست‌محیطی: برای تعیین ویژگی‌های هیدرولوژیکی و پارامترهای تغییرات هیدرولوژیکی جریان از نرم‌افزار IHA استفاده شد. به‌طور کلی روش‌های تعیین جریان زیست‌محیطی در اکوسیستم رودخانه به چهار دسته اصلی شامل روش‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، شبیه‌سازی زیستگاه و جامع گروه‌بندی می‌شوند. در این تحقیق از روش‌های هیدرولوژیکی (تنانت، تسمن، انتقال منحنی تداوم جریان) و روش‌های هیدرولیکی (محیط خیس شده) استفاده شد.

در روش تنانت، جریان زیست‌محیطی براساس درصدی از جریان متوسط سالانه تعیین می‌شود. بدین‌صورت که در حالت قابل‌قبول ۱۰٪ میانگین آورد سالانه برای نیمه‌ی پرآبی (مهرماه تا نیمه فروردین یا اکتبر تا مارس) و ۳۰٪ میانگین آورد سالانه برای نیمه‌ی کم‌آبی (نیمه فروردین تا شهریورماه یا آوریل تا سپتامبر) در نظر گرفته می‌شود.

معیار تعیین جریان زیست‌محیطی در روش تسمن جریان متوسط ماهانه و متوسط جریان سالانه است. براساس این روش هنگامی که متوسط جریان ماهانه بیشتر از متوسط جریان سالانه باشد، در آن صورت جریان زیست‌محیطی برابر با ۰/۴ جریان متوسط ماهانه است (Hu et al, 2019). در صورتی که جریان متوسط ماهانه کمتر از جریان متوسط سالانه باشد، اگر جریان متوسط ماهانه بزرگ‌تر از ۰/۴ جریان متوسط سالانه باشد در آن صورت جریان زیست‌محیطی برابر است با ۰/۴ جریان متوسط ماهانه و در غیر این‌صورت جریان زیست‌محیطی برابر است با متوسط جریان ماهانه. منحنی تداوم جریان به‌عنوان یکی از خصوصیات مربوط به جریان در ارزیابی نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر زیست‌محیطی به‌شمار می‌رود. در این روش، محدوده‌ی جریان در رخدادهای کم‌آبی تا سیلاب و رابطه آن با مقدار و فراوانی جریان نشان داده می‌شود. معمولاً جریان‌های بین محدوده‌ی ۷۰ تا ۹۹ درصد زمان تجاوز (Q70 تا Q99) برای جریان‌های کم‌آبی استفاده می‌شوند. جریان‌های Q90 و Q95 شاخص‌هایی هستند که اکثراً به‌عنوان شاخص‌های جریان کم‌آبی به‌کار می‌روند. به‌منظور ارزیابی و تعیین میزان جریان زیست‌محیطی به روش انتقال منحنی تداوم

جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود (شکل ۳). سری زمانی تولیدشده برای ایستگاه موردنظر در شکل ۴ قابل مشاهده است. باتوجه به اینکه کلاس مدیریتی C برای رودخانه‌ی بشار در ایستگاه هیدرومتری پاتاو انتخاب گردید، جریان پیشنهادی ۷۲/۵۴ مترمکعب بر ثانیه به‌عنوان نیاز زیست‌محیطی رودخانه می‌باشد.

با بررسی اسناد علمی و گزارش‌ها و بررسی مقطع عرضی (شکل ۵) در محل ایستگاه هیدرومتری پاتاو میزان زبری مانینگ بین ۰/۰۳۳ تا ۰/۰۷۲ به دست آمد. دبی متوسط سالانه باتوجه به داده‌های ایستگاه هیدرومتری در دوره ۱۳۹۹-۱۳۷۶ حدود ۳۹/۹۲ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد. براساس روابط این روش، میزان نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه بشار در محل ایستگاه پاتاو حدود ۲۰/۶ درصد جریان متوسط سالانه به‌دست آمد (جدول ۴).

نتایج حاصل از تعیین جریان زیست‌محیطی نشان می‌دهد که در روش تنانت درصد‌های مختلفی از میانگین آورد سالانه جهت تعیین جریان زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شود. در حالت کلی برای کلاس قابل قبول ۱۰ درصد میانگین آورد سالانه برای نیمه پرآبی (مهر تا اسفند) و ۳۰ درصد میانگین آورد سالانه برای نیمه کم‌آبی (فروردین تا شهریور) برای کشورمان مدنظر است. باتوجه به این‌که در روش تنانت معیار تعیین جریان زیست‌محیطی، میانگین آورد سالانه می‌باشد؛ بنابراین در رودخانه‌هایی که این مقدار از جریان در محدوده‌ی قابل قبولی نباشد، نمی‌توان از این روش استفاده کرد. از آنجائی که رودخانه بشار از نوع رژیم بارانی-سرفی است و نوع جریان آن به‌صورت دائمی می‌باشد و همچنین باتوجه به میزان میانگین آورد سالانه که برابر با ۳۹/۹۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد، تعیین نوع جریان براساس روش تنانت موردپذیرش است. بنابراین براساس این روش برای نیمه پرآبی و دوره‌ی کم‌آبی میزان جریان زیست‌محیطی به‌ترتیب ۳/۹۹ و ۱۱/۹۷ مترمکعب بر ثانیه تعیین گردید.

در روش تسمن از متوسط جریان ماهیانه و متوسط جریان سالانه به‌منظور تعیین نیاز جریان زیست‌محیطی استفاده می‌شود و معیار جریان زیست‌محیطی درصدی از متوسط جریان ماهیانه در نظر گرفته می‌شود. براساس این روش نیاز جریان زیست‌محیطی در ماه‌های مختلف به‌دست آمد که بیانگر این است که در فصل کم‌آبی و همین‌طور نیمه‌ی اول دوره‌ی پرآبی نیاز زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و باید جهت جلوگیری از تخریب اکوسیستم رودخانه این میزان جریان حفظ شود. برای این منظور بهتر است که در نیمه‌ی کم‌آبی طرح‌های برداشت از منابع آبی رودخانه از حالت بهینه استفاده کنند و حتی‌الامکان به کمترین میزان خود برداشت داشته باشند. همچنین مداخلات بشری از جمله احداث مزارع پرورش ماهی و احداث معادن شن و ماسه در بستر رودخانه بشار با نهایت در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی و جریان زیست‌محیطی مدیریت و کنترل شوند. Rouzegari et al. (2019) در مطالعه‌ی جریان زیست‌محیطی رودخانه مهاباد با

باتوجه به این‌که در روش تنانت معیار تعیین جریان زیست‌محیطی، میانگین آورد سالانه می‌باشد؛ بنابراین در رودخانه‌هایی که این مقدار از جریان در محدوده‌ی قابل قبولی نباشد، نمی‌توان از این روش استفاده کرد. از آنجائی که رودخانه بشار از نوع رژیم بارانی-سرفی است و نوع جریان آن به‌صورت دائمی می‌باشد و همچنین باتوجه به میزان میانگین آورد سالانه که برابر با ۳۹/۹۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد، تعیین نوع جریان براساس روش تنانت موردپذیرش است. بنابراین براساس این روش برای نیمه پرآبی و دوره‌ی کم‌آبی میزان جریان زیستی به‌ترتیب ۳/۹۹ و ۱۱/۹۷ مترمکعب بر ثانیه تعیین گردید.

نتایج تحلیل تسمن در جدول ۲ ارائه شده است. براساس این روش نیاز جریان زیست‌محیطی در ماه‌های مختلف به‌دست آمد که بیانگر این است که در فصل کم‌آبی و همین‌طور نیمه‌ی اول دوره‌ی پرآبی نیاز زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و باید جهت جلوگیری از تخریب اکوسیستم رودخانه این میزان جریان حفظ شود. برای این منظور بهتر است که در نیمه‌ی کم‌آبی طرح‌های برداشت از منابع آبی رودخانه از حالت بهینه استفاده کنند و حتی‌الامکان به کمترین میزان خود برداشت داشته باشند. همچنین مداخلات بشری از جمله احداث مزارع پرورش ماهی و احداث معادن شن و ماسه در بستر رودخانه بشار با نهایت در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی و جریان زیست‌محیطی مدیریت و کنترل شوند.

نتایج روش انتقال منحنی تداوم جریان به‌صورت مقادیر جریان در جدول ۳ و مقدار درصد متوسط جریان سالانه در جدول ۴ نشان داده شده است. باتوجه به جداول، این روش، جریان زیست‌محیطی را در شش کلاس مدیریت زیست‌محیطی محاسبه و نشان می‌دهد که برای ایستگاه پاتاو در کلاس A (طبیعی)، ۶۹/۶۰ درصد، در کلاس B (اندکی تغییر یافته) ۵۰/۱۰ درصد، در کلاس C (نسبتاً تغییر یافته) ۳۷/۸۰ درصد، در کلاس D (تا حد زیادی تغییر یافته) ۲۹/۷۰ درصد، در کلاس E (به‌شدت تغییر یافته) ۲۴/۲۰ درصد و در کلاس F (به طرز بحرانی تغییر یافته) ۲۰/۱۰ درصد متوسط جریان سالانه موردنیاز است. منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای شش کلاس فوق در شکل ۲ نشان داده شده است.

باتوجه به وضعیت طبیعی رودخانه بشار، موقعیت منطقه و وضعیت اقتصادی و معیشتی مردم ساکن در حوضه‌ی بشار که وابسته به کشاورزی و دامداری است؛ بنابراین لزوم مصرف آب در این حوضه را نمی‌توان در کلاس مدیریتی بالا در نظر گرفت. همچنین باتوجه به اینکه بر روی این رودخانه کم و بیش مزارع شالیکاری و معادن شن و ماسه و مزارع ماهی احداث شده است، محیط‌زیست و اکوسیستم این رودخانه نسبتاً تغییر کرده است. بنابراین انتخاب کلاس مدیریتی باید به‌گونه‌ای در نظر گرفته شود که هم به این نوع عملیات اجرایی صدمه وارد نشود و هم حیات گونه‌های گیاهی و جانوری اکوسیستم رودخانه بشار مورد تخریب و خطر قرار نگیرد. از این‌رو، کلاس مدیریتی C به‌منظور تعیین نی‌از

نمی‌تواند گزینه مناسبی برای تعیین جریان زیست‌محیطی باشد و از طرفی باتوجه به رژیم رودخانه و کاهش جریان و تغییرات هیدرولوژیکی، در نظر گرفتن کلاس‌های مدیریتی پایین نیز جوابگو نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه مذکور نیست؛ بنابراین کلاس مدیریتی C به‌منظور تعیین جریان زیست‌محیطی گزینه مناسبی است که با تحقیق Pirozian et al. (2020) و Korsgaard (2006) مطابقت دارد. بر این اساس کلاس C میزان جریان زیست‌محیطی در روش انتقال منحنی تداوم جریان حدود ۷۲/۵۴ مترمکعب بر ثانیه محاسبه شد. سری جریان زیست‌محیطی در کلاس C در محل ایستگاه هیدرومتری پاتاوه براساس شکل ۵ نیز بیانگر کاهش دبی جریان با گذشت زمان است. همچنین اختلاف بالای جریان زیست‌محیطی در دبی‌های زیاد حالت طبیعی رودخانه نیز بیانگر تأثیر سیلاب‌های رخ داده در حوضه رودخانه می‌باشد. براساس روش هیدرولیکی محیط خیس شده میزان نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه بشار در محل ایستگاه پاتاوه حدود ۲۰/۶ درصد میانگین آورد سالانه به دست آمد.

استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به نتایج مشابهی دست یافتند.

در روش انتقال منحنی تداوم جریان تعیین نیاز زیست‌محیطی با در نظر گرفتن معیارهای مختلفی از جریان قابل‌محاسبه است و به‌صورت ترکیبی از حداقل و حداکثر نیاز جریان زیست‌محیطی (Q70 تا Q90) محاسبه می‌شود. از آنجائی که این روش از شیب منحنی تداوم جریان به‌صورت عرضی استفاده می‌کند تا کلاس‌های مدیریتی زیست‌محیطی تعیین شوند. باتوجه به جداول ۳ و ۴ روش انتقال منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی را در شش کلاس مدیریت زیست‌محیطی محاسبه و نشان داد که برای رودخانه بشار در محل ایستگاه پاتاوه نیاز جریان زیست‌محیطی در کلاس A (طبیعی)، ۶۹/۶۰ درصد، در کلاس B (اندکی تغییر یافته) ۵۰/۱۰ درصد، در کلاس C (نسبتاً تغییر یافته) ۳۷/۸۰ درصد، در کلاس D (تا حد زیادی تغییر یافته) ۲۹/۷۰ درصد، در کلاس E (به‌شدت تغییر یافته) ۲۴/۲۰ درصد و در کلاس F (به طرز بحرانی تغییر یافته) ۲۰/۱۰ می‌باشد. براساس منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی برای شش کلاس فوق می‌توان نتیجه گرفت که لزوم توجه به کلاس‌های مدیریتی بالا به‌دلیل وابسته بودن اقتصاد مردم منطقه به این رودخانه

جدول ۱- جریان زیست‌محیطی به روش تنانت برای ایستگاه هیدرومتری پاتاوه

Table 1- The EFR by Tennant method for the Pataveh hydrometry station

Flow condition	Tenant method for EFR assessment		EFR of the Pataveh hydrometry station (m ³ /s)	
	April–September	October–March	April–September	October–March
Flushing flow	200	200	79.84	79.84
Optimum range of flow	60-100	60-100	23.95-39.92	23.95-39.92
Outstanding	60	40	23.95	15.96
Excellent	50	30	19.96	11.97
Good	40	20	15.96	7.98
Fair or degrading	30	10	11.97	3.99
Poor or minimum	10	10	3.99	3.99
Severe degradation	10>	10>	<3.99	3.99<

جدول ۲- نیاز زیست‌محیطی رودخانه بشار در ایستگاه پاتاوه براساس روش تسمن

Table 2- The EFR by Tessman method for the Pataveh hydrometry station

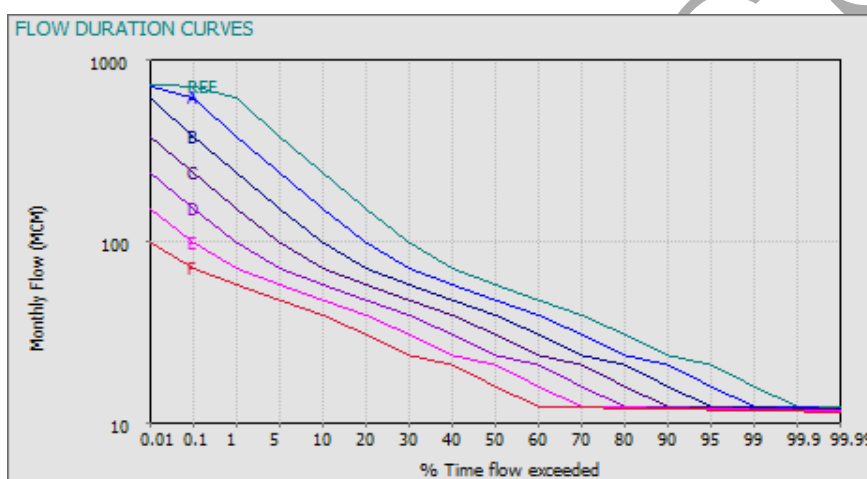
Month	MMF (m ³ /s)	EFR (m ³ /s)	Month	MMF (m ³ /s)	EFR (m ³ /s)
October	14.34	5.73	April	80.67	32.26
November	21.00	8.40	May	39.68	15.87
December	40.41	16.16	June	21.41	8.56
January	52.37	20.95	July	15.53	6.21
February	76.00	30.40	August	13.70	5.48
March	93.03	37.21	September	13.41	5.36

جدول ۳- نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه بشار با روش انتقال منحنی تداوم جریان در ایستگاه پاتاوه
 Table 3- The EFR by FDC-Shifting method for the Pataveh hydrometry station

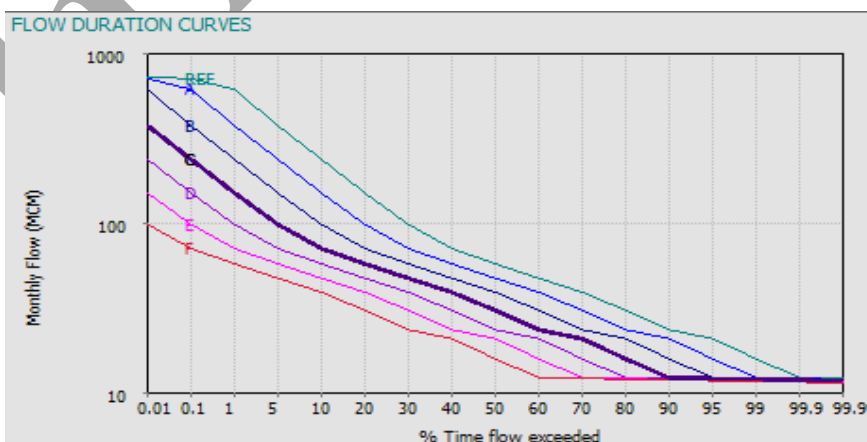
EFR						EFR (m ³ /s) for Pataveh station
Class A	Class B	Class C	Class D	Class E	Class F	
149.43	108.01	72.54	51/05	37.67	29.47	39.92

جدول ۴- درصد نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه بشار با روش انتقال منحنی تداوم جریان
 Table 4- The EFR by FDC-Shifting method for the Pataveh hydrometry station

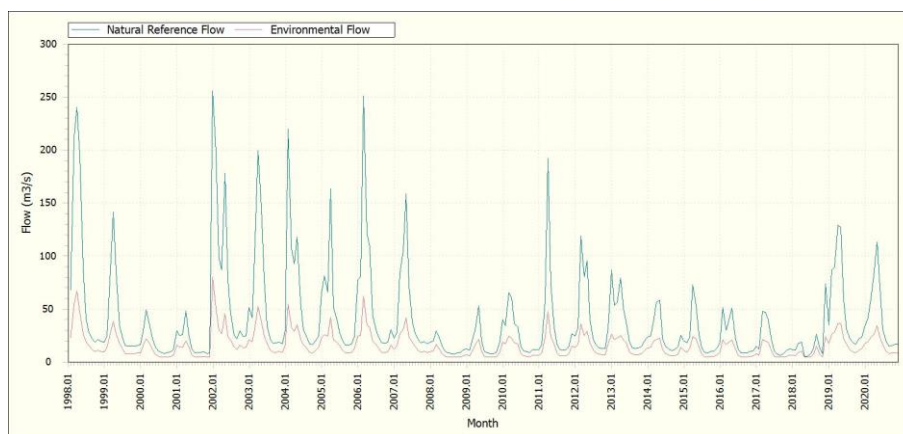
%EFR (% of MAR)						EFR (m ³ /s) for Pataveh station
Class A	Class B	Class C	Class D	Class E	Class F	
69.60	50/10	37.80	29.70	24.20	20.10	39.92



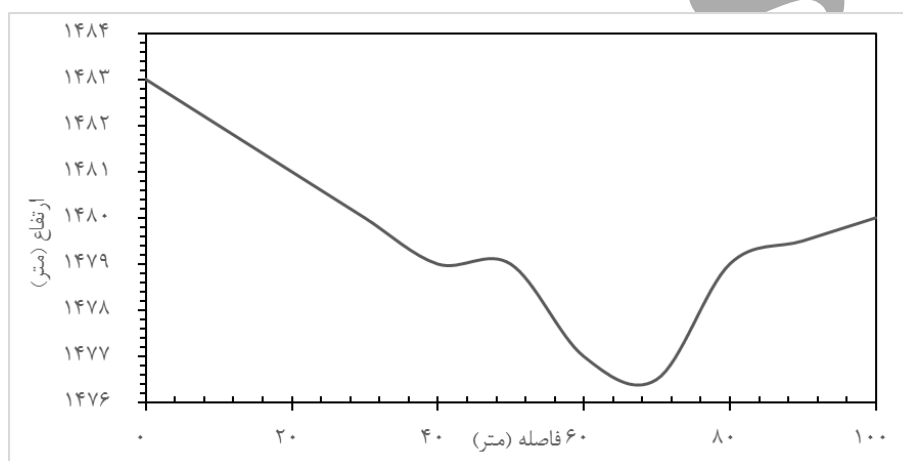
شکل ۲- منحنی تداوم جریان زیست‌محیطی و شیفت‌های عرضی به روش انتقال منحنی تداوم جریان در ایستگاه پاتاوه
 Fig. 2- Environmental flow duration curve and transverse shifts using the FDC Shifting method at Pataveh station



شکل ۳- کلاس مدیریتی C برای تعیین EFR به روش FDC-Shifting در ایستگاه پاتاوه.
 Fig. 3- Management class C to determine the EFR by the transfer method of the continuous flow curve at the Pataveh station



شکل ۴- روند تغییرات سری زمانی جریان زیست‌محیطی ماهانه کلاس C ایستگاه پاتاوه
 Fig. 4- Time series of monthly EFR in class C of Pataveh station



شکل ۵- نیم‌رخ عرضی رودخانه بشار در ایستگاه پاتاوه
 Fig. 5- Transverse profile of Beshar River at Pataveh station

زیست‌محیطی در شش کلاس مدیریت زیست‌محیطی شامل کلاس A (طبیعی)، ۶۹/۶۰ درصد، در کلاس B (اندکی تغییر یافته) ۵۰/۱۰ درصد، در کلاس C (نسبتاً تغییر یافته) ۳۷/۸۰ درصد، در کلاس D (تا حد زیادی تغییر یافته) ۲۹/۷۰ درصد، در کلاس E (به شدت تغییر یافته) ۲۴/۲۰ درصد و در کلاس F (به طرز بحرانی تغییر یافته) ۲۰/۱۰ می‌باشد. باتوجه به شرایط رودخانه مورد مطالعه، کلاس مدیریتی C به منظور تعیین جریان زیست‌محیطی گزینه مناسبی تشخیص داده شد که نیاز جریان زیست‌محیطی حدود ۷۲/۵۴ مترمکعب بر ثانیه محاسبه گردید.

(۴) براساس روش محیط خیس شده میزان نیاز جریان زیست‌محیطی رودخانه بشار در محل ایستگاه پاتاوه حدود ۲۰/۶ درصد میانگین آورد سالانه به دست آمد.

(۵) به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های هیدرولوژیکی به‌کار گرفته شده در این تحقیق قابلیت بالایی در

۴. نتیجه‌گیری

امروزه توجه به محیط‌زیست رودخانه به دلیل مداخلات بشری در سیستم رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و به‌عنوان محور اصلی تحقیق پژوهشگران در اقصی نقاط دنیا قرار گرفته است. باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری کرد که:

(۱) براساس روش تنانت، مقدار جریان زیست‌محیطی در دوره‌ی پربابی و کم‌آبی به‌ترتیب ۳/۹۹ و ۱۱/۹۷ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد.

(۲) در روش تسمن میزان نیاز جریان زیست‌محیطی در ماه‌های مختلف نشان داد که در فصل کم‌آبی و همین‌طور نیمه‌ی اول دوره‌ی پربابی نیاز زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

(۳) نتایج روش انتقال منحنی جریان برای میزان جریان

زیست‌محیطی در بستر رودخانه مورد مطالعه می‌تواند در آینده حیات بشری نیز مؤثر باشد.

تخمین میزان جریان زیست محیطی در رودخانه دارند. (۶) باتوجه به اهمیت رودخانه‌ها و محیط‌زیست آن‌ها در حیات بشری می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در نظر گرفتن این میزان جریان و رعایت اصول مهندسی رودخانه در حفظ میزان جریان

Reference

- Adhikary, S.K., Muttill, N. and Yilmaz, A.G., 2017. Cokriging for enhanced spatial interpolation of rainfall in two Australian catchments. *Hydrological processes*, 31(12), pp.2143-2161. <https://doi.org/10.1002/hyp.11163>.
- Chen, Y., Sharma, S., Zhou, X., Yang, K., Li, X., Niu, X., Hu, X. and Khadka, N., 2021. Spatial performance of multiple reanalysis precipitation datasets on the southern slope of central Himalaya. *Atmospheric Research*, 250, pp.105365. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105365>.
- Feki, H., Slimani, M. and Cudennec, C., 2012. Incorporating elevation in rainfall interpolation in Tunisia using geostatistical methods. *Hydrological Sciences Journal*, 57(7), pp. 1294-1314. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.710334>.
- Harka, A.E., Jilo, N.B. and Behulu, F., 2021. Spatial-temporal rainfall trend and variability assessment in the Upper Wabe Shebelle River Basin, Ethiopia: Application of innovative trend analysis method. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, pp. 100915. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100915>.
- Hassim, M., Yuzir, A., Razali, M.N., Ros, F.C., Chow, M.F. and Othman, F., 2020. June. Comparison of Rainfall Interpolation Methods in Langat River Basin. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 479(1), 012018. DOI:10.1088/1755-1315/479/1/012018.
- Hu, Q., Li, Z., Wang, L., Huang, Y., Wang, Y. and Li, L., 2019. Rainfall spatial estimations: A review from spatial interpolation to multi-source data merging. *Water*, 11(3), pp.1-30. <https://doi.org/10.3390/w11030579>.
- Korsgaard, L., 2006. Environmental flows in integrated water resources management: Linking flows, services and values. Ph.D. Thesis Institute of Environment & Resources Technical University of Denmark.
- Kumari, M., Basistha, A., Bakimchandra, O. and Singh, C.K., 2016. Comparison of spatial interpolation methods for mapping rainfall in Indian Himalayas of Uttarakhand region. In *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment*, Springer, Cham, pp. 159-168. https://doi.org/10.1007/978-3-319-18663-4_27.
- Liu, X., Yang, T., Hsu, K., Liu, C. and Sorooshian, S., 2017. Evaluating the streamflow simulation capability of PERSIANN-CDR daily rainfall products in two river basins on the Tibetan Plateau. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(1), pp. 169-181.
- Naderi, M., Pourgholam Amiji, M., Khoshravesh, M. and rajabizadeh, Y., 2020. Analysis of Hydrological and Hydraulic Aspects in Designing Ideal and Optimal Environmental Flow Regime for Conservation of Qarasoo River Ecosystem. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 14(2), pp. 464-481. DOI:10.1001.1.20087942.1399.14.2.10.5. (In Persian).
- Pirozian, A., Saraei Tabrizi, M. and Sedghi, H., 2020. Investigating different methods of estimating environmental water needs (case study: Alandchai River). *Environmental Science and Technology*, 22(7), pp. 25-41. DOI:10.22034/JEST.2021.34951.4204 (In Persian).
- Rouzegari, N., Sattari, M.T. and Feyzi, H., 2019. Comparison of Hydrology and Eco Hydrology Methods in Environmental Flow Estimation of Mahabad River. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(9), pp. 57-70. DOI:10.22034/jest.2018.21469.3062 (In Persian).
- Seo, Y., Kim, S. and Singh, V.P., 2015. Estimating spatial precipitation using regression kriging and artificial neural network residual kriging (RKNNRK) hybrid approach. *Water Resources Management*, 29(7), pp. 2189-2204. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0935-9>.
- Shahriari, A., Sharifi Pichon, M. and Esfandiari, Z., 2019. Investigating the geomorphological changes of river meanders using satellite images in the period from 1990 to 2018 (case study: Bashar River). *Quantitative Geomorphological Research*, 8(3), pp. 145-132. DOI:10.1001.1.22519424.1398.8.3.8.3 (In Persian).
- Smakhtin V.U., and Anpurhas M., 2006. An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. IWMI Research Report 107. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S. and Hsu, K.L., 2018. A review of global precipitation data sets: Data sources,

- estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), pp. 79-107. <https://doi.org/10.1002/2017RG000574>.
- Trenberth, K.E., Zhang, Y. and Gehne, M., 2017. Intermittency in precipitation: Duration, frequency, intensity, and amounts using hourly data. *Journal of Hydrometeorology*, 18(5), pp. 1393-1412. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0263.1>.
- Zamani, Sh., Sharifi Pichon, M., Esfandiari, Z., 2012. Studying the ecology of Bashar River in the catchment area of Yasuj city. In *6th national conference and specialized exhibition of environmental engineering*, Tehran. In Persian).

In Press