

Research Paper



Assessment of changes in high and low flow indices of a naturally flow regime (Case study: Bitas watershed, upstream of Mahabadchai river)



Leyla Babaie¹ | Hiran Abghari^{*2} | Raoof Mostafazade³

1. Ph.D student in Watershed Management Sciences & Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. babaei@urmia.ac.ir
2. Associate Professor Department of Pasture and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran. h.abghari@urmia.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Raooofmostafazadeh@uma.ac.ir

Keywords

**River flow regime,
Natural variability,
Hydrologic indices,
River flow analysis,
Mahabad dam basin**

Received: 2024/09/12

Accepted: 2024/12/02

Published: 2025/04/19

ABSTRACT**Introduction**

In recent years, floods and droughts have emerged as global and devastating issues with serious social, environmental, and economic impacts. This has led researchers to focus more than ever on topics related to water resource development and their optimal utilization. This issue becomes particularly significant during dry years when surface water levels reach their minimum and during periods of high-water availability. It can be said that both water scarcity and abundance are not only the result of global climate change but also human activities. Reservoirs can alter natural regimes by causing spatial and temporal changes in river flow. Dams, for example, can heighten the risk of flooding by storing large volumes of water, which can lead to delayed peak flow times, complicating downstream flood management and decision-making. Additionally, water storage behind dams can significantly exacerbate water scarcity during droughts, causing drastic changes to the natural flow regime. The occurrence of low flow and high flow periods in watersheds is a part of a river's regime. In recent years, changes in river flow and its intensification have impacted the production and utilization of river flows as well as water management, making it an important area of study. Evaluating various characteristics of the flow regime of natural rivers can help understand how river discharge changes due to climatic factors and how it can be managed under drought conditions. The flow regime of a river can be described using different indices

*Correspondin Author: Hiran Abghari, E-mail: h.abghari@urmia.ac.ir

How to cite this article: Babaie, Leyla; Abghari, Hiran; Mostafazade, Raoof. (2025). Assessment of changes in high and low flow indices of a naturally flow regime (Case study: Bitas watershed, upstream of Mahabadchai river). *Hydrogeomorphology*, 12(42): 81 – 98.

DOI: [10.22034/hyd.2024.63568.1757](https://doi.org/10.22034/hyd.2024.63568.1757)



Copyright: © by the authors

Publisher: University of Tabriz

Methodology

In this study, changes in high flow and low flow indices at the Baitas hydrometric station, which monitors a naturally flowing river upstream of Mahabad Dam, were assessed for the period from 1963 to 2020. In the present study, flow characteristics such as the duration of low-flow and high-flow periods, their frequency, the interval between these events, and the total time of low-flow and high-flow occurrences were analyzed using the River Analysis Package (RAP). The results can be used to analyze changes in the flow of natural rivers. For this purpose, the daily discharge data from the Beytas hydrometric station were obtained from the Iran Water Resources Management Company. The data used cover a 58-year period, and were converted into the format required by the software. In this study, the River Analysis Package (RAP) used as a useful tool for quantifying environmental flow characteristics. The estimation of these indices was carried out through the Time Series Analysis section. The input for Time Series Analysis must be daily time series data, designed for daily flow data, but it can also be used for hydraulic or meteorological time series data. The underlying algorithms for Time Series Analysis are based on rule-based models and quantitative models. The time series analysis option in RAP enables the analysis of time series data for the entire period, multiple years, different seasons, and months of the year.

Results and Discussion

The results indicated that the Number Spell index was 144 during high flow periods and 253 during low flow periods. The Single Longest index was 1,635 for low flow periods and 163 for high flow periods. The average peak flow and average duration of peak flow indices for high flow periods were 22.6, and for low flow periods, they were 0.33. Additionally, the mean duration was 29.6 for high flow and 54.82 for low flow. According to the results, the total duration index for high flow periods fluctuated between 3 and 163, while the total duration index for low flow was 241. According to the results, the highest number of high-flow events occurred in 1987, followed by 2006, with a total of six events. This trend has since declined, reaching just one high-flow event in the final year of the study period. Similarly, the highest number of low-flow events, 12, was recorded in 1972 and 2009. This index has increased in recent years, reaching nine in 2017 and six in 2020. The longest high-flow period, lasting 163 days, occurred in 1963, while the longest low-flow period, lasting 366 days, was recorded in 1979. The highest average interval between high-flow events, at 43.33 days, occurred in 1997, and the highest average interval between low-flow events was in 1994. The Beytas watershed experienced its longest low-flow period in 1963. This index has fluctuated over the years, reaching 110 days in 2020.

Conclusions

The findings of this study can be used to better understand changes in the natural flow regime, variations in the timing and frequency of low and high flow events, and ultimately to optimize the management of inflow to Mahabad Dam. Overall, the results of this study confirm the presence of variability and changes in the low-flow periods within the Beytas watershed due to changes in the flow regime over different periods and the pristine nature of the river flow. Based on the findings, it is possible to plan for the utilization of excess river flow during high-flow periods. It is worth noting that the River Flow Analysis Package is capable of extracting annual and monthly discharge indices at different stations, enabling water management actions based on low-flow periods and providing sufficient time for water control and regulation during high-flow periods. The method used in this study can also be applied in other regions with different climates to examine low-flow and high-flow periods.

مقاله پژوهشی



ارزیابی تغییرات شاخص‌های جریان پرآبی و کم‌آبی در رودخانه‌ای با رژیم جریان طبیعی (مطالعه موردی: حوضه آبریز بیطاس، بالادست رودخانه مهابادچای)



لیلا بابایی^۱، هیراد عبقری^{۲*}، رئوف مصطفی‌زاده^۳ 

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. l.babaei@urmia.ac.ir

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. hiradab@gmail.com

۳- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

چکیده

وقوع دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در حوضه‌ها جزئی از رژیم رودخانه است. وقوع تغییرات جریان رودخانه و تشدید آن در سال‌های اخیر بر تولید و بهره‌برداری از جریان رودخانه‌ها و مدیریت آب تأثیر گذاشته است و مطالعه آن دارای اهمیت است. ارزیابی ویژگی‌های مختلف رژیم جریان رودخانه‌های طبیعی از مواردی است که می‌تواند در شناخت تغییرات آبدی جریان رودخانه در اثر تغییر مولفه‌های اقلیمی و مدیریت آن در شرایط خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد. شناخت و ارزیابی رژیم جریان یک رودخانه را می‌توان بر حسب شاخص‌های مختلف قابل توصیف است. در پژوهش حاضر، تغییرات شاخص‌های جریان پرآبی و کم‌آبی در حوضه بیطاس از زیرحوضه‌های مهابادچای با جریان طبیعی در بالادست سد مهاباد در بازه زمانی ۱۹۶۳ الی ۲۰۲۰ ارزیابی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نشان داد شاخص Number Spell در دوره پرآبی برابر ۱۴۴ و در دوره کم‌آبی ۲۵۳ است. شاخص Single Longest در دوره کم‌آبی ۱۶۳۵ و برای پرآبی ۱۶۳ است. شاخص‌های میانگین دبی‌های پیک و میانگین مدت زمان میانگین اوج برای دوره‌های پرآبی ۶/۲۲ و برای دوره‌های کم‌آبی برابر ۰/۳۳ است. هم‌چنین میانگین مدت برای پرآبی ۶/۲۹ و برای کم‌آبی ۵۴/۸۲ است. هم‌چنین، بر اساس نتایج، شاخص کل مدت زمان پرآبی‌ها در دامنه ۳ تا ۱۶۳ نوسان داشته و شاخص کل مدت زمان کم‌آبی برابر عدد ۲۴۱ است. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند در درک تغییرات رژیم جریان طبیعی، تغییرات زمان و تعداد رویدادهای کم‌آبی و پرآبی و در نتیجه مدیریت بهینه دبی ورودی به سد مهاباد مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها

رژیم جریان رودخانه،
تغییرپذیری طبیعی،
شاخص‌های هیدرولوژیک،
تحلیل جریان رودخانه، حوضه
آبریز سد مهاباد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰

ارجاع به این مقاله: بابایی، لیلا؛ عبقری، هیراد؛ مصطفی‌زاده، رئوف. (۱۴۰۴). ارزیابی تغییرات شاخص‌های جریان مطالعه موردی: حوضه آبریز بیطاس، بالادست رودخانه مهابادچای پرآبی و کم‌آبی در رودخانه‌ای با رژیم جریان طبیعی

هیدروژنومورفولوژی، ۱۲ (۴۲): ۸۱-۹۸.

شناسه دیجیتال مقاله : DOI: 10.22034/hyd.2024.63568.1757

* نویسنده مسئول: هیراد عبقری

رایانامه: hiradab@gmail.com



Copyright: ©2025 by the authors

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

در سال‌های اخیر سیل و خشکسالی از مسائل جهانی و مخرب هستند که اثرات اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی جدی دارند (بساح^۱ و همکاران، ۲۰۲۰). این امر باعث شده تا مباحث مرتبط با توسعه منابع آب و استفاده بهینه از آن‌ها بیش از پیش مورد توجه محققان قرار گیرد. این مسئله به‌خصوص در سال‌های خشک که میزان آب‌های سطحی به حداقل مقدار خود می‌رسد و در مواقع پرآبی اهمیت پیدا می‌کند. می‌توان گفت پدیده کم‌آبی و پرآبی علاوه بر تغییرات کلی آب و هوای جهانی نتیجه فعالیت‌های انسانی نیز است. مخازن می‌توانند رژیم‌های طبیعی را با تغییرات مکانی و زمانی در جریان رودخانه تغییر دهند (ژئو^۲ و همکاران، ۲۰۱۹: ۹۰۵). سدها می‌توانند خطرات سیل را با ذخیره آب با حجم بالا باعث ایجاد سیل و به تعویق انداختن زمان اوج آن شود، که مدیریت سیل پایین دست و تصمیم‌گیری مناسب برای آن را با مشکل مواجه می‌کند. علاوه بر این، ذخیره آب در پشت سدها تا حد زیادی می‌تواند کم‌آبی را در طول دوره‌های خشکسالی تشدید کند و تغییرات چشم‌گیری در رژیم طبیعی جریان ایجاد کند (لازین^۳ و همکاران، ۲۰۲۳: ۲۲۲۵؛ دخانی و همکاران، ۱۴۰۲: ۱۳۸). با توجه به این موارد نیاز است ویژگی‌های مختلف دبی حوضه‌ها بررسی شوند تا بتوان اقدامات مدیریتی مناسب برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر این تغییرات اتخاذ نمود. بررسی تغییرات علاوه بر مشخص کردن نوسانات طولانی‌مدت فرایندهای هیدرولوژیکی، دوره تناوب و دیگر خصوصیات آن‌ها را مشخص می‌کند (فانگ^۴ و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۹۶). پایش دوره‌های کم‌آبی و پرآبی نقش اساسی در برنامه‌ریزی برای سازگاری با تغییرات اقلیمی، مدیریت منابع آب، حفاظت از محیط زیست اکولوژیکی، تولید محصولات کشاورزی و تحقیقات تغییرات آب و هوا ایفا می‌کند (هوانگ^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). خشکسالی و سیل دو پدیده هستند که در دو دنباله طیف هیدرولوژیکی رخ می‌دهند و از آنجایی که در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوت عمل می‌کنند، تأثیرات ناشی از آن‌ها این پتانسیل را دارد که بر سیستم‌ها و جوامع مختلف زمین احساس شود، به‌طوری‌کمبود بارش نسبت به نیاز محصول را کاهش می‌دهد، زیرساخت‌ها (مانند جاده‌ها) را مختل می‌کند و ممکن است زمین‌های کشاورزی را زیر آب برده و نابود کند (الاقیب^۶ و همکاران، ۲۰۲۱: ۶۰۵). دوره‌های کم‌آبی و پرآبی یکی از ویژگی‌های بارز اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک است که می‌تواند باعث تغییر در مولفه‌های بیلان آبی یک منطقه شود (زولنا^۷ و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۲۵). بنابراین برای پایش این دوره‌ها ارائه و بررسی شاخص‌های از اهمیت خاصی برخوردار بوده و برای تحلیل و بررسی این پدیده‌ها کاربردی است (مهری و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۵۵؛ بیلدز^۸، ۲۰۱۴: ۲۰۳۰).

در تحلیل کم‌آبی، جریانی مد نظر قرار می‌گیرد که به‌عنوان مثال تخم‌ریزی برخی از گونه‌های ماهی در دوره‌هایی با جریان‌های کم پایدار که در آن سرعت و عمق آب کم و به‌طور موقت پایدار است، رخ می‌دهد. دوره‌های دبی کم ممکن است زمان اوج تقاضا برای آب آبیاری مناطق پایین‌دست رودخانه باشد. فراوانی و مدت دوره‌های کم‌آبی را می‌توان بین رژیم جریان کم طبیعی و رژیم جریان پیشنهاد شده توسط تاسیسات آبیاری مقایسه و انتخاب کرد. بنابراین با مقایسه یک مجموعه داده طولانی از داده‌های جمع‌آوری‌شده زمانی با تحلیل دقیق رکورد جریان در همان دوره می‌توان شود شرایط کم‌آبی را مورد تحلیل قرار داد و تصمیمات مدیریتی درستی را اتخاذ کرد. در مدل RAP تجزیه و تحلیل پرآبی دقیقاً به همان روشی انجام می‌شود که تحلیل کم‌آبی انجام می‌شود، اما فراوانی، مدت زمان و بزرگی رویدادها بالاتر از حد آستانه است. درواقع شامل جریان‌هایی است که ظرفیت انتقال رسوب و تغییر بستر رودخانه را دارند. همچنین می‌توان علاوه بر فراوانی چنین جریان‌هایی مدت زمانی که برای انجام اقدامات بر روی جریان حیاتی، تحلیل پرآبی، زمان رسیدن به اوج هیدروگراف و مدت آن پرداخت. پژوهش‌های مختلفی با استفاده از رویکردهای متفاوت در این زمینه صورت گرفته از جمله لی^۹ و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی سیل و خشکسالی شدید در شهر Sichuan چین بر اساس یک چارچوب GNSS و GRACE/GFO^{۱۰} را

1- Bessah et al
2- Guo et al
3- Lazin et al
4 - Fang et al
5- Huang et al
6- Elagib et al

7- Zolina et al
8 - Yldiz
9- Li et al
10- Global Navigation Satellite System
11- Gravity Recovery and Climate Experiment

برای بازیابی تغییرات TWS برای پایش سیل‌ها و خشکسالی‌های شدید پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات مکانی-زمانی سیل‌ها و خشکسالی‌های شدید را در طول سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۲۰ نشان می‌دهد، علاوه بر این، نتایج حاکی از روند افزایشی خشکسالی‌ها در شهر Sichuan است. یولاو همکاران (۲۰۲۳: ۱۷۵) به بررسی خشکسالی و سیل با استفاده از داده‌های حاصل از سنجش از دور در منطقه Punjab در پاکستان پرداختند. در این مطالعه شدت خشکسالی، نقاط سرد و گرم و سطوح سیل با استفاده از رویکرد پایش خشکسالی VTCI محاسبه شد که از ترکیب از شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی و داده حاصل از سطح زمین LST استفاده می‌کند. نتایج مشخص کرد که در طول سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۲۰، تعداد سیل‌ها دارای ضریب همبستگی مثبت (r) با بارش تجمعی ($r=0.6$) است. کای^۲ و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات تغییر آب و هوا بر شاخص‌های جریان بالا و پایین در رودخانه‌های بریتانیا پرداختند. به‌طور کلی نتایج نشان‌دهنده کاهش در جریان کم همراه با افزایش جریان بالا تا پایان قرن ۲۱ است. بذرافشان و همکاران (۲۰۱۹: ۱۱۷) به مقایسه شاخص‌های خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران طی دوره ۲۰ ساله پرداختند. نتایج آزمون من-کندال روند شدت، مدت و فراوانی خشکسالی نشان داد که روند خشکسالی در اقلیم‌های گرم و خشک رو به افزایش است و در اقلیم‌های سرد و خشک رو به کاهش است و شاخص شدت خشکسالی روند افزایشی داشته است. مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷: ۱۰۲) به تعیین شدت و تداوم دوره‌های خشکسالی هیدرولوژیک جریان با استفاده از روش Power Law Analysis در رودخانه‌های حوزه آبخیز گرگانود پرداختند. نتایج نشان داد که بین شدت وقوع و تداوم رابطه عکس وجود دارد. دوره‌های پربابی و کم‌آبی در حوضه آبخیز گرگانود دارای یک توزیع همگن بوده و تغییرات زمانی زیادی نداشته است. نساجی‌زواره و همکاران (۱۴۰۰: ۲۰۷) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی آبدی فصلی و سالانه با استفاده از ۵ شاخص آبدی ($Q_5, Q_{10}, Q_{50}, Q_{90}, Q_{95}$) با احتمال ۵، ۵۰ و ۹۵ درصد در مقیاس فصلی و سالانه در حوزه کرخه پرداختند. دبی کم‌آبی نسبت به دبی پربابی روند کاهشی شدیدتری را نشان داد. شاخص پربابی فصل بهار در زیر حوضه کاکارضا و آفرینه روند افزایشی داشتند. این دو زیر حوضه مستقل بوده و تحت تأثیر رواناب زیرحوضه‌های دیگر نبوده است. علی‌پور و همکاران (۱۴۰۱: ۱۲۷) تحلیل فراوانی و شدت وقوع سیل تحت سناریوهای تغییر اقلیم در حوزه معرف امامه پرداختند. در این مطالعه اثر تغییرات اقلیمی آینده بر سیلاب منطقه طرح با مدل CANESM بررسی شد. بر اساس نتایج حاصل برای منطقه مورد مطالعه در دوره‌های آتی روند مشخصی نشان نداد. فراوانی و شدت سیلاب‌ها در دوره‌های بعدی افزایشی بوده به‌طوری که بیش‌ترین افزایش آن‌ها در دوره بازگشت ۲ ساله به ۲۰۰ ساله بر تعداد دوره‌هایی که سیلاب‌های برآوردشده بیش‌تر است. بابایی و همکاران (۱۴۰۲: ۱۰۹) به بررسی شاخص‌های سیل و جریان کمینه مستخرج از منحنی تداوم جریان (FDC) در رودخانه‌های استان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص جریان سیلابی در رودخانه‌های بالادست استان اردبیل افزایش داشته است. همچنین مقادیر شاخص‌های مربوط به جریان متوسط و جریان کمینه روند کاهشی معنی‌داری داشته است. ستایشی‌نساز و همکاران (۱۴۰۲: ۲۰۷) در بررسی رژیم جریان به مولفه‌های جریان محیط زیستی رودخانه خیاوچای با استفاده از مدل IHA پرداختند. نتایج نشان داد بر اساس تغییرات تداوم جریان در دوره‌های اخیر تداوم رودخانه به ۵۰ الی ۶۰ درصد ایام سال با دبی بسیار کم تغییر پیدا نموده است. در راستای بررسی تأثیر سد بر رژیم جریان رودخانه شهرچای، مصطفی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲: ۲۳۸) به تحلیل تغییرات شاخص سلامت هیدرولوژیک جریان رودخانه مذکور تحت تأثیر سد پرداختند و بیان کردند که سلامت هیدرولوژیک جریان رودخانه شهرچای در دوره‌های ساخت و بهره‌برداری از سد شهرچای به‌ترتیب در حدود ۱۶ و ۴۵ درصد در مقایسه با دوره مرجع کاهش داشته است. تجزیه و تحلیل دوره‌های خشکی و سیلابی توسط پژوهشگران مختلف با استفاده از روش‌های متفاوت صورت گرفته است. (تالبت^۴ و همکاران، ۲۰۱۸؛ آنچوندو^۵ و همکاران، ۲۰۱۸؛ آن^۶ و همکاران، ۲۰۲۰؛ وی^۷ و همکاران، ۲۰۲۱: ۵۱۵۷۰؛ قیصرانی و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۱). هدف پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات شاخص‌های مرتبط با کم‌آبی و پربابی در یک رودخانه با جریان طبیعی است. در پژوهش حاضر شاخص‌های معرف از ویژگی‌های جریان از جمله مدت کم‌آبی‌ها

1- Ullah et al
2- Land surface temperature
3- Key et al
4- Talbot et al

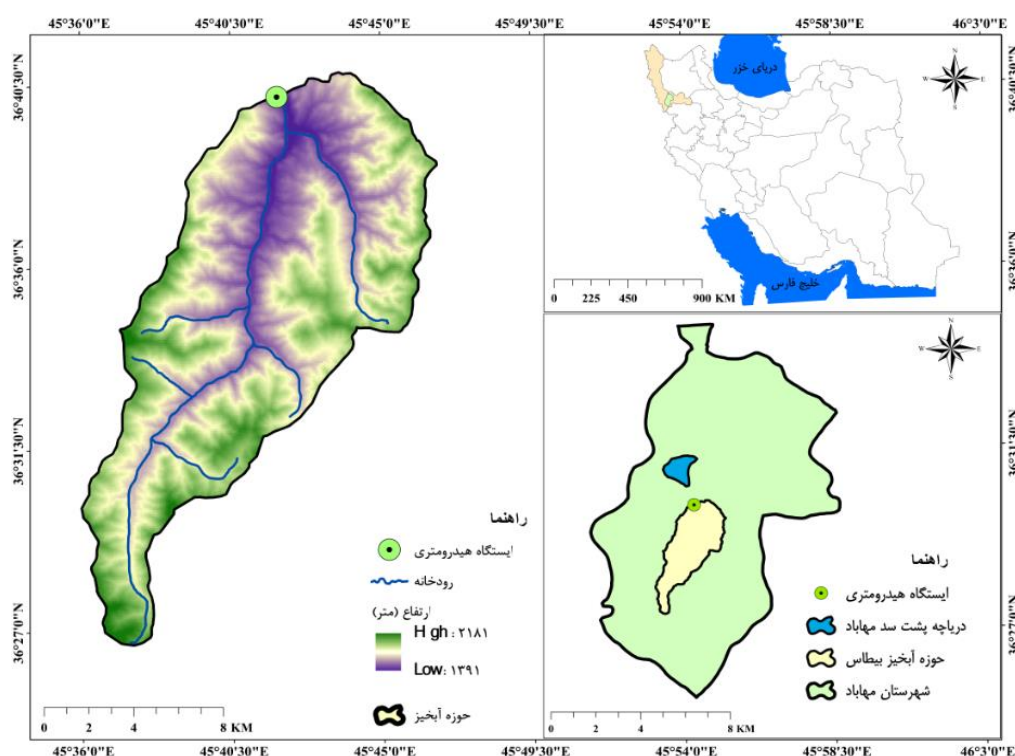
5 - Anchondo et al
6- An et al
7- Wei et al

و پرآبی‌ها، تعداد آن‌ها، فاصله بین این رخدادها و مجموع زمان رخدادهای کم‌آبی و پرآبی با استفاده از بسته تحلیل جریان رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج می‌تواند در تحلیل تغییرات جریان رودخانه‌های طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر در حوضه بیطاس (یکی از زیر حوضه‌های مهاباد) در ایستگاه هیدرومتری بیطاس انجام شده است. رودخانه مهاباد از دو شاخه اصلی به نام‌های بیطاس و کوتر و یک شاخه کوچک به نام دهبرک تشکیل شده است. شاخه بیطاس از کوه مام‌سوار سرچشمه می‌گیرد و وارد دریاچه سد مهاباد می‌شود. این حوضه دارای عرض جغرافیایی $36^{\circ} 68'$ و طول جغرافیایی $45^{\circ} 7'$ است و در استان آذربایجان غربی واقع شده است (شکل ۱). مساحت حوضه ۱۸۷۸۸ هکتار و ارتفاع متوسط آن ۱۷۵۳ متر از سطح دریا است. آمار مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های هیدرومتری دبی روزانه در یک دوره آماری ۵۷ ساله (۹۹-۴۲) است.



شکل (۱): موقعیت ایستگاه هیدرومتری بیطاس، سد مهاباد و حوضه بیطاس در شهرستان ارومیه و ایران

Figure (1): Location of Bitas hydrometric station, Mahabad dam and Bitas watershed in Urmia city and Iran

روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر تغییرات شاخص‌های جریان پرآبی و کم‌آبی در حوضه بیطاس از زیرحوضه‌های مهابادچای نسبت به جریان طبیعی در بالادست سد مهاباد مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، ابتدا آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری بیطاس از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ شد. دوره آماری داده‌های مورد استفاده از سال ۱۳۴۲ تا ۱۳۹۹ (۵۷ سال) بوده است که به فرمت مورد استفاده در مدل تبدیل شدند.

بسته تحلیل جریان رودخانه (RAP (River Analysis Package)

در پژوهش حاضر شاخص‌های کم‌آبی و پرآبی با استفاده از مدل RAP که یک ابزار مفید برای کمی‌سازی ویژه‌گی‌های جریان محیطی است، محاسبه شد. مدل (RAP) شامل مجموعه‌ای از ابزارها برای تجزیه و تحلیل هیدروولوژی و هیدرولیک رودخانه و رابطه آن‌ها با اکولوژی است. این مدل شامل سه ابزار آنالیز هیدرولیک، تجزیه و تحلیل سری زمانی و مدیریت سری زمانی می‌باشد. (۱) آنالیز هیدرولیک (HA) بر اساس پالس‌های جریان رودخانه در ساخت یک مدل هیدرولیکی یک بعدی از مسیر رودخانه و تعیین آستانه‌های جریان زیست محیطی بر اساس پارامترهای هیدرولیکی مانند عمق و سرعت آب کمک می‌کند، (۲) با ایجاد یک سری زمانی از داده‌های هیدرولیکی مرتبط با جریان زیست‌محیطی برای تجزیه و تحلیل بعدی سری زمانی و مقایسه با داده‌های بیولوژیکی یا رژیم‌های جریان جایگزین استفاده می‌کند. تحلیل سری زمانی مدل تحلیل رودخانه (RAP) امکان بررسی تغییرات در سری‌های زمانی جریان رودخانه را فراهم می‌کند. TSA یک ابزار تفسیری است که ورودی آن باید سری زمانی روزانه باشد، زیرا برای داده‌های روزانه جریان طراحی شده است. الگوریتم‌های TSA بر مبنای مدل‌های مبتنی بر قوانین (RBM) و مدل‌های کمی (QM) می‌باشد (مارش، ۲۰۰۴).

محاسبه شاخص‌های کم‌آبی و پرآبی از زیرمدل Time Series Analysis در مدل مذکور انجام می‌گیرد. ورودی TSA باید داده‌های سری زمانی روزانه باشد. با اینکه مدل RAP برای داده‌های جریان روزانه طراحی شده است اما می‌توان برای داده‌های سری زمانی هیدرولیک یا داده‌های هواشناسی استفاده کرد. الگوریتم‌های زیربنایی TSA توسط مدل‌های مبتنی بر قواعد و مدل‌های کمی هستند (مارش، ۲۰۰۴). زیرمدل تحلیل سری زمانی در بسته تحلیل جریان رودخانه این امکان را فراهم می‌کند که داده‌های سری زمانی مربوط به کل دوره، چند سال، فصول مختلف و ماه‌های سال تجزیه و تحلیل شوند. در ادامه فصل‌هایی را برای تحلیل مشخص می‌شود که حداقل باید دو فصل باشد و اگر بیش‌تر از دو فصل باشد باید به‌ترتیب وقوع انتخاب شوند. تحلیل سری زمانی در بسته تحلیل جریان رودخانه دارای بخش‌ها و شاخص‌های مختلفی است که در پژوهش حاضر برای برآورد شاخص‌های پرآبی (Low Spell) و کم‌آبی (High Spell) از این زیرمدل استفاده شد (جدول ۱ و ۲).

جدول (۱): شاخص‌های پرآبی جریان رودخانه مستخرج از مدل RAP

Table (1): High flow indicators extracted from RAP software

تعریف	علامت اختصاری	شاخص‌ها
حد آستانه پرآبی	HSThld	High Spell Threshold
تعداد پرآبی	HSNum	Number of High Spell
طولانی‌ترین پرآبی	HSLong	Longest High Spell
میانگین اوج‌های پرآبی	HSPeak	Mean of High Spell Peaks
میانگین مدت زمان پرآبی	HSMeanDur	Mean Duration of High Spell
کل مدت زمان پرآبی	HSTotDur	Total Duration of High Spell
مجموع دوره‌های بین پرآبی	HSTotPerBetw	Total of periods Between High Spells
میانگین دوره بین پرآبی	HSMPerBetw	Mean period Between High Spells
طولانی‌ترین دوره بین پرآبی	HSLPerBetw	Longest period Between High Spells

جدول (۲): شاخص‌های کم‌آبی جریان رودخانه مستخرج از مدل RAP

Table (2): Low flow indicators extracted from RAP software

تعریف	علامت اختصاری	شاخص‌ها
تعداد کم‌آبی	HSNum	Number of low Spell
طولانی‌ترین کم‌آبی	HSLong	Longest low Spell
میانگین اوج‌های کم‌آبی	HSPeak	Mean of low Spell Peaks
میانگین مدت زمان کم‌آبی	HSMeanDur	Mean Duration of low Spell
کل مدت زمان کم‌آبی	HSTotDur	Total Duration of low Spell
مجموع دوره‌های بین کم‌آبی	HSTotPerBetw	Total of periods Between low Spells
میانگین دوره بین کم‌آبی	HSMPerBetw	Mean period Between low Spells
طولانی‌ترین دوره بین کم‌آبی	HSLPerBetw	Longest period Between low Spells

در تحلیل کم‌آبی و پرآبی جریانی مد نظر قرار می‌گیرد که از قبل برای یک تحلیل خاص حد آن مشخص شده است. به‌عنوان مثال، برای تجزیه و تحلیل جریان کم، ممکن است آستانه جریان میزانی در نظر گرفته شود که توسط برخی از گونه‌های مهم آبیان ضروری باشد. بنابراین آستانه کم‌آبی می‌تواند برای تعیین فراوانی و مدت رویدادهای کم و حتی متوسط جریان استفاده شود. علاوه بر آستانه تعریف شده توسط کاربر، یک آستانه را می‌توان بر اساس ویژگی‌های جریان تعریف کرد، مانند جریان متوسط. با تعریف آستانه‌های جریان بر حسب برخی از ویژگی‌های ذاتی جریان ثبت شده رودخانه، ممکن است همان تحلیل برای داده‌های ثبت شده جریان اعمال شود تا به تفسیر تفاوت‌ها در رژیم جریان کمک کند. در تجزیه و تحلیل کم‌آبی، بر اساس زمانی که جریان از سطح آستانه از پیش تعریف شده در سری زمانی کم‌تر است، محاسبه می‌شود. به‌طور مشابه، تجزیه و تحلیل پرآبی هم، آمار را بر اساس زمانی که جریان برابر یا بیش‌تر از حد بالایی از پیش تعریف شده است، محاسبه می‌شود. علاوه بر آستانه تعریف شده توسط کاربر، یک آستانه را می‌توان بر اساس میانگین جریان روزانه تعریف کرد. با تعریف آستانه‌های جریان بر حسب برخی از عوامل ذاتی جریان، ممکن است چندین آستانه برای چندین مورد اعمال شود تا به تفسیر تفاوت‌ها در رژیم جریان کمک شود (مارش، ۲۰۰۳). لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر برای اجرای مدل حد آستانه هم برای دوره‌های پرآبی و هم برای دوره‌های کم‌آبی ۵ در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر شاخص‌های جریان پرآبی و کم‌آبی در ایستگاه بیطاس در بالادست شهرستان مهاباد مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها و انتخاب دوره آماری، مدل اجرا و نتایج برای دوره‌های پرآبی و کم‌آبی استخراج شد (جدول ۳ و ۴). علاوه بر گزارش آمار برای هر سال، فصل یا ماه، می‌توان آمار خلاصه را برای موارد ذکر شده محاسبه کرد که برای دوره آماری مورد نظر برای ایستگاه هیدرومتری بیطاس برآورد شد (جدول ۳).

جدول (۳): شاخص‌های هیدرولوژیک مستخرج از مدل RAP مربوط به کل داده‌های دوره آماری جریان رودخانه

Table (3): High spell hydrological indicators extracted from the RAP model for the entire river flow data

شاخص آماری	حد آستانه	تعداد پرآبی	طولانی‌ترین پرآبی	میانگین اوج‌های پرآبی	میانگین مدت زمان پرآبی	کل مدت زمان پرآبی	مجموع دوره‌های بین پرآبی	میانگین دوره بین پرآبی	طولانی‌ترین دوره بین پرآبی
میانگین	۶/۸۸	۲/۴۸	۱۸/۱۵	۱۲/۵۷	۷/۱۳	۲۳/۲۵	۶۹/۳۰	۲۴/۱۳	۵۰
میانه	۶/۸۸	۲	۷	۱۱/۵۳	۳	۱۲	۵۹	۲۱/۲	۴۳
CV	۰	۱/۰۲	۱/۵۴	۰/۳۴	۱/۳۹	۱/۲۵	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۲
تغییرپذیری	۰	۳	۴/۷۴	۰/۹۱	۵/۵۰	۵/۴	۲/۳۴	۱/۶۴	۲/۲۸

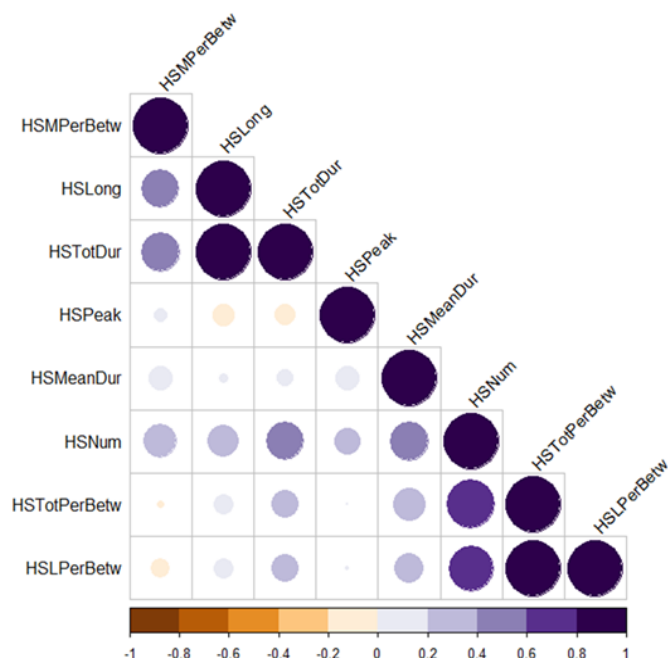
جدول (۴): شاخص‌های هیدروژئولوژیک کم‌آبی مستخرج از مدل RAP برای کل داده‌های دوره آماری جریان رودخانه

Table (4): Low spell hydrological indicators extracted from the RAP model for the entire river flow data

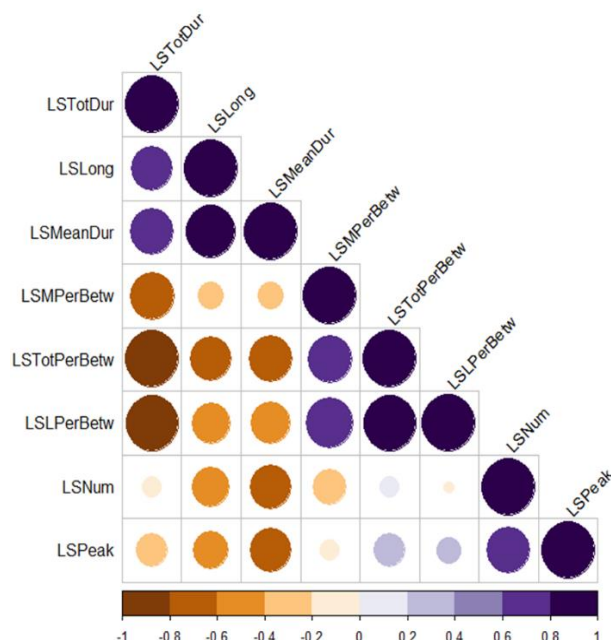
شاخص آماری	حد آستانه	تعداد کم‌آبی	طولانی‌ترین کم‌آبی	میانگین اوج‌های کم‌آبی	میانگین مدت زمان کم‌آبی	کل مدت زمان کم‌آبی	مجموع دوره‌های بین کم‌آبی	میانگین دوره بین کم‌آبی	طولانی‌ترین دوره بین کم‌آبی
میانگین	۰/۶۸	۵/۳۴	۱۳۴/۴۶	۰/۲۴	۷۴/۴۷	۲۳۸/۳۹	۱۳۸/۸۳	۴۲/۲۸	۱۲۱/۲۸
میانه	۰/۶۸	۴/۵	۱۰۸/۵	۰/۲۵	۳۴/۹۱	۲۳۳	۱۳۸	۲۹	۱۱۶
CV	۰	۰/۵۳	۰/۵۷	۰/۴۸	۱/۲۳	۰/۲۷	۳۸	۰/۸۹	۰/۴۵
تغییرپذیری	۰	۱/۴۶	۰/۹۷	۱/۲۶	۱/۷۸	۰/۷۶	۱/۰۶	۰/۱۲	۱/۲۷

علاوه بر دو معیار گرایش مرکزی، میانگین و میانه، دو معیار تغییرپذیری (صدک ۱۰ تا ۹۰) و ضریب تغییرات محاسبه می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که ضریب تغییرات تنها زمانی یک مقدار واقعی را ارائه می‌دهد که انحراف معیار یک مقدار واقعی باشد (یعنی برای محاسبه انحراف استاندارد باید بیش از ۱ نقطه مبنا وجود داشته باشد). همچنین معیار تغییرپذیری مقدار صفر برای مجموعه داده‌هایی با میانه صفر و مقدار بی‌نهایت برای محدوده‌های صفر به دست می‌دهد.

با توجه به جدول (۳) بالاترین میانگین به‌دست آمده برای مجموع دوره‌های بین پرآبی ۶۷/۳۰ و کم‌ترین میزان برای میانگین اوج‌های کم‌آبی ۰/۶۸ است. آماره میانه بالاترین میزان را برای طولانی‌ترین دوره بین کم‌آبی ۱۱۶ و پایین‌ترین میزان را برای میانگین اوج‌های کم‌آبی ۰/۲۵ برآورد شده است. کم‌ترین میزان CV برای حد آستانه کم‌آبی و پرآبی و بیش‌ترین مقدار برای طولانی‌ترین پرآبی، ۱/۵۴ است. میزان تغییرپذیری در حد آستانه‌ها صفر بوده و در شاخص میانگین مدت زمان پرآبی ۵/۵ بالاترین مقدار را داشته است.



ب



الف

شکل (۲): همبستگی بین شاخص‌های دوره کم‌آبی (الف) همبستگی بین شاخص‌های دوره پرآبی (ب)

Figure (2): Correlation between low flow indicators (a) Correlation between high flow indicators (b)

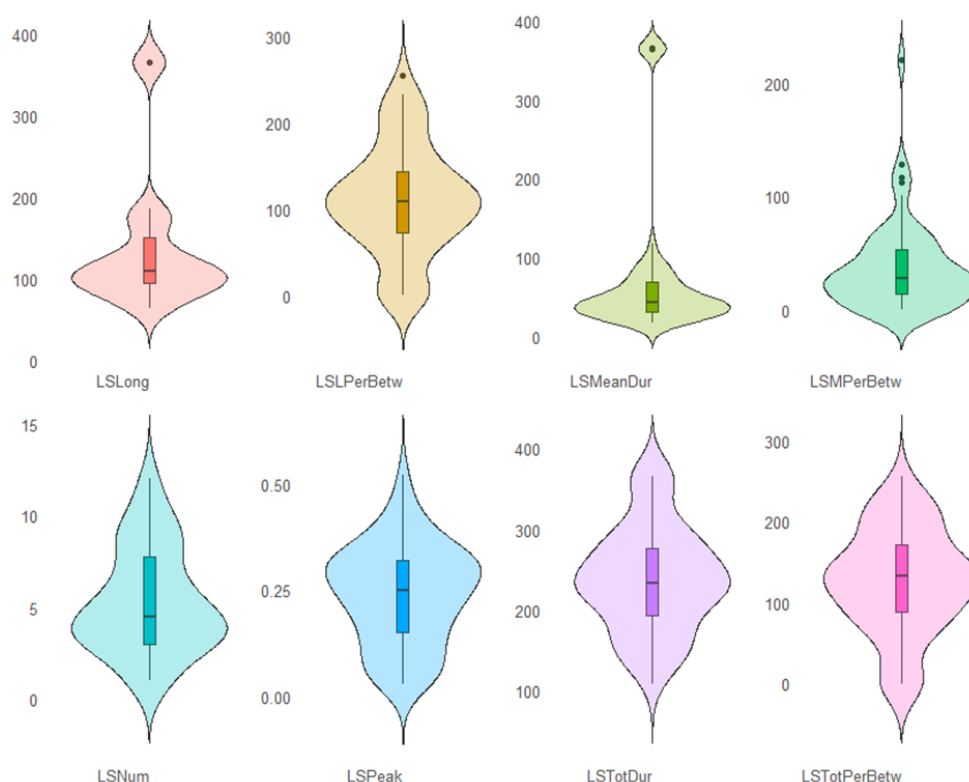
مطابق با (شکل ۲) نتایج همبستگی نشان می‌دهد که متغیرهای LSTotDur و LSLong دارای همبستگی مثبت قوی هستند، به این معنا که افزایش یکی از آن‌ها به احتمال زیاد با افزایش دیگری همراه است. همچنین متغیرهای LSNum و LSPeak همبستگی مثبت متوسطی نشان می‌دهند که نشان‌دهنده رابطه معنادار اما همبستگی ضعیف بین آن‌هاست. در مقابل، برخی از متغیرها مانند LSLPBetw و LSNum همبستگی منفی دارند، که نشان می‌دهد افزایش یکی ممکن است با کاهش دیگری همراه باشد. در پژوهش حاضر ۹ شاخص برای دوره‌های کم‌آبی و پرآبی توسط RAP TSA محاسبه شد که نتایج در جدول (۵) ارائه شده است. در این بخش ابتدا مدل به صورت کل دوره اجرا شد به این معنی که شاخص‌های مد نظر برای کل دوره محاسبه شد. در این روش خروجی شاخص‌ها یک مقدار واحد برای کل دوره است. قبل از ورود داده به مدل ابتدا واحد شاخص‌های خروجی تعیین می‌شود که در پژوهش حاضر واحد دبی روزانه (CMS) برای مدل تعریف شد.

جدول (۵): شاخص‌های پرآبی و کم‌آبی جریان رودخانه مستخرج از مدل RAP
Table (5): High and of low spell river flow indices extracted from the RAP model

شاخص	مقدار	شاخص	مقدار
حد آستانه پرآبی	۶/۸۸	حد آستانه کم‌آبی	۰/۶۸
تعداد پرآبی	۱۴۴	تعداد کم‌آبی	۲۵۳
طولانی‌ترین پرآبی	۱۶۳	طولانی‌ترین کم‌آبی	۱۶۳۵
میانگین اوج‌های پرآبی	۶/۲۲	میانگین اوج‌های کم‌آبی	۰/۳۳
میانگین مدت زمان پرآبی	۶/۲۹	میانگین مدت زمان کم‌آبی	۵۲/۸۲
کل مدت زمان پرآبی	۹۰۷	کل مدت زمان کم‌آبی	۱۳۸۷۰
مجموع دوره‌های بین پرآبی	۲۰۰۴۲	مجموع دوره‌های بین کم‌آبی	۷۳۵۸
میانگین دوره بین پرآبی	۱۴۰/۱۵	میانگین دوره بین کم‌آبی	۲۹/۱۹
طولانی‌ترین دوره بین پرآبی	۲۴۹۸	طولانی‌ترین دوره بین کم‌آبی	۲۵۶

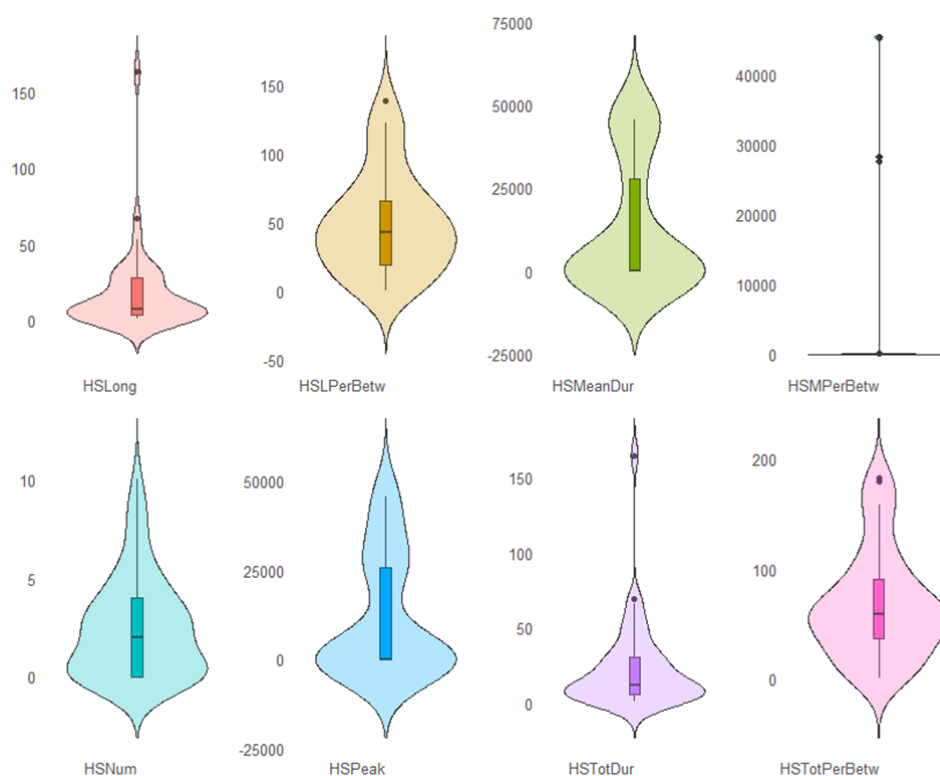
شاخص آستانه معرف مقداری است که در بالاتر یا مساوی آن مقدار جریان پرآبی شروع می‌شود، یا زیر آن مقدار برای جریان کم‌آبی است. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است. میزان این شاخص برای پرآبی ۶/۸۸ و برای کم‌آبی ۰/۶۸ است. شاخص تعداد رویداد (Number Spell) که تعداد رویدادهای کم‌آبی و پرآبی مورد نظر را در دوره در نظر گرفته شده برای اجرای مدل را نشان می‌دهد. این شاخص می‌تواند برای کل دوره، هر سال، یا هر فصل استخراج شود. در جدول ۵ میزان این شاخص برای کل دوره در نظر گرفته شده است که میزان آن برای دوره پرآبی ۱۴۴ و برای دوره کم‌آبی ۲۵۳ است، به عبارتی تعداد کم‌آبی‌هایی که در طول ۵۸ سال در ایستگاه هیدرومتری بیطاس بیش‌تر از رخدادهای پرآبی آن بوده است. مشابه این نتایج در مطالعه بذرافشان و همکاران (۲۰۱۹: ۱۱۷) که روند افزایش خشکسالی‌ها را در اقلیم‌های گرم و خشک ایران گزارش کرده‌اند، مشاهده می‌شود. همچنین، مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷: ۱۰۲) نیز به رابطه معکوس بین شدت وقوع و تداوم دوره‌های خشکسالی اشاره کرده‌اند، که با نتایج این تحقیق که نشان‌دهنده طولانی‌تر بودن زمان کم‌آبی‌ها در مقایسه با پرآبی‌هاست، همخوانی دارد. طولانی‌ترین رخداد (Single Longest) که طولانی‌ترین زمان برای رخداد موردنظر (کم‌آبی یا پرآبی) را نشان می‌دهد. میزان این شاخص در دوره کم‌آبی ۱۶۳۵ و برای پرآبی ۱۶۳ است، که این موضوع می‌تواند با نتایج کای و همکاران (۲۰۲۱) که افزایش جریان‌های بالا را در رودخانه‌های بریتانیا گزارش کردند، مقایسه شود. شاخص‌های میانگین اوج‌ها و میانگین مدت زمان که به ترتیب متوسط پیک‌های جریان و متوسط مدت زمانی که دوره‌های کم‌آبی یا پرآبی طول کشیده است. میانگین اوج برای زمان پرآبی ۶/۲۲ و برای زمان کم‌آبی ۰/۳۳، میانگین مدت برای پرآبی ۶/۲۹ و برای کم‌آبی ۵۴/۸۲ است. این ارقام بیانگر این مطلب است که مدت زمان کم‌آبی بیش‌تر از دوره‌های پرآبی در ایستگاه مورد مطالعه بوده است.

شاخص کل مدت زمان (Total duration) معرف کل زمان رویدادها برای دوره موردنظر است که میزان آن برای زمان‌های پربابی ۹۰۷ و برای دوره کم‌آبی ۱۳۸۷۰ برآورد شده است. شاخص (Total of periods Between Spells) معرف مجموع بازه زمانی بین دوره‌ها و شاخص (Mean period Between Spells) معرف میانگین بازه زمانی بین دوره‌ها است. مجموع زمان بین دوره‌های پربابی ۲۰۰۴۲ و بین دوره‌های کم‌آبی ۷۳۵۸ است، میانگین بازه زمانی هم برای دوره پربابی ۱۴۰/۱۵ و برای زمان‌های کم‌آبی ۲۹/۱۹ است. این نتایج با نتایج علی‌پور و همکاران (۱۴۰۱: ۱۲۷) در تحلیل فراوانی و شدت وقوع سیلاب‌ها در شرایط تغییر اقلیم مقایسه می‌شود، که نشان‌دهنده تأثیر تغییرات اقلیمی بر الگوهای جریان است. در اینجا، در حالی که نتایج علی‌پور و همکاران (۱۴۰۱: ۱۲۷) بر افزایش شدت سیلاب‌ها تأکید دارد، تحقیق حاضر نشان می‌دهد که زمان بین رخدادها کم‌آبی نسبت به پربابی‌ها قابل توجه است. آخرین شاخص هم طولانی‌ترین زمان بین دوره‌های ترسالی و خشکسالی (Longest period Between low Spells) را بیان می‌کند. میزان این شاخص هم برای دوره پربابی ۲۴۹۸ و بیش‌تر از دوره کم‌آبی است که مقدار آن ۲۵۶ است. نتایج مربوط به مجموع زمان بین دوره‌ها و طولانی‌ترین فاصله بین رخدادها نشان می‌دهد که فاصله زمانی بین دوره‌های پربابی بیش‌تر از کم‌آبی است. این موضوع می‌تواند دلالت بر وجود دوره‌های طولانی خشکسالی و تأثیرات منفی آن بر کشاورزی و اکوسیستم‌های طبیعی منطقه داشته باشد. برای مواجهه با این شرایط، اجرای سیاست‌های مؤثر جهت بهبود بهره‌وری آب و توسعه زیرساخت‌های ذخیره‌سازی و توزیع بهینه آب ضروری به نظر می‌رسد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که کم‌آبی‌ها به‌طور معناداری نسبت به پربابی‌ها در ایستگاه هیدرومتری بیطاس فراوان‌تر و طولانی‌تر هستند. این یافته‌ها می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های آبی در مناطق مشابه بسیار مؤثر باشد. با توجه به اینکه تغییرات آب و هوایی و مدیریت نادرست منابع آبی می‌تواند به تشدید شرایط کم‌آبی منجر شود، این مطالعه به‌عنوان یک منبع مهم در زمینه مدیریت منابع آبی و برنامه‌ریزی برای مقابله با بحران‌های آب در آینده عمل می‌کند.



شکل (۳): تغییرات مقادیر شاخص‌های جریان پایین مستخرج از مدل RAP

Figure (3): Changes in the values of low spell indicators extracted from the RAP model



شکل (۴): تغییرات مقادیر شاخص‌های جریان بالا مستخرج از مدل RAP

Figure (4): Changes in the values of high spell indicators extracted from the RAP model

شکل (۳ و ۴) تغییرات مقادیر شاخص‌های جریان بالا و جریان پایین مستخرج از مدل RAP را نشان می‌دهد. طبق نتایج، مقادیر تعداد رویداد کم‌آبی از ۱ تا ۱۲ با میانگین ۶ متغیر می‌باشد، کل مدت زمان کم‌آبی‌ها هم از ۱۰۹ تا ۳۶۶ با میانگین ۳۹/۲۳ متغیر است. در صورتی که کل مدت زمان پرآبی‌ها از بازه یک تا ۱۶۵ روز با میانگین ۲۳/۲۵ متغیر است. حداکثر و حداقل تغییرات مقادیر پرآبی‌ها از یک تا ۱۰ روز در طی دوره مورد مطالعه بوده است.

جدول (۶): شاخص‌های سالانه جریان پرآبی مستخرج از مدل RAP

Table (6): annual indicators of high spell extracted from the RAP model

سال	حد آستانه	تعداد پرآبی	طولانی ترین پرآبی	میانگین اوج‌های پرآبی	میانگین مدت زمان پرآبی	کل مدت زمان پرآبی	مجموع دوره‌های بین پرآبی	میانگین دوره بین پرآبی	طولانی ترین دوره بین پرآبی
۱۹۶۳	۶/۸۸	۳	۱۶۳	۱۳/۵	۵۵	۱۶۵	۳	۱/۵	۲
۱۹۶۴	۶/۸۸	۳	۲	۸/۶۶	۱/۳۳	۴	۵۶	۲۸	۴۸
۱۹۶۵	۶/۸۸	۱	۱	۱۲	۱	۱	-	-	-
۱۹۶۶	۶/۸۸	۹	۱۰	۸/۷۸	۲/۴۴	۲۲	۹۶	۱۲	۵۷
۱۹۶۷	۶/۸۸	۸	۱۰	۹/۱۶	۲/۷۵	۲۲	۵۰	۷/۱۴	۱۸
۱۹۶۸	۶/۸۸	۳	۶۷	۲۲/۷۳	۲۳	۶۹	۶۴	۳۲	۶۲
۱۹۶۹	۶/۸۸	۱	۲	۶/۹۱	۲	۲	-	-	-
۱۹۷۰	۶/۸۸	۳	۶	۹/۶۷	۳	۹	۱۸	۹	۱۷
۱۹۷۱	۶/۸۸	۴	۲۹	۱۹/۶۶	۸/۲۵	۳۳	۳۹	۱۳	۳۰
۱۹۷۲	۶/۸۸	۳	۶	۱۱/۵۳	۳/۶۶	۱۱	۴۴	۲۲	۴۳
۱۹۷۳	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۷۴	۶/۸۸	۲	۲	۷/۹۲	۱/۵	۳	۳۰	۳۰	۳۰
۱۹۷۵	۶/۸۸	۲	۲۹	۲۴/۲۹	۱۵	۳۰	۱	۱	۱
۱۹۷۶	۶/۸۸	۵	۴	۱۱/۷۷	۲/۶	۱۳	۴۳	۱۰/۷۵	۱۳
۱۹۷۷	۶/۸۸	۴	۷	۱۱/۴۳	۲/۵	۱۰	۶۴	۲۱/۳۳	۳۶
۱۹۷۸	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۷۹	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۸۰	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۸۱	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۸۲	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۸۳	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۸۴	۶/۸۸	۲	۳۵	۲۲/۲	-	۴۰	۵۷	۵۷	۵۷
۱۹۸۵	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۸۶	۶/۸۸	۳	۷	۸/۷۹	۳	۹	۶۲	۳۱	۵۴
۱۹۸۷	۶/۸۸	۱۰	۵۳	۱۲/۵۱	۶/۶	۶۶	۷۹	۸/۷۷	۳۴
۱۹۸۸	۶/۸۸	۱	۲	۱۰/۲۷	۲	۲	-	-	-
۱۹۸۹	۶/۸۸	۵	۳	۱۲/۸۹	۱/۶	۸	۱۵۸	۳۹/۵	۱۲۱
۱۹۹۰	۶/۸۸	۳	۵	۱۴/۱۱	۳/۳۳	۱۰	۱۹	۹/۵	۱۲

ادامه جدول (۶): شاخص‌های سالانه جریان پرآبی مستخرج از مدل RAP

Table (6) cont.: annual indicators of high spell extracted from the RAP model

سال	حد آستانه	تعداد پرآبی	طولانی ترین پرآبی	میانگین اوج‌های پرآبی	میانگین مدت زمان پرآبی	کل مدت زمان پرآبی	مجموع دوره‌های بین پرآبی	میانگین دوره بین پرآبی	طولانی ترین دوره بین پرآبی
۱۹۹۱	۶/۸۸	۷	۳۶	۱۱/۴۱	۷/۵۷	۵۳	۱۱۰	۱۸/۳۳	۷۵
۱۹۹۲	۶/۸۸	۶	۲۹	۱۶/۹۸	۸/۱۶	۴۹	۱۰۶	۲۱/۲	۷۵
۱۹۹۳	۶/۸۸	۵	۶	۱۰/۱۹	۲/۴	۱۲	۷۰	۱۷/۵	۵۷
۱۹۹۴	۶/۸۸	۸	۱۴	۱۰/۴۸	۳/۳۷	۲۷	۱۵۵	۲۲/۱۴	۱۱۲
۱۹۹۵	۶/۸۸	۳	۶	۱۱/۹۷	۲/۶۶	۸	۲	۱	۱
۱۹۹۶	۶/۸۸	۲	۳۴	۱۰/۲۵	۱۷/۵	۳۵	۱۰	۱۰	۱۰
۱۹۹۷	۶/۸۸	۴	۲۸	۱۳/۲۲	۷/۷۵	۳۱	۱۳۰	۴۳/۳۳	۹۵
۱۹۹۸	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۱۹۹۹	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۲۰۰۰	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-
۲۰۰۱	۶/۸۸	۵	۲	۹	۱/۴	۷	۷۶	۱۹	۳۷
۲۰۰۲	۶/۸۸	۴	۲۷	۱۶/۶۲	۱۲/۷۵	۵۱	۹۱	۳۰/۳۳	۸۶
۲۰۰۳	۶/۸۸	۴	۱۳	۱۸/۸۷	۵	۲۰	۵۹	۱۹/۶۶	۴۰
۲۰۰۴	۶/۸۸	۱	۲۶	۱۷/۶۶	۲۶	۲۶	-	-	-
۲۰۰۵	۶/۸۸	۳	۳	۹/۶۶	۲	۶	۶۹	۳۴/۵	۶۶
۲۰۰۶	۶/۸۸	۶	۱۵	۱۴/۷۶	۳/۶۶	۲۲	۱۷۹	۳۵/۸	۱۲۳
۲۰۰۷	۶/۸۸	۰	-	-	-	-	-	-	-

۱۳۹	۹۱	۱۸۲	۳	۱	۷/۸۷	۱	۳	۶/۸۸	۲۰۰۸
-	-	-	-	-	-	-	۰	۶/۸۸	۲۰۰۹
۴۳	۴۳	۴۳	۴	۲	۸/۶۴	۳	۲	۶/۸۸	۲۰۱۰
۱۹	۱۹	۱۹	۱۴	۷	۹/۲۲	۱۳	۲	۶/۸۸	۲۰۱۱
۳۷	۳۷	۳۷	۵	۲/۵	۱۲/۷۲	۴	۲	۶/۸۸	۲۰۱۲
-	-	-	-	-	-	-	۰	۶/۸۸	۲۰۱۳
-	-	-	-	-	-	-	۰	۶/۸۸	۲۰۱۴
-	-	-	-	-	-	-	۰	۶/۸۸	۲۰۱۵
-	-	-	۲	۲	۷/۲	۲	۱	۶/۸۸	۲۰۱۶
-	-	-	-	-	-	-	۰	۶/۸۸	۲۰۱۷
-	-	-	-	-	-	-	۰	۶/۸۸	۲۰۱۸
-	-	-	-	-	-	-	۰	۶/۸۸	۲۰۱۹
-	-	-	۳	۳	۱۴/۷	۳	۱	۶/۸۸	۲۰۲۰

جدول (۷): شاخص‌های سالانه کم‌آبی مستخرج از مدل RAP

Table (7): annual indicators of high spell extracted from the RAP model

سال	حد آستانه	تعداد کم‌آبی	طولانی ترین دوره کم‌آبی	میانگین اوج‌های کم‌آبی	میانگین مدت زمان کم‌آبی	کل مدت زمان کم‌آبی	مجموع دوره‌های بین کم‌آبی	میانگین دوره بین کم‌آبی	طولانی ترین دوره بین کم‌آبی
۱۹۶۳	۶/۸۸	۳	۳۶۶	۰/۲۳۳	۳۶/۳۳	۱۰۹	۲۵۷	۱۲۸/۵	۲۵۶
۱۹۶۴	۶/۸۸	۴	۱۳۶	۰/۳۴۵	۶۴/۲۵	۲۵۷	۱۰۸	۳۶	۱۰۲
۱۹۶۵	۶/۸۸	۹	۱۲۷	۰/۳۲	۳۰/۳۳	۲۷۳	۹۲	۱۱/۵	۷۲
۱۹۶۶	۶/۸۸	۱۰	۱۰۹	۰/۳۶	۲۴/۵	۲۴۵	۱۲۰	۱۳/۳۳	۱۰۱
۱۹۶۷	۶/۸۸	۱۱	۸۵	۰/۲۹۸	۱۹/۸۱	۲۱۸	۱۴۸	۱۴/۸	۱۳۰
۱۹۶۸	۶/۸۸	۵	۶۸	۰/۲۶۸	۲۷/۲	۱۳۶	۲۲۹	۵۷/۲۵	۲۲۳
۱۹۶۹	۶/۸۸	۷	۱۲۴	۰/۲۳۳	۳۱/۲۸	۲۱۹	۱۴۶	۲۴/۳۳	۱۰۸
۱۹۷۰	۶/۸۸	۱۰	۹۸	۰/۳۲۳	۲۶/۳	۲۶۳	۱۰۲	۱۱/۳۳	۸۴
۱۹۷۱	۶/۸۸	۵	۹۱	۰/۲۵۸	۴۶/۲	۲۳۱	۱۳۵	۳۳/۵	۱۲۸
۱۹۷۲	۶/۸۸	۱۲	۱۱۰	۰/۴۴۸	۱۷/۸۳	۲۱۴	۱۵۱	۱۳/۷۲	۱۲۲
۱۹۷۳	۶/۸۸	۱	۳۶۵	۰/۰۳	۳۶۵	۳۶۵	-	-	-
۱۹۷۴	۶/۸۸	۶	۱۱۷	۰/۲۴۶	۴۴/۱۶	۲۶۵	۱۰۰	۲۰	۸۹
۱۹۷۵	۶/۸۸	۵	۱۰۲	۰/۲۳۴	۴۴/۶	۲۲۳	۱۴۳	۳۵/۷۵	۱۳۸
۱۹۷۶	۶/۸۸	۴	۱۲۱	۰/۳۱۸	۵۷/۵	۲۳۰	۱۳۵	۴۵	۱۲۹
۱۹۷۷	۶/۸۸	۸	۹۹	۰/۳۳۲	۲۸/۳۷	۲۲۷	۱۳۸	۱۹/۷۱	۵۷
۱۹۷۸	۶/۸۸	۴	۹۸	۰/۲۸	۴۷/۵	۱۹۰	۱۷۵	۵۸/۳۳	۱۶۴
۱۹۷۹	۶/۸۸	۱	۳۶۶	۰/۰۴	۳۶۶	۳۶۶	-	-	-
۱۹۸۰	۶/۸۸	۱	۳۶۵	۰/۰۴۵	۳۶۵	۳۶۵	-	-	-
۱۹۸۱	۶/۸۸	۱	۳۶۵	۰/۰۵	۳۶۵	۳۶۵	-	-	-
۱۹۸۲	۶/۸۸	۱	۳۶۵	۰/۰۵۵	۳۶۵	۳۶۵	-	-	-
۱۹۸۳	۶/۸۸	۹	۹۶	۰/۵۱۶	۲۰/۷۷	۱۸۷	۱۷۹	۲۲/۳۷	۱۲۰
۱۹۸۴	۶/۸۸	۴	۶۵	۰/۲۰۵	۳۷/۵	۱۵۰	۲۱۵	۷۱/۶۷	۲۰۸
۱۹۸۵	۶/۸۸	۶	۹۷	۰/۲۵۲	۴۰/۵	۲۴۳	۱۲۲	۲۴/۴	۱۱۶
۱۹۸۶	۶/۸۸	۴	۱۰۰	۰/۱۶۸	۴۱/۷۵	۱۶۷	۱۹۸	۶۶	۱۶۰
۱۹۸۷	۶/۸۸	۳	۸۹	۰/۲۶۷	۴۷	۱۴۱	۲۲۵	۱۱۲/۵	۲۲۲
۱۹۸۸	۶/۸۸	۳	۱۱۷	۰/۱۰۷	۹۵/۳۳	۲۸۶	۷۹	۳۹/۵	۷۷
۱۹۸۹	۶/۸۸	۸	۱۰۸	۰/۲۲	۳۰/۳۷	۲۴۳	۱۲۲	۱۷/۴۲۹	۹۴
۱۹۹۰	۶/۸۸	۳	۱۷۶	۰/۰۶	۹۱	۲۷۳	۹۲	۴۶	۹۱

ادامه جدول (۷): شاخص‌های سالانه کم‌آبی مستخرج از مدل RAP

Table (7) cont.: annual indicators of high spell extracted from the RAP model

سال	حد آستانه	تعداد کم‌آبی	طولانی‌ترین دوره کم‌آبی	میانگین اوج‌های کم‌آبی	میانگین مدت زمان کم‌آبی	کل مدت زمان کم‌آبی	مجموع دوره‌های بین کم‌آبی	میانگین دوره بین کم‌آبی	طولانی‌ترین دوره بین کم‌آبی
۱۹۹۱	۶/۸۸	۸	۶۴	۰/۴۰۶	۳۰/۵	۱۶۴	۲۰۲	۲۸/۸۵	۱۵۷
۱۹۹۲	۶/۸۸	۸	۷۰	۰/۲۸	۲۰/۷۵	۱۶۶	۱۹۹	۲۸/۴۲	۱۴۴
۱۹۹۳	۶/۸۸	۳	۹۵	۰/۳۱	۴۳/۶۶	۱۳۱	۲۳۴	۱۱۷	۲۳۳
۱۹۹۴	۶/۸۸	۲	۷۹	۰/۰۷	۷۲/۵	۱۴۵	۲۲۰	۲۲۰	۲۲۰
۱۹۹۵	۶/۸۸	۶	۱۲۸	۰/۳۰	۳۷/۶۶	۲۲۶	۱۴۰	۲۸	۱۲۸
۱۹۹۶	۶/۸۸	۳	۱۲۳	۰/۱۳	۸۶/۶۶	۲۶۰	۱۰۵	۵۲/۵	۱۰۴
۱۹۹۷	۶/۸۸	۶	۶۶	۰/۵۳	۳۹/۱۶	۲۳۵	۱۳۰	۲۶	۱۳۱
۱۹۹۸	۶/۸۸	۳	۱۷۴	۰/۱۳	۱۱۸/۳۳	۳۵۵	۱۰	۵	۵
۱۹۹۹	۶/۸۸	۶	۱۷۵	۰/۳۸	۵۰/۳۳	۳۰۲	۶۴	۱۲/۸	۵۱
۲۰۰۰	۶/۸۸	۵	۱۷۳	۰/۳۸	۶۱/۶	۳۰۸	۵۷	۱۴/۲۵	۴۶
۲۰۰۱	۶/۸۸	۳	۱۱۶	۰/۱۶	۷۳/۳۳	۲۲۰	۱۴۵	۷۲/۵	۱۴۲
۲۰۰۲	۶/۸۸	۴	۱۰۵	۰/۳۲	۴۳/۲۵	۱۷۳	۱۹۲	۶۴	۱۸۵
۲۰۰۳	۶/۸۸	۳	۷۸	۰/۱۶	۵۴/۶۶	۱۶۴	۲۰۲	۱۰۱	۱۹۸
۲۰۰۴	۶/۸۸	۵	۹۴	۰/۳	۴۰/۶	۲۰۳	۱۶۲	۴۰/۵	۱۲۱
۲۰۰۵	۶/۸۸	۳	۱۵۶	۰/۱	۸۲	۲۴۶	۱۱۹	۵۹/۵	۱۱۷
۲۰۰۶	۶/۸۸	۷	۹۲	۰/۲۳	۳۱	۲۱۷	۱۴۸	۲۴/۶۷	۱۱۳
۲۰۰۷	۶/۸۸	۴	۱۸۲	۰/۳۴	۷۵/۵	۳۰۲	۶۴	۲۱/۳۳	۶۰
۲۰۰۸	۶/۸۸	۹	۱۰۲	۰/۲۱	۳۱/۱۱	۲۸۰	۸۵	۱۰/۶۲	۷۱
۲۰۰۹	۶/۸۸	۱۲	۹۵	۰/۳۰	۲۶/۱۶	۳۱۴	۵۱	۴/۶۳	۱۳
۲۰۱۰	۶/۸۸	۴	۱۶۵	۰/۱۳	۶۸	۲۷۲	۹۳	۳۱	۸۱
۲۰۱۱	۶/۸۸	۳	۱۸۶	۰/۱۴	۹۴	۲۸۲	۸۴	۴۲	۷۱
۲۰۱۲	۶/۸۸	۱۰	۸۴	۰/۳۱	۲۲/۷	۲۲۷	۱۳۸	۱۵/۳۳	۱۱۰
۲۰۱۳	۶/۸۸	۵	۱۱۴	۰/۳۱	۴۸/۲	۲۴۱	۱۲۴	۳۱	۱۰۶
۲۰۱۴	۶/۸۸	۹	۹۸	۰/۳۸	۲۵	۲۲۵	۱۴۰	۱۷/۵	۹۷
۲۰۱۵	۶/۸۸	۴	۸۸	۰/۲۰	۴۶	۱۸۴	۱۸۲	۶۰/۶۶۷	۱۷۳
۲۰۱۶	۶/۸۸	۴	۱۱۰	۰/۰۹۷	۶۹/۵	۲۷۸	۸۷	۲۹	۸۴
۲۰۱۷	۶/۸۸	۹	۱۸۳	۰/۴۶	۳۳/۲۲	۲۹۹	۶۶	۸/۲۵	۴۳
۲۰۱۸	۶/۸۸	۴	۱۰۲	۰/۳۱	۳۶	۱۴۴	۲۲۱	۷۳/۶۷	۱۹۸
۲۰۱۹	۶/۸۸	۴	۱۳۲	۰/۲۶	۵۱/۷۵	۲۰۷	۱۵۹	۵۳	۱۵۷
۲۰۲۰	۶/۸۸	۶	۱۱۰	۰/۱۷	۴۰/۱۶	۲۴۱	۱۲۴	۲۴/۸	۸۸

در جداول (۶ و ۷) شاخص‌های ارزیابی کم‌آبی و پرآبی حوضه بیطاس به‌صورت سالانه ارائه شده است. با توجه به نتایج بالاترین تعداد کم‌آبی‌ها را در سال ۱۹۸۷ و بعد از آن در سال ۲۰۰۶ تعدا پرآبی ۶ بوده در ادامه این روند نزولی بوده و کم شده تا در آخرین سال دوره آماری به یک رسیده است. همچنین بالاترین تعداد کم‌آبی با عدد ۱۲ در سال ۱۹۷۲ و ۲۰۰۹ رخ داده است به نحوی میزان این شاخص در سال‌های اخیر افزایش یافته و در سال ۲۰۱۷ به عدد ۹ رسیده است و در سال ۲۰۲۰ میزان آن ۶ بوده است. طولانی‌ترین دوره پرآبی با عدد ۱۶۳ متعلق به سال ۱۹۶۳ بوده و طولانی‌ترین دوره کم‌آبی با عدد ۳۶۶ مربوط به سال ۱۹۷۹ است. شاخص میانگین دوره‌های بین پرآبی با عدد ۴۳/۳۳ بالاترین میزان را در سال ۱۹۹۷ داشته و بالاترین میانگین دوره‌های بین کم‌آبی در سال ۱۹۹۴ بوده است. حوضه بیطاس طولانی‌ترین دوره کم‌آبی در سال ۱۹۶۳ تجربه کرده است. این شاخص در سال مختلف نوسان‌های رو بالا و پایین داشته به‌طوری که در سال ۲۰۲۰ به میزان ۱۱۰ رسیده است.

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در تعداد و طول دوره‌های پرآبی و کم‌آبی در طول سال‌های مورد بررسی است. در مقایسه با مطالعات مشابه مانند مطالعه ستایشی نساز و همکاران (۲۰۲۳) در رودخانه خیاوچای مشگین‌شهر، نیز روند کاهش جریان‌های کمینه را گزارش نمودند و همچنین بیان نمودند که کاهش مقادیر دبی شاخص‌های جریان‌های حداکثر و افزایش تعداد روزهای دبی صفر به تعداد ۱۷۴ روز نیز ناشی از کاهش آبدی رودخانه بوده است. علاوه بر این کلاوینز و رودینوف (۲۰۰۸) در ارزیابی رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و تغییرات طولانی

مدت آنها در لتونی نتیجه گرفتند که نوسانات دوره‌ای دبی و سال‌های جریان کم و پرآب برای رودخانه‌های اصلی لتونی رایج است. ایشان فراوانی اصلی تغییرات رژیم دبی رودخانه در حدود ۱۳ و ۲۰ سال برای رودخانه‌های مورد مطالعه برآورد شد و تأثیر قابل توجهی از تنوع اقلیمی بر رژیم دبی رودخانه‌ها گزارش شد. نتایج هم‌چنین نشان‌دهنده کاهش تدریجی تعداد دوره‌های پرآبی به‌ویژه در سال‌های اخیر است، در پژوهش شیخ و همکاران (۲۰۲۳) به نقش کم‌تر تغییر اقلیم در کاهش آبدهی دو زیرحوضه اصلی حوضه حبله‌رود اشاره شده است و مداخلات انسانی را عامل اصلی کاهش آبدهی رودخانه‌های حوضه حبله‌رود معرفی نموده‌اند. مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تعداد کم‌آبی‌ها در سال‌های مختلف به طور متناوب افزایش و کاهش یافته است و از نظر میانگین اوج‌های پرآبی و کم‌آبی، نوسانات قابل توجهی در طول دوره مورد مطالعه مشاهده شده است. در همین راستا نتایج تحقیق کورهونن و کووسیستو^۱ (۲۰۱۰) در ارزیابی رژیم رودخانه‌های کشور فنلاند نشان داد که علیرغم اینکه تحلیل روند به‌طور کلی هیچ تغییری در میانگین جریان سالانه نشان نداد، اما توزیع فصلی جریان تغییر کرده است. میانگین دبی ماهانه زمستان و بهار در اکثر رودخانه‌ها افزایش یافته است و اوج دبی‌های بهار در بیش از یک سوم رودخانه‌ها زودتر اتفاق افتاده است.

نتیجه‌گیری

تحلیل دوره‌های کم‌آبی و پرآبی در مقیاس‌های ماهانه و سالانه در صورت در دسترس بودن داده بلندمدت اطلاعات مفیدی را در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در خصوص فعالیت‌های کشاورزی، آبیاری و پروژه‌های هیدرولوژیک و مرتبط با منابع آب فراهم می‌کند. در پژوهش حاضر رفتار هیدرولوژیک و تغییرات رژیم جریان رودخانه بر اساس دوره‌های کم‌آبی و پرآبی با استفاده از ۹ شاخص مدل RAP در ایستگاه هیدرومتری بیطاس مورد ارزیابی قرار گرفته است. امکان تحلیل سری زمانی در مدل تحلیل جریان رودخانه این امکان را فراهم می‌کند که داده‌ها را در سری‌های زمانی مختلفی اجرا نمود. در این پژوهش ابتدا برای کل دوره و سپس برای سال‌ها به‌صورت جداگانه مدل اجرا شد. همان‌طور که گفته شد تعداد پرآبی‌ها از سال ۱۹۶۳ تا سال ۲۰۲۰ کاهش یافته و به کم‌ترین میزان خود رسیده است، از طرفی افزایش تعداد دوره‌های کم‌آبی تا سال ۲۰۲۰ مشهود است. شاخص کل مدت زمان پرآبی‌ها از عدد ۱۶۳ به عدد ۳ در سال ۲۰۲۰ نوسان داشته و شاخص کل مدت زمان کم‌آبی در سال ۲۰۲۰ عدد ۲۴۱ است. مرور نتایج به دست آمده از اجرای بسته تحلیل جریان رودخانه چه در زمانی که کل دوره واحد در نظر گرفته شده است و چه در زمانی که مدل به‌صورت سالانه اجرا شده بالا بودن دوره‌های کم‌آبی و طول مدت زمان آن‌ها را تایید می‌کند، که به طبع آن نتایج در حوضه بیطاس پایین بودن تعداد پرآبی و تداوم آن را نشان می‌دهد که با نتایج لی (۲۰۲۴) حاکی از روند افزایشی خشکسالی‌ها در شهر Sichuan و نتایج بذرافشان و همکاران (۲۰۱۹: ۱۱۷) مبنی بر روند افزایش کم‌آبی‌ها در اقلیم‌های گرم و خشک در یک راستا است. با این حال ذکر این نکته حائز اهمیت است که مقادیر شاخص‌ها در سال‌های مختلف نوسان‌های متفاوت داشته و روند مشخصی را دنبال نمی‌کند که این مورد هم با نتایج مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷: ۱۰۲) در یک راستا است که بیان کردند، دوره‌های پرآبی و کم‌آبی در حوضه آبخیز گرگانرود دارای یک رژیم همگن بوده و تغییرات زمانی در آن‌ها چندان قابل ملاحظه نیست.

در مجموع نتایج پژوهش حاضر وجود تنوع و تغییرات میزان شاخص‌ها در وقوع دوره‌های کم‌آبی در حوضه بیطاس را به‌دلیل تغییرات رژیم جریان در دوره‌های مختلف و بکر بودن جریان رودخانه را مورد تأیید قرار می‌دهد. براساس نتایج، می‌توان برای در دوره‌های پرآبی در خصوص استفاده از جریان مازاد در رودخانه‌ها برنامه‌ریزی کرد. قابل ذکر است که بسته تحلیل جریان رودخانه قابلیت استخراج شاخص‌های دبی سالانه و ماهانه را در ایستگاه‌های مختلف دارا است و می‌تواند به اقدامات مدیریتی آب بر اساس کم‌آبی‌ها شروع شود و زمان کافی را برای کنترل و تنظیم آب در زمان‌های پرآبی در اختیار قرار دهد. تحلیل با استفاده از روش پژوهش حاضر می‌تواند در سایر مناطق مختلف با اقلیم‌های مختلف برای بررسی دوره‌های کم‌آبی و پرآبی به‌کار گرفته شود؛ بنابراین از کاربرد بسته تحلیل جریان رودخانه می‌توان به تعیین دوره‌های کم‌آبی و پرآبی و برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آبی، توصیف کمی خشکسالی، سیل ارزیابی وقوع سیل‌ها اشاره کرد.

References

- Alipour, Hassan, Selajgeh, Moghadamnia, Khaligi Sigaroudi, Nasaji Zavareh. (2022). Analysis of the frequency and severity of floods under climate change scenarios in Ma'aref Imamah. *Desert Ecosystem Engineering*, 11(34), 127-141.
- An, Q., He, H., Nie, Q., Cui, Y., Gao, J., Wei, C., Xie, X., & You, J. (2020). Spatial and temporal variations of drought in InnerMongolia, China. *Water*, 12, 1715. (In Persian)
- Anchondo, C. 2018. Austin issues city-wide boil water notice; Calls for action to avoid running out of water. *The Texas Tribune*.
- Babaei, L., Parchami, N, Mostafazadeh, R. (2023). Estimation of temporal and spatial changes of flood and minimum flow indices extracted from flow continuity curve (FDC) in rivers of Ardabil province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 10(1), 109-126.
- Bazrafshan, O., Mahmoudzadeh, F., Asgari Nezhad, A., & Bazrafshan, J. (2019). Adaptive evaluation of SPI, RDI, and SPEI indices in analyzing the trend of intensity, duration, and frequency of drought in arid and semi-arid regions of Iran. *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(3), 117-131. (In Persian)
- Bessah, E., et al., 2020. Hydrological responses to climate and land use changes: The paradox of regional and local climate effect in the Pra River Basin of Ghana. *Journal of Hydrology: Reg. Stud.* 27, 100654.
- Dokhani, S., Izanloo, R, & Omidvar, I. (2023). Analysis of Check-dam effects on flow duration curve alteration of the Zarcheshmeh River- Hoonejan watershed, Isfahan Province. *Hydrogeomorphology*, 10(35), 135-120. (In Persian)
- Elagib, N. A., Al Zayed, I. S., Saad, S. A. G., Mahmood, M. I., Basheer, M., & Fink, A. H. (2021). Debilitating floods in the Sahel are becoming frequent. *Journal of Hydrology*, 599, 126362
- Fang Sang, Y., Wang, Z., Liu, C. (2014). Comparison of the MK test and EMD method for trend identification in hydrological time Series. *Journal of Hydrology*, 510, 293-298. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.12.039.
- Guo, Y., et al., 2019. Assessing socioeconomic drought based on an improved multivariate standardized reliability and resilience index. *Journal of Hydrology*. 568, 904–918.
- Kadioglu, M., Sen, Z., (1998), Power-law relationship in describing temporal and spatial precipitation pattern in Turkey, *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 59: 93- 106.
- Kay, A. L., Griffin, A., Rudd, A. C., Chapman, R. M., Bell, V. A., & Arnell, N. W. (2021). Climate change effects on indicators of high and low river flow across Great Britain. *Advances in Water Resources*, 151, 103909
- Klavins, M., & Rodinov, V. (2008). Long-term changes of river discharge regime in Latvia. *Hydrology Research*, 39(2), 133-141.
- Korhonen, J., & Kuusisto, E. (2010). Long-term changes in the discharge regime in Finland. *Hydrology Research*, 41(3-4), 253-268.
- Lazin, R., Shen, X., Moges, S., Anagnostou, E., 2023. The role of Renaissance dam in reducing hydrological extremes in the Upper Blue Nile Basin: Current and future climate scenarios. *Journal of Hydrology*. 616, 128753.
- Li, X., Zhong, B., Chen, J., Li, J., & Wang, H. (2024). Investigation of 2020– 2022 Extreme Floods and Droughts in Sichuan Province of China Based on Joint Inversion of GNSS and GRACE/GFO Data. *Journal of Hydrology*, 130868.
- Marsh, N 2003, Time Series Analysis Module: RiverAnalysis Package, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Monash University, Melbourne Australia. <http://www.toolkit.net.au>
- Marsh, N. (2004) RAP river analysis package: user guide, version 1.1. CRC for Catchment Hydrology, Australia, P.4, Jan 2004. www.toolkit.net.au/rap
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2(1), 2391

- Mehri, Sonia, Haji, Khadija, Alizadeh, Varia, and Mostafazadeh, R. (2016). Evaluation of spatial changes in the severity of meteorological drought periods in different time scales in Kurdistan province. *Geographic Information*, 26(102), 151-162. (In Persian)
- Mostafazadeh, R., Zabihi Silabi, M., & Kazemi, M. (2024). Temporal analysis of river flow health index of the Shahrchai river under the dam regulating effect. *Hydrogeomorphology*, 11(39), 101-121. (In Persian)
- Mostafazadeh, R, Haji, kh., Esmaliouri, A. (2018). Determining the intensity and continuity of hydrological drought periods using the Power Laws Analysis method in the rivers of Gorganrood watershed. *Geographical Space*, 18(62), 237-253. (In Persian)
- Nasaji Zavareh, M., Kirzmecheshmeh, B., Mohammadpour, M. (2021). Investigating spatial and temporal changes of seasonal and annual irrigation in Karkheh basin. *Journal of Range and Watershed Management*, 74(1), 207-221. (In Persian)
- Qaisrani, Z. N., Nuthammachot, N., Techato, K., & Ullah, A. (2021). Drought monitoring based on standardized precipitation index and standardized precipitation evapotranspiration index in the arid zone of Balochistan province, Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(11), 1-13
- Setayeshi Nasaz, H., Asghari Saraskanrood, S., Mostafazadeh, R., & Madadi, A. (2023). Investigating changes in the hydrological flow regime and the environmental flow component of EFCs in Khiauchai River in a 30-year period. *Hydrogeomorphology*, 10(37), 43-25. doi: 10.22034/hyd.2023.54796.1672. (In Persian)
- Sheikh, V., Naderi, M., Bahrehmand, A., Sadoddin, A., Abedi Tourani, M., Komaki, C. B., & Ghaemi, A. (2023). Quantifying the contributions of climate change and direct human interventions to streamflow alteration in the Hablehrood watershed using empirical approaches. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(1), 298-315. doi: 10.22098/mmws.2022.11852.1178. (In Persian)
- Talbot, C., et al. 2018. The impact of flooding on aquatic ecosystem services. *Biogeochemistry*. 141: 439-461.
- Ullah, R., Khan, J., Ullah, I., Khan, F., & Lee, Y. (2023). Investigating Drought and Flood Evolution Based on Remote Sensing Data Products over the Punjab Region in Pakistan. *Remote Sensing*, 15(6), 1680.
- Wei, W., Zhang, H., Zhou, J., Zhou, L., Xie, B., & Li, C. (2021). Drought monitoring in arid and semi-arid region based on multi-satellite datasets in northwest, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 51556-51574
- Yildiz, O., (2014), Spatiotemporal analysis of historical droughts in the Central Anatolia, Turkey, *Gazi University Journal of Science*, 27 (4): 1177-1184.
- Zolina, O., Simmer, C., Belyaev, K., Gulev, S. K., Koltermann, P., (2013), Changes in the duration of European wet and dry spells during the last 60 years, *Journal of Climate*, 26: 2022-2047.