Archive of SID

نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۹ شماره ۴صفحه‌های ۱۴۷ تا ۱۵۹ / سال ۱۳۹۸

بررسی اثر احداث سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیک رودخانه زرینه‌رود بر اساس منحنی تداوم جریان

فریبا اسفندیاری درآباد[۱]، رئوف مصطفی‌زاده*[۲]، رضا شاهمرادی[۳]، علی نصیری خیاوی[٤]، الهامه عبادی[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱

۱-استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲-استادیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۳-کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه محقق اردبیلی
٤-دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس
٥-دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه محقق اردبیلی
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثرات احداث سد بوکان بر روی شاخص‌های هیدرولوژیک مبتنی بر منحنی تداوم جریان (FDC) در رودخانه زرینه‌رود در دوره‌های قبل از احداث سد (۱۳۵۰-۱۳۳٤) و بعد از احداث آن (۱۳۹۱-۱۳۵۱) می‌باشد. برای این منظور نوزده شاخص هیدرولوژیک جریان در گروه‌های جریان حداکثر، تداوم جریان، جریان حداقل و تغییرپذیری جریان مورد محاسبه قرار گرفت. سپس FDC برای هر دو دوره ترسیم گردید. براساس نتایج، مقادیر شاخص‌های دبی حداکثر ۱ روزه و دبی متوسط روزانه در دوره بعد از احداث سد به‌ترتیب، ۱۳ و ۷/۵ درصد کاهش یافته است. در حالی‌که مقادیر شاخص دبی حداقل ۱ روزه در دوره بعد از احداث سد ٤/۷ درصد افزایش داشته است. نتایج نشان داد که در ۵۰ درصد زمان تداوم جریان در مدت پس از احداث سد میزان دبی ٤۰ درصد بیش‌تر شده است که تأثیر سد حاضر بر روی دبی حریان رودخانه زرینه‌رود را نشان می‌دهد. مقدار متوسط شدت اوج‌گیری نسبت به دبی متوسط جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد به‌ترتیب، برابر ۹۷/۷۱ و ۷۹/۱۸ متر مکعب بر ثانیه است که نشان‌دهنده کاهش ۱۸ درصدی اوج‌گیری دبی جریان رودخانه در دوره بعد از احداث سد می‌باشد. در دوره بعد از احداث سد، مقدار متوسط دبی در فصل تابستان افزایش یافته است. در مجموع احداث سد مذکور شاخص‌های Flow variability را کاهش و شاخص‌های Flow duration را افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: اثرسد، تداوم جریان، تغییرپذیری جریان، جریان کم، شاخص‌های هیدرولوژیک

www.SID.ir

Archive of SID

Investigating the Effect of Bukan's Dam Construction on Hydrological Indices of Zarrinehrood River Based on the Flow Duration Curve

F Esfandyari Darabad[1], R Mostafazadeh[2*], R Shahmoradi[3], A Nasiri Khiavi[4], E Ebadi[5]

Received: January 18, 2018 Accepted: January 11, 2020

[1]Prof, Department of Natural Geography, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
[2] Assist. Prof., Natural Resources Dept. and member of Water Management Research Institue, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
[3] Master of Geomorphology in Environmental Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
[4] Ph.D. Student of Watershed Management Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran
[5] Ph.D. Student of Geomorphology in Environmental Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
* Corresponding Author, Email: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

Abstract

The aim of this study was investigating the impacts of Bukan's Dam construction on hydrological indices based on the Flow Duration Curves (FDCs) of the Zarrinehrood River during the pre (1955-1971) and post-dam (1972-2011) construction periods. For this aim, nineteen hydrologic indices were calculated in four groups of Peak Flow, Flow Duration, Low Flows and Flow Variability. In this regard, the Flow Duration Curves were plotted for both pre and post-dam construction periods. Based on the results, the values of 1-day maximum flow and the average of daily flow in the post-dam construction period decreased by 13% and 7.5%, respectively. However, the values of the index for 1-day minimum flow in the post-dam period increased by 4.7 percent. The results showed that at 50% of the flow duration time in post dam construction period the amount of discharge was increased 40%, which related to the impact of the dam on the flow of the Zarrinehrood River. The average magnitude of the rising rate relative to the average flow discharge in the pre and post periods of the dam were 97.71 and 79.18 cubic meters per second respectively, which indicated a 18% decrease in the flow of river flooding during the period after the dam construction. In the post-dam period, the average amount of discharge increased in summer season. In conclusion, the construction of the dam had reduced the flood variation related indices and increased the indices of the flow related to the duration components.

Keywords: Dam effect, Flow duration, Flow variability, Hydrological indicators, Low flow

مقدمه

در دهه‌های اخیر سهولت استفاده از آب رودخانه‌ها منجر به بهره‌برداری بی‌رویه و در نتیجه تخریب آن شده است. اگرچه دستکاری بشر روی جریان‌های رودخانه احتمالاً منفعت‌های اجتماعی را نیز در بردارد، ولی موجب تخریب اکوسیستم طبیعی و تهدید تنوع زیستی به‌وسیله تغییر رژیم‌های جریان طبیعی می‌شود (خروشی و همکاران ۱۳۹۵، متیوس و ریشتر ۲۰۰۷، گائو و همکاران ۲۰۰۹، اسفندیاری و همکاران، ۲۰۱۸). در سراسر جهان مدیریت منابع آب، یک شرط اساسی برای توسعه اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شود. از سوی دیگر، با افزایش جمعیت و پیش‌رفت تکنولوژی و نیاز روزافزون به آب، مشکل کم‌بود آب جدی بوده و برای مقابله با این مشکل باید مدیریت مناسبی در منابع

www.SID.ir

Archive of SID

آب داشت (نصیری خیاوی و همکاران، ۲۰۱۹). اهمیت و افزایش تقاضای آب در بخش‌های مختلف کشاورزی، شرب، صنعت و نیز نیازهای زیست‌محیطی، لزوم مدیریت منابع آب را بیش از پیش آشکار نموده است (آسیابی هیر و همکاران ۲۰۱۷). سدها علی‌رغم آن‌که دارای مزایای زیادی هستند، می‌توانند اثرات منفی هم داشته باشند که با برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت مناسب می‌توان آن‌را کاهش داد (ساقی و همکاران ۲۰۱۵؛ مهتا و همکاران ۲۰۱۲). از عوامل مهم تأثیرگذار بر رفتار هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز می‌توان به تغییرپذیری اقلیمی بروز خشکسالی هیدرولوژیکی، تغییرات کاربری و تخریب اراضی و فعالیت‌های انسانی از قبیل احداث سد را اشاره نمود (خروشی عیسی‌لو و همکاران ۲۰۱۵). با توجه به ارتباط نزدیک رودخانه‌ها و جوامع انسانی، سیستم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها نسبت به تنش‌ها و فعالیت انسانی آسیب‌پذیر شده و تغییرات زیادی در رودخانه ایجاد شده است (خروشی و همکاران ۲۰۱۵). به‌طور کلی، جریان‌های تغذیه شده توسط سدها به‌عنوان یک عامل تعیین‌کننده برای سیستم‌های طبیعی رودخانه در نظر گرفته می‌شود. ژانگ[1] و همکاران (۲۰۱۵) در رودخانه‌های لانگ‌چوان، هه‌یوان و بولو در حوضه شرقی کشور چین، اثرات احداث سد را بر روی شاخص‌های هیدرولوژیک جریان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از کاهش مقادیر دبی جریان در اثر احداث سد بوده است. وانگ[2] و همکاران (۲۰۱٦) تغییرات رژیم جریان رودخانه یانگ‌تسه را در اثر احداث سد با استفاده از تحلیل ۳۳ متغیر هیدرولوژیکی جریان انجام دادند و نتایج حاکی از این بود که تاثیر هیدرولوژیکی سد گزوبا[3] اندک بوده است که عمدتاً تحت تاثیر جریان‌های کم، میزان افزایش و تعداد تغییرات هیدرولوژیکی بوده است. داده‌های دبی جریان آب، به‌شکل FDC به‌عنوان پیش‌نیاز، برای طرح‌های مدیریت منابع آب از قبیل طراحی سدها، نیروگاه‌های برق‌آبی، اجرای عملیات آبخیزداری، ارزیابی خطر خشکسالی و بررسی سلامت زیست‌بوم رودخانه مورد نیاز است (زارع چاهوکی و همکاران ۲۰۱۲). امروزه با توجه به رشد و توسعه سدسازی در جهان به‌ویژه در ایران، کاهش حقابه‌ها و نیز رقابت بر سر استفاده از آب توسط بخش‌های مختلف، مشکل کم‌آبی و خشکسالی هیدرولوژیک در بسیاری از مناطق منشأ تضادها و درگیری شده است و به‌همین لحاظ بررسی میزان تغییرات در شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه بر اثر احداث سد از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. هدف تحقیق حاضر، ارزیابی تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک سیلاب در اثر احداث سد با استفاده از روش FDC دربرخی ایستگاه‌های جنوب و غرب دریاچه ارومیه می‌باشد. در خصوص نوآوری تحقیق حاضر می‌توان به استفاده از ۱۹ شاخص هیدرولوژیک جریان اشاره کرد که به نوعی بسیاری از مؤلفه‌های جریان را در بر می‌گیرد و هم‌چنین می‌توان به استفاده از FDC جهت بررسی مقادیر درصد زمانی دبی در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

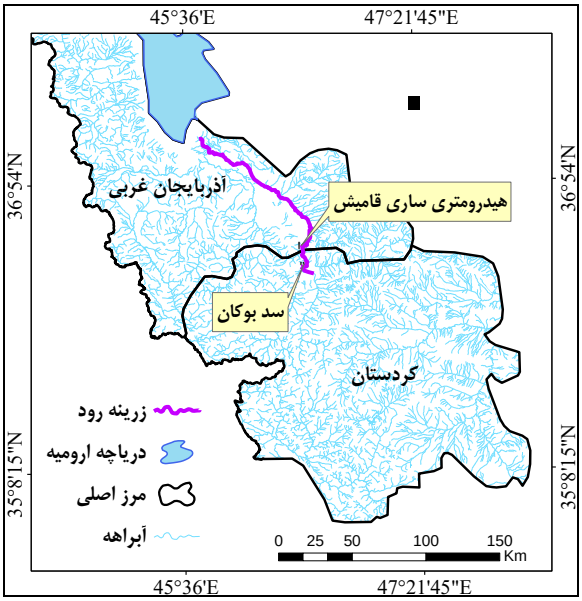
سد شهید کاظمی بوکان در ۳٦ کیلومتری شهرستان بوکان قرار دارد که بر روی رودخانه زرینه‌رود (جیغاتوچای) واقع شده و سال بهره‌برداری آن ۱۳۵۰ است. ظرفیت مفید مخزن ٤٨٠ (MCM) و ظرفیت کل آن ٦٤٨ (MCM) می‌باشد که حجم مرده آن ١٦٨ (MCM) در نظر گرفته شده است (نیک‌نام و محمدی ۲۰۱۵). در پایین‌دست سد شهید کاظمی بوکان ایستگاه هیدرومتری ساری‌قامیش واقع شده است که دبی خروجی از مخزن سد را ثبت می‌کند. براساس آمار نزدیک‌ترین ایستگاه تبخیر سنجی، متوسط تبخیر سالانه در منطقه ۸۹۰ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر و میانگین بارش سالانه منطقه مورد

1 Zhang
2 Wang
3Gezhouba

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه ٤٢٨ میلی‌متر برآورده شده است می‌باشد (نیک‌نام و محمدی ۲۰۰۵، فتحی و همکاران ۲۰۱۱، اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۳۹۷). شکل ۱ موقعیت کشوری و استانی سد و رودخانه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت استان آذربایجان غربی، سد بوکان و ایستگاه‌های مورد مطالعه.

روش تحقیق

در تحقیق حاضر، تاثیر احداث سد بوکان بر روی شاخص‌های هیدرولوژیک مبتنی بر FDC در رودخانه زرینه‌رود مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری ساری‌قامیش از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی تهیه گردید که طول دوره آماری داده‌ها، سال‌های آبی ۱۳۹۱-۱۳۳٤ می‌باشد. برای بررسی اثرات احداث سد بر مؤلفه‌های جریان از شاخص‌های هیدرولوژیک زیر استفاده شد.

۱- **دبی ویژه حداکثر یک روزه:** این شاخص نشان‌دهنده متوسط حداکثر دبی‌های روزانه در طول دوره می‌باشد که از تقسیم مقدار جریان بر مساحت حوضه به‌دست می‌آید. واحد این شاخص متر مکعب بر کیلومتر مربع بوده و با نماد *1Day Max* مشخص می‌شود.

۲- **دبی متوسط روزانه:** واحد این شاخص مترمکعب بر ثانیه بوده و فراوانی متوسط دبی‌های روزانه در طول دوره آماری را شامل می‌شود و علامت اختصاری آن *Mean* می‌باشد.

۳- **دبی حداقل یک روزه:** فراوانی حداقل دبی‌های روزانه در طول دوره آماری بوده و واحد آن مترمکعب بر ثانیه روز بوده و علامت اختصاری آن به‌صورت *1Day Min* است.

۴- **دبی حداقل ۷ روزه:** نشان‌دهنده فراوانی حداقل دبی‌های هفت روزه در طول دوره بوده و واحد آن مترمکعب بر ثانیه بوده و نماد اختصاری آن *7Days Min* می‌باشد.

۵- **تعداد روزهای صفر جریان**[1]: فراوانی روزهای صفر جریان را در طول دوره آماری نشان می‌دهد و واحد آن نیز روز بوده و علامت اختصاری آن *Zero Days* است.

1 Number of flow zero days

www.SID.ir

Archive of SID

۶- **شاخص Q10**: دبی ۱۰ درصد براساس FDC منحنی تداوم جریان بوده و شامل دبی برابر یا بیش‌تر از مقداری که در ۱۰ درصد از ایام سال جریان دارد و واحد آن متر مکعب بر ثانیه می‌باشد.

۷- **شاخص Q50**: دبی ۵۰ درصد براساس FDC بوده و نشان‌دهنده دبی برابر یا بیش‌تر از مقداری که در ۵۰ درصد ایام سال جریان دارد و واحد آن به‌صورت متر مکعب بر ثانیه است.

۸- **شاخص Q75**: این شاخص بر حسب متر مکعب بر ثانیه بوده و دبی برابر یا بیش‌تر از مقداری که در ۷۵ درصد ایام سال جریان دارد را نشان می‌دهد.

۹- **شاخص Q95**: این شاخص نیز بر حسب متر مکعب بر ثانیه بوده و دبی برابر یا بیش‌تر از مقداری که در ۹۵ درصد ایام سال جریان دارد را شامل می‌شود.

۱۰- **ضریب تغییرات**: نماد اختصاری این شاخص *CV* بوده و نشان‌دهنده تغییرات سالانه دبی جریان در طول دوره آماری می‌باشد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \qquad [۱]$$

که در آن، *CV* ضریب تغییرات سالانه جریان، s انحراف معیار و $\bar{x}$ میانگین دبی (m^3s^{-1}) در طول دوره اماری است.

۱۱- **انحراف معیار**[1]: نماد اختصاری این شاخص *Stdev* بوده و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \qquad [۲]$$

که در آن، X_i مقادیر دبی روزانه، $\bar{X}$ مقادیر متوسط دبی (m^3s^{-1}) و n تعداد داده‌های موجود در دوره آماری است.

۱۲- **چولگی**: این شاخص معیار آماری تقارن در توزیع داده‌های جریان روزانه بوده و نماد اختصاری آن *Skew* می‌باشد.

۱۳- **کشیدگی**: شاخص کشیدگی معیاری از تیزی منحنی فراوانی داده‌ها در نقطه ماکزیمم است و با نماد *Kurt* نشان داده می‌شود.

۱۴- **شدت اوج‌گیری**[2]: با نماد *RR* نمایش داده می‌شود و تفاوت مقادیر افزایش دبی روزانه بوده و واحد آن (متر مکعب بر ثانیه) می‌باشد.

۱۵- **شدت فروکش**[3]**:** تفاوت مقادیر کاهش دبی روزانه بوده و واحد آن (متر مکعب بر ثانیه) می‌باشد.

۱۶- **تعداد اوج‌گیری**[4]: شاخص *NR* مربوط به فراوانی روزهایی با دبی صعودی می‌باشد و واحد آن روز است.

۱۷- **تعداد فروکش**[5]: این شاخص نیز تعداد روزهایی با دبی نزولی را با واحد روز نشان می‌دهد و نماد اختصاری آن در پژوهش حاضر NF می‌باشد.

۱۸- **شاخص عکس‌العمل**[6]: شاخص مذکور نشان‌دهنده تغییرات روزانه دبی تقسیم بر متوسط جریان رودخانه در طول دوره آماری می‌باشد (دلسترا و لیتال ۲۰۰۸) و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$FI = \frac{\sum_{i=1}^{n}|q_i - q_{i-1}|}{\sum_{i=1}^{n} q_i} \qquad [۳]$$

که در آن، q_i و q_{i-1} متوسط دبی روزانه بر حسب (m^3s^{-1}) در روزهای i و $i-1$ می‌باشد.

۱۹- **شاخص TQmean**: این شاخص متوسط زمان بیش‌تر بودن جریان رودخانه از متوسط دراز مدت است (کنراد و همکاران ۲۰۰۵) و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$TQmean = \frac{Number\ of\ Rising * 100}{365} \qquad [۴]$$

که در آن، NR همان شاخص تعداد روزهای اوج‌گیری جریان رودخانه می‌باشد.

1 Standard deviation

2 Rising rate
3 Falling rate
4 Number of rising
5 Number of falling
6 Flashiness

www.SID.ir

Archive of SID

در این راستا، با استفاده از نرم‌افزار اکسل، مقادیر ۱۹ شاخص هیدرولوژیک جریان برآورد گردید. با توجه به FDC، می‌توان پارامترهای دبی نرمال رودخانه در حالت پرآبی و در حالت کم‌آبی، دبی میانگین، میانه و نما را به‌عنوان مشخصه جریان رودخانه در مقطع قبل از احداث پروژه‌های توسعه منابع آب و نیز در مقطع بعد از آن به‌دست آورد. برای رسم FDC از دبی‌های روزانه در سال‌های متفاوت آماری ایستگاه تحت‌تأثیر سد استفاده و FDC مربوط به آن ترسیم گردید. نخست دبی‌های ایستگاه هیدرومتری ساری‌قامیش به‌صورت نزولی مرتب شده و احتمال وقوع تجربی آن که از فرمول تجربی ویبول $(p = \frac{m}{n+1} * 100)$ به‌دست می‌آید، نمایش داده شد (مهدوی ۲۰۰۳). در نهایت با استفاده از شاخص‌های استخراج شده، تاثیر احداث سد بر روی جریان خروجی از سد بوکان در ایستگاه ساری‌قامیش مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

مقادیر مربوط به ۱۹ شاخص هیدرولوژیک جریان در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۲ نشان‌دهنده FDC در ایستگاه هیدرومتری ساری‌قمیش برای دوره‌های قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی بوکان می‌باشد.

جدول ۱- شاخص‌های هیدرولوژیک جریان با استفاده از داده‌های دبی روزانه در سد بوکان.

شماره	شاخص	واحد	نماد	قبل از احداث (متوسط)	بعد از احداث (متوسط)
۱	دبی ویژه حداکثر یک روزه	(m^3km^{-2})	1Day Max	٤٠٢/٢	٣٥١/٣
٢	دبی متوسط روزانه	(m^3s^{-1})	Mean	٥٤	٥٠
٣	دبی حداقل یک روزه	(m^3s^{-1})	1Days Min	١/٧٤	٦/٤٧
٤	دبی حداقل هفت روزه	(m^3s^{-1})	7Days Min	٥٣/٦	٥٠/٣٤
٥	تعداد روزهای صفر	(day)	Zero Days	صفر	٢
٦	دبی ۱۰ درصد براساس FDC	(m^3s^{-1})	Q10	١٦٥/٦٤	١٢٠/٠٧
٧	دبی ۵۰ درصد براساس FDC	(m^3s^{-1})	Q50	١٩/٦١	٣٠/٧
٨	دبی ۷۵ درصد براساس FDC	(m^3s^{-1})	Q75	٨/٢٧	١٩/٤
٩	دبی ۹۵ درصد براساس FDC	(m^3s^{-1})	Q95	٢/٨٨	١١/٦٤
١٠	متوسط ضریب تغییرات سالانه	-	CV	١٤٣/٦١	١١٣/٠٣
١١	انحراف معیار	(m^3s^{-1})	Stdev	٧١/٦١	٥٧/٨١
١٢	چولگی	-	Skew	٢/١٦	٢/٥٨
١٣	کشیدگی	-	Kurt	٥/٥	١٠
١٤	شدت اوج‌گیری	(m^3s^{-1})	Rise Rate	٩٧/٧١	٧٩/١٨
١٥	شدت فروکش	(m^3s^{-1})	Fall Rate	-٣٧/٤٣	-٢٦/٤٣
١٦	تعداد اوج‌گیری	(day)	Number of Rise	٩٩/٥	١٠٥/٩١
١٧	تعداد فروکش	(day)	Number of Fall	٢٦٦/٤٣	٢٦٠/٠٨
١٨	شاخص عکس‌المعل	-	Flashiness	١/٠٤	٠/٧٥
١٩	متوسط زمان بیش‌تر بودن جریان رودخانه از متوسط درازمدت	(٪)	TQMean	٢٧/٢٦	٢٩/٠١

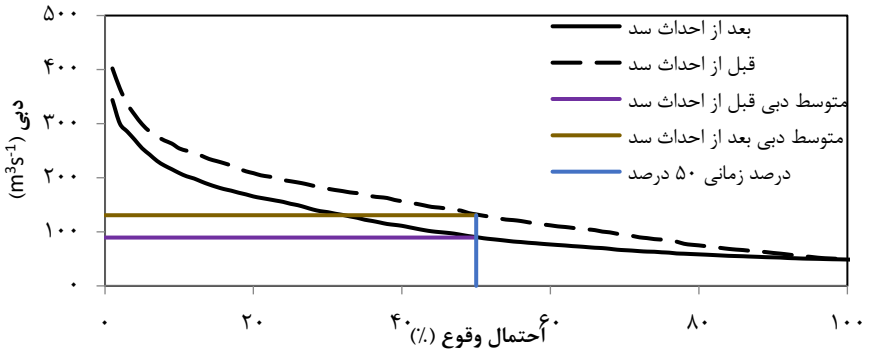
براساس مقادیر جدول ۱، مقادیر شاخص دبی ویژه حداکثر یک روزه در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد به‌ترتیب برابر ٤٠٢/٢ و ٣٥١/٣ (متر مکعب بر کیلومتر مربع) است. هم‌چنین شاخص Mean در دوره قبل از

www.SID.ir

Archive of SID

احداث سد ٥٤ روز و در دوره بعد از احداث سد ٥٠ روز می‌باشد که نشان از کاهش هر دو شاخص در دوره‌های بعد از احداث سد است. این در حالی است که مقادیر شاخص 1Day Min در دوره قبل و بعد از احداث سد به‌ترتیب برابر ١/٧٤ و ٦/٤٧ روز است که در این شاخص تعداد روزهای دبی حداقل در دوره بعد از سد افزایش یافته است. ولی شاخص 7Days Min از افزایش آن در دوره بعد از

احداث سد نسبت به قبل از احداث سد بوکان می‌باشد. شاخص Zero Days در دوره قبل از احداث سد برابر صفر بوده، ولی در دوره بعد از احداث سد به عدد ٢ رسیده است. در گروه تداوم جریان، مقادیر شاخص Q10 براساس FDC در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد به‌ترتیب برابر ١٦٥/٦٤ و ١٢٠/٠٧ (متر مکعب بر ثانیه) است. مقادیر شاخص‌های دبی Q50، Q75 و Q95 درصد جریان نشان از افزایش آن در دوره بعد از احداث سد است. متوسط شاخص‌های CV و Stdev در دوره‌های قبل از احداث سد نسبت به دوره بعد از احداث سد بیش‌تر می‌باشد. در حالی‌که شاخص‌های Skew و Kurt در دوره بعد از احداث سد افزایش یافته است. شاخص Rising Rate دبی جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان به‌ترتیب برابر ٩٧/٧١ و ٧٩/١٨ (متر مکعب بر ثانیه) است و هم‌چنین مقادیر شاخص Falling Rate برابر ٣٧/٤٣- و ٢٦/٤٣- (متر مکعب بر ثانیه) محاسبه شده است. شاخص‌های Number of Rising و Number of Falling در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد به‌ترتیب برابر ٩٩/٥، ١٠٥/٩١، ٢٦٦/٤٣ و ٢٦٠/٠٨ روز می‌باشد. هم‌چنین، مقادیر شاخص Flashiness در دوره بعد از احداث سد کاهش یافته است. در نهایت، مقدار شاخص TQMean در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد به‌ترتیب، برابر ٢٧/٢٦ و ٢٩/٠١ است.



شکل ٢- منحنی تداوم جریان در ایستگاه ساری‌قامیش در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان.

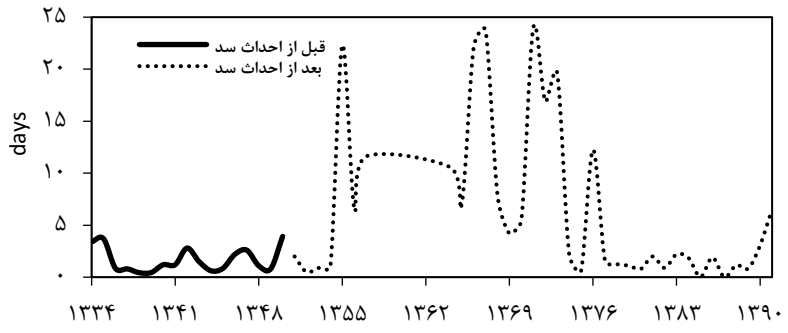
براساس شکل ٢، منحنی تداوم جریان ایستگاه ساری‌قامیش نشان می‌دهد که برای دوره‌های قبل و بعد از احداث سد، دبی به‌ترتیب در ٥٠ درصد روزهای سال، مساوی یا بیش‌تر از ١٣٠/٧ و ٨٩/٤ (مترمکعب بر ثانیه) برآورد شده است. این نتیجه بیان‌گر آن است که سد احداث شده بر روی جریان رودخانه مذکور تأثیرگذار بوده است. با توجه به FDC، دبی حداکثر این ایستگاه برای سال‌های قبل از احداث سد، بیش‌تر از دوره‌های بعد از احداث سد ثبت شده است. نتایج مربوط به شاخص 1Day Min در شکل ٣ ارائه شده است. هم‌چنین شکل ٤ نشان‌دهنده شاخص Number of Falling در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد می‌باشد.

با توجه به شکل ٣ می‌توان گفت که، شاخص 1Day Min در دوره بعد از احداث سد افزایش چشم‌گیر داشته است. به‌طوری‌که، در دوره قبل از احداث سد، حداکثر تعداد روز با جریان حداقل در سال ١٣٥٠ به ٥ روز می‌رسد. این در حالی است که در دوره بعد از احداث سد حداکثر تعداد روزهای حداقل جریان در سال ١٣٧١ به ٢٥ روز می‌رسد.

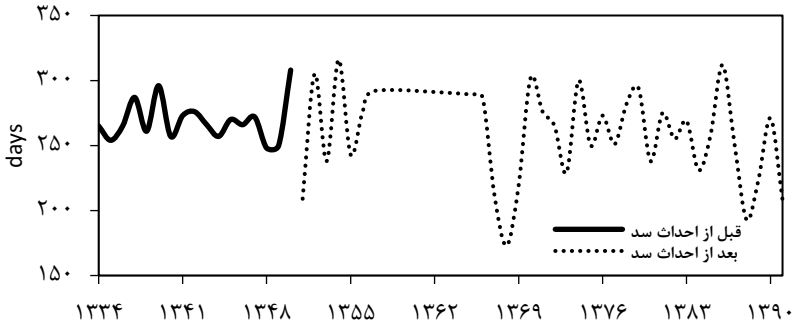
www.SID.ir

Archive of SID

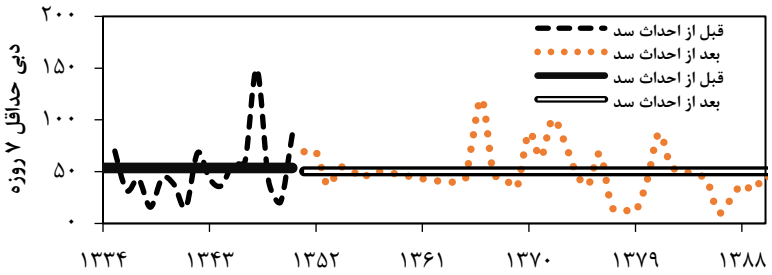
هم‌چنین، براساس شکل ٤ تعداد روزهای فروکش جریان در دوره قبل از احداث سد کم‌تر می‌باشد، در حالی‌که در دوره بعد از احداث سد نوسانات تعداد روزهای فروکش جریان بیش‌تر می‌باشد. شکل‌های ٥ و ٦ به‌ترتیب مقادیر شاخص 7Days Min و حداکثر دبی فصلی در دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



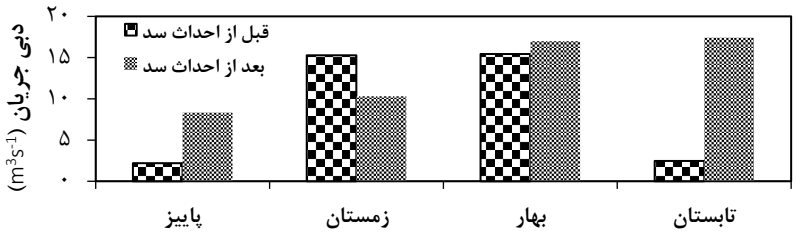
شکل ۳- شاخص 1Day Min در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان.



شکل ۴- شاخص Number of Falling در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان.



شکل ۵- شاخص 7Days Min در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان.

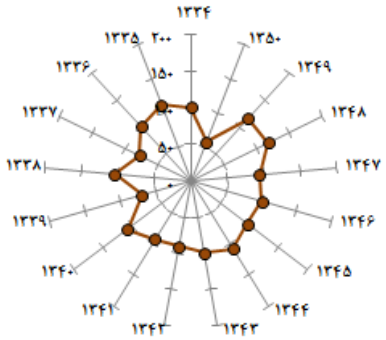


شکل ۶- دبی حداکثر فصلی در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان (ایستگاه ساری‌قامیش).

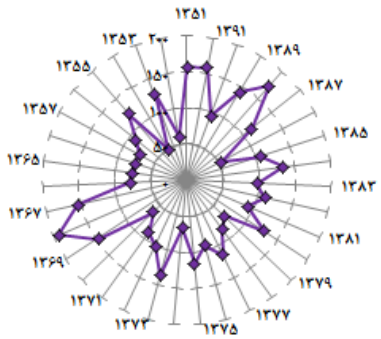
www.SID.ir

Archive of SID

براساس شکل ۵ مقدار شاخص 7Days Min در دوره بعد از احداث سد نسبت به دوره قبل از احداث سد کاهش یافته است. دلیل این امر این واقعیت است که میزان دبی متوسط جریان در دوره بعد از احداث سد، نسبت به دوره قبل از احداث سد، در حدود ۱۰ درصد کاهش داشته است، بنابراین، کاهش مقدار دبی متوسط می‌تواند بر روی مؤلفه‌های جریان تأثیر گذاشته و باعث کاهش ۷ درصدی شاخص 7Days Min در دوره بعد از احداث سد شود. همچنین با توجه به شکل ٦، دبی حداکثر جریان در فصول پاییز، زمستان و بهار در دوره‌های بعد از احداث سد نسبت به دوره‌های قبل از احداث سد کاهش یافته است. این در حالی است که در فصل تابستان این تاثیر متفاوت بوده و در دوره بعد از احداث سد مقدار دبی حداکثر جریان افزایش داشته است که این امر را می‌توان به این نحو تفسیر نمود که جریان ذخیره شده سد در سایر فصول، در فصل تابستان جهت استفاده‌های معین رهاسازی می‌گردد. بنابراین، باعث افزایش مقدار دبی جریان در مناطق پایین‌دست سد می‌شود. در فصل بهار، به‌دلیل وجود جریان‌های سیلابی ناشی از بارش‌ها و ذوب برف و همچنین آغاز مصارف کشاورزی در غالب نقاط کشور، برنامه‌ریزی بهره‌برداری و تنظیم آب توسط سدها اهمیتی دو چندان دارد. مقایسه و انطباق زمانی مقادیر ورودی و خروجی متناظر سدها در طول سال گواه نقش برجسته سدهای کشور در تنظیم منابع آب سطحی جاری برای تأمین نیاز مصارف مختلف و تعدیل محدودیت‌های ناشی از خشکسالی‌های گذشته است. مقایسه مقادیر مربوط به شاخص Rising Rate در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی بوکان در شکل ۷ ارائه شده است.



الف) قبل از احداث سد



ب) بعد از احداث سد

شکل ۷- شاخص تعداد روزهای اوج‌گیری جریان در ساری‌قامیش؛ الف) قبل و ب) بعد از احداث سد.

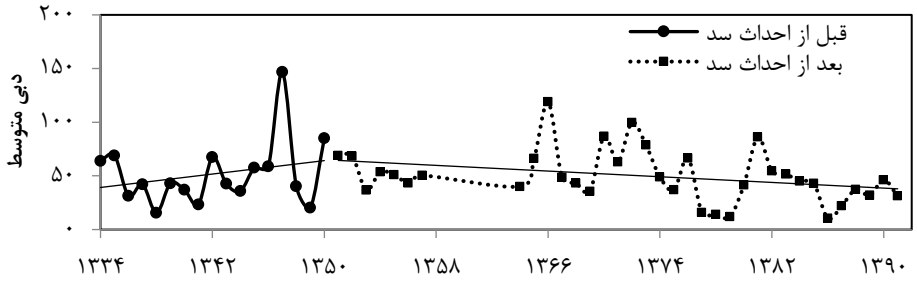
با توجه به شکل ۷ که نشان‌دهنده تعداد روزهای اوج‌گیری دبی جریان در سال‌های مختلف می‌باشد، می‌توان گفت که شاخص Rising Rate در دوره بعد از احداث سد بیش‌تر از دوره بعد از احداث سد می‌باشد. اگرچه تعداد روزهای اوج‌گیری جریان در دوره قبل از احداث سد نوسان کم‌تری را نشان می‌دهد، در ارتباط با افزایش شاخص تعداد روزهای اوج‌گیری در دوره بعد از احداث سد بایستی ذکر شود، با این‌که احداث سد در یک منطقه باعث متعادل‌تر شدن جریان رودخانه می‌شود ولی این متعادل شدن جریان باعث می‌شود که کم‌ترین تغییر در دبی جریان رودخانه، به‌عنوان نرخ افزایش جریان در نظر گرفته شود و به‌عبارتی بر اساس مبنای محاسبه شاخص مذکور، در هر روز از جریان که دبی از روز قبل بیش‌تر باشد، به‌عنوان اوج‌گیری در نظر گرفته می‌شود که تعداد یا پالس‌های افزایشی جریان در دوره‌های بعد از احداث سد نسبت به

www.SID.ir

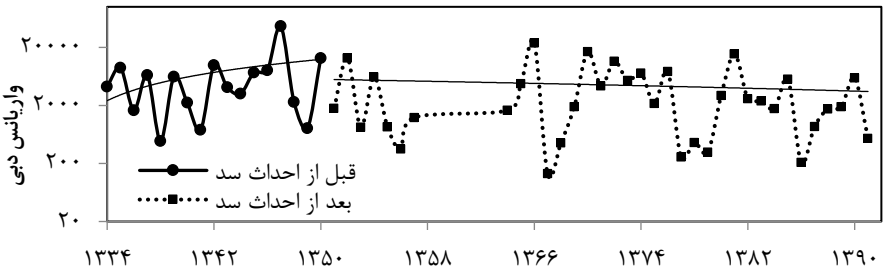
Archive of SID

دوره‌های قبل از احداث سد روند افزایشی داشته است. شاخص مذکور براساس بالاتر بودن دبی جریان نسبت به روز قبلی محاسبه می‌شود و بیانگر نوسانات جریان در جهت افزایش دبی است که با احداث سد و افزایش تداوم جریان در روزهای سال، مقدار شاخص مذکور افزایش یافته است. هم‌چنین حداکثر تعداد روز اوج‌گیری جریان در دوره‌های بعد از احداث سد افزایش یافته است که با نتایج زو و لیانگ (۲۰۱۵) مبنی بر افزایش شاخص Rising rate در رودخانه شایینگ پس از احداث سد در یک راستاست.

در خصوص اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی (دما و بارش) در منطقه مورد مطالعه می‌توان به پژوهش‌های فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۱) و نیز امیررضائیه و همکاران (۱۳۹۵) اشاره کرد. براساس نتایج پژوهش فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۱) که بر روی ۳۲ ایستگاه اندازه‌گیری دما، بارش و دبی صورت پذیرفته است می‌توان گفت که در ایستگاه سقز تحلیل سری‌های زمانی دما نشان داد که دما روند کاهشی داشته است که البته این روند معنی‌دار نمی‌باشد. در ارتباط با بارش، در ایستگاه‌های نزدیک (بوکان، ساری‌قمیش و صفاخانه) به منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر مشاهده شد که در ایستگاه‌های بوکان و ساری‌قمیش مقدار بارش روند نزولی داشته است این در حالی است که در ایستگاه صفاخانه روند افزایشی را نشان می‌دهد که البته هیچ‌یک از این روندهای صعودی و یا نزولی معنی‌دار نبوده‌اند. هم‌چنین براساس نتایج تحقیق امیررضائیه و همکاران (۱۳۹۵) بر روی ایستگاه های سینوپتیک شمال‌غرب ایران با طول دوره آماری ۵۰ سال (۱۳۹۰-۱۳٤۰) می‌توان گفت که روند تغییرات دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک سقز به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه دارای امار طولانی غیرمعنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین سری سالانه بارش برای ایستگاه مورد مطالعه روند نزولی معنی‌داری داشته و کاهشی برابر با ۱۰۲/۵۵ میلی‌متر در نیم‌قرن اخیر داشته است. هم‌چنین نتایج عددی و ترسیمی مربوط به میانگین و واریانس (تغییرپذیری) دبی جریان در ایستگاه ساری‌قمیش در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان مطابق با شکل‌های (۸) و (۹) می‌باشد.



شکل ۸- میانگین دبی در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان



شکل ۹- واریانس (تغییرپذیری) دبی در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد بوکان.

www.SID.ir

Archive of SID

براساس نتایج به‌دست آمده از شکل‌های (۸) و (۹) می‌توان گفت که میانگین دبی در دوره قبل از احداث سد روند کاملاً صعودی را نشان می‌دهد این در حالی است که در دوره بعد از احداث سد نه‌تنها حالت متعادل نداشته بلکه روند آن به‌سورت نزولی می‌باشد که این می‌تواند تحت تأثیر احداث سد بودکان باشد. هم‌چنین واریانس یا تغییرپذیری دبی جریان در دوره قبل از احداث سد دارای شیب تندتری نسبت به دوره بعد از احداث سد می‌باشد و در دوره بعد از احداث سد بوکان شیب آن ملایم‌تر و متعادل‌تر شده است. مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر شاخص میانگین در دوره‌های قبل از احداث سد به‌ترتیب ۱۵/٤۷، ۵۱/۷٤ و ۱٤٦/٦۲ و در دوره بعد از احداث سد به‌ترتیب ۱۰/۵۸، ۵۰/۰۱ و ۱۱۹/۰۳ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد که این نشان از تاثیرگذاری سد در دوره‌های بعد از احداث سد است که حداقل، حداکثر و متوسط جریان را کاهش داده است. هم‌چنین مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر شاخص واریانس در دوره قبل از احداث سد به‌ترتیب ٤۸٦/۳، ۷٤۲۲/۸ و ٤٦۲۵۵/۷ و در دوره‌های بعد از احداث سد به‌ترتیب ۱۳۳، ٤٤۳۹ و ۲۳۸٦۷/۸٦ می‌باشد که براساس مقادیر به‌دست آمده نیز می‌توان تاثیر تعدیل‌کننده سد بوکان را در دوره بعد از احداث سد در مقادیر دبی اثبات نمود که تغییرپذیری جریان کاهش یافته است. البته در یک منطقه دبی جریان می‌تواند تحت تأثیر عوامل زیادی از قبیل فعالیت‌های انسانی و یا تغییرات پارامترهای اقلیمی (دما و بارش) قرار گیرد که در مطالعه حاضر براساس نتایج تحقیقات فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۱) و امیررضائیه (۱۳۹۵) ثابت شد که تغییرات پارامترهای اقلیمی بارش و دما در نیم‌قرن اخیر روند نزولی یا صعودی آن‌چنانی را نداشته‌اند و یا حتی در صورت مشاهده روند، به‌صورت معنادار مشاهده نشده است.

نتیجه‌گیری کلی

تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر سد بوکان بر شاخص‌های هیدرولوژیک مبتنی بر FDC در رودخانه زرینه‌رود آذربایجان غربی صورت پذیرفته است. به‌طور کلی، نتایج به‌دست آمده در تحقیق حاضر در چهار بخش به‌صورت زیر ارائه شده است:

۱. براساس نتایج به‌دست آمده، شاخص Zero Days در دوره بعد از احداث سد افزایش داشته است که می‌تواند به‌صورت بالقوه باعث افزایش مرگ و میر آبزیان شود که با نتایج زو و لیانگ (۲۰۱۵) در یک راستاست. نتایج FDC نشان می‌دهد که با توجه به دبی ۵۰ درصد، در دوره بعد از احداث سد این مقدار ٤۰ درصد کم‌تر شده است که نشان از تأثیر سد حاضر بر روی دبی جریان رودخانه زرینه‌رود می‌باشد.

۲. مقدار متوسط شدت اوج‌گیری در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد به‌ترتیب برابر ۹۷/۷۱ و ۷۹/۱۸ متر مکعب بر ثانیه است که نشان‌دهنده کاهش ۱۸ درصدی اوج‌گیری دبی جریان رودخانه در دوره بعد از احداث سد می‌باشد که این تأثیر را می‌توان با کاهش وقایع سیلابی در دوره بعد از احداث سد توجیه نمود. افزایش شاخص تعداد اوج‌گیری را به این نحو می‌توان تشریح نمود که چون مقادیر دبی در دوره بعد از احداث سد، به‌دلیل احداث سد بوکان، حالت متعادل داشته و کم‌ترین تغییر در دبی جریان رودخانه زرینه‌رود، به‌عنوان افزایش تعداد اوج‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

۳. سد احداث شده بر روی جریان طبیعی تأثیرگذار بوده است و باعث تغییر در شاخص‌های جریان در دوره‌های بعد از احداث سد شده است که با نتایج چن و همکاران (۲۰۱۰) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد. در دوره بعد از احداث سد، مقدار متوسط دبی در فصل تابستان افزایش و در سایر فصول کاهش یافته

www.SID.ir

Archive of SID

است. هم‌چنین شایان ذکر است که بخشی از آب سد از طریق سد انحرافی نوروزلو به شهر تبریز منتقل می‌شود. سد انحرافی نوروزلو بر روی رودخانه زرینه‌رود ساخته شده است و آبیاری ۸۵ هزار هکتار از اراضی کشاورزی به آن وابسته است و این موضوع نیز می‌تواند در تغییر مؤلفه‌های جریان رودخانه زرینه‌رود مؤثر باشد.

٤. در ارتباط با اثرات سد بر تغیرات پارامترهای مذکور می‌توان این‌گونه بیان کرد که با این‌که براساس نتایج پژوهش‌های فرخ‌نیا و مرید (۱۳۹۱) و امیررضائیه و همکاران (۱۳۹۵) تغییرات پارامترهای اقلیمی از قبیل بارش و دما در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد معنادار نبوده است ولی نمی‌توان حتی از تاثیر اندک تغیرات پارامترهای اقلیمی و نیز فعالیت‌های انسانی چشم‌پوشی کرد. براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که در دوره‌های بعد از احداث سد که جریان رودخانه کاهش یافته است این امر می‌تواند در هدایت جریان رودخانه به‌مناطق سیلاب‌دشت‌ها تاثیر به‌سزایی داشته باشد و این تاثیر می‌تواند به‌صورت کاهش جریان در مناطق حاشیه رودخانه گردد و فقط در طول کانال اصلی رودخانه جریان داشته باشد. افزایش تعداد روزهای با جریان صفر که ناشی از احداث سد می‌باشد، می‌تواند در میرایی زیست‌بوم گیاهی و جانوری دوره‌های قبل و بعد از احداث سد تاثیر فراوانی داشته باشد. بحث مهم دیگر که در امر تعدیل‌سازی شاخص‌های جریان پس از احداث سد می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد، شاخص انحراف از معیار می‌باشد که در دوره‌های بعد از احداث سد میزان تغییرپذیری نسبت به میانگین کل دوره، ٢٦ درصد کاهش یافته است و این مقدار نشان‌دهنده تاثیر سد بوکان در تعدیل جریان رودخانه زرینه‌رود می‌باشد. به‌طور کلی براساس نتایج به‌دست آمده از مقادیر ۱۹ شاخص هیدرولوژیک بررسی‌شده در پژوهش حاضر، می‌توان بیان کرد که تغییر رفتار شاخص‌های جریان دچار تغییر شده است و این تغییرات را می‌توان ناشی از اثرات ترکیبی سد بوکان و نیز تغییرات پارامترهای اقلیمی دانست.

٥. ضرورت دارد که تغییر رژیم هیدرولوژیک ناشی از احداث سد در برنامه‌ریزی‌های استفاده از جریان سطحی و نیز ملاحظات زیست‌محیطی اثرات سدها مدنظر قرار گیرد. در خصوص مزایای سدها نیز بایستی ذکر گردد که درصورتی‌که این سدها در مدار بهره‌برداری نباشند کشور با بحران جدی تأمین آب مخصوصاً در تأمین آب شرب کلان شهرها مواجه می‌شود. ضمن این‌که در آینده تغییر اقلیم و تغییرات آب و هوایی حادث شده و تبعات منفی ناشی از آن، نقش سدها را در تنظیم منابع آب سطحی کشور برجسته‌تر می‌نماید. از طرفی ساخت سد می‌تواند در متعادل نمودن جریان‌های سیلابی نقش اساسی را ایفاء کند. در این راستا سوجکا و همکاران (٢٠١٦) به اثر مثبت سد بر تنظیم جریان نیز اشاره نموده‌اند. هم‌چنین براساس مطالعات الگوی تغییرات جریان رودخانه‌ای می‌توان نسبت به بهره‌برداری بهینه از جریان رودخانه‌های طبیعی اقدام نمود.

منابع مورد استفاده

Amirrezaeieh A, Porhemmat J and Ahmadi F, 2017. Investigation of precipitation and temperature trend across the North West of Iran in recent half of the century. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 6(10): 797-809. (In Persian)

Asiabi-Hir R, Mostafazadeh R, Raoof M and Esmali-Ouri A, 2015. Water poverty index and its importance in water resources management. Extension and Development of Watershed Management 3(11): 17-22. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Deelstra J, Lital A, 2008. The use of the flashiness index as a possible indicator for nutrient loss prediction in agriculture catchments. Boreal Environment Research 13: 209-221.

Esfandyari-Darabad F, Mostafazadeh R, and Feghzadeh F, 2016. Comparison of temporal changes of discharge values and monthly sediment in some rivers of West Azarbaijan province. Quantitative Geomorphology 5(2): 53-65.

Esfandyari-Darabad F, Mostafazadeh R, Shahmoradi R and Nasiri-Khiavi A, 2019. Analysis of changes of hydrological flow indices affected by dam construction in Zarrinehrood and Saruqchai rivers of West Azerbaijan province. Hydrogeomorphology 5(18): 57-77. (In Persian)

Farokhnia A and Morid S, 2013. Assessment of the effects of temperature and precipitation variations on the trend of river flows in Urmia Lake Watershed. Journal of Water and Wastewater 3: 1-12. (In Persian)

Fathi F, Negahban S and Yeganeh-Kia Z, 2012. Establishment of drought risk management system in Urmia Lake Basin. Protection Plan for Iranian Wetlands 1-158. (In Persian)

Gao Y, Vogel RM, Kroll CC, Poff NL, Olden JD, 2009. Development of representative indicators of hydrologic alteration, Journal of Hydrology 374: 136-147.

Khorooshi S, Mostafazadeh R, Esmali-Ouri A and Raoof M, 2015. Assessment of temporal and spatial variations of the hydrologic index of river in the watersheds of Ardebil province. Ecohydrology 4(2): 379-393. (In Persian)

Konrad CP, Booth DB, Burges SJ, 2005. Effects of urban development in the Puget low land, Washington, on interannual stream flow patterns: consequences for channel form and streambed disturbance. Water Resources Research 41(7): 1-15.

Mahdavi M, 2003, Principles of Applied Hydrology, Vol. 1, Tehran University Press, 320p. (In Persian)

Mathews R and Richter BD, 2007. Application of the indicators of hydrologic alteration software in environment flow setting. Journal of the American Water Resources Association 43(6), 1400-1413.

Nasiri-Khiavi A, Mostafazadeh R, Esmali-Ouri A, Ghafarzadeh O, Golshan M, 2019. Changes in environmental flow components under the effect of Sabalan dam in the Qarehsou River of Ardebil Province. Journal of Watershed Management Research 10(19): 85-94. (In Persian)

Niknam R and Mohammadi K, 2005. Simulation of the exploitation of the reservoir of the Bukan dam using the HEC-ResSim model. Pp. 1-8. The 5th Hydraulic Conference of Iran, Kerman University of Technology Bahonar. (In Persian)

Saghi H, Khajehpour E and Karimi L, 2015. Basin and lakes solutions for water quality improvement in dams (Case Study: Shirin Dareh Dam). Water and Soil Science- University of Tabriz 25(2/3): 211-227. (In Persian)

Sojka M, Jaskula J, Wischer-Dysarz J and Dysarz T, 2016. Assessment of dam construction impact on hydrological regime changes in low land river – A case of study: the Stare Miasto reservoir located on the Powa River. Journal of Water and Land Development 30(1): 119-125.

Wang Y, Rhoads BL and Wang D, 2016. Assessment of the flow regime alterations in the middle reach of the Yangtze River associated with dam construction: potential ecological implications. Hydrological Processes 30(21): 3949-3966.

Zare-Chahooki A, Salajegeh A, Mahdavi M, Khalighi-Sigaroudi SH and Asadi S, 2012. Regional model of flow duration curve of watershed flow without arid regions (Case study: Central Iran). Range and Watershed 66(2): 251-256. (In Persian)

Zhang QU, Singh VP and Chen X, 2015. Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. Journal of Hydrology 529: 711-722.

Zou Q, Liang SH, 2015. Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. Proceeding of Remote Sensing and GIS for Hydrology and Water Resources IAHS Publications Guangzhou, China. August 368: 275-280.

www.SID.ir