

Temporal variation of base flow in Barun-Chay river sub-basin, Aras

Rahim Kazemi^{1*} and Bagher Ghermezcheshmeh²

^{1 and 2} Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Received: 10 January 2026

Accepted: 22 April 2026

Extended abstract

Introduction

Baseflow, as the delayed portion of river flow, mainly supplied from subsurface water and groundwater resources, plays a key role in river flow sustainability, water resources management, aquatic ecosystem protection, and drought adaptation planning. The base flow index (BFI), which is the ratio of base flow volume to the total streamflow volume, is a dimensionless measure for assessing the contribution of subsurface water to stream flow. Global studies show that, on average, more than half of river flow is provided by base flow, and BFI depends more on the inherent characteristics of the basin, such as geology, soil, topography, and morphology, than on precipitation. Despite numerous studies on baseflow estimation in Iran, limited attention has been paid to investigating its temporal changes and long-term trends at different time scales. Therefore, the aim of this study is to investigate changes in BFI on monthly, seasonal, and annual time scales, as well as analyze the long-term trend and the effect of human interventions in Barun Chay river basin.

Materials and methods

The study area is Barun Chay river basin with an area of 1025 km², located in the Aras Basin in West Azerbaijan Province (Iran). This basin has a significant diversity in terms of permeability of geological formations, such that a major part of its surface is formed by geological formations with low and very low permeability. In this study, daily stream flow data from the Qale-Jogh hydrometric station of Barun Chay river basin were used for the period of 1976 to 2017. After extracting the physiographic characteristics of the basin using a geographic information system, the base flow was separated from the total flow hydrograph using the One Parameter Recursive Digital Filter technique and the BFI extension in the Hydro Office, 2015, software. Then, time series of base flow and BFI were prepared on monthly, seasonal and annual scales. Descriptive statistical analysis and trend analysis were performed using the non-parametric Mann-Kendall method. Also, the effect of dam construction upstream of the hydrometric station on BFI was evaluated by comparing the periods before and after dam construction.

Results and discussion

The results showed that the long-term average of the annual BFI over a 41-year period was 0.552, indicating a more than 50 percent contribution of subsurface flow and groundwater to the river flow. On a seasonal scale, the highest value of BFI belongs to the winter and summer seasons and the lowest to the spring season. On a monthly scale, the maximum long-term BFI was observed in January and its minimum in May. Analysis of monthly changes in BFI showed that it had an increasing trend from the October to January and a decreasing trend from January to May, which coincided with the change in the precipitation regime and the delay in the participation of subsurface flows to stream flow. From May to September, with the decrease in precipitation, contribution of delayed flows increased and BFI showed an increasing trend again. Trend analysis of the long-term BFI using the Mann-Kendall test indicates that in most months, seasons and annual scales, the trend were negative and only in June and October an increasing trend was observed. Comparison of the annual average BFI in the periods before and after dam construction showed that the long-term average of BFI increased from 0.542 to 0.562, and the effect of human interventions resulting from dam construction on the annual BFI was estimated to be about 0.02.

Conclusion

The Overall results indicate the dominant role of subsurface flows in providing Barun Chay river flow and the greater dependence of BFI on the inherent characteristics of the basin than on precipitation changes.

* Corresponding author: ra_hkazemi@yahoo.com

Understanding the temporal pattern and long-term trend of base flow can provide an effective basis for sustainable water resources management, dam operation planning, and developing drought adaptation strategies in similar watersheds. After determining BFI at different times and locations, and preparing a map of sustainable flows at regional and national scales, the initial prerequisite for developing plans appropriate to the hydrological capacity of each region will be achieved.

Keywords: Flow Separation, Groundwater, Recursive Digital Filter, Time Step, Trend Analysis

Cite this article: Kazemi, R., Ghermezcheshmeh, B., 2026. Temporal variation of base flow in Barun-Chay river sub-basin, Aras. Water. Eng. Manag.18(3), 342-357.

© 2026, The Author(s). Published by Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)



تغییرات زمانی جریان پایه در زیر حوضه رودخانه بارون چای-ارس

رحیم کاظمی^{۱*} و باقر قرمز چشمه^۱

^۱ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۰

چکیده مبسوط

مقدمه

جریان پایه به عنوان بخش تاخیری جریان رودخانه که عمدتاً از منابع آب زیرسطحی و زیرزمینی تأمین می شود، نقش کلیدی در پایداری جریان رودخانه، مدیریت منابع آب، حفاظت از اکوسیستم های آبی و برنامه ریزی سازگاری با خشکسالی ایفا می کند. شاخص جریان پایه که نسبت جریان پایه به جریان کل رودخانه است، معیاری بی بعد برای ارزیابی سهم مشارکت آب های زیرسطحی در جریان سطحی محسوب می شود. مطالعات جهانی نشان می دهد که به طور متوسط بیش از نیمی از جریان رودخانه ها از جریان پایه تأمین می شود و این شاخص بیش از آنکه تابع بارش باشد، به ویژگی های ذاتی حوضه نظیر زمین شناسی، خاک، توپوگرافی و شرایط مورفولوژیک وابسته است. مطالعات متعددی در زمینه برآورد جریان پایه در ایران انجام شده است. ولی بررسی تغییرات زمانی و روند بلندمدت آن در مقیاس های مختلف زمانی به طور محدود مورد توجه قرار گرفته است. از این رو، هدف این پژوهش بررسی تغییرات جریان پایه و شاخص آن در مقیاس های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه و همچنین تحلیل روند بلندمدت و اثر مداخلات انسانی ناشی از احداث سد در حوضه رودخانه بارون چای به مبدأ ایستگاه آب سنجی قلعه جوق است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه، حوضه رودخانه بارون چای با مساحت ۱۰۲۵ کیلومتر مربع، واقع در حوضه بزرگ ارس در استان آذربایجان غربی است. این حوضه دارای تنوع قابل توجهی از نظر نفوذپذیری سازندهای زمین شناسی است، به طوری که بخش عمده ای از سطح آن را سازندهای با نفوذپذیری کم و خیلی کم تشکیل می دهد. در این پژوهش، داده های دبی روزانه ایستگاه آب سنجی قلعه جوق با دوره آماری سال های آبی ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۶ مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات فیزیوگرافی حوضه با بهره گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی استخراج شد. تفکیک جریان پایه از هیدروگراف جریان کل به روش فیلتر رقومی برگشتی تک پارامتری و با استفاده از افزونه BFI در نرم افزار Hydro Office 2015 انجام شد. سپس سری های زمانی جریان پایه و شاخص جریان پایه در مقیاس های ماهانه، فصلی و سالانه تهیه و تحلیل آماری توصیفی و بررسی روند تغییرات آنها به روش ناپارامتری من-کندال صورت گرفت. همچنین، اثر احداث سد بالادست ایستگاه آب سنجی بر شاخص جریان پایه با مقایسه دوره های قبل و بعد از احداث سد ارزیابی شد.

* مسئول مکاتبات: ra_hkazemi@yahoo.com

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که میانگین بلندمدت شاخص جریان پایه سالانه در دوره ۴۱ ساله برابر با ۰/۵۵۲ است که بیانگر سهم بیش از ۵۰ درصدی مشارکت آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی در جریان رودخانه است. در مقیاس فصلی، بیشترین مقدار شاخص جریان پایه به فصول زمستان و تابستان و کمترین مقدار آن به فصل بهار تعلق دارد. در مقیاس ماهانه، بیشینه جریان پایه بلندمدت در دی‌ماه و کمینه آن در اردیبهشت‌ماه مشاهده شد. تحلیل تغییرات ماهانه شاخص جریان پایه نشان داد که این شاخص از ابتدای سال آبی تا دی‌ماه روند افزایشی و از دی تا اردیبهشت روند کاهشی داشته است. که این امر با تغییر رژیم بارش و تأخیر در مشارکت جریان‌های زیرسطحی هم‌زمان است. از اردیبهشت تا شهریور، با کاهش بارش، سهم جریان‌های تاخیری افزایش یافته و شاخص جریان پایه مجدداً روند افزایشی نشان می‌دهد. بررسی روند تغییرات شاخص جریان پایه بلندمدت، به روش من-کندال نشان داد که در اغلب ماه‌ها، فصول و مقیاس سالانه، روند منفی بوده و تنها در ماه‌های خرداد و مهر روند افزایشی مشاهده شده است. مقایسه میانگین سالانه شاخص جریان پایه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد نشان داد که میانگین بلندمدت شاخص جریان پایه از ۰/۵۴۲ به ۰/۵۶۲ افزایش یافته است و اثر مداخلات انسانی ناشی از احداث سد بر شاخص جریان پایه سالانه حدود ۰/۰۲ برآورد می‌شود. به‌عنوان یافته کاربردی پیشنهاد می‌شود، به‌عنوان پیش‌نیاز تدوین طرح‌های مدیریت جامع آب‌خیزداری، میزان شاخص جریان پایه در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف محاسبه و نقشه جریان‌های پایدار در مقیاس‌های منطقه‌ای و کشوری تهیه شود.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این پژوهش بیانگر نقش غالب جریان‌های زیرسطحی در تأمین جریان رودخانه بارون‌چای و وابستگی بیشتر شاخص جریان پایه به ویژگی‌های ذاتی حوضه نسبت به تغییرات بارش است. شناخت الگوی زمانی و روند بلندمدت جریان پایه می‌تواند، مبنای مؤثری برای مدیریت پایدار منابع آب، برنامه‌ریزی بهره‌برداری از سدها و تدوین راهبردهای سازگاری با خشک‌سالی در حوزه‌های آبخیز مشابه فراهم آورد.

واژه‌های کلیدی: آب‌های زیرزمینی، تحلیل روند، تفکیک جریان، فیلتر رقومی برگشتی، گام زمانی

مقدمه

هیدروگراف به دو جزء جریان سریع^۳ و جریان پایه تقسیم می‌شود. جریان سریع شامل رواناب سطحی واقعی و بخش جریان سریع جریان زیرسطحی است. در حالی که جریان پایه شامل جریان آب زیرزمینی و بخشی از جریان زیرسطحی است که به آرامی از طریق خاک زیرین حرکت می‌کند.

جریان پایه عبارت است از بخشی از جریان رودخانه که از منابع آب زیرزمینی و زیرسطحی تاخیری مانند مخازن ساحلی رودها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها و ذوب برف و یخ سرچشمه می‌گیرد. شاخص جریان پایه^۴ نیز یک نسبت بی بعد است که از تقسیم جریان پایه به جریان کل به‌دست می‌آید (Smakhtin, 2001). نتایج یک مطالعه جامع برای محاسبه شاخص جریان پایه که در ۱۵۵۶۷ رودخانه در سرتاسر جهان به انجام رسیده

بررسی فرایندهای جریان رودخانه برای اهداف مختلفی ازجمله مدیریت منابع آب، حفظ اکوسیستم‌های آبی، تولید برق آبی، انتقال آلاینده‌ها و پیش‌بینی جریان کم آب اهمیت دارد (Beck et al., 2013). جریان رودخانه از سه بخش تشکیل شده است، جریان سطحی یا رواناب سطحی، جریان میان‌گذر^۱ متشکل از آبی که به خاک نفوذ می‌کند و از طریق لایه‌های بالایی خاک به‌صورت جانبی به سمت پایین شیب حرکت می‌کند و جریان آب زیرزمینی^۲ که به آبخوان نفوذ کرده و از آن عبور می‌کند. از نظر هیدروگراف جریان رودخانه، تمایز بین سه جزء مختلف، بسیار مشکل و تا حدودی غیرممکن است. به همین دلیل، جریان رودخانه معمولاً برای جداسازی

^۳ Rapid stormflow

^۴ Base flow index (BFI)

^۱ Interflow

^۲ Groundwater flow

پیش‌بینی شده جریان سریع هر رویداد که تابعی از مساحت حوزه آبخیز است، انجام شد. نتایج این پژوهش، شاخص جریان پایه را از ۰/۵۸ تا ۰/۸۱ برای حوزه‌های آبخیز با مقیاس ۲/۶ تا ۳۳۴ کیلومترمربع گزارش کردند (Shrimohammadi et al., 1984) که آنها تغییرات فصلی جریان پایه تابعی از سطوح مختلف تبخیر و تعرق و ذخیره آبخوان‌ها است. نتایج پژوهش Sheridan (1997) نشان داد که ۵۴ درصد از بارش دریافتی در ژانویه تا آوریل به جریان رودخانه تبدیل می‌شود. در حالی که در بقیه سال این ضریب تبدیل تنها ۱۲ درصد است.

بر اساس نتیجه پژوهش et al., (1986) Shirmohammadi ذخیره آبرفتی اطراف رودخانه‌های جنوب شرقی ایالات متحده از صفر تا ۲۰ درصد در اواخر زمستان و بهار و تا ۱۰۰ درصد در اواخر تابستان و پاییز متغیر است. کمبود ذخیره موجود در زمستان و بهار منجر به ایجاد جریان‌های اوج بالا^۱ و افزایش جریان رودخانه‌ای می‌شود. برای مناطقی که دارای سفره‌های آب سطحی هستند، جریان پایه می‌تواند در دوره‌های تابستان و پاییز که سفره‌های آب سطحی تمایل به خشک شدن دارند، متوقف شود. نتایج پژوهش بررسی تغییرات زمانی جریان پایه برای حوزه آبخیز لیتل ریور^۲ در جنوب جورجیا، ایالات متحده آمریکا در پایه‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه، تاثیر و اهمیت الگوی زمانی در امور کشاورزی مناطقی که به شدت به جریان رودخانه وابسته هستند را نشان داد (et al., 2017 Bosch). نمایش نادرست الگوهای جریان پایه می‌تواند منجر به نتایج نادرست مدل و در نهایت تصمیمات نادرست در سیاست‌گذاری شود (Arnold et al., 2014).

پژوهش‌های متعددی در سطح جهان برای بررسی روند تغییرات جریان پایه انجام شده است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. تغییرپذیری پایداری جریان پایه و غیرخطی بودن آن (یعنی تقعر هیدروگراف) و همچنین خوشه‌بندی منطقه‌ای این ویژگی‌ها برای بیش از ۱۰۰۰ حوزه آبخیز در ایالات متحده توسط Tashie et al., (2020) بررسی شد.

است، شاخص جریان پایه جهانی را به میزان $\pm 0/59$ برآورد کرده است. ایشان همچنین گزارش کردند که حداقل 21 ± 3 درصد جریان پایه از بارش، تغذیه می‌کند. این میزان، تقریباً دو برابر رقم گزارش شده در ششمین گزارش ارزیابی هیئت بین دولتی سازمان ملل متحد در مورد تغییرات اقلیمی است (Xie et al., 2024).

هفت روش مختلف تفکیک جریان پایه با استفاده از شاخص منحنی تداوم جریان توسط Kazemi and Ghermezcheshmeh, (2016) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت و روش فیلتررقومی یک پارامتره را در غیاب روش‌های مبتنی بر ردیاب‌ها به عنوان روش مناسب معرفی کردند. نتایج پژوهش بررسی نقش سازندهای زمین‌شناسی و پارامترهای هیدرولوژیکی بر جریان پایه در تعدادی از حوضه‌های ناحیه خزری، نتایج نشان داد که درصد مساحت سازندهای سخت و نسبت هیدرولوژیکی Q_{90}/Q_{50} به عنوان مؤثرترین عوامل در برآورد شاخص جریان پایه در منطقه پژوهش است (Kazemi and Eslami, 2013).

بررسی و ارائه روابط منطقه‌ای شاخص جریان پایه در حوضه‌های همگن استان کرمان به وسیله Kazemi and Sharifi, (2017) به روش تحلیل عاملی و با استفاده از ۱۴ پارامتر مؤثر بر شاخص جریان پایه مورد پژوهش قرار گرفت. روابط منطقه‌ای رگرسیون چند متغیره، در سطوح معنی‌داری کمتر از یک درصد، پس از مقایسه و ارزیابی صحت و کارایی مدل‌های برآوردی، به روش آزمون استقلال خطاها، نرمال بودن توزیع خطاها و هم خطی، ارائه شد. نتایج محاسبه جریان پایه برای ایالات متحده با استفاده از روش فیلتر رقومی تک پارامتری در ماه‌های با تبخیر و تعرق کم (غیر تابستان) مقادیر شاخص جریان پایه را ۰/۳۰ تا ۰/۵۰ گزارش کردند (Santhi et al., 2008).

تفکیک هیدروگراف‌ها با روش خط مستقیم در جورجیا، جنوبی، ایالات متحده آمریکا برای دوره ۱۹۶۸ تا ۱۹۸۱ برای رویدادهای بارندگی بیش از پنج میلی‌متر بررسی شد. تعیین نقطه نهایی روی شاخه نزولی هیدروگراف براساس مدت زمان رواناب

² Little River¹ Peak flows

جریان پایه تأثیر دارد. همچنین میزان تأثیر آب و هوا بر تغییرات جریان پایه را کم گزارش کردند (et al., Leeming 2025).

نتایج ارزیابی جامع و تحلیل تغییرات جریان پایه در یک حوضه کارستی در جنوب غربی چین نشان داد که تغییرات اقلیمی، مهم‌ترین عامل تغییرات جریان پایه در طول سال‌های ۱۹۹۳-۱۹۹۸ بوده است. در حالی که در طول سال‌های ۱۹۷۹-۱۹۹۲ و ۲۰۱۹-۱۹۹۹ فعالیت‌های انسانی، محرک‌های غالب بر تغییرات جریان پایه بوده است (Mo et al., 2025). تحلیل روند جریان پایه در رودخانه‌های شهری شمال شرقی ایلینوی ایالات متحده آمریکا انجام شد. نتایج نشان داد که میانگین جریان پایه سالانه در سه جریان شهری نامنظم در طول دوره‌های شهرنشینی در حوزه آبخیز روند معنی‌داری ندارد. این نتایج در تضاد با نتایج مطالعات سایر جریان‌های شهری است که کاهش در جریان پایه را نشان داده‌اند، اما این نتایج ممکن است تا حدی با نفوذپذیری پایین سطوح شهری در حوزه‌های آبخیز مرتبط باشد (Meyer et al., 2005).

ترکیب فیلتر رقومی تفکیک جریان پایه با مدل SWOT برای شبیه‌سازی تغییرات مکانی زمانی جریان پایه در حوضه یک رودخانه کوهستانی در کشور چین انجام شد. نتایج نشان داد که بین شاخص جریان پایه و بارندگی همبستگی منفی و بین جریان پایه سالانه و جریان رودخانه، همبستگی مثبت وجود دارد (Duan et al., 2024). تأثیر تغییرات اقلیمی بر روند جریان پایه ماهانه در گستره کشور کانادا مورد پژوهش قرار گرفت. نتایج نشان داد که روند تغییرات جریان پایه در مقیاس ماهانه در عموماً افزایشی است. در مقیاس فصلی روند کاهشی جریان پایه در طول تابستان در جنوب غربی کانادا رخ داده است. همچنین زمان و حجم ذوب برف باعث افزایش جریان پایه بهاره شده است (Murray et al., 2023).

جمع‌بندی پژوهش‌های جریان پایه دوده گذشته در ایران و جهان، براساس قلمرو مکانی، روش پژوهش، تئوری، فنون تحلیل داده و موضوع، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که گرایش‌های

ایشان وجود الگوهای فصلی در پایداری و غیرخطی بودن جریان پایه را اثبات کردند و ذخیره همزمان حوزه آبخیز و تبخیر و تعرق دو تا سه ماه قبل را بهترین پیش‌بینی‌کننده پایداری جریان پایه معرفی کردند. نتایج بررسی تغییرات مکانی و زمانی جریان پایه در سه رودخانه کوهستانی در آفریقای جنوبی با استفاده از تلفیق دو روش فیلتر رقومی دو پارامتره و موازنه جرم هدایت الکتریکی^۱ نشان داد که سهم جریان پایه سالانه از جریان کل از نظر مکانی متفاوت است. آنها برآورد کردند که جریان‌های پایه ۳۸ تا ۸۶ درصد از جریان‌های سالانه را در سه زیرحوضه مورد پژوهش تشکیل می‌دهند.

هر سه زیرحوضه در تابستان خشک در مقایسه با زمستان مرطوب، سهم نسبی بالاتری از جریان پایه داشتند (Mokua et al., 2024). آشکارسازی تغییرات زمانی جریان پایه و علل اساسی آن در حوضه رودخانه یانگ تسه (چین) انجام شد. نتایج نشان داد که به‌طور میانگین ۷۵ درصد زمان‌ها، جریان پایه ماهانه ۶۲ تا ۹۷ درصد از رواناب را تشکیل می‌دهد. همچنین جریان پایه روند افزایشی قابل‌توجهی را طی سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۲۰ نشان داده است. سهم بارش، دما، تبخیر و تعرق و برنامه‌های حفاظت از محیط زیست در تغییرات جریان پایه سالانه به‌ترتیب ۸۶، ۵۳، ۱۵- و ۲۴- درصد تعیین شد. با این حال، سهم آنها در ماه‌های مختلف متفاوت بود. در طول ماه‌های گرم ماه مه تا سپتامبر، بارش نقش غالب را در جریان پایه ایفا کرد و پس از آن تبخیر و تعرق در مرتبه بعدی قرار دارد.

در مقابل، در سایر ماه‌های سردتر، دما نقش بیشتری بر تغییرات جریان پایه داشت. علاوه بر این، تغییرات اقلیمی با حداکثر زمان تأخیر ۱۰ ماهه بر تغییرات جریان پایه اثر داشت (Wuet et al., 2024). یک رویکرد خوشه‌بندی تحلیل داده‌ها برای بررسی الگوهای فصلی هیدروگراف‌های جریان پایه برای ۶۷۱ حوزه آبخیز در سراسر بریتانیای کبیر اعمال شد. نتایج نشان داد که توزیع مکانی خوشه‌های فصلی جریان پایه، ارتباط نزدیکی با شاخص جریان پایه دارد و عوامل توپولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و خاک حوزه آبخیز بر

¹ Conductivity Mass Balance (CMB)

۸۳/۰۸ درصد رودخانه‌ها، دارای روند نزولی معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد بودند (Parizo et al., 2024). در جمع‌بندی مرور منابع، نکته قابل توجه این است که محققین بسیاری جریان پایه را در مناطق مختلف کشور از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار داده‌اند. ولی پژوهش‌های با موضوع روندیابی، عموماً بر روندیابی تغییرات جریان متمرکز بوده و روندیابی شاخص جریان پایه در بازه‌های زمانی مختلف در قبل و بعد از مداخله انسانی ناشی از احداث سد، مشاهده نشده است. لذا هدف از این پژوهش بررسی تغییرات شاخص جریان پایه در بازه‌های زمانی ماه، فصل و سال در حوضه رودخانه بارون چای به مبداء ایستگاه آب‌سنجی قلعه‌جوق، قبل و بعد از احداث سد در بالادست ایستگاه آب‌سنجی است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش: حوضه رودخانه بارون چای به مبداء ایستگاه قلعه‌جوق با کد آب‌سنجی ۱۹-۰۱۱ یکی از زیرحوضه‌های، حوضه بزرگ ارس، واقع در آذربایجان غربی است (شکل ۱). سد بارون چای در بالادست ایستگاه آب‌سنجی در سال ۱۳۷۴ احداث شده است. طول جغرافیایی $44^{\circ}28'17''$ و عرض $29^{\circ}35'54''$ و ارتفاع متوسط ۱۲۹۷ متر از سطح دریا، شیب متوسط ۱۸/۸ درصد و مساحت حوضه ۱۰۲۵ کیلومتر مربع است. میانگین بارش سالانه درازمدت ۵۰ ساله ۳۵۸ میلی‌متر و میانگین درازمدت درجه حرارت $6/23$ درجه سانتی‌گراد است. وضعیت پوشش سطحی سازندهای زمین‌شناسی از دیدگاه نفوذپذیری نسبی بدین صورت است که ۱۳ درصد سطح حوضه، سازندهای با نفوذپذیری نسبی "خیلی زیاد"، ۱۶ درصد "زیاد"، ۱۲ درصد "متوسط"، ۳۸ درصد "کم" و ۲۱ درصد "خیلی کم" است.

روش پژوهش: ابتدا با بررسی داده‌های دبی روزانه ایستگاه‌های آب‌سنجی و با در نظر گرفتن معیار وجود داده‌های دبی روزانه درازمدت و دسترسی به داده‌های قبل و بعد از احداث سد بر روی رودخانه، ایستگاه قلعه‌جوق مربوط به حوزه آبخیز رودخانه بارون چای با دوره آماری سال‌های آبی ۱۳۹۶-۱۳۵۵ انتخاب شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و تعیین

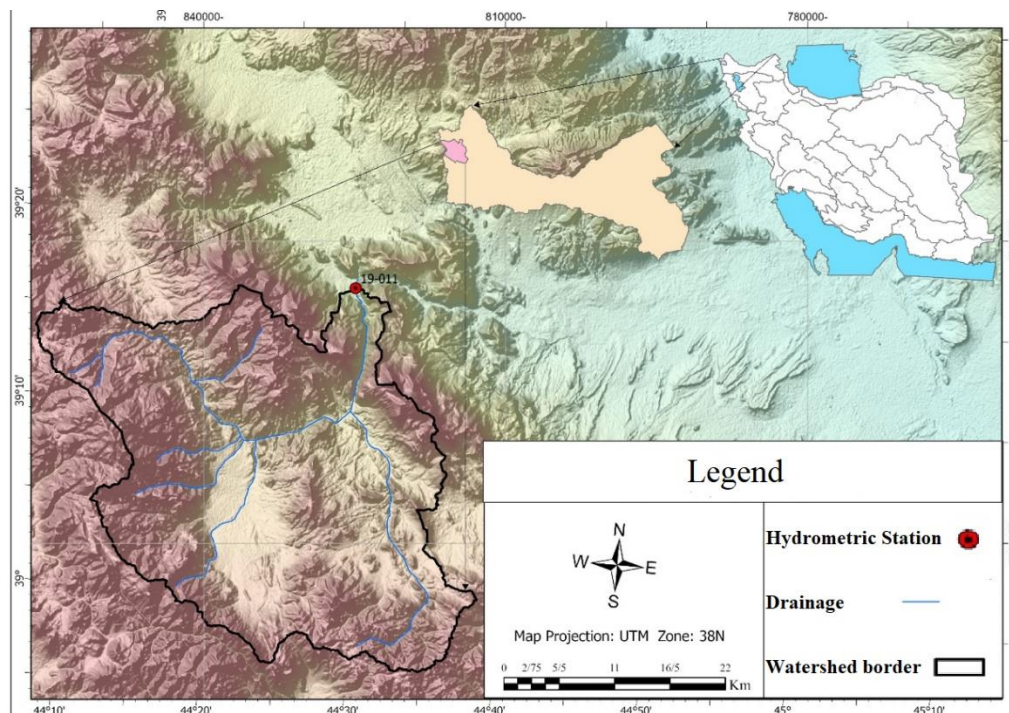
پژوهشی جریان پایه در ایران، در چهار دسته عمومی قابل تقسیم‌بندی است که ۲۸/۲۱ درصد از پژوهش‌ها مرتبط با گرایش کاربردی، ۳۷/۱۸ درصد به مقایسه و معرفی روش مناسب تفکیک جریان پایه، ۱۹/۲۳ درصد به بررسی عوامل موثر بر جریان پایه و ۱۵/۳۸ درصد نیز به استفاده عمومی و توصیف شرایط هیدرولوژیک منطقه پژوهش تعلق دارد (Kazemi, 2022).

اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در ۲۵ ایستگاه آب‌سنجی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج روند کاهشی دبی در کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان داد (Farokhnia and Morid, 2014). تحلیل روند تغییرات جریان در رودخانه‌های سراب کرخه با استفاده از روش من-کندال اصلاح‌شده مورد پژوهش قرار گرفت. نتایج، بیانگر روند افزایشی دما و کاهشی برای جریان و جریان پایه بود. همچنین گزارش شد که تغییرات روند جریان پایه، کاملاً با تغییرات بارش قابل توجیه نیست و می‌تواند از تغییرات دما یا عواملی مانند افزایش بهره‌برداری از آب زیرزمینی متأثر باشد (Osati et al., 2015). تغییرات روند ۳۰ ساله دبی جریان رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه به‌وسیله ناظری Nazeri-Tahroudi et al., (2018) در گام‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روند تغییرات دبی در اکثر ماه‌ها کاهشی است. در مقیاس سالانه در تمامی ایستگاه‌ها روند کاهشی بود. همچنین روند کاهشی دبی جریان در دو فصل پاییز و زمستان شدیدتر است.

نتایج تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانه ليقوان، روند منفی تغییرات دبی را نشان داد (Kanani et al., 2020). نتایج تحلیل روند و تعیین نقاط تغییر در سری‌های زمانی دبی جریان حوزه آبخیز گرگانرود، نشان داد که مقادیر دبی در مقیاس‌های زمانی مختلف برای تمام ایستگاه‌های آب‌سنجی حوزه آبخیز گرگانرود روند نزولی دارد (Mohammadi et al., 2022). تحلیل تغییرات مکانی- زمانی جریان پایه رودخانه‌های ایران طی سال‌های (۱۹۸۷-۲۰۱۷) در ۲۶۶ ایستگاه آب‌سنجی انجام شد. نتایج نشان داد که یک الگوی منظم فصلی در روندها وجود دارد. همچنین تغییرات جریان پایه در

محاسبه شد. سری زمانی ماهانه، فصلی و سالانه جریان پایه و شاخص آن تهیه شد. آمار توصیفی تحلیل و روند تغییرات شاخص جریان پایه به روش من-کندال در بازه زمانی کل دوره و همچنین در بازه زمانی قبل و بعد از احداث سد در بالادست ایستگاه آبسنجی در سال ۱۳۷۴ بررسی شد.

موقعیت ایستگاه آبسنجی، محدوده مورد پژوهش مشخص و پارامترهای مربوط به فیزیوگرافی حوضه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی استخراج شد. سپس، هیدروگراف جریان با استفاده از سری زمانی داده‌های روزانه جریان و با استفاده از افزونه (BFI) در نرم‌افزار (Hydro Office, 2015) به روش فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره^۱، تفکیک و شاخص جریان پایه



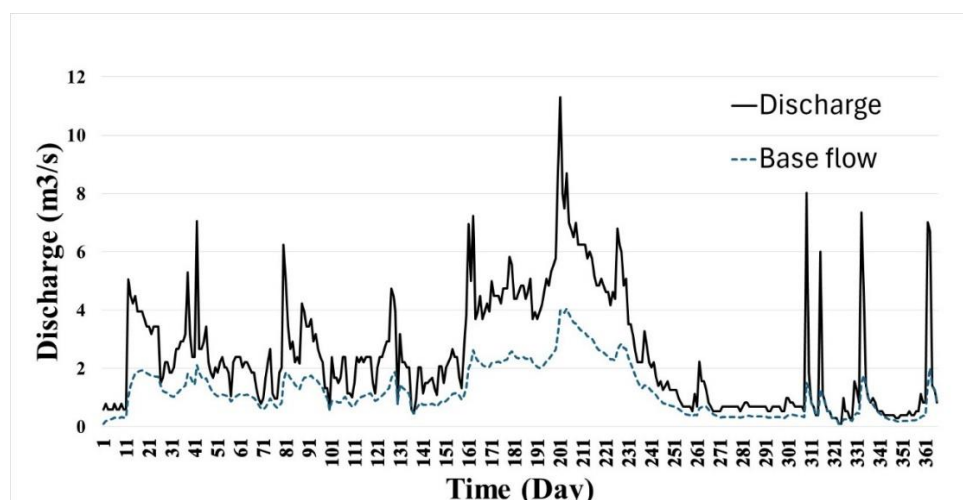
شکل ۱- منطقه مورد پژوهش و موقعیت آن در حوضه بزرگ ارس و کشور
Fig 1. The research area and its location in the Aras basin and the country

حداکثر ۰/۹۸ و میانگین درازمدت آن برابر ۰/۸۳ به‌دست آمده است.

(۱)
$$q = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_i$$
 که در آن، $q_{b(i)} \leq K$ پارامتر فیلتر، قابل تعیین به‌وسیله ثابت افت، $q_{b(i-1)}$ جریان پایه فیلتر شده برای زمان قبل از i ، q_i جریان اصلی رودخانه برای زمان i و $q_{b(i)}$ جریان پایه فیلتر شده، برای زمان i ام هستند.

روش فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره: این روش برای تحلیل و پردازش سیگنال‌های با فرکانس بالا از فرکانس پایین معرفی شده است و با الگوریتم زیر به‌وسیله (Chapman and Maxwell, 1996) معرفی شد (رابطه ۱). نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه با الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره در بخشی از دوره مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. مقدار پارامتر فیلتر برای هر سال متفاوت است. حداقل ۰/۳۵ تا

¹ One Parameter Recursive Digital Filter



شکل ۲- نمایش گرافیکی تفکیک جریان پایه با الگوریتم فیلتر رقومی برگشتی یک پارامتره در سال آبی ۱۳۶۶-۶۷
Fig 2. Graphical representation of base flow separation with a One-parameter recursive digital filter algorithm (1987-1988)

مربوط به ماه‌های پر بارش (آذر، دی و بهمن و فروردین و اردیبهشت) است.

این امر می‌تواند به تأثیرپذیری کمتر جریان پایه از بارش در منطقه پژوهش مرتبط باشد. این موضوع هم راستا با نتیجه پژوهش، Xie et al., (2024) مبنی بر تأثیرپذیری ۲۰ درصدی جریان پایه از بارش است. همچنین با نتیجه پژوهش Wu et al., (2024) مبنی بر تأثیر بیشتر دما بر جریان پایه، نسبت به بارش در ماه‌های سرد و پربارش است. تغییرات زمانی میزان شاخص جریان پایه درازمدت ماهانه در شکل ۳ نشان داده شده است. روند تغییرات این شاخص از ابتدای سال آبی (مهر) تا دی ماه صعودی است که نشان دهنده روند افزایشی مشارکت آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی در جریان رودخانه در این بازه زمانی است.

این بازه زمانی مصادف با شروع بارش‌ها و شروع فصل آبی کشور است. نوع بارش و افزایش سهم بارش در جریان پایه منجر به روند افزایشی شده است. از دی ماه تا اردیبهشت، روند تغییرات شاخص جریان پایه کاهشی است. بخشی از این مقطع زمانی همراه با تغییر رژیم بارشی به برف و تأخیر مشارکت آب‌های زیرسطحی در جریان رودخانه است.

آزمون روش من-کندال: در این پژوهش روند تغییرات سری‌های زمانی شاخص جریان پایه ایستگاه آب‌سنجی با آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. این روش به‌طور وسیعی در مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی و اقلیم‌شناسی مورد استفاده قرار گرفته است. برای اطلاع بیشتر از جزئیات این روش به (Kendall (1975 و Mann (1945 رجوع شود.

نتایج و بحث

توزیع زمانی شاخص جریان پایه درازمدت به تفکیک ماه، فصل و سال در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی شاخص جریان پایه در دوره ۴۱ ساله نشان داد که میانگین شاخص جریان پایه درازمدت در مقیاس سالانه برابر با ۰/۵۵۲ است. این میزان بیانگر این است که در درازمدت، سهم مشارکت آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی در جریان رودخانه بیش از ۵۰ درصد است. در مقیاس فصلی نیز بیشترین سهم مشارکت جریان‌های زیرسطحی در جریان رودخانه مربوط به زمستان و تابستان است و حداقل نیز مربوط به بهار هست. حداکثر جریان پایه درازمدت ماهانه به دی ماه و حداقل آن به اردیبهشت تعلق دارد. حداقل ضریب تغییرات سری زمانی داده‌های شاخص جریان پایه

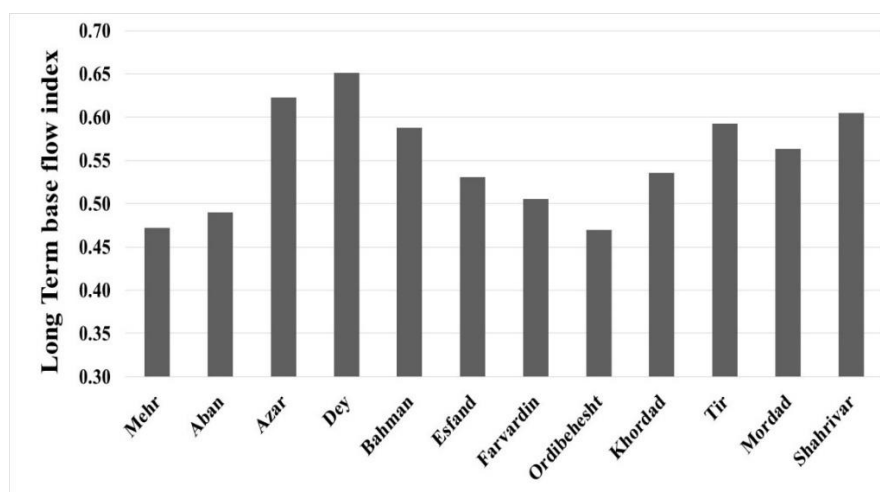
جدول ۱- مشخصه‌های عمومی شاخص جریان پایه درازمدت

Table 1. General characteristics of the long-term base flow index

Coefficient of variation	Average	Max	Min	Month/Season/Year
0.208	0.506	0.840	0.310	Farvardin
0.231	0.470	0.821	0.215	Ordibehesht
0.189	0.535	0.759	0.263	Khordad
0.174	0.593	0.911	0.461	Tir
0.155	0.563	0.836	0.294	Mordad
0.133	0.604	0.883	0.410	Shahrivar
0.263	0.472	0.766	0.146	Mehr
0.150	0.490	0.667	0.304	Aban
0.242	0.622	0.949	0.382	Azar
0.265	0.651	1.000	0.493	Dey
0.263	0.588	0.993	0.456	Bahman
0.172	0.531	0.848	0.294	Esfand
0.135	0.504	0.753	0.317	Spring
0.100	0.587	0.733	0.489	Summer
0.099	0.528	0.658	0.475	Autumn
0.194	0.588	0.942	0.494	Winter
0.073	0.552	0.651	0.492	Annually

از جریان رودخانه به جریان‌های زیرسطحی و زیرزمینی تعلق دارد. بدین معنی که در فصل خشک میزان جریان کل، کاهش معنی‌داری را پیدا می‌کند و لذا سهم جریان پایه از کل جریان افزایش می‌یابد.

روند تغییرات از اردیبهشت تا شهریورماه افزایشی است. در این مقطع زمانی به دلیل کاهش بارش، سهم مشارکت بارش در جریان پایه کاهش نشان می‌دهد و برعکس سهم جریان‌های تأخیری و زیرسطحی در جریان رودخانه افزایش نشان می‌دهد و سهم بیشتری

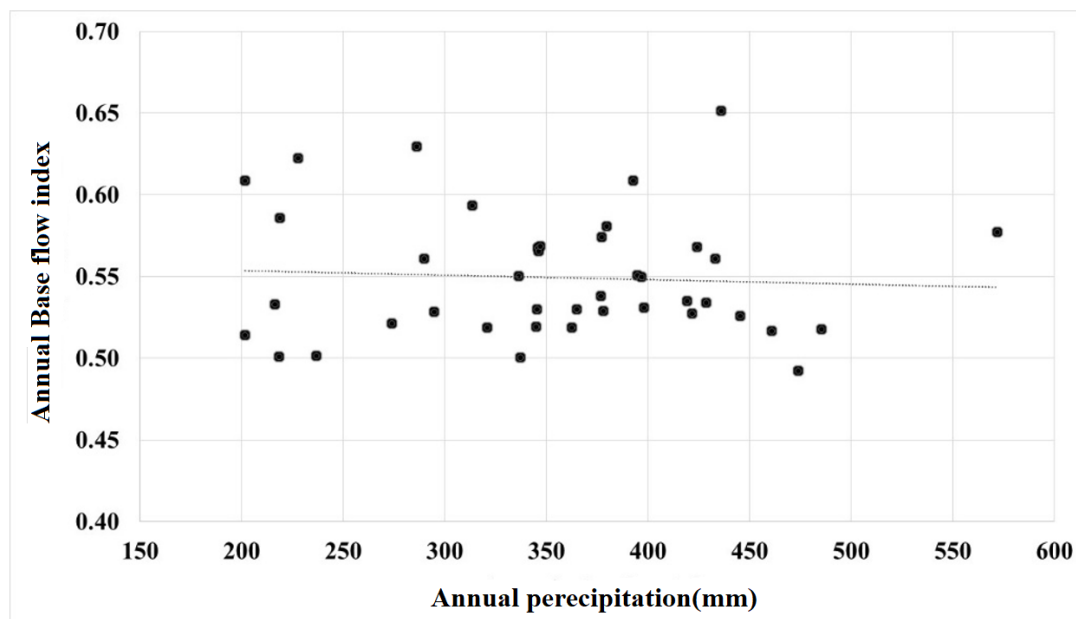


شکل ۳- تغییرات درازمدت ماهانه شاخص جریان پایه

Fig 3. Long-term monthly variation of the base flow index

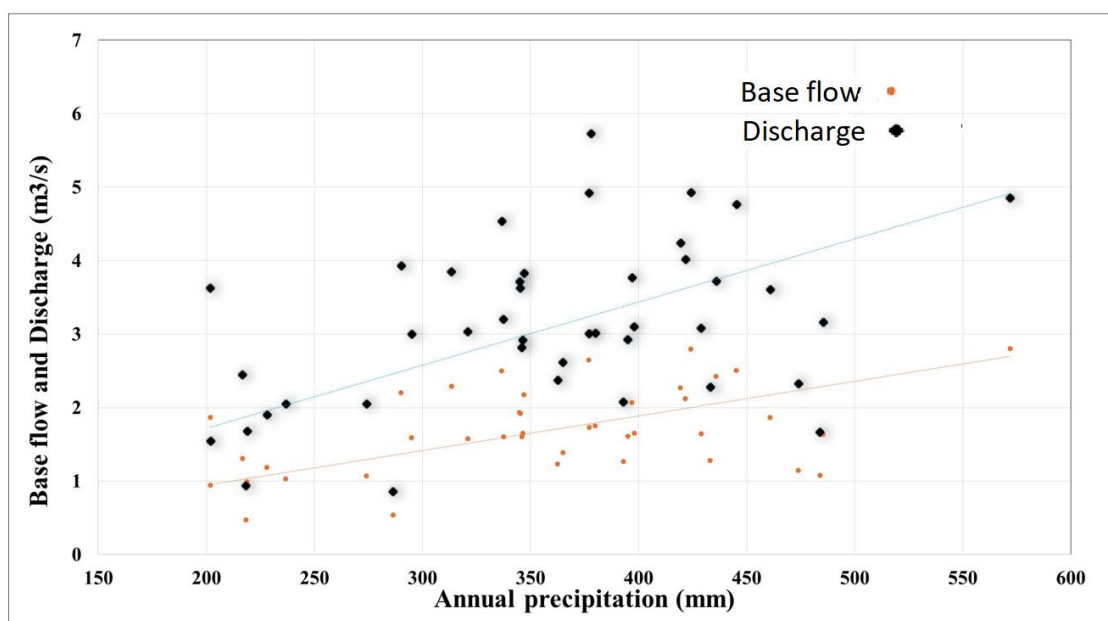
و جریان پایه سالانه در شکل ۵ نشان داده شده است.

تغییرات شاخص جریان پایه سالانه با بارش سالانه در شکل ۴ و تغییرات بارش سالانه با دبی جریان سالانه



شکل ۴- تغییرات بارش سالانه با شاخص جریان پایه سالانه در دوره زمانی ۱۳۵۵-۱۳۹۶

Fig 4. Changes in annual precipitation with annual base flow index (1976-2017)



شکل ۵- تغییرات بارش سالانه با دبی جریان سالانه و جریان پایه سالانه در دوره زمانی ۱۳۵۵-۱۳۹۶

Fig 5. Changes in annual precipitation with annual stream discharge and annual base flow (1976-2017)

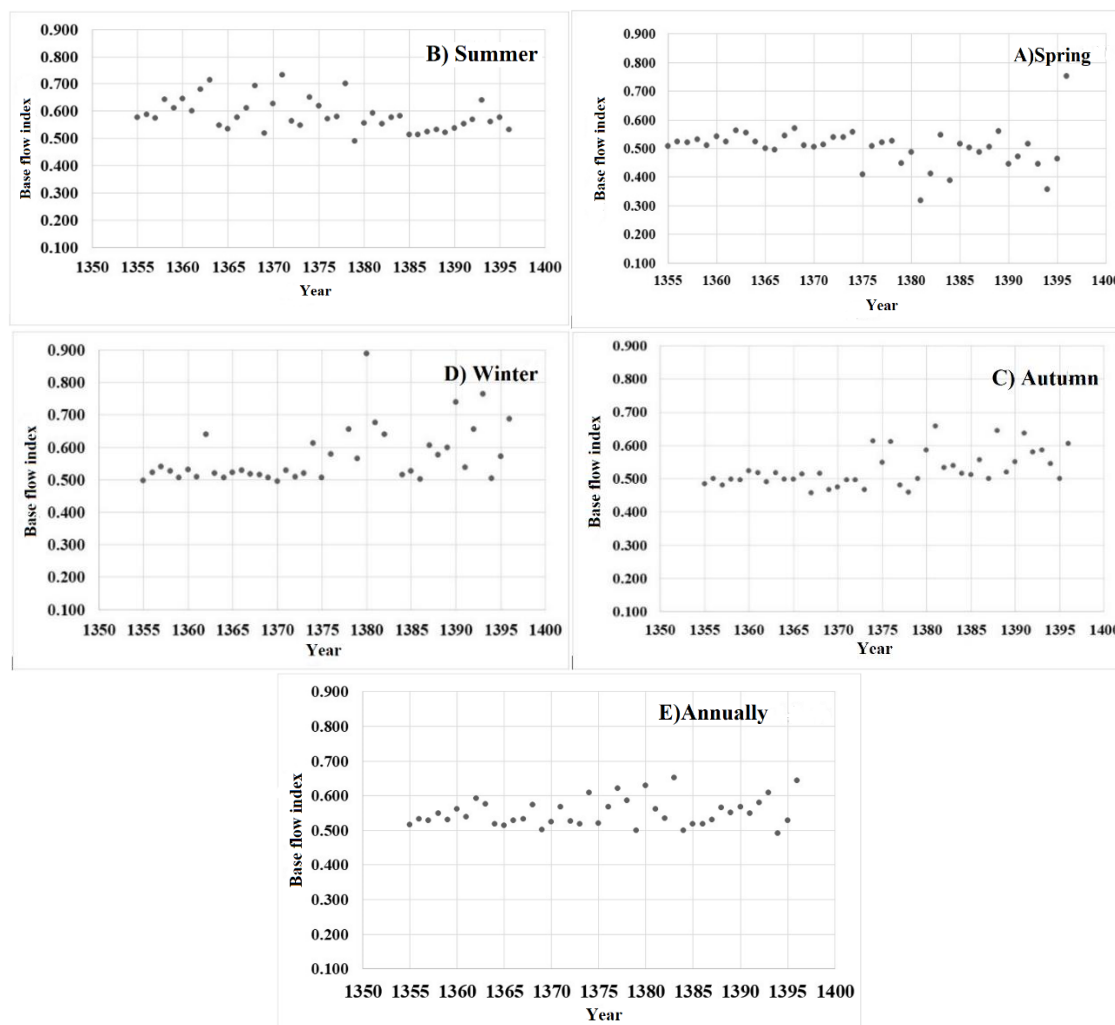
شاخص جریان پایه با افزایش بارش سالانه را گزارش کرده است. نتایج پژوهش حاضر در راستای نتایج پژوهش Osati et al., (2015) است که از نظر آنها، روند تغییرات جریان پایه کاملاً با بارش قابل توجیه نیست و سایر عوامل باید در نظر گرفته شود.

این امر بیانگر وابستگی بالای شاخص جریان پایه به مشخصات ذاتی حوضه اعم از مشخصه‌های خاک و

روند تغییرات بارش با رواناب و دبی پایه سالانه معنی‌دار نیست. با افزایش بارش، رواناب و جریان پایه افزایش داشت که امری مورد انتظار است. از طرف دیگر همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است. در درازمدت با افزایش بارش سالانه تغییرات محسوسی در میزان شاخص سالیانه مشاهده نمی‌شود. در حالی که Bosch et al., (2017) و Duan et al., (2024) کاهش

۳ درصد گزارش کرده هم‌راستا است و بیش از ۸۰ درصد تأثیر پذیری جریان پایه را متأثر از سایر عوامل گزارش کرده است. چگونگی تغییرات فصلی و سالانه شاخص جریان پایه در شکل ۶ ارائه شده است.

زمین‌شناسی و مشخصه‌های ثابت، مانند مولفه‌های مرفولوژیکی حوضه است و تأثیرپذیری کمتر شاخص جریان پایه از بارش را نشان می‌دهد. این با نتیجه Xie et al., (2024) که سهم بارش در جریان پایه را ± 21



شکل ۶- تغییرات شاخص جریان پایه در پایه‌های زمانی فصلی و سالانه در دوره ۱۳۹۶-۱۳۵۵

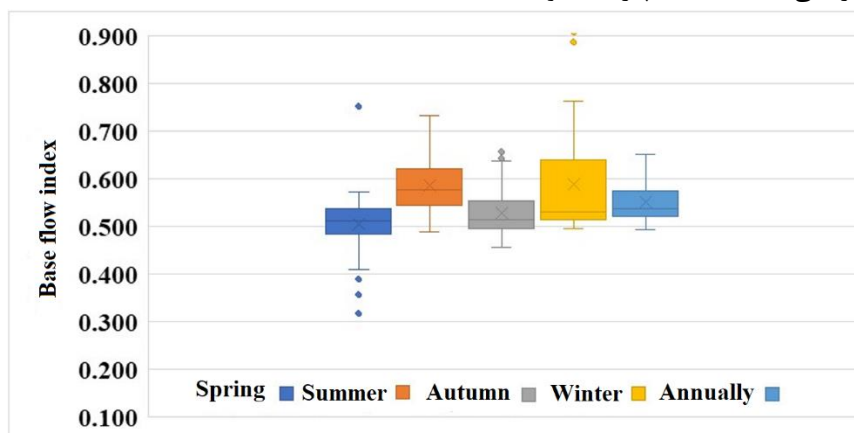
Fig 6. Changes in the base flow index in seasonal and annual time scales (1976-2017)

میزان اندک تغییرات افزایشی، ضمن تأیید تأثیرپذیری اندک شاخص جریان پایه فصلی از مؤلفه‌های اقلیمی، با احتیاط علمی احتمالاً می‌تواند به دلیل وابستگی بالای شاخص جریان پایه به مشخصه‌های ذاتی حوضه مانند زمین‌شناسی، خاک، نفوذپذیری و سایر مشخصات ثابت حوضه اعم از مرفولوژیکی و زمین‌شناسی باشد. تغییرات افزایشی در فصل‌های بهار و تابستان، هم‌راستا با نتایج پژوهش Murray et al., (2023) است که این روندهای افزایشی را به زمان ذوب برف نسبت داده است.

همانطور که قابل دریافت است، در درازمدت فراز و فرود شاخص‌ها متناسب با دوره زمانی از الگوی خاص خود تبعیت می‌کند. حسب نتایج Shrimohammadi et al., (1984) جریان پایه فصلی متغیر است و ایشان تغییرات فصلی جریان پایه را متأثر از سطوح مختلف تبخیر و تعرق و ذخیره آبخوان می‌دانند. تغییرات داده‌های درازمدت تابستان، بهار، زمستان و سالانه در طول دوره مورد پژوهش، به ترتیب با ضریب ۰/۲۵، ۰/۳۱ و ۰/۴۰ افزایشی است. تغییرات فصل پاییز محسوس نیست و شیب تغییرات نزدیک "صفر" است.

پرت داده‌ها، سری زمانی داده‌های فصلی و سالانه در نمودار جعبه‌ای (شکل ۷) ارائه شده است.

به‌منظور ارائه خلاصه‌ای از ویژگی‌های آماری داده‌های شاخص جریان پایه و مشاهده سریع و روشن‌گرانه پارامترهایی مانند میانه، چارک‌ها، و نقاط



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای تغییرات شاخص جریان پایه در پایه های زمانی فصلی و سالانه در دوره ۱۳۹۶-۱۳۵۵

Fig 7. Box plot of base flow index in seasonal and annual time scales (1976-2017)

شاخص جریان پایه درازمدت پاییز، بین ۰/۴۹ تا ۰/۵۵ و میانه شاخص جریان پایه بالاتر از ۰/۵۰ است. این فصل نیز دارای تعدادی داده پرت است که در تحلیل داده‌ها و تأثیر بر سایر پارامترها باید در نظر داشت. انحراف داده‌های این فصل به سمت مثبت است.

محدوده داده‌های چارکی سری زمانی فصل زمستان بین ۰/۵۲ تا ۰/۶۴ است. این فصل نیز تعداد اندکی داده پرت دارد. میانه شاخص جریان پایه بالای ۰/۵۰ و انحراف داده‌ها به سمت مثبت است. در سری زمانی شاخص جریان پایه استخراج شده در مقیاس سالانه، محدوده چارکی شاخص جریان پایه سالانه بین ۵۲ تا ۰/۵۷ و میانه شاخص جریان پایه درازمدت همچنان بالای ۰/۵۰ است. و انحراف داده‌ها به سمت مثبت است. میانگین دراز مدت شاخص جریان پایه سالانه در این منطقه در محدوده میزان جهانی ارائه شده توسط Xie et al., (2024) است. آنها متوسط شاخص جریان پایه جهانی را به میزان 0.59 ± 0.07 اعلام کرده است.

با توجه به اینکه سد بالادست ایستگاه بارون چای، در سال ۱۳۷۴ آبیگری شده است. لذا مقادیر شاخص جریان پایه در قبل و بعد از آبیگری در جدول ۲ ارائه و مورد مقایسه قرار گرفته است.

یکی از ویژگی‌های قابل‌توجه نمودارهای جعبه‌ای، کارایی آنها در شناسایی نقاط پرت است. با توجه به اینکه این نقاط پرت می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بر تجزیه و تحلیل داده‌ها، مانند محاسبات میانگین تأثیر بگذارند. لذا نشان دادن آنها در نمودار، منجر به توجه به آنها و تحلیل آسان‌تر است. همانطور که از شکل ۷ قابل بیان است. توزیع داده‌های شاخص جریان پایه فصل بهار در محدوده چارکی (۵۰ درصد داده‌ها) نشان‌دهنده این است که در ۵۰ درصد داده‌ها، شاخص جریان پایه بین ۰/۴۷ تا ۰/۵۳ است. بیشترین داده پرت در سری زمانی داده‌های فصلی و سالانه در داده‌های این فصل قرار دارد. بالا بودن داده‌های پرت در این فصل می‌تواند، نشان‌دهنده تغییرات زمانی رطوبت و نفوذپذیری خاک حوضه باشد که مقدمات نفوذ بیشتر و مشارکت جریان زیرسطحی در جهت افزایش جریان پایه را تأمین می‌کند. نزدیکی خط میانه با بالای نمودار بیانگر انحراف و چولگی منفی داده‌های این فصل است.

سری زمانی جریان پایه فصل تابستان فاقد داده پرت است و موقعیت جایگیری خط میانه، تقارن داده‌ها را نشان می‌دهد. همچنین در ۵۰ درصد سال‌ها، شاخص جریان پایه فصل تابستان بین ۰/۵۵ تا ۰/۶۲ درصد است. دامنه چارکی (۵۰ درصد داده‌ها) داده‌های فصلی

جدول ۲- توزیع زمانی شاخص جریان پایه درازمدت در مقیاس سالانه و فصلی، قبل و بعد از احداث سد در بالادست ایستگاه آب‌سنجی

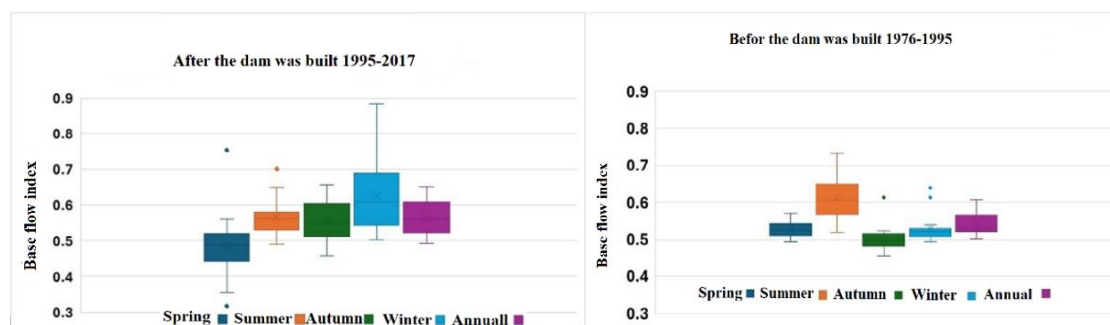
Table 2. Temporal distribution of long-term base flow index on an annual and seasonal scale, before and after the dam construction

	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annually	
Average	0.528	0.621	0.500	0.852	0.542	Before the dam was built 1976-1995
Max	0.571	0.733	0.461	0.639	0.608	
Min	0.493	0.519	0.457	0.494	0.501	
Average	0.484	0.567	0.555	0.626	0.563	After the dam was built 1995-2017
Max	0.753	0.701	0.658	0.883	0.651	
Min	0.317	0.489	0.459	0.502	0.492	

۸ و ۹) ارائه شده است. در نمودار جعبه‌ای توزیع داده‌های مقادیر سالانه قبل از احداث سد، نزدیکی میانه داده‌ها به پایین جعبه، بیانگر وجود چولگی در داده‌های سالانه است، ولی جانمایی خط میانه در وسط نمودار جعبه‌ای داده‌های سالانه بعد از احداث سد، نشان‌دهنده توزیع نرمال است.

توزیع داده‌های فصلی در بعد از احداث سد، دارای چولگی و پراکندگی زمانی است. با توجه به اینکه عموماً در فصول مختلف به‌دلیل متعدد، در تقاضای مصرف کننده‌های پایین‌دست تغییر ایجاد می‌شود و تنظیم خروج جریان از سد، متناسب با تقاضا تغییر می‌کند. لذا این تغییرات و پراکندگی داده‌ها را با احتیاط علمی می‌توان به دخالت انسانی مرتبط دانست.

همانطور که از جدول ۲ قابل دریافت است، میانگین درازمدت شاخص جریان پایه قبل از احداث سد، برابر با ۰/۵۴۲ و بعد از احداث سد، ۰/۵۶۲ است. در بازه زمانی ۷۴-۱۳۹۶ بعد از احداث سد، تغییرات مقادیر شاخص جریان پایه درازمدت فصلی، بدین صورت است که تفاوت به‌میزان ۰/۰۴ بین میانگین درازمدت فصلی قبل و بعد از احداث سد وجود دارد. این میزان اندک تفاوت، می‌تواند، به‌عنوان تأثیر اندک مداخلات انسانی ناشی از احداث سد بر روی میانگین شاخص جریان پایه سالانه درازمدت، تفسیر شود. ولی توزیع مقادیر سالانه در طول بازه مورد مطالعه دستخوش تغییر است. توزیع مقادیر شاخص جریان پایه در بازه‌های قبل و بعد از احداث سد، به‌صورت نمودار جعبه‌ای (شکل‌های



شکل ۸- نمودار جعبه‌ای تغییرات شاخص جریان پایه در پایه‌های زمانی فصلی و سالانه قبل و بعد از احداث سد

Fig 8. Box plot base flow index in seasonal and annual time scales before and after dam construction

زمانی ماه، فصل و سال، به استثناء خرداد و مهر منفی است. روند افزایشی این دو ماه متأثر از کاهش وقایع بارشی در مهر تا شهریور و افزایش سهم آب‌های زیرسطحی و زیرزمینی در تأمین جریان است.

نتایج محاسبه روند تغییرات شاخص جریان پایه در مقیاس‌های ماه، فصل و سال در کل دوره مورد مطالعه به روش من-کندال در جدول ۳ نشان داده شده است. بررسی معنی‌داری روند در این مطالعه حاکی از این است که روند تغییرات جریان پایه در کلیه گام‌های

جدول ۳- آماره (Z) من کندال شاخص جریان پایه در گام‌های ماهانه، فصلی، سالانه در دوره ۱۳۹۶-۱۳۵۵

Table 3. Z statistic of Mann-Kendall test of base flow index for annual, seasonal, and monthly time scales (1976-2017)

(Z) statistic of Mann-Kendall	Month/Season/Year	(Z) statistic of Mann-Kendall	Month/Season/Year
0.755951	Mehr	-1.43024	Farvardin
-0.47915	Aban	-0.1089	Ordibehesht
-1.43024	Azar	0.755951	Khordad
-0.1089	Dey	-0.47915	Tir
0.755951	Bahman	-1.43024	Mordad
-0.47915	Esfand	-0.1089	Shahrivar
-1.43024	Autumn	-1.90941	Spring
-0.57352	Winter	-1.87316	Summer
*****	*****	-1.43024	Annually

نتیجه‌گیری

جمع‌بندی نتایج بررسی تغییرات جریان پایه، بیانگر این است که سهم جریان‌های زیرسطحی در جریان سطحی رودخانه در درازمدت و در بازه‌های زمانی ماه، فصل و سال، بیش از ۵۰ درصد بوده است. روند تغییرات جریان پایه در بازه کل دوره زمانی ۹۶-۱۳۵۵ در کلیه گام‌های زمانی ماه، فصل و سالانه به استثناء خرداد، و مهر، منفی بوده است. همچنین تأثیر مداخلات انسانی ناشی از احداث سد بر روی شاخص جریان پایه سالانه درازمدت، به میزان ۰/۰۲ است. شناخت وضعیت سهم جریان پایه از جریان کل و آگاهی از روند تغییرات درازمدت آنها و عوامل موثر بر تغییر روند، می‌تواند به‌عنوان یک پیشنهاد کاربردی یافته این پژوهش در طرح‌های مدیریت منابع آب حوضه و طرح‌های سازگاری با خشکی و خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد. یکی از محدودیت‌های پژوهش در این موضوع، فقدان سری زمانی دبی جریان روزانه، در بازه‌های بلندمدت است. بدین منظور برای پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود.

الف: برای تعیین حداقل طول دوره آماری لازم و بهینه برای تفکیک جریان پایه و محاسبه شاخص جریان پایه، پژوهش انجام شود.

ب: به‌عنوان زمینه کاربردی پیشنهاد می‌شود، به‌عنوان پیش‌نیاز تدوین طرح‌های مدیریت جامع آبخیزداری، میزان شاخص جریان پایه در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، محاسبه و نقشه جریان‌های پایدار در مقیاس‌های منطقه‌ای و کشوری تهیه شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از بخشی از نتایج پروژه ملی "بررسی تغییرات زمانی و روند دبی‌های کم در آبخیزهای اصلی کشور" با کد ۰۰۰۸۸۸-۰۰۰۳۷-۰۰۰۴۵-۲۹-۲۹-۰۱ است که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به انجام رسیده است. بدین وسیله از همکاری پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تشکر می‌شود.

تعارض منافع

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

منابع مورد استفاده

- Arnold, J.G., Harmel, R.D., Johnson, M.V.V., Bingner, R., Strickland, T.C., Walbridge, M., Santhi, C., Di Luzio, M., Wang, X., 2014. Impact of the ARS assessment studies on the CEAP cropland national assessment. *JSWC*. 69(5), 137A-144A.
- Beck, H.E., van Dijk, A.I.J.M., Miralles, D.G., de Jeu, R.A.M., Bruijnzeel, L.A., McVicar, T.R., Schellekens, J., 2013. Global patterns in base flow index and recession based on streamflow observations from 3394 catchments. *Water Resour. Res.* 49, 1-21.
- Bosch, D.D., Arnold, J.G., Allen, P.G., Lim, K.J., Park, Y.S., 2017. Temporal variations in baseflow for the Little River experimental watershed in South Georgia, USA. *J. Hydrol. Reg.* 10, 110-121.
- Chapman, T.G., Maxwell, A.I., 1996. Base flow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. *Hydrological and Water Resources Symposium, Institution of Engineers Australia, Hobart*. 539-545.

- Duan, H., Li, L., Kong, Z., Ye, X., 2024. Combining the digital filtering method with the SWAT model to simulate spatiotemporal variations of baseflow in a mountainous river basin. *J. Hydrol. Reg.* 56, 101972.
- Farokhnia, A., Morid, S., 2014. Assessment of the effects of temperature and precipitation variations on the trend of river flows in Urmia Lake Watershed. *J. Water Wastewater Ab va Fazilab* 25(3), 86-97 (in Persian).
- Kanani, R., Fakheri-Fard, A., Ghorbani, M.A., Dinpashoh, Y., 2020. trend analysis of the streamflow in the lighvan river hydrometric stations (upstream and downstream). *J Watershed Manage. Res.* 11(22), 11-19146 (in Persian).
- Kazemi, R., Eslami, A.R., 2013. Study role of geological formations and hydrological parameters on the based index, case study: Caspian area. *J. Water. Engi. Manage.* 5(2), 85-93 (in Persian).
- Kazemi, R., Ghermez-cheshmeh, B., 2016. Investigation of different base flow separation methods using flow duration indices, case study: Khazar region. *JWSC.* 23(2), 131-146 (in Persian).
- Kazemi, R., Sharifi, F., 2017. Regional investigation and estimation of base flow index in homogeneous basins of Kerman Province. *J. Water. Engi. Manage.* 9(1), 97-107 (in Persian).
- Kazemi, R., Sharifi, F., 2024. Low flow in Iran, First ed. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran (in Persian).
- Kazemi, R., 2022. Investigation of base flow researches in Iran and the world. *J. Water. Engi. Manage.* 13(4), 650-671 (in Persian).
- Kendall, M.G., 1975. Rank correlation methods. griffin, London. *J. Econ*, 13, 245-259.
- Koulaian, A., Khoshraves, M., Mohammadigolafshani, N., Mirzaee, M., 2017. Analysis of streamflow trend in Mazandaran rivers using non-parametric Mann-Kendal test. *J. Water. Engi. Manage.* 9(3), 332-345 (in Persian).
- Leeming, K.A., Bloomfield, J.P., Coxon, G., Zheng, Y., 2025. Functional data analysis to investigate controls on and changes in the seasonality of UK baseflow. *Hydrol. Sci. J.-J. Sci.* 70(3), 522-534.
- Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: J. Econo.* 245-259.
- Meyer, S.C., 2005. Analysis of base flow trends in urban streams, northeastern Illinois, USA. *Hydrogeol. J.* 13(5), 871-885.
- Mo, C., Jiang, C., Long, S., Cen, W., 2025. Comprehensive evaluation and attribution analysis of baseflow variation in a typical karst basin, Southwest China. *J. Hydrol. Reg.* 57, 102185.
- Mohammadi, T., Sheikh, V., Zare, A., 2022. Trend analysis and change points in stream flow of Gorganrood Watershed. *JWSS.* 26 (4), 177-201 (in Persian).
- Mokua, R.A., Glenday, J., Mazvimavi, D., 2024. Evaluating the spatial and temporal variation in baseflow across headwater streams in the Jonkershoek valley, South Africa. *Proceedings of IAHS*, 385, 239-246.
- Murray, J., Ayers, J., Brookfield, A., 2023. The impact of climate change on monthly baseflow trends across Canada. *J. Hydrol.* 618, 129254.
- Nazeri-Tahrudi, M., Ahmadi, F. khalili, K., 2018. Evaluation of 30 years changing of river flow discharges in Urmia Lake Basin. *IDJ.*, 12(2), 424-433 (in Persian).
- Osati, K., Salajegheh, A., Mahdavi, M., Koeniger, P., Chapi, K., Malekian, A., 2015. Trend analysis of streamflow in Karkheh Rivers upstream: An evidence for climate change impacts on water resources systems. *JRWM.* 68(3), 659-674 (in Persian).
- Parizi, E., Hosseinzadeh, E., Hosseini, S.M., 2024. Analysis of spatiotemporal changes in the baseflow of Iran's rivers over the past 30 Years. *JWSD.* 10(4), 71-80 (in Persian).
- Santhi, C., Allen, P.M., Muttiah, R.S., Arnold, J.G., Tuppad, P., 2008. Regional estimation of base flow for the conterminous United States by hydrologic landscape regions. *J. Hydrol.* 351, 139-153.
- Sheridan, J.M., 1997. Rainfall-streamflow relations for coastal plain watersheds. *Appl. Eng. Agric.* 13(3), 333-344.
- Shirmohammadi, A., Knisel, W.G., Sheridan, J.M., 1984. An approximate method for partitioning daily streamflow data. *J. Hydrol.* 74, 335-354.
- Shirmohammadi, A., Sheridan, J.M., Asmussen, L.E., 1986. Hydrology of alluvial stream channels in Southern coastal plain watersheds. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.* 29(1), 135-142.
- Smakhtin, V.U., 2001. Low flow hydrology: a review. *J. Hydrol.* 240(3), 147-186.
- Tashie, A., Pavelsky, T., Emanuel, R.E., 2020. Spatial and temporal patterns in baseflow recession in the continental United States. *Water Resour. Res.* 56(3), e2019WR026425.
- Wu, G., Zhang, J., Li, Y., Liu, Y., Ren, H., Yang, M., 2024. Revealing temporal variation of baseflow and its underlying causes in the source region of the Yangtze River (China). *Hydrol. Res.* 55(3), 392-411.
- Xie, J., Liu, X., Jasechko, S., Berghuijs, W.R., Wang, K., Liu, C., Koirala, S., 2024. Majority of global river flow sustained by groundwater. *Nat. Geosci.* 17(8), 770-777.