



"مقاله پژوهشی"

تاثیر احداث سد کرخه و عوامل اقلیمی بر رژیم سالیانه، سیلابی و پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه کرخه

سمانه رضوی‌زاده^۱، سکینه لطفی‌نسب 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 مسوول: 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 بیابان‌زایی، بخش تحقیقات بیابان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران

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

صفحه: ۲۳۶ تا ۲۴۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: رودخانه کرخه به‌عنوان سومین رودخانه بزرگ ایران، همه ساله حجم آب وسیعی را به دشت خوزستان روانه می‌کند. احداث سد مخزنی کرخه در کنار مزیت‌های متعدد، جریان رودخانه را در پایین‌دست خود به‌طور 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 پرخطر 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 تاسیس سد کرخه پرداخته شد. بدین منظور از چهار آزمون آماری (SNHT, Pettitt, Buishand, von Neumann) برای بررسی همگنی داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای و دبی متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل و تعیین نقاط تغییر و جهش، استفاده شد. همچنین به‌منظور تعیین نقش پارامترهای اقلیمی بر دبی رودخانه نیز، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

یافته‌ها: با توجه به آگیری سد کرخه در سال ۱۳۸۰، نتایج مطالعه نشان داد که میانگین دبی‌های حداکثر لحظه‌ای، در بازه زمانی ۳۲ ساله قبل از افتتاح سد در ایستگاه هیدرومتری پایین دست سد (ایستگاه پای‌پل)، برابر با ۱۹۷۶ مترمکعب بر ثانیه و در ۱۶ سال پس از آن که همزمانی 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 بلافاصله پس از احداث سد کرخه، با قاطعیت می‌توان شاهد تاثیر سد بر مهار پیک‌های سیلابی رودخانه کرخه بود. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که بیشترین همبستگی دبی حداکثر لحظه‌ای در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، با پارامتر SPEI یا خشکسالی هواشناسی می‌باشد. پایش تصاویر ماهواره‌ای نیز نشان می‌دهد که تا قبل از آگیری سد کرخه (۱۳۸۰)، پهنه‌های سیلابی در شرایط وقوع سیلاب، پوشیده از آب بوده و پس ازین سال با وجود رخداد سیل و گزارش دبی پیک بالا در رودخانه کرخه، هیچ‌گونه آگیری از رودخانه کرخه در دشت‌های سیلابی مشاهده نشده است.

نتیجه‌گیری: 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.

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

مقدمه

سدها به‌عنوان سازه‌های هیدرولوژیکی عظیم، جریان رودخانه‌ها را در پایین‌دست خود بطور گسترده تحت تاثیر قرار می‌دهند. با توجه به اهمیت رودخانه‌ها به‌عنوان مهم‌ترین منبع تامین آب برای مصارف مختلف از جمله شرب، صنعت و کشاورزی، شناخت شرایط جریان و رژیم هیدرولوژیکی آنها از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. سازه‌های هیدرولوژیکی تاثیرات گسترده‌ای بر جریان رودخانه و پهنه‌های سیل‌گیر در پایین دست خود دارند. سدهای مخزنی به‌عنوان 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 احداثی بر روی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه، یکی از مسائل مهم و اساسی در مدیریت حوزه‌های آبخیز و مطالعات کنترل سیلاب می‌باشد (۱۸).

بطور کلی 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

زده شده و با ذخیره‌سازی، محدودسازی، تعدیل جریان با انحراف سیلاب توسط احداث سازه‌های مناسب، خسارت وارده کاهش یابد. احداث سدهای مخزنی از جمله این راهکارهاست. 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 اقلیم نیز، می‌تواند بطور موثری منجر به تغییر جریان رودخانه‌های شود (۱۴). اسکندری دامنه و همکاران (۱۱)، در مطالعه‌ای نشان دادند که ارتباط معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد میان خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی 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 سویی دارای حجم آبی مطمئن و قابل ملاحظه بوده و از سوی دیگر، مخاطراتی نظیر وقوع سیلاب‌های بزرگ و

کاهش دبی پیک سیلابی داشته که با افزایش دوره بازگشت سیل تاثیر این مخازن در کاهش سیلاب خروجی حوضه، کاهش می‌یابد. صابری‌فر و شکری (۳۰) نیز در مطالعه‌ای 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.

تحلیل روند تغییرات جریان در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست رودخانه ليقوان، نشان می‌دهد که مقدار آبدهی، متغیرهای دما و نم نسبی حوضه به‌ترتیب دارای روند کاهشی، افزایشی و کاهشی بوده و اثر فعالیت‌های 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)، چویی 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 از این مطالعات مانند پژوهش ارائه شده در مقاله حاضر، به منظور تفکیک تاثیر سدهای احداث شده از تاثیر 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 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 (۳۳)، در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر سدهای احداث شده بر وقوع سیلاب در تعدادی از رودخانه‌های ایالات متحده آمریکا پرداختند. آنها با انتخاب ۳۸ رودخانه در سرتاسر آمریکا، 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 ۷/۴ تا ۹۵/۱۴ درصد متغیر بوده است. همچنین کنتیوپیچای 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 به‌ترتیب ۲۶/۶ و ۳۱ 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 به‌عنوان راه‌حلی 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 امرار معاش 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 پایین‌دست 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 کنار تاثیر سازه‌های احداث شده بر جریان رودخانه‌ها، انجام شده است.

مطالعات انجام شده در بررسی تاثیر سدهای احداث شده در حوزه آبخیز چونقان-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، ۳۴ درصد کاهش یافته (۱۲) و احداث سد نرماب در استان گلستان موجب کاهش پهنه سیل‌گیر 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 گرگانود 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 ۱۹۹۳ همزمان با نقطه جهش روند دبی بوده است.

مطالعه اثرات احداث دو سد یامچی و سیلان 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 سیلان باعث تعدیل 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 وردآورد، اثر قابل توجهی در

تجاوز به حریم 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

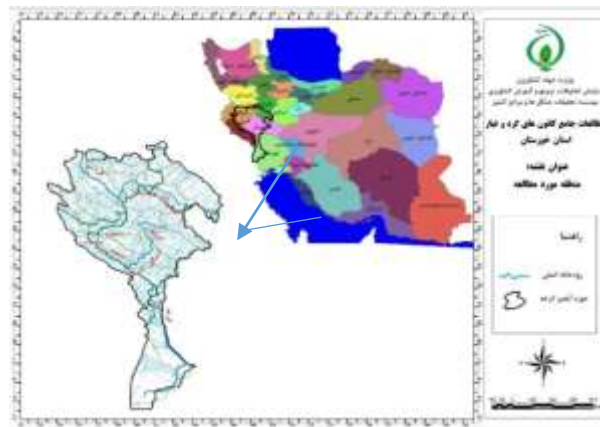
منطقه مورد مطالعه

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 $36^{\circ} 06'$ تا $49^{\circ} 10'$ طول شرقی و $34^{\circ} 56'$ تا $30^{\circ} 58'$ 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 $36/21$ درصد شده است (۲۶). از سوی دیگر از ابزارهای سنجش از دوری نیز در ارزیابی تاثیرات احداث سازه‌ها در مطالعات استفاده شده است. فتح‌نیا و همکاران (۱۳)، با استفاده از تصاویر چندزمانه لندست به بررسی تاثیرات احداث سد گاوشان بر کاربری اراضی، پوشش زمین و اقلیم حوضه رودخانه گاوهرود پرداختند. آنها با استفاده از شاخص‌های NDVI، EVI و SAVI تغییرات 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، تغییرات 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 سیل‌خیز 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 امرار معاش 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 پایین‌دست حوضه‌ها یا به عبارتی در دشت‌ها به وقوع می‌پیوندد، از سویی منجر به آبیگری 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 تغییرات 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).

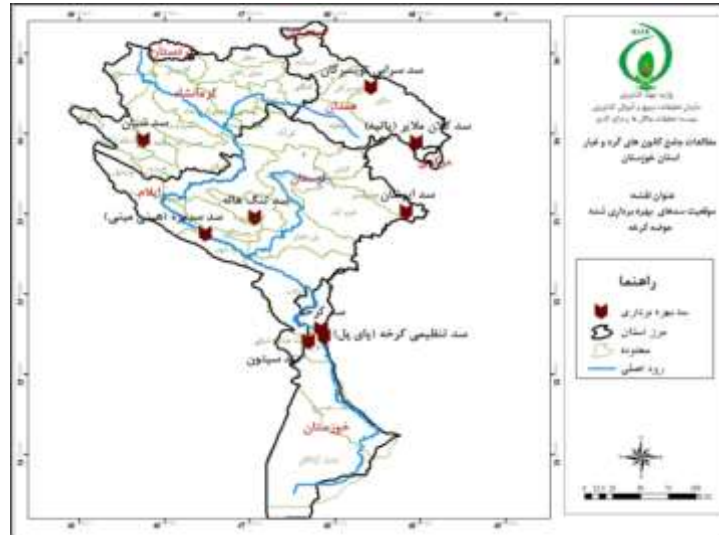
سدهای حوضه کرخه

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).

سد کرخه

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 ۴۰۰۲ میلیون متر مکعب است. موقعیت سد کرخه نسبت به حوزه آبخیز کرخه و نسبت به ایستگاه هیدرومتری پای‌پل در پایین‌دست سد در شکل (۳) نمایش داده شده است.

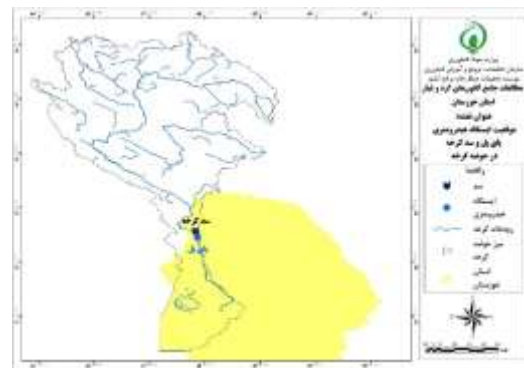
سد کرخه یک سد خاکی با هسته رسی با ارتفاع ۱۲۷ متر است که توسط شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران در ۲۲ کیلومتری شمال غرب شهرستان اندیمشک در استان خوزستان احداث شده است. این سد با اهداف تامین آب کشاورزی و انرژی برقی و همچنین کنترل سیلاب بر روی



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



(ب)



(الف)

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 کفایت 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) مبنا مطالعه قرار گرفت.

لذا با توجه به دو شرط ذکر شده، ایستگاه هیدرومتری پای‌پل به‌عنوان 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 مواقع سیلابی، تحت تاثیر احداث سد پرداخته شده است. همچنین به منظور ارائه تحلیل و نتیجه‌گیری صحیح، اثرات احتمالی سایر عوامل (عوامل طبیعی مانند خشکسالی) نیز در نظر گرفته و مطالعه شد.

انتخاب ایستگاه هیدرومتری مناسب

به‌منظور بررسی اثر سد احداث شده کرخه بر رژیم رودخانه در پایین‌دست، ایستگاه هیدرومتری منتخب بایستی در پایین‌دست سد واقع باشد.

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 ۱۳۴۵-۱۳۴۶ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۵)، 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 ۱۳۴۵-۱۳۴۶ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۵)، از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره ای استفاده شده در پژوهش

Table 1. Features of satellite images used in research

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

آماده‌سازی و تحلیل داده‌ها

در این مرحله نسبت به صحت‌سنجی 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 صحت 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 پایین دست 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 پایین دست 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، به‌منظور در نظر گرفتن سهم خشکسالی در کاهش دبی می‌باشد.

روش‌های آماری مورد استفاده

به‌منظور بررسی همگنی داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل و تعیین نقاط تغییر و جهش، از

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 پهنه‌های سیل‌گیر از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۷ و ۸ استفاده شد. لذا فریم‌های 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 باند ۱ تا ۷ بدون باند حرارتی و سنجنده OLI باندهای ۲ تا ۷ استفاده گردید (جدول ۱).

چهار آزمون بررسی همگنی (SNHT, Pettitt, Buishand, 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 به‌منظور مطالعه همبستگی میان دبی و پارامترهای اقلیمی موثر استفاده شد.

آزمون SHNT

این آزمون همگنی به شکست‌های 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 به‌طور 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 به‌وسیله ون نیومن ارائه شد و از اختلاف مربع ترتیبی داده‌ها به واریانس داده‌ها

به دست می آید (۲).

آزمون پیرسون

ضریب همبستگی پیرسون از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی میان متغیرهای با قیاس فاصله‌ای و نسبتی است که بین +۱ و -۱ 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 داتلود شد. پس از انجام مراحل پیش پردازش، به منظور استخراج پهنه‌های سیلابی از روش ترکیبی طبقه‌بندی نظارت نشده و شاخص NDVI استفاده شد.

مراحل مختلف تحقیق در این بخش از مطالعه، به طور خلاصه شامل مراحل ذیل می باشد:

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

تصاویر ماهواره‌ای**نرم افزارهای مورد استفاده**

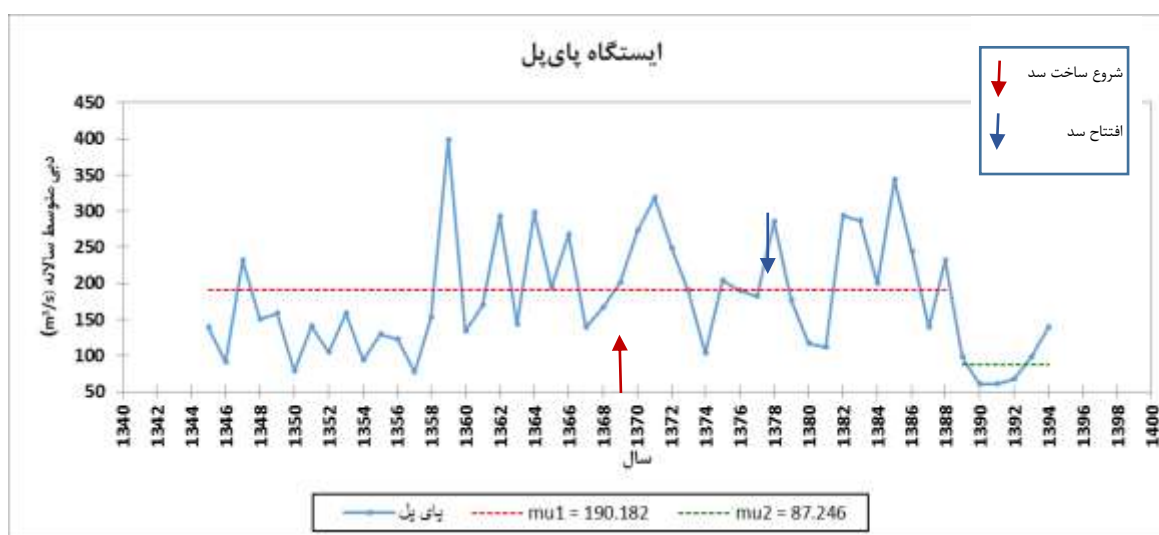
در مراحل مختلف مقاله حاضر از نرم افزارهای SPSS، EXCEL، DIP، ENVI و Arc Map استفاده شد.

نتایج و بحث**سد کرخه**

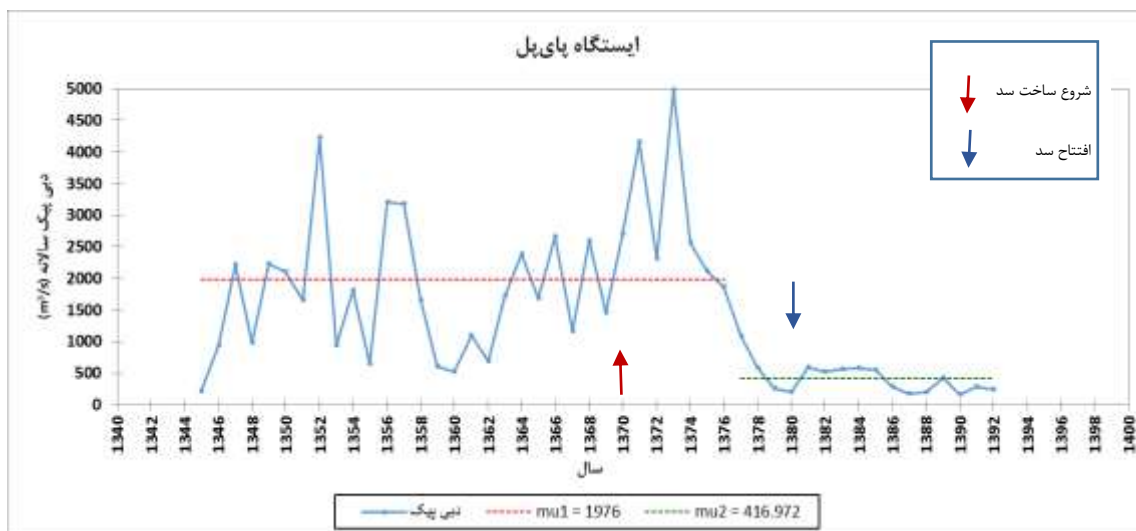
شکل‌های (۴ و ۵) به ترتیب نمودارهای سری زمانی دبی متوسط سالانه و دبی حداکثر لحظه‌ای را در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل (واقع در پایین دست سد کرخه) در بازه زمانی مورد مطالعه، نمایش می‌دهد. همچنین در این دو نمودار سال شروع به ساخت و سال افتتاح سد نمایش داده شده است.

همانطوری که در شکل (۴) نشان داده شده، دبی متوسط سالیانه در ۶ سال اخیر (از سال ۱۳۸۹)، دستخوش کاهش شدید شده است. به طوری که متوسط دبی سالیانه در ایستگاه پای‌پل در ۴۴ سال اول بازه زمانی مطالعاتی برابر با ۱۹۰ مترمکعب بر ثانیه و در ۶ سال اخیر با کاهش چشمگیر ۵۴ درصدی، معادل ۸۷ مترمکعب بر ثانیه شده است.

همچنین روند تغییرات دبی متوسط سالانه نشان می‌دهد در دو سال بعد از افتتاح سد کرخه، کاهش چشمگیری در دبی متوسط سالانه ایستگاه هیدرومتری پای‌پل (بعد از سد کرخه) به وجود آمده که متأثر از ذخیره آب در پشت سد به منظور به تراز رساندن آب در مخزن دریاچه سد می‌باشد. پس از آن دبی‌های متوسط سالانه در ایستگاه پای‌پل روند طبیعی خود را داشته تا سال ۸۹-۹۰ که همزمان با کاهش بارش در حوضه کرخه بوده است (شکل ۷).



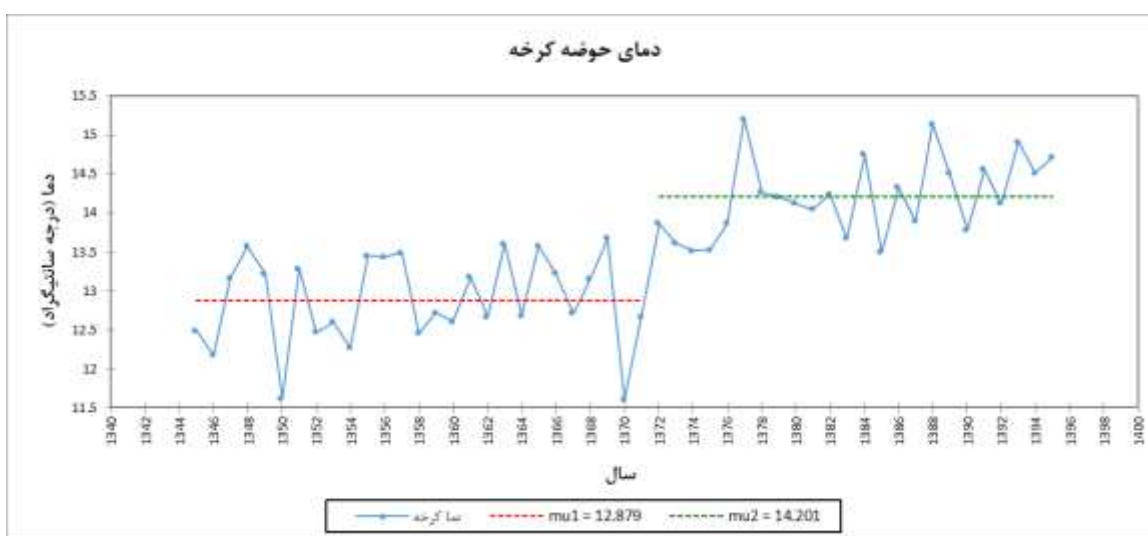
شکل ۴- تغییرات دبی متوسط سالانه در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل
Figure 4. Changes in average annual flow at Paypol hydrometric station



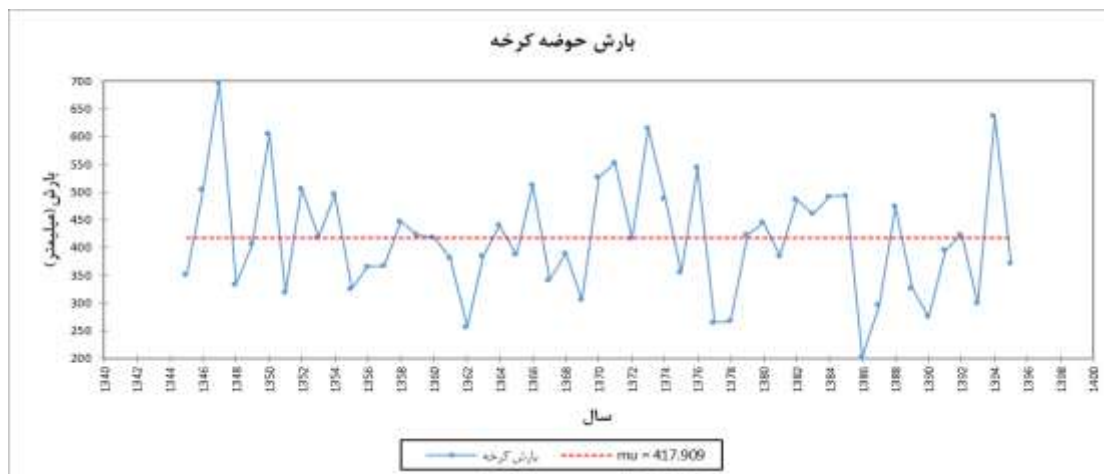
شکل ۵- تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه هیدرومتری پای‌پل
Figure 5. Maximum discharge flow changes at Paypol hydrometric station

از آن که همزمانی 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 بلافاصله 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 می‌رسد.

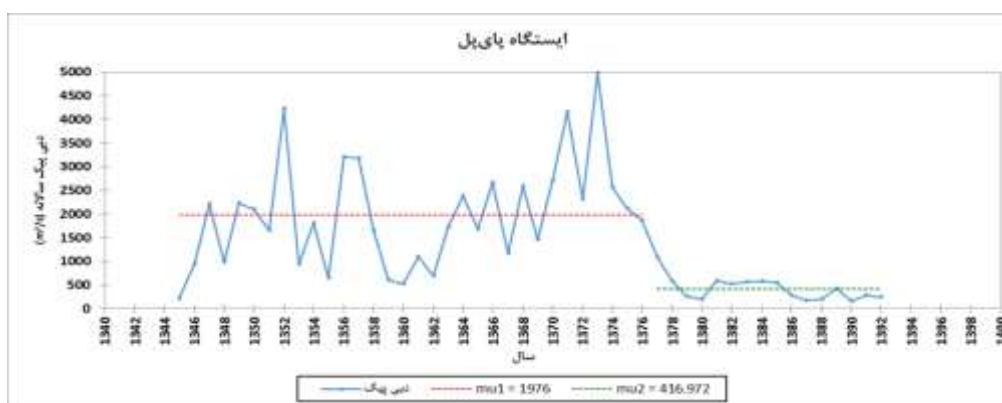
نکته قابل توجه این است که نقطه جهش و تغییر در شاخص خشکسالی نیز در سال ۱۳۷۶ مشاهده می‌شود (شکل ۹) که با نقطه جهش دبی پیک مطابقت دارد.

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 گسستگی ایجاد شده است. شکل (۸) نمودار

جدول ۲- نتایج آزمون همگنی داده‌ها

Table 2. Data homogeneity test results

hypothesis H0	alpha	p-value (Two-tailed)	t	مدل	ضریب تغییرات	میانگین	حداکثر	حداقل	تعداد مشاهدات	متغیر
Accept	۰/۰۵	۰/۰۰۰۱	۱۳۷۶	Pettitt						دبی
Accept	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۱۳۷۶	(SNHT)	۱۱۸۹/۵۲۹	۱۴۵۶/۱۹۹	۴۹۷۸	۱۵۴	۴۸	حداکثر
Accept	۰/۰۵	۰/۰۰۱	۱۳۷۶	Buishand						لحظه‌ای
Accept	۰/۰۵	۰/۰۰۰		von Neumann						(m ³ /s)



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 به‌طورکلی از سال ۱۳۸۷-۱۳۸۶ 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 تحلیل‌گر تعداد وقایع خشکسالی و ترسالی اتفاق افتاده در هر گام زمانی دلخواه را شناسایی نماید (۲۲). نمودار SPEI

نرمال سیر کرده است و در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ 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 پای‌پل، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، با پارامترهای SPEI، دما و بارش همبستگی نشان می‌دهد. همچنین بیشترین همبستگی دبی حداکثر لحظه‌ای به ترتیب 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

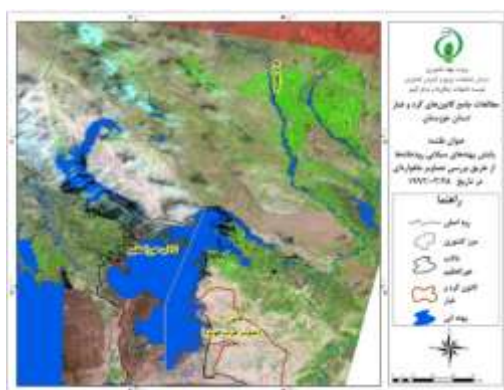
جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی بین پارامترهای موثر و دبی حداکثر لحظه‌ای

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

پارامترها	دما کرخه	باران کرخه	SPEI	دبی پیک
دما کرخه	۱	-۰/۳۳۳	-۰/۶۵۳	-۰/۳۸۸
باران کرخه	-۰/۳۳۳	۱	۰/۸۳۱	۰/۴۷۰
SPEI	-۰/۶۵۳	۰/۸۳۱	۱	۰/۵۰۵
دبی پیک	-۰/۳۸۸	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 به‌منظور مطالعه نحوه اثرگذاری سد کرخه بر ظرفیت سیلابی دشت‌های سیلابی، تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های قبل و بعد از احداث سد در مواقع سیلابی پایش شد. نتایج بدست آمده در چهار تاریخ (دو تاریخ سیلابی قبل از



(ب)

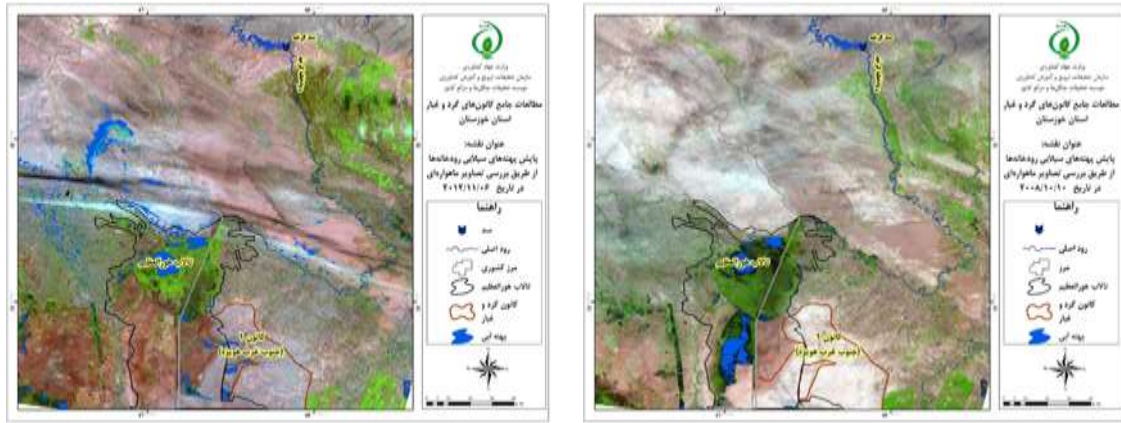


(الف)

شکل ۱۰- پهنه‌های سیلابی رودخانه کرخه پیش از احداث سد کرخه در دو تاریخ های 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 آبیگری شده است. در این دو واقعه سیلابی (الف و ب) دبی پیک سیلابی در در آخرین ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه



شکل ۱۱- پهنه‌های سیلابی رودخانه کرخه پس از احداث سد کرخه در تاریخ‌های 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 رودخانه‌ها پرداختند. نتایج 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 (۲۳) 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. همچنین اسفندیاری 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 شاخص‌های هیدرولوژیک جریان طبیعی رودخانه‌های حوضه دریاچه ارومیه شده است که این مسئله از عوامل اصلی ایجاد تغییرهای غیراصولی در رودخانه‌ها، دخل و تصرف انسانی به حدود بستر و حریم رودخانه هستند.

پایش تصاویر ماهواره‌ای به منظور بررسی تغییرات سطوح سیل‌گیر در طی زمان و چگونگی اثرگذاری احداث سد کرخه بر سطوح سیل‌گیر نیز، نشان می‌دهد که از آغاز پایش تصاویر ماهواره‌ای (سال ۱۳۶۳) تا قبل از آبیگری سد کرخه (۱۳۸۰)، پهنه‌های مذکور در شرایط سیلاب، پوشیده از آب بوده است، به‌ویژه در تاریخ‌های قبل از سال ۱۳۷۰ یعنی سال شروع به ساخت سد، پهنه سیل‌گیر تالاب هورالعظیم در مواقع سیلابی پوشیده از آب رودخانه کرخه می‌شده که پس از این سال (۱۳۷۰) میزان آبیگری 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 آبیگری از رودخانه کرخه مشاهده نشده است (این مسئله به وضوح در تصاویر ماهواره‌ای پایش شده، قابل مشاهده است). به‌طور مثال تصویر سال ۱۳۸۵ نمایانگر وجود سیلاب در

همانطوریکه در شکل (۱۱) نمایش داده شده، پس از احداث سد کرخه علیرغم وقوع سیلاب شاهد آبیگری 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 دبی‌های حداکثر لحظه‌ای پس از احداث سد کرخه) با نمودار تغییرات دبی حداکثر لحظه‌ای (شکل ۵) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بدست آمده نشان‌دهنده اثرگذاری سد کرخه بر دبی‌های پیک سیلابی است، به گونه‌ای که پس از تاریخ آبیگری سد کرخه (سال ۱۳۸۰)، شاهد کاهش چشمگیر ۷۸ درصدی در دبی‌های پیک سیلابی در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست سد (ایستگاه پای پل) بوده و سد کرخه پیک‌های لحظه‌ای را مهار کرده است. همچنین در دو سال اول بعد از افتتاح سد کرخه، کاهش چشمگیری در دبی متوسط سالانه ایستگاه هیدرومتری پای پل به وجود آمده که متاثر از ذخیره آب در پشت سد به‌منظور به تراز رساندن آب در مخزن دریاچه سد می‌باشد. پس از آن دبی‌های متوسط سالانه در ایستگاه پای پل روند طبیعی خود را داشته تا سال ۹۰-۸۹ 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 لحظه‌ای رسیده‌اند. گرف (۱۵)، با بررسی ۳۶ سد از بزرگترین سدهای ایالات متحده آمریکا، 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 کاهش 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 به‌عنوان 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 اندرکاران این طرح، سپاسگزاری می‌گردد.

سمت عراق می‌باشد ولی با وجود شرایط اقلیمی مشابه، ایران فاقد آبیگری پهنه‌های سیل‌گیر است. این مسئله با کاهش دبی‌های پیک سیلابی پس از آبیگری 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 به‌منظور شناسایی پهنه‌های سیلابی از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دوری استفاده کردند که نتایج بدست آمده حاکی از دقت و سرعت بالای روش‌های مذکور در پهنه‌بندی سیلاب بوده است.

علاوه بر سازه احداث شده، پارامترهای دیگری نیز نقش احتمالی در تغییرات دبی رودخانه دارند. لذا به‌منظور 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 نقطه جهش 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. Zabihi. 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.
- Bihanta, 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. Zehabian, 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. Sadatinejad, 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 Gavahrod 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. Kaviani, 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.Graber. 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. Zohrabai, 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 Saedifar⁴

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

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