

**"مقاله پژوهشی"****تأثیر احداث سد کرخه و عوامل اقلیمی بر رژیم سالیانه، سیلابی و پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه کرخه****سمانه رضوی‌زاده^۱، سکینه لطفی نسب اصل^۲، فاطمه درگاهیان^۳ و زهرا سعیدی‌فر^۴**

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، (نویسنده مسؤول: srazavizadeh@gmail.com)

۲- استادیار 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

۴- دکترای بیابان زدایی، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۱۱

صفحه: ۲۴۸ تا ۲۳۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: رودخانه کرخه به عنوان سومین رودخانه بزرگ ایران، همه ساله حجم آب وسیعی را به دشت خوزستان روانه می‌کند. احداث سد مخزنی کرخه در کنار مزیت‌های متعدد، در جریان رودخانه را در پایین دست خود به طور گسترده تحت تاثیر قرار می‌دهد. نادیده گرفتن اثرات سازه‌ها در حذف یا کاهش جریان‌های رودخانه‌ای و بهویژه ظرفیت‌های سیلابی، منجر به سرمایه‌گذاری در زمینه کشاورزی، صنعت و شهرسازی در حاشیه رودخانه‌ها، پایین دست سدها و نواحی پربخطر در برابر سیل شده است.

مواد و روش‌ها: در مطالعه حاضر به بررسی روند تغییرات رژیم سالانه و سیلابی رودخانه کرخه در یک بازه زمانی حدوداً ۵۰ ساله و بررسی ارتباط این تغییرات با تأثیرات سد کرخه پرداخته شد. بدین منظور از چهار آزمون اماراتی (von Neumann-Buishand-SNHT-Pettitt) برای بررسی همگنی داده‌ای دیگر لحظه‌ای و دیگر متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری پاییل و تعیین نقاط تغییر و جهش، استفاده شد. همچنین به منظور تعیین نقش پارامترهای اقلیمی بر دیگر رودخانه‌های نیز، از آزمون همیستگی پیرسون استفاده شد.

یافته‌ها: با توجه به آبگیری سد کرخه در سال ۱۳۸۰، نتایج مطالعه نشان داد که میانگین دیگری‌های حداکثر لحظه‌ای، در بازه زمانی ۳۲ ساله قبل از افتتاح سد در ایستگاه هیدرومتری پاییل دست سد (ایستگاه پاییل)، برابر با ۱۹۷۶ مترمکعب بر ثانیه و در ۱۶ سال پیش از آن که همزنی با افتتاح سد کرخه نیز دارد، با کاهش چشمگیر ۷۸ درصدی، معادل ۴۱۷ مترمکعب بر ثانیه شده است. لذا با توجه به حذف پیک‌های سیلابی بالاچاله پس از احداث سد کرخه، با قطعیت می‌توان شاهد تأثیر سد بر مهار پیک‌های سیلابی رودخانه کرخه بود. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که بیشترین همیستگی دیگر لحظه‌ای در سطح معنی داری ۹۵ درصد، با پارامتر SPEI یا خشکسالی هواشناسی می‌باشد. پایش تصاویر ماهواره‌ای نیز نشان می‌دهد که تا قبل از آبگیری سد کرخه (۱۳۸۰)، پهنه‌های سیلابی در شرایط وقوع سیلاب، پوشیده از آب بوده و پس ازین سال با وجود رخداد سیل و گزارش دیگر شدیده از آب در رودخانه کرخه، هیچ‌گونه آبگیری از رودخانه کرخه در دسته‌های سیلابی مشاهده نشده است.

نتیجه‌گیری: رژیم سیلابی رودخانه کرخه در پایین دست سد کرخه، از سال ۱۳۷۶ شاهد روند کاهشی ناشی از تغییرات شاخص خشکسالی اقلیمی بوده که از سال ۱۳۸۰، تحت تأثیر افتتاح سد کرخه از روند ثابتی برخوردار بوده و مهار سیلابها توسط سد را نمایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پهنه سیلابی، تصویر ماهواره‌ای، دیگر لحظه‌ای، سد کرخه، شاخص خشکسالی SPEI

زده شده و با ذخیره‌سازی، محدودسازی، تعدیل جریان با انحراف سیلاب توسط احداث سازه‌های مناسب، خسارت وارد و کاهش یابد. احداث سدهای مخزنی از جمله این راهکارهای است. یک مخزن با ذخیره کردن مقداری از حجم سیلاب باعث کاهش ارتفاع موج سیل شده و خطر سیلاب را در نواحی پایین دست کاهش می‌دهد (۳۳). از سوی دیگر، پارامترهای طبیعی مانند خشکسالی و تغییر اقلیمی نیز، می‌تواند بطور موثری منجر به تغییر جریان رودخانه‌های شود (۱۴). اسکندری دامنه و همکاران (۱۱)، در مطالعه‌ای نشان دادند که ارتباط معنی داری در سطح ۹۹ درصد میان خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیک در استان تهران وجود داشته و روند خشکسالی تقریباً در مناطق مختلف استان با گذشت زمان افزایش یافته است.

استان خوزستان با برخورداری از جریان رودخانه‌های دائمی و بزرگ، نقش مهمی را در چرخه حیاتی آب کشور ایفا نموده و سهم قابل توجهی از اهداف توسعه پایدار در بخش آب و کشاورزی را به خود اختصاص داده است. این منابع آبی عظیم از سوی دارای حجم آبی مطمئن و قابل ملاحظه بوده و از سوی دیگر، مخاطراتی نظری وقوع سیلاب‌های بزرگ و

مقدمه سدها به عنوان سازه‌های هیدرولوژیکی عظیم، جریان رودخانه‌ها را در پایین دست خود به طور گسترده تحت تاثیر قرار می‌دهند. با توجه به اهمیت رودخانه‌ها به عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب برای مصارف مختلف از جمله شرب، صنعت و کشاورزی، شناخت شرایط جریان و رژیم هیدرولوژیکی آنها از اهمیت به سزاوی برخوردار است. سازه‌های هیدرولوژیکی تأثیرات گسترده‌ای بر جریان رودخانه و پهنه‌های سیل‌گیر در پایین دست خود دارند. سدهای مخزنی به عنوان مهم‌ترین سازه‌های هیدرولوژیکی ساخته شده بر روی رودخانه‌ها، تاثیر چشمگیری بر شرایط رژیم جریان در پایین دست خود می‌گذارند (۵). ارزیابی و آگاهی از نحوه تاثیر سازه‌های احتمالی بر روی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه، یکی از مسائل مهم و اساسی در مدیریت حوزه‌های آبخیز و مطالعات کنترل سیلاب می‌باشد (۱۸).

بطورکلی اقدامات مدیریتی که به منظور کاهش خسارات سیل انجام می‌شود را می‌توان در دو بخش اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم‌بندی نمود. در اقدامات سازه‌ای سعی می‌شود که قبل از وقوع سیل، شدت جریان و تراز آب تخمین

کاهش دبی پیک سیلابی داشته که با افزایش دوره بازگشت سیل تاثیر این مخازن در کاهش سیلاب خروجی حوضه، کاهش می‌یابد. صابری فر و شکری (۳۰) نیز در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت شهر بیرجند از نظر سیل خیزی 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.

تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانه لیقوان، نشان می‌دهد که مقدار آبده‌ی متغیرهای دما و نم نسبی حوضه به ترتیب دارای روند کاهشی، افزایشی و کاهشی بوده و اثر فعلیت‌های انسانی بر تغییرات جریان رودخانه قابل توجه می‌باشد (۱۷).

در مطالعات خارج از ایران نیز به مبحث ارزیابی اثرات خشکسالی و سدهای احداث شده بر جریان رودخانه‌ها پرداخته شده است. مورنو و همکاران (۲۴)، مگیلیگان و همکاران (۲۱)، چوبی و همکاران (۹) و گرف (۱۵)، نیز در مطالعات جداگانه‌ای به بررسی نحوه اثرگذاری سدهای احداث شده بر جریان رودخانه‌های پایین دست خود پرداختند. نتایج بدست آمده از این مطالعات نشان می‌دهد که ویژگی‌های هیدرولوژیکی رژیم رودخانه در پایین دست، تحت تاثیر احداث سد قرار می‌گیرد. در برخی ازین مطالعات مانند پژوهش ارائه شده در مقاله حاضر، به منظور تفکیک تاثیر سدهای احداث شده از تاثیر تغییرکاربری اراضی و تغییر اقلیم بر رژیم رودخانه، در یک بازه زمانی مشخص، دبی رودخانه‌ها در بالادست و پایین دست سدها در نظر گرفته و مقایسه می‌شود. ژانک و همکاران (۳۵)، تغییرات بارش و جریان رودخانه را در کشور چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان دهنده کاهش شدید بارندگی در فصل بهار و افزایش بارش در پاییز و زمستان بوده که منجر به تغییرات شدید در رواناب فصول بهار و پاییز شده است.

می و همکاران (۲۳)، در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر سدهای احداث شده بر وقوع سیلاب در تعدادی از رودخانه‌های ایالات متحده امریکا پرداختند. آنها با انتخاب ۳۸ رودخانه در سرتاسر امریکا، به مقایسه تاثیر سدهای 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 $7/4$ تا $95/14$ درصد متغیر بوده است. همچنین کنتیاپیچای و لی در دو پژوهش جداگانه (۲۰، ۱۹)، با مطالعه تاثیر سدهای احداث شده بر دبی‌های سیلابی در ایستگاه‌های پایین دست سد، درصد کاهش دبی اوج سیل در پایین دست سدها را به ترتیب $26/6$ و 31 درصد گزارش کردند.

ارزیابی تاثیر مشترک عملیات بیولوژیکی و سازه‌ای بر آبنمود سیلاب نیز در حوضه گوش و بهره انجام شده که نتایج

مخرب را به دنبال دارند که برای مدیریت هر چه بهتر این منابع، احداث سد به عنوان راه حلی قابل قبول، مورد توجه قرار گرفته است (۳۱). سدها در واقع جریان طبیعی رودخانه را به جریان تنظیمی تبدیل کرده و باعث تغییرات گسترده‌ای در پارامترهای هیدرولوژیکی رودخانه می‌شوند (۴). احداث سدها نیز با حذف یا کاهش دبی‌های سیلابی این اطمینان را ایجاد کرده تا مردم برای امراض معاشر به سمت نواحی با خطرپذیری بالا در برابر سیل حرکت و به خصوص 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 که ضرورت مطالعه چگونگی اثرگذاری سدهای احداث شده بر جریان‌های رودخانه پایین دست خود و پهنه‌های سیلابی را نشان می‌دهد (۲۹).

با توجه به اهمیت پایش جریان رودخانه‌ها در شرایط طبیعی، اهمیت دوچندان بررسی رژیم رودخانه وقتی به واسطه احداث سازه از حالت طبیعی خود خارج شده و دستخوش تغییر شده‌اند، مشخص بوده و مطالعه رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها قبل و بعد از احداث سد از موضوعات مهم در سراسر جهان است.

مطالعات اندکی در زمینه بررسی تاثیر سدهای احداث شده بر رژیم رودخانه‌های ایران و به ویژه تاثیر این سازه‌ها بر ظرفیت‌های سیلابی رودخانه‌ها و دبی‌های پیک سیلابی انجام شده است. همچنین مطالعات کمتری به بررسی همزمان تاثیر تغییرات عوامل اقلیمی در کار تاثیر سازه‌های احداث شده بر جریان رودخانه‌ها، انجام شده است.

مطالعات انجام شده در بررسی تاثیر سدهای احداث شده در حوزه آبخیز جونقان-فارسان (یکی از زیرحوضه‌های کارون شمالی) بر کاهش سیلاب پایین دست نشان می‌دهد که احداث کلیه سدها باعث شده که بطور متوسط دبی اوج سیل خروجی، 34 درصد کاهش یافته (۱۲) و احداث سد نرمان در استان گلستان موجب کاهش پهنه سیل گیر رودخانه در پایین دست سد در همه دوره بازگشت‌ها شده است (۳۳).

سلمانی و همکاران (۳۲)، در مطالعه‌ای به تحلیل روند بلند مدت سری‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی شرق حوضه گرگان‌زد پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مقادیر بارش و دما در تمام ایستگاه‌ها روند صعودی داشته و در تمام ایستگاه‌ها زمان افزایش دما در سال 1993 همزمان با نقطه جهش روند دبی بوده است.

مطالعه اثرات احداث دو سد یامچی و سبلان در استان اردبیل بر رژیم جریان رودخانه در پایین دست نیز نتایج جالب توجهی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این پژوهش احداث سد یامچی باعث کاهش رژیم جریان در پایین دست و افزایش وقوع رخدادهای خشکسالی هیدرولوژیک شده است در حالیکه سد سبلان باعث تعديل و تنظیم جریان در پایین دست شده و از شدت رخدادهای خشکسالی هیدرولوژیک کاسته است (۳، ۲۵). همچنین مطالعه انجام شده توسط نورکرمی و همکاران (۲۷) نشان می‌دهد که احداث سدهای تاخیری در حوضه آبریز رودخانه وردآورده، اثر قابل توجهی در

تجاوز به حیرم سیلابی رودخانه و ساخت و ساز در این مناطق (مسکونی، کشاورزی و غیره)، منجر به ایجاد خسارت می‌شود. لذا ضرورت توجه به اثرات احداث سدها بر خصوصیات جریان رودخانه‌ها منجر شد که در پژوهش حاضر به مطالعه چگونگی اثرگذاری سدها بر رژیم سالانه و سیلابی رودخانه کرخه پرداخته شود.

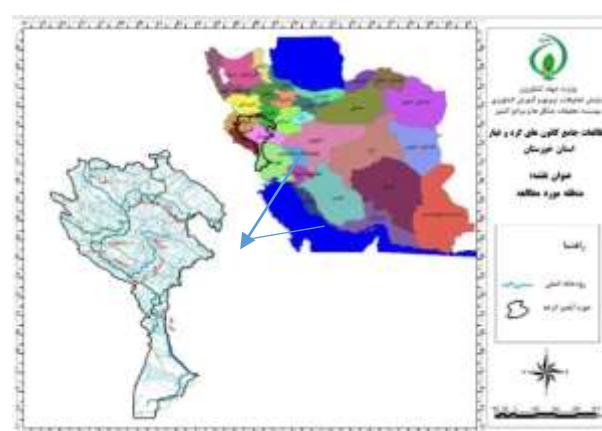
مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کرخه با کد ۲۲ و وسعت ۵۰۷۶۸ کیلومتر مربع، به لحاظ اهمیت منابع آب یکی از مهمترین حوزه‌های آبخیز درجه دو کشور است که در استان‌های کرمانشاه، همدان، ایلام، لرستان، خوزستان و کردستان واقع شده است (شکل ۱). از نظر مختصات جغرافیایی این حوضه بین ۴۶° تا ۱۰° طول شرقی و ۳۴° تا ۵۸° عرض شمالی قرار گرفته است (۳۴). میانگین بارندگی در حوضه کرخه از حدود ۱۵۰ میلی‌متر در سال در مناطق جنوبی تا فراتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال در ارتفاعات شمالی و مناطق شرقی حوضه تغییر می‌نماید و رژیم بارش آن مدیترانه‌ای است (۳۶).

رودخانه کرخه یکی از مهمترین رودخانه‌های حوضه خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد ولی مستقیماً وارد خلیج فارس نمی‌شود بلکه ابتدا وارد هورالعظیم شده و سپس از طریق اروندرود به خلیج فارس می‌ریزد. رودخانه کرخه از چند شاخه اصلی به نام‌های گاماسیاب، قره سو و کشکان و تعداد زیادی شاخه‌های کوچک و بزرگ تشکیل شده است (۲۹). در پایاب این حوضه، سد کرخه احداث شده است که از آب ذخیره شده در مخزن این سد برای تأمین آب در بخش کشاورزی، صنعت و شرب استفاده می‌شود (۶).

بدست آمده نشان داده است که مجموع عملیات بیولوژیک و مکانیکی باعث کاهش مقدار دبی اوج سیل تا ۳۶/۲۱ درصد شده است (۲۶). از سوی دیگر از اینزهای سنجش از دوری نیز در ارزیابی تأثیرات احداث سازه‌ها در مطالعات استفاده شده است. فتح‌نیا و همکاران (۱۳)، با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست به بررسی تأثیرات احداث سد گاوشان بر کاربری اراضی، پوشش زمین و اقلیم حوضه رودخانه گاوه‌رود پرداختند. آنها با استفاده از شاخص‌های SAVI، EVI و NDVI تعییرات پوشش گیاهی قبل و بعد از احداث سد در بالادست و پایین دست سد را نشان دادند. همچنین با محاسبه دمای سطح زمین و توان تشعشعی زمین، تعییرات فضایی طبقات دمایی را محاسبه و بیان کردند که پس از احداث سد، در پایین دست شاهد افزایش پوشش گیاهی و همچنین کاهش دما بوده‌اند.

لذا با توجه به اینکه احداث سازه‌های مهار سیلاب در بالادست رودخانه‌ها به عنوان اولین و آسان‌ترین گزینه جهت مهار سیلاب در سرمنشاء در استان‌های سیل خیز کشور و از جمله در استان خوزستان همواره مطرح بوده است؛ نادیده گرفتن اثرات احداث سازه‌ها در حذف یا کاهش جریان‌های رودخانه‌ای و بهویژه ظرفیت‌های سیلابی، منجر به این شده که مردم برای امداد معافش به سمت نواحی با خطرپذیری بالا در برابر سیل حرکت و بهخصوص در اراضی حاشیه‌ای رودخانه‌ها و پایین دست سدها سرمایه‌گذاری زیادی برای کشاورزی، صنعت و شهرسازی نمایند. در سیلاب‌های به وقوع پیوسته، آب مازاد بر ظرفیت انتقال رودخانه به اراضی حاشیه رودخانه راه پیدا می‌کند. این مسئله که بیشتر در مناطق پایین دست حوضه‌ها یا به عبارتی در دشت‌ها به وقوع می‌پیوندد، از سویی منجر به آگیری دشت‌های سیلابی و مهار پدیده گرد و غبار می‌شود و از سوی دیگر در شرایط



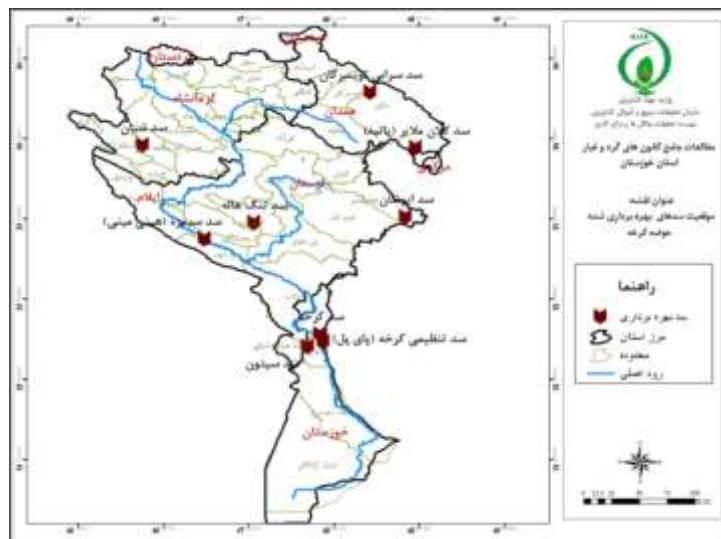
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Study Area

بررسی تعییرات دهه‌ای سدهای در دست بهره‌برداری در حوضه کرخه نشان داد که غالب سدها در این حوضه در دو دهه اخیر مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند (۱۶).

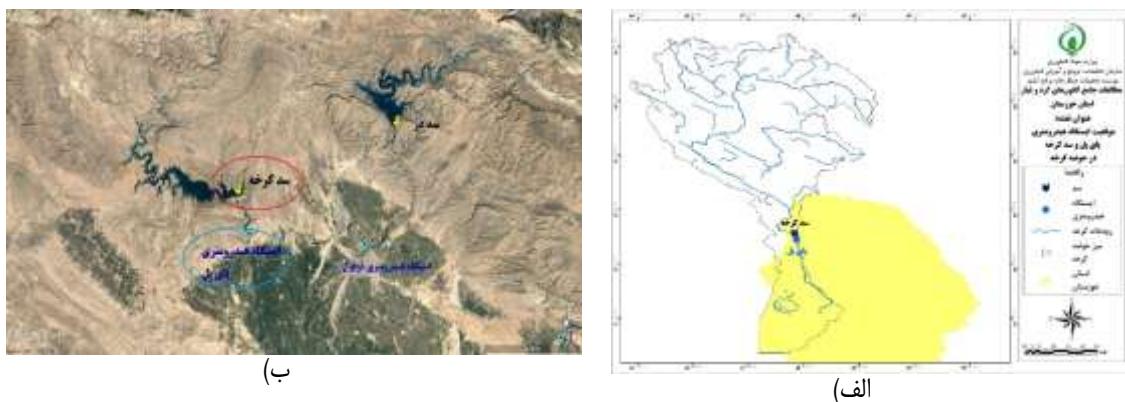
سدهای حوضه کرخه
تعداد ۹ سد در حوضه کرخه مورد بهره‌برداری قرار گرفته است که ازین تعداد سه سد (سد کرخه، سد تنظیمی کرخه و سد سپتون) در استان خوزستان واقع شده است (شکل ۲).

رودخانه کرخه بنا گردیده است. سال شروع ساخت سد ۱۳۷۰ و سال افتتاح سد ۱۳۸۰ می‌باشد. حجم نرمال مخزن سد ۵۶۰۰ میلیون متر مکعب و حجم مفید سد ۴۰۲ میلیون متر مکعب است. موقعیت سد کرخه نسبت به حوزه آبخیز کرخه و نسبت به ایستگاه هیدرومتری پاییز پل در پایین دست سد در شکل (۳) نمایش داده شده است.

سد کرخه
سد کرخه یک سد خاکی با هسته رسی با ارتفاع ۱۲۷ متر است که توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران در ۲۲ کیلومتری شمال غرب شهرستان اندیمشک در استان خوزستان احداث شده است. این سد با اهداف تامین آب کشاورزی و انرژی برق‌آبی و همچنین کنترل سیلان بر روی



شکل ۲- موقعیت سدهای بهره برداری حوضه کرخه
Figure 2. Location of Karkheh Basin Operation Dams



شکل ۳- موقعیت سد کرخه در حوزه آبخیز کرخه (الف)، و نسبت به ایستگاه هیدرومتری پایین دست (ب)
Figure 3. Location of Karkheh Dam in Karkheh basin (a), and in relation to downstream hydrometric station (b)

ایستگاه منتخب باید دارای آمار طولانی مدت باشد تا علاوه بر تامین شرط کفايت داده‌ها، بازه زمانی مطالعاتی قبل و بعد از احداث سد را دربرداشته و تغییرات ناشی از احداث سد بر جریان رودخانه را نشان دهد. با توجه به شروع ساخت سد کرخه در سال ۱۳۷۰ و افتتاح آن در سال ۱۳۸۰، بازه زمانی ۵۰ ساله (سال آبی ۱۳۴۶-۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۴) مبنای مطالعه قرار گرفت.

لذا با توجه به دو شرط ذکر شده، ایستگاه هیدرومتری پاییز پل به عنوان ایستگاه منتخب در پایین دست سد کرخه انتخاب شد.

روش تحقیق
در این تحقیق به بررسی اثرات احداث سد کرخه بر رژیم رودخانه کرخه (سالیانه و سیلابی) و تغییرات پهنه‌های سیل‌گیر پایین دست در موقع سیلابی، تحت تاثیر احداث سد پرداخته شده است. همچنین به منظور ارائه تحلیل و تیجه‌گیری صحیح، اثرات احتمالی سایر عوامل (عوامل طبیعی مانند خشکسالی) نیز در نظر گرفته و مطالعه شد.

انتخاب ایستگاه هیدرومتری مناسب
به منظور بررسی اثر سد احداث شده کرخه بر رژیم رودخانه در پایین دست، ایستگاه هیدرومتری منتخب باقیتی در پایین دست سد واقع باشد.

شاخص خشکسالی SPEI

شاخص استاندارد بارش و تبخیر-تعرق یا SPEI^۱ که یکی از شاخص‌های اساسی در مطالعه خشکسالی اقلیمی است که در این شاخص سه متغیر بارش، دما و تبخیر-تعرق پتانسیل لحاظ شده است. در مقاله حاضر شاخص خشکسالی برای بازه زمانی ۵۰ ساله برای حوضه کرخه محاسبه شد.

تصاویر ماهواره‌ای

در مقاله حاضر به منظور استخراج پنهنهای سیل‌گیر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ استفاده شد. لذا فرمی‌های تصاویر مربوط به تاریخ‌های سیلابی انتخاب و از سایت انجمن زمین‌شناسی آمریکا دانلود گردید. در سنجنده TM از باندهای ۱ تا ۷ بدون باند حرارتی، سنجنده ETM بازه ۱ تا ۷ بدون باند حرارتی و سنجنده OLI باندهای ۲ تا ۷ استفاده گردید (جدول ۱).

Table 1. Features of satellite images used in research

تعداد باند	تاریخ تصویربرداری	قدرت تفکیک مکانی	سنجنده	ماهواره
۷ باند	۱۹۸۷	۲۸/۵	TM	Landsat
۷ باند	۲۰۰۲	۲۸/۵	ETM ⁺	Landsat
۹ باند	۲۰۱۷	۲۸/۵	OLI	Landsat

چهار آزمون بررسی همگنی (SNHT، Pettitt، Buishand و von Neumann) استفاده شد. بدین ترتیب در این آزمون‌ها دو فرض صفر و یک را به منظور تعیین همگنی داده‌ها بررسی کردیم. فرض صفر (H0) در صورت تأیید نشان می‌دهد داده‌ها همگن هستند و فرض ۱ (H1) بیانگر رد همگنی داده‌ها است. در صورتی که مقدار p-value بزرگ‌تر از سطح معنی‌داری آلفا باشد فرض صفر تأیید می‌شود و داده‌ها همگن می‌باشند. همچنین از آزمون پیرسون به منظور مطالعه همبستگی میان دیجیت و پارامترهای اقلیمی موثر استفاده شد.

آزمون SHNT

این آزمون همگنی به شکسته‌های ابتدایی و انتهایی سری زمانی بسیار حساس است. استخراج این آزمون مزیت‌هایی همچون شناسایی موقعیت زمانی ناهمگنی و شدت آن را دارد. همچنین، این آزمون برای مطالعه روند در سری زمانی آب و هوایی مناسب است (۱).

آزمون پتیت

این آزمون جهت تعیین نقطه جهش یا تغییر ناگهانی یک سری زمانی، آن را به دو جزء سری جدا تفکیک می‌کند و معنی‌دار بودن آن را بررسی می‌کند و به طور گسترده برای تشخیص در سری‌های زمانی آب و هوایی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود (۲).

آزمون بوشانت

این آزمون همگنی بر پایه انحرافات تجمعی از میانگین بنا شده است که به وسیله بوشانت در سال ۱۹۸۲ برای سری‌های زمانی ارائه شده است (۲).

آزمون نسبت ون نیومن

این آزمون به منظور بررسی همگنی و ناهمگنی سری‌های زمانی استفاده می‌شود که در سال ۱۹۴۱ به وسیله ون نیومن ارائه شد و از اختلاف مربع ترتیبی داده‌ها به واریانس داده‌ها

پارامترهای مورد استفاده

دبی متوسط سالانه

دبی متوسط سالانه، میانگین دبی‌های روزانه است که در مقاله حاضر داده‌های دبی متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل مربوط به بازه زمانی ۵۰ ساله (سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۴)، از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد.

دبی حداکثر لحظه‌ای

بیشترین دبی لحظه‌ای در بازه زمانی سال آبی که در ایستگاه هیدرومتری به ثبت رسیده، به عنوان دبی حداکثر لحظه‌ای شناخته می‌شود. در مقاله حاضر داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل مربوط به بازه زمانی ۵۰ ساله (سال آبی ۱۳۹۶-۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵-۱۳۹۴)، از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش

آماده‌سازی و تحلیل داده‌ها

در این مرحله نسبت به صحبت‌سنجی و کنترل کیفیت داده‌های دبی برای ایستگاه هیدرومتری پای‌پل، با استفاده از آزمون‌های اوت‌لایر، جرم مضاف و تست روان (پایین‌دست سد) اقدام شد. پس از کنترل کیفیت داده‌های دبی و اطمینان از صحبت آنها، نسبت به ترسیم نمودار سری زمانی دبی متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل (پایین‌دست سد کرخه) اقدام شد. بدین ترتیب، امکان مقایسه و تعیین نقش سد احداث شده بر دبی متوسط سالانه رودخانه در پایین‌دست سد کرخه، فراهم می‌شود. همچنین در گام بعدی نسبت به ترسیم نمودار سری زمانی دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل (پایین‌دست سد کرخه) اقدام شد. بدین ترتیب، امکان مقایسه و تعیین نقش سد احداث شده بر دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه در پایین‌دست سد کرخه، فراهم می‌شود.

علاوه بر مطالعه سری زمانی ۵۰ ساله دبی رودخانه کرخه، بارندگی و دما نیز در سطح حوضه کرخه و در سری زمانی ۵۰ ساله مطالعه و با تغییرات دبی سالانه و سیلابی رودخانه کرخه مقایسه شد.

مطالعه شاخص اقلیمی استاندارد بارش

در گام بعدی با استفاده از نرم‌افزار DIP شاخص خشکسالی هواشناسی محاسبه و نمودار تغییرات شاخص بدون بعد SPEI سالانه حوضه ترسیم شد. هدف از 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.

روش‌های آماری مورد استفاده

به منظور بررسی همگنی داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل و تعیین نقاط تغییر و چهش، از

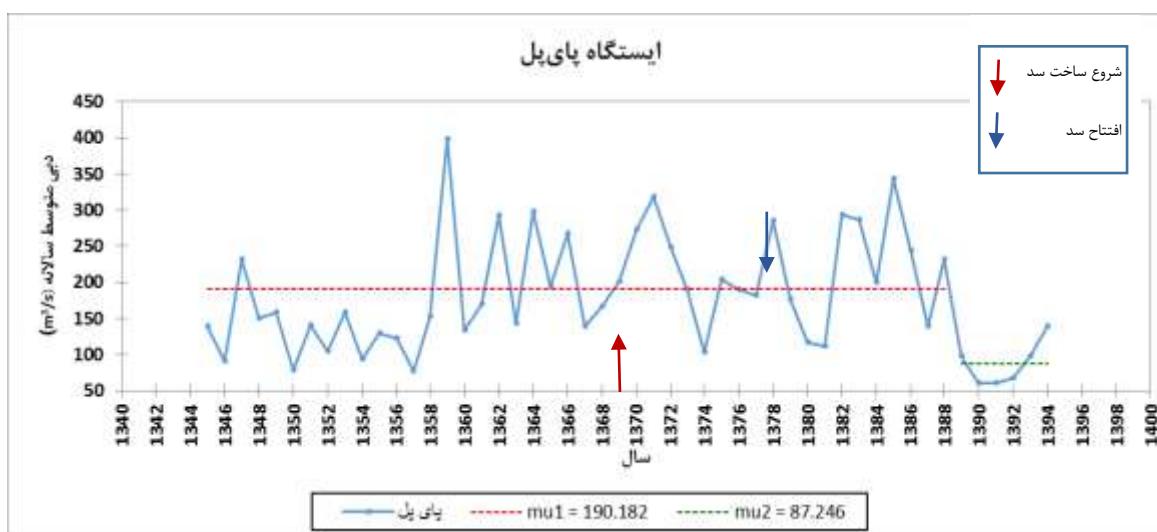
به دست می‌آید (۲). آزمون پیرسون

ضریب همبستگی پیرسون از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی میان متغیرهای با قیاس فاصله‌ای و نسبتی است که بین $+1$ و -1 تغییر می‌کند. مقدار این ضریب میزان همبستگی و علامت آن جهت همبستگی را نشان می‌دهد (۸).

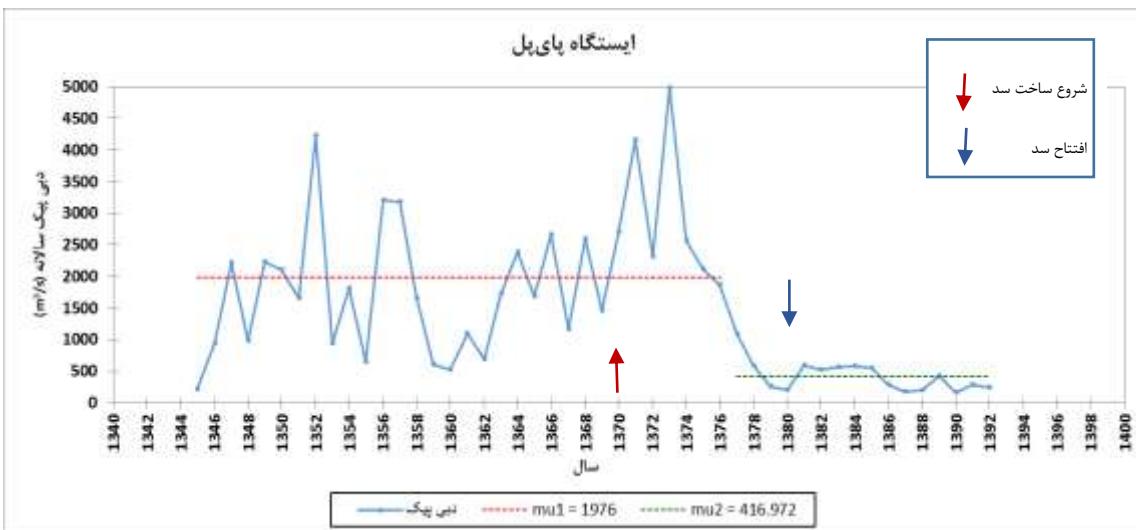
پایش پهنه‌های سیلابی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در این بخش از مطالعه به بررسی چگونگی اثرگذاری سد کرخه در حذف ظرفیت سیلابی دشت‌های سیلابی رودخانه کرخه با پایش تصاویر ماهواره‌ای پرداخته شده است. بدین منظور در اولین گام، تاریخ‌های وقوع سیلاب، در آخرین ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه کرخه در پایین دست سد کرخه و در مجاورت تالاب هورالعظیم (ایستگاه هیدرومتری حمیدیه) استخراج شد. لذا تصاویر ماهواره‌ای لندست در تاریخ‌های سیلابی قبل و بعد از احداث سد کرخه دانلود شد. پس از انجام مراحل پیش پردازش، به‌منظور استخراج پهنه‌های سیلابی از روش ترکیبی طبقه‌بندی نظارت نشده و شاخص NDVI استفاده شد.

مراحل مختلف تحقیق در این بخش از مطالعه، به‌طور خلاصه شامل مراحل ذیل می‌باشد:

- دانلود تصاویر ماهواره لندست
- انجام عملیات پیش پردازش (شامل تصحیح رادیومتریکی و اتمسفری)
- تلفیق تصاویر و افزایش کنتراست (شامل بارزسازی طیفی و بارزسازی رادیومتریکی)
- طبقه‌بندی تصاویر
- استخراج رودخانه و پهنه‌های سیلگیر در وقایع سیلابی



شکل ۴- تغییرات متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری پایی پل
Figure 4. Changes in average annual flow at Paypol hydrometric station



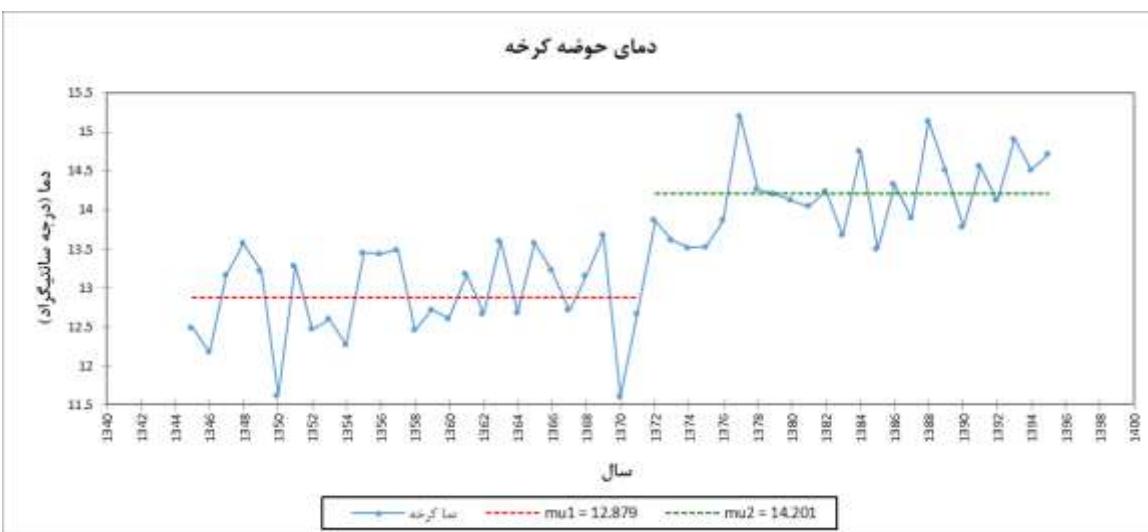
شکل ۵- تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری پای پل
Figure 5. Maximum discharge flow changes at Paypol hydrometric station

از آن که همان‌مانی با افتتاح سد کرخه نیز دارد، با کاهش چشمگیر ۷۸ درصدی، میانگین ۴۱۷ مترمکعب بر ثانیه شده است. لذا با توجه به حذف پیک‌های سیلابی بالا فاصله پس از احداث سد کرخه، با قاطعیت می‌توان شاهد تاثیر سد بر مهار پیک‌های سیلابی رودخانه کرخه بود.

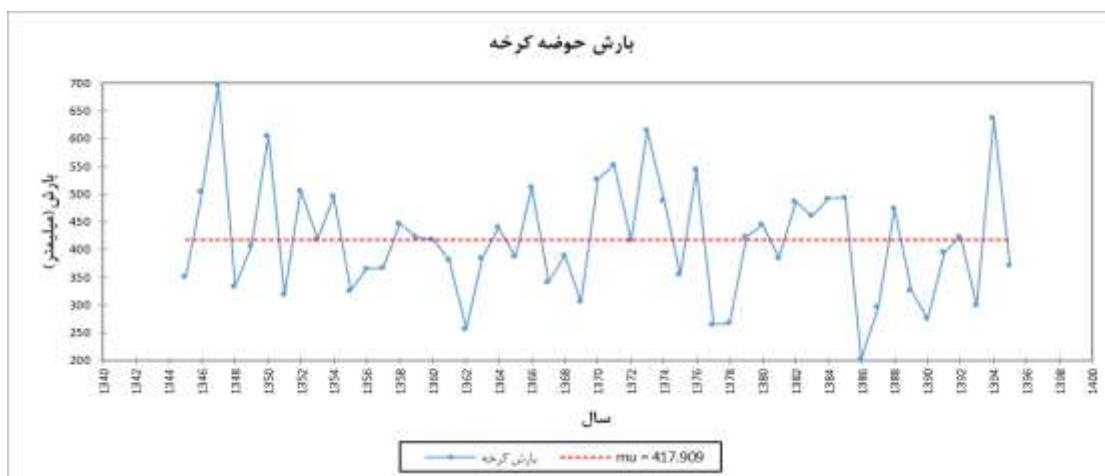
در شکل‌های (۶) و (۷) نمودار تغییرات دما و بارش حوضه، در بازه زمانی مورد مطالعه نمایش داده شده است که نشان‌دهنده روند کلی افزایش دما بوده و همچنین نشان می‌دهد که تغییرات بارش در بازه زمانی مورد مطالعه روند خاصی ندارد.

همانطور که شکل (۵) نشان می‌دهد، پیک‌های سیلابی از سال ۱۳۷۶ روند کاهشی داشته و بعد از سال افتتاح سد کرخه (۱۳۸۰) کاملاً توسط سد مهار شده است. لذا نمودار سری زمانی دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری بعد از سد (ایستگاه پای پل)، در بازه زمانی قبل و بعد از افتتاح سد، تفاوت محسوسی را نمایش داده و در بازه زمانی بعد از افتتاح سد، نمودار دبی‌های پیک ایستگاه پای پل حالت کاملاً افقی پیدا کرده و حالت سینوسی پیک‌های لحظه‌ای که قبل از افتتاح سد مشاهده می‌شد، حذف شده است.

میانگین دبی‌های حداکثر لحظه‌ای، در بازه زمانی ۳۲ ساله اول برابر با ۱۹۷۶ مترمکعب بر ثانیه و در ۱۶ سال پس



شکل ۶- تغییرات دمای متوسط سالانه در حوضه کرخه
Figure 6. Annual average temperature changes in Karkheh basin



شکل ۷- تغییرات بارش متوسط سالانه در حوضه کرخه
Figure 7. Annual average precipitation changes in Karkheh basin

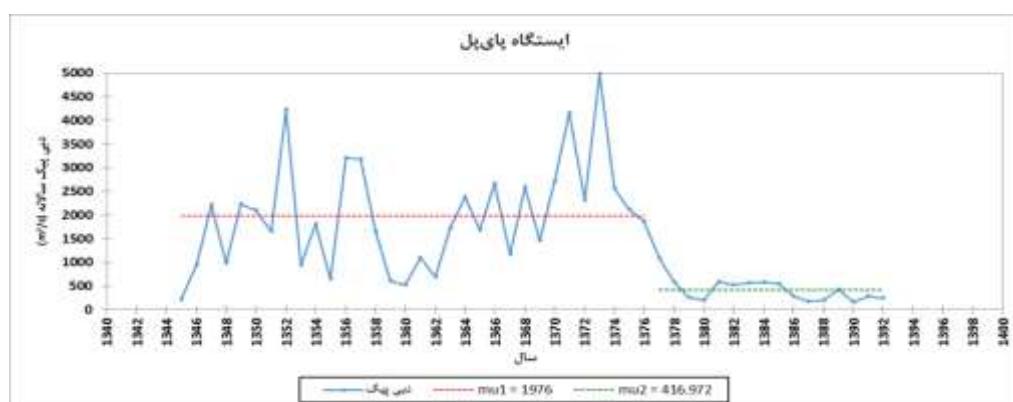
خروجی از روش SNHT حاکی از آن است که تغییرات ناگهانی سری زمانی داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در سطح پنج درصد معنی‌دار است و نقطه تغییر آن سال ۱۳۷۶ می‌باشد که در آن میانگین شاخص از ۱۹۷۶ به ۴۱۷ مترمکعب بر ثانیه در دوره دوم رسید. نکته قابل توجه این است که نقطه جهش و تغییر در شاخص خشکسالی نیز در سال ۱۳۷۶ مشاهده می‌شود (شکل ۹) که با نقطه جهش دبی پیک مطابقت دارد.

نتایج آزمون همگنی دبی‌های حداکثر لحظه‌ای
در جدول (۲) همگنی داده‌ها و ویژگی‌های کلی پارامتر دبی حداکثر لحظه‌ای، قبول و رد فرض صفر و سال شروع ناهمگنی و جهش در داده‌ها برای این پارامتر به نمایش گذاشته شده است. نتایج آزمون همگنی در شاخص دبی حداکثر لحظه‌ای در هر چهار روش، نشان‌دهنده وجود ناهمگنی و تغییر ناگهانی در داده‌ها را بوده و نشان می‌دهد که فرض H1 (وجود ناهمگنی و شکست در داده‌ها) قابل قبول و در سال ۱۳۷۶ گستینگی ایجاد شده است. شکل (۸) نمودار

جدول ۲- نتایج آزمون همگنی داده‌ها

Table 2. Data homogeneity test results

متغیر	تعداد مشاهدات	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	مدل	t	p-value (Two-tailed)	alpha	hipothesis H0
دبی	۴۸	۱۵۴	۴۹۷۸	۱۴۵۶/۱۹۹	۱۱۸۹/۵۲۹	Pettitt	۱۳۷۶	<0.001	.0/.5	Accept
حداکثر	۴۸	۱۵۴	۴۹۷۸	۱۴۵۶/۱۹۹	۱۱۸۹/۵۲۹	(SNHT)	۱۳۷۶	<0.001	.0/.5	Accept
لحظه‌ای	۴۸	۱۵۴	۴۹۷۸	۱۴۵۶/۱۹۹	۱۱۸۹/۵۲۹	Buishand	۱۳۷۶	<0.001	.0/.5	Accept
(m^3/s)	۴۸	۱۵۴	۴۹۷۸	۱۴۵۶/۱۹۹	۱۱۸۹/۵۲۹	von Neumann	-	<0.001	.0/.5	Accept



شکل ۸- آزمون روند سری زمانی دبی حداکثر لحظه‌ای با روش SNHT
Figure 8. Test of maximum discharge flow time series' trend with SNHT method

سالانه تهیه شده برای حوضه کرخه در بازه زمانی ۵۰ ساله در شکل (۹) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود به طور کلی از سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ به بعد، روند کلی وضعیت اقلیمی از ترسالی و نرمال به سمت خشکسالی و

شاخص خشکسالی اقلیمی (SPEI)
شاخص خشکسالی SPEI این امکان را فراهم می‌سازد تا تحلیل گر تعداد و قایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده در هر گام زمانی دلخواه را شناسایی نماید (۲۲). نمودار SPEI

نرمال سیر کرده است و در سال ۱۳۸۷-۱۳۸۶ شاهد خشکسالی بسیار شدید بوده‌ایم.



شکل ۹- شاخص خشکسالی اقلیمی در حوزه آبخیز کرخه در بازه زمانی ۵۰ ساله
Figure 9. Climate drought index in Karkheh basin in a period of 50 years

لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری پایی‌پل، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، با پارامترهای SPEI، دما و بارش همبستگی نشان می‌دهد. همچنین بیشترین همبستگی دبی حداکثر لحظه‌ای بهترتبی با پارامترهای SPEI، باران و سپس دما می‌باشد (جدول ۳).

همبستگی پارامترهای موثر
نتایج بدست آمده از آزمون همبستگی پیرسون، نشان می‌دهد که در میان دبی متوسط سالانه و پارامترهای دما، باران و SPEI، همبستگی معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. همچنین این آزمون نشان می‌دهد که پارامتر دبی حداکثر

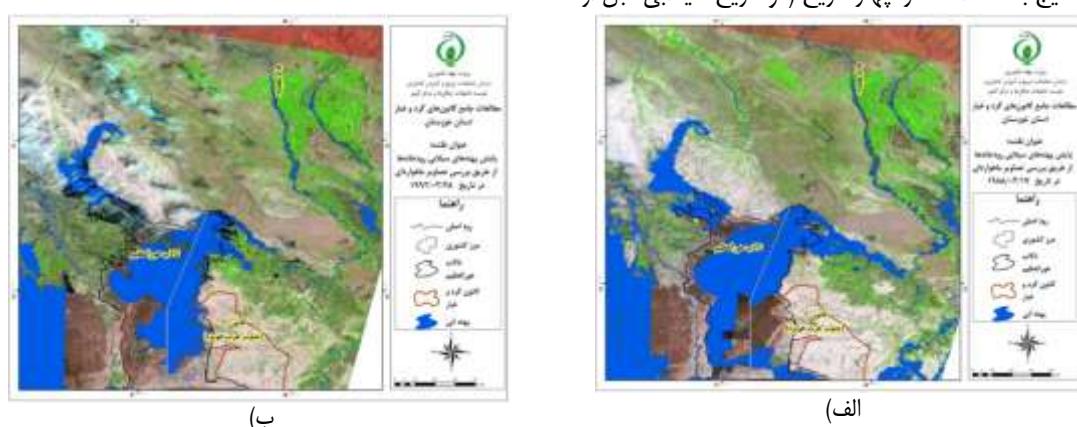
جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی بین پارامترهای موثر و دبی حداکثر لحظه‌ای

Table 3. Correlation coefficient values between effective parameters and peak discharge

پارامترها	دبی کرخه	باران کرخه	SPEI	دبی پیک
دبی کرخه	-۰/۳۳۳	-۰/۶۵۳	-۰/۲۸۸	
باران کرخه	-۰/۳۳۳	۱	-۰/۸۲۱	
SPEI	-۰/۶۵۳	-۰/۸۳۱	۱	-۰/۵۰۵
دبی پیک	-۰/۲۸۸	-۰/۴۷۰	-۰/۵۰۵	۱

احداث سد کرخه و دو تاریخ سیلابی بعد از احداث سد کرخه در شکل‌های (۱۱،۱۰) ارائه شده است. شایان ذکر است که سد کرخه بر رودخانه کرخه و در سال ۱۳۷۰ شروع به ساخت و در سال ۱۳۸۰ افتتاح شده است.

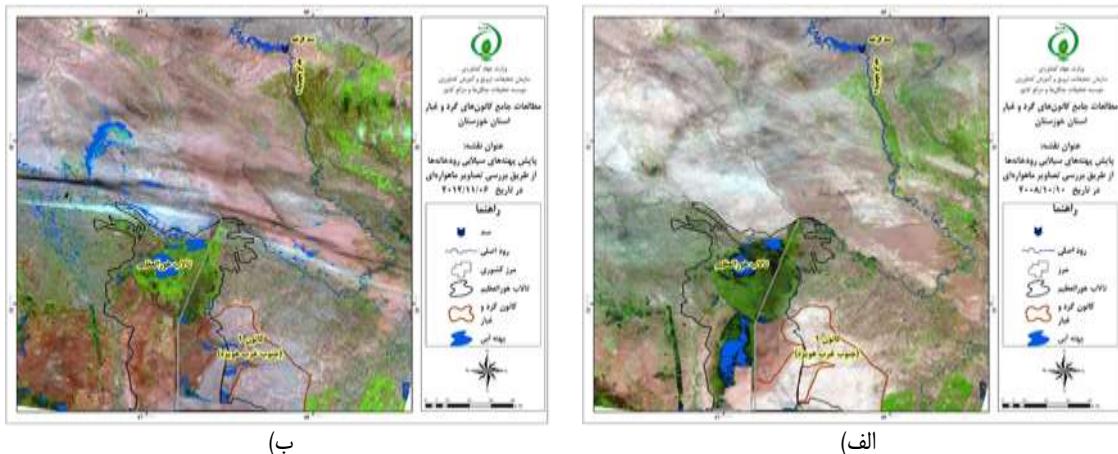
پایش پهنه‌های سیلابی قبل و بعد از احداث سد کرخه به منظور مطالعه نحوه اثرگذاری سد کرخه بر ظرفیت سیلابی دشت‌های سیلابی، تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های قبل و بعد از احداث سد در موقع سیلابی پایش شد. نتایج بدست آمده در چهار تاریخ (دو تاریخ سیلابی قبل از



شکل ۱۰- پهنه‌های سیلابی رودخانه کرخه پیش از احداث سد کرخه در تاریخ‌های (الف) ۱۳۶۶/۱۲/۲۷ و (ب) ۱۳۷۱/۰۱/۰۸
Figure 10. Flood zones of Karkheh River before the construction of Karkheh dam in the dates a) 17.03.1988 and b) 28. 03. 1992

کرخه در پایین دست سد کرخه و در مجاورت تالاب هورالعظیم (ایستگاه هیدرومتری حمیدیه) استخراج شده که به ترتیب برابر با ۱۶۱۵ و ۱۳۳۲ مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است.

همانطوری که در شکل (۱۰) نمایش داده شده، پیش از احداث سد کرخه در دو واقعه سیلابی به وقوع پیوسته، بخش قابل توجهی از تالاب هورالعظیم از رودخانه کرخه آبگیری شده است. در این دو واقعه سیلابی (الف و ب) دبی پیک سیلابی در در آخرین ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه



شکل ۱۱- پهنه های سیلابی رودخانه کرخه پس از احداث سد کرخه در تاریخ های (الف) ۱۳۸۲/۰۲/۱۶ و (ب) ۱۳۸۶/۰۱/۱۰
Figure 10. Flood zones of Karkheh river after the construction of Karkheh dam in the dates a) 06.05.2003, and b) 30. 03. 2007

احداث شده بر دبی رودخانه ها پرداختند. نتایج بدست آمده از تحقیق آنها با نتایج مطالعه حاضر مطابقت داشته و نشان از اثرگذاری سدهای احداث شده در کاهش ظرفیت های سیلابی دارد. همچنین نتایج بدست آمده از مطالعه می و همکاران (۲۳) نیز نشان داد که سدهای احداث شده منجر به کاهش شدید اندازه سیلاب در تقریبا تمامی ایستگاه های هیدرومتری بعد سد شده است. نرخ کاهش بین ۷/۴ تا ۹۵/۱۴ درصد متغیر بوده است. همچنین اسنندیاری و همکاران (۱۰) نیز به نتایج مشابهی در مطالعه خود رسیده و نشان دادند که احداث سدهای احمدآباد، گوگردچی، نوروزلو و شهید کاظمی بوکان موجب تغییر شاخص های هیدرولوژیک جریان طبیعی رودخانه های حوضه دریاچه ارومیه شده است که این مسئله از عوامل اصلی ایجاد تغییر های غیراصولی در رودخانه ها، دخل و تصرف انسانی به حدود ستر و حریم رودخانه هستند.

پایش تصاویر ماهواره ای به منظور بررسی تغییرات سطوح سیل گیر در طی زمان و چگونگی اثرگذاری احداث سد کرخه بر سطوح سیل گیر نیز، نشان می دهد که از آغاز پایش تصاویر ماهواره ای (سال ۱۳۸۳) تا قبل از آبگیری سد کرخه (۱۳۸۰)، پهنه های مذکور در شرایط سیلاب، پوشیده از آب بوده است، به ویژه در تاریخ های قبل از سال ۱۳۷۰ یعنی سال شروع به ساخت سد، پهنه سیل گیر تالاب هورالعظیم در موقع سیلابی پوشیده از آب رودخانه کرخه می شده که پس از این سال (۱۳۷۰) میزان آبگیری از رودخانه کرخه به وضوح کاهش یافته و از سال ۱۳۸۰ (سال افتتاح سد کرخه)، با وجود رخداد سیل و گزارش دبی پیک بالا در رودخانه کرخه، هیچگونه آبگیری از رودخانه کرخه مشاهده نشده است (این مسئله به وضوح در تصاویر ماهواره ای پایش شده، قابل مشاهده است). به طور مثال تصویر سال ۱۳۸۵ نماینگر وجود سیلاب در

همانطوری که در شکل (۱۱) نمایش داده شده، پس از احداث سد کرخه علیرغم وقوع سیلاب شاهد آبگیری تالاب هورالعظیم از رودخانه کرخه نیستیم. در دو واقعه سیلابی نمایش داده شده در شکل (۱۱) در آخرین ایستگاه هیدرومتری حمیدیه، دبی پیک سیلابی به ترتیب برابر با ۲۲۴ و ۳۶۰ مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است. این نتیجه (کاهش دبی های حداکثر لحظه ای پس از احداث سد کرخه) با نمودار تغییرات دبی حداکثر لحظه ای (شکل ۵) مطابقت دارد.

نتیجه گیری کلی

نتایج بدست آمده نشان دهنده اثرگذاری سد کرخه بر دبی های پیک سیلابی است، به گونه ای که پس از تاریخ آبگیری سد کرخه (سال ۱۳۸۰)، شاهد کاهش چشمگیر ۷۸ درصدی در دبی های پیک سیلابی در ایستگاه هیدرومتری پایین دست سد (ایستگاه پایی پل) بوده و سد کرخه پیک های لحظه ای را مهار کرده است. همچنین در دو سال اول بعد از افتتاح سد کرخه، کاهش چشمگیری در دبی متوسط سالانه ایستگاه هیدرومتری پایی پل به وجود آمده که متأثر از ذخیره آب در پشت سد به منظور به تراز رساندن آب در مخزن دریاچه سد می باشد. پس از آن دبی های متوسط سالانه در ایستگاه پایی پل روند طبیعی خود را داشته تا سال ۸۹-۹۰ که همزمان با کاهش بارش در حوضه کرخه بوده است. فصاحت و همکاران (۱۲)، مورنو و همکاران (۲۴)، مگیلیان و همکاران (۲۱) و گرف (۱۵) نیز به نتایج مشابهی در خصوص تاثیر سدها در کاهش دبی حداکثر لحظه ای رسیده اند. گرف (۱۵)، با بررسی ۳۶ سد از بزرگترین سدهای ایالات متحده امریکا، با مقایسه دبی رودخانه در بالادست و پایین دست سد در دو بازه زمانی قبل و بعد از احداث سدها، به بررسی تاثیر سدهای

مقایسه دو نمودار سری زمانی SPEI و دبی حداکثر، نشان می‌دهد که پس از سال ۱۳۷۶ در نمودار خشکسالی شاهد نوسانات سینوسی افزایش و کاهشی متعددی هستیم که نمودار دبی حداکثر رودخانه کرخه، از این نوسانات تبعیت نکرده و روند کاهشی و سپس روند ثابت خطی (بعد از سال ۱۳۸۰ و افتتاح سد کرخه) نشان می‌دهد. لذا به عنوان نتیجه کلی می‌توان بیان کرد که رژیم سیلابی رودخانه کرخه در پایین‌دست سد کرخه، از سال ۱۳۷۶ شاهد روند کاهشی ناشی از تغییرات شاخص خشکسالی اقلیمی بوده که از سال ۱۳۸۰ تحت تاثیر افتتاح سد کرخه از روند ثابتی برخوردار بوده و مهار سیلاب‌ها توسط سد را نمایش می‌دهد. همچنین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آتی نسبت به مطالعه تعیین سهم عوامل موثر در تغییرات رژیم رودخانه و همچنین مطالعه خسارات سیل پرداخته شود.

تشکر و قدردانی

با توجه به اینکه این مطالعه برگرفته از طرح "مطالعه جامع شناخت عوامل و راهکارهای کنترل پدیده گرد و غبار استان خوزستان" می‌باشد که در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور انجام گرفته است، از دست اندکاران این طرح، سپاسگزاری می‌گردد.

سمت عراق می‌باشد ولی با وجود شرایط اقلیمی مشابه، ایران فاقد آبگیری پهنه‌های سیل‌گیر است. این مسئله با کاهش دبی‌های پیک سیلابی پس از آبگیری سد کرخه که در نمودار ایستگاه حمیدیه (ایستگاه هیدرومتری بعد از سد کرخه) نمایش داده شده نیز مطابقت دارد. بی‌غم و همکاران (۷) و رحمتی و میررمضانی (۲۸)، نیز در مطالعات خود به منظور شناسایی پهنه‌های سیلابی از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دوری استفاده کردند که نتایج بدست آمده حاکی از دقیق و سرعت بالای روش‌های مذکور در پهنه‌بندی سیلاب بوده است.

علاوه بر سازه احداث شده، پارامترهای دیگری نیز نقش محتملی در تغییرات دبی رودخانه دارند. لذا به منظور تعیین نقش پارامترهای اقلیمی بر دبی رودخانه، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد که نتایج بدست آمده نشان داد که بیشترین همبستگی دبی حداکثر لحظه‌ای در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، با پارامتر SPEI یا خشکسالی هواشناسی می‌باشد. نتایج آزمون همبستگی در شاخص دبی حداکثر لحظه‌ای نیز نشان‌دهنده وجود جهش در داده‌ها در سال ۱۳۷۶ بوده که با نقطه‌جهش و تغییر در شاخص خشکسالی نیز در همان سال مطابقت دارد. علیرغم همبستگی و همزمانی جهش در دو پارامتر دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه و شاخص خشکسالی،

منابع

- Alexandersson, H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatology*, 6(6): 661-675.
- Alipoor, H. and A. Malekian. 2020. Assessment of homogeneity and trend of precipitation thresholds based on nonparametric approaches in north-west Iran. *Watershed Engineering and Management*, 11(4): 917-928.
- Amini, H., A. Esmali-Ouri, R. Mostafazadeh, M. Sharari and M. Zabibi. 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.
- Azarang, F., A. Telvari, H. Sedghi and M.S. Bajestan. 2014. Numerical simulation of flow and sediment transport of Karkheh River before the reservoir dam construction using MIKE 11 (a case study in Iran). *Advances in Environmental Biology*, 979-989 pp.
- Azarang, F., A.R. Telvari, H. Sedghi and M. Shafaie Bajestan. 2017. Large dam effects on flow regime and hydraulic parameters of river (case study: Karkheh river, downstream of reservoir dam). *Journal of Water and Soil*, 31(1): 11-27.
- Bazrafshan, O., A. Salajegheh, A. Fatehi Marj, M. Mahdavi, J. Bazrafshan and S. Hejabi. 2014. Comparison of stochastic models and conceptual models in hydrological drought forecast (Case study: Karkheh river basin). *Iranian Journal of Range and Watershed Management*, 66(14): 493-508.
- Bigham Sereshkeh, M., M. Kheirkhah Zarkesh and B. Ghermezcheshmeh. 2018. Analysis accruing of Sentinel-2 Image's classification methods based on object base and pixel base in flood area zoning of Taleghan River. *Iranian Journal of Watershed Management Science & Engineering*, 14(49): 1-10.
- Bihamta, M.R. and M.A. Zare Chahouki. 2008. Principle of Statistics for the Natural Resources Science. Tehran University Press.
- Choi, S., B. Yoon and H. Woo. 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.
- Esfandiary Darabad, F., R. Mostafazadeh, R. Shahmoradi and A. Nasiri Khiavi. 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.
- Eskandari Damaneh, H., GH.R. Zehtabian, H. Khosravi and A. Azareh. 2016. Investigation and analysis of temporal and spatial relationship between meteorological and hydrological drought in Tehran province. *SEPEHR*, 24(96): 113-120.
- Fasahat, V., S.J. Sadatnejad, A. Honarbakhsh and H. Samadi-Boroujeni. 2014. Influence of storage dam construction on downstream flood reduction. *Journal of Watershed Management Research*, 5(10): 44-55.
- Fathnia, A., M. Sherafatand Najafi, J. 2019. Investigating the Land use and Local Climate Changes in Gavehrod Basin Before and After Gavoshan Dam Construction. *Geography and development*, 17(54): 205-222.

14. Gao, P., X.M. Mu, F. Wang and R. Li. 2011. Changes in stream flow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(1): 1-10.
15. Graf, W. 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorphology*, 79: 336-360.
16. <http://daminfo.wrm.ir/fa/dam>
17. Kanani, R., A. Fakheri Fard, M.A. Ghorbani and Y. Dinpashon. 2021. Trend Analysis of the Streamflow in the Lighvan River Hydrometric Stations (Upstream and Downstream). *Journal of Watershed Management Research*, 11(22): 11-19.
18. Kavian, A., M.A. Mohammadi and A. Azmodeh. 2015. Effects of check dam construction on hydrological characteristics in Mohamadabad watershed-Sari. *Journal of Applied research in Geographical Sciences*, 14(35): 213-230.
19. 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: 785-790. In: Bureerat S., (ED). *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, 931 p.
20. Lee, J.E., J.H. Heo, J. Lee and N.W. Kim. 2017. Assessment of flood frequency alteration by dam construction via SWAT Simulation. *Water*, 9(4): 264 p.
21. Magilligan, F., K. Nislowand and B.Grabr. 2003. Scale-independent assessment of discharge reduction and riparian disconnectivity following flow regulation by dams. *Geology*, 31(7): 569-572.
22. McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22): 179-183.
23. Mei, X., P.H.A.J.M. Van Gelder, Z. Dai and Z. Tang. 2016. Impact of dams on flood occurrence of selected rivers in the United States. *Frontiers of Earth Science*, 11(2): 268-282.
24. Moreno, J., S. Begueria and J.M.T. Ruiz. 2002. Influence of the Yasa reservoir of the Aragon River, Central Spanish Pyrenees. *Hydrology and Earth system sciences*, 6(4): 753-762.
25. Mostafazadeh, R., F. Esfandiary Darabad, L. Mohammadirad and K. Haji. 2020. Quantitative changes and statistical comparison of river flow hydrological indicators after the construction of Yamchi Dam, Ardabil, Iran. *Environmental and Water Engineering*, 6(2): 107-121.
26. Nourali, M. and B. Chahraman. 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.
27. Nurkarami, B., M.A. Sadeghi and H. VatanDust. 2016. The effect of detection dams on the river urban flood control case study (Vardavard river catchment). *Engineering and Construction Management*, 1(3): 16-19.
28. Rahmati, M. and M. Mirramezani. 2016. Sentinel-1 images capability in the flood zoning (Case study: Poldokhtar flood on April 2019). The 5th International Conference on Civil Engineering, Architecture & Urban Planning with Sustainable Development Approach.
29. Razavizadeh, S. 2020. Analytical monitoring of floods and feasibility of suitable areas for the construction of reservoirs for rainfalls, Research Project Report, Publications of Research Institute of Forests and Rangelands, 287 p.
30. Saberifar, R. and H. Shokri. 2019. Zoning the Risk of Flood in Birjand & Country Planning, 11(1): 159-178.
31. Salahshouri, P. and A.R. Vafaei Nezhad. 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.
32. Salmani, H., V.B. Sheikh, A. Salman Mahiny, M. Ownegh and A. Fathabadi. 2019. Long-Term Trend Analysis of Climate and Hydrological Series using Removal of the Autocorrelation Statistical Methods in the Eastern Gorganrood Basin, Golestan Province. *Journal of Watershed Management Research*, 10(19): 58-72.
33. Yakhkeshi, M., M. Meftah Halghi, A. Zahiri, M.E. Yakhkeshi and M.R. Madadi. 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.
34. Zarrin, H., F. Sharifi and M. Vafakhah. 2011. Regional analysis of flows in the Karkheh and Karoon catchments. *Iranian Journal of Water Sciences and Engineering*, 1(2): 99-112.
35. Zhang, Q., V.P. Singh, P. Sun, X. Chen, Z. Zhang and J. Li. 2011. Precipitation and stream flow changes in China: changing patterns, causes and implications. *Journal of Hydrology*, 410(3-4): 204-216.
36. Zohrabi, N., A. Massah Bavani, E. Goodarzi and M. Heidarnejad. 2016. Identify trend in the annual temperature and precipitation in Karkheh river basin. *Journal of Wetland Ecobiology*, 8(2): 5-2.

The Impact of Karkheh Dam and Meteorological Parameters on the Annual and Peak Regime and Flood Plains of Karkheh River

Samaneh Razavizadeh¹, Sakineh Lotfinasab Asl², Fatemeh Dargahian³ and Zahra Saeedifar⁴

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

2- Assistant Professor, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Terhran, Iran

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

4- Ph.D. of Desertification, Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 28 November, 2020 Accepted: 2 July, 2021

Extended Abstract

Introduction and Objective: Karkheh River, as the third largest river in Iran, flows a large volume of water to the Khuzestan plain every year. The construction of the Karkheh Reservoir Dam, along with several advantages, widely affects the river flow in its downstream. Ignoring the effects of these structures on the elimination or reduction of river flows, especially flood capacities, leads to investment in agriculture, industry and urban development along rivers, downstream of dams and in flood high-risk areas.

Material and Methods: In the present study, the trend of changes in the annual and flooding regime of Karkheh River over time and in the relationship with the establishment of Karkheh Dam were investigated. For this purpose, four statistical tests (Pettitt, SNHT, Buishand and von Neumann) were used to examine the homogeneity of peak and average annual flow data at the downstream of hydrometric station and to determine the points of change and mutation. In order to determine the role of climatic parameters on river discharge, Pearson correlation test was used.

Results: According to the opening of Karkheh Dam in 2001, the results of the study showed that the flood peak discharges in the hydrometric station downstream of the dam (Pay-e-Pol station) was equal to 1978 cubic meters per second, in the period of 32 years before the Karkheh dam opening, and with a significant reduction of 78%, is equivalent to 417 cubic meters per second in the 16 years period after the dam opening. Therefore, considering the removal of flood peaks immediately after the construction of Karkheh Dam, we can definitely observe the effect of the dam on controlling the flood peaks of Karkheh River. The results showed that the highest peak discharge correlation with SPEI parameter, at 95% significance level. Also, monitoring of satellite images show that before the opening of Karkheh Dam (2001), the floodplains were covered by water in flood conditions and after this year, despite the occurrence of floods and high peak discharge reports in Karkheh River, no water intake from Karkheh River has been observed in the floodplains.

Conclusion: The flood regime of the River downstream of Karkheh Dam has indicated a decreasing trend due to changes in climate drought index since 1997, which has had a steady trend since 2001 due to the opening of Karkheh Dam and shows the control of floods by the dam.

Keywords: Flood Zone, Karkheh Dam, Peak discharge, Satellite Image, SPEI