



## Study on Quantitative Changes in Hydrological Indices of River Flow under the Influence of Dam Construction and Climate Change

Seyedsaeid Nabavi<sup>1\*</sup> | Arash Malekian<sup>1\*</sup> | Naser Mashhadi<sup>2</sup> | Khaled Ahmadaali<sup>3</sup> | Raof Mostafazadeh<sup>4</sup> | Ali Shahbazi<sup>5</sup>

1. Department of Reclamation of Arid & Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2. International Desert Research Center, University of Tehran, Karaj, Iran

3. Department of Irrigation and Reclamation, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

4. Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

5. Natural Resources and Watershed Management Organization of Alborz Province, Karaj, Iran

Corresponding E-mail: [malekian@ut.ac.ir](mailto:malekian@ut.ac.ir)

### Article Info

### Abstract

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 02 Jun. 2024

Revised: 26 Jul. 2024

Accepted: 04 Aug. 2024

Published online: 01 April. 2025

#### Keywords:

*Baliqlu Chay River, Climate Change, Hydrological Indices, Trend Analysis, Water Resources Management.*

Drought and weaknesses in water resources management have led to a decline in both water quantity and quality, creating significant challenges for the sustainable supply and optimal allocation of water across many of the country's watersheds. The water resources of the Baliqlu Chay River watershed, located in Ardabil Province, play a crucial role in meeting domestic, agricultural, industrial, and environmental water demands. The objective of this study is to assess the impact of human activities (such as dam construction) and climate change (precipitation and temperature) on the hydrological indicators of streamflow in the Baliqlu Chay River. In addition, trends in climate variables and river discharge over a 30-year period (1991–2021) were analyzed at monthly, seasonal, and annual time scales using the Mann-Kendall trend test and Sen's slope estimator. The results of the hydrological indicator analysis indicate that the streamflow of the Baliqlu Chay River is influenced by seasonal variations, dependency on groundwater resources, and the construction of the Yamchi Dam. In the upstream region of the watershed (Yamchi Station), increased precipitation and snowmelt during the spring season contribute to higher streamflow, whereas in the downstream area (Viladaragh Station), the flow volume is lower and the reliance on groundwater resources is more pronounced. Moreover, the high flow variability observed at the Yamchi Station, as indicated by elevated standard deviation and coefficient of variation values, suggests an increased risk of flooding in this area. Trend analysis results over the 30-year statistical period reveal a decreasing trend in annual precipitation at the Ardabil and Nir stations, although these trends are not statistically significant at the 99% and 95% confidence levels. In contrast, a statistically significant increasing trend in annual precipitation was detected at the synoptic station in Sareyn at the 99% confidence level. Additionally, the annual temperature increase at all stations was found to be statistically significant at the 99% confidence level. The assessment of streamflow trends on an annual scale at the Nirchay and Yamchi Dam hydrometric stations indicates a statistically significant decreasing trend at the 1% level ( $p\text{-value} \leq 0.01$ ). This declining trend may be attributed to the combined effects of anthropogenic factors (such as dam construction) and climatic factors (including reduced precipitation and rising temperatures). The findings underscore the necessity of implementing effective management strategies such as optimizing water resource utilization, modifying consumption patterns, and improving the operational management of the Yamchi Dam, to mitigate the adverse impacts of climate change and human interventions on the flow regime of the Baliqlu Chay River.

**Cite this article:** Nabavi, S.S., Malekian, A., Mashhadi, N., Ahmadaali, K., Mostafazadeh, R., Shahbazi, A. (2025). Study on Quantitative Changes in Hydrological Indices of River Flow Under the Influence of Dam Construction and Climate Change. *Journal of Range & Watershed Management*, 79 (1), 1-18. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2025.396554.1838>



## EXTENDED ABSTRACT

**Introduction:** In recent decades, rising water demand alongside intensified droughts and poor water resource management has caused significant declines in both water quality and quantity across many Iranian watersheds. The Baliqlu Chay River basin in Ardabil Province is a crucial watershed that supports domestic, agricultural, industrial, and ecological water needs. Due to the importance of river flow regimes in integrated water resource management, it is vital to understand the factors driving hydrological changes in this basin. This study aims to assess the impacts of human activities, particularly dam construction, and climate variability, including precipitation and temperature, on the hydrological indices of the Baliqlu Chay River. Additionally, it analyzes long-term trends in climate variables and river discharge over a 30-year period (1991–2021) using the Mann–Kendall non-parametric test. The results of this research will enhance understanding of how anthropogenic and climatic factors interact to influence river flow patterns. Such insights are critical for developing effective water management policies and adaptation strategies to ensure sustainable use of water resources amid changing environmental conditions.

**Materials and Methods:** Ardabil Province, located in northwest Iran, covers an area of 17,953 km<sup>2</sup> and features important perennial rivers requiring comprehensive water resource analysis for effective management (Asiabi-Hir et al., 2017). The Baliqlu Chay River basin, a tributary of the Qarasou River, spans about 1,093 km<sup>2</sup> between longitudes 47°46'E to 48°06'E and latitudes 37°52'N to 38°15'N. The river flows approximately 65 km from its source at Balikhli Pass in southwestern Nir County, joining the Qarasou River north of Ardabil city. The Yamchi Dam, situated in the eastern part of Ardabil on the Baliqlu Chay River within the Aras sub-basin, has a catchment area of 730 km<sup>2</sup> and a storage capacity of 80 million cubic meters (Raouf and Alioghli, 2020). Managing and evaluating water resources in this basin is critical due to diverse land uses, including agriculture, forestry, rangelands, industry, and residential areas, and significant surface and groundwater resources. Climate data spanning 30 years were collected from synoptic stations in Ardabil, Nir, and Sareyn. Daily precipitation and temperature records were used to analyze climatic variability across the basin. Hydrometric data from four gauging stations along the Baliqlu Chay River, Nirchay, Yamchi, Viladaragh, and Pol-Almas, covering the period 1991 to 2021, were also analyzed to assess river flow characteristics.

Daily discharge data from these stations were used to calculate key hydrological indices including mean flow, standard deviation, coefficient of variation, logarithmic standard deviation, Lane variability index, base flow index, flood flow index, zero-flow days, and overall variability. These indices characterize the river's hydrological regime, flow variability, drought conditions, and the relative contribution of groundwater to river flow, providing insights into hydrological behavior under varying climatic and anthropogenic influences. The non-parametric Mann–Kendall test and Sen's slope estimator, widely applied in hydrology and climatology, were employed to detect trends in the time series data. These methods, which do not assume any specific data distribution, evaluate whether significant upward or downward trends exist in the hydrological and climatic variables over the study period. A p-value below the significance threshold indicates a statistically significant trend, thereby supporting water resource planning and management decisions in the region.

**Results and Discussion:** The results indicate that river flow in the Baliqlu Chay basin is strongly influenced by seasonal factors, particularly snowmelt and spring precipitation in the upstream Yamchi area. During spring, melting snow combined with increased rainfall causes a significant rise in river discharge, resulting in peak flow essential for downstream water resources. This pattern is typical in cold and semi-arid regions where snowpack acts as a natural reservoir, releasing water as temperatures warm. In contrast, the downstream Viladaragh station experiences lower flow volumes and shows a higher dependence on groundwater. This spatial variability highlights the complex hydrological responses within the basin. Groundwater sustains river flow during dry periods but may be vulnerable to over-extraction, signaling the need for sustainable groundwater management.

Trend analysis over the 30-year period reveals a statistically significant increase in temperature, consistent with regional climate warming. Elevated temperatures increase evapotranspiration, reducing effective precipitation that contributes to river runoff. Although precipitation trends showed a decrease, this change was not statistically significant at the 95% and 99% level. Despite this, river discharge at both the Yamchi and Viladaragh stations displayed statistically significant declining trends. These reductions point to the combined effects of climatic changes and human activities such as dam construction, water withdrawals, and land use changes. These interventions have altered the natural flow regime, reducing river discharge.

The high variability in flow at Yamchi station, indicated by elevated standard deviation and coefficient of variation, suggests increased risk of extreme hydrological events such as floods and droughts. Such variability complicates water management efforts and requires adaptive strategies. Overall, the findings emphasize the urgent need for integrated water resource management that considers both climatic factors and anthropogenic impacts. Management approaches should be spatially tailored to address the basin's hydrological heterogeneity and evolving environmental conditions to ensure

sustainable water availability for domestic, agricultural, and ecological needs.

**Conclusion:** This study confirms that the hydrological regime of the Baliqlu Chay River has been significantly affected by both climate change and human activities, notably the construction and operation of the Yamchi Dam. While increased temperature and decreased effective precipitation are altering runoff patterns, human-induced changes have intensified these effects, especially in the form of reduced downstream flow and increased flow variability upstream. These changes necessitate the implementation of effective and adaptive water management measures. Recommended strategies include optimizing the operation of surface and groundwater resources, improving water use efficiency, and revising dam operation protocols to reduce adverse environmental and socio-economic impacts. Ultimately, the study highlights the importance of integrated watershed management under a changing climate.

**Keywords:** Baliqlu Chay River, Climate Change, Hydrological Indices, Trend Analysis, Water Resources Management.

**Article Type:** Research Article

**Conflicts of interest:** The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



## مطالعه تغییرات کمی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای تحت تأثیر سدسازی و تغییرات اقلیمی

سید سعید نبوی<sup>۱</sup> | آرش ملکیان<sup>۱\*</sup> | ناصر مشهدی<sup>۲</sup> | خالد احمدآلی<sup>۳</sup> | رئوف مصطفی‌زاده<sup>۴</sup> | علی شهبازی<sup>۵</sup>

۱. گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
  ۲. مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران، کرج، ایران
  ۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
  ۴. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
  ۵. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری البرز، کرج، ایران
- رایانامه نویسنده مسئول: [malekian@ut.ac.ir](mailto:malekian@ut.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

خشکسالی و ضعف در مدیریت منابع آب، کیفیت و کمیت آب را کاهش داده و چالش‌هایی در تأمین و تخصیص بهینه آن در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور ایجاد کرده است. منابع آب حوزه آبخیز رودخانه بالیقلوچای در استان اردبیل سهم به‌سزایی در تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و نیاز زیست‌محیطی دارد. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر فعالیت‌های انسانی (مانند سدسازی) و تغییرات اقلیمی (بارش و دما) بر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه بالیقلوچای است. همچنین، روند تغییرات اقلیمی و جریان رودخانه طی دوره ۳۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۷۰) با استفاده از آزمون من‌کندل و شیب سن در مقایسه ماهانه، فصلی و سالانه ارزیابی شد. نتایج تحلیل شاخص‌های هیدرولوژیک نشان داد که جریان رودخانه بالیقلوچای تحت تأثیر تغییرات فصلی، وابستگی به منابع زیرزمینی و احداث سد یامچی قرار دارد. در بالادست حوضه (ایستگاه یامچی)، افزایش بارندگی و ذوب برف در فصل بهار موجب افزایش جریان شده، در حالی که در پایین‌دست (ایستگاه ویلادرق)، میزان جریان کمتر و وابستگی به منابع زیرزمینی بیشتر است. همچنین، نوسانات بالای جریان در ایستگاه یامچی با انحراف معیار و ضریب تغییرات بالا، بیان‌گر افزایش خطر سیلاب در این منطقه است. نتایج حاصل از آزمون‌های تحلیل روند حاکی از آن است که در دوره آماری ۳۰ ساله، در ایستگاه‌های اردبیل و نیر روند تغییرات بارندگی سالانه کاهش داشته اما از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار نبوده است، در حالی که این روند در ایستگاه سینوپتیک سرعین در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایش داشته است. همچنین، افزایش سالانه دما در تمامی ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. ارزیابی روند تغییرات دبی جریان در مقیاس زمانی سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری نیرچای و سد یامچی حاکی از روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد ( $p\text{-value} \leq 0.01$ ) است. این روند کاهشی می‌تواند حاصل اثرگذاری عوامل انسانی (سدسازی) و اقلیمی (کاهش بارش و افزایش دما) باشد. یافته‌ها بر ضرورت به‌کارگیری راهکارهای مدیریتی مؤثر، از جمله بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب، اصلاح الگوی مصرف و مدیریت دقیق سد یامچی، به‌منظور کاهش اثرات منفی تغییرات اقلیمی و انسانی بر رژیم جریان رودخانه بالیقلوچای تأکید دارند.

### نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۱/۱۲

### کلیدواژه‌ها:

رودخانه بالیقلوچای،  
تغییرات اقلیمی،  
شاخص‌های هیدرولوژیک،  
تحلیل روند،  
مدیریت منابع آب.

**استناد:** نبوی؛ سید سعید، ملکیان؛ آرش، مشهدی؛ ناصر، احمدآلی؛ خالد، مصطفی‌زاده؛ رئوف، شهبازی؛ علی (۱۴۰۵). مطالعه تغییرات کمی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای تحت تأثیر سدسازی و تغییرات اقلیمی. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۷۹ (۱)، ۱۸-۱.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2025.396554.1838>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

## ۱. مقدمه

طبق نظر متخصصان، منابع آب به‌عنوان یک دارایی با ارزش در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و سیاسی برای هر کشور شناخته می‌شوند. مطالعات جهانی نشان می‌دهند که تا سال ۲۰۵۰، تمام کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا (MENA) تحت تنش آبی بسیار بالا قرار خواهند گرفت (بالحسن<sup>۲</sup>، ۲۰۲۲؛ لومتل<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۳؛ قدومی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۵). این بحران، که ناشی از عوامل متعددی از جمله تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت، و مدیریت نامناسب منابع آبی است، می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر سلامت، اقتصاد، و امنیت این مناطق داشته باشد (الف، رضایان و ع، رضایان، ۲۰۱۶؛ نادری<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). در این شرایط، رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از منابع مهم تجدیدپذیر آب شیرین، نقش کلیدی در تأمین نیازهای کشاورزی، شرب و صنعت ایفا می‌کنند. تحلیل تغییرپذیری دبی رودخانه‌ها ناشی از برهم‌کنش عوامل طبیعی و دخالت‌های انسانی، از اهمیت قابل توجهی برای مدیریت پایدار منابع آب برخوردار است (ریشتر<sup>۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۶؛ نورزاده<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۳؛ مصطفی‌زاده<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۴). سدها در کنار تغییرات دما و بارش، به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی، تغییرات گسترده‌ای در رژیم طبیعی جریان رودخانه‌ها ایجاد می‌کنند (گریل<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ لو<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). این تغییرات گسترده، باعث کاهش تنوع زیستی، تخریب زیستگاه‌های آبی و تغییرات در فرآیندهای اکولوژیکی می‌شوند (دل<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹).

مطالعه تغییرپذیری جریان رودخانه در دهه‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است. هدف محققان کمی کردن میزان تغییرات و ایجاد چارچوب‌هایی برای کاهش پیامدهای اکولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی آن است. صلاحی و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه خود افزایش دمای سالانه (از ۹/۲ به ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد) و کاهش بارش (به میزان ۱۵ میلی‌متر) در دشت اردبیل را پیش‌بینی کردند. ملکیان و همکاران (۲۰۱۹) با تحلیل سناریوهای اقلیمی انتشار (RCPs) در استان اردبیل، کاهش جریان سطحی ناشی از کاهش بارش و افزایش دما را نشان دادند. مصطفی‌زاده و همکاران (۲۰۲۰)، به ارزیابی تغییرات کمی جریان رودخانه‌ای بعد از احداث سد یامچی با استفاده از شاخص‌های مستخرج از منحنی تداوم جریان پرداختند. ایشان بیان داشتند که تخلیه رژیم رودخانه در ایستگاه پل‌الماس تحت تأثیر سد یامچی قرار دارد و میانگین تخلیه کاهش یافته است. همچنین بین شاخص‌های هیدرولوژیکی حداقل و حداکثر دبی و FDC در ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد. امینی و همکاران (۲۰۲۲) در ارزیابی مدیریت سد ایوشان در دشت چغلوئندی استان لرستان، کاهش ذخیره مخزن در سناریوی توسعه اراضی و افت نسبی تأمین نیاز زیست‌محیطی در برخی ماه‌ها را گزارش کردند. فروتن و صلاحی (۲۰۲۳)، به پهنه‌بندی اقلیمی استان اردبیل پرداختند. ایشان بیان داشتند براساس روش دومارتن، اقلیم استان اردبیل از نوع اقلیم نیمه خشک محسوب می‌شود. محمودی و عبقری (۲۰۲۴)، با بهره‌گیری از مدل WEAP، اثرگذاری سناریوهای افزایش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی سطح زیرکشت و سناریو رشد جمعیت بر منابع آب سطحی مهاباد را بررسی کردند. طبق نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، در صورت پیروی از سناریوی مرجع، سد مهاباد با کسری ۸ میلیون مترمکعبی مواجه خواهد شد. همچنین، براساس سناریوهای S1 تا S4، پیش‌بینی می‌شود که کمبودهای آب به ترتیب ۳۰، ۴۱، ۵۲ و ۲۱ میلیون مترمکعب رخ دهد.

وانگ<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳)، نشان دادند که احداث سد در رودخانه یانگ‌تسه باعث تغییرات قابل توجهی در رژیم جریان و رسوب‌گذاری شده و پیامدهایی برای اکوسیستم رودخانه داشته است. زوو و لیانگ<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۵)، با استفاده از شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی، کاهش چشم‌گیر جریان رودخانه Shaying پس از احداث سد را گزارش کردند. پیکه<sup>۱۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶)، نیز کاهش فراوانی سیلاب‌ها را در

1. Middle East and North Africa  
2. Belhassan  
3. Le Mouël  
4. Qaddoumi  
5. Naderi  
6. Richter  
7. Norouzzadeh

8. Mostafazadeh  
9. Grill  
10. Luo  
11. Döll  
12. Wang  
13. Zou & Liang  
14. Piqué

حوضه‌های جنوب فرانسه و شمال شرق اسپانیا پس از سدسازی گزارش دادند. لوو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، به بررسی اثرات تجمعی سدهای کوچک بر شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی، در حوضه رودخانه جیولونگ (Jiulong River Basin) در کشور چین پرداختند. ایشان بیان داشتند شاخص‌هایی مانند جریان پایه، حداقل جریان‌های چندروزه و تعداد دفعات وقوع جریان‌های شدید و پرآب افزایش یافت، اما حداکثر جریان‌های چندروزه و تعداد دفعات وقوع جریان‌های کم‌آب کاهش داشت. کارماوی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیرات تغییرات اقلیمی بر سیستم تأمین آب در منطقه میدلدرا در کشور مراکش را بررسی کردند. ایشان بیان کردند که این مدل می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری قوی در شبیه‌سازی و بررسی پیچیدگی مسائل مربوط به منابع آب استفاده شود. گتاهون<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، در حوضه رودخانه آواش (Awash River Basin) با استفاده از آزمون‌های آماری مانند من‌کندل، به تحلیل روند و نقاط تغییر بارش و دما طی دوره ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۶ پرداختند. ایشان بیان داشتند نوسانات زیادی بارش با پدیده‌های اقلیمی ارتباط دارد. سعیدی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، تأثیر تغییرات اقلیمی بر تأمین و در دسترس بودن منابع آب در حوزه آبخیز رودخانه زاینده‌رود را بررسی کردند. در این مطالعه یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی برای ارزیابی عملکرد آینده مخزن سد زاینده‌رود استفاده شده است و تقریباً ۸۴۷ میلیون مترمکعب، به‌عنوان بالاترین کسری آب سالانه، گزارش شده است. دفا و دنگووا<sup>۵</sup> (۲۰۲۳)، به منظور شبیه‌سازی جریان‌های آبراهه و آشکارسازی روند اقلیمی از مدل WEAP در حوضه آبخیز رودخانه آوش استفاده کردند. طبق نتایج، جریان سالانه حوضه رودخانه آوش روند کاهشی شدیدی را نشان می‌دهد. مصطفی‌زاده<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۴)، اثرات سدسازی و تغییرات کاربری اراضی را در حوزه دریاچه ارومیه بررسی کردند. ایشان کاهش شدید حداقل و حداکثر دبی روزانه پس از احداث سد شهرچای را گزارش دادند.

مطالعات پیشین با بهره‌گیری از مدل‌های شبیه‌سازی و شاخص‌های هیدرولوژیکی، نقش مؤثری در بررسی اثرات اقلیم، سدسازی و تغییرات کاربری بر منابع آب داشته‌اند. با این حال، اغلب بر یک عامل متمرکز بوده و کم‌تر به تحلیل تلفیقی عوامل انسانی و اقلیمی پرداخته‌اند. افزون بر این، در بسیاری از مطالعات داخلی، تحلیل‌ها محدود به دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت بوده‌اند. این در حالی است که تحلیل‌های میان‌مدت و بلندمدت، بر پایه سناریوهای متنوع برنامه‌ریزی، نقش کلیدی در تصمیم‌سازی‌های آبی منابع آب دارد. پژوهش حاضر با هدف تحلیل علمی و جامع تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی رژیم جریان رودخانه‌ای تحت تأثیر سدسازی و تغییرات متغیرهای اقلیمی در حوزه آبخیز رودخانه بالیقلوچای استان اردبیل و بررسی روند تغییرات دبی جریان و پارامترهای اقلیمی (بارش و دما) طی یک دوره آماری ۳۰ ساله انجام شده است. این مطالعه به دلیل موقعیت جغرافیایی و اهمیت حوضه بالیقلوچای در تأمین منابع آب کشاورزی، صنعتی و شرب استان اردبیل، از اهمیت بالایی برخوردار است. وجه تمایز و نوآوری اصلی این پژوهش در استفاده از طیف گسترده‌ای از شاخص‌های هیدرولوژیکی کمی است که علاوه بر تحلیل متوسط تغییرات دبی، به بررسی نوسانات، عدم یکنواختی، فراوانی رخداد‌های کم‌جریان و پر‌جریان، و تغییرات فصلی جریان رودخانه می‌پردازد. این شاخص‌ها که ترکیبی از شاخص‌های کلاسیک و شاخص‌های تخصصی هیدرولوژیکی هستند، امکان تحلیل دقیق‌تر تأثیر سدسازی و تغییرات اقلیمی بر رژیم جریان را فراهم می‌آورند و به تفکیک اثرات طبیعی و انسانی کمک می‌کنند.

## ۲. مواد و روش‌ها

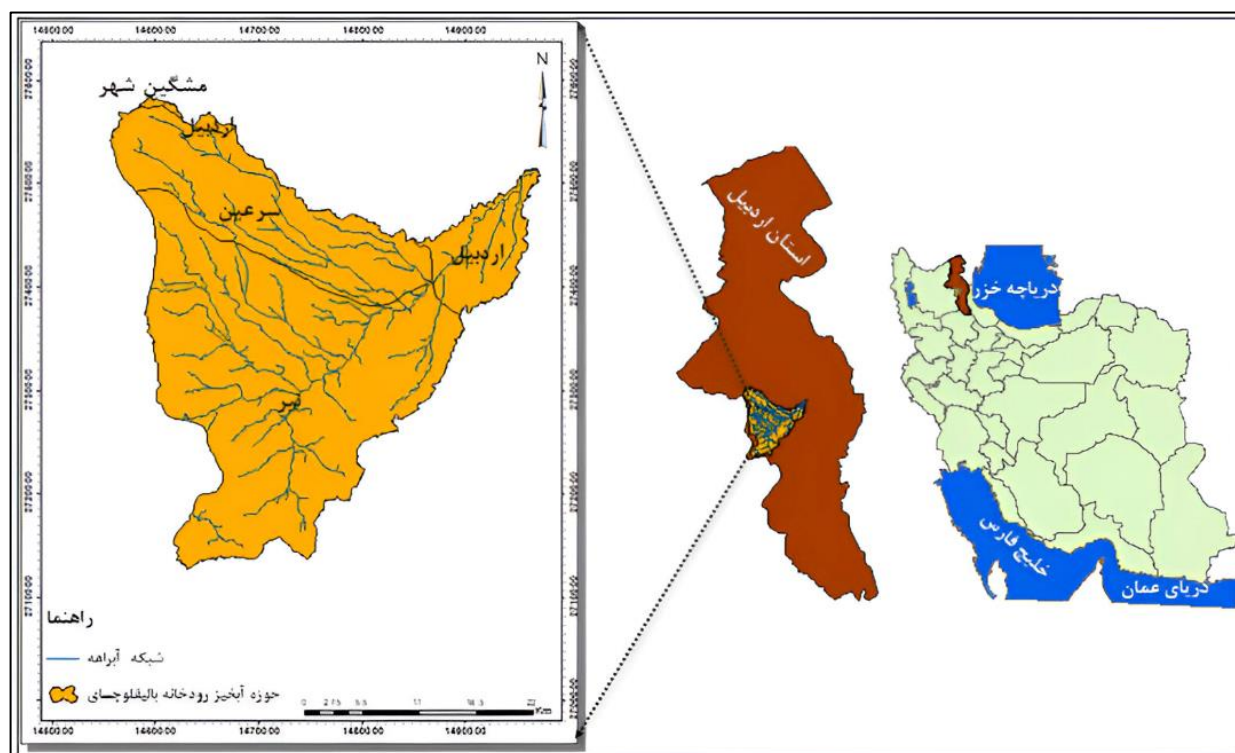
### ۲-۱. منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل با مساحتی برابر با ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع در شمال غرب ایران، دارای رودخانه‌های دائمی مهمی است که نیازمند تحلیل وضعیت منابع آب، برای تدوین راهکارهای مدیریتی است (آسیابی‌هیر و همکاران، ۲۰۱۷). حوزه آبخیز رودخانه بالیقلوچای که یکی از

1. Lu  
2. Karmaoui  
3. Getahun

4. Saedi  
5. Gedefaw & Denghua  
6. Mostafazadeh

شاخه‌های رودخانه قره‌سو است، با مساحت تقریبی ۱۰۹۳ کیلومتر مربع در محدوده ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی تا ۴۸ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ۳۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). سد یامچی بر روی رودخانه بالیقلوچای ساخته شده است. مساحت حوزه آبخیز سد ۷۳۰ کیلومتر مربع بوده و دارای ظرفیت ذخیره‌سازی ۸۰ میلیون متر مکعب است (رئوف و علی اوغلی، ۲۰۲۰). مدیریت و ارزیابی منابع آب حوزه آبخیز رودخانه بالیقلوچای به دلیل تنوع کاربری اراضی (کشاورزی، جنگل، مرتع، صنعت و مسکونی)، وجود حجم بالای منابع آب سطحی و زیرزمینی و فرارگیری دشت اردبیل در این حوضه، بسیار حائز اهمیت خواهد بود.



شکل ۱. موقعیت مکانی حوزه آبخیز رودخانه بالیقلوچای در ایران و استان اردبیل

## ۲-۲. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز شامل:

- اطلاعات اقلیمی: به منظور بررسی وضعیت متغیرهای اقلیمی شامل دما و بارش در طول دوره آماری ۳۰ ساله از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، نیر و سرعین در مقیاس روزانه استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ایستگاه‌های سینوپتیک بررسی شده در حوزه آبخیز بالیقلوچای

ایستگاه سینوپتیک	طول جغرافیایی (E°)	عرض جغرافیایی (N°)	ارتفاع از سطح دریا (m)
اردبیل	۴۸/۲۸	۳۸/۲۳	۱۳۶۵
سرعین	۴۸/۰۷	۳۸/۱۵	۱۶۹۲
نیر	۴۸/۰۱	۳۸/۰۳	۱۶۲۳

۲- اطلاعات هیدرومتری: اطلاعات دبی روزانه رودخانه بالیقوچای در ایستگاه‌های هیدرومتری نیرچای، یامچی، ویلادرق و پل الماس (جدول ۲)، طی دوره زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰ از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ گردید.

جدول ۲- موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی در حوزه آبخیز بالیقوچای

نام ایستگاه	سال تأسیس	طول جغرافیایی (E°)	عرض جغرافیایی (N°)	ارتفاع از سطح دریا (m)
نیرچای	۱۳۵۳	۴۷/۹۹	۳۸/۰۳	۱۶۲۴
یامچی	۱۳۷۸	۴۸/۰۴	۳۸/۰۳	۱۵۸۴
ویلادرق	۱۳۵۹	۴۸/۳۲	۳۸/۱۷	۲۰۶۸
پل الماس	۱۳۴۸	۴۸/۱۹	۳۸/۱۴	۱۴۴۰

### ۲-۳. شاخص‌های هیدرولوژیکی

شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان، بر اساس داده‌های دبی روزانه در ایستگاه‌های هیدرومتری نیرچای، یامچی، ویلادرق و پل الماس در گروه‌های مختلف شامل Mean، Std، CV، Std\_of\_Log، Lane\_Variability، Zero\_Days، Base\_Flow و Flood\_Flow\_Index محاسبه و تغییرات این شاخص‌ها در طول دوره زمانی ماهانه بررسی شدند (جدول ۳).

جدول ۳. تعاریف، فرمول‌ها و توضیحات شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه بر اساس داده‌های دبی روزانه در ایستگاه‌های منتخب حوزه آبخیز بالیقوچای

شاخص	فرمول	تعریف پارامترها	توضیحات
دبی میانگین (Mean)	$Q_{mean} = \frac{\sum v}{t}$	مقدار دبی در بازه زمانی t: تعداد کل بازه‌های زمانی Q <sub>mean</sub> : دبی میانگین	تحلیل رفتار هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و پتانسیل آب یک رودخانه در یک دوره زمانی معین (محمدی‌راد، ۲۰۱۸)
انحراف معیار (SD)	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{mean})^2}{n}}$	Q <sub>i</sub> : مقدار دبی مشاهده شده n: تعداد مشاهدات σ: انحراف معیار	نشان‌دهنده شدت و تنوع جریان در یک سیستم هیدرولوژیکی، انحراف معیار بزرگ‌تر، تغییرات بیش‌تر جریان (چن و همکاران، ۲۰۲۰).
ضریب تغییرات (CV)	$CV = \frac{\sigma}{Q_{mean}}$		تغییرپذیری جریان در مقایسه با مقدار میانگین (بن‌زوی و آزمون، ۲۰۱۰)
انحراف معیار لگاریتمی دبی (Std_of_Log)	$\sigma_{log} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log(Q_i) - \log(Q_{mean}))^2}{n}}$	log Q <sub>i</sub> : لگاریتم دبی	معمول در تحلیل داده‌های متفاوت مقادیر حداقل و حداکثر (پلتیر، ۱۹۸۸)
شاخص تغییرپذیری لین (Lane_Variability)	$LVI = \frac{\log Q_{0.95} - \log Q_{0.05}}{3.29}$	Q <sub>Base</sub> : دبی پایه Q <sub>Total</sub> : دبی کل	بیان‌گر تفاوت بین دبی‌های پیک و دبی‌های پایه، مناسب برای ارزیابی سیستم‌های رودخانه‌ای متأثر از تغییرات اقلیمی و انسانی (گردون و همکاران، ۲۰۰۴)
شاخص جریان پایه (BFI <sup>1</sup> )	$BFI = \frac{Q_{Base}}{Q_{Total}}$		بیان‌گر سهم منابع زیرزمینی در تأمین جریان رودخانه و پایداری جریان، مقدار بالای BFI نشان‌دهنده وابستگی بیش‌تر به جریان پایه و ذخایر زیرزمینی (بلومفیلد و همکاران، ۲۰۰۹)
شاخص جریان سیلابی (FFI <sup>1</sup> )	$FFI = \frac{Q_{flood}}{Q_{Total}}$	Q <sub>flood</sub> : دبی سیلابی رودخانه	مناسب برای تحلیل تأثیر سیلاب‌ها بر محیط زیست و زیرساخت‌ها (کیم و کیم، ۲۰۱۴)
روزهای بدون جریان (Zero_Days)			مناسب برای ارزیابی خشکسالی و کمبود جریان (روتکوسکا و همکاران، ۲۰۲۳)

## ۲-۴. آزمون من‌کندال و شیب سن

در این مطالعه از آزمون من‌کندال و شیب سن برای تشخیص وجود روند در داده‌های دما، بارش و دبی در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه استفاده شد. این آزمون برای بررسی الگوهای ثابت در داده‌های زمانی مربوط به هیدرولوژی و عوامل اقلیمی استفاده می‌شود (مینایی و ایران‌نژاد، ۲۰۱۸). مقدار p-value در آزمون‌های فرض آماری نشان‌دهنده احتمال رد فرض صفر است، به شرطی که فرض صفر در واقعیت صحیح باشد. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (گوچیچ و تراجکوویچ، ۲۰۱۳). شیب سن نشان‌گر شدت روند (میزان تغییرات مقدار متغیر در واحد زمان) است. این روش نیز ناپارامتری بوده و شیب خط میانه را از بین تمام شیب‌های ممکن بین زوج داده‌های سری زمانی محاسبه می‌کند. ترکیب آزمون من‌کندال و شیب سن به‌عنوان یک رویکرد جامع، امکان شناسایی و تفسیر دقیق روندها و همچنین تخمین نرخ تغییرات پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی را فراهم می‌سازد (کومار و می‌دی، ۲۰۲۲).

## ۳. یافته‌های پژوهش

### ۳-۱. ارزیابی شاخص‌های هیدرولوژیک

تحلیل شاخص‌های هیدرولوژیک به تفکیک ایستگاه‌ها و ماه‌ها (جدول ۴ و شکل ۲)، نشان داد که میانگین جریان در تمامی ایستگاه‌ها (نیرچای، یامچی و ویلادرق) در ماه‌های فصل بهار به دلیل بارندگی و ذوب برف به اوج خود می‌رسد و در تابستان و پاییز به تدریج کاهش می‌یابد. یامچی بالاترین میانگین جریان (Mean) را در ماه‌های فصل بهار ثبت کرده، که نشان‌دهنده حجم بالای ورودی آب است. این در حالی است که ویلادرق کم‌ترین جریان را در تمامی ماه‌ها دارد. انحراف معیار جریان (std) در یامچی بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها است، که نشان‌دهنده نوسانات بالای جریان و احتمال وقوع سیلاب در این ایستگاه است، در حالی که ویلادرق جریان‌های یکنواخت‌تر و پایدارتر دارد. ضریب تغییرات (CV) نیز نشان داد که یامچی با مقادیر بالاتر در مقایسه با دو ایستگاه دیگر، بیش‌ترین نوسانات نسبی جریان را تجربه می‌کند، در حالی که ویلادرق با CV پایین‌تر، پایداری بیش‌تری دارد.

نتایج حاصل از ارزیابی شاخص Lane Variability، نشان داد که در ایستگاه یامچی جریان دارای نوسانات بیش‌تر (به‌ویژه در ماه‌های فصل بهار) است. این وضعیت می‌تواند ناشی از تغذیه سطحی بیش‌تر و وقوع جریان‌های سطحی فصلی باشد. در مقابل، ایستگاه ویلادرق با مقادیر پایین‌تر این شاخص، نشان‌دهنده جریانی یکنواخت‌تر و پایدارتر است که می‌تواند نشان‌گر وابستگی بیش‌تر منابع آب سطحی به منابع آب زیرزمینی باشد. ایستگاه نیرچای نیز با مقادیر متوسط شاخص و الگوی نسبتاً یکنواخت جریان، از دیدگاه مدیریتی نیازمند برنامه‌ریزی هدفمند برای ارتقای بهره‌وری منابع آب است.

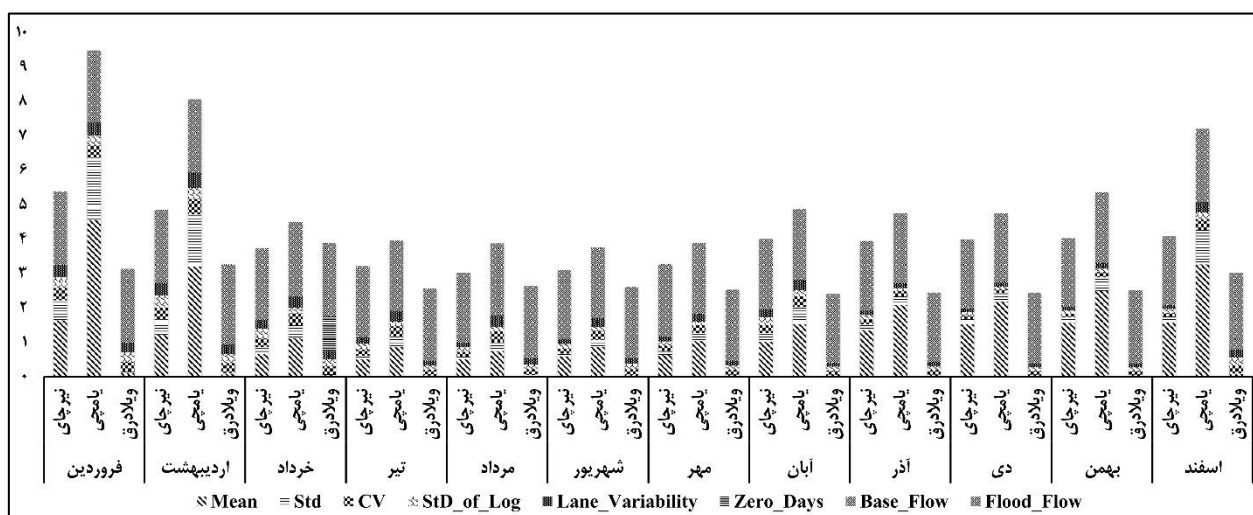
شاخص روزهای بدون جریان (Zero Days) نشان داد که در ایستگاه ویلادرق، به‌ویژه در ماه‌های تابستان، به دلیل کاهش بارندگی و وابستگی بالا به منابع آب زیرزمینی، گاهی اوقات رودخانه با قطع جریان مواجه می‌شود؛ در حالی که در ایستگاه‌های نیرچای و یامچی، جریان رودخانه در تمامی ماه‌ها تداوم دارد. بررسی شاخص جریان پایه (Base Flow)، که بیان‌گر سهم منابع زیرزمینی در تأمین جریان کلی رودخانه است، نشان داد که در ویلادرق این سهم در تابستان به اوج می‌رسد. این امر حاکی از آن است که در شرایط خشکسالی، آبخوان منطقه جریان حداقلی را تأمین کرده و منجر به پایداری هیدرولوژیکی می‌شود. در ایستگاه یامچی نیز اوج جریان پایه در زمستان مشاهده می‌شود که بیان‌گر تخلیه تدریجی منابع زیرزمینی به منابع سطحی در این فصل است. این فرایند نقش مهمی در حفظ جریان زمستانه و کاهش نوسانات دبی دارد. از سوی دیگر، بیشینه جریان سیلابی (Flood Flow) در ایستگاه یامچی رخ داده است، به‌ویژه در

فصل بهار که بارندگی‌های شدید و ذوب برف هم‌زمان اتفاق می‌افتند. بنابراین این ایستگاه مستعد وقوع سیلاب بوده و نیاز به مدیریت دقیق‌تر دارد. در مقابل، مقادیر کمتر جریان سیلابی در ویلادرق نشان‌دهنده رفتار هیدرولوژیکی پایدارتر و حساسیت کمتر این منطقه نسبت به وقوع سیلاب است.

جدول ۴. تغییرات ماهانه شاخص‌های هیدرولوژیکی رژیم‌های جریان رودخانه در ایستگاه‌های نیرچای، یامچی و ویلادرق

ماه	ایستگاه	Mean	Std	Std_of_Log	CV	Lane_Variability	Zero_Days	Base_Flow	Flood_Flow
فروردین	نیرچای	۱/۶۴	۰/۵۹	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳۰	.	۰/۶۴	۱/۵۰
	یامچی	۴/۵۶	۱/۸۰	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۳۴	.	۰/۵۹	۱/۵۱
	ویلادرق	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۲۵	.	۰/۶۵	۱/۴۹
اردیبهشت	نیرچای	۱/۲۲	۰/۴۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۳	.	۰/۶۱	۱/۵۳
	یامچی	۳/۲۱	۱/۵۱	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۴۴	.	۰/۵۲	۱/۶۱
	ویلادرق	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۵	.	۰/۷۰	۱/۶۲
خرداد	نیرچای	۰/۶۷	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۲۴	.	۰/۶۹	۱/۳۹
	یامچی	۱/۱۲	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۳۴	۰/۲۹	.	۰/۶۷	۱/۴۸
	ویلادرق	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۱۶	۱	۰/۷۲	۱/۴۲
تیر	نیرچای	۰/۵۲	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۱۶	.	۰/۷۵	۱/۳۱
	یامچی	۰/۸۷	۰/۲۹	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۳۱	.	۰/۶۳	۱/۴۲
	ویلادرق	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۲	.	۰/۸۲	۱/۲۸
مرداد	نیرچای	۰/۵۱	۰/۰۷	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۶	.	۰/۸۰	۱/۲۳
	یامچی	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۳۳	۰/۲۹	.	۰/۶۵	۱/۴۴
	ویلادرق	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۳	.	۰/۷۷	۱/۳۳
شهریور	نیرچای	۰/۶۰	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۲	.	۰/۷۹	۱/۲۱
	یامچی	۰/۸۷	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۲۴	.	۰/۶۹	۱/۳۶
	ویلادرق	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۶	.	۰/۷۹	۱/۲۸
مهر	نیرچای	۰/۶۵	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۲	.	۰/۸۱	۱/۳۰
	یامچی	۱/۰۴	۰/۲۳	۰/۱۰	۰/۲۳	۰/۱۹	.	۰/۷۴	۱/۳۳
	ویلادرق	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۳	.	۰/۷۹	۱/۲۸
آبان	نیرچای	۱/۰۲	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۲۲	.	۰/۷۲	۱/۳۳
	یامچی	۱/۵۳	۰/۵۰	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۲۹	.	۰/۶۳	۱/۴۲
	ویلادرق	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۰	.	۰/۸۲	۱/۱۸
آذر	نیرچای	۱/۳۶	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۲	.	۰/۸۲	۱/۲۰
	یامچی	۲/۰۸	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۱	.	۰/۸۴	۱/۲۰
	ویلادرق	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۱	.	۰/۸۱	۱/۲۰
دی	نیرچای	۱/۵۳	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹	.	۰/۸۵	۱/۱۶
	یامچی	۲/۱۸	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۹	.	۰/۸۶	۱/۱۶
	ویلادرق	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	.	۰/۸۴	۱/۲۱
بهمن	نیرچای	۱/۵۷	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۹	.	۰/۸۵	۱/۱۵
	یامچی	۲/۵۰	۰/۳۹	۰/۱۰	۰/۱۶	۰/۱۲	.	۰/۸۴	۱/۲۲
	ویلادرق	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۰	.	۰/۸۵	۱/۲۷
اسفند	نیرچای	۱/۵۸	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۰	.	۰/۸۳	۱/۱۷
	یامچی	۳/۲۷	۱/۰۰	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۲۸	.	۰/۷۱	۱/۴۲
	ویلادرق	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۲۲	.	۰/۷۷	۱/۴۶

تحلیل نتایج ارائه شده نشان‌گر این است که جریان رودخانه در بالادست، با توجه به تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک در ایستگاه هیدرومتری یامچی، به دلیل تغییرات بزرگ‌تر در جریان و رخدادهای سیلابی، نیاز به مدیریت منابع و کنترل سیلاب دارد. این در حالی است که در ایستگاه ویلادرق در پایین دست حوضه، به دلیل پایداری جریان و وابستگی بیش‌تر جریان رودخانه به آب‌های زیرزمینی، توجه به مدیریت منابع زیرزمینی حائز اهمیت خواهد بود. در ایستگاه نیرچای که الگوهای یکنواخت‌تری حاکم است، بهره‌وری آب در آن قابل بهبود است. در فصل بهار، به‌ویژه ماه‌های فروردین و اردیبهشت، با دوره‌های بحرانی در میزان جریان رودخانه در تمامی ایستگاه‌ها روبرو هستیم و نیازمند برنامه‌ریزی برای ذخیره‌سازی و کنترل منابع آب هستیم. در ماه‌های تابستان و پاییز با کاهش جریان مواجه هستیم و توجه ویژه به استفاده بهینه از منابع آب ضروری است. به طور کلی، الگوهای مشاهده‌شده نیاز به اقدامات مدیریتی مناسب برای کاهش نوسانات جریان، جلوگیری از کاهش منابع زیرزمینی، و بهبود ذخیره‌سازی و بهره‌وری آب در ایستگاه‌های مختلف را برجسته می‌کند.



شکل ۲. تغییرات ماهانه شاخص‌های هیدرولوژیک رژیم‌های جریان رودخانه در ایستگاه‌های نیرچای، یامچی و ویلادرق

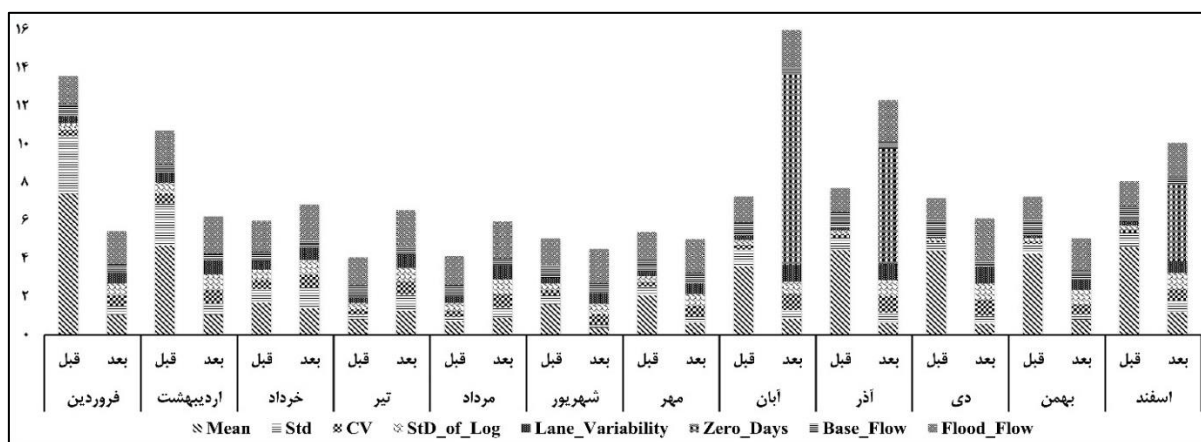
در ادامه به بررسی نتایج به‌دست آمده از تحلیل شاخص‌های هیدرولوژیک در ایستگاه پل الماس که در پایین‌دست حوزه آبخیز بالیقلوچای قرار دارد و مستقیماً تحت تأثیر احداث سد یامچی است، خواهیم پرداخت (جدول ۵ و شکل ۳). احداث سد یامچی تأثیر زیادی بر شاخص‌های هیدرولوژیک در ایستگاه پل الماس گذاشته است. میانگین جریان در دوره بعد از احداث سد به‌طور چشم‌گیری در تمامی ماه‌ها کاهش یافته است؛ به‌عنوان مثال، در ماه فروردین میانگین جریان از  $7/42$  مترمکعب بر ثانیه به  $1/07$  مترمکعب بر ثانیه کاهش یافته است. انحراف معیار جریان و ضریب تغییرات نیز در بسیاری از ماه‌ها افزایش یافته‌اند. ضریب تغییرات در ماه آذر از  $0/17$  به  $0/86$  و در ماه دی از  $0/10$  به  $0/86$  رسیده است، که نشان‌دهنده نوسانات بیش‌تر جریان و کاهش یکنواختی آن است. هم‌چنین، شاخص انحراف معیار لگاریتم جریان در ماه‌های سرد مانند دی و آذر به‌ترتیب از  $0/10$  و  $0/18$  به  $0/85$  افزایش یافته که نشان‌دهنده تغییرات فزاینده و غیرقابل پیش‌بینی جریان ناشی از احداث سد است. شاخص Lane Variability نیز افزایش قابل‌توجهی داشته است؛ به‌عنوان مثال، در ماه آذر از  $0/17$  به  $0/86$  افزایش یافته است. ظهور روزهای بدون جریان نیز در ماه‌هایی مثل آذر (۶ روز) و اسفند (۴ روز) که در دوره قبل از احداث سد وجود نداشت، نشان‌دهنده دخالت مستقیم سد در کاهش یا حتی قطع جریان در برخی دوره‌ها است. جریان پایه، که سهم منابع زیرزمینی را نشان می‌دهد، به‌طور قابل‌توجهی کاهش یافته است. به‌عنوان مثال، در ماه دی از  $0/87$  به  $0/29$  کاهش یافته است. در مقابل، جریان سیلابی در بسیاری از ماه‌ها افزایش یافته است. برای نمونه، در ماه آذر از  $1/25$  به  $2/18$  و در ماه دی از  $1/15$  به  $2/23$

افزایش یافته است که می‌تواند ناشی از رهاسازی ناگهانی آب توسط سد باشد. این تغییرات نشان می‌دهد که سد یامچی ضمن کاهش جریان طبیعی و افزایش نوسانات، تأثیرات منفی قابل توجهی بر پایداری هیدرولوژیکی رودخانه داشته است و بر لزوم مدیریت بهینه تر منابع آب و کنترل دقیق تر عملکرد سد تأکید می‌کند.

جدول ۵. تغییرات ماهانه شاخص‌های هیدرولوژیکی رژیم‌های جریان رودخانه در ایستگاه پل الماس

ماه	بازه زمانی	Mean	Std	CV	StD_of_Log	Lane_Variability	Zero_Days	Base_Flow	Flood_Flow
فروردین	قبل	۷/۴۲	۳/۰۰	-/۳۶	-/۳۳	-/۳۰	.	-/۶۴	۱/۴۷
	بعد	۱/۰۷	-/۴۵	-/۵۶	-/۶۴	-/۵۲	.	-/۴۴	۱/۷۳
اردیبهشت	قبل	۴/۶۹	۲/۲۲	-/۵۲	-/۵۷	-/۴۸	.	-/۴۵	۱/۷۵
	بعد	۱/۰۹	-/۵۶	-/۷۴	-/۸۰	-/۶۸	.	-/۳۵	۱/۹۵
خرداد	قبل	۱/۷۲	-/۷۲	-/۴۶	-/۵۳	-/۴۲	.	-/۴۷	۱/۶۳
	بعد	۱/۴۲	۱/۰۷	-/۶۷	-/۷۷	-/۶۱	.	-/۳۶	۱/۹۰
تیر	قبل	-/۸۴	-/۲۴	-/۲۹	-/۳۲	-/۲۶	.	-/۶۴	۱/۴۶
	بعد	۱/۲۸	-/۸۶	-/۶۹	-/۷۰	-/۵۸	.	-/۴۰	۱/۹۲
مرداد	قبل	-/۷۴	-/۲۲	-/۳۴	-/۳۹	-/۳۲	.	-/۶۰	۱/۵۱
	بعد	-/۹۰	-/۵۵	-/۷۲	-/۷۷	-/۶۷	.	-/۳۷	۱/۹۳
شهریور	قبل	۱/۶۴	-/۴۳	-/۳۰	-/۳۴	-/۲۵	.	-/۶۴	۱/۴۱
	بعد	-/۳۸	-/۱۸	-/۵۷	-/۵۳	-/۵۳	.	-/۴۸	۱/۸۰
مهر	قبل	۲/۱۰	-/۴۵	-/۲۵	-/۲۸	-/۲۳	.	-/۷۲	۱/۳۷
	بعد	-/۶۶	-/۳۱	-/۵۶	-/۶۳	-/۵۴	.	-/۵۳	۱/۷۷
آبان	قبل	۳/۵۹	-/۸۹	-/۲۵	-/۲۵	-/۲۰	.	-/۶۸	۱/۳۶
	بعد	-/۸۶	-/۴۸	-/۸۵	-/۶۳	-/۷۸	۱۰	-/۴۰	۲/۰۶
آذر	قبل	۴/۴۶	-/۶۷	-/۱۷	-/۱۸	-/۱۴	.	-/۸۱	۱/۲۵
	بعد	-/۶۴	-/۵۴	-/۸۶	-/۸۵	-/۸۱	۶	-/۳۹	۲/۱۸
دی	قبل	۴/۴۲	-/۴۴	-/۱۰	-/۱۰	-/۰۷	.	-/۸۷	۱/۱۵
	بعد	-/۶۱	-/۴۱	-/۸۶	-/۸۵	-/۸۳	.	-/۲۹	۲/۲۳
بهمن	قبل	۴/۲۸	-/۵۰	-/۱۴	-/۱۷	-/۱۲	.	-/۸۲	۱/۲۰
	بعد	-/۸۰	-/۲۸	-/۵۴	-/۷۶	-/۵۰	.	-/۴۵	۱/۷۰
اسفند	قبل	۴/۶۲	-/۷۴	-/۲۰	-/۱۹	-/۱۸	.	-/۸۰	۱/۳۱
	بعد	۱/۲۱	-/۶۰	-/۶۳	-/۸۳	-/۵۹	۴	-/۳۷	۱/۸۱

نمودار ارائه شده در شکل ۳ نیز تغییرات شاخص‌های کلیدی جریان رودخانه را در مقیاس ماهانه، پیش و پس از احداث سد نشان می‌دهد و بیان گر تأثیر قابل توجه این سازه بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه است. پس از احداث سد، در ماه‌هایی مانند فروردین، آبان و آذر افزایش چشم‌گیری در مؤلفه‌هایی نظیر جریان پایه و جریان سیلابی مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از رهاسازی‌های مدیریتی سد یا تغییر در الگوی رواناب باشد. از سوی دیگر، در ماه‌های تابستانی به‌ویژه تیر و مرداد، افزایش روزهای بدون جریان پس از احداث سد نشان‌دهنده تشدید شرایط خشک و کاهش دسترسی به جریان سطحی است. همچنین، کاهش نسبی ضریب تغییرات و انحراف معیار لگاریتم جریان در برخی ماه‌ها بیان گر کاهش نوسانات طبیعی و افزایش کنترل جریان توسط سد می‌باشد. این تغییرات به‌طور کلی نشان می‌دهند که احداث سد موجب تغییر در پویایی‌های طبیعی رودخانه شده که لازم است در مدیریت بلندمدت منابع آب و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۳. تغییرات ماهانه شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه در ایستگاه پل الماس در دوره‌های قبل (۱۳۸۳ - ۱۳۷۰) و بعد (۱۳۹۸ - ۱۳۸۴) از احداث سد یامچی

### ۲-۳. نتایج حاصل از آزمون من‌کندال و شیب Sen

تحلیل داده‌های اقلیمی ایستگاه اردبیل نشان می‌دهد که دمای میانگین در ماه‌های پایانی زمستان، بهار، تابستان و همچنین در مجموع سالانه، افزایش معنی‌داری را در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد داشته است. این الگوی افزایشی در ایستگاه نیر در تمامی فصول و در مقیاس سالانه به طور مشخص قابل ملاحظه است. در مقابل، ایستگاه سرعین به جز در ماه‌های زمستانی، در سایر دوره‌های زمانی شاهد روند افزایشی معنی‌دار بوده است. در مقیاس سالانه نیز در هر سه ایستگاه روند معنی‌دار افزایشی دما با شیب‌های سن نسبتاً بالا به ثبت رسیده است. بیش‌ترین نرخ رشد دمای سالانه در ایستگاه نیر و پس از آن سرعین مشاهده می‌شود (جدول ۶).

جدول ۶. نتایج آزمون من‌کندال متغیر دما میانگین در ایستگاه‌های اردبیل، نیر و سرعین

ایستگاه سرعین			ایستگاه نیر			ایستگاه اردبیل			ایستگاه
Sen's slope	p-value	Kendall's tau	Sen's slope	p-value	Kendall's tau	Sen's slope	p-value	Kendall's tau	ماه
۰/۲۹	**۰/۰۰	۰/۳۷	۰/۳۲	< ۰/۰۰۰۰۱	۰/۵۱	۰/۰۳	۰/۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۹	مهر
۰/۲۸	**۰/۰۰	۰/۴۶	۰/۲۶	**۰/۰۱	۰/۳۳	۰/۰۴	۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۸	آبان
۰/۳۱	**۰/۰۰	۰/۴۷	۰/۳۱	**۰/۰۰	۰/۴۷	۰/۰۵	۰/۴۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۰	آذر
۰/۰۱	۰/۷۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۳	۰/۲۷	-۰/۰۴	۰/۷۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۴	دی
۰/۰۵	۰/۲۹ <sup>ns</sup>	۰/۱۴	۰/۱۵	*۰/۰۲	۰/۳۱	۰/۱۰	۰/۰۹ <sup>ns</sup>	۰/۲۲	بهمن
۰/۰۶	۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۰/۱۸	۰/۱۵	**۰/۰۰	۰/۴۰	۰/۰۹	*۰/۰۵	۰/۲۵	اسفند
۰/۳۹	**۰/۰۰	۰/۴۹	۰/۴۲	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۵۶	۰/۰۰	۰/۹۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۱	فروردین
۰/۴۲	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۳	۰/۴۴	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۰	۰/۱۲	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۵۹	اردیبهشت
۰/۴۶	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۰	۰/۴۴	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۵۴	۰/۱۴	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۴	خرداد
۰/۴۰	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۲	۰/۳۹	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۰	۰/۱۰	*۰/۰۰	۰/۴۹	تیر
۰/۳۵	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۵۱	۰/۳۶	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۸	۰/۰۹	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۴	مرداد
۰/۳۵	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۵۲	۰/۳۶	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۷	۰/۰۷	*۰/۰۲	۰/۳۱	شهریور
۰/۸۸	**۰/۰۰	۰/۴۷	۰/۸۸	**۰/۰۰	۰/۴۸	۰/۱۱	۰/۲۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۵	پاییز
۰/۱۳	۰/۲۸ <sup>ns</sup>	۰/۱۴	۰/۴۰	**۰/۰۱	۰/۳۴	۰/۲۱	۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۱۷	زمستان
۱/۲۳	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۲	۱/۲۹	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۰	۰/۲۷	**۰/۰۰	۰/۴۸	بهار
۱/۰۴	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۰	۱/۰۹	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۸	۰/۲۲	**۰/۰۰	۰/۴۳	تابستان
۳/۴۰	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۵۹	۳/۷۹	**< ۰/۰۰۰۱	۰/۶۶	۰/۸۰	**۰/۰۰	۰/۳۸	سالانه

ns: فاقد معنی‌داری، \* : معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، \*\* : معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

بر اساس آزمون من کندال و شیب سن، تغییرات میزان بارش در ایستگاه اردبیل تنها در ماه مرداد کاهش معنی‌داری داشته، در حالی که در ایستگاه نیر، کاهش معنی‌دار بارش در ماه‌های خرداد و تیر و فصل بهار مشاهده شده است. همچنین، ایستگاه سرعین در ماه‌های بهمن و اسفند و در فصل زمستان، و در مقیاس سالانه افزایش معنی‌دار در روند میزان بارش را نشان می‌دهد (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج آزمون من کندال متغیر بارش میانگین در ایستگاه‌های اردبیل، نیر و سرعین

ایستگاه سرعین			ایستگاه نیر			ایستگاه اردبیل			ایستگاه
Sen's slope	p-value	Kendall's tau	Sen's slope	p-value	Kendall's tau	Sen's slope	p-value	Kendall's tau	ماه
۰/۷۰	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۲۱	-۰/۰۲	۱/۰۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰	-۰/۲۶	۰/۴۳ <sup>ns</sup>	۰/۱۰	مهر
-۰/۰۱	۰/۹۵ <sup>ns</sup>	-۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۸۰ <sup>ns</sup>	-۰/۰۳	-۰/۴۲	۰/۳۸ <sup>ns</sup>	-۰/۱۱	آبان
۰/۲۶	۰/۴۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۱	-۰/۱۴	۰/۶۳ <sup>ns</sup>	-۰/۰۶	-۰/۰۳	۰/۸۷ <sup>ns</sup>	-۰/۰۲	آذر
۰/۲۴	۰/۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۲	-۰/۲۴	۰/۵۱ <sup>ns</sup>	-۰/۰۹	-۰/۰۴	۰/۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۲	دی
۰/۶۱	**۰/۰۰	۰/۴۰	-۰/۵۷	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	-۰/۲۱	۰/۳۵	۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۱۷	بهمن
۱/۰۳	*۰/۰۲	۰/۳۰	-۰/۱۲	۰/۶۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۵	-۰/۲۳	۰/۳۱ <sup>ns</sup>	-۰/۱۳	اسفند
۰/۹۶	۰/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۱۷	-۰/۹۵	۰/۲۰ <sup>ns</sup>	-۰/۱۷	-۰/۲۸	۰/۵۱ <sup>ns</sup>	-۰/۰۹	فروردین
۰/۸۱	۰/۲۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۴	-۱/۲۴	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	-۰/۲۴	-۰/۸۲	۰/۰۹ <sup>ns</sup>	-۰/۲۲	اردیبهشت
-۰/۰۷	۰/۷۹ <sup>ns</sup>	-۰/۰۴	-۱/۱۰	*۰/۰۲	-۰/۲۹	۰/۰۴	۰/۸۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۲	خرداد
-۰/۱۸	۰/۲۴ <sup>ns</sup>	-۰/۱۵	-۰/۴۱	*۰/۰۲	-۰/۲۹	-۰/۱۱	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	-۰/۲۱	تیر
۰/۰۳	۰/۸۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۳	-۰/۳۱	۰/۱۶ <sup>ns</sup>	-۰/۱۸	-۰/۲۱	*۰/۰۵	۰/۲۵	مرداد
۰/۰۸	۰/۷۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۵	-۰/۰۹	۰/۷۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۵	-۰/۰۶	۰/۶۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۶	شهریور
۱/۵۲	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۴	-۰/۰۸	۰/۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۲	-۰/۱۵	۰/۸۵ <sup>ns</sup>	-۰/۰۳	پاییز
۲/۴۱	**۰/۰۰۰۱	۰/۵۸	-۰/۶۱	۰/۴۰ <sup>ns</sup>	۰/۱۱	۰/۳۷	۰/۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۹	زمستان
۱/۹۸	۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۸	-۳/۱۶	*۰/۰۲	-۰/۳۰	-۱/۲۲	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	-۰/۱۶	بهار
-۰/۰۳	۰/۹۵ <sup>ns</sup>	-۰/۰۱	-۰/۸۴	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	-۰/۱۷	۰/۳۸	۰/۳۲ <sup>ns</sup>	۰/۱۳	تابستان
۵/۱۶	**۰/۰۰	۰/۳۸	-۲/۰۰	۰/۱۶ <sup>ns</sup>	-۰/۱۸	-۰/۲۴	۰/۷۶ <sup>ns</sup>	-۰/۰۴	سالانه

ns: فاقد معنی‌داری، \*؛ معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، \*\*؛ معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

تحلیل آماری مبتنی بر آزمون من کندال و شیب سن در ایستگاه هیدرومتری دبی رودخانه نیرچای، نشان‌گر آن است که در ماه‌های مهر، آذر، دی، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد، شهریور و همچنین در فصول پاییز، زمستان و بهار، روندی کاهشی معنی‌دار را تجربه کرده است. این روند کاهشی در ایستگاه سد یامچی به استثنای ماه‌های اردیبهشت و تیر، در تمامی ماه‌ها و فصول سال مشهود است (جدول ۸). در ایستگاه ویلادرق، به جز ماه‌های تابستان (تیر، مرداد و شهریور)، روند کاهشی معنی‌دار در سایر ماه‌ها و فصول سال و همچنین در مقیاس سالانه ملاحظه شده است. ایستگاه پل‌الماس نیز در تمامی ماه‌ها به جز تیر و در تمام فصول سال، روند کاهشی معنی‌دار را نشان می‌دهد (جدول ۹).

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج ارزیابی تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک در این مطالعه، نشان‌گر آن است که جریان رودخانه بالیقلوچای تحت تأثیر تغییرات فصلی، وابستگی به منابع زیرزمینی و احداث سد یامچی قرار دارد. در فصل بهار، افزایش بارش و ذوب برف موجب افزایش جریان، به‌ویژه در ایستگاه یامچی، شده است، در حالی که ایستگاه ویلادرق کم‌ترین میزان جریان را نشان داده و به منابع زیرزمینی وابسته‌تر است. میزان انحراف معیار جریان و ضریب تغییرات در ایستگاه هیدرومتری یامچی بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها است که نشان‌دهنده نوسانات بالا و احتمال وقوع سیلاب است.

جدول ۸. نتایج آزمون من‌کنندال دبی رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری نیرچای و سد یامچی

سد یامچی			نیرچای			ایستگاه‌های هیدرومتری
Sen's slope	p-value	Kendall's tau	Sen's slope	p-value	Kendall's tau	ماه
-.۰۴	**۰/۰۰	-.۰۴۶	-.۰۱	**۰/۰۱	-.۰۳۳	مهر
-.۰۸	**۰/۰۰	-.۰۳۸	-.۰۱	۰/۲۱ <sup>ns</sup>	-.۰۱۶	آبان
-.۰۹	**۰/۰۰	-.۰۴۵	-.۰۱	*۰/۰۲	-.۰۲۹	آذر
-.۰۷	**۰/۰۰	-.۰۴۱	-.۰۱	*۰/۰۵	-.۰۲۵	دی
-.۰۷	**۰/۰۰	-.۰۳۶	-.۰۱	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	-.۰۲۳	بهمن
-.۰۸	**۰/۰۰	-.۰۳۹	-.۰۱	*۰/۰۵	-.۰۲۵	اسفند
-.۱۷	**۰/۰۱	-.۰۳۲	-.۰۵	**۰/۰۱	-.۰۳۱	فروردین
-.۰۶	۰/۰۷ <sup>ns</sup>	-.۰۲۳	-.۰۲	**۰/۰۰	-.۰۴۶	اردیبهشت
-.۰۲	*۰/۰۲	-.۰۲۹	-.۰۱	**۰/۰۱	-.۰۳۳	خرداد
-.۰۱	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	-.۰۲۱	-.۰۱	۰/۱۹ <sup>ns</sup>	-.۰۱۷	تیر
-.۰۱	*۰/۰۲	-.۰۳۱	۰/۰۰	۰/۳۳ <sup>ns</sup>	-.۰۱۳	مرداد
-.۰۳	**۰/۰۰	-.۰۴۵	-.۰۱	*۰/۰۲	-.۰۲۹	شهریور
-.۲۳	**۰/۰۰	-.۰۴۴	-.۰۳	**۰/۰۱	-.۰۳۲	پاییز
-.۲۲	**۰/۰۰	-.۰۳۸	-.۰۴	**۰/۰۱	-.۰۳۱	زمستان
-.۲۷	**۰/۰۱	-.۰۳۵	-.۰۹	**۰/۰۰	-.۰۴۱	بهار
-.۰۵	**۰/۰۰	-.۰۳۸	-.۰۲	۰/۰۹ <sup>ns</sup>	-.۰۲۲	تابستان
-.۷۷	**< ۰/۰۰۰۱	-.۰۵۳	-.۰۱۹	**< ۰/۰۰۰۱	-.۰۵۵	سالانه

ns: فاقد معنی‌داری، \*؛ معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، \*\*؛ معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۹. نتایج آزمون من‌کنندال دبی رودخانه در ایستگاه‌های هیدرومتری ویلادرق و پل الماس

پل الماس			ویلادرق			ایستگاه‌های هیدرومتری
Sen's slope	p-value	Kendall's tau	Sen's slope	p-value	Kendall's tau	ماه
-.۰۸	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۵۷	۰/۰۰	۰/۰۲	-.۰۳۰	مهر
-.۱۷	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۶	۰/۰۰	۰/۰۰	-.۰۳۹	آبان
-.۲۰	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۷۵	۰/۰۰	۰/۰۰	-.۰۴۹	آذر
-.۱۹	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۵	۰/۰۰	۰/۰۰	-.۰۴۰	دی
-.۲۰	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۶	۰/۰۰	۰/۰۰	-.۰۳۶	بهمن
-.۲۴	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۱	۰/۰۰	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۵۳	اسفند
-.۳۲	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۵۵	۰/۰۰	۰/۰۰	-.۰۴۱	فروردین
-.۱۳	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۵	۰/۰۰	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۵۰	اردیبهشت
-.۰۳	۰/۰۲	-.۰۳۰	۰/۰۰	۰/۰۱	-.۰۳۵	خرداد
-.۰۲	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	-.۰۲۴	۰/۰۰	۰/۷۵ <sup>ns</sup>	-.۰۰۴	تیر
-.۰۴	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۵۳	۰/۰۰	۰/۵۱ <sup>ns</sup>	-.۰۰۹	مرداد
-.۰۶	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۷	۰/۰۰	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	-.۰۲۱	شهریور
-.۴۷	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۷	۰/۰۰	۰/۰۰	-.۰۳۹	پاییز
-.۵۹	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۸	۰/۰۰	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۵۳	زمستان
-.۴۹	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۶۸	-.۰۱	۰/۰۰	-.۰۴۴	بهار
-.۱۲	۰/۰۰	-.۰۴۵	۰/۰۰	۰/۲۳ <sup>ns</sup>	-.۰۱۶	تابستان
-.۱۷۹	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۸۰	-.۰۲	< ۰/۰۰۰۰۱	-.۰۵۲	سالانه

ns: فاقد معنی‌داری، \*؛ معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد، \*\*؛ معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

پس از احداث سد یامچی، میانگین دبی جریان در ایستگاه پل الماس به طور معنی داری کاهش یافته و تغییرپذیری آن افزایش یافته است. همچنین، بروز روزهای فاقد جریان در برخی ماهها بیانگر تأثیر مدیریت سد بر کاهش دبی رودخانه است. کاهش جریان پایه نشان دهنده کاهش سهم تغذیه منابع زیرزمینی در تأمین جریان رودخانه می باشد، در حالی که افزایش جریانهای سیلابی در برخی ماهها احتمالاً ناشی از رهاسازی ناگهانی آب از سد است. نتایج حاصل با یافته‌های مطالعه مصطفی زاده و همکاران (۲۰۲۲) تطابق دارد.

تحلیل شاخص‌های هیدرولوژیک نشان می‌دهد که سد یامچی ضمن کاهش جریان طبیعی، نوسانات و عدم یکنواختی آن را افزایش داده است. بنابراین، اجرای راهکارهایی همچون تنظیم بهینه رهاسازی آب، برنامه‌ریزی برای کنترل سیلاب و راهکارهای مدیریت منابع زیرزمینی از جمله تغذیه مصنوعی آبخوان در نواحی میان دست و پایین دست، پایش و کنترل برداشت‌های بی‌رویه از منابع زیرزمینی و توسعه سامانه‌های یکپارچه مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی با رویکرد منطقه‌ای در حوضه آبخیز رودخانه بالیقوچای. می‌تواند در کاهش پیامدهای منفی و افزایش بهره‌وری منابع آب مؤثر باشد.

نتایج حاصل از آزمون من‌کندال و شیب سن در مطالعه حاضر حاکی از آن است که در طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۷۰)، تغییرات دما دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد است که با نتیجه به دست آمده در پژوهش فروتن و صلاحی (۱۴۰۲) همخوانی دارد. اما در مورد متغیر بارش، روند مشخصی در اکثر مقیاس‌های زمانی در ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل و نیر مشاهده نشد. نبود روند معنی‌دار در اکثر ماهها و ایستگاه‌ها نیز نشان دهنده نوسانات زیاد و عدم ثبات در الگوی بارندگی در سال‌های اخیر است، که طبق مطالعه گناهن و همکاران (۲۰۲۱) از ویژگی‌های مهم تغییر اقلیم در مقیاس محلی به شمار می‌آید. در ایستگاه سینوپتیک سرعین روند افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد در مقیاس سالانه بارش مشاهده شد. این می‌تواند نشان دهنده تأثیر عوامل محلی مانند ارتفاع، ریزاقلیم یا تغییرات اقلیمی خاص در این منطقه باشد. این نتیجه با مطالعه صلاحی و همکاران (۲۰۱۹) در مورد دما همخوانی و در مورد بارش ندارد. شرایط اقلیمی در کنار عوامل انسانی از جمله ساخت سد یامچی در منطقه مورد مطالعه، منجر به روند کاهشی معنی‌دار در دبی جریان شاخه اصلی رودخانه بالیقوچای و شاخه‌های فرعی آن (نیرچای و پيله درق) در بالادست و پایین دست شده است. نتیجه به دست آمده با مطالعه ملکیان و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد.

یافته‌های این پژوهش حاکی از آن است که عوامل اقلیمی و مداخلات انسانی، تأثیر قابل توجهی بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه داشته‌اند. کاهش بارندگی، افزایش دما و مدیریت نامناسب منابع آب موجب کاهش دبی جریان و افزایش نوسانات هیدرولوژیکی شده است. افزون بر این، افزایش وابستگی به منابع زیرزمینی در برخی نقاط حوزه آبخیز رودخانه بالیقوچای، به خصوص در فصل‌های کم بارش، ضرورت اتخاذ سیاست‌های مدیریت جامع و دقیق منابع آب را برجسته می‌سازد. با توجه به روندهای شناسایی شده، توصیه می‌شود که به منظور حفظ پایداری اکوسیستم رودخانه‌ای و کاهش تأثیرات منفی سدسازی، راهکارهایی شامل بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آبی، بهبود مدیریت رهاسازی سد و توسعه راهبردهای انطباق با تغییرات اقلیمی در اولویت قرار گیرد.

## References

- Amini, G., Rabieifar, H., Mohammadi, G. & Hosseini, S. A. (2022). Using the WEAP model to evaluate the consumption management of Ayushan dam for different uses. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 44-59. doi: 10.22098/mmws.2022.11450.1135. [In Persian]
- Asiabi Hir, R., Mostafazadeh, R., Raoof, M. & Esmali Ouri, A. (2017). Multi-criteria evaluation of water poverty index spatial variations in some watersheds of Ardabil Province. *Journal of Ecohydrology*, 4(4), 997-1009. doi: 10.22059/ije.2017.63231. [In Persian]
- Belhassan, K. (2022). Managing drought and water stress in Northern Africa. In *Arid Environment-Perspectives, Challenges and Management*. IntechOpen.
- Ben-Zvi, A., & Azmon, B. (2010). Direct relationships of discharges to the mean and standard deviation of the intervals between their exceedences. *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques*, 55(4), 565-577.

- Bloomfield, J. P., Allen, D. J., & Griffiths, K. J. (2009). Examining geological controls on baseflow index (BFI) using regression analysis: An illustration from the Thames Basin, UK. *Journal of Hydrology*, 373(1-2), 164-176.
- Chen, M., Vernon, C. R., Graham, N. T., Hejazi, M., Huang, M., Cheng, Y., & Calvin, K. (2020). Global land use for 2015–2100 at 0.05 resolution under diverse socioeconomic and climate scenarios. *Scientific Data*, 7(1), 320.
- Döll, P., Fiedler, K., & Zhang, J. (2009). Global-scale analysis of river flow alterations due to water withdrawals and reservoirs. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(12), 2413-2432.
- Frotan, M. & Salahi, B. (2023). Climatic zoning of Ardabil province using multivariate methods. *Journal of Environmental Science Studies*, 8(1), 6238-6247. doi: 10.22034/jess.2022.369206.1903. [In Persian]
- Gedefaw, M., & Denghua, Y. (2023). Simulation of stream flows and climate trend detections using WEAP model in awash river basin. *Cogent Engineering*, 10(1), 2211365.
- Getahun, Y. S., Li, M. H., & Pun, I. F. (2021). Trend and change-point detection analyses of rainfall and temperature over the Awash River basin of Ethiopia. *Heliyon*, 7(9).
- Gocic, M. and Trajkovic, S., (2013). Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and planetary change*, 100, pp.172-182.
- Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L., Gippel, C.J. and Nathan, R.J., (2004). *Stream hydrology: an introduction for ecologists*. John Wiley and Sons.
- Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A. E., MacDonald, G. K., Zarfl, C., & Liermann, C. R. (2015). An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters*, 10(1), 015001.
- Karmaoui, A., Minucci, G., Messouli, M., Khebiza, M. Y., Ifaadassan, I., & Babqiqi, A. (2019). Climate change impacts on water supply system of the Middle Draa Valley in South Morocco. *Climate change, food security and natural resource management: Regional case studies from three continents*, 163-178.
- Kim, B.S. and Kim, H.S., (2014). Evaluation of flash flood severity in Korea using the modified flash flood index (MFFI). *Journal of Flood Risk Management*, 7(4), pp.344-356.
- Le Mouél, C., Forslund, A., Marty, P., Manceron, S., Marajo-Petizon, E., Caillaud, M. A., ... & Schmitt, B. (2023). Can the Middle East-North Africa region mitigate the rise of its food import dependency under climate change? *Regional Environmental Change*, 23(2), 52.
- Lu, W., Lei, H., Yang, D., Tang, L., & Miao, Q. (2018). Quantifying the impacts of small dam construction on hydrological alterations in the Jiulong River basin of Southeast China. *Journal of Hydrology*, 567, 382-392.
- Mahmudi, N., & Abghari, H. (2025). Investigating the effect of increasing cultivated area and population growth on surface water resources of Mahabad using WEAP model. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(1). [In Persian]
- Malkian, A., mirdashtvan, M. & Ghadimi, M. (2019). Investigating the impacts of climate change on some hydrological characteristics of water resources in Ardebil province. *Journal of Ecohydrology*, 6(3), 695-705. doi: 10.22059/ije.2019.282033.1120. [In Persian]
- Minaei, M., & Irannezhad, M. (2018). Spatio-temporal trend analysis of precipitation, temperature, and river discharge in the northeast of Iran in recent decades. *Theoretical and applied climatology*, 131, 167-179.
- Mohammadirad, L., Esfandiyari Darabad, F. and Mostafazadeh, R., (2018). Comparing the hydrological indicators of stream flow under the effects of dam construction (case study: Yamchi and Sabalan Dams Ardabil province) (Doctoral dissertation, University of Mohaghegh Ardabili). [In Persian]
- Mostafazadeh, R., Esfandiyari Darabad, F., Mohammadirad, L., & Haji, K. (2020). Quantitative changes and statistical comparison of river flow hydrological indicators after the construction of Yamchi Dam, Ardabil, Iran. *Environment and Water Engineering*, 6(2), 107-121.
- Mostafazadeh, R., Zabihi Silabi, M., Azizi Mobaser, J., & Moezipour, B. (2024). Index-based alteration of long-term river flow regimes influenced by land use change and dam regulation. *Earth*, 5(3), 404-419.
- Naderi, M., Sheikh, V., Bahrehmand, A., Komaki, C. B., & Ghangermeh, A. (2023). Analysis of river flow regime changes using the indicators of hydrologic alteration (case study: Hableroud watershed). [In Persian]
- Norouzzadeh, H., Hasanpour Kashani, M. and Rasoulzadeh, A. (2023). Estimating the contribution of climate change and human activities on river discharge variations (Case Study: GharehSoo River). *Water and Soil Management and Modelling*, 3(4), 168-180.

- Pelletier, P. M. (1988). Uncertainties in the single determination of river discharge: a literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 15(5), 834-850.
- Qaddoumi, A., Sultan, Y., Wahbe, A., Zayed, N., Zaatreh, M., Alani, R., Edilbi, A. and Sultan, I., (2025). The Burden of Blindness and Vision Impairment in the Middle East and North Africa: A Global Burden of Disease 2019 Perspective. *Ophthalmic Epidemiology*, pp.1-10.
- Raof, M. & Alioghli, S. (2020). Estimation of environmental flow of the Balikhlochai River and evaluation impact of Yamchi dam operation on hydrological and environmental regime of the river. *Journal of Natural Environment*, 73(2), 299-312. doi: 10.22059/jne.2020.295047.1880. [In Persian]
- Rezayan, A. & Rezayan, A. H. (2016). Future studies of water crisis in Iran based on processing scenario. *Journal of Ecohydrology*, 3(1), 1-17. doi: 10.22059/ije.2016.59185. [In Persian]
- Rutkowska, A., Osuch, M., Żelazny, M., Banasik, K., & Klimek, M. (2023). Climatic and anthropogenic drivers of zero-flow events in intermittent rivers in Poland. *Journal of Water and Land Development*, (57), 52-61.
- Saedi, F., Ahmadi, A., & Abbaspour, K. C. (2021). Optimal water allocation of the Zayandeh-Roud Reservoir in Iran based on inflow projection under climate change scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12(5), 2068-2081.
- Salahi, B., Nohegar, A. & Behrouzi, M. (2019). Estimation of future temperature and precipitation fluctuations in Ardebil plain in order to manage and planning the beginning of cultivation and the length of wheat growth period. *Geography (Regional Planning)*, 9(36), 277-288. [In Persian]
- Wang, J., Sheng, Y., Gleason, C. J., & Wada, Y. (2013). Downstream Yangtze River levels impacted by three Gorges dam. *Environmental Research Letters*, 8(4), 044012.
- Zuo, Q., & Liang, S. (2015). Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 368, 275-280.