

معنی داری میان دبی حداکثر لحظه‌ای قبل و بعد از افتتاح سد مارون، در ایستگاه هیدرومتری بالادست سد مشاهده نمی‌شود؛ این در حالی است که در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست، اختلاف معنی داری در سطح ۱ درصد میان دبی‌های حداکثر لحظه‌ای قبل و بعد از افتتاح سد مارون مشاهده می‌شود. اما در دو ایستگاه هیدرومتری بالادست (به‌عنوان ایستگاه شاهد) و پایین‌دست سد، روند تغییرات دبی‌های متوسط سالیانه بر هم منطبق و کاهش است، که نشان می‌دهد این مسئله ناشی از خشکسالی و تغییرات اقلیمی بوده است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت منابع آب، سیلاب، خوزستان

#### مقدمه

یکی از ارکان مدیریت منابع آب، بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها است. سدها با تنظیم جریان رودخانه‌ها، در امر بهبود توزیع نامنظم آب از نظر زمانی و مکانی، نقش مهمی را در جهت کاهش خسارات ناشی از کمبود آب ایفا نموده و علاوه بر تأمین آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در کنترل سیلاب، تولید برق، جذب توریسم و پرورش آبزیان نقش مؤثری دارند [۱۵]. سدها به‌عنوان سازه‌های ساخت دست بشر، از زمان‌های بسیار قدیم مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. اما شمار آن‌ها در دهه‌های اخیر با شیبه تند روندی صعودی داشته است. بر اساس بررسی دفتر مطالعات زیربنایی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی با پیشرفت علم و انجام تحقیقات جدید، جنبه‌های نوین آثار زیست محیطی سدها آشکار شده است و مشخص شده است که در برخی از موارد که قبلاً فایده محسوب می‌شد، در بلندمدت باید تجدیدنظرهایی به‌عمل آید [۱۴].

در ایران با توجه به خشکسالی‌ها، تغییرات اقلیم و بحران آب، سدسازی در مرکز توجه منتقدان و هواداران قرار گرفته است و در بسیاری موارد، از هر دو قشر، قضاوت‌های شتاب‌زده و بعضاً غیرکارشناسی در این مورد ارائه می‌شود. در هر صورت به دلیل برنامه‌ریزی‌های نادرست، سدهای تأسیس شده در کشور، در مواردی عملکرد مناسبی نداشته و باعث ایجاد مشکلاتی در پایین‌دست و بالادست شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به از بین رفتن برخی زیست‌بوم‌ها و همچنین خالی ماندن درصد قابل توجهی از مخازن تأسیس شده در دوره چشمگیری از زمان بهره‌برداری آن‌ها

## بررسی تأثیر سد مارون بر رژیم هیدرولوژیکی رودخانه جراحی

سمانه رضوی‌زاده<sup>۱\*</sup>، محمد خسروشاهی<sup>۲</sup> و فاطمه درگاهیان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۱/۱۴

DOR: 20.1001.1.26454777.1400.9.33.1.4

#### چکیده

سدها به‌عنوان سازه‌های هیدرولیکی عظیم، جریان رودخانه‌ها را در پایین‌دست خود به‌طور گسترده تحت تأثیر قرار می‌دهند. ارزیابی نحوه و میزان این اثرگذاری، یکی از مسائل مهم در مطالعات کنترل سیلاب است. در مطالعه حاضر به بررسی روند تغییرات رژیم سالانه و سیلابی رودخانه جراحی در طی زمان و بررسی ارتباط این تغییرات با تأسیس سد مارون با استفاده پرداخته شد. بدین منظور نسبت به ترسیم نمودارهای دبی متوسط سالانه و دبی حداکثر لحظه‌ای در دو ایستگاه هیدرومتری ایدنک (بالادست سد) و بهبهان (پایین‌دست سد) پرداخته شد و از آزمون آماری t جفتی (در نرم‌افزار SPSS) برای تحلیل اختلاف دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب رودخانه جراحی در دوره زمانی ۱۷ ساله قبل و بعد از بهره‌برداری سد مارون استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده اثرگذاری سد مارون بر دبی‌های پیک سیلابی است؛ به گونه‌ای که در بازه ۱۷ ساله پس از تاریخ آبخیزی سد مارون، دبی‌های پیک سیلابی در ایستگاه پایین‌دست سد نسبت به بازه ۳۳ ساله قبل از افتتاح سد، به صورت چشمگیری کاهش یافته است (۸۸/۹ درصد کاهش پس از افتتاح سد). مقدار متوسط دبی حداکثر لحظه‌ای در دو بازه ذکر شده قبل و بعد از احداث سد به ترتیب معادل ۱۷۵۷/۹ و ۱۹۴ مترمکعب بر ثانیه است که نشان‌دهنده این است که سد مارون پیک‌های لحظه‌ای را مهار کرده است. آزمون آماری انجام شده نیز نشان می‌دهد که اختلاف

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،  
 نویسنده مسئول،  
 Email: srazavizadeh@ymail.com

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

اشاره کرد. البته سهم عوامل انسانی و تغییرات اقلیم را در این مورد نباید نادیده گرفت و قابل ذکر است که تاکنون سدها فواید متعددی نیز داشته‌اند، که از جمله مهم‌ترین آن‌ها تأمین آب با خطرپذیری پایین برای مصارف مختلف و کنترل سیلاب است [۱۶].

سیل یکی از انواع بلایای طبیعی است که با توجه به شرایط اقلیمی خاص کشور ایران، از فراوان‌ترین انواع بلایا است. به‌طورکلی سیلاب‌ها در نتیجه بارش‌های با شدت بالا (ارتفاع بارش زیاد در مدت زمان کوتاه) به وقوع می‌پیوندند که منجر به این می‌شوند که به سرعت جریان رودخانه از ظرفیت عبوردهی آن تجاوز کرده و آب مازاد به اراضی مجاور رودخانه تجاوز کند. این مسئله منجر به بروز خسارات محسوس و نامحسوس می‌شود. جلوگیری از وقوع سیلاب اگر غیرممکن نباشد بسیار دشوار است اما مدیریت سیلاب در جهت کاهش خسارات وارده، نیاز به برنامه‌ریزی بلند مدت و جامع در جهت بهینه‌سازی کاربری اراضی حوزه‌های آبخیز متناسب با استعداد و طبیعت اولیه آن، عدم دستکاری‌های غیرکارشناسانه در طبیعت، حفظ و به رسمیت شناختن حریم رودخانه‌ها و غیره دارد.

استان خوزستان از دیرباز از استان‌های سیل‌خیز کشور بوده و وقوع سیل، خسارات چندهزار میلیاردی به کشاورزی، تأسیسات زیربنایی و مناطق مسکونی وارد می‌آورده است. لذا احداث سازه‌های مهار سیلاب در بالادست رودخانه‌ها به‌عنوان اولین گزینه جهت مهار سیلاب در سرمنشاء رودخانه‌ها در استان‌های سیل‌خیز کشور و از جمله در استان خوزستان توسط مسئولان مطرح بوده است. در این میان تبعات و اثرات حذف ظرفیت سیلابی از سیلاب‌دشت‌ها در نظر گرفته نشده است. از سوی دیگر احداث سدها و حذف یا کاهش دبی‌های سیلابی این اطمینان را ایجاد کرده تا مردم برای امرار معاش به سمت نواحی با خطرپذیری بالا در برابر سیل حرکت و به‌خصوص در اراضی حاشیه رودخانه‌ها سرمایه‌گذاری زیادی برای کشاورزی، صنعت و شهرسازی نمایند. این مسئله در نتیجه غفلت از سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا و عدم توجه به توان محدود سدها در مهار سیلاب‌های بسیار شدید، اتفاق افتاده است [۱۴].

ارزیابی و آگاهی از نحوه تأثیرسازه‌های احداثی بر روی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه، یکی از مسائل مهم و اساسی در مدیریت حوزه‌های آبخیز و مطالعات کنترل سیلاب می‌باشد [۷]. با این حال مطالعات اندکی در زمینه بررسی تأثیرسدهای احداث شده بر رژیم رودخانه‌های ایران و به ویژه تأثیر این سازه‌ها بر ظرفیت‌های سیلابی رودخانه‌ها و دبی‌های پیک سیلابی انجام شده است. سلحشوری و وفایی‌نژاد [۱۸]، به بررسی تأثیر احداث سد کرخه بر اراضی پایین‌دست سد و از جمله تغییرات سیلاب‌دشت‌ها پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که با احداث سد مخزنی کرخه و در نتیجه تثبیت دبی جریان رودخانه، تغییر در بستر رودخانه و تعرض به حریم رودخانه و در نتیجه تغییر کاربری در اراضی پایین‌دست سد اتفاق افتاده است. هم‌چنین نتایج بدست آمده از مطالعات انجام شده در بررسی تأثیرسدهای احداث شده در حوزه آبخیز جوققان-فارسان

(یکی از زیرحوضه‌های کارون شمالی) بر کاهش سیلاب پایین‌دست نشان می‌دهد که احداث کلیه سدها باعث شده که به‌طور متوسط دبی اوج سیل خروجی، ۳۴ درصد کاهش یافته [۴] و احداث سد نرماب در استان گلستان موجب کاهش پهنه سیل‌گیر رودخانه در پایین‌دست سد در همه دوره بازگشت‌ها شده است [۱۹].

مطالعه انجام شده در بررسی اثرات احداث سد بر تغییرات شاخص‌های جریان سیلابی و کم آبی در زودخانه زرینه رود در جنوب دریاچه ارومیه نیز نشان می‌دهد که احداث سد موجب تغییر شاخص‌های هیدرولوژیک جریان شده است که این امر می‌تواند اثر منفی بر روی گونه‌های گیاهی و جانوری رودخانه و دریاچه ارومیه داشته باشد [۳]. هم‌چنین مطالعه اثرات احداث دو سد یامچی و سیلان در استان اردبیل بر رژیم جریان رودخانه در پایین‌دست، نتایج جالب توجهی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این پژوهش احداث سد یامچی باعث کاهش رژیم جریان در پایین‌دست و افزایش وقوع رخدادهای خشکسالی هیدرولوژیک شده است درحالی‌که سد سیلان باعث تعدیل و تنظیم جریان در پایین‌دست شده و از شدت رخدادهای خشکسالی هیدرولوژیک کاسته است [۱۲ و ۱].

علاوه بر مطالعات انجام شده در ایران در موضوع ارزیابی اثرات سدهای احداث شده بر جریان رودخانه‌ها، در مطالعات خارج از ایران نیز به این مبحث پرداخته شده است. به‌طوریکه مورنو و همکاران [۱۱]، مگیلیگان و همکاران [۹]، چویی و همکاران [۲] و گرف [۶]، نیز در مطالعات جداگانه‌ای به بررسی نحوه اثرگذاری سدهای احداث شده بر جریان رودخانه‌های پایین‌دست خود پرداختند. نتایج بدست آمده از این مطالعات نشان می‌دهد که ویژگی‌های هیدرولوژیکی رژیم رودخانه در پایین‌دست، تحت تأثیر احداث سد قرار گرفته می‌گیرد. در برخی از این مطالعات مانند پژوهش ارائه شده در مقاله حاضر، به‌منظور تفکیک تأثیرسدهای احداث شده از تأثیر تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم بر رژیم رودخانه، در یک بازه زمانی مشخص، دبی رودخانه‌ها در بالادست و پایین‌دست سدها در نظر گرفته و مقایسه شد.

کتیباویچای [۸]، با مطالعه تأثیرسدهای احداث شده بر دبی سیلاب در پایین‌دست سد در حوضه رودخانه Chi، درصد کاهش دبی اوج سیل در پایین‌دست سد را محاسبه ۲۶/۶ درصد گزارش کردند. هم‌چنین می و همکاران [۱۰]، در مطالعه‌ای به بررسی تأثیرسدهای احداث شده بر وقوع سیلاب در تعدادی از رودخانه‌های ایالات متحده آمریکا پرداختند. آن‌ها با انتخاب ۳۸ رودخانه در سرتاسر آمریکا، به مقایسه تأثیرسدهای احداث شده بر دبی‌های اوج سیلاب ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری بعد از سد، در تاریخ قبل و بعد از احداث سد پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که سدهای احداث شده منجر به کاهش شدید اندازه سیلاب در تقریباً تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری بعد سد شده است. نرخ کاهش بین ۷/۴ تا ۹۵/۱۴ درصد متغیر بوده است.

ارزیابی تأثیر مشترک عملیات بیولوژیکی و سازه‌ای بر آب‌نمود

خوزستان) بر رژیم سالانه و سیلابی رودخانه جراحی پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز رودخانه‌های زهره - جراحی با کد ۲۴ و وسعت ۴۰۷۴۴/۵ کیلومتر مربع به لحاظ اهمیت منابع آب یکی از حوزه‌های آبخیز درجه دو کشور و بخشی از حوزه آبخیز خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد. این حوزه در مختصات جغرافیایی ۱۷' ۴۸° تا ۱۹' ۵۲° طول شرقی و ۴۷' ۲۹° تا ۴۱' ۳۱° عرض شمالی قرار دارد. حدود ۶۰ درصد از حوزه در استان خوزستان و به ترتیب ۲۶/۸ درصد و ۱۳/۳ درصد از حوزه، در استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و فارس و بخش‌های بسیار کوچکی در حدود ۰/۱ درصد از آن در استان بوشهر و استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. با توجه به شرایط هیدروژئولوژیکی، این حوزه آبخیز به ۲۴ محدوده مطالعاتی طبق تقسیمات تمام تقسیم و در مقیاس کشوری در جنوب غرب کشور واقع شده است. حوزه آبخیز زهره-جراحی شامل دو رودخانه اصلی جراحی و زهره می‌باشد. رودخانه جراحی خود از تلفیق دو رودخانه مارون و رامهرمز به وجود آمده است (شکل ۱).

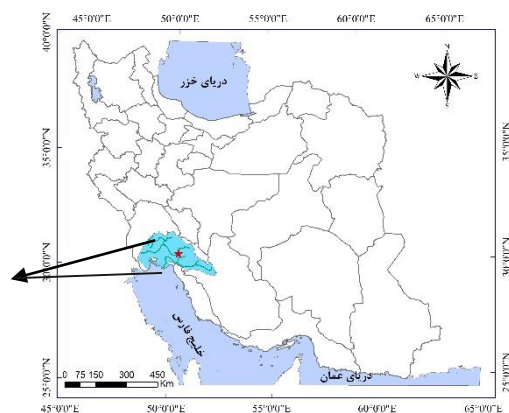
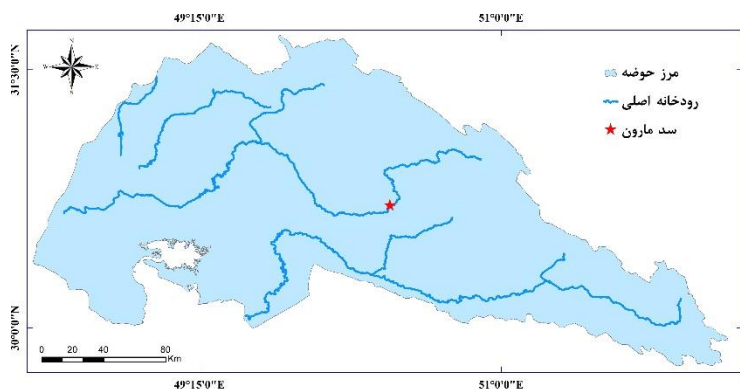
### سد مارون

سد مارون توسط وزارت جهاد کشاورزی در استان خوزستان و در ۱۹ کیلومتری شمال شرق شهرستان بهبهان تأسیس شده است. این سد با اهداف کشاورزی، برقایی و کنترل سیلاب بر رودخانه مارون از سرشاخه‌های رودخانه جراحی احداث شده است. سال شروع ساخت سد ۱۳۶۸ و سال افتتاح سد ۱۳۷۷ می‌باشد. این سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی و با ارتفاع ۱۵۱/۵ متر بوده که حجم نرمال مخزن سد ۱۲۷۴ میلیون کیلومتر مکعب و حجم مفید سد ۹۹۳ میلیون متر مکعب است. موقعیت سد مارون نسبت به حوزه آبخیز زهره-جراحی و نسبت به دو ایستگاه هیدرومتری بالادست و

سیلاب نیز در حوزه گوش و بهره انجام شده که نتایج بدست آمده نشان داده است که مجموع عملیات بیولوژیک و مکانیکی باعث کاهش مقدار دبی اوج سیل تا ۳۶/۲۱ درصد شده است [۱۳]. از سوی دیگر از ابزارهای سنجش از دوری نیز در ارزیابی تأثیرات احداث سازه‌ها در مطالعات استفاده شده است. فتح‌نیا و همکاران [۵]، با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست به بررسی تأثیرات احداث سد گاوشان بر کاربری اراضی، پوشش زمین و اقلیم حوزه رودخانه گاوهرود پرداختند. آن‌ها با استفاده از شاخص‌های NDVI، SAVI و EVI تغییرات پوشش گیاهی قبل و بعد از احداث سد در بالادست و پایین‌دست سد را نشان دادند. هم‌چنین با محاسبه دمای سطح زمین و توان تشعشعی زمین، تغییرات فضایی طبقات دمایی را محاسبه و بیان کردند که در پس از احداث سد، در پایین‌دست سد شاهد افزایش پوشش گیاهی و هم‌چنین کاهش دما بوده‌اند.

هم‌چنین تهیه نقشه سیل‌خیزی نیز از دیگر موارد مهم مطالعات سیل است که صابری‌فر و شکری [۱۷]، در مطالعه‌ای با همین موضوع به بررسی وضعیت شهر بیرجند از نظر سیل‌خیزی و پهنه‌بندی خطر ناشی از آن پرداختند. آن‌ها به شیوه توصیفی-تحلیلی و با استفاده از مدل AHP پهنه‌بندی سیلاب را انجام دادند. نتایج بدست آمده نشان داد که ۲۰ درصد از وسعت شهر در کلاس با خطر زیاد و خیلی زیاد، ۵۰ درصد در محدوده خطرپذیری متوسط و ۳۰ درصد در پهنه خطرپذیری کم و بسیار کم قرار دارد.

استان خوزستان در سال‌های اخیر، با حذف ظرفیت سیلابی دشت‌های سیلابی و کاهش جریان رودخانه‌های اصلی و فصلی، شاهد تبدیل دشت‌های سیلابی به کانون‌های گرد و غبار بوده است [۱۵]. این مسئله لزوم بررسی تأثیر عوامل مختلف بر کاهش جریان نرمال و سیلابی رودخانه‌های این استان، در جهت مدیریت عوامل مذکور برای کنترل و کاهش پدیده گرد و غبار را نشان می‌دهد. لذا در پژوهش حاضر در کنار توجه به مزیت‌های غیرقابل انکار سدها، به مطالعه چگونگی اثرگذاری سد مارون (یکی از سدهای مهم استان



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز زهره - جراحی و سد مارون در ایران

پایین دست در شکل (۲) نمایش داده شده است.

### روش تحقیق

در مطالعه حاضر به بررسی چگونگی اثرگذاری سد مارون به عنوان یکی از مهم ترین سدهای احداث شده در حوزه آبخیز زهره-جراحی، بر دبی متوسط سالانه و دبی های حداکثر لحظه ای رودخانه جراحی پرداخته شده است.

### - تعیین بازه زمانی مطالعه

با توجه به شروع ساخت سد مارون در سال ۱۳۶۸ و افتتاح سد در سال ۱۳۷۷، به منظور بررسی اثر سد احداث شده بر رژیم رودخانه در پایین دست، لازم بود که بازه زمانی مطالعه به گونه ای در نظر گرفته شود که قبل و بعد از احداث سد را پوشش دهد. بدین منظور بازه زمانی مشترک ۵۰ ساله (سال آبی ۱۳۴۶-۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۴) مبنا مطالعه قرار گرفت.

### - آماده سازی داده ها

داده های دبی متوسط سالانه و دبی حداکثر لحظه ای برای دو ایستگاه هیدرومتری ایدنک (بالادست سد) و بهبهان (پایین دست سد) از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه و نسبت به صحت سنجی و کنترل کیفیت داده ها با استفاده از آزمون های اوت لایر، جرم مضاف و تست روان اقدام شد.

### - تحلیل دبی سالانه

پس از کنترل کیفیت داده ها و اطمینان از صحت داده ها، نسبت به ترسیم نمودار دبی متوسط سالانه در دو ایستگاه هیدرومتری ایدنک

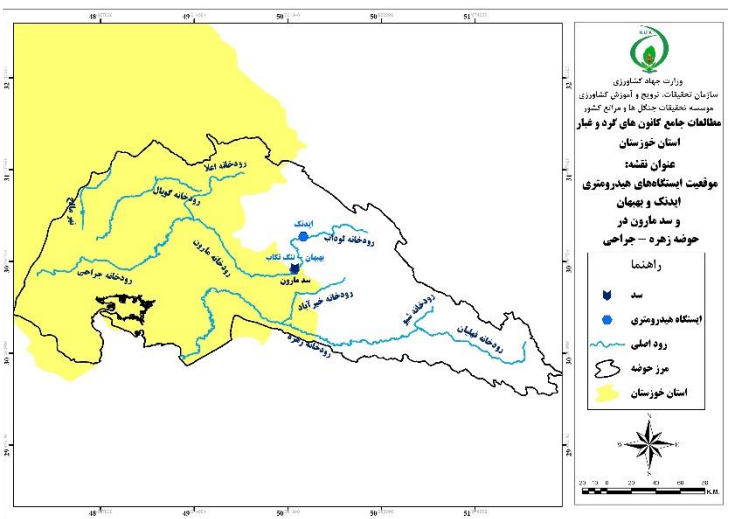
(بالادست سد) و بهبهان (پایین دست سد) اقدام شد. بدین ترتیب، امکان مقایسه و تعیین نقش سد احداث شده بر دبی متوسط سالانه رودخانه جراحی در پایین دست سد مارون، فراهم می شود. به عبارت دیگر نمودار تغییرات دبی مربوط به ایستگاه هیدرومتری بالادست سد، نقش شاهد را بر عهده داشته که با مقایسه آن با تغییرات دبی در نمودار پایین دست سد، میزان تأثیر و نقش سد احداث شده مشخص می شود.

### - تحلیل دبی حداکثر لحظه ای

در این مرحله نسبت به ترسیم نمودار دبی متوسط حداکثر لحظه ای در دو ایستگاه هیدرومتری ایدنک (بالادست سد) و بهبهان (پایین دست سد) اقدام شد. بدین ترتیب، امکان مقایسه و تعیین نقش سد احداث شده بر دبی متوسط حداکثر لحظه ای رودخانه جراحی در پایین دست سد مارون، فراهم می شود.

### - آزمون آماری دبی حداکثر لحظه ای

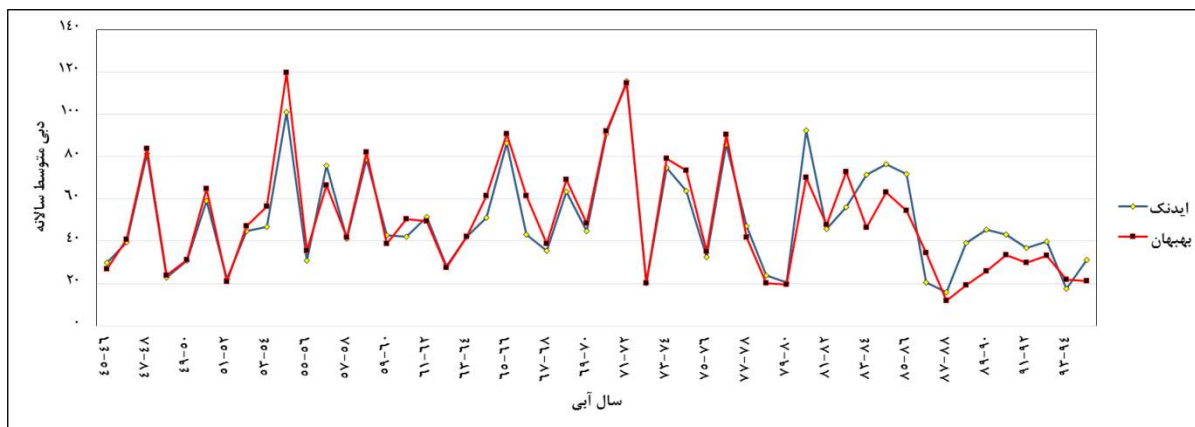
به منظور تحلیل بهتر اختلاف دبی حداکثر لحظه ای سیلاب رودخانه جراحی در ایستگاه های هیدرومتری قبل و بعد از سد مارون، دو دوره زمانی ۱۷ ساله قبل و بعد از بهره برداری سد مارون در نظر گرفته شده و دبی های حداکثر لحظه ای ایستگاه های مورد مطالعه مورد آزمون آماری قرار گرفتند. این دو دوره توسط نرم افزار SPSS و با استفاده از آزمون آماری t جفتی (paired samples t test) مورد آزمون قرار گرفت. این آزمون برای ایستگاه بهبهان (پایین دست سد مارون) به عنوان ایستگاه متاثر از احداث سد و ایستگاه هیدرومتری ایدنک (بالادست سد) به عنوان ایستگاه شاهد



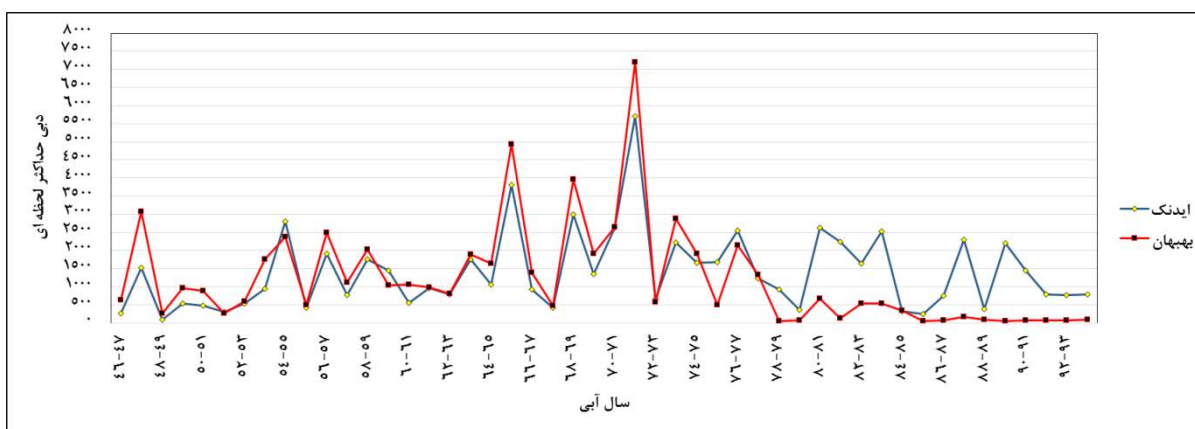
(الف)

(ب)

شکل ۲: موقعیت سد مارون در حوزه آبخیز زهره-جراحی (الف) و نسبت به دو ایستگاه هیدرومتری بالادست و پایین دست (ب)



شکل ۳: تغییرات دبی متوسط سالانه در دو ایستگاه هیدرومتری ایدنک و بهبهان



شکل ۴: تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای در دو ایستگاه هیدرومتری ایدنک و بهبهان

که متاثر از احداث سد نبوده است، انجام شد.

#### مطالعه مطالعه شاخص اقلیمی استاندارد بارش

در گام بعدی از مطالعه شاخص استاندارد بارش یا  $SPI$ ، که یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی اقلیمی است، برای حوزه آبخیز زهره-جراحی محاسبه شد. محاسبه این شاخص با استفاده از میانگین و انحراف معیار بارش متوسط سالیانه و با استفاده از نرم افزار  $DIP$  محاسبه شده و نمودار تغییرات شاخص بدون بعد  $SPI$  سالانه حوضه ترسیم شد. هدف از این تهیه این نمودار مقایسه وضعیت اقلیمی حوضه با تغییرات دبی‌های حداکثر لحظه‌ای و سالیانه، به منظور در نظر گرفتن سهم خشکسالی در کاهش دبی می‌باشد.

#### نتایج

شکل‌های (۳ و ۴) به ترتیب نمودارهای تغییرات دبی متوسط سالانه و دبی حداکثر لحظه‌ای را در ایستگاه هیدرومتری ایدنک (واقع در بالادست سد مارون) و ایستگاه هیدرومتری بهبهان (واقع در پایین‌دست سد مارون) در بازه زمانی موجود نمایش می‌دهد.

هم‌چنین در این دو نمودار سال شروع به ساخت و سال افتتاح سد نمایش داده شده است

شکل (۳) نشان می‌دهد که قبل از سال ۱۳۷۷ (افتتاح سد مارون) دبی متوسط سالیانه در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست سد (ایستگاه بهبهان) همواره مساوی یا کمی بیش‌تر از دبی متوسط سالیانه در ایستگاه هیدرومتری بالادست سد (ایستگاه ایدنک) بوده است. از سال ۱۳۷۸-۱۳۷۹ دبی متوسط سالیانه در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست سد (ایستگاه بهبهان) همواره کم‌تر از دبی متوسط سالیانه در ایستگاه هیدرومتری بالادست سد (ایستگاه ایدنک) بوده است (به جز در موارد انگشت شمار مانند سال ۸۳-۸۲). با توجه به این‌که این تغییر منطبق با آبیگری سد مارون بوده است، به نظر می‌رسد که این مسئله متاثر از احداث سد مارون بوده و تحت تأثیر نگهداشت آب توسط سد مارون بوده است که منجر به کم شدن دبی ایستگاه خروجی (ایستگاه بهبهان) از سد نسبت به ایستگاه ورودی به سد (ایستگاه ایدنک) شده است.

هم‌چنین همان‌طوری که شکل (۴) نشان می‌دهد، پیک‌های سیلابی بعد از سال افتتاح سد مارون توسط سد کاملاً مهار شده و دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری بعد از سد (ایستگاه بهبهان) کاهش محسوسی را نشان می‌دهد. نمودار دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری بعد از سد (ایستگاه بهبهان)، در بازه زمانی قبل

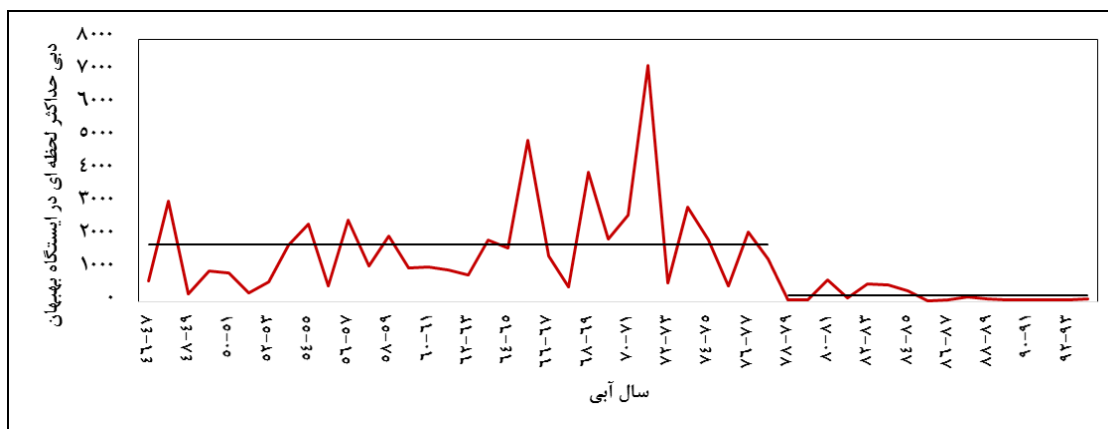
1. Standardized Precipitation Index

و بعد از افتتاح سد، تفاوت محسوسی را نمایش داده و در بازه زمانی بعد از افتتاح سد، نمودار دبی‌های پیک ایستگاه بهبهان حالت نسبتاً افقی پیدا کرده و حالت سینوسی پیک‌های لحظه‌ای که قبل از افتتاح سد مشاهده می‌شد، حذف شده است. این در حالی است که نمودار دبی‌های پیک سیلابی مربوط به ایستگاه ایدنک (ایستگاه هیدرومتری قبل از سد)، در دو بازه زمانی قبل و بعد از افتتاح سد روند مشابهی داشته و تغییری مشاهده نمی‌شود. لذا حذف پیک‌های سیلابی پس از احداث سد مارون از ایستگاه بعد از سد (بهبهان)، ربطی به شرایط اقلیمی نداشته و و با قاطعیت می‌توان گفت ناشی از تأثیر سد بر حذف پیک‌های سیلابی بوده است.

شکل شماره (۵) درصد کاهش دبی حداکثر لحظه‌ای را در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست سد مارون، در بازه زمانی بعد از افتتاح سد نسبت به قبل آن را نمایش می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده میانگین دبی‌های حداکثر لحظه‌ای سالانه قبل از افتتاح سد مارون برابر با ۱۷۵۷/۹ مترمکعب بر ثانیه بوده است که بعد از افتتاح سد به ۱۹۴ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافته است؛ که این کاهش شدید دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست سد (ایستگاه بهبهان) در بازه زمانی بعد از افتتاح سد نسبت به قبل از افتتاح سد مارون، کاهش ۸۸/۹ درصدی را نشان می‌دهد.

خلاصه نتایج بدست آمده از آزمون آماری دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در بازه زمانی ۱۷ سال قبل و ۱۷ سال بعد از افتتاح سد، در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بین دبی حداکثر لحظه‌ای قبل و بعد از بهره‌برداری سد مارون در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست سد (ایستگاه هیدرومتری بهبهان) اختلاف معنی‌داری وجود دارد. این اختلاف مورد آزمون آماری Paired Samples Test قرار گرفت، نتایج آزمون نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین دبی حداکثر لحظه‌ای قبل و بعد از بهره‌برداری سد مارون در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست سد در سطح ۱ درصد وجود دارد. اما برای ایستگاه هیدرومتری ایدنک (بالادست سد) که تحت تأثیر سد مارون نیستند، اختلاف معنی‌داری ملاحظه نشد (جدول ۲).

البته باید اذعان داشت که این اختلاف، حاصل اثرات توأم عملکرد سد مارون، کاهش بارش/ جریان و بالاخره طرح‌های توسعه آب و کشاورزی بالا و پایین‌دست سد مخزنی مارون است. اما در نهایت نتایج بررسی سیلاب نشان می‌دهد که در ایستگاه هیدرومتری بهبهان (ایستگاه بعد از سد)، دبی حداکثر لحظه‌ای سیل در ۱۷ سال اخیر (بعد از آگیری سد مارون) از ۷۰۰ مترمکعب بر ثانیه تجاوز نکرده است. این امر به بهره‌برداری سد مارون بر می‌گردد.



شکل ۵: دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری بهبهان

جدول ۱: نتایج آزمون آماری دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در بازه زمانی قبل و بعد از آگیری سد مارون در ایستگاه هیدرومتری بهبهان

a- تحلیل آماری نمونه‌های جفتی				
ایستگاه بهبهان (بعد از سد)	میانگین	تعداد	انحراف معیار	نهه
بازه زمانی قبل-بعد	۲۱۸۷/۶	۱۷	۱۷۷۰/۸۳۲۹۹	۴۲۹/۴۹۰۰۹
	۱۸۷/۰۳	۱۷	۲۰۳/۹۰۲۹۴	۴۹/۴۵۳۷۳

b- آزمون نمونه‌های جفتی

Sig. (2-tailed)	درجه آزادی	t	آزمون تفاوت‌های جفت شده		میانگین استاندارد خطا	انحراف معیار	میانگین	ایستگاه بهبهان (بعد از سد)
			فاصله اطمینان ۹۵ درصد حد بالا	حد پایین				
۰/۰۰۰	۱۶	۴/۶۶۱	۲۹۱۰/۴۶۳۲۰	۱۰۹۰/۷۷۲۰۹	۴۲۹/۱۹۱۶۰	۱۷۶۹/۶۰۲۳۲	۲۰۰۰/۶۲	بازه زمانی قبل-بعد

جدول ۲: نتایج آزمون آماری دبی‌های حداکثر لحظه‌ای در بازه زمانی قبل و بعد از آبیگری سد مارون در ایستگاه هیدرومتری ایدنک

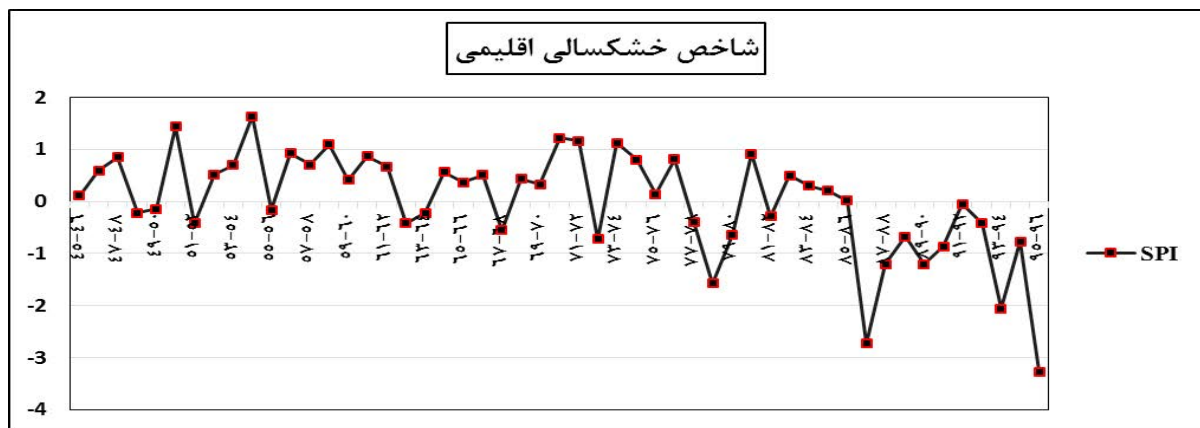
a- تحلیل آماری نمونه‌های جفتی

ایستگاه ایدنک (قبل از سد)	میانگین	انحراف معیار	تعداد	میانگین استاندارد خطا
بازه زمانی قبل- بعد	۱۹۰۶	۱۳۴۱/۹۱۸۵۹	۱۷	۳۲۵/۴۶۳۰۶
	۱۲۴۸/۵	۸۳۷/۳۰۳۹۷	۱۷	۲۰۳/۰۷۶۰۴

b- آزمون نمونه‌های جفتی

آزمون تفاوت‌های جفت شده

Sig. (2-tailed)	درجه آزادی	t	فاصله اطمینان ۹۵ درصد		میانگین استاندارد خطا	انحراف معیار	میانگین	ایستگاه ایدنک (قبل از سد)
			حد بالا	حد پایین				
۰/۱۳۱	۱۶	۱/۵۹۲	۱۵۳۳/۳۳۴۷۰	-۲۱۸/۲۹۹۴۰	۴۱۳/۱۳۹۷۱	۱۷۰۳/۴۱۸۶۵	۶۵۷/۵۱۸	بازه زمانی قبل-بعد



شکل ۶: شاخص خشکسالی اقلیمی در حوزه آبخیز زهره- جراحی در بازه زمانی ۵۰ ساله

### شاخص خشکسالی اقلیمی (SPI)

شاخص خشکسالی SPI این امکان را فراهم می‌سازد تا تحلیلگر، تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده در هر گام زمانی دلخواه را شناسایی نماید. نمودار SPI سالانه تهیه شده برای حوضه زهره-جراحی در بازه زمانی ۵۰ ساله در شکل (۶) نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌طور کلی از سال ۱۳۸۷-۱۳۸۶ به بعد روند کلی وضعیت اقلیمی از ترسالی و نرمال به سمت خشکسالی سیر کرده است و در سه سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷، ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۹۶-۱۳۹۵ شاهد خشکسالی بسیار شدید بوده‌ایم. این مسئله نیز به نوبه خود بر کاهش جریان رودخانه‌های حوضه مؤثر بوده است.

### بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به بررسی روند تغییرات رژیم سالانه و سیلابی رودخانه‌های زهره و جراحی در طی زمان و بررسی ارتباط این تغییرات با تأسیس سد مهم حوضه زهره-جراحی (سد مارون)،

پرداخته شد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده اثرگذاری سد مارون بر دبی‌های پیک سیلابی است؛ به گونه‌ای که پس از تاریخ آبیگری سد دبی‌های پیک سیلابی در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست سد به صورت چشمگیری کاهش یافته و سد احداث شده پیک‌های لحظه‌ای را مهار کرده است. آزمون آماری انجام شده نیز نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری میان دبی حداکثر لحظه‌ای قبل و بعد از افتتاح سد مارون، در ایستگاه هیدرومتری بالادست سد مشاهده نمی‌شود؛ این در حالی است که در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست، اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد میان دبی‌های حداکثر لحظه‌ای قبل و بعد از افتتاح سد مارون مشاهده می‌شود.

فصاحت و همکاران [۴]، مورنو [۱۱]، مگیلیگان [۹]، و گرف [۶] نیز به نتایج مشابهی در خصوص تأثیرسدها در کاهش دبی حداکثر لحظه‌ای رسیده‌اند. گرف [۶]، با بررسی ۳۶ سد از بزرگترین سدهای ایالات متحده آمریکا، با مقایسه دبی رودخانه در بالادست و پایین‌دست سد در دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث سدها، به بررسی تأثیرسدهای احداث شده بر دبی رودخانه‌ها پرداختند. نتایج

3. Esfandiary Darabad, F. Mostafazadeh, R. Shahmoradi, R. and Nasiri Khiavi, A. 2020. The effect of dam construction on flood and flow indices in south of Lake Urmia. *Journal of Natural Environmental Hazards*. 9(24): 1-14.

4. Fasahat, V. Sadatinejad, S.J. Honarbakhsh, A. and Samadi-Boroujeni, H. 2014. Influence of storage dam construction on downstream flood reduction. *Journal of Watershed Management Research*. 5(10): 44-55.

5. Fathnia, A. Sherafat, M. and Najafi, J. 2019. Investigating the Landuse and Local Climate Changes in Gaveshod Basin Before and After Gavoshan Dam Construction. *Geography and development*. 17(54): 205-222.

6. Graf, W. 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79: 336-360.

7. Kaviani, A. Mohammadi, M.A. and Azmodeh, A. 2015. Effects of check dam construction on hydrological characteristics in Mohamadabad watershed-Sari. *Journal of Applied research in Geographical Sciences*. 14 (35): 213-230.

8. Kuntiyawichai, K. 2014. Effectiveness of Ubol Ratana and Lam Pao Reservoirs for Flood Mitigation in the Downstream Area of the Chi River Basin Using HEC-HMS Model. *Advanced Materials Research*. 931-932: 785-790.

9. Magilligan, F. Nislow, K. and Graber, B. 2003. Scale-independent assessment of discharge reduction and riparian disconnectivity following flow regulation by dams. *Geology*. 31(7): 569-572.

10. Mei, X. Van Gelder, P.H. Dai, Z. and Tang Z. 2016. Impact of dams on flood occurrence of selected rivers in the United States. *Frontiers of Earth Science*. 11(2): 268-282.

11. Moreno, J. Begueria, S. and Ruiz, J.M.T. 2002. Influence of the Yasa reservoir of the Aragon River. Central Spanish Pyrenees. *Hydrology and Earth system sciences*. 6(4): 753-762.

12. 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

بدست آمده از تحقیق آن‌ها با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشته و نشان از اثرگذاری سدهای احداث شده در کاهش ظرفیت‌های سیلابی دارد. همچنین نتایج بدست آمده از مطالعه می و همکاران [۱۰]، نیز نشان داد که سدهای احداث شده منجر به کاهش شدید اندازه سیلاب در تقریباً تمامی ایستگاه‌های هیدرومتری بعد سد شده است. نرخ کاهش بین ۷/۴ تا ۹۵/۱۴ درصد متغیر بوده است.

اما در خصوص دبی‌های متوسط سالیانه، با توجه به این که روند تغییرات در دو ایستگاه هیدرومتری بالادست و پایین‌دست سد بر هم منطبق و کاهش است، لذا این مسئله ناشی از خشکسالی و تغییرات اقلیمی بوده است. دبی‌های متوسط سالیانه از سال ۱۳۸۷-۱۳۸۸ دچار کاهش شدیدی شده است. با توجه به اینکه این کاهش شدید در هر دو ایستگاه بالا و پایین‌دست سد اتفاق افتاده، لذا کاهش متأثر از احداث سد نبوده و ناشی از خشکسالی شدید دهه اخیر بوده است. این مسئله در نمودار SPI تهیه شده نیز قابل مشاهده است که نشان از شروع خشکسالی‌های اقلیمی از سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ دارد. اما اثر سد در این کاهش را می‌توان در شدت کاهش دبی در ایستگاه پایین‌دست نسبت به ایستگاه بالادست سد مشاهده کرد. بدیهی است که مدیریت سد حکم می‌کند که در شرایط خشکسالی به منظور تأمین آب مورد نیاز، آب بیش‌تری توسط سد ذخیره شود که این مسئله منجر به این شده است که علی‌رغم کاهش دبی در هر دو ایستگاه بالا و پایین‌دست سد، شدت کاهش در ایستگاه پایین‌دست سد بیش‌تر باشد.

لذا نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر نشان می‌دهد که احداث سد مارون اگرچه تأثیرمعنی‌داری بر دبی متوسط سالانه ایستگاه پایین‌دست سد نداشته است، اما بر حذف و کاهش پیک‌های سیلابی تأثیرمعنی‌داری داشته، که این مسئله با ایجاد اطمینان کاذب در ورود و سرمایه‌گذاری در امور کشاورزی، صنعت و شهرسازی در اراضی حاشیه‌ای رودخانه‌ها و نواحی با خطرپذیری بالا در مقابل سیلاب‌های با دوره بازگشت زیاد که از توان مهار سد خارج است، می‌تواند خسارات جانی و مالی زیادی را به دنبال داشته و شایان توجه در برنامه‌ریزی‌های مدیریت سرزمین است.

#### منابع

1. Amini, H. Esmali-Ouri, A. Mostafazadeh, R. Sharari, M. and Zabihi, M. 2019. Hydrological drought response of regulated flow under the influence of dam reservoir in Ardabil Province. *Journal of the Earth and Space Physics*. 45 (2): 473-486.

2. Choi, S. Yoon, B. and Woo, H. 2005. Effects of dam-induced flow regime change on downstream river morphology and vegetation cover in the Hwang River, Korea. *River Research and Application*. 21 (23):315-325.



17. Saberifar, R. and Shokri, H. 2019. Zoning the Risk of Flood in Birjand & Country Planning. 11(1): 159-178.
18. Salahshouri, P. and Vafaei Nezhad, A.R. 2012. Change detection of Karkheh river floodplains of the Karkheh dam reservoir using remote sensing and GIS. Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resources Science. 3(3): 85-99.
19. Yakhkeshi, M. Meftah Halghi, M. Zahiri, A. and Madadi, M.R. 2014. Effect of construction of Narmaab storage dam on reduction of flood plain and flood damage at downstream lands. Journal of Irrigation and Water Engineering. 4(16): 24-37.
- Yamchi Dam, Ardabil, Iran. Environmental and Water Engineering. 6(2): 107-121.
13. Nourali, M. and Chahraman, B. 2016. Assessment of watershed management projects on flood hydrograph using HEC-HMS model (Case study: Goosh-Bahreh Watershed). Journal of Watershed Management Research. 7(13): 60-71.
14. Razavizadeh, S. 2020. Analytical monitoring of floods and feasibility of suitable areas for the construction of reservoirs for rainfalls, Research Project Report, Research Institute of Forests and Rangelands.
15. Razavizadeh, S. 2020. Quantitative studies of surface water resources in three watersheds of Zohreh-Jarahi, Karkheh and Karun, Research Project Report, Research Institute of Forests and Rangelands.
16. Research Center of the Islamic Consultative Assembly. 2016. Investigating the Status of Dams and the Function of Dams in Iran (2016.10.30).



## Abstract

## Assessment the Impact of Maroon dam on Jarahi river Regime

S. Razavizadeh<sup>1\*</sup>, M. Khosroshahi<sup>2</sup> and F. Dargahian<sup>3</sup>

Received: 2020/11/11 Accepted: 2021/02/02

Dams, as massive hydraulic structures, widely affect the flow of rivers downstream. Assessment of the extent of this impact is one of the most important issues in flood control research. In the present study, the annual and flooding trends of the Jarahi River and the relationship of these changes with the establishment of Maroon Dam was investigated. For this purpose, the diagrams of annual average discharges and flood peak discharges in two hydrometric stations of Idnak (upstream of the dam) and Behbahan (downstream of the dam) were plotted and a pairwise t-test (in SPSS software) was used to analyze the difference. The maximum flow discharge of Jarahi River was used in a period of 17 years before and after the operation of Maroon Dam. The results show the effect of Maroon Dam on peak flood discharges; In the 17-year period after the date of the opening of the Maroon Dam, the peak flood discharges in the downstream station of the dam compared to the 33-year period before that, have decreased significantly (88.9% decrease after Since the opening of the dam). The average maximum flow rate in the two mentioned periods before and after the construction of the dam is 1757.9 and 194 cubic meters per second, respectively, which indicates that the Maroon Dam has restrained the flood peaks. The statistical test also shows that no significant difference between the maximum flood discharge before and after the opening of Maroon Dam is observed in the hydrometric station upstream of the dam; however, at the downstream hydrometric station, a significant difference of 1% is observed between the maximum flood discharges before and after the opening of the Maroon Dam. Also the average annual discharges were coincided in a decreasing trend, given the trends in the two upstream and downstream of the dam, which can be attributed to drought occurrence and climate change.

**Keywords:** Water resources management, Flood, Khoozestan.

1. Corresponding author, Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: srazavizadeh@ymail.com

2. Associate Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran