Quantitative Geomorphological Researche

Online ISSN: 2251-9424

Journal Homepage: www.geomorphologyjournal.ir

Assessment of the flow regime of the Simineh River using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) approach

Leyla Babaie [1], Hirad Abghari [2], Raoof Mostafazadeh [3]

1. *Ph.D student in Watershed Management Sciences & Engineering, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.*
Email: l.babaei@urmia.ac.ir
2. (Corresponding Author) Department of Pasture and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran.
Email: h.abghari@urmia.ac.ir
3. Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, and Member of Water Management Research Institute, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Article

Article History:
Received:
5 May 2025
Received in revised form:
12 August 2025
Accepted:
20 September 2025
pp.140-153

Keywords:
River Flow Regime, Indicators of Hydrologic Alteration, Hydrological Changes, Hydrological Indicators, Coefficient of Variation, Temporal trend

A B S T R A C T

Ecologists consider river flow and its variability as key factors influencing many fundamental ecological processes in river ecosystems. However, in the context of climate change and increased human activities, the hydrological characteristics of natural rivers have undergone significant changes. In this study, the changes in the flow regime of the Simineh River at the Dashband hydrometric station in the Lake Urmia basin were analyzed using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) model, and the values and variations of 33 hydrological parameters were calculated. The results showed that most monthly flow rates exhibited a significant decreasing trend. Specifically, the flows in October, November, February, and March showed a sharp decline with a negative slope and a 95% significance level over the statistical period. Although flows in June and July had a positive slope, the trend was not statistically significant. The minimum flow indices over 1-, 3-, 7-, 30-, and 90-day periods showed a significant downward trend ($p < 0.01$), indicating a reduction in baseflow. Maximum flows also showed a decreasing trend, although it was not statistically significant. The number of zero-flow days (slope 3.4) and the duration of low pulse events (slope 2.82) exhibited a significant increasing trend ($p < 0.01$), reflecting intensified hydrological drought conditions. The timing of maximum flow occurrence was delayed (slope 0.7, $p = 0.005$), while the changes in the timing of minimum flows were not significant. The baseflow index showed a slight decline (slope 0.001) but was not statistically significant ($p = 0.25$). Additionally, both the rise and fall rates of flow increased significantly (slopes 0.021 and 0.005, respectively), indicating greater flow instability. The number of flow reversals decreased significantly (slope 1.1, $p = 0.01$), possibly due to a reduction in the frequency of sudden flood events. The findings of this study, highlighting changes in the natural flow regime of the Simineh River, demonstrate that hydrologic alteration indices can serve as effective tools in water resource management.

Cite this article: Babaie,L. , Abghari,H. and Mostafazadeh,R. (2025). Assessment of the flow regime of the Simineh River using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) approach.*Quantitative Geomorphological Research*, *14*(2).140-153.

Doi: 10.22034/gmpj.2025.520164.1559

Extended Abstract

Introduction

Rivers play a crucial role as vital water resources in meeting drinking water, agricultural, and industrial needs, as well as in maintaining aquatic ecosystems. The flow regime of rivers is influenced by both natural and human factors. Human activities such as dam construction, river diversion, and land use changes have significantly impacted river flow regimes. Rivers provide essential needs for all vital activities and ecological processes. The riverbed shape, flow dynamics, and erosion-sedimentation processes are linked to the river's natural structure and function. Maintaining features such as flow rates and seasonal variations is crucial for river ecosystem sustainability. Ecologists consider river flow and its variability as key factors influencing many fundamental ecological processes in river ecosystems. However, in the context of climate change and increased human activities, the hydrological characteristics of natural rivers have undergone significant changes. Dams and reservoirs, and their impact on the diversion and regulation of flow upstream and downstream, are the main factors contributing to the loss of river continuity.

Methodology

In this study, the changes in the flow regime of the Simineh River at the Dashband hydrometric station in the Lake Urmia basin were analyzed using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) model, and the values and variations of 33 hydrological parameters were calculated.

Results and discussion

The results showed that most monthly flow rates exhibited a significant decreasing trend. Specifically, the flows in October, November, February, and March showed a sharp decline with a negative slope and a 95% significance level over the statistical period. Although flows in June and July had a positive slope, the trend was not statistically significant. The minimum flow indices over 1-, 3-, 7-, 30-, and 90-day periods showed a significant downward trend ($p < 0.01$), indicating a reduction in baseflow. Maximum flows also showed a decreasing trend, although it was not statistically significant. The number of zero-flow days (slope 3.4) and the duration of low pulse events (slope 2.82) exhibited a significant increasing trend ($p < 0.01$), reflecting intensified hydrological drought conditions. The timing of maximum flow occurrence was delayed (slope 0.7, $p = 0.005$), while the changes in the timing of minimum flows were not significant. The baseflow index showed a slight decline (slope 0.001) but was not statistically significant ($p = 0.25$). Additionally, both the rise and fall rates of flow increased significantly (slopes 0.021 and 0.005, respectively), indicating greater flow instability. The number of flow reversals decreased significantly (slope 1.1, $p = 0.01$), possibly due to a reduction in the frequency of sudden flood events. The findings of this study, highlighting changes in the natural flow regime of the Simineh River, demonstrate that hydrologic alteration indices can serve as effective tools in water resource management ; analyzing changes in each index (such as baseflow reduction, increase in zero-flow days, or shift in peak flow timing) provides important management applications in planning for drinking water supply, agriculture, drought control, and aquatic ecosystem protection across different dimensions of water management.

Conclusion

The trend of changes in certain indicators shows an increase in hydrological fluctuations and instability in the river's flow regime, which may be attributed to the impacts of climate change or human activities such as water diversion, excessive withdrawals, and potential land-use changes. These results indicate that the flow regime of the Simineh River at the Dashband station has undergone significant changes in recent years, which could pose a serious threat to aquatic ecosystems and water supply in the future. The findings of this study show that

the river flow in the Dashband-Bukan basin, particularly in the spring months, has significantly decreased, the number of dry days and the duration of drought periods have increased, the timing of maximum flow events has been delayed, and flow variability has increased. Additionally, the base flow of the river has consistently decreased. To complement these findings, it is suggested that the relationship between river flow changes and climatic parameters be investigated, the effects of human activities and land-use changes on the watershed's water regime be analyzed, and flow prediction models be developed considering various climate change scenarios. From a management perspective, it is necessary to review the water allocation pattern, prioritize environmental needs, and focus on integrated management of surface and groundwater resources. Overall, water resource management policies should be updated considering climate change, and adaptation strategies should be implemented with the involvement of local communities and stakeholders to ensure greater effectiveness. Therefore, the need for water resource management and the adopt.

Funding
There is no funding support.

Authors' Contribution
Authors contributed equally to the conceptualization and writing of the article. All of the authors approved thecontent of the manuscript and agreed on all aspects of the work declaration of competing interest none.

Conflict of Interest
Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments
We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

مجلــه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی

شاپا الکترونیکی: ۹۴۲۴-۲۲۵۱

Journal Homepage: www.geomorphologyjournal.ir

ارزیابی رژیم جریان رودخانه سیمینه‌رود با رویکرد شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA)

لیلا بابائی[۱]، هیراد عبقری[۲] ✉، رئوف مصطفی زاده[۳]

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

۲- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: h.abghari@urmia.ac.ir

۳- گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران. رایانامه:raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۴/۰۲/۱۵
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۴/۰۵/۲۱
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۴/۰۶/۲۹
صص. ۱۵۳-۱۴۰

واژگان کلیدی:
رژیم جریان رودخانه،
مدل IHA، تغییرات هیدرولوژیکی،
شاخص‌های هیدرولوژیکی،
ضریب تغییرات، روند تغییرات زمانی

چکیده

رودخانه‌ها نقش حیاتی در تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و حفظ اکوسیستم‌های آبی دارند و رژیم جریان آن‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی است. این پژوهش با هدف ارزیابی تغییرات رژیم جریان رودخانه سیمینه‌رود در ایستگاه داشبند با استفاده از مدل تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی IHA و بررسی ۳۳ پارامتر هیدرولوژیکی انجام شد. نتایج نشان داد که دبی ماه‌های اکتبر، نوامبر، فوریه و مارس با شیب منفی و سطح معناداری ۹۵ درصد کاهش را طی دوره آماری نشان داده‌اند. دبی‌های ژوئن و جولای شیب مثبت دارند، اما این روند معنادار نیست. شاخص‌های دبی حداقل در بازه‌های زمانی ۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه روند نزولی معنادار (p کمتر از ۰/۰۱) دارند که کاهش جریان پایه را نشان می‌دهد. دبی‌های حداکثر نیز روند نزولی دارند، اما معنادار نیست. تعداد روزهای صفر جریان (شیب ۳/۴) و مدت ضربان کم (شیب ۲/۸۲) افزایشی معنادار (p کمتر از ۰/۰۱) داشته‌اند که نشانه تشدید خشکسالی هیدرولوژیک است. زمان وقوع جریان حداکثر با شیب ۰/۷ و p برابر ۰/۰۰۵ به تأخیر افتاده، در حالی که تغییر زمان جریان حداقل معنادار نیست. شاخص جریان پایه با شیب ۰/۰۰۱ کاهش یافته اما معنادار نیست (p برابر با ۰/۲۵). هم‌چنین نوسانات افزایشی و کاهشی دبی با شیب‌های ۰/۰۲۱ و ۰/۰۰۵ به طور معنادار افزایش یافته‌اند که بیانگر بی‌ثباتی بیشتر جریان است. تعداد برگشت جریان با شیب ۱/۱ کاهش یافته و با p برابر ۰/۰۱ معنادار است که می‌تواند به کاهش وقوع سیلاب‌های ناگهانی مربوط باشد. بر اساس نتایج، شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی می‌توانند ابزار مؤثری در مدیریت منابع آب باشند؛ به‌گونه‌ای که تحلیل تغییرات هر شاخص (مانند کاهش جریان پایه، افزایش روزهای بدون جریان یا تغییر زمان وقوع دبی‌های اوج) کاربردهای مدیریتی مهمی در برنامه‌ریزی تأمین آب شرب، کشاورزی، کنترل خشکسالی و حفاظت از اکوسیستم‌های آبی در ابعاد مختلف مدیریت آب به همراه دارد.

استناد: بابایی,لیلا , عبقری,هیراد و مصطفی‌زاده,رئوف . (۱۴۰۴). ارزیابی رژیم جریان رودخانه سیمینه‌رود با رویکرد شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (IHA). *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*. ۱۴(۲). ۱۵۳-۱۴۰.

Doi: 10.22034/gmpj.2025.520164.1559

مقدمه

رودخانه‌ها نیازهای اساسی برای تمامی فعالیت‌های حیاتی و فرآیندهای اکولوژیکی را فراهم می‌کنند. شکل بستر رودخانه، حرکت جریان و فرسایش–رسوب‌گذاری بستر رودخانه با ساختار و عملکرد طبیعی رودخانه مرتبط هستند (بردفورد و هینونن[۱]، ۲۰۰۸). حفظ ویژگی‌هایی مانند دبی و تغییرات فصلی برای پایداری اکوسیستم رودخانه ضروری است (کومار و جیاکومار[۲]، ۲۰۲۰). اکولوژیست‌ها دبی رودخانه و تغییرپذیری آن را به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر بر بسیاری از فرآیندهای اکولوژیکی بنیادی در اکوسیستم‌های رودخانه‌ای معرفی‌می‌کنند (پوف و زیمرمن[۳]، ۲۰۱۰).

بااین‌حال، در بستر تغییرات اقلیمی و تشدید فعالیت‌های انسانی، ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه‌های طبیعی دستخوش تغییرات قابل‌توجهی شده‌اند (هومسی[۴] و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژئو[۵] و همکاران، ۲۰۱۸). سدها و مخازن و تأثیر آن‌ها بر انحراف و تنظیم جریان در بالا و پایین‌دست رودخانه، مهم‌ترین عوامل از بین رفتن پیوستگی رودخانه‌ها محسوب می‌شوند (گریل[۶] و همکاران، ۲۰۱۹). تغییرات رژیم هیدرولوژیکی به دو عامل اصلی اقلیمی و عوامل انسانی بستگی دارد (دی و میشرا[۷]، ۲۰۱۷؛ ژانگ[۸] و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طور کلی، جریان رودخانه‌ها در دوره‌های طبیعی تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و مولفه‌های بارش و دما است. اما علاوه بر تأثیر بارندگی و مولفه‌های اقلیمی، افزایش ساخت و بهره‌برداری از سدها باعث افزایش تاثیر فعالیت‌های انسانی شده است (پترسون[۹] و همکاران، ۲۰۱۳؛ یه[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه‌بر این، تحقیقات اخیر درباره تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر هیدرولوژی رودخانه‌ها در حال گسترش است که عمدتاً بر تغییرات مولفه‌های اقلیمی تمرکز دارند (احترام و همکاران، ۲۰۱۸؛ شریفی و پزشکی،۲۰۲۰).

رژیم جریان طبیعی تعیین‌کننده عملکردهای حیاتی اکوسیستم رودخانه‌ای است؛ ازاین‌رو، ارزیابی جریان رودخانه‌ای از اهمیت زیادی برخوردار است تا بتوان واکنش‌های اکولوژیکی به رژیم‌های جریان متغیر را تحت شرایط اقلیمی و انسانی در حال تغییر درک کرد (اصغری سراسکانرود و پیروزی، ۲۰۲۱؛ مصطفی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۴؛ نگهبان و مکرم، ۱۴۰۳). روش‌های پذیرفته‌شده عمومی برای ارزیابی رژیم اکوهیدرولوژیکی، ایجاد چارچوب‌های مبتنی بر شاخص‌ها است (پوف و همکاران، ۲۰۱۰). برای ارزیابی فرآیند تغییر رژیم جریان رودخانه و تأثیر این تغییرات بر اکوسیستم، شاخص‌های مختلفی به‌طور معمول برای توصیف کمی تغییرات در رژیم هیدرولوژیکی استفاده می‌شوند (مصطفی‌زاده و عزیزی، ۲۰۲۵). در میان شاخص‌های گوناگون، شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی[۱۱] (IHA) که توسط ریشتر و همکاران (۱۹۹۶) توسعه یافته‌اند، از پرکاربردترین معیارها برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر رژیم‌های جریان محسوب می‌شوند. این مدل با استفاده از برخی مطالعات هیدرولوژیکی در مقیاس روزانه (مانند جریان و تراز رودخانه، سطح آب زیرزمینی یا تراز دریاچه‌ها)، تحلیل و محاسبات مربوط به تغییرات هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی را انجام می‌دهد. هم‌چنین، توانایی ارزیابی پارامترهای متغیر در طول زمان را دارا می‌باشد. از دیگر قابلیت‌های مدل IHA، مقایسه تغییرات جریان‌های طبیعی با شرایط شبیه‌سازی‌شده جریان، به‌منظور مدیریت بهتر منابع آبی در آینده است.

---

[1] . Bradford and Heinonen
[2] . Kumar and Jayakumar
[3] . Poff and Zimmerman
[4] . Homsi
[5] . Zhao
[6] . Grill
[7] . Dey and Mishra
[8] . Zhong
[9] . Patterson
[10] . Ye
[11] .Indicators of Hydrologic Alteration

اهمیت موضـوع مورد مطالعه باعث شـده اسـت که تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شـود. مطالعات صـورت‌گرفته در سال‌های اخیر نشان‌دهنده تأثیرات عوامل مختلف بر رژیم طبیعی جریان رودخانه و وضعیت اکولوژیکی آن بوده است (لی[1] و همکاران، ۲۰۱۵). هم‌چنین، ارزیابی نقش احداث سد سابو در کاهش سیل‌خیزی رودخانه وای لیمان نشان داده است که پس از احداث سد، سیل‌خیزی این رودخانه ۷۰ درصد کاهش یافته است (جایا[2]، ۲۰۲۱). نتایج تحقیق انجام شده در رودخانه‌های کوچک و متوسط برای تعیین کمیت تأثیرات ناشی از سد بر رژیم‌های جریان حاکی از تغییرات قابل توجه رژیم‌های طبیعی جریان پس از ساخت سد است (فنگ[3] و همکاران، ۲۰۲۳). نتایج ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی رژیم جریان ناشی از احداث سد با استفاده از مدل IHA بیانگر تغییر منفی دو برابر ۱۳ پارامتر پس از احداث سد بوده است. که از این میان، سه پارامتر به شـدت تغییر کردند که بیش‌ترین تغییر در ماه ژوئن بوده اسـت (کومار[4] و همکاران، ۲۰۲۳). بررسـی تغییرات هیدرولوژیکی رودخانه طالقان‌رود نشان داده است تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی، دبی رودخانه طالقان از نظر تمامی شاخص‌های IHA روند کاهشی معناداری داشته است (رضایی و همکاران، ۲۰۲۳). نتایج تحلیل تغییرات در شاخص‌های هیدرولوژیکی مرتبط با محیط زیست تحت تغییرات آب و هوا و کاربری زمین نشان داد تغییرات اقلیمی باعث تشدید تغییرات جریان رودخانه شـده و پیش‌بینی می‌شـود که جریان ماهانه از اکتبر تا دسـامبر افزایش یابد. تعداد پالس‌های جریان کاهش خواهد یافت، اما مدت‌زمان هر پالس با شدت بالا افزایش می‌یابد (لیو[5] و همکاران، ۲۰۲۴).

نصـیری خیاوی و همکاران، (۱۳۹۹) با بررسـی تغییرات شـاخص‌های هیدرولوژیکی رودخانه بالخلوچای بیان کردند تغییر در متغیرهای اقلیمی به‌صورت کاهش بارش و افزایش دما بر کاهش مقادیر جریان بوده است. مصطفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) تغییرات کمی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌های بعد از احداث سد یامچی اردبیل را از نظر آماری مقایسه نمودند و نتیجه گرفتند که دبی رودخانه در ایسـتگاه پل‌الماس تحت تأثیر سـد یامچی قرار گرفته که منجر به کاهش میانگین دبی شده است. علاوه بر این، بیان نمودند که بین شاخص‌های هیدرولوژیکی حداقل و حداکثر دبی و FDC در ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد. پیروزی و همکاران (۱۳۹۹) با هدف بررسـی تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه گیوی‌چای اسـتان اردبیل ناشـی از احداث سـد گیوی، نتیجه گرفتند که میان مقادیر دبی نرمال پرآبی، دبی حداکثر، دبی میانگین، دبی عادی، دبی میانه، دبی مد و دبی سـالانه، تفاوت معناداری، بین دو ایسـتگاه آبگرم و ایسـتگاه فیروزآباد در بازه زمانی مورد مطالعه دیده می‌شـود. اصـغری و همکاران (۱۴۰۲) تغییرات بلندمدت رژیم جریان رودخانه کوهسـتانی خیاوچای در اسـتان اردبیل را با اسـتفاده از رویکرد محدوده تغییرپذیری (RVA) را بررسـی کردند. نتایج نشـان داد مقادیر دبی‌های کمینه ۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه کاهش پیدا کرده، نرخ ضربان‌های کم جریان افزایش و فروکش جریان نیز به سمت کاهش یافته است.

نظری تهرودی (۱۴۰۳) تغییرات دبی جریان رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه در دو مقیاس سالانه و ماهانه بـا اسـتفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال در ۲۵ ایسـتگاه هیدرومتری در حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی روند تغییرات دبی نشان داد که روند تغییرات دبی در اکثر ماه‌ها کاهشی می‌باشد. در مقیاس سالانه نیز در تمامی ایستگاه‌ها روند کاهشی جریان در سطح حوضه مشهود بود. زمان تغییر روند کاهشی دبی جریان رودخانه‌های حوضـه دریاچـه ارومیـه نیـز در بـین سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۷ اتفاق افتاده است. با توجه به مطالب ارائه شده و هـم‌چنـین بـا توجـه بـه تغییرات اقلیم و تغییرات آب و هوایی در سطح حوضه دریاچـه ارومیـه به نظر می‌رسد بررسی تغییرات روند دبی جریان رودخانه‌های دریاچه

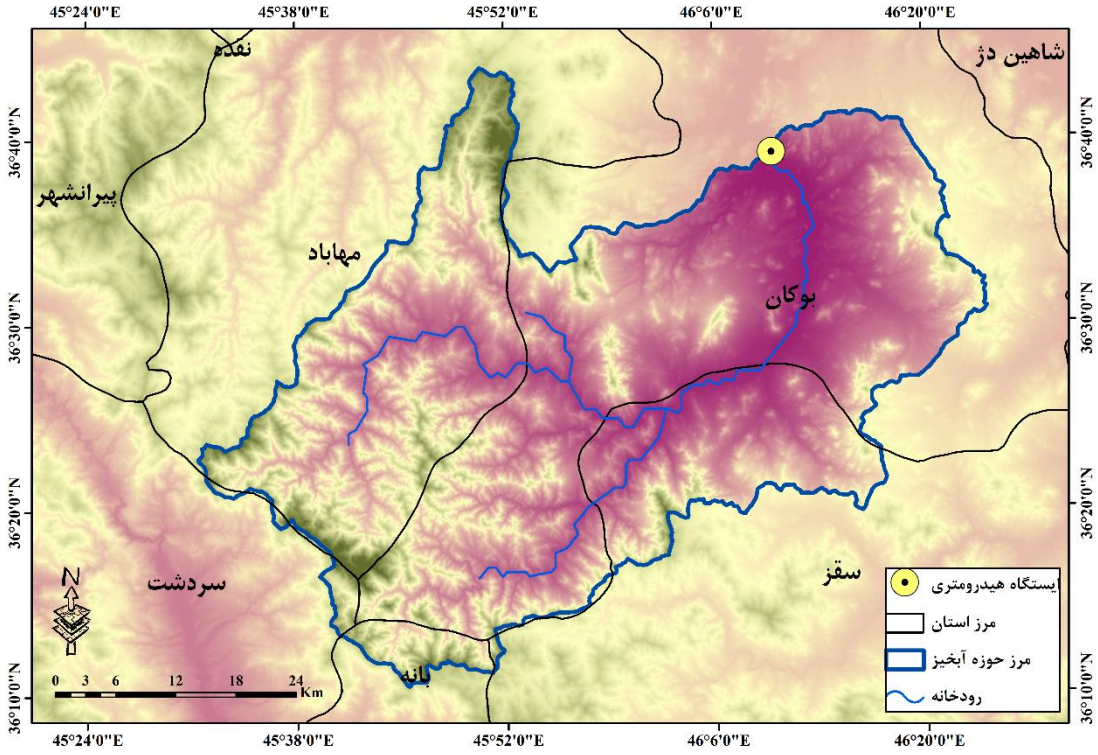
[1] . Li
[2] . Jaya
[3] . Fang
[4] . Kumar
5 . Liu

ارومیه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. هدف از پژوهش حاضر، بررسی روند تغییرات دبی رودخانه سیمینه‌رود در ایستگاه هیدرومتری داشبند بوکان با استفاده ازتغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی (IHA) می‌باشد.

مواد و روش تحقیق

موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش ایستگاه هیدرومتری داشبند بوکان درحوضه آبخیز سیمینه‌رود به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات سیاسی، بخشی از شهرستان مهاباد، سقز و بوکان محسوب می‌شود. در مختصات جغرافیایی طول ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا واقع شده است. بخش عمده حوضه دریاچه ارومیه، دو رودخانه سیمینه‌رود و زرینه‌رود هستند که به‌عنوان مهم‌ترین رودخانه‌های حوزه آبخیز دریاچه تلقی می‌شوند. ایستگاه داشبند بر روی رودخانه سیمینه‌رود واقع شده است، این رودخانه از ارتفاعات سقز و بوکان سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از شهرهای سقز، بوکان و میاندوآب، به دریاچه ارومیه می‌ریزد (دلجو و همکاران، ۲۰۱۳). این رودخانه نقش مهمی در تأمین آب منطقه دارد و نوسانات دبی آن تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند بارش، تغییرات اقلیمی و بهره‌برداری‌های انسانی قرار می‌گیرد. میانگین دمای سالانه منطقه حدود ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد، میزان بارش سالانه در این شهرستان بین ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر متغیر است (رضایی‌زمان، ۱۳۹۲). در شکل ۱ نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی تغییرات در مولفه‌های رژیم جریان رودخانه سیمینه‌رود در محل ایستگاه هیدرومتری داشبند، ابتدا اطلاعات دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه از شرکت مدیریت منابع آب ایران اخذ شد. داده‌های دبی روزانه با

دوره آماری حدود ۷۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۳۱) به فرمت مورد استفاده در مدل تبدیل شدند. پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز، مدل برای ایستگاه اجرا شد سپس شاخص‌های هیدرولوژیک خروجی از مدل تجزیه و تحلیل شد و روند هر یک از شاخص‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

مدلIHA بر پایه مؤلفه‌های رژیم جریان طبیعی، مانند مقادیر جریان‌های کم‌آبی و پرآبی، نرخ تغییرات، زمان وقوع و فراوانی جریان‌ها، تحلیل‌های مربوط به تغییرات هیدرولوژیکی را انجام می‌دهد. این مدل با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی روزانه قادر است ۶۷ پارامتر را در دو گروه، ۳۳ پارامتر جریان‌های هیدرولوژیکی IHA و ۳۴ پارامتر جریان محیط‌زیستی محاسبه کند (The Nature Conservancy, 2009). از دیگر ویژگی‌های این مدل، امکان مقایسه تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند احداث سد، انحراف مسیر رودخانه یا تغییرات کاربری اراضی در سطح حوضه آبریز پیش و پس از تغییرات می‌باشد (اسمکتین ، ۲۰۰۶).

در مدل IHA، پارامترهای هیدرولوژیکی را می‌توان با استفاده از روش‌های آماری پارامتریک (نظیر میانگین و انحراف معیار) یا ناپارامتریک (مانند میانه و چارک‌ها) محاسبه کرد. از آنجا که داده‌های هیدرولوژیکی اغلب دارای توزیع نامتقارن (چولگی) هستند، معمولاً استفاده از روش‌های ناپارامتریک مناسب‌تر است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵). با این حال، برای برخی شرایط مشخص مانند تناوب وقوع سیلاب‌ها یا میانگین حجم جریان ماهانه، روش‌های پارامتریک می‌توانند گزینه بهتری باشند.

پارامترهای هیدرولوژیکی استخراج‌شده توسط مدل IHA، در جداول خروجی به‌صورت دسته‌بندی‌شده نمایش داده می‌شوند. دوره زمانی پیش‌فرض در این مدل از اول اکتبر تا پایان سپتامبر در نظر گرفته شده است، با این حال این بازه زمانی در مدل قابل تنظیم می‌باشد. (The Nature Conservancy, 2009). جدول ۱ شامل خلاصه‌ای از پارامترهای قابل محاسبه در مدل IHA و مشخصات مرتبط با آن‌ها است.

جدول ۱: شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی (The Nature Conservancy, 2009).

گروه‌های هیدرولوژیکی	پارامترهای هیدرولوژیکی	تأثیرات اکوسیستمی
گروه ۱: مقدار	دبی در ۱۲ ماه سال	– فراهم نمودن زیستگاه برای موجودات آبزی – تأثیر بر روی رطوبت خاک مورد استفاده توسط گیاهان – تأمین آب شرب برای جانوران – تأمین غذا برای جانوران – اطمینان از تأمین آب برای رفع احتیاجات آبی موجودات زنده – تأثیر بر دمای آب، میزان اکسیژن و انجام عمل فتوسنتز توسط گیاهان
گروه ۲: تداوم	دبی حداقل ۱ روزه دبی حداقل ۳ روزه دبی حداقل ۷ روزه دبی حداقل ۳۰ روزه دبی حداقل ۹۰ روزه دبی حداکثر ۱ روزه دبی حداکثر ۳ روزه دبی حداکثر ۷ روزه دبی حداکثر ۳۰ روزه دبی حداکثر ۹۰ روزه تعداد روزهای صفر شاخص جریان پایه	– ایجاد تعادل برای رقابت و نیز شرایط تنش‌زا – ایجاد اکوسیستم‌های آبزی به‌وسیله عوامل زیستی و غیر زیستی – تأثیر بر مورفولوژی کانال رودخانه و شرایط فیزیکی زیستگاه – کاهش آب در دسترس برای جانوران – حجم مبادلات مواد غذایی بین رودخانه‌ها و سیلاب‌ها – تعیین مدت زمان شرایط استرس‌زا از قبیل کاهش اکسیژن در محیط‌های آبزی – توزیع جوامع گیاهی در دریاچه‌ها و حوضچه‌ها – مدت زمان جریان زیاد برای دفع زباله و احیاء و هوادهی دوباره به تخم‌های جانوران موجود در بین رسوبات
گروه ۳: زمان‌بندی	زمان وقوع جریان حداقل زمان وقوع جریان حداکثر	– سازگاری با چرخه حیات موجودات زنده – پیش‌بینی/ جلوگیری از ایجاد استرس و فشار در موجودات زنده – تکامل استراتژی‌های زندگی و مکانیسم‌های رفتاری

		– دسترسی به زیستگاه‌های خاص در طول دوره تولید مثل
گروه ۴: فراوانی	تعداد ضربان کم	– فراوانی و شدت تنش رطوبت خاک برای گیاهان – فراوانی و مدت زمان میزان استرس و فشار وارد شده بر گیاهان – در دسترس بودن زیستگاه‌ها در دشت‌های سیلابی برای موجودات زنده – تبادل مواد غذایی و مواد آلی بین رودخانه و سیلاب – در دسترس بودن مواد معدنی خاک – دسترسی پرندگان به آب، زیستگاه و تولید مثل
	مدت‌زمان ضربان کم	
	تعداد ضربان بالا	
	مدت‌زمان ضربان بالا	
گروه ۵: مقدار	میزان نوسانات افزایشی دبی	– تنش خشکی بر روی گیاهان (سطوح کاهش) – جذب موجودات زنده در جزایر و دشت‌های سیلابی (سطوح افزایش) – تأثیر منفی خشک شدن جریان آب بر موجودات زنده کم تحرک (سطوح متغیر)
	میزان نوسانات کاهشی دبی	
	تعداد برگشت جریان (تغییر از صعودی به نزولی یا بالعکس)	

تعیین روند تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک

در سیستم‌های هیدرولوژیکی که همواره تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار داشته‌اند، مدل IHA از رگرسیون خطی با روش حداقل مربعات ((LSQبرای تحلیل روندهای زمانی استفاده می‌کند. این تحلیل شامل محاسبه خط روند، شیب آن و معیارهای برازش است که برای شناسایی تغییرات بلندمدت در داده‌های هیدرولوژیکی کاربرد دارد. در معادله خطی $Y=mX+bY =$ $mX + bY=mX+b$، مقدار m بیانگر شیب خط و نشان‌دهنده نرخ تغییر متغیر وابسته ((Yنسبت به متغیر مستقل ((Xاست. هم‌چنین، ضریب تعیین ((R^2میزان توضیح‌پذیری تغییرات Y توسط مدل و P-value نشان‌دهنده معنی‌داری رابطه بین متغیرها است (فیلد ، ۲۰۱۳).

یافته‌ها و بحث

برآورد شاخص‌های هیدرولوژیک جریان

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات دبی ایستگاه هیدرومتری داشبند بوکان استفاده شده و بر مبنای آن، شاخص‌های مورد مطالعه ارزیابی شده است. مقادیر ۳۳ شاخص هیدرولوژیکی جریان در ایستگاه داشبند، مطابق با جدول ۲ ارائه شده است.

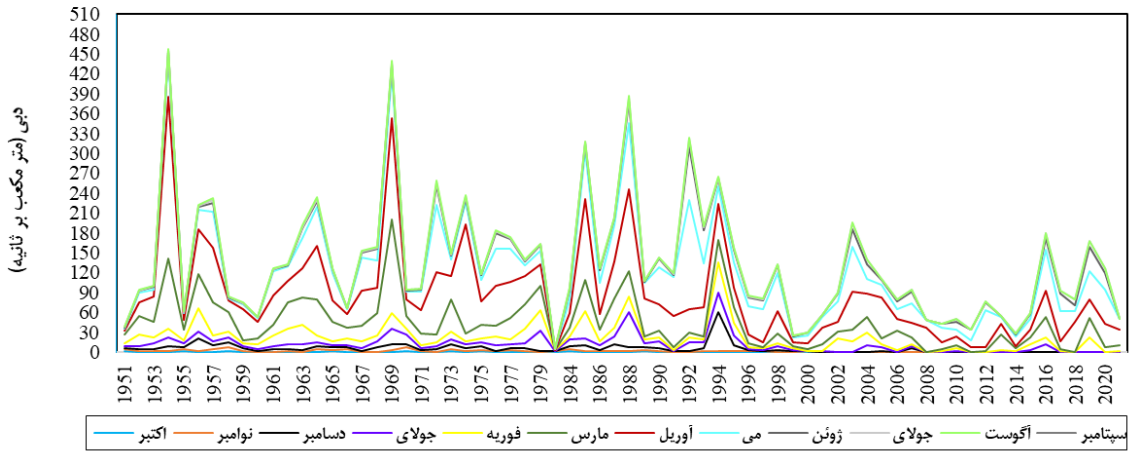
جدول ۲: مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیکی و درصد تغییرات آن‌ها

پارامترهای هیدرولوژیکی	واحد	مقادیر شاخص	ضریب تغییرات	پارامترهای هیدرولوژیکی	واحد	مقادیر شاخص	ضریب تغییرات
دبی اکتبر	m^3/s	۰/۴۱	۱/۷۱	دبی حداکثر ۱ روزه	m^3/s	۱۳۸/۴۰	۰/۹۳
دبی نوامبر	m^3/s	۰/۵۱	۲/۲۰	دبی حداکثر ۳ روزه	m^3/s	۱۰۶/۷۰	۰/۸۹
دبی دسامبر	m^3/s	۲/۰۰	۲/۳۸	دبی حداکثر ۷ روزه	m^3/s	۸۳/۲۹	۰/۷۳
دبی ژانویه	m^3/s	۵/۱۶	۱/۶۵	دبی حداکثر ۳۰ روزه	m^3/s	۵۵/۰۴	۰/۷۱
دبی فوریه	m^3/s	۶/۱۰	۱/۸۷	دبی حداکثر ۹۰ روزه	m^3/s	۳۵/۷۵	۰/۸۹
دبی مارس	m^3/s	۱۶/۰۰	۱/۵۵	تعداد روزهای صفر	تعداد روز	۰	۰/۰۰
دبی آوریل	m^3/s	۲۴/۶۳	۰/۹۷	شاخص جریان پایه	m^3/s	۰/۰۱	۲/۱۹
دبی می	m^3/s	۲۹/۰۰	۰/۳۲	زمان وقوع جریان حداقل	روز از سال	۲۷۵	۰/۰۲

دبی ژوئن	m^3/s	۸/۵۵	۱/۴۵	زمان وقوع جریان حداکثر	روز از سال	۱۰۹	۰/۱۲
دبی جولای	m^3/s	۱/۴۸	۱/۵۱	تعداد ضربان کم	تعداد در سال	۱	۲/۰۰
دبی اوت	m^3/s	۰/۶۰	۱/۸۳	مدت‌زمان ضربان کم	روز	۲۰	۶/۹۸
دبی سپتامبر	m^3/s	۰/۴۱	۲/۰۸	تعداد ضربان بالا	تعداد در سال	۳	۱/۰۰
دبی حداقل ۱ روزه	m^3/s	۰/۱۸	۱/۹۴	مدت‌زمان ضربان بالا	روز	۹/۵۶	۳/۰۸
دبی حداقل ۳ روزه	m^3/s	۰/۲۰	۲/۰۲	میزان نوسانات افزایشی دبی	m^3/s	۰/۴۶	۱/۸۴
دبی حداقل ۷ روزه	m^3/s	۰/۲۰	۲/۰۶	میزان نوسانات کاهشی دبی	m^3/s	-۰/۶۳	-۱/۰۲
دبی حداقل ۳۰ روزه	m^3/s	۰/۲۹	۱/۷۱	تعداد برگشت جریان	تعداد در سال	۷	۰/۷۳
دبی حداقل ۹۰ روزه	m^3/s	۰/۶۰	۱/۸۳				

با توجه به این مقادیر می‌توان نتیجه گرفت که حداکثر دبی ۱ روزه (۱۳۸/۴) نشانگر پیک سیلابی تند و کوتاه است، که احتمالاً مربوط به یک بارش شدید بوده. با افزایش بازه زمانی (۳، ۷، ۳۰، ۹۰ روزه)، مقدار پیک به ترتیب کاهش می‌یابد، که می‌تواند نشان از تعدیل جریان در طول زمان باشد. در شاخص‌های دبی حداقل، حداقل دبی ۱ تا ۹۰ روزه نشان‌دهنده پایداری نسبی جریان پایه در دوره‌های خشک است. پایین‌ترین مقدار حداقل دبی (۰/۱۸)، که برای دبی حداقل یک روزه است. تعداد روزهای صفر دبی برابر است با صفر که نشان از دائمی بودن جریان دارد. مقدار جریان پایه ۰/۰۱ می‌باشد که نشان‌دهنده سهم بسیار کم جریان پایه از دبی کلی، احتمالاً به دلیل فقدان آب‌های زیرزمینی قابل توجه یا برداشت بالا در اراضی بالادست است. تعداد ضربان کم (۱) و بالا (۳) بیانگر جریان نسبتاً پایدار با نوسانات محدود در منطقه است. هم‌چنین نوسانات افزایشی (۰/۴۶) و کاهشی (۰/۶۶-) بیانگر نرخ تغییرات دبی متوسط است، اگرچه مقدار منفی کاهشی نسبتاً شدیدتر است.

در شکل ۲، بررسی داده‌های دبی ماهانه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۱ میلادی نمایش داده شده است که در بیش‌تر ماه‌های سال، به‌ویژه در ماه‌های مارس، آوریل و مه که معمولاً فصل بهار را پوشش می‌دهند، روند دبی در طول زمان کاهشی بوده است.



شکل۲: تغییرات مقادیر دبی ماهانه ایستگاه داشبند بوکان

طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰، مقدار دبی در این ماه‌ها نسبتاً بالا بوده، ولی از دهه ۱۹۸۰ به بعد به‌ویژه در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰، کاهش شدیدی در دبی مشاهده شده است، به‌طوری که در برخی از سال‌ها، مقدار دبی در برخی ماه‌ها به نزدیک صفر یا حتی صفر رسیده است.این کاهش می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی مانند کاهش بارندگی، افزایش تبخیر و دما، رشد تقاضا و برداشت‌های انسانی، تغییر کاربری زمین و اثرات تغییر اقلیم باشد. هم‌چنین، در برخی از سال‌های خاص مانند ۱۹۸۸، ۱۹۹۴ و ۲۰۱۹ نوسانات بسیار شدید در دبی دیده می‌شود که می‌تواند بیانگر وقوع سیلاب‌های مقطعی یا خشکسالی‌های شدید باشد. به‌طور کلی، روند دبی ماهانه از منظر زمانی، به‌ویژه در سه دهه اخیر، نزولی است.

تغییرات روند تغییرات زمانی شاخص‌های هیدرولوژیک

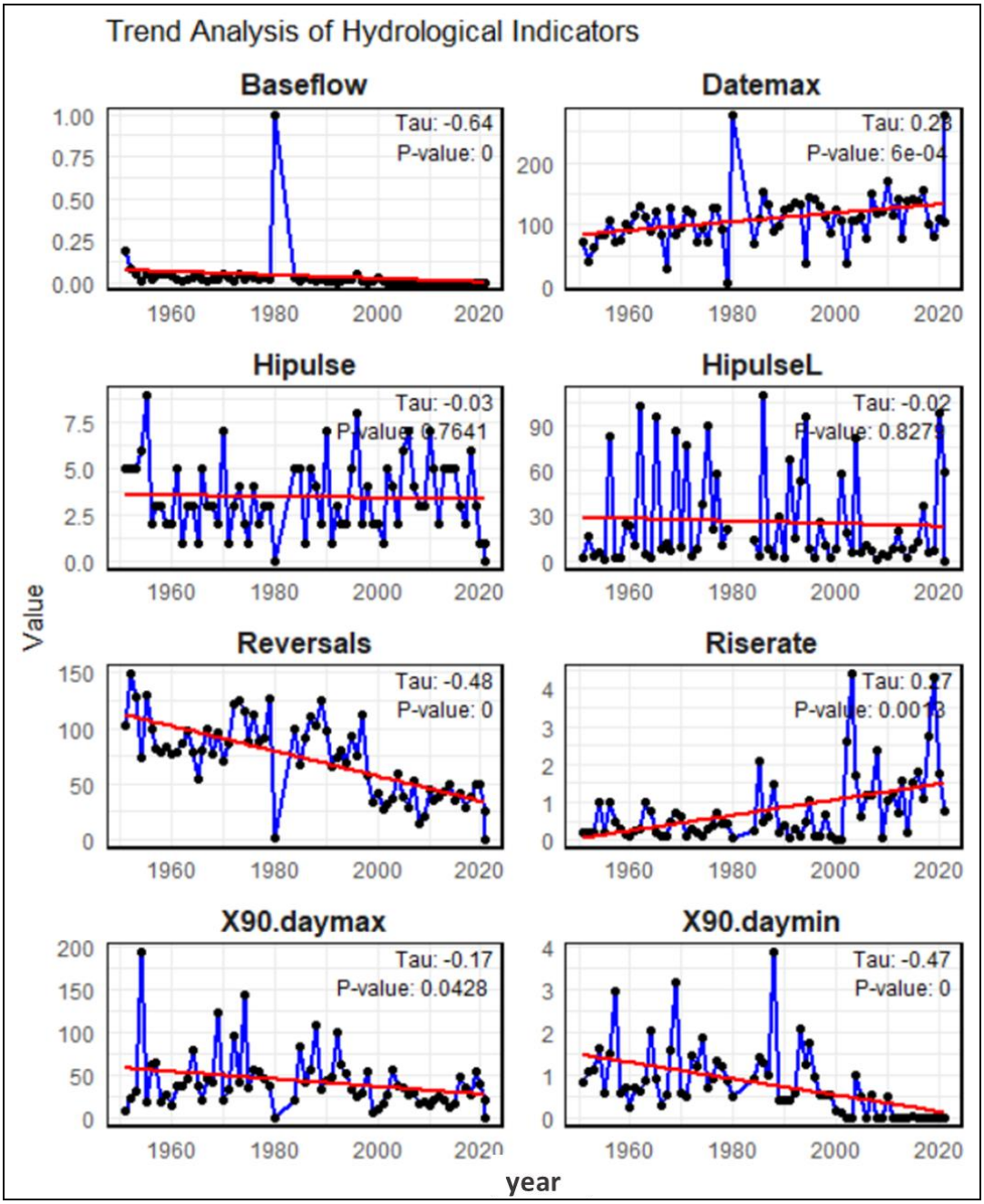
نتیجه تحلیل روند تغییرات هیدرولوژیکی حوضه‌ی داشبند بوکان با مدل IHA در جدول ۳ ارائه شده است.

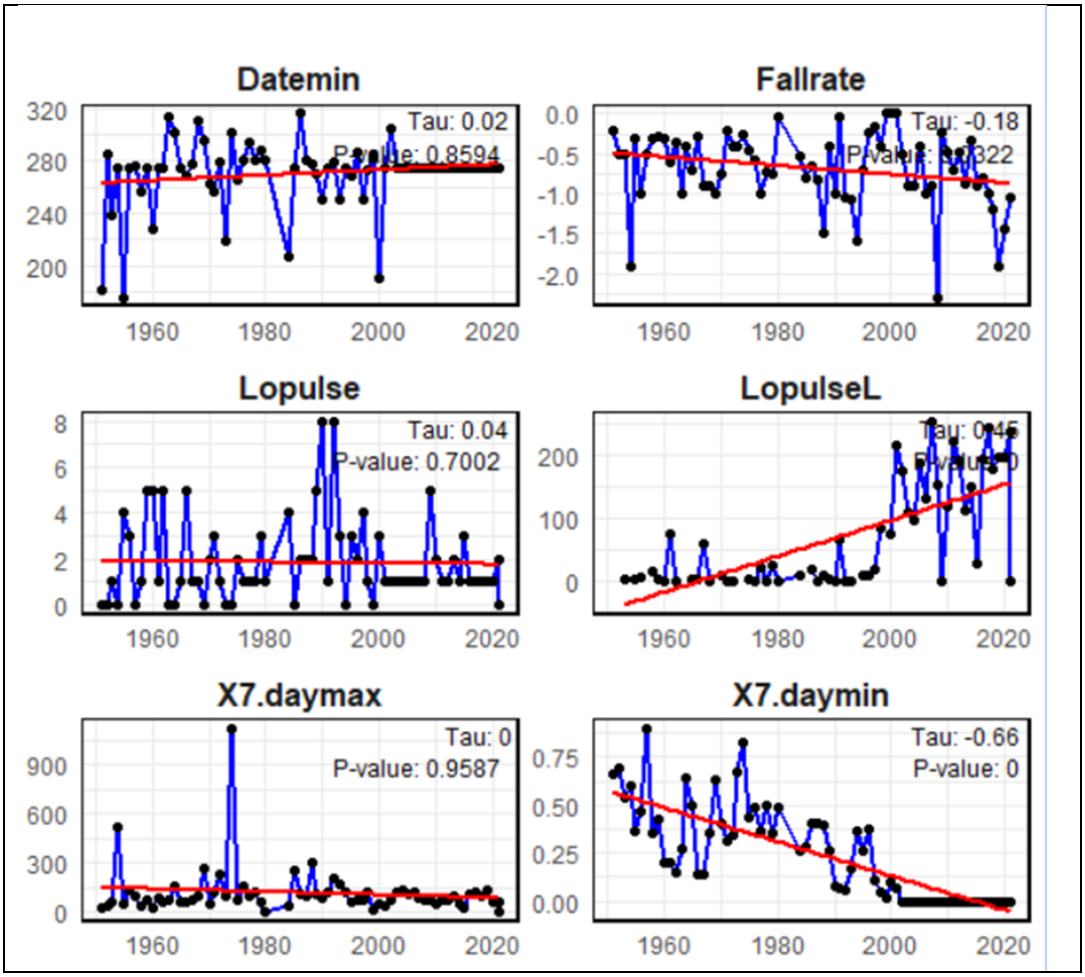
جدول۳: روند تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی IHA

پارامترهای هیدرولوژیکی	شیب خط روند	سطح معناداری	پارامترهای هیدرولوژیکی	شیب خط روند	سطح معناداری
دبی اکتبر	−۰/۰۱۶	۰/۰۰۱	دبی حداکثر ۱ روزه	−۰/۹۱	۰/۵۰۰
دبی نوامبر	−۰/۰۳۳	۰/۰۰۱	دبی حداکثر ۳ روزه	−۱/۰۶	۰/۵۰۰
دبی دسامبر	−۰/۰۷۴	۰/۱۰۰	دبی حداکثر ۷ روزه	−۰/۹۰	۰/۵۰۰
دبی ژانویه	−۰/۰۹۸	۰/۰۵۰	دبی حداکثر ۳۰ روزه	−۰/۶۷	۰/۱۰۰
دبی فوریه	−۰/۱۴۳	۰/۰۱۰	دبی حداکثر ۹۰ روزه	−۰/۴۳	۰/۰۲۵
دبی مارس	−۰/۴۷۶	۰/۰۰۱	تعداد روزهای صفر	۳/۴۰	۰/۰۰۱
دبی آوریل	−۰/۶۷۲	۰/۰۰۵	شاخص جریان پایه	−۰/۰۰۱	۰/۲۵۰
دبی می	−۰/۰۰۸	۰/۵۰۰	زمان وقوع جریان حداقل	۰/۲۰	۰/۲۵۰
دبی ژوئن	۰/۱۴۰	۰/۱۰۰	زمان وقوع جریان حداکثر	۰/۷۰	۰/۰۰۵
دبی جولای	۰/۰۲۷	۰/۱۰۰	تعداد ضربان کم	۰/۰۰۲	۰/۵۰۰
دبی اوت	−۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	مدت‌زمان ضربان کم	۲/۸۲	۰/۰۰۱
دبی سپتامبر	−۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	تعداد ضربان بالا	−۰/۰۰۴	۰/۵۰۰
دبی حداقل ۱ روزه	−۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	مدت‌زمان ضربان بالا	−۰/۰۸	۰/۵۰۰
دبی حداقل ۳ روزه	−۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	میزان نوسانات افزایشی دبی	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱
دبی حداقل ۷ روزه	−۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	میزان نوسانات کاهشی دبی	۰/۰۰۵	۰/۰۵۰
دبی حداقل ۳۰ روزه	−۰/۰۱	۰/۰۰۱	تعداد برگشت جریان	−۱/۱۱۰	۰/۰۱۰
دبی حداقل ۹۰ روزه	−۰/۰۱۹	۰/۰۰۱			

طبق نتایج بررسی روند تغییرات پارامترهای هیدرولوژیکی در ایستگاه داشبند با استفاده از مدل IHA نشان می‌دهد که بیش‌تر دبی‌های ماهانه دارای روند کاهشی معناداری هستند. به‌ویژه دبی ماه‌های اکتبر، نوامبر، فوریه و مارس با شیب منفی و سطح معناداری ۹۵ درصد کاهش قابل توجهی را در طی دوره آماری نشان می‌دهند. دبی در ماه‌های ژوئن و جولای روند افزایشی (شیب مثبت) داشته، اما این روند از نظر آماری معنادار نیست که ممکن است نشان‌دهنده تأثیر بارش‌های موسمی یا تغییر الگوی آب‌دهی باشد. نتایج ذکر شده با پژوهش ناظری تهرودی و همکاران (۱۳۹۷) که مبنی بر روند کاهشی تغییرات دبی ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح حوضه دریاچه ارومیه در اکثر ماه‌ها کاهشی می‌باشد، مطابقت دارد.

هم‌چنین، کاهش بارش ذکر شده در پژوهش بهره‌مند و همکاران (۱۳۹۱) مبنی بر کاهش بارندگی در ایستگاه‌های حوزه آبخیز ارومیه و روند کاهشی دبی جریان در اکثر ایستگاه‌ها و مطابقت آن با وضعیت جهانی تغییر اقلیم در نیمکره شمالی و عرض‌های ۳۰ درجه که عمدتاً خشک‌تر شده‌اند، مورد تائیدی قرار گرفته است. از طرفی، شاخص‌های دبی حداقل در بازه‌های زمانی مختلف (۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه) نیز همگی دارای روند نزولی معنادار (شیب منفی با (p کمتر از ۰/۰۱) هستند که گویای کاهش جریان پایه در حوضه است. دبی‌های حداکثر (۱، ۳، ۷، ۳۰ و ۹۰ روزه) روند کاهشی دارند، اما این روند از نظر آماری معنی دار نیست. تعداد روزهای صفر جریان (با شیب۳/۴) و مدت ضربان کم (با شیب با شیب۲/۸۲) افزایشی معنادار (p کمتر از ۰/۰۱) است که نشان‌دهنده تشدید خشکسالی و کاهش آبدهی رودخانه است. زمان وقوع جریان حداکثر با شیب ۰/۷ (و مقدار p برابر ۰/۰۰۵) به‌سمت تأخیر حرکت کرده، در حالی که تغییرات زمان جریان حداقل معنادار نیست که نشان‌دهنده تغییر در الگوی بارش‌ها است. شاخص جریان پایه دارای کاهشی اندک (شیب ۰/۰۰۱) است اما از نظر آماری معنی‌دار نیست (p برابر از ۰/۲۵) که احتمالا ناشی از کاهش کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی و یا تشدید برداشت وانحراف جریان سطحی است. نوسانات افزایشی و کاهشی دبی به‌ترتیب با شیب ۰/۰۲۱ و ۰/۰۰۵ هر دو به‌صورت معنی‌دار افزایش یافته‌اند که نشان‌دهنده بی‌ثباتی بیشتر در رژیم جریان است. تعداد برگشت جریان کاهشی بوده و با شیب ۱/۱ از نظر آماری معنی‌دار است (و مقدار p برابر ۰/۰۱) که احتمالاً به دلیل کاهش فراوانی وقوع سیلاب‌های ناگهانی است. تغییرات روند زمانی تعدادی از شاخص‌های هیدرولوژیکی در شکل ۳ نمایش داده است.


Trend Analysis of Hydrological Indicators
Baseflow
Tau: -0.64
P-value: 0
Datemax
Tau: 0.23
P-value: 6e-04
Hipulse
Tau: -0.03
P-value: 0.7641
HipulseL
Tau: -0.02
P-value: 0.8279
Reversals
Tau: -0.48
P-value: 0
Riserate
Tau: 0.37
P-value: 0.0013
X90.daymax
Tau: -0.17
P-value: 0.0428
X90.daymin
Tau: -0.47
P-value: 0
Value
year



شکل۳: نمودار تغییرات روند برخی از شاخص‌های هیدرولوژیکی

بررسی روند زمانی شاخص‌های هیدرولوژیکی نشان می‌دهد که بسیاری از شاخص‌های مرتبط با جریان کم مانند (daymin–۷ و daymin–۹۰) دارای روند نزولی بوده‌اند که در برخی موارد از نظر آماری معنادار است. این روند کاهشی، بیانگر کاهش پایداری جریان‌های پایه و افزایش احتمال وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی در سال‌های اخیر است. از سوی دیگر، شاخص‌هایی مانند daymax–۷، Hipulse و Reversals در برخی دوره‌ها روند افزایشی داشته‌اند که می‌تواند نشانه‌ای از افزایش فراوانی و شدت رخدادهایی نظیر سیلاب‌ها باشد. چنین روندهایی ممکن است بازتابی از تغییرات اقلیمی منطقه، تمرکز بارش‌ها در دوره‌های کوتاه‌تر و کاهش نفوذپذیری حوضه باشد. به‌طور کلی، الگوی مشاهده‌شده در شاخص‌ها، حاکی از افزایش ناپایداری رژیم جریان و تغییر در ماهیت جریان‌های سطحی طی دهه‌های اخیر است که می‌تواند پیامدهای مهمی برای مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت داشته باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تغییرات معنادار در رژیم جریان رودخانه سیمینه‌رود در ایستگاه داشبند بوکان است که تحت تأثیر عوامل مختلف طبیعی و انسانی قرار دارد. با استفاده از مدلIHA ، تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی در ایستگاه هیدرومتری داشبند مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که روند کلی جریان‌ها در این حوضه به سمت کاهش است. به‌ویژه، کاهش قابل توجهی در دبی‌های ماهانه و پیک‌های سیلابی مشاهده شد که نشان‌دهنده تأثیرات تعدیلی جریان به‌ویژه در بازه‌های زمانی طولانی‌تر است. این تغییرات به‌وضوح نشان‌دهنده روند کاهش جریان‌های بالا و پایداری نسبی جریان‌های

پایه در دوره‌های خشک است. تحلیل روند هیدرولوژیکی حوضه داشبند بوکان نشان‌دهنده کاهش شدید دبی در ماه‌های سرد و بهار (به‌ویژه مارس و آوریل با شیب ۰/۴۷۶- و ۰/۶۷۲-) و افزایش معنادار روزهای خشکی (شیب ۳/۴) است که نشان‌دهنده تشدید خشکسالی و کاهش ذخیره آب ناشی از کاهش بارش‌های زمستانه و تغییر الگوی ذوب برف می‌باشد. همچنین، کاهش مداوم دبی‌های حداقل (با شیب ۰/۰۱- تا ۰/۰۱۹-) حاکی از کم‌آبی مزمن و احتمالاً کاهش تغذیه آبخوان‌ها است. در مقابل، دبی‌های حداکثر تغییر معناداری نداشته‌اند که می‌تواند نشان‌دهنده تغییر نیافتن رخداد سیلاب‌های شدید باشد. افزایش نوسانات دبی (شیب ۰/۰۲۱) و تأخیر در زمان وقوع جریان حداکثر (شیب ۰/۷) نیز ممکن است ناشی از تغییرات اقلیمی یا مدیریت نادرست منابع آب در حوضه باشد. به‌طور کلی، این روندها هشداردهنده کاهش پایدار منابع آب سطحی و نیاز فوری به برنامه‌ریزی برای سازگاری با شرایط خشک‌تر است. روند تغییرات برخی شاخص‌ها نشان‌دهنده افزایش نوسانات هیدرولوژیکی و بی‌ثباتی در رژیم جریان رودخانه است که ممکن است ناشی از تأثیرات تغییرات اقلیمی و یا فعالیت‌های انسانی نظیر انحراف و برداشت‌های زیاد از منابع آب و تغییرات احتمالی در کاربری اراضی باشد. این نتایج نشان می‌دهند که رژیم جریان رودخانه سیمینه‌رود در ایستگاه داشبند در سال‌های اخیر دستخوش تغییرات قابل توجهی شده است و این تغییرات می‌تواند تهدیدی جدی برای اکوسیستم‌های آبی و هم‌چنین تأمین آب در آینده باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که جریان رودخانه در حوضه داشبند بوکان به‌ویژه در ماه‌های بهار کاهش معناداری داشته، تعداد روزهای بدون جریان و مدت زمان دوره‌های کم‌آبی افزایش یافته، زمان وقوع جریان‌های حداکثر به تأخیر افتاده و نوسانات جریان بیشتر شده است، همچنین جریان پایه رودخانه به‌صورت مداوم کاهش یافته است. برای تکمیل این یافته‌ها پیشنهاد می‌شود ارتباط بین تغییرات جریان رودخانه و پارامترهای اقلیمی بررسی شود، اثرات فعالیت‌های انسانی و تغییر کاربری اراضی بر رژیم آبی حوضه تحلیل گردد و مدل‌های پیش‌بینی جریان با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف تغییر اقلیم توسعه یابد. در بخش مدیریتی لازم است الگوی تخصیص آب بازنگری شده و نیازهای زیست‌محیطی در اولویت قرار گیرد و مدیریت یکپارچه منابع آب سطحی و زیرزمینی در دستور کار قرار گیرد. در مجموع باید سیاست‌های مدیریت منابع آب با توجه به تغییرات اقلیمی به‌روزرسانی شوند و اجرای راهکارهای سازگاری با مشارکت جوامع محلی و ذینفعان انجام پذیرد تا اثربخشی بیش‌تری داشته باشد. لذا، ضرورت مدیریت منابع آب و اتخاذ سیاست‌های بهینه برای حفاظت از جریان‌های طبیعی و پایدار در این حوضه ضروری پیشنهاد می‌شود.

منابع

اصغری سراسکانرود، ص، پیروزی، ا. (۲۰۲۱). بررسی اثرات احداث سد سهند بر شرایط هیدرولوژیکی رودخانه و تحلیل تغییرات شکل هندسی مجرای قرانقوچای (از بازه پایین‌دست سد سهند تا روستای خراسانک). فرسایش محیطی، ۱۱(۳): ۱۲۲-۹۹.

بهره‌مند، ع.، همدمی، ق.، صنیعی، ا. ۲۰۱۴. تحلیل روند تغییرات بلندمدت بارندگی و دبی در غرب دریاچه ارومیه. مدیریت حوزه آبخیز. ۴ (۸): ۴۳-۵۷.

پیروزی، ا.، مددی، ع.، اصغری سراسکانرود، ص. ۱۳۹۹. بررسی تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی رودخانه گیوی‌چای ناشی از احداث سد گیوی. جغرافیا و توسعه، ۱۸(۶۱): ۵۸-۲۹.

رضایی زمان، م.، مرید، س.، دلاور، م.، ۱۳۹۲. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هیدروکلیماتولوژی حوضه سیمینه رود. آب و خاک، ۲۷(۶): ۱۲۵۹-۱۲۴۷.

نصیری خیاوی، ع.، مصطفی‌زاده، ر.، اسمعلی عوری، ا.، غفارزاده، ا.، و گلشن، م. ۱۳۹۸. تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه بالخلوچای ناشی از تأثیر ترکیبی تغییر مولفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی اردبیل با استفاده از رویکرد دامنه تغییرپذیری. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۴(۱۱): ۸۵۱-۸۶۵.

ناظری تهرودی, احمدی، فرشاد، خلیلی. (۲۰۱۸). بررسی تغییرات ۳۰ ساله دبی جریان رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۲(۲): ۴۳۳-۴۲۴.

نگهبان،سعید و مکرم،مرضیه . (۱۴۰۳). ارتباط طبقه بندی شکل زمین ، کاربری اراضی و مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی در استان بوشهر .*پژوهشهای ژئومورفولوژی کمّی*، ۱۳(۱)، ۷۹-۶۴.

مصطفی‌زاده، ر.، اسفندیاری‌درآباد، ف.، محمدی‌راد، ل.، حاجی، خ. ۱۳۹۹. تغییرات کمی و مقایسه آماری شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای بعد از احداث سد یامچی اردبیل. محیط زیست و مهندسی آب، ۲(۶): ۱۲۱-۱۰۷.

Asghari Saraskanrood, S., & Piroozi, E. (2021). Investigation of the effects of construction of Sahand dam on the hydrological conditions of the river and analysis of changes in the geometric shape of Qaranqoochay canal (from the lower reaches of Sahand dam to Khorasanak village). *Environmental Erosion Research Journal*, *11*(3), 99-122.

BAHREMAND, A., HAMDAMI, G., & SANIYI, E. (2014). Long-term changes trend analysis in rainfall and discharge in West Lake Urmia.

Bradford, M. J., & Heinonen, J. S. (2008). Low flows, instream flow needs and fish ecology in small streams. Canadian Water Resources Journal, 33(2), 165–180.

Cheng, J.X., Xu, L.G., Wang, X.L., Jiang, J.H., & You, H.L. (2018). Assessment of hydrologic alteration induced by the Three Gorges Dam in Dongting Lake, China. River Research and Applications, 34, 686–696. https://doi.org/10.1002/rra.3297.

Delju, A.H., Ceylan, A., Piguet, E., & Rebetez, M. (2013). Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin: Iran. Theoretical and Applied Climatology, 111, 285–296.

Dey, P., & Mishra, A. (2017). Separating the impacts of climate change and human activities on streamflow: A review of methodologies and critical assumptions. Journal of Hydrology, 548, 278–290.

Esfandyari Darabad, F., Mostafazadeh, R., Shahbazi Sharfeh, Z., & Zabihi Silabi, M. (2024). Assessing River Hydrological Health Before and After Dam Construction: A Quantitative Flow Regime Analysis. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 1–13.

Fang, G., Yan, M., Dai, L., Huang, X., Zhang, X., & Lu, Y. (2023). Improved indicators of hydrological alteration for quantifying the dam-induced impacts on flow regimes in small and medium-sized rivers. Science of the Total Environment, 867, 161499.

Field, A. (2013). Discovering statistics using IBM SPSS statistics (4th ed.). SAGE Publications.

Homsi, R., Shiru, M.S., Shahid, S., Ismail, T., Bin Harun, S., Al-Ansari, N., Chau, K., & Yaseen, Z.M. (2020). Precipitation projection using a CMIP5 GCM ensemble model: a regional investigation of Syria. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 14, 90–106.

Jaya, R.P. (2021). Study Effectiveness Sabo Dam on Reducing Flood in Way Leman River. In Proceedings of the International Conference on Civil, Offshore and Environmental Engineering, 174–179.

Kumar, A., Tripathi, V. K., Kumar, P., & Rakshit, A. (2023). Assessment of hydrologic impact on flow regime due to dam inception using IHA framework. Environmental Science and Pollution Research, 30(13), 37821–37844.

Li, R., Chen, Q., Tonina, D., & Cai, D. (2015). Effects of upstream reservoir regulation on the hydrological regime and fish habitats of the Lijiang River, China. Ecological Engineering, 76, 75–83.

Liu, Y., Liu, F., Chen, C., Chen, Q., Zhang, J., Mo, K., ... & Yao, S. (2024). A holistic approach to projecting streamflow and analyzing changes in ecologically relevant hydrological indicators under climate and land use/cover change. Journal of Hydrology, 632, 130863.

Mostafazadeh, R., & Azizi, E. (2025). Determination of river flow and sediment regime changes in response to construction of regulating dams: an indicator-based approach. Environmental Earth Sciences, 84(1), 1–14.

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., ESMALI, O. A., Ghafarzadeh, O., & GOLSHAN, M. (2020). Alteration of hydrologic flow indicators in Ardabil Balikhlouchai River under combined effects of change in climatic variables and Yamchi Dam construction using range of variability approach: 851-865

Mostafazadeh, R., Zabihi Silabi, M., Azizi Mobaser, J., & Moezzipour, B. (2024). Index-based alteration of long-term river flow regimes influenced by land use change and dam regulation. Earth, 5(3), 404-419.

Nazeri-Tahroudi, M., Ahmadi, F., & Khalili, K. (2018). Evaluation of 30 years changing of river flow discharges in Urmia Lake Basin. Iranian Journal of Irrigati

Nazeri-Tahroudi, M., Ahmadi, F., & Khalili, K. (2018). Evaluation of 30 Years changing of River Flow Discharges in Urmia Lake Basin. Iran Journal of Irrigation and Drainage, 12(2), 424–433.

Patterson, L.A., Lutz, B., & Doyle, M.W. (2013). Climate and direct human contributions to changes in mean annual streamflow in the South Atlantic, USA. Water Resources Research, 49(11), 7278–7291.

Pirouzi, E., Madadi, A., & Asghari Saraskanroud, S. (2020). Investigation of Hydrological and Morphological Changes in Givi chay Due to the Construction of Givi Dam. *Geography and Development*, *18*(61), 29-58.

Poff, N. L., & Zimmerman, J. K. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. Freshwater Biology, 55(1), 194–205.

Poff, N. L., Richter, B. D., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Naiman, R. J., Kendy, E., ... & Warner, A. (2010). The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards. Freshwater Biology, 55(1), 147–170.

REZAEE, Z. M., Morid, S., & Delavar, M. (2014). Impact of climate change on water resources on Simineh Rud Basin and Its Inflows to Lake Urmia.

Rezaei, M., Khaleghi, S., & Hosseinzadeh, M. M. (2023). Determination of the hydrological changes of Taleghan River Based on IHA indices. Hydrogeomorphology, 10(37), 157–139.

Sharafati, A., & Pezeshki, E. (2020). A strategy to assess the uncertainty of a climate change impact on extreme hydrological events in the semi-arid Dehbar catchment in Iran. Theoretical and Applied Climatology, 139, 389–402. https://10.1007/s00704-019-02979-6

Smakhtin, V., & Anputhas, M. (2006). An assessment of environmental flow requirements of Indian river basins. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 42 p.

The Nature Conservancy. (2009). Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual. 81 pp. Available online at: https://www.conservationgateway.org

Ye, X.C., Zhang, Q., Liu, J., Li, X.H., & Xu, C.Y. (2013). Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China. Journal of Hydrology, 494, 83–95.

Zhang, Q., Gu, X., Singh, V. P. & Chen, X. (2015). Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. Journal of Hydrology, 529, 711-722.

Zhao, C.P., Huang, Y.H., Li, Z.H., & Chen, M.X. (2018). Drought Monitoring of Southwestern China Using Insufficient GRACE Data for the Long-Term Mean Reference Frame under Global Change. Journal of Climate, 31, 6897–6911. https://10.1175/JCLI-D-17-0869.1

Zhong, R., He, Y., & Chen, X. (2018). Responses of the hydrological regime to variations in meteorological factors under climate change of the Tibetan plateau. Atmospheric Research, 214, 296–308.