

Research Paper



Analysis of Check-dam effects on flow duration curve alteration of the Zarcheshmeh River- Hoonejan watershed, Isfahan Province



Razieh Izanloo¹, Siamak Dokhani*², Ebrahim Omidvar³



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI: 10.22034/HYD.2023.56749.1696

Reference to this article: Izanloo, R; Dokhani, S; Omidvar, E. (2023). Analysis of Check-dam effects on flow duration curve alteration of the Zarcheshmeh River- Hoonejan watershed, Isfahan Province. *Hydrogeomorphology*, 10(35): 120-135.

Keywords

IHA, watershed structure, water resources management, human activities, damming

Receive Date: 2023/05/22

Accept Date: 2023/06/26

Available: 2023/07/21

ABSTRACT

The damming can cause changes in the hydrological regime of the river. There is a crucial need to understand the potential impacts of water structures on river hydrologic regimes in order to set managed environmental flows. In this study, the statistics of Tang Esferjan hydrometric station at the outlet of Hoonejan watershed (Isfahan province) were used to investigate the monthly average discharge and flow duration curve alteration using IHA software (version 7.1). The amount of monthly flow has decreased in the post impact compared to the pre impact period. The flow duration curve is higher in all seasons before the construction of check-dams than after construction. The interpretation of flow duration curves shows the reducing effect of correction clauses in all types of flow. The hydrological indicators of the stream (normal discharge index in the high flow condition, normal discharge index in the low flow condition and normal discharge index) have decreased in the post-impact period compared to the pre-impact period. In all months of the year, except for February, March and April, the rate of decrease of the normal discharge index in the low flow condition (Q75) was higher than the normal discharge index in the high flow condition (Q25). The normal discharge index in the high flow condition has decreased more in the spring season than in other seasons after damming. The normal discharge index in the low flow condition in winter, autumn (91%) and summer (90%) has decreased more than in spring.

* Corresponding Author: Siamak Dokhani

E-mail: siamakdokhani@gmail.com

1. Ph.D Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran.

2. Assistant Professor of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran.

3. Associate Professor of Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran.

Extended Abstract

1- Introduction

Human activities, such as damming and reservoir construction, cause many changes in the hydrological state of stream flow so that the created hydrological regime is significantly different from the hydrological regime of the natural stream flow. (Sojka et al., 2016: 119; Yan et al., 2010: 507). Changing the flow regime can affect water quality, energy resources, physical habitat, and maintaining the function and diversity of water-related habitats (Sojka et al., 2016: 120; Suen, 2011: 818 and Zhou and Liang, 2015: 275). Considering the important role of rivers in human life as one of the important sources of surface water, it is necessary to investigate the human impact on the river ecosystem (Ali et al., 2010: 1; Esfandiari et al., 2018: 58). The IHA index proposed by Richter et al. (Richter et al., 1996: 1163) is one of the most widely used indices in evaluating the effects of human activities, such as the regulation of dams and agricultural diversion, as well as climate changes on river flow regimes. One of the important parameters in hydrology is the flow duration curve (FDC), which has been widely used in the hydrological field due to its simple calculation procedure (Tian et al., 2019: 6).

In this research, therefore, the indicators of average values of monthly flow and the FDC were examined and compared in two statistical periods - before and after the construction of check-dams - using IHA7 software with the daily discharge statistics of the Tang-Esfarjan hydrometric station.

2- Methodology

The Hoonejan watershed with an area of 274.70 square kilometers is located 60 kilometers south of Shahreza City. The main drain of this watershed is the Zarcheshmeh River.

In this research, the daily discharge data of the Teng Esfarjan hydrometric station (located downstream of the Check-dams of the Hoonejan watershed) were used over a statistical period of 23 years (1994-2018). To investigate the climate change situation in the study area, the presence of trends in the climatic variables of precipitation was investigated using MAKESENSE software. According to the results of the trend test, a significant change in the climatic variable of precipitation was obtained only in winter (January), but there was no significant annual trend in the variable of precipitation. Therefore, only the effect of check-dams on the changes in FDCs was analyzed in this research. To investigate the changes in the hydrological regime affected by the check-dams in the Hoonejan watershed, monthly flows and FDCs were calculated using IHA7 software. With this software, FDCs can be calculated and drawn separately for each analysis period (for single-period and two-period analyses) (Model Manual, 2005: 2).

3- Results and Discussion

According to the results of changes in the monthly flow index, the flow rate has decreased after the construction of check-dams. The FDC in December shows that the normal discharge index has decreased by about 55% in the high-flow condition, and the normal discharge index has decreased by about 88% in the low-flow condition.

The FDC in March shows that the normal discharge index has decreased by about 90% in the high-flow condition, and the normal discharge index has decreased by about 73% in the low-flow condition.

The FDC in June shows that the normal discharge index has decreased by about 60% in the high-flow condition, and the normal discharge index has decreased by about 66% in the low-flow condition.

The annual FDC shows that the annual normal discharge index in the high-flow condition has decreased by 86% with the construction of check-dams (which has reduced the annual normal discharge index in the high-flow condition). The annual normal discharge index in the low-flow condition has decreased by about 80% with the construction of check-dams.

The highest decrease in the normal discharge index in the low-flow condition was in October and January. The lowest decrease rate in the normal discharge index in the low-flow condition was in April. The normal

discharge index in the high-flow condition has the highest decrease (about 90%) in March and the lowest decrease (55%) in November, December, and May.

4- Conclusions

The FDC before the construction of check-dams is higher than that after their construction in the whole season. It shows that the discharge in the period before the construction is greater at any point of probability than that after their construction.

In general, the flow hydrological indicators (the normal discharge index, the normal discharge index in the low-flow condition, and the normal discharge index in the high-flow condition) decrease in the post-construction period compared to the pre-construction period, which is consistent with the results of Tian et al. (2019: 8) and Gao et al. colleagues (2015: 2408).

The decrease of the normal discharge index in the low-flow condition (Q75) was more than its reduction in the high-flow condition (Q25) in all months of the year, except for February, March, and April. It should be noted that these two indicators decreased by a certain amount in July. The results of Tian et al. (2019: 6) also showed that the reduction rate of low flow (Q90) was higher than high flow (Q10) at six gauging stations. The results obtained by Gao et al. (2015: 2409) also showed that high and median flows decreased significantly in the Yanhe River basin during 1953-2010, compared to the increased low flow index.

The results of the research showed that the check-dams were 55-90% effective in reducing the normal discharge index in the high-flow condition in spring. Besides, they had a 55-73% effect on the normal discharge index in the low-flow condition. Check-dams have been more effective in reducing the normal discharge index in the high-flow condition in spring than in other seasons. Therefore, at the beginning of spring, when the vegetation cover in these areas is low and the risk of flooding is much higher, check-dams can have a significant effect in reducing floods. Similarly, Gao et al. (2015: 2408) pointed out the reduction of high flow for all seasons due to the construction of various structures.

The check-dams were 55-84% effective in reducing the normal discharge in the high-flow condition in winter. Moreover, they had an effect of 73-91% on the normal discharge in the low-flow condition. Check-dams were 60-82% effective in reducing the normal discharge in the high-flow condition in summer. They had an effect on the normal discharge in the low flow condition by 66-90%. Therefore, check-dams had a significant effect on available water for agriculture in the growing season, which should be considered in the planning of water resources management. Gao et al. (2015: 2409) concluded that high and average flows in summer decreased by 32%, but the low flow had no change in summer.

Check-dams were 55-76% effective in reducing the normal discharge in the high-flow condition in autumn. They had an effect of 83-91% on the normal discharge in the low-flow condition. The effect of check-dams on the normal discharge in high and low flow conditions should be taken into consideration in planning for dry seasons, cultivation, and flood planning by planners and decision-makers.

5- References

- Ali, Rawshan, Alban Kuriqi, Shadan Abubaker, and Ozgur Kisi. (2019). Hydrologic Alteration at the Upper and Middle Part of the Yangtze River, China: Towards Sustainable Water Resource Management under Increasing Water Exploitation. *Sustainability (Switzerland)* 11(19).
- Esfandyari, F., Mostafazadeh, R., Shahmoradi, R., Nasiri Kh. A. (2019). The Analysis of the Changes of the Hydrological Flow Indices Affected by Dam Construction in Zarrinehrood and Saruqchai Rivers of West Azerbaijan Province. *Hydrogeomorphology*, 5(18), 57-77.
- Gao, Peng et al. (2015). Streamflow Regimes of the Yanhe River under Climate and Land Use Change, Loess Plateau, China. *Hydrological Processes*, 29(10), 2402-13.
- Manual, User. (2005). Indicators of Hydrologic Alteration (IHA). *Encyclopedia of Hydrological Sciences* (April).
- Richter, Brian D., Jeffrey V. Baumgartner, Jennifer Powell, and David P. Braun. (1996). A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4), 1163-74.
- Sojka, Mariusz, Joanna Jaskuła, Joanna Wicher-Dysarz, and Tomasz Dysarz. (2016). Assessment of Dam Construction Impact on Hydrological Regime Changes in Lowland River-A Case of Study: The Stare Miasto Reservoir Located on the Powa River. *Journal of Water and Land Development*, 30(1), 119-25.
- Suen, Jian Ping. (2011). Determining the Ecological Flow Regime for Existing Reservoir Operation. *Water Resources Management*, 25(3), 817-35.
- Tian, Xiaojing et al. (2019). Hydrologic Alteration and Possible Underlying Causes in the Wuding River, China. *Science of the Total Environment*, 693, 1335-56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.362>.
- Zuo, Qingting, and Shikui Liang. (2015). Effects of Dams on River Flow Regime Based on IHA/RVA. In *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, 275-280.

مقاله پژوهشی



تحلیل اثر احداث بندهای اصلاحی بر تغییرات منحنی تداوم جریان رودخانه زرچشمه، حوضه آبریز هونجان، استان اصفهان



راضیه ایزانلو^۱، سیامک دخانی^{۲*}، ابراهیم امیدوار^۳



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایت کاملاً قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: ایزانلو، رضیه؛ دخانی، سیامک؛ امیدوار، ابراهیم (۱۴۰۲). تحلیل اثر احداث بندهای اصلاحی بر تغییرات منحنی تداوم جریان رودخانه زرچشمه، حوضه آبریز هونجان، استان اصفهان. هیدروژنومورفولوژی، ۱۰ (۳۵): ۱۲۰-۱۳۵.

DOI: 10.22034/HYD.2023.56749.1696



چکیده

احداث سدها و بندها می‌تواند باعث ایجاد تغییرات در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه شود. به منظور تنظیم جریان‌های محیط‌زیستی مدیریت شده درک تأثیرات بالقوه همه‌ی ساختارهای آبی بر رژیم‌های هیدرولوژیکی رودخانه ضروری است. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات کمی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای در اثر ساخت بندهای اصلاحی احداث شده در حوضه آبریز هونجان (استان اصفهان) بود. بدین منظور از آمار ۲۳ ساله‌ی دبی (۲۰۱۸-۱۹۹۴) ایستگاه هیدرومتری تنگ اسفرجان در خروجی حوضه آبریز هونجان استفاده شد. مقادیر ماهانه دبی (در ماه‌های اول هر فصل) و منحنی‌های تداوم جریان رودخانه زرچشمه (سالانه و ماهانه) در دوره‌های قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی با استفاده از نرم‌افزار IHA نسخه ۷.۱ محاسبه شدند. بر اساس شاخص مقدار جریان ماهانه نتایج نشان داد که مقدار جریان ماهانه در دوره بعد از احداث بندهای اصلاحی نسبت به دوره قبل از احداث کاهش داشته است. منحنی تداوم جریان در تمام فصل‌ها قبل از احداث بندهای اصلاحی بالاتر از حالت بعد از احداث قرار می‌گیرد. تفسیر منحنی‌های تداوم جریان بیانگر اثر کاهش بندهای اصلاحی در همه‌ی انواع جریان‌های سطحی بررسی شده در IHA است. شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان (شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی، شاخص دبی نرمال در حالت کم‌آبی، شاخص دبی عادی)، در دوره بعد از احداث نسبت به دوره قبل از احداث کاهش داشته است. در تمام ماه‌های سال به غیر از ماه‌های فوریه، مارس و آوریل نرخ کاهش شاخص دبی نرمال در حالت کم‌آبی (Q75) بیش‌تر از شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی (Q25) بود. شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی بعد از احداث بندهای اصلاحی در فصل بهار بیش‌تر از سایر فصل‌ها کاهش داشته است. شاخص دبی نرمال در حالت کم‌آبی در فصل زمستان و پاییز (۹۱ درصد) و تابستان (۹۰ درصد) کاهش بیش‌تری نسبت به بهار داشته است. در برنامه‌ریزی برای فصل‌های خشک، کشت و برنامه‌ریزی سیلاب باید اثر بندهای اصلاحی بر روی دبی‌های نرمال کم‌آبی و پرآبی مورد توجه برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها

IHA، سازه‌های آبخیزداری، مدیریت منابع آب، فعالیت‌های انسانی، احداث سد، حوضه آبریز هونجان، استان اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰

* نویسنده مسئول: سیامک دخانی

رایانامه: siamakdokhani@gmail.com

- ۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران.
- ۲- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران.
- ۳- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران.

۱- مقدمه

فعالیت‌های انسانی مانند ساخت و بهره‌برداری از سدها و ساخت‌وساز مخازن باعث ایجاد تغییرات زیادی در وضعیت هیدرولوژیک جریان رودخانه می‌گردند به طوری که رژیم هیدرولوژیک ایجاد شده به طور قابل توجهی با رژیم هیدرولوژیک جریان طبیعی رودخانه‌ها (قبل از اثر فعالیت‌ها) تفاوت دارد (سوجکا^۱ و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۱۹؛ یان^۲ و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۰۷). تقریباً ۵۰ درصد از رودخانه‌ها و نهرها در سراسر جهان از نظر هیدرولوژیک از حالت طبیعی خود تغییر یافته‌اند و نشانه‌هایی از تغییر در رژیم‌های جریان رودخانه را نشان می‌دهند (مک مانامی^۳ و همکاران، ۲۰۲۰: ۷). تغییر رژیم جریان می‌تواند بر کیفیت آب، منابع انرژی، زیستگاه فیزیکی، حفظ عملکرد و تنوع زیستگاه‌های مرتبط با آب تأثیرگذار باشد (سوجکا و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۲۰؛ سونن^۴، ۲۰۱۱: ۸۱۸ و زو و لیانگ^۵، ۲۰۱۵: ۲۷۵). همچنین تهدیدهای قابل توجهی برای گونه‌های وحشی ایجاد کند و به این ترتیب منجر به اثرات نامطلوب در محیط طبیعی رودخانه‌ها گردد (یان و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۱۵). رودخانه‌ها در حالی که توسعه جوامع را امکان‌پذیر می‌کنند، دو عملکرد اصلی سیستم نظارتی زمین را حفظ می‌کنند: حفظ چرخه هیدرولوژیک و ایجاد زیستگاه برای اکوسیستم‌های آب شیرین (ویرکی^۶ و همکاران، ۲۰۲۱: ۲). با توجه به نقش مهم رودخانه‌ها در زندگی بشر به عنوان یکی از منابع مهم آب‌های سطحی بررسی تأثیر انسان بر اکوسیستم رودخانه ضروری است (علی^۷ و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۰۲۰؛ اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۸: ۵۸؛ محمدی و مهتدی، ۱۴۰۱: ۸۷). در اغلب نقاط کشور ایران، رودخانه‌ها بر اثر دخالت‌های انسانی مانند احداث سد، انتقال آب بین حوضه‌ای، افزایش میزان بهره‌برداری از منابع آب برای مصارف کشاورزی و شهری، تغییرات چشمگیری یافته‌اند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۵۸ و نادری و همکاران، ۱۳۹۹: ۷۶۶). بنابراین، به منظور تنظیم جریان‌های زیست‌محیطی مدیریت شده واقع‌بینانه و اهداف اکولوژیک آنها، نیاز اساسی به درک اثرات ناشی از عملیات مخزن و تغییرات آب‌وهوایی پیش‌بینی شده وجود دارد (ماسکی^۸ و همکاران، ۲۰۲۲: ۲).

کمی‌سازی دقیق‌تر اثرات انسانی بر دبی بر اساس تعداد زیادی از شاخص‌های مختلف انجام می‌شود (ویرکی و همکاران، ۲۰۲۱: ۳). IHA یکی از شاخص‌های بسیار پرکاربرد در ارزیابی اثرات فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب‌وهوایی بر رژیم‌های جریان رودخانه است که توسط ریشتر و همکاران (ریشتر^۹ و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۱۶۳) پیشنهاد شد. شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیک (IHA) گروهی از پنج متغیر هیدرولوژیک مربوط به عملکرد-های مختلف است که اطلاعات هیدرولوژیک را به شیوه‌ای جامع، علمی، ساده و با کاربرد آسان مشخص می‌کنند (هان^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۲: ۲). مطالعات زیادی از این شاخص به منظور درک تغییرات هیدرولوژیک ناشی از تغییرات آب‌وهوایی و فعالیت‌های انسانی استفاده کرده‌اند. به طور مثال اودی کومار و جایا کومار^{۱۱} (۲۰۲۰: ۱) در رودخانه وودینگ از IHA برای محاسبه تغییرات هیدرولوژیک در امتداد حوضه رودخانه کریشنا^{۱۲} میانی و تحتانی استفاده کردند و ۳۳ پارامتر اکولوژیک را برای درک تأثیر سدها بر پایین‌دست جریان اکولوژیک و مقایسه داده‌های دبی در دو دوره قبل و بعد از اثر سدها ارزیابی کردند. لی^{۱۳} و همکاران (۲۰۲۲: ۱)، وضعیت هیدرولوژیک رودخانه داون^{۱۴} چین را در نتیجه فعالیت‌های انسانی با استفاده از IHA/RVA مورد بررسی قرار دادند.

گو^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۲: ۱) درجه تغییرات هیدرولوژیک رودخانه جیالینگ^{۱۶} چین و سهم تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی را در تغییرات هیدرولوژیک با استفاده از IHA ارزیابی کردند. خیایوی^{۱۷} و همکاران (۲۰۲۲: ۲)، به منظور شناسایی حوضه‌های آبریز بحرانی شاخص‌های تغییرات هیدرولوژیک و مولفه‌های جریان محیط‌زیستی را تحت تأثیر سد با استفاده از IHA کمی کردند. این مطالعات اهمیت تأثیر تغییر آب‌وهوا و فعالیت‌های انسان بر رژیم هیدرولوژیک رودخانه را به خوبی نشان می‌دهد. اما مطالعات کمتری به بررسی بخش منحنی‌های تداوم جریان (FDCs)^{۱۸} به‌دست آمده از طریق نرم‌افزار IHA پرداخته‌اند.

منحنی تداوم جریان یکی از تکنیک‌های اصلی مورد استفاده برای مطالعه تغییرات رژیم‌های جریان و دبی جریان در هر حوضه رودخانه است که یک نمایش گرافیکی از تغییرات تاریخی مشاهده شده جریان‌های رودخانه‌ای را با وضوح‌های زمانی مختلف مانند روزانه، هفتگی، ماهانه، و فصلی در اختیار قرار می‌دهد (ورما^{۱۹} و همکاران، ۲۰۱۶: ۱). جریان‌های رودخانه‌ای به طور گسترده‌ای در طول یک سال تغییر می‌کنند که این تغییرپذیری را می‌توان با استفاده از منحنی‌های تداوم جریان ارزیابی کرد (شارما^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۱۱۴). در این تحقیق شاخص‌های مقادیر متوسط ماهانه جریان و منحنی تداوم جریان در دو دوره آماری قبل از اثر و بعد از اثر احداث بندهای اصلاحی با استفاده از نرم‌افزار IHA7 با آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری تنگ اسفرجان در پایین‌دست بندهای اصلاحی رودخانه زرچشمه مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند.

1- Sojka
2 - Yan
3 - McManamay
4 - Suen
5 - Zuo and Liang
6 - Virkki
7 - Ali

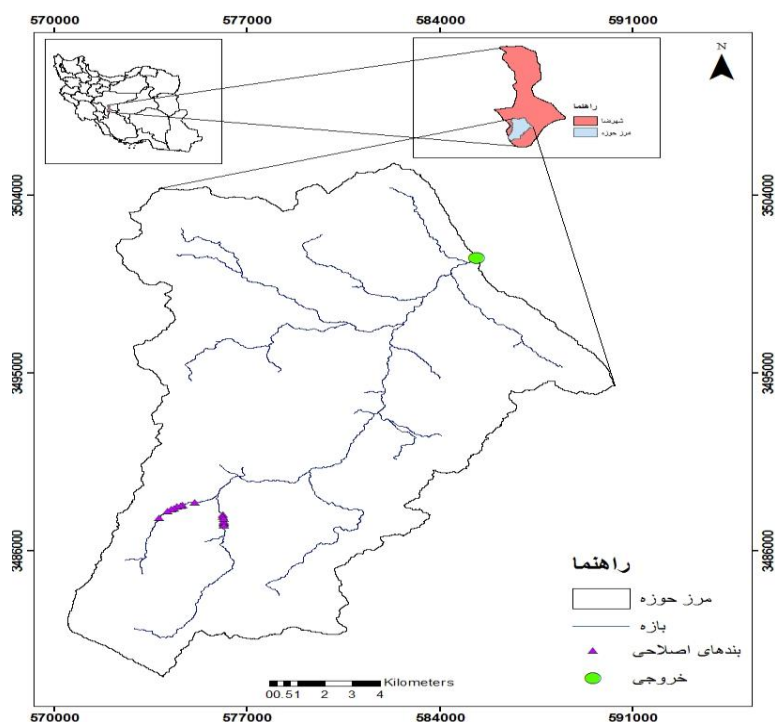
8 - Maskey
9 - Richter
10 - Han
11 - Uday Kumar and Jayakumar
12 - Krishna
13 - Li
14 - Dawen

15 - Guo
16 - Jialing
17 - Khiavi
18 - Flow Duration Curve
19 - Verma
20 - Sharma

۲- مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز هونجان با مساحتی بالغ بر ۲۷۴/۷۰ کیلومتر مربع در ۱۴۵ کیلومتری جنوب مرکزی استان و ۶۰ کیلومتری جنوب شهرستان شهرضا در حد فاصل مشخصات جغرافیایی، بین طول‌های ۵۷۰۴۵۰ تا ۵۹۰۳۵۰ شرقی و عرض ۳۴۷۹۶۱۶ تا ۳۵۰۵۶۵۳ شمالی در استان اصفهان قرار گرفته است. زهکش اصلی حوضه آبریز رودخانه‌ی زرچشمه است. این رودخانه که نام‌های دیگر آن رود هونجان و رود اسفرجان است از ارتفاعات حوزه سرچشمه گرفته، از دره تنگی به نام تنگ زرچشمه گذشته و وارد بخش اسفرجان می‌شود و پس از مشروب نمودن اراضی آن در دشت‌های جنوبی شهرضا در جهت شمال جاری می‌شود و در نهایت به رودخانه قمشه می‌ریزد. حوضه آبریز هونجان از نوع حوضه باز بوده و خروجی یا نقطه تمرکز آن در قسمت شمالی حوضه با ارتفاع ۲۴۳۵ متر از سطح دریا واقع شده اند. این حوضه دارای بیش‌ترین ارتفاع ۳۷۶۷ متر و پایین‌ترین ارتفاع ۲۴۳۵ متر و ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۵۰ متر نسبت به سطح آزاد دریا می‌باشد. همچنین شیب متوسط حوضه آبریز هونجان ۰/۰۹ درصد است. با توجه به توپوگرافی شرایط محلی می‌توان گفت که وضعیت آب‌وهوایی محدوده مورد مطالعه متأثر از ویژگی‌های متفاوت اقلیمی است. حداکثر دمای سالانه ۲۰.۳ درجه سانتی‌گراد و دمای حداقل سالانه ۳/۳ درجه سانتی‌گراد است. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه شده در استان اصفهان و ایران و همچنین، موقعیت ایستگاه هیدرومتری و مکان بندهای اصلاحی موجود در منطقه مطالعه شده را نشان می‌دهد (مطالعات جامع تفصیلی حوضه آبریز هونجان).



شکل (۱): نقشه موقعیت منطقه و مکان بندهای اصلاحی در استان اصفهان
 Fig (1): Location of the study area and check-dams in Isfahan province

روش تحقیق

در تحقیق حاضر از آمار دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری تنگ اسفرجان واقع در پایین‌دست بندهای اصلاحی حوضه آبریز هونجان با دوره آماری ۲۳ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۴) استفاده شده است. به منظور بررسی تغییرات رژیم هیدرولوژیکی متأثر از بندهای اصلاحی در حوضه آبریز هونجان شاخص‌های مقادیر متوسط ماهانه جریان و منحنی تداوم جریان با استفاده از نرم‌افزار IHA7 استفاده شدند. چون بهره‌برداری از بندهای اصلاحی از سال ۲۰۱۰ شروع شده است، لذا این سال به عنوان نقطه شروع تغییرات هیدرولوژیکی در نظر گرفته شد. بنابراین جریان‌های روزانه ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری یادشده از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۹ به عنوان دوره با رژیم جریان طبیعی (قبل از احداث بندهای اصلاحی) و سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ به عنوان دوره با رژیم جریان تغییر یافته (پس از احداث بندهای اصلاحی) تقسیم می‌شود. پس از انتخاب آمار هیدرومتری، مقادیر ماهانه دبی جریان در ماه‌های اول هر فصل در دوره‌های قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی با استفاده از نرم‌افزار IHA برآورد شد. همچنین منحنی تداوم جریان برای ماه‌های مختلف سال در هر دوره ترسیم گردید و شاخص‌های هیدرولوژیک جریان (دبی نرمال در حالت پرآبی، دبی نرمال در حالت کم‌آبی و دبی نرمال) و

مورد بررسی قرار گرفتند. قابل ذکر است که به منظور بررسی وضعیت تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه، وجود روند در مقادیر متغیر اقلیمی بارش با استفاده از نرم افزار MAKESENSE مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج آزمون روند، تنها در فصل زمستان (دی ماه) تغییر در متغیر اقلیمی بارش به صورت معنی دار به دست آمد و روند معنی داری در متغیر بارش به صورت سالانه مشاهده نشد. بنابراین در این پژوهش تنها به بررسی اثر بندهای اصلاحی بر تغییرات منحنی تداوم جریان پرداخته شده و موارد مربوط به آن تجزیه و تحلیل شده است. روش IHA یک ارزیابی سیستماتیک از تغییرات جریان ناشی از مداخلات هیدرولیکی ارائه می کند (اکا^۱ و همکاران، ۲۰۲۲: ۲). این شیوه می تواند شاخص های هیدرولوژیکی دو دوره زمانی مجزا مانند دوره زمانی قبل و بعد از اثر فعالیت هایی مانند احداث سد، انحراف جریان، پمپاژ آب زیرزمینی، تغییرات شدید کاربری اراضی را با هم مقایسه کند. همچنین می تواند روندها را در یک دوره زمانی واحد با استفاده از رگرسیون خطی تحلیل کند. (خسروی و همکاران، ۱۳۹۸: ۶۵۴ و راهنمای مدل، ۲۰۰۵: ۵۴). با استفاده از این نرم افزار، منحنی های تداوم جریان (FDC) به طور جداگانه برای هر دوره ی تحلیل (برای تحلیل های تک دوره ای و دو دوره زمانی) به صورت روزانه، ماهانه و سالانه قابل محاسبه و ترسیم است (راهنمای مدل، ۲۰۰۵: ۲). یک منحنی تداوم جریان رودخانه، رابطه بین فراوانی و بزرگی جریان رودخانه ای را نشان می دهد (ووگل و فنسی^۲، ۱۹۹۵: ۱۰۲۹). منحنی تداوم جریان و تعیین دبی های شاخص (مانند دبی عادی، دبی میانه، دبی نرمال) در برنامه ریزی های آب رودخانه جهت استفاده های آب شرب و یا احداث بندهای انحرافی برای استفاده در کشاورزی حائز اهمیت بوده و باید در هر طرح هیدرولوژی برای رودخانه ها انجام شود (علیزاده، ۱۳۹۴: ۵۵۱).

منحنی های تداوم جریان طی دو مرحله مرتب سازی، رتبه بندی و محاسبه احتمال وقوع تهیه می شود.

برای رتبه بندی، رتبه ۱ برای بزرگترین مقدار دبی روزانه شروع می شود. و محاسبه احتمال وقوع (P) با فرمول زیر انجام می شود:

$$p = 100 * [M / (n + 1)] \quad (1)$$

P = احتمال اینکه یک جریان معین برابر یا بیشتر باشد (درصد زمان)، M = موقعیت رتبه رویداد جریان مورد نظر (بدون بعد)، n = تعداد رویدادها برای یک دوره آماری (بدون بعد)

سپس نتایج FDC در جدول منحنی مدت جریان، با مقادیر جریان (رتبه بندی شده از بالاترین به پایین ترین) و احتمال مازاد بر FDC سالانه و هر ماه نشان داده می شود. نتایج همچنین می توانند به صورت گرافیکی نمایش داده شوند (راهنمای مدل، ۲۰۰۵: ۲۵).

شاخص های هیدرولوژیک جریان

شاخص دبی نرمال در حالت پرابی: مقدار جریانی که در ۲۵ درصد ایام سال یعنی به تعداد ۹۱ روز از سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است. شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی: مقدار جریانی که ۷۵ درصد ایام سال، به تعداد ۲۷۴ روز از سال دبی رودخانه مساوی یا بالاتر از آن است. شاخص دبی عادی یا نرمال: مقدار جریانی که در نیمی از روزهای سال معادل ۱۸۲ روز دبی مساوی یا بالاتر از آن است. برای کمی کردن تغییرات زمانی رواناب روزانه در بزرگی و فراوانی، سه شاخص (Q25، Q50 و Q75) را برای تحلیل در دوره های مختلف انتخاب کردیم. نقشه های اولیه توپوگرافی با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM^۳) منطقه و نرم افزار Arc GIS تهیه شد. ابتدا داده های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری تنگ اسفرجان واقع در پایین دست بندهای اصلاحی حوضه آبریز هونجان با دوره آماری ۲۳ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۴) در نرم افزار اکسل مرتب شدند و وارد نرم افزار IHA شدند. و خروجی ها همه توسط خود نرم افزار در قالب گراف ها و شکل ها ارائه شده است. و کلیه محاسبات در پکیج نرم افزار وجود دارد.

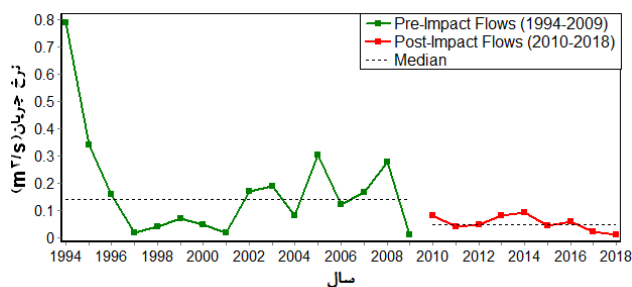
۳- یافته ها و بحث

مقادیر ماهانه دبی جریان رودخانه زرچشمه (برای ماه های اول هر فصل) در دوره های قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی مطابق شکل های ۲ تا ۵ می باشد.

¹ - Ekka

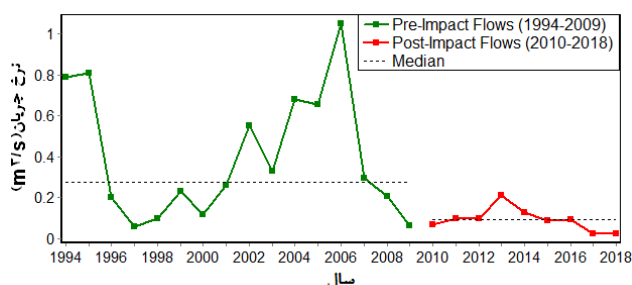
2 - Vogel and Fennessey

3 - Digital Elevation Model



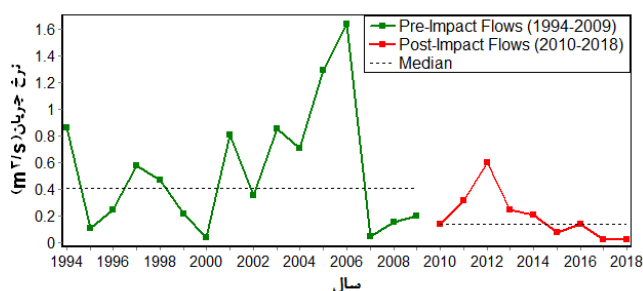
شکل (۲): نمودار مقایسه تغییرات دبی میانگین ماهانه دسامبر
Fig (2): Comparison chart of monthly flows for December

۵۰ درصد از میزان آب‌دهی سالانه برای ماه دسامبر قبل از احداث بندهای اصلاحی بیش‌تر از حد میانی بوده‌اند و ۵۰ درصد کمتر از حد میانی. همچنین بعد از احداث بندهای اصلاحی ۶۶/۶۶ از جریان آب‌دهی سالانه دسامبر بزرگ‌تر مساوی حد میانی و ۳۳/۳۳ درصد کمتر از حد میانی بوده‌اند.



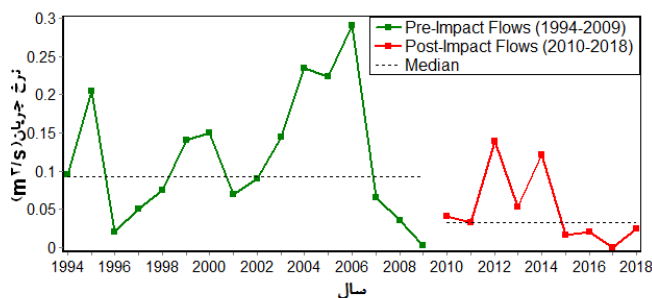
شکل (۳): نمودار مقایسه تغییرات دبی میانگین ماهانه مارس
Fig (3): Comparison chart of monthly flows for March

۵۰ درصد از میزان آب‌دهی سالانه برای ماه مارس قبل از احداث بندهای اصلاحی بیش‌تر از حد میانی و ۵۰ درصد کمتر از حد میانی بوده‌اند. همچنین بعد از احداث بندهای اصلاحی ۵۵/۵۵ درصد از جریان آب‌دهی سالانه بزرگ‌تر مساوی حد میانی و ۴۴/۴۴ درصد کمتر از حد میانی بوده‌اند.



شکل (۴): نمودار مقایسه تغییرات دبی میانگین ماهانه ژوئن
Fig (4): Comparison chart of monthly flows for June

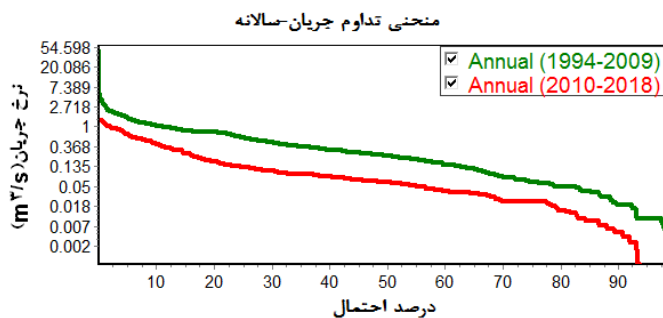
۵۰ درصد از میزان آب‌دهی سالانه برای ماه ژوئن قبل از احداث بندهای اصلاحی بیش‌تر از حد میانی و ۵۰ درصد کمتر از حد میانی بوده‌اند. همچنین بعد از احداث بندهای اصلاحی ۶۶/۶۶ درصد از جریان آب‌دهی سالانه مارس بزرگ‌تر مساوی حد میانی و ۳۳/۳۳ درصد کمتر از حد میانی بوده‌اند.



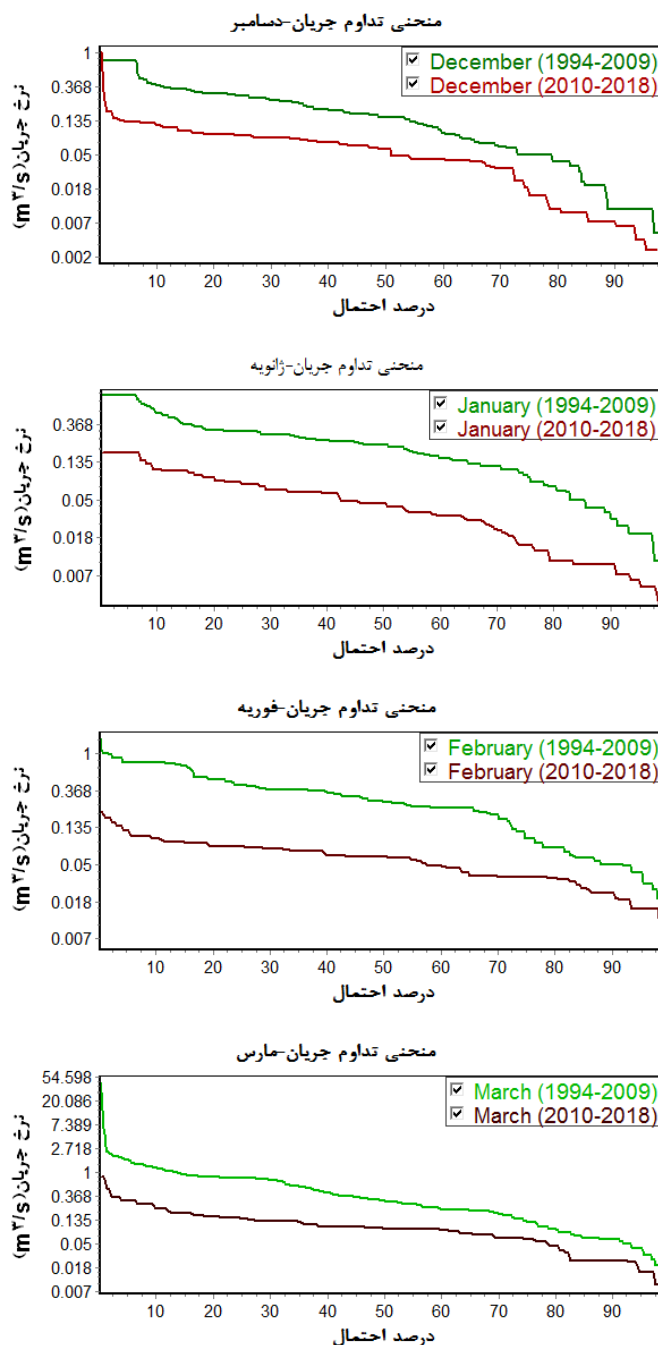
شکل (۵): نمودار مقایسه تغییرات دبی میانگین ماهانه سپتامبر
Fig (5): Comparison chart of monthly flows for September

۵۰ درصد از میزان آب‌دهی سالانه برای ماه سپتامبر قبل از احداث بندهای اصلاحی بیش‌تر از حد میانی و ۵۰ درصد کمتر از حد میانی بوده‌اند. همچنین بعد از احداث بندهای اصلاحی ۵۵/۵۵ از جریان آب‌دهی سالانه مارس بزرگ‌تر مساوی حد میانی و ۴۴/۴۴ درصد کمتر از حد میانی بوده‌اند. بررسی تغییرات شاخص مقدار جریان ماهانه در ماه‌های اول هر فصل نشان می‌دهد که مقدار دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری تنگ اسفرجان بعد از احداث بندهای اصلاحی کاهش داشته است. که با نتایج (نصیری و همکاران، ۱۳۹۸: ۸۵۱، خسروی و همکاران، ۱۳۹۸: ۶۶۹، دایی‌چینی و همکاران، ۱۳۹۹: ۵۹۹ و نادری و همکاران، ۱۳۹۹: ۷۷۹) مطابقت دارد. از آنجایی که بهره‌برداری از بندهای اصلاحی از سال ۲۰۱۰ شروع شده است، لذا این سال به عنوان نقطه شروع تغییرات هیدروژئومورفولوژیکی در نظر گرفته شد. و از منحنی‌های تداوم جریان روزانه برای بررسی تغییرات در رژیم رودخانه قبل و بعد از سال نقطه تغییر استفاده شد. منحنی‌های تداوم جریان رودخانه زرچشمه (سالانه و ماهانه) در دوره‌های قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی مطابق شکل‌های ۶ تا ۹ می‌باشد.

منحنی تداوم جریان سالانه نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال سالانه در حالت پرآبی با احداث بندهای اصلاحی حدود ۸۶ درصد کاهش یافته است. (احداث بندها باعث کاهش شاخص دبی نرمال سالانه در حالت پرآبی بوده است). همچنین شاخص دبی نرمال سالانه در حالت کم‌آبی با احداث بندهای اصلاحی حدود ۸۰ درصد کاهش یافته است (شکل ۶).

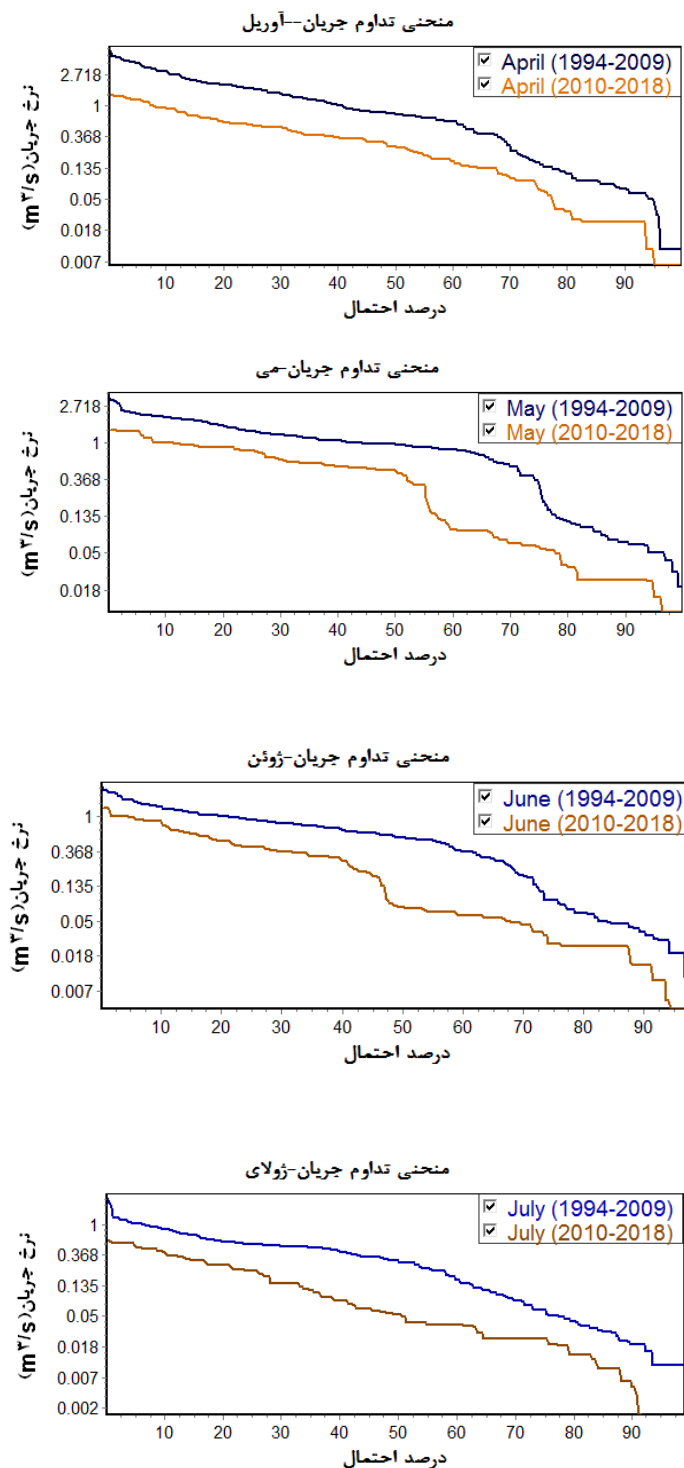


شکل (۶): منحنی تداوم جریان سالانه برای دو دوره قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی
Fig (6): Annual flow duration curve for two periods before and after check-dams construction



شکل (۷): منحنی تداوم جریان ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس برای دو دوره قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی
 Fig (7): Flow duration curve for the months of December, January, February and March in pre and post construction periods

منحنی تداوم جریان در ماه دسامبر نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۵۵ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۸۸ درصد کاهش داشته است. این درحالی است که منحنی تداوم جریان در ماه ژانویه نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی ۷۳ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۹۱ درصد کاهش داشته است. منحنی تداوم جریان در ماه فوریه نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۸۴ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۷۳ درصد کاهش داشته است. منحنی تداوم جریان در ماه مارس نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۹۰ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۷۳ درصد کاهش داشته است.

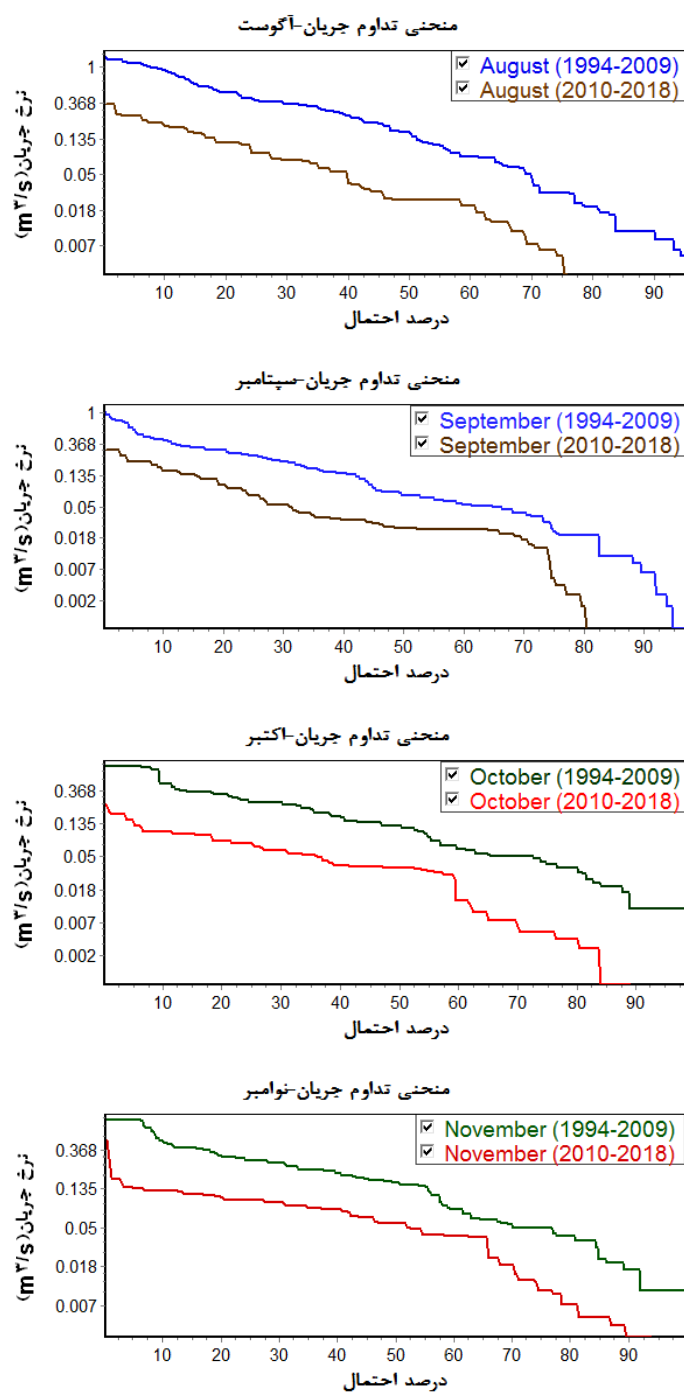


شکل (۸): منحنی تداوم جریان ماه‌های آوریل، می، ژوئن و ژولای برای دو دوره قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی

Fig (8): Flow duration curve for the months of April, May, June and July in pre and post construction periods

منحنی تداوم جریان در ماه آوریل نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۶۰ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۵۵ درصد کاهش داشته است. این درحالی است که منحنی تداوم جریان در ماه می نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۵۵ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۶۵ درصد کاهش داشته است. منحنی تداوم جریان در ماه ژوئن نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۶۰ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۶۶ درصد کاهش داشته است.

منحنی تداوم جریان در ماه ژولای نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۶۶ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۶۶ درصد کاهش داشته است.



شکل (۹): منحنی تداوم جریان ماه‌های آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر برای دو دوره قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی

Fig (9): Flow duration curve for the months of August, September, October and November in pre and post construction periods

منحنی تداوم جریان در ماه آگوست نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۸۲ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۹۰ درصد کاهش داشته است.

منحنی تداوم جریان در ماه سپتامبر نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۷۶ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۸۳ درصد کاهش داشته است.

منحنی تداوم جریان در ماه اکتبر نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۷۶ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۹۱ درصد کاهش داشته است.

منحنی تداوم جریان در ماه نوامبر نشان می‌دهد شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی حدود ۵۵ درصد کاهش یافته است. همچنین شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی حدود ۸۷ درصد کاهش داشته است.

به‌طور کلی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان (دبی نرمال در حالت پرآبی، دبی نرمال در حالت کم آبی، دبی نرمال) در دوره بعد از احداث بندهای اصلاحی در دوره بعد از احداث نسبت به دوره قبل از احداث کاهش داشته است که با نتایج تیان و همکاران (۲۰۱۹: ۸) مطابقت دارد. همچنین گائو و همکاران (۲۰۱۵: ۲۴۰۸) در نتایج مشابهی به کاهش میانگین جریان پرآبی برای همه فصول سالانه در اثر احداث سازه‌های مختلف اشاره کرده‌اند. در تمام ماه‌های سال به غیر از ماه‌های فوریه، مارس و آوریل نرخ کاهش شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی (Q75) بیشتر از شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی (Q25) بود. قابل ذکر است که در ماه ژولای این دو شاخص تقریباً به یک اندازه کاهش یافتند. در همین راستا نتایج تیان و همکاران (۲۰۱۹: ۶) نیز نشان داد که نرخ‌های کاهش جریان کم (Q90) بیشتر از جریان بالا (Q10) در شش ایستگاه اندازه‌گیری است. همچنین نتایج به‌دست آمده از گائو و همکاران (۲۰۱۵: ۲۴۰۹) ، نشان داد که جریان بالا (Q10) و جریان متوسط (Q50) به‌طور قابل توجهی در طول سال‌های ۱۹۵۳-۲۰۱۰ در حوضه رودخانه یاننه کاهش یافته است، درحالی‌که شاخص جریان کم (Q90) افزایش یافته است.

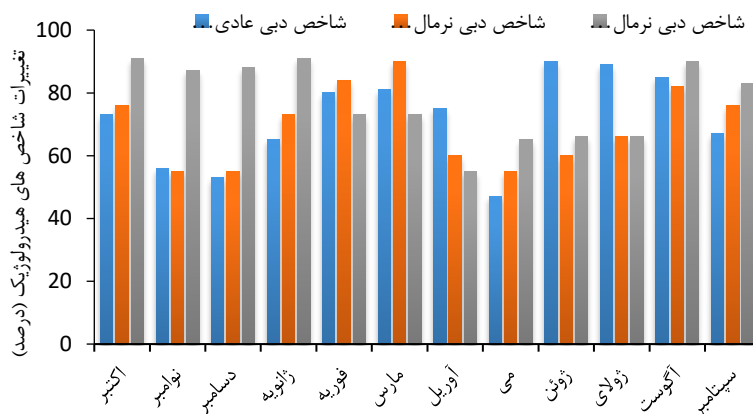
جدول ۱. درصد کاهش شاخص‌های هیدرولوژیک جریان در فصول مختلف بعد از احداث بندهای اصلاحی

Table (1): The percentage of reduction of hydrological indicators of the flow in different seasons after check-dams Construction

فصل	ماه	شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی	شاخص دبی نرمال در حالت کم آبی
زمستان	دسامبر	۵۵	۸۸
	ژانویه	۷۳	۹۱
	فوریه	۸۴	۷۳
بهار	مارس	۹۰	۷۳
	آوریل	۶۰	۵۵
	می	۵۵	۶۵
تابستان	ژوئن	۶۰	۶۶
	ژولای	۶۶	۶۶
	اگوست	۸۲	۹۰
	سپتامبر	۷۶	۸۳
پاییز	اکتبر	۷۶	۹۱
	نوامبر	۵۵	۸۷

بندهای اصلاحی بر کاهش دبی نرمال در حالت پرآبی در فصل بهار ۵۵ تا ۹۰ درصد اثرگذار بوده‌اند و بر دبی نرمال در حالت کم آبی ۵۵ تا ۷۳ درصد اثر گذار بوده‌اند. بندهای اصلاحی بر کاهش دبی نرمال در حالت پرآبی در فصل بهار بیش‌تر از سایر فصول اثرگذار بوده‌اند.

بندهای اصلاحی بر کاهش دبی نرمال در حالت پرآبی در فصل زمستان ۵۵ تا ۸۴ درصد اثرگذار بوده‌اند. و بر دبی نرمال در حالت کم آبی ۷۳ تا ۹۱ درصد اثر گذار بوده‌اند. بندهای اصلاحی بر کاهش دبی نرمال در حالت پرآبی در فصل تابستان ۶۰ تا ۸۲ درصد اثرگذار بوده‌اند. و بر دبی نرمال در حالت کم آبی ۶۶ تا ۹۰ درصد اثر گذار بوده‌اند. گائو و همکاران (۲۰۱۵: ۲۴۰۹) به این نتیجه رسیدند که جریان در حالت پرآبی و جریان متوسط در تابستان ۳۲ درصد کاهش داشته است. اما جریان در حالت کم آبی در فصل تابستان تغییری نداشته است. بندهای اصلاحی بر کاهش دبی نرمال در حالت پرآبی در فصل پاییز ۵۵ تا ۷۶ درصد اثرگذار بوده‌اند. و بر دبی نرمال در حالت کم آبی ۸۳ تا ۹۱ درصد اثر گذار بوده‌اند.



شکل (۱۰): هیستوگرام درصد تغییرات ماهانه شاخص‌های هیدرولوژیک جریان در دو دوره قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی
Fig (10): Histogram of the percentage of monthly changes in flow hydrologic indicators in pre and post periods

بیشترین میزان کاهش در شاخص دبی نرمال در حالت کم‌آبی در ماه‌های اکتبر و ژانویه بوده است. کمترین میزان کاهش در شاخص دبی نرمال در حالت کم‌آبی مربوط به ماه آوریل بوده است. شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی در ماه مارس بیشترین میزان کاهش (حدود ۹۰ درصد) و در ماه‌های نوامبر، دسامبر و می (۵۵ درصد) کمترین میزان کاهش را داشته است (شکل ۱۰).

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر آمار دبی روزانه (سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸) ایستگاه هیدرومتری تنگ اسفرجان در رودخانه زرچشمه حوضه آبریز هونجان (استان اصفهان)، برای بررسی تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک جریان تحت تاثیر بندهای اصلاحی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به شروع سال بهره‌برداری از بندهای اصلاحی (سال ۲۰۱۰) این سال به عنوان نقطه شروع تغییرات هیدرولوژیکی در نظر گرفته شد و منحنی‌های دبی میانگین ماهانه و تداوم جریان رودخانه در نرم‌افزار IHA7 در دو دوره قبل و بعد از احداث بندهای اصلاحی ترسیم شدند. جمع‌بندی پژوهش حاضر به صورت زیر است:

- تغییرات مقادیر ماهانه دبی جریان رودخانه نشان داد که در دوره بعد از احداث بندهای اصلاحی مقدار دبی جریان در ایستگاه هیدرومتری تنگ اسفرجان نسبت به دوره قبل از احداث کاهش داشته است.
 - با توجه به منحنی تداوم جریان سالانه به طور کلی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان (دبی نرمال در حالت پرآبی، دبی نرمال در حالت کم‌آبی، دبی نرمال) در دوره بعد از احداث نسبت به دوره قبل از احداث کاهش داشته است.
 - منحنی تداوم جریان در تمام فصل‌ها قبل از احداث بندهای اصلاحی بالاتر از منحنی تداوم جریان بعد از احداث بندهای اصلاحی قرار گرفته است که این نشان می‌دهد در هر نقطه از احتمال جریان، دبی در دوره قبل از احداث بزرگتر از جریان در دوره بعد از احداث می‌باشد.
 - نتایج پژوهش نشان داد که بندهای اصلاحی بر کاهش دبی نرمال در حالت پرآبی در فصل بهار بیش‌تر از سایر فصول اثرگذار بوده‌اند. بنابراین بندهای اصلاحی در ابتدای فصل بهار که پوشش گیاهی در این مناطق کمتر است و خطر ریسک سیل بسیار بیش‌تر است می‌تواند در کاهش ریسک سیل و همچنین مقادیر سیلاب اثر قابل توجه کاهشی داشته باشد.
 - بندهای اصلاحی بر کاهش دبی نرمال در حالت پرآبی و دبی نرمال در حالت کم‌آبی در فصل زمستان و تابستان بیش از ۵۵ درصد اثرگذار بوده‌اند. بنابراین بندهای اصلاحی بر آب قابل دسترس کشاورزی در فصل رویش اثر قابل توجهی داشته است که باید در برنامه‌ریزی‌های مدیریت مصرف منابع آب مورد توجه قرار گیرد.
- در مجموع می‌توان بیان کرد که با توجه به اثرات احداث بندهای شاخص‌های هیدرولوژیک جریان، در برنامه‌ریزی برای فصل‌های خشک، کشت و برنامه‌ریزی سیلاب باید اثر بندهای اصلاحی بر روی دبی‌های نرمال کم‌آبی و پرآبی مورد توجه برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان قرار گیرد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت یکپارچه و جامع حوزه‌های آبخیز به منظور بهره‌برداری مناسب از منابع طبیعی و کاهش تخریب سرزمین مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با توجه اهمیت دبی‌های نرمال کم‌آبی و پرآبی به منظور حفاظت و احیای رودخانه‌ها (موجودات آبی داخل رودخانه) بهتر است تاثیر بندهای روی مولفه‌های جریان محیط‌زیستی رودخانه مورد مطالعه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

۵-منابع

- Alizadeh, A. (2014). Principles of Applied Hydrology, Imam Reza University Publications Press, Mashhad, Iran.
- Ali, Rawshan, Alban Kuriqi, Shadan Abubaker, and Ozgur Kisi. (2019). Hydrologic Alteration at the Upper and Middle Part of the Yangtze River, China: Towards Sustainable Water Resource Management under Increasing Water Exploitation. *Sustainability (Switzerland)* 11(19).
- Brown, Alice et al. (2003). A Critical Review of Paired Catchment Studies with Reference to Seasonal Flows and Climatic Variability. Report (CSIRO, CRCCH, MDBC).
- Daiechini, F., Vafakhah., M. Moosavi., V. (2020). Impacts of the Golestan and Voshmgir Dams on Indicators of Hydrologic Alterations in the Gorganroud River Using Range of Variability Approach. Iranian Journal of ECO HYDROLOGY, 7(3), 595-607. [10.22059/IJE.2020.301564.1320](https://doi.org/10.22059/IJE.2020.301564.1320) (in Farsi).
- Ekka, Anjana et al. (2022). Dam-Induced Hydrological Alterations in the Upper Cauvery River Basin, India. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 44(October), 101231. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101231>.
- Esfandiyari, F., Mostafazadeh, R., Shahmoradi, R., Nasiri Kh. A. (2019). The Analysis of the Changes of the Hydrological Flow Indices Affected by Dam Construction in Zarrinehrood and Saruqchai Rivers of West Azerbaijan Province. *Hydrogeomorphology*, 5(18), 57-77.
- Esmaili, R., Lorestani, Gh., Baziari, Gh. (2018). Effects of dam Reservoir on characteristics of meandering river in Gorgan River. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 49(4), 657-666. <https://doi.org/10.22059/JPHGR.2018.226482.1007002> (in Farsi).
- Gao, Peng et al. (2015). Streamflow Regimes of the Yanhe River under Climate and Land Use Change, Loess Plateau, China. *Hydrological Processes*, 29(10), 2402-13.
- Guo, W., Jiao, X., Zhou, H., Zhu, Y., & Wang, H. (2022). Hydrologic regime alteration and influence factors in the Jialing River of the Yangtze River, China. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15127-4>
- Han, D., Lv, G., & He, X. (2022). A Research on the Ecological Operation of Reservoirs Based on the Indicators of Hydrological Alteration. *Sustainability (Switzerland)*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/su14116400>
- Khiavi, A. N., Mostafazadeh, R., & Talouki, F. G. (2022). Using Game Theory to Identify Critical Watersheds based on Environmental Flow Components and Hydrological Indicators. 1-37.
- Khosravi, Gh., Sadodin, A., Ownegh, M., Bahremand, A., Mostafavi, H. (2019). Classification and identification of changes in river flow regime using the Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) Case study: (The Khormarud River- Tilabad Watershed- Golestan Province). Iranian Journal of ECO HYDROLOGY, 6(3), 651-671. [10.22059/IJE.2019.269287.982](https://doi.org/10.22059/IJE.2019.269287.982) (in Farsi).
- Li, Y., Zhao, L., Zhang, Z., Li, J., Hou, L., Liu, J., & Wang, Y. (2022). Research on the Hydrological Variation Law of the Dawen River, a Tributary of the Lower Yellow River. *Agronomy*, 12(7), 1719.
- Manual, User. (2005). Indicators of Hydrologic Alteration (IHA). *Encyclopedia of Hydrological Sciences* (April).
- Maskey, Mahesh L. et al. (2022). Assessing Hydrological Alteration Caused by Climate Change and Reservoir Operations in the San Joaquin River Basin, California. *Frontiers in Environmental Science* 10(March).
- McManamay, R. A., George, R., Morrison, R. R., & Ruddell, B. L. (2022). Mapping hydrologic alteration and ecological consequences in stream reaches of the conterminous United States. *Scientific Data*, 9(1), 450. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01566-1>
- Mohammadi, M., Mohtadi, M. (2022). On the Hydraulic Simulation of River Simineh using HEC-RAS and ArcGIS Software. *Hydrogeomorphology*, 9(30), 87-103. [10.22034/hyd.2022.49185.1613](https://doi.org/10.22034/hyd.2022.49185.1613)
- Naderi, M.H., Alioghli, S., Pourgholam-Amiji, M., Fazloul, R. Ghojoghi, A. (2020). Analysis of Changes in Hydrological Indices of Karun River Flow before and after Periods Gotvand Dam Using Range of Variability Approach. Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 14(3), 765-782. [20.1001.1.20087942.1399.14.3.4.1](https://doi.org/10.1001.1.20087942.1399.14.3.4.1). (in Farsi).
- Nasiri khiavi, A., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., Ghafarzadeh, O., Golshan, M. (2020). Alteration of hydrologic flow indicators in Ardabil Balikhoulouchai River under combined effects of change in climatic variables and Yamchi Dam construction using Range of Variability Approach. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(4), 851-865. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2018.116873.1413> (in Farsi).
- Richter, Brian D., Jeffrey V. Baumgartner, Jennifer Powell, and David P. Braun. (1996). A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4), 1163-74.
- Sarda, Rajesh, and Swades Pal. (2022). Evaluating Damming Effect on Eco-Hydrological Alteration in River and Wetland Using Indicators of Hydrological Alteration. *Geocarto International*, 0(0), 1-25. <https://doi.org/10.1080/10106049.2022.2105408>.
- Sojka, Mariusz, Joanna Jaskuła, Joanna Wicher-Dysarz, and Tomasz Dysarz. (2016). Assessment of Dam Construction Impact on Hydrological Regime Changes in Lowland River-A Case of Study: The Stare Miasto Reservoir Located on the Powa River. *Journal of Water and Land Development*, 30(1), 119-25.
- Suen, Jian Ping. (2011). Determining the Ecological Flow Regime for Existing Reservoir Operation. *Water Resources Management*, 25(3), 817-35.

- Tian, Xiaojing et al. (2019). Hydrologic Alteration and Possible Underlying Causes in the Wuding River, China. *Science of the Total Environment*, 693, 1335-56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.362>.
- Uday Kumar, A., & K V, J. (2022). Assessment of flow regime alteration in the Krishna River basin. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 28(2), 212–218. <https://doi.org/10.1080/09715010.2020.1852979>
- Virkki, V., Alanära, E., Porkka, M., Ahopelto, L., Gleeson, T., Mohan, C., Wang-Erlandsson, L., Flörke, M., Gerten, D., Gosling, S., Hanasaki, N., Müller Schmied, H., & Kumm, M. (2021). Environmental flow envelopes: quantifying global, ecosystem–threatening streamflow alterations. *Hydrology and Earth System Sciences, May*, 1–31.
- Vogel, R.m., Fennessey, N. (1995). Flow duration curves II: a review of applications in water resources planning. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 31(6), 1029 – 1039. [10.1111/j.1752-1688.1995.tb03419.x](https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1995.tb03419.x)
- Yan, Yan, Zhifeng Yang, Qiang Liu, and Tao Sun. (2010). Assessing Effects of Dam Operation on Flow Regimes in the Lower Yellow River. *Procedia Environmental Sciences*, 2(5), 507–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.055>.
- Zuo, Qingting, and Shikui Liang. (2015). Effects of Dams on River Flow Regime Based on IHA/RVA. In *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, 275–280.