

تغییرات کمی و مقایسه آماری شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای بعد از احداث سد یامچی اردبیل

رئوف مصطفی‌زاده، فریبا اسفندیاری درآباد، لیلا محمدی‌راد و خدیجه حاجی

دوره ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۱۰۷-۱۲۱

Vol. 6(2), Summer 2020, 107 – 121

DOI: 10.22034/jewe.2020.230926.1359

Quantitative Changes and Statistical Comparison
of River Flow Hydrological Indicators after the
Construction of Yamchi Dam, Ardabil, Iran

Mostafazadeh R., Esfandiary Darabad F.,
Mohammadirad L. and Haji K.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

مصطفی‌زاده ر.، اسفندیاری درآباد ف.، محمدی‌راد ل. و حاجی خ. (۱۳۹۹). تغییرات کمی و مقایسه آماری شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای بعد از احداث سد یامچی اردبیل. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۲، صفحات: ۱۰۷-۱۲۱.

Citing this paper: Mostafazadeh R., Esfandiary Darabad F., Mohammadirad L. and Haji K. (2020). Quantitative changes and statistical comparison of river flow hydrological indicators after the construction of Yamchi Dam, Ardabil, Iran. Environ. Water Eng., 6(2), 107–121. DOI: 10.22034/jewe.2020.230926.1359.

تغییرات کمی و مقایسه آماری شاخص‌های هیدرولوژیک جریان رودخانه‌ای بعد از احداث سد یامچی اردبیل

رئوف مصطفی‌زاده^{۱*}، فریبا اسفندیاری درآباد^۲، لیلا محمدی‌راد^۳ و خدیجه حاجی^۴

^۱دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

^۲استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

^۳دانشجوی کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

^۴دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

*نویسنده مسئول: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۲/۲۳]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۳/۲۵]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۳/۳۱]

چکیده

هدف از این پژوهش تجزیه و تحلیل تغییرات کمی و مقایسه آماری شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه‌ای در اثر ساخت سد یامچی در ایستگاه‌های آبیابی بالادست و پایین دست در طی دوره ۲۰۰۴-۲۰۱۳ در استان اردبیل بود. برای این منظور، منحنی طول جریان (FDC) و ۳۰ شاخص هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست سد یامچی محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری هر یک از شاخص‌ها با استفاده از آزمون‌های t زوجی و آنالیز FDC محاسبه شد. با توجه به نتایج، میانگین دبی پرآبی در ایستگاه‌های نیر (بالادست) و پله الماس (پایین دست) برای محاسبه برابر ۱/۴۳ و ۰/۷۳ m³/s محاسبه شده است که نشان دهنده تفاوت معنی داری بین این ایستگاه‌ها از نظر دبی پرآبی نیست. بنابراین، دبی بیشینه و کمینه و آهنگ دبی ۵، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و احتمال Q_{90}/Q_{50} ، شیب، انحراف معیار و شاخص خط از نظر تأثیر ساخت سد اختلاف معنی داری داشت و میانگین دبی کاهش یافته است. علاوه بر این، شاخص‌های تخلیه صفر، صفر درصد، جریان کم، جریان زیاد، نرمال، میانه، نما، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۰، ۶۵، ۷۵، ۸۵٪ بیش از حد و تخلیه Q_{90}/Q_{50} اختلاف معنی‌داری را نشان داد. نتایج نشان داد که تخلیه رژیم رودخانه در ایستگاه پل-الماس تحت تأثیر سد یامچی قرار دارد و میانگین تخلیه کاهش یافته است. علاوه بر این، بین شاخص‌های هیدرولوژیکی حداقل و حداکثر دبی و FDC در ایستگاه‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود دارد. بنابراین، ارزیابی تغییرات رژیم‌های رودخانه‌ای، امکان تصمیم‌گیری مدیریت صحیح را در استفاده از جریان رودخانه فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بوم‌شناسی رودخانه؛ دخالت انسانی؛ رژیم هیدرولوژیکی؛ زمان‌بندی جریان؛ مدیریت منابع آب.

۱- مقدمه

قرار می‌دهند، در واقع باعث کاهش بزرگی دبی اوج سیل در پایین‌دست می‌شوند (Sojka et al. 2016; Mohammadirad 2018). تغییرات هیدرولوژیکی در سدها از طریق تغییر در تنظیم سرعت جریان، حجم و فراوانی جریان‌های حداقل و حداکثر، تأثیر عمده‌ای بر رژیم هیدرولوژیکی جریان‌های آبی دارند و رژیم هیدرولوژیکی جدیدی را تولید می‌کنند که به‌طور عمده با رژیم طبیعی جریان قبل از آبیگری سد متفاوت است (Mix et al. 2016; Arevalo-Mejia et al. 2020).

با بررسی و مطالعه روند تغییرات هیدرولوژیکی جریان آب می‌توان به شاخص‌هایی نظیر تداوم جریان، فراوانی جریان، میزان رواناب سطحی و وضعیت دبی در سد موردنظر دست‌یافت. داده‌های هیدرولوژیکی به‌دست‌آمده ناشی از احداث یک سد زمانی می‌تواند مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد که معیار و شاخص‌های دیگری از سدهای دیگر در منطقه در دست باشد (Worrall et al. 2014; Esfandiyari Darabad et al. 2019). بیش از ۱۷۰ شاخص هیدرولوژیکی برای تعریف اجزای مختلف رژیم جریان و سهم آن‌ها در تأثیر بر اکولوژی سیستم رودخانه و اثرات فعالیت‌های انسانی بر تغییر رژیم جریان رودخانه‌ای تدوین شده است (Mathews and Richter 2007; Yang et al. 2012). در همین راستا در ایران، (Nasri and Modares 2017) در استان اصفهان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که دبی میانگین روزانه و جریان‌های کم و شاخص‌های جریان کم (به‌جز در ایستگاه قلعه شاهرخ) در ایستگاه‌های حوضه سد زاینده‌رود دارای روند نزولی هستند، به‌طوری‌که در ایستگاه اسکندری واقع در پایین‌دست سد زاینده‌رود شدیدترین روند کاهشی مشاهده شد. کاهش دبی روزانه و کاهش دبی جریان‌های کم به‌ویژه در سال‌های اخیر زنگ خطری برای مدیریت منابع آب به‌ویژه در حوضه سد زاینده‌رود است. هم‌چنین، (Esfandiyari Darabad et al. 2019) شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان تحت تأثیر احداث سد در رودخانه‌های زرینه‌رود و ساروق‌چای در استان آذربایجان غربی را مورد مطالعه قرار دادند. تعداد ۱۰ شاخص هیدرولوژیک جریان در چهار گروه اصلی شامل جریان پیک، جریان حداقل، تداوم جریان و تغییرپذیری جریان مورد محاسبه قرار گرفت و درصد اختلاف آن‌ها در دوره‌های

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع تجدیدشونده و حیاتی آب شیرین جهت استفاده در امور کشاورزی، شرب و صنعت به‌شمار می‌روند و برای مدیریت بهتر منابع آب مصرفی، اطلاع از روند دبی و عوامل ایجادکننده آن ضروری و دارای تغییرپذیری زیادی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف می‌باشند. بخش عمده این تغییرات در اثر عوامل جوی است و تغییرپذیری، جزء ذاتی جریان رودخانه‌هاست (Chen et al. 2010; Zou and Liang 2015; Nasiri 2019; Khiavi and Mostafazadeh 2019). بنابراین روند تغییرات جریان رودخانه‌ای در مدیریت منابع آب ضروری است و از طرفی، جریان رودخانه‌ای توسط سدها، انحرافات، جریان‌های برگشتی و توسعه شهری تحت تأثیر قرار گرفته و منجر به مسائل مختلفی از جمله وقوع خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی، کاهش آبدهی و مسائل زیست‌محیطی می‌شود (Amini et al. 2019; Honarbakhsh et al. 2019). در سال‌های اخیر، فعالیت‌های انسانی و حضور سازه‌های مختلف انسان‌ساخت در رودخانه‌ها، تغییرات عمده‌ای را به وجود آورده است. 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 (Mostafazadeh et al. 2019). با این حال تخریب در اثر دخالت و فعالیت‌های انسان، باعث شده است که ارائه مؤثر و پایدار خدمات رودخانه‌ها (شرب، تصفیه آب، انرژی برقی، جذب مواد آلی، چرخه مواد غذایی، تفریح و زیستگاه گیاهان و جانوران) مختل شود (Khorrooshi et al. 2020; Theodoropoulos et al. 2017).

به‌دلیل عدم توازن مکانی و زمانی بین دسترسی به آب و تقاضا برای آن در اکثر نقاط جهان، نیاز به ذخیره و تنظیم جریان طبیعی با ساخت سازه‌های هیدرولوژیکی مثل سدها انجام می‌شود. ذخیره‌سازی آب به‌وسیله سدها باعث ایجاد تغییرات هیدرولوژیکی بسیار زیادی در محیط و شرایط زمین‌شناسی شده است (Mehta et al. 2012; Arya et al. 2013). سدها بزرگ‌ترین تأثیرات هیدرولوژیک را بر وضعیت انشعاب مستقیم رودخانه اعمال می‌کنند و مقدار جریان را در مقیاس‌های زمانی ساعت تا سال تحت تأثیر

تا ۲۰۱۶ روند نزولی معنی‌داری ($P < 0.01$) را نشان داد و درجه تغییرات بزرگی، تداوم، فراوانی، زمان و سرعت تغییر جریان روزانه در تمام ایستگاه‌های مطالعاتی بالاتر از ۷۰ درصد بود. در مجموع می‌توان گفت که اثرات احداث سد‌ها در مناطق مختلف متفاوت است و درجه تأثیر هیدرولوژیک آن‌ها به خصوصیات اقلیمی، نوع بهره‌برداری از سد و رژیم هیدرولوژیکی جریان وابسته است. علاوه بر این شاخص‌های مرتبط با اثرات سد متنوع بوده و در پژوهش حاضر مجموعه‌ای از شاخص‌ها استفاده شده است که همه خصوصیات هیدرولوژیک جریان را مورد ارزیابی قرار دهد. با توجه به استفاده روزافزون از منابع آب سطحی و نیز تشدید خشک‌سالی‌ها در استان اردبیل، هدف از پژوهش حاضر تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیک رژیم جریان رودخانه‌ای در اثر احداث سد یامچی در استان اردبیل است. در خصوص نوآوری پژوهش حاضر می‌توان به استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیک متنوع اشاره کرده که همه ابعاد رژیم جریان رودخانه مدنظر قرار گرفته است که به‌نوعی بسیاری از مؤلفه‌های جریان را در برمی‌گیرد. در این راستا از منحنی‌های تداوم جریان رودخانه (دبی کلاسه) در بررسی مقادیر زمانی دبی اشاره نمود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

سد یامچی در ۵ کیلومتری شهر نیر از توابع استان اردبیل قرار دارد و در سال ۱۳۸۲ به بهره‌برداری رسیده است. نوع سد خاکی با هسته ناتراوای رسی است که با هدف شرب، آبیاری اراضی پایین‌دست و تقویت سفره‌های زیرزمینی احداث شده است. حجم آب ذخیره‌شده در این سد MCM ۹۵ است. در حال حاضر از آب این سد برای تأمین آب آشامیدنی شهر اردبیل و آبیاری اراضی پایین‌دست سد استفاده می‌شود. طول تاج این سد ۸۳۰، عرض آن حدود ۱۲ و ارتفاع آن از پی ۶۷ m می‌باشد. این سد در مختصات جغرافیایی $38^{\circ} 4''$ عرض شمالی و $48^{\circ} 5''$ طول شرقی قرار گرفته است. هم‌چنین شواهد و داده‌های مربوط به سد یامچی نشان می‌دهد، این سد از لحاظ استراتژیکی در

قبل و بعد از احداث سد‌ها در هر ایستگاه هیدرومتری برآورد شد. بر اساس نتایج، در ایستگاه ساری‌قامیش، شاخص‌های Min و Q_{10} با مقادیر عددی ۲۸۷/۴۲ و ۴۵/۵۷٪ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تغییرات را داشته‌اند. در ایستگاه میان‌دوآب شاخص Q_{95} تغییر افزایشی و شاخص شدت فروکش روند نزولی را نشان داده است. در همین راستا، (Nasiri Khiavi et al. 2019) به ارزیابی تأثیر ترکیبی تغییر مؤلفه‌های اقلیمی و احداث سد یامچی بر دبی جریان رودخانه بالخلوچای اردبیل پرداختند. تغییرات مقدار، تداوم، زمان‌بندی، فراوانی و میزان شاخص‌های دبی جریان در دوره‌های قبل و بعد از احداث سد نشان داد که دوره‌های بعد از احداث سد حدود ۹۲٪ دبی‌های کمینه جریان را به خود اختصاص داده است. درحالی‌که سهم این دوره از دبی‌های بیشینه فقط ۲۵ درصد است که بیانگر کاهش مقدار جریان در اثر احداث سد و هم‌چنین روند کاهش بارش است. میزان نوسانات دبی در دوره قبل از احداث سد (۰/۳) و بعد از احداث سد کاهش یافته و به مقدار ۰/۱۱ رسیده است.

در خارج از کشور نیز (Dongan et al. 2017) با ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی جریان، در حوضه رودخانه مکونگ در ویتنام نشان دادند با احداث سد و سرریز جریان در بالادست، جریان سالانه در ایستگاه‌های پایش کاهش یافته است. نتایج ایشان، کاهش جریان در فصول مرطوب سال و افزایش میزان جریان در فصول خشک‌سال را نشان داد و باعث تغییرات فصلی مشخص در ایستگاه اندازه‌گیری از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ شد. هم‌چنین تغییر هیدرولوژیکی و دلایل اساسی در رودخانه وودینگ، واقع در چین توسط (Tian et al. 2019) مورد مطالعه قرار گرفت. برای ارزیابی جریان روزانه و درجه تغییرات هیدرولوژیکی^۱ (DHA) از منحنی تداوم جریان^۲ (FDC) و شاخص تغییرات هیدرولوژیکی^۳ (IHA) و رویکرد دامنه تغییرپذیری^۴ (RVA) استفاده شد. علاوه بر این تغییرات شاخص اتصال هیدرولوژیکی^۵ (IC) و مخازن/سد‌ها در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ در حوضه تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان داد که جریان سالانه در پنج ایستگاه از سال ۱۹۶۰

⁴ Range of Variability Approach (RVA)

⁵ Index of Hydrological Connectivity (IC)

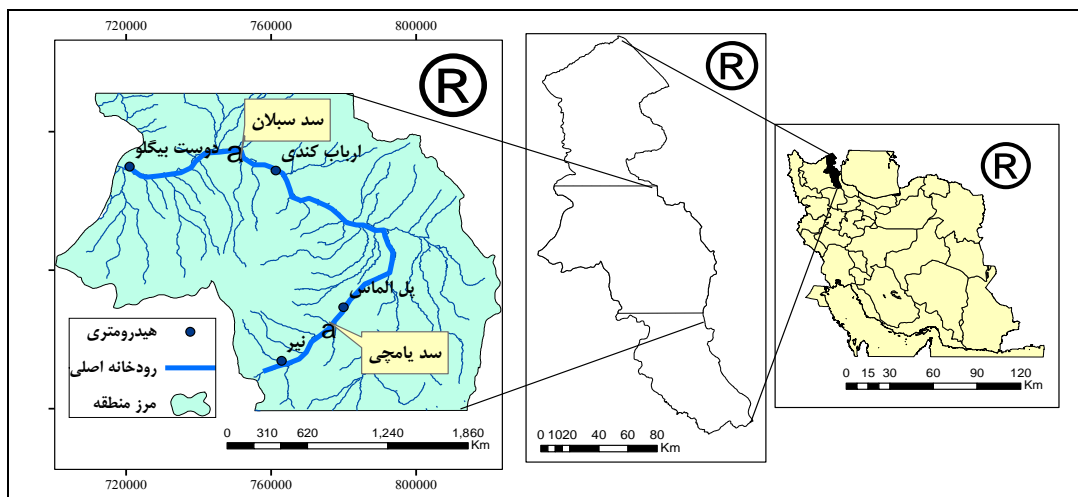
¹ Degree of Hydrologic Alteration (DHA)

² Flow Duration Curve (FDC)

³ Index of Hydrologic Alteration (IHA)

پایین دست شده است (Mohammadirad 2018; Amini et al. 2019). موقعیت سد یامچی و ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس در شکل (۱) و برخی خصوصیات ایستگاه‌های هیدرومتری در بالادست و پایین دست سد مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

منطقه مورد مطالعه دارای نقش مهمی در آبرسانی به اراضی غرب دشت اردبیل (حمل آباد، باروق، گرجان و شهرپور) دارد. اثرات این سد از زمان احداث سد تا زمان حاضر نیز قابل توجه بوده و دور از انتظار نیز نیست؛ به طوری که احداث سد موجب کاهش آبدهی در



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سد مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل

Fig. 1 Location of hydrometric stations and studied dam in Iran and Ardabil province

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب بالادست و پایین دست سد یامچی در استان اردبیل

Table 1 Characteristics of the upstream and downstream hydrometric stations of Yamchi Dam in Ardabil province

River	River gauge Station	Longitude	Latitude	Elevation (m)	Mean Discharge (m ³ /s)	Area (Km ²)
Nir-cahi	Nir	47° 59"	38° 02"	24	1.22	256
Balikhlo	Pole-Almas	48° 11"	48° 08"	40	3.04	1070

میانگین ۳۰ شاخص به دست آمده آمد و برای انجام عملیات مقایسه به نرم افزار SPSS انتقال داده شدند. در نتیجه هر یک از شاخص‌ها با استفاده از آزمون t زوجی و نیز ترسیم منحنی هیستوگرام و منحنی تداوم جریان (FDC) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند (Mohammadirad 2018).

۲-۲-۱- شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان

در این مرحله، شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان در نرم افزار Excel بر اساس داده‌های دبی در گروه‌های مختلف شامل دبی‌های نرمال در حالت پرآبی و کم‌آبی، دبی نرمال، دبی میانگین، دبی میانه، دبی نما، دبی حداکثر و حداقل، حجم دبی بر حسب میلیون m³ شاخص مقدار دبی با درصد‌های مختلف احتمال وقوع، شاخص دبی ۹۰ درصد

۲-۲-۲- روش پژوهش

در این پژوهش داده‌های دبی روزانه مربوط به ایستگاه‌های نیر (بالادست) و پل الماس (پایین دست) از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل تهیه شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات دبی روزانه ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه، ابتدا جهت تعیین موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری تحت تأثیر سد از نرم افزار Google Earth استفاده شد. سپس ۳۰ شاخص هیدرولوژیکی مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفتند و هر یک از این شاخص‌ها بر اساس روابط و روش‌هایی که در ذیل به آن‌ها اشاره شده است، به دست آمده آمد. در ادامه با میانگین‌گیری از هر کدام از این شاخص‌ها برای هر ایستگاه

شاخص دبی میانه:^۳ مقداری که در صورت مرتب کردن داده‌ها، در وسط قرار می‌گیرد. میانه مقداری است که ۵۰ درصد داده‌های جامعه پایین‌تر از آن و ۵۰ درصد بالاتر از آن قرار می‌گیرد (Mahdavi 2003). اگر دبی روزانه به ترتیب نزولی ردیف شود متوسط دبی در روزهای ۱۸۲ و ۱۸۳، دبی میانه خواهد بود. در منحنی احتمال وقوع تراکمی، میانه، عدد مربوط به ۵۰ درصد است (Alizadeh 2016).

شاخص دبی نما یا مد:^۴ مقدار جریان یا محدوده از دبی که بالاترین فراوانی وقوع را در طول سال داشته باشد، یا به عبارتی تعداد دفعاتی که یک داده آماری تکرار شده است (Alizadeh 2016).

شاخص دبی حداکثر:^۵ با مرتب کردن دبی سالانه، بیش‌ترین دبی در یک سال به‌عنوان دبی حداکثر است (Alizadeh 2016; Esfandyari Darabad et al. 2020).

شاخص دبی حداقل:^۶ با مرتب کردن دبی سالانه، کم‌ترین دبی در یک سال به‌عنوان دبی حداقل در نظر گرفته می‌شود (Alizadeh 2016; Esfandyari Darabad et al. 2020).

شاخص حجم دبی برحسب میلیون m³: با ضرب مجموع دبی‌ها در طول یک سال ضرب در ثانیه‌های سال به‌دست می‌آید (Mahdavi 2003).

شاخص مقدار دبی با درصدهای مختلف احتمال وقوع: شاخص‌ها شامل Q₅, Q₁₀, Q₁₅, Q₂₅, Q₃₅, Q₄₅, Q₅₀, Q₅₅, Q₆₅, Q₇₅, Q₈₅, Q₉₀ و Q₉₅ می‌باشند. به‌عنوان مثال در شاخص‌های مذکور میزان دبی Q₅، برابر میزان دبی جریانی که در ۵ درصد ایام سال دبی مساوی یا بیش‌تر از مقدار مذکور باشد که بر اساس منحنی تداوم جریان (FDC) یا همان دبی کلاسه محاسبه می‌شود (Gordon et al. 2004; Raghunath 2014; Esfandyari Darabad et al. 2020).

شاخص دبی ۹۰ درصد تقسیم بر دبی ۵۰ درصد:

تقسیم بر دبی ۵۰ درصد، شاخص شیب بخش‌های مختلف منحنی تداوم جریان (FDC)، شاخص روزهای دارای دبی صفر، درصد دبی صفر، انحراف معیار و شاخص Lane به-شرح زیر مورد محاسبه قرار گرفتند و تغییرات شاخص‌های هیدرولوژیکی جریان در اثر وقوع احداث سد که جزء اهداف اصلی تحقیق است، مشخص شد.

شاخص دبی نرمال در حالت پرآبی: مقدار جریانی که در ۲۵٪ ایام سال یعنی به تعداد ۹۱ روز از سال دبی مساوی یا بالاتر از آن است. سپس عدد به‌دست‌آمده را در ۱۰۰ ضرب و بر ۳۶۰ تقسیم کرده تا درصد ایام سال با دبی در حالت پرآبی به‌دست‌آمده آید (Alizadeh 2016; Mohammadirad 2018).

شاخص دبی نرمال در حالت کم‌آبی: مقدار جریانی که ۷۵ درصد ایام سال، به تعداد ۲۷۴ روز از سال دبی رودخانه مساوی یا بالاتر از آن است. سپس عدد ۲۷۴ را در ۱۰۰ ضرب و بر ۳۶۰ تقسیم شد تا درصد احتمال تجاوز آن، به‌دست آید (Alizadeh 2016).

شاخص دبی عادی یا نرمال: مقدار جریانی که در نیمی از روزهای سال معادل (۱۸۲ روز) دبی مساوی یا بالاتر از آن است. سپس عدد به‌دست‌آمده در ۱۰۰ ضرب و سپس درصد آن از تقسیم بر ۳۶۵، حاصل شد (Alizadeh 2016).

شاخص دبی میانگین: اصلی‌ترین و مورد استفاده‌ترین شاخص مرکزی، میانگین است. اگر داده روی یک محور به‌صورت منظم ردیف شوند، مقدار میانگین دقیقاً در نقطه تعادل یا مرکز ثقل توزیع قرار می‌گیرد، مقدار جریانی که از مجموع حجم آبی که از رودخانه عبور می‌کند و تقسیم آن بر زمان به‌دست می‌آید. دبی میانگین (m³/s) بر اساس رابطه (۱) به‌دست می‌آید (Alizadeh 2016; Mohammadirad 2018).

$$Q = \frac{\sum v}{t} \quad (1)$$

که در آن، V حجم آب، t زمان، Q دبی میانگین است.

⁴ Mode discharge index
⁵ Peak discharge index
⁶ Low discharge index

¹ Normal discharge index
² Mean discharge index
³ Median discharge index

نمودار منحنی تداوم جریان استخراج شد که نحوه رسم منحنی تداوم جریان یا دبی کلاسه در ذیل اشاره شده است.

۲-۲-۲- منحنی تداوم جریان

منحنی تداوم جریان (FDC) یکی از متغیرهای مهم در هیدرولوژی یا دبی کلاسه در رودخانه‌ها محسوب می‌شود. این منحنی رابطه بین مقادیر دبی و درصد زمانی را که این دبی مساوی یا بیش‌تر از آن، است به نمایش می‌گذارد، به عبارت دیگر رابطه بین بزرگی و فراوانی دبی برابر با دبی رودخانه را نشان می‌دهد (Alizadeh 2016). با توجه به FDC، می‌توان پارامترهای دبی نرمال رودخانه در حالت‌های پربابی و 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 تحت تأثیر سد استفاده و FDC مربوط به آن ترسیم شد. نخست دبی‌های ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس به‌صورت نزولی مرتب‌شده و روی محور Y نشان داده می‌شود و در محور X ها احتمال وقوع (p)، که از رابطه تجربی ویبول (۵) به‌دست می‌آید، نمایش داده شد (Mahdavi 2003).

$$p = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad (5)$$

که، m شماره ردیف فراوانی و n تعداد کل روزها (۳۶۵) است. درنهایت با استفاده از شاخص‌های استخراج‌شده، تأثیر احداث سد بر جریان خروجی از سد یامچی در ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس موردبررسی قرار گرفت.

۲-۲-۳- تحلیل آماری

در صورتی که نمونه‌ها از گروه‌های وابسته به هم (از نظر زمان یا مکان) باشند (مانند ارزیابی تغییرات یک منطقه در یک دوره زمانی مشخص یا اعمال دو نوع تیمار آزمایشی بر یک گروه) برای مقایسه آن‌ها از آزمون t زوجی استفاده می‌شود. برای به کار بردن این آزمون، متغیر مورد مطالعه باید در مقیاس فاصله‌ای یا نسبی و شکل توزیع آن نرمال باشد (Mohammadirad 2018). سپس مقادیر شاخص‌های محاسبه‌شده در طول سال‌های آماری موجود با استفاده از آزمون t و نرم‌افزار SPSS موردبررسی قرار گرفت. هم‌چنین مقدار t (ضریب تعیین) محاسبه‌شده و درجه آزادی و سطح

نشان‌دهنده شاخصی از جریان است که میزان مشارکت آب‌های زیرزمینی را در جریان رودخانه است (Gordon et al. 2004).

شاخص شیب بخش‌های مختلف منحنی تداوم جریان: برای شاخص شیب هر منحنی، سه مقطع از شیب منحنی بین صفر تا ۳۳ (شیب بالا)، ۳۳ تا ۶۶ (شیب متوسط) و ۶۶ تا ۱۰۰٪ (شیب پایین) در نظر گرفته شد. (Alizadeh 2016; Mohammadirad 2018).

شاخص روزهای با دبی صفر (Q₀): تعداد روزهایی که درصدی از داده‌ها، دبی برابر صفر دارند.

شاخص درصد دبی صفر: این شاخص با درصدگیری از داده‌های دارای دبی‌های صفر در یک سال بر اساس رابطه (۲) به‌دست می‌آید (Alizadeh 2016; Mohammadirad 2018).

$$Q_0\% = \frac{Q_0}{366} \times 100 \quad (2)$$

شاخص انحراف معیار دبی‌های جریان: شاخص حاصل از جذر واریانس را انحراف معیار یا پراش می‌نامند (Nasiri 2013). انحراف معیار دبی‌های روزانه از روی داده‌های مربوط به تعداد روزهای هرسال با استفاده از رابطه (۳) به‌دست آمد.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3)$$

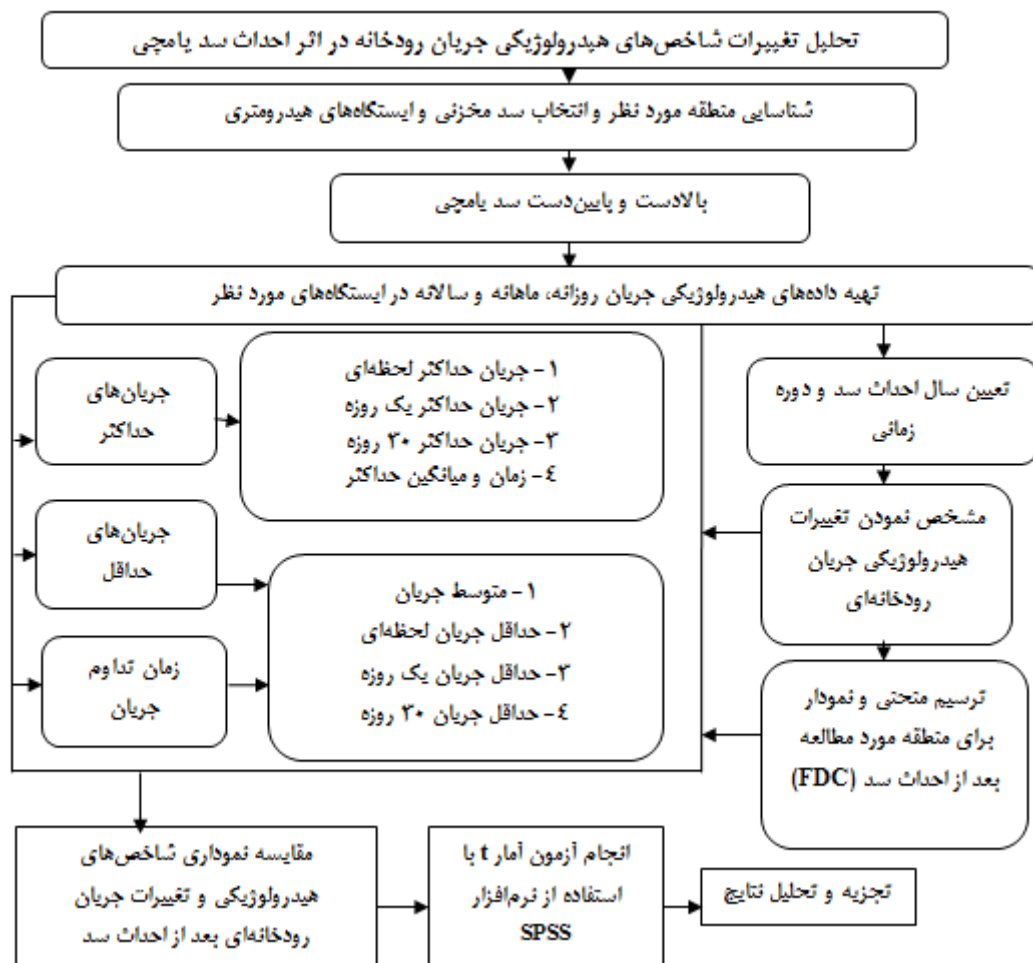
که در آن، S انحراف معیار؛ x_i مقادیر دبی روزانه؛ \bar{x} مقادیر متوسط دبی (m³/s) و n تعداد داده‌های موجود در دوره آماری است.

شاخص Lane: برای به‌دست آوردن این شاخص از تفاضل لگاریتم‌هایی که برای دبی‌های Q₅ تا Q₉₅ به‌دست‌آمده با استفاده از رابطه (۴) استفاده می‌شود (Gordon et al. 2004; Mohammadirad 2018).

$$\text{Lane Index} = \frac{\log(Q_5) - \log(Q_{95})}{3.29} \quad (4)$$

در این راستا، با استفاده از نرم‌افزار Excel، مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان برآورد شد. سپس شاخص‌های مربوط به دبی با درصد احتمال‌های مختلف از

معنی‌داری نیز به‌دست آمد که با توجه به این ستاده‌ها آزمون قابل تفسیر خواهد بود. نمودار مراحل انجام پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- نمودار جریانی مراحل انجام پژوهش

Fig. 2 Flow chart of the research methodology

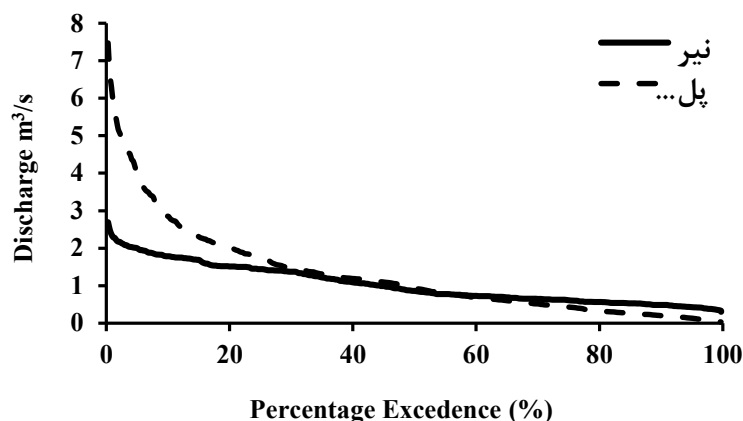
را می‌توان به داده‌های سیلابی رودخانه امام‌چای که در پایین‌دست نیر وارد رودخانه اصلی می‌شود، ارتباط داد. از طرفی دبی‌هایی با مقدار کم و احتمال وقوع زیاد که مربوط به فصل کم‌آبی سال هستند، کاهش یافته‌اند. ابتدا ایستگاه پایین‌دست (پل الماس) نسبت به ایستگاه بالادست (نیر) دارای میزان دبی بیش‌تر بوده است، اما با بیش‌تر شدن احتمال وقوع، میزان دبی پل الماس نسبت به نیر کاهش چشم‌گیری پیدا کرده به‌طوری‌که در مقایسه بین دو ایستگاه، کاهش دبی پل الماس احتمالاً به‌خاطر آبیگری و تأثیر سد یامچی و کاهش بارش و تبخیر بوده است که با یافته‌های (Tian et al. (2019 بر اساس منحنی تداوم جریان رودخانه وودینگ، واقع در چین هم‌خوانی دارد.

۳- یافته‌ها و بحث

با توجه به هدف پژوهش و سال بهره‌برداری سد یامچی آمار ایستگاه‌های نیر (بالادست) و پل الماس (پایین‌دست) از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ در ارزیابی اثرات هیدرولوژیک مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۱- منحنی تداوم جریان بعد از سد

منحنی‌های تداوم جریان روزانه برای سال‌های آماری بعد از احداث سد در ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست و پایین‌دست سد یامچی در شکل (۳) ارائه شده است. بر اساس شکل (۳)، منحنی تداوم جریان بعد از سد یامچی مقدار دبی‌های سیلابی افزایش پیدا کرده است. این افزایش



شکل ۳- منحنی تداوم جریان ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس در بعد از احداث سد یامچی
Fig. 3 The flow duration curve of Nir and Poleh Almas hydrometric stations at the after Yamchi Dam construction

۳-۲- مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان
محیط MS-Excel، شاخص‌های جریان مورد بررسی قرار
گرفت. نتایج شاخص‌های مورد مطالعه ایستگاه‌های
هیدرومتری نیر و پل الماس در جدول‌های (۲) و (۳)
ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس

Table 2 Values of hydrological indicators in Nir and Poleh-Almas hydrometric stations

Index	Station	SD	Mean	Error	t value	df	Sig.	Difference
Q-High flow	Nir	0.13	1.43	0.04	0.80	9.23	0.44	-0.30
	Ploe-Almas	1.17	1.74	0.37				
Q-Low flow	Nir	0.97	0.61	0.30	1.35	10.07	0.20	0.17
	Ploe-Almas	0.39	0.43	0.12				
Q-Normal	Nir	0.11	0.86	0.35	0.31	9.45	0.79	0.07
	Ploe-Almas	0.70	0.93	0.22				
Discharge volume (million m ³)	Nir	1.91	32.56	0.63	-1.06	9.12	0.31	-8.19
	Ploe-Almas	24.14	40.75	7.63				
Mean Discharge	Nir	0.06	1.03	0.02	-1.06	9.12	3.13	-0.25
	Ploe-Almas	0.76	1.29	0.24				
Median Discharge	Nir	0.11	0.85	0.13	0.32	9.47	0.75	0.07
	Ploe-Almas	0.70	0.92	0.52				
Mode Discharge	Nir	0.42	0.89	0.13	-0.70	10.17	0.49	0.37
	Ploealmas	1.65	1.27	0.52				
Max Discharge	Nir	0.77	2.69	0.24	-6.79	11.42	**0.0	-4.48
	Ploe-Almas	2.08	7.47	0.66				
Min Discharge	Nir	0.15	0.32	0.04	6.01	10.34	**0.0	0.29
	Ploe-Almas	0.41	0.33	0.01				

* and ** significance at the 95%, and 99% level, respectively

ایستگاه‌های نیر و پل الماس برابر با $1/0.3$ و $1/29$ m^3/s به دست آمد که دلیل این امر را می‌توان با دبی بالای سرشاخه امام‌چای مرتبط دانست که در آمار هیدرومتری بالادست سد وجود ندارد (Mohammadirad 2018). به عبارتی بین ایستگاه‌های نیر و پل الماس از نظر شاخص‌های دبی میانگین، دبی میانه و دبی نما نیز اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. ولی از نظر دبی حداکثر به مقدار

همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شد، میانگین دبی پرآبی در ایستگاه نیر برابر با $1/43$ و برای ایستگاه پل الماس $1/73$ m^3/s محاسبه شده است. مشاهده می‌شود بین ایستگاه نیر و پل الماس از نظر دبی پرآبی به مقدار $0/3$ اختلاف وجود دارد. به عبارتی بین ایستگاه‌های نیر و پل الماس از نظر شاخص دبی پرآبی اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. هم‌چنین مقادیر دبی میانگین به ترتیب در

بوده است. در این خصوص می‌توان نتیجه گرفت که آب بخشی از جریان ذخیره‌شده در پشت سد یامچی در فصول کم‌آب برای استفاده‌های کشاورزی و شرب رهاسازی شده است. باید توجه نمود که این عامل می‌تواند برای موجودات آبی در شرایط کم‌آبی محدودیت ایجاد کند (Amini et al. 2019).

۴/۴۸ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. بر اساس شاخص دبی حداکثر می‌توان انتظار داشت که مورفولوژی کلی کانال و تغییرات سیلاب در پایین‌دست سد یامچی بیش‌تر از بالادست تحت تأثیر احداث سد بوده، هم‌چنین در مورد شاخص دبی حداقل اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. با توجه به این که میزان دبی در پایین‌دست سد بیش‌تر از بالادست

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های استخراج‌شده از منحنی تداوم جریان مربوط به ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس

Table 3 The values of the indices extracted from the flow duration curve in Nir and Pole-Almas hydrometric stations

Index	Station	SD	Error	t value	df	Sig.	Difference
Q ₅	Nir	0.35	0.11	-2.99	9.51	*0.01	-2.0
	Ploe-Almas	2.09	0.66				
Q ₁₀	Nir	0.18	0.06	-2.01	9.23	0.07	-1.06
	Nir	1.65	0.52				
Q ₁₅	Ploe-Almas	0.15	0.04	-1.31	9.19	0.22	-0.61
	Nir	1.48	0.46				
Q ₂₅	Nir	0.13	0.04	-0.75	9.22	0.46	-0.28
	Ploe-Almas	1.17	0.37				
Q ₃₅	Nir	0.17	0.05	0.13	9.65	0.76	-0.09
	Nir	0.92	0.29				
Q ₄₅	Ploe-Almas	0.21	0.06	0.39	10.08	0.70	-0.10
	Nir	0.85	0.27				
Q ₅₀	Nir	0.12	0.38	-0.35	9.51	0.73	0.08
	Ploe-Almas	0.72	0.22				
Q ₅₅	Nir	0.07	0.02	0.05	9.29	0.95	0.01
	Nir	0.59	0.18				
Q ₆₅	Ploe-Almas	0.06	0.02	0.53	9.34	0.60	0.85
	Nir	0.50	0.15				
Q ₇₅	Nir	0.09	0.03	1.34	10.10	0.20	0.17
	Ploe-Almas	0.39	0.12				
Q ₈₅	Nir	0.13	0.04	2.77	13.24	*0.01	0.26
	Nir	0.26	0.08				
Q ₉₀	Ploe-Almas	0.14	0.04	3.53	18	**0.0	0.28
	Nir	0.20	0.06				
Q ₉₅	Nir	0.15	0.05	4.43	18	** 0.0	0.29
	Ploe-Almas	0.14	0.04				

* and ** significance at the 95%, and 99% level, respectively

پایین‌دست سد یامچی همراه بوده است، از نظر ژئومورفولوژیکی و پیامدهای محیطی جریان‌های کمینه می‌تواند منجر به فراوانی رژیم‌های رسوب در رودخانه و زمان لازم برای ثبات کانال‌ها و کنار رودخانه، فراوانی میزان رطوبت خاک و تعامل موجودات زنده و پایداری زیستگاه شود. در مقایسه بین دو ایستگاه نیر و پل الماس میزان دبی پایین‌دست به بالادست کاهش پیدا کرده است. از دلایل کاهش دبی در پایین‌دست سد یامچی، برداشت آب به‌عنوان آب شرب شهر اردبیل، آبیاری مزارع کشاورزی و هدررفت آب در اثر تبخیر از مخزن سد مذکور باشد و با نتایج (Amini et al. 2019) مبنی بر این که احداث سد

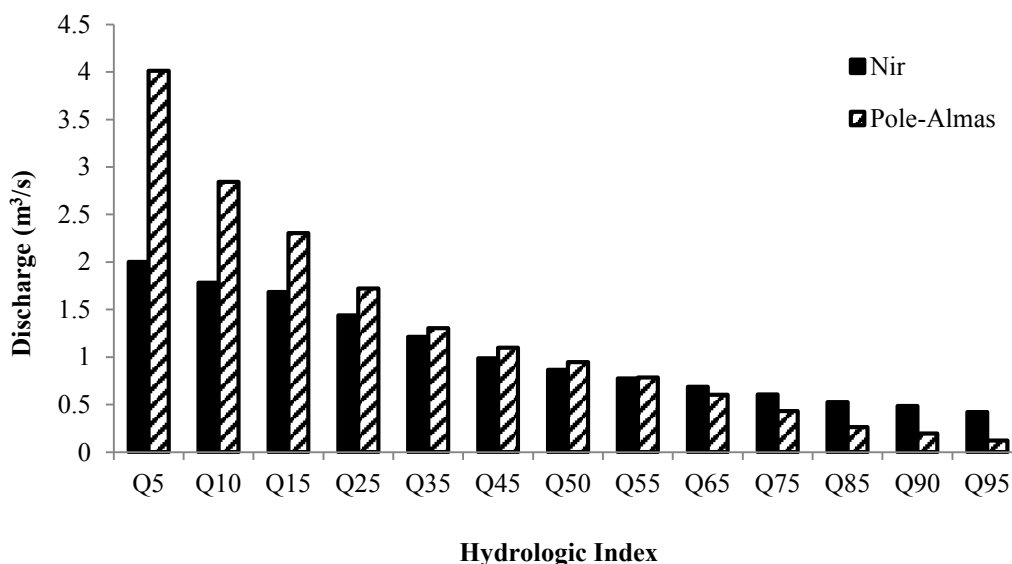
بر اساس جدول (۳) می‌توان گفت که بین ایستگاه‌های نیر و پل الماس از نظر شاخص Q₅ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. این شاخص می‌تواند عاملی برای جابجایی رسوبات با ذرات درشت و نیز کاهش آب در طولانی‌مدت در زیستگاه‌های ساحلی برای موجودات زنده باشد. عامل این اختلاف در میزان دبی با احتمال وقوع پایین برابر m³/s ۲/۷۵ نسبت به بالادست سد یامچی که حدود ۷/۵ m³/s است، ناشی از عدم تأثیر آب ورودی از امام‌چای به ایستگاه هیدرومتری نیر می‌تواند باشد. هم‌چنین معنی‌دار بودن شاخص‌های Q₈₅، Q₉₀ و Q₉₅ در ایستگاه‌های مورد مطالعه که با کاهش جزئی دبی نیز در

هیستوگرام مقادیر تغییرات شاخص‌ها و دبی در طول دوره آماری در ایستگاه‌های مورد مطالعه بعد از احداث سد در شکل‌های (۴) تا (۶) نشان داده شده است.

یامچی باعث کاهش رژیم جریان در پایین دست شده و افزایش وقوع رخداد‌های خشک‌سالی هیدرولوژیک را سبب شده است، در یک راستا است.

۳-۳- مقایسه شاخص‌ها در ایستگاه‌های بعد از

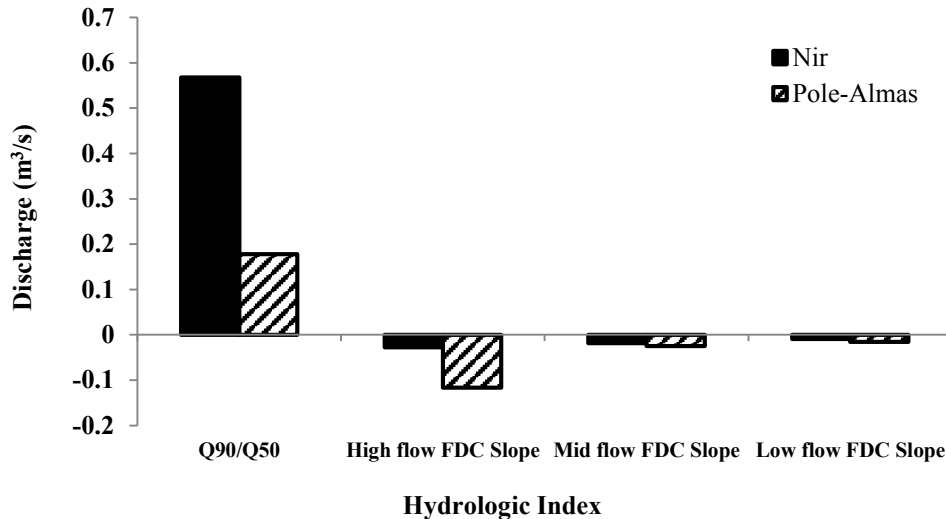
سد



شکل ۴- هیستوگرام مقادیر شاخص‌های دبی با احتمال وقوع متفاوت در ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس
Fig. 4 Histogram of the values of discharge indicators with different occurrence probability in Nir and Poleh Almas hydrometric stations

ماهانه جریان استفاده می‌شود و با نتایج Esfandyari Darabad et al. (2019) مطابقت دارد. شاخص دبی با درصد زمانی ۹۰ جهت تعیین الگوی مناسب تخلیه و هشدار آستانه برای مدیران آب در تعیین محدودیت استفاده از آب کاربرد دارد. با دور شدن از سد و پیوستن شاخه‌های فرعی به رودخانه، اثر تنظیمی سد کاهش یافته و رژیم جریان به تدریج به ویژگی‌های رژیم جریان رودخانه‌های طبیعی قبل از احداث سد بازمی‌گردد. هم‌چنین تنظیم سد به‌طور کلی با کاهش تنوع هیدرولوژیکی سیستم‌های رودخانه نسبت به رژیم هیدرولوژیکی پیش‌تر از سایر اختلالات تأثیر می‌گذارد.

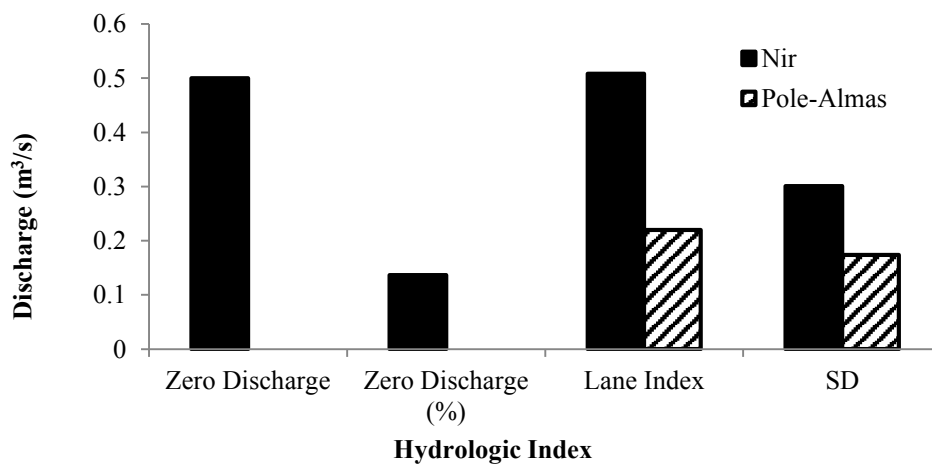
همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده شد، میانگین شاخص دبی‌های Q_{85} ، Q_{75} ، Q_{65} ، Q_{95} و Q_{90} در ایستگاه نیر بیش‌تر از پل الماس بوده و این مقدار برای پل الماس کم‌تر از $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ بوده است و دبی‌های Q_{10} ، Q_5 ، Q_{15} ، Q_{25} ، Q_{35} ، Q_{45} و Q_{55} که کاهش احتمال وقوع همراه بوده میزان دبی پل الماس در مقایسه با نیر بیش‌تر بوده است که نشان‌دهنده تأثیر احداث سد یامچی بر روی رودخانه است. از شاخص‌های مذکور شاخص درصد زمانی ۹۵ در جهت صدور مجوز استخراج آب‌های سطحی، تخلیه آلاینده‌ها و پساب، حفاظت رودخانه و شاخص‌های حداقل و بیولوژیکی میانگین



شکل ۵- هیستوگرام مقادیر شاخص‌های شیب و دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس
Fig. 5 Histogram of slope and discharge index values in Nir and Poleh Almas hydrometric stations

هم‌چنین بین ایستگاه نیر و پل الماس از نظر شاخص شیب بالا اختلاف معنی‌دار وجود دارد، یعنی احداث سد اثر تنظیمی بر جریان رودخانه‌ای داشته و از افزایش ناگهانی دبی جریان جلوگیری کرده است. درحالی‌که از نظر شاخص‌های شیب میانی و پایین اختلاف معنی‌دار وجود ندارد؛ بنابراین سد احداث‌شده بر روی جریان طبیعی تأثیرگذار بوده است و باعث تغییر در شاخص‌های جریان در دوره‌های بعد از احداث سد شده است که با نتایج Chen et al. (2010) در جنوب چین مطابقت دارد.

با توجه به شکل (۵) میانگین شاخص Q_{90}/Q_{50} (شاخص مشارکت آب‌های زیرزمینی) برای ایستگاه پل الماس ۰/۱۷ و برای ایستگاه نیر ۰/۵۶ m^3/s بوده است می‌توان نتیجه گرفت میزان مشارکت آب‌های زیرزمینی در بالادست سد یامچی بیش‌تر از پایین‌دست بوده است که در این راستا Ranjbar and Amini (2014) اثر سدها بر منابع آب زیرزمینی در استان فارس را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند که سد سلمان فارسی نتوانسته است میزان اثرات خشک‌سالی بر آب زیرزمینی را در مناطق پایین‌دست خود کاهش دهد.



شکل ۶- هیستوگرام مقادیر شاخص‌های هیدرولوژیکی در ایستگاه‌های هیدرومتری نیر و پل الماس
Fig. 6 Histogram of the hydrological indicators values in Nir and Poleh Almas hydrometric stations

است هیچ روزی از ایام سال‌های دوره آماری دبی به مقدار صفر نرسیده است، ولی در ایستگاه پایین‌دست (پل

با توجه به شکل (۶) میانگین دبی صفر و صفر در صد در ایستگاه بالادست (نیر)، صفر بوده که نشان‌دهنده این

پل الماس همچنان بیش‌تر از دبی بالادست است. این شرایط می‌تواند عاملی برای فرسایش بیش‌تر و تغییرات بیش‌تر نسبت به بالادست سد شود. دبی با احتمال درصدهای ۳۵ تا ۶۵ هر دو ایستگاه بالادست و پایین‌دست روند نزولی و مشابهی داشته‌اند. دبی با درصد زمانی ۶۵ تا ۱۰۰ در پایین‌دست نسبت به بالادست کم‌تر شده است.

۴- با توجه به منحنی تداوم جریان بالادست (نیر) و پایین‌دست (پل الماس) سد یامچی می‌توان گفت که میزان دبی با احتمال وقوع پایین در بالادست سد کم‌تر از پایین‌دست بوده که این حالت به خاطر متصل شدن رودخانه امام‌چای بعد از ایستگاه هیدرومتری نیر می‌تواند باشد.

۵- همچنین بر اساس معنی‌دار بودن تفاوت شاخص شیب بالا بین دو ایستگاه نیر و پل الماس می‌توان نتیجه گرفت که منحنی با دبی‌های احتمال وقوع صفر تا ۳۳٪ در ایستگاه نیر شیب ملایم‌تری نسبت به پل الماس داشته که نشان‌دهنده کاهش دبی در ایستگاه نیر و افزایش دبی در ایستگاه پل الماس به خاطر ورود جریان آب رودخانه امام‌چای بعد از ایستگاه هیدرومتری نیر است.

در مجموع می‌توان ذکر نمود که سدها ممکن است با تغییر در جریان رودخانه منجر به تغییرات ژئومورفولوژی در اطراف و بستر رودخانه و محل مخزن سد شوند. با توجه به اهمیت اثرات مثبت احداث سدها لازم است اثرات منفی زیست‌محیطی آن‌ها نیز جهت توسعه پایدار به حداقل رسانده شوند. همچنین تأثیر احداث سد بر میزان رسوب‌گذاری سد مورد مطالعه و پارامترهای فیزیکی- شیمیایی کیفیت آب مورد بررسی قرار گیرد.

الماس) دبی صفر ۰/۵ درصد از ایام سال (کلاً پنج روز در طول دوره آماری) و دبی برحسب درصد ۰/۱۳ از ایام سال‌های دوره آماری به صفر رسیده است.

همچنین میزان انحراف معیار و شاخص Lane در ایستگاه پایین‌دست (پل الماس) نسبت به بالادست (نیر) بیش‌تر است، پس می‌توان نتیجه گرفت که میزان نوسانات دبی در پایین‌دست بیش‌تر از بالادست بوده است که از دلایل این نوسان به استفاده از جریان آب رودخانه‌ای در پایین‌دست سد یامچی به‌عنوان آب شرب و کشاورزی می‌توان اشاره نمود که با یافته‌های (Nasiri 2019) Khiafi et al. در یک راستا است.

۴- نتیجه‌گیری

بر اساس آمار دبی روزانه جریان، در ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه، مقادیر ۳۰ شاخص در محیط Excel مورد محاسبه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا همراه با منحنی تداوم جریان میزان تغییرات دبی و شاخص‌های جریان رودخانه‌ای در بالادست و پایین‌دست سد مشخص شود و سپس معنی‌دار بودن آن‌ها با آزمون آماری t زوجی صورت گرفت. جمع‌بندی پژوهش صورت گرفته به شرح زیر است:

۱- با توجه به شاخص دبی حداکثر می‌توان نتیجه گرفت که افزایش آن می‌تواند عاملی برای تغییرات کلی مورفولوژی کانال و تعداد و سطوح عملکردی جریان در پایین‌دست سد باشد.

۲- در شاخص مشارکت آب‌های زیرزمینی با توجه به معنی‌دار بودن دو ایستگاه می‌توان نتیجه گرفت که میزان مشارکت آب‌های زیرزمینی در ایستگاه بالادست (نیر) نسبت به پایین‌دست (پل الماس) بیش‌تر بوده است.

۳- افزایش احتمال وقوع در بازه‌های زمانی ۱۰ تا ۳۵٪ دبی

References

- Alizadeh A. (2016). Principles of applied hydrology. Imam Reza University Press, 942 pp. [In Persian].
- Amini H., Esmali-Ouri A., Mostafazadeh R., Sharari M. and Zabihi M. (2019). Hydrological drought response of regulated river flow under the influence of dam reservoir in Ardabil Province. J. Earth Space Phys., 45(2), 1-15. [In Persian].
- Arevalo-Mejia R. Leblouis E. Salinas-Tapia H. Mastachi-Loza C. A., Ba K. M. and Diaz-Delgado C. (2020). A baseline assessment of hydrologic alteration degree for the Mexican catchments at

- gauged rivers (2016). *Sci Total Environ.*, 729, 139041.
- Arya A., Amini A., Eqbalzadeh A. and Javan M. (2013). Investigating the effect of Vahdat Dam on the discharge regime of Gheshlagh river in Sanandaj city. The 1st Int. Conf. and the 4th Nat. Conf on Urban Develop, Sanandaj, Islamic Azad University, 1-7. [In Persian].
- Chen Y. D., Yang T., Xu C. Y., Zhang Q., Chen X. and Hao Z. C. (2010). Hydrologic alteration along the middle and upper east river (Dongjiang) Basin, South China. A visually enhanced mining on the results of RVA method. *Stochastic Environ. Res. Risk Assess.*, 24(1), 9-18.
- Dongan Li., Di L., Jianshi Zh., Hui Lu. and Yang H. (2017). Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin., *J. Hydrol*, 551, 217-232.
- Esfandyari Darabad F., Mostafazadeh R., Shahmoradi R. and Nasiri Khiavi 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. *Hydrogeomorph*, 5(18), 57-77. [In Persian].
- Esfandyari Darabad F., Mostafazadeh R., Shahmoradi R., Nasiri Khiavi A. and Ebadi E. (2020). Investigating the effect of Bukan's Dam construction on hydrological indices of Zarrinehrood River based on the flow duration curve. *Water Soil Sci*, 29(4), 147-159. [In Persian].
- Gordon N. D., McMahon T. A., Finlayson B. L., Gippel Ch. J. and Nathan R. J. (2004). *Stream hydrology an introduction for ecologists*, John Wiley & Sons, Ltd, Ed(2): 448pp.
- Honarbakhsh A., Chogan M., Zare Bidaki R. and Pazhuhesh M. (2019). Regional frequency analysis of low flow in parts of the northern Karun river basin in chaharmahal and Bakhtiari province. *J. Environ. Water Eng.*, 4(4), 274-285 [In Persian].
- Khorooshi S., Mostafazadeh R., Esmali-Ouri A. and Raoof. M. (2017). Assessment of temporal and spatial variations of the hydrologic index of river in the watersheds of Ardebil Province. *Ecohydro*, 4(2), 379-393 [In Persian].
- Mahdavi M. (2003). *Principles of Applied Hydrology*. Tehran University Press, 320 pp. [In Persian].
- Mathews R. and Richter B. D. (2007). Application of the indicators of hydrologic alteration software in environment flow setting. *J. Am. Water Resour. Associ.*, 43(6), 1400-1413.
- Mehta R., Sharad K., Jain R. and Kumar D. S. G. (2012). Hydrological impacts of Dams: A Review, National Institute of Hydrology, Roorkee, *Int. J. Water Res. Environ.*, 3(1), 75-97.
- Mix K., Groeger A. W. and Lopes V. L. (2016). Impacts of dam construction on streamflows during drought periods in the Upper Colorado river basin, Texas, *Lake Reserv*, 21, 329-337.
- Mohammadirad L. (2018). Comparing the hydrological indicators of stream flow under the effects of dam construction (case study: Yamchi and Sabalan Dams Ardabil province), M. Sc Dissertation in Geomorphology and Environmental Planning, University of Mohaghegh Ardabili, Depart of Natural Geography, 100 pp [In Persian].
- Mostafazadeh R., Haji K., Esmali-Ouri A. and Mirzaei S. (2019). Estimating the monthly flow deficit during hydrological drought periods in Gorganroud river basin. *J. Watershed Manage. Res*, 9(18), 190-196 [In Persian].
- Nasiri Khiavi A. and Mostafazadeh R. (2019). Spatio-temporal assessment of river flow discharge variability indices in some watersheds of Ardabil Province. *Hydrogeomorph.*, 5(17), 23-44 [In Persian].
- Nasiri Khiavi A., Mostafazadeh R., Esmali Ouri A., Ghafarzadeh O. and Golshan M. (2019). Alteration of hydrologic flow indicators in Ardabil Balikhouchai River under combined effects of change in climatic variables and Yamchi Dam construction using range of variability approach. *Watershed Eng. Manage.*, 11(4), 851-865 [In Persian].
- Nasiri P. (2013). *Statistics and Probability of Engineering*. Payame Noor University, 298 pp. [In Persian].

- Nasri M. and Modares R. (2017). Investigating low flows trend assessment in Isfahan Province. *J. Range Watershed Manage.*, 70(1), 247-256 [In Persian].
- Raghunath H. M. (2014). *Hydrology: Principles, Analysis, and Design*. Wiley, 482p.
- Ranjbar M. and Amini N. (2014). Evaluating the effect of dams on groundwater resources (Case study of Salman Farsi Dam -Fars Province). *J. Geo.*, 12(40), 187-206 [In Persian].
- Sojka M., Jaskula J., Wischer-Dysarz and 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. *J. Water Land Develop.*, 30(1), 119-125.
- Theodoropoulos C., Karaouzas I., Vourka A. and Skoulikidis N. (2020). ELF-A benthic macroinvertebrate multi-metric index for the assessment and classification of hydrological alteration in rivers. *Ecol. Indic.*, 108, 1-11.
- Tian X., Zhao G., Mu X., Zhang P., Tian P., Gao P. and Sun W. (2019). Hydrologic alteration and possible underlying causes in the Wuding River, China. *Sci of The Total Envir.* 693: 1-9.
- Worrall T.P., Dunbar M.J., Extence C.A., Laizé C.L.R., Monk W.A. and Wood P.J. (2014). The identification of hydrological indices for the characterization of macroinvertebrate community response to flow regime variability. *Hydrol. Sci. J.*, 59(3-4), 645-658.
- Yang Z., Yan Y. and Liu Q. (2012). Assessment of the flow regime alterations in the lower Yellow River, China. *Ecol. Inform.*, 10, 56-64.
- Zou Q. and Liang S. H. (2015). Effects of dams on river flow regime based on IHA/RVA. *Proc. Int. Assoc. Hydrol. Sci.*, 368, 275-280.

Quantitative changes and statistical comparison of river flow hydrological indicators after the construction of Yamchi Dam, Ardabil, Iran

Raof Mostafazadeh^{1*} Fariba Esfandiary Darabad², Leila Mohammadirad³ and Khadijeh Haji⁴

¹Associate Professor, Department of Natural Resources and Member of Water Management Research Institute, Faculty of Agricultural and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

²Professor, Department of Natural Geography, Faculty of Literature and Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

³M.Sc. Student, Department of Geomorphology, Faculty of Literature and Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

⁴PhD Scholar, Department of Watershed Management Engineering and Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

*Corresponding author: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

Original Paper

Received: May 12, 2020

Revised: June 14, 2020

Accepted: June 20, 2020

Abstract

The purpose of this research was to analyze the quantitative changes and statistical comparison of the hydrological river flow indices due to dam construction in the upstream and downstream hydrometric stations during 2004-2013 period at the Ardabil Province. For this purpose, the flow duration curve (FDC) and 30 hydrologic indicators in the upper and lower stations of Yamchi Dam were calculated. The statistical analysis was performed against calculated indices using paired t-test and FDC analysis. According to the results, the mean high-water discharge in Nir (upstream) and Poleh Almas (downstream) stations was calculated to be equal 1.43 and 1.73 m³/s, indicating no significant differences between these stations in term of high-water discharge. Therefore, the maximum and minimum flow and discharge rates of 5, 85, 90, 95 exceedance probabilities and Q_{90}/Q_{50} , slope, standard deviation and Lane Index had significant difference under the effect of dam construction and the mean discharge was reduced. Moreover, indicators of zero discharge, zero percent, low flow, high flow, normal, median, mode, 25, 35, 45, 50, 65, 75, 85 exceedance percent and discharge of Q_{90}/Q_{50} experienced a significant difference. The results showed that the river regime discharge in Pole-Almas station is affected by the Yamchi Dam and the average discharge had reduced. In addition, there is a significant difference between hydrological indicators of minimum and maximum discharge and FDCs at studied stations. Therefore, evaluating the changes in river regimes provides the possibility of making sound management decisions in river flow utilization.

Keywords: Flow Timing; Human Intervention; Hydrological Regime; River Ecology; Water Resources Management.