

شبیه‌سازی جریان سیلاب در پایین دست سد کرخه و ارایه راهکارهای کنترل آن با نگاهی بر جایگاه زمین‌شناسی حوضه آبریز

نورالدین بازگیر^۱، علی‌محمد آخوندعلی^{۲*} و کاظم حمادی^۳

۱. دانشجوی دکتری، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. استاد، گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. دکترای مدیریت منابع آب، مدیر مطالعات پایه منابع آب سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶

چکیده

حوضه آبریز کرخه با وسعت بیش از ۵۰ هزار کیلومترمربع در غرب کشور واقع است. با این همه وجود سدهای مخزنی بالادست بخصوص سد مخزنی بزرگ کرخه، دشت‌ها و شهرهای پایین دست آن هنوز از مخاطرات سیل در امان نیست. با توجه به جایگاه زمین‌شناسی حوضه آبریز رود کرخه، در بارش‌های شدید بیش از ۷۰ درصد مساحت حوضه آبریز پتانسیل تولید سیلاب دارد. هدف پژوهش جاری شبیه‌سازی جریان سیلاب توسط مدل یک-دو بعدی و استفاده از کانال‌های سیلاب بر و حوضچه‌های ذخیره‌ای برای انحراف و ذخیره بخشی از سیلاب به طوری که خسارات پایین دست را در حد قابل قبول تقلیل دهد. به منظور مدل‌سازی هیدرولیک جریان در شرایط سیلابی از مدل MIKE FLOOD استفاده شد. این مدل توانایی شبیه‌سازی جریان‌های پیچیده در رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها را به صورت هیدرودینامیکی دارد. داده‌های هیدرولوژیکی و هندسی مورد نیاز مدل آماده‌سازی شد؛ همچنین دبی‌های سیلابی ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه با تداوم ۱۱ روزه و حجم معادل ۴۷۵ تا ۲۳۷۶ میلیون مترمکعب طی پنج سناریو به عنوان مرز بالادست به مدل برای شبیه‌سازی معرفی شد. نتایج پژوهش نشان داد که از میان گزینه‌های مورد بررسی، حوضچه و سیلاب‌بر "شاکریه" در تمامی سیلاب‌های بزرگ رودخانه کرخه فعال است و از نظر حجم نگهداشت ۵۰ درصد از کل حجم ذخیره پیشنهادی کل سامانه را تامین می‌کند. همچنین این حوضچه در نهایت به تالاب هورالعظیم منتهی می‌شود و علاوه بر کمک به تامین نیاز زیست‌محیطی تالاب، مکان مناسبی برای نگهداشت و ذخیره حجم قابل توجه سیلاب نیز می‌باشد. این گستره به عنوان موثرترین (اولویت اول) محل حوضچه تاخیری از نظر حجم ذخیره و مستعد بودن شرایط توپوگرافی تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبریز کرخه، سیلاب، زمین‌شناسی، شبیه‌سازی دوبعدی.

مقدمه

سنگ‌ها سیل‌خیزی بیشتری را دارا هستند (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۹۴).

روش‌های انجام شده در مدیریت سیلاب و تاثیر هر یک در کاهش خسارات، از یک روش واحد تبعیت نمی‌کند و وابسته به شرایط ویژه و خصوصیات فیزیکی هر حوضه می‌تواند متفاوت باشد. وجود یا ساخت حوضچه‌های ذخیره‌ای و تأخیری طبیعی یا مصنوعی می‌تواند به کاهش دبی اوج سیلاب منجر شوند اما در موارد نامناسب، ممکن است وضعیت سیلاب یک حوضه را تشدید کند (احمدی شرف و تجربی، ۱۳۹۳). چمن پیرا و همکاران (۱۳۹۴) طی مطالعه‌ای ارزیابی تأثیر حوضچه‌های ذخیره آب بر تغییرات حوضه و کاهش سیلاب و سیل‌خیزی حوضه آبریز دادآباد را بررسی کردند. نتایج نشان داد عملیات انجام شده اثرگذار می‌باشند. قبادی و همکاران (۱۳۹۷) مدیریت سیلاب شهری با احداث حوضچه‌های ذخیره‌ای برای گستره شهری مشهد را مورد بررسی قرار داده‌اند. حوضچه‌های ذخیره‌ای می‌تواند به منظور کاهش دبی پیک و افزایش زمان رخداد پیک سیلاب مورد استفاده قرار گیرد. با ساخت مخزن دبی پیک خروجی حوضه از ۱۸/۵ مترمکعب در ثانیه برای دوره بازگشت ۲۵ سال به ۱۳/۴ مترمکعب در ثانیه تقلیل پیدا کرده و کاهش ۲۸ درصد را نشان داد. پژوهشی توسط شریفی سیستانی و صنعی (۱۳۹۷) در مورد تأثیر استفاده از حوضچه‌های تأخیری بر کاهش دبی پیک سیلاب در حوضه آبریز شهری کال سرافرازان در مشهد صورت گرفت. نتایج نشان داد با استفاده از حوضچه تأخیری دبی پیک سیلاب در حوضه آبریز سرافرازان به نسبت گذشته ۳۲ درصد کاهش یافته است. مرور منابع فوق نشان می‌دهد حوضچه‌های ذخیره‌ای و تأخیری در کشور بیش‌تر برای کنترل و مدیریت سیلاب شهری استفاده شده است. مبانی مدیریت سیلاب در رودخانه‌ها و سیلاب دشت‌ها توسط معمارزاده (۱۳۹۸) با هدف اصلی، مرور گام‌های اساسی برای مدیریت سیلاب و ریسک ناشی از آن بر مبنای استانداردهای موجود در کشور در این زمینه صورت پذیرفته است. تاکنون مطالعات زیادی در خصوص سیلاب از منظرهای مختلف در حوضه کرخه

جلگه خوزستان به دلیل وجود رودخانه‌های بزرگ از دیر باز تاکنون به شدت تحت تأثیر سیلاب‌های آن‌ها قرار دارد و همواره برای ساکنان آن خسارات و ضررهای مالی بسیاری به همراه داشته است. رودخانه کرخه به عنوان یکی از مهم‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه‌های کشور به حساب می‌آید که علیرغم وجود سدهای مخزنی سیمره و کرخه، پایین دست آن هنوز از مخاطرات سیل در امان نیست. زمین‌شناسی بر بروز بسیاری از ویژگی‌های هیدرولوژیکی یک گستره از جمله فرسایش پذیری، تولید رسوب، نفوذپذیری و سیلاب‌خیزی موثر است. حسین‌خانی (۱۳۹۲) با بررسی وضعیت زمین‌شناسی و تکتونیک حوضه آبریز سد شهریار در جنوب آذربایجان شرقی، و تلفیق لایه‌های مذکور با سایر لایه‌های اطلاعاتی به بررسی وضعیت فرسایش با مدل EPM پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که مناطق فرسایش پذیر همبستگی بالایی با وضعیت لیتولوژی گستره دارد. حسین زاده و اسماعیلی (۱۳۹۷) با بررسی هم‌زمان ویژگی‌های ساختارهای زمین‌شناسی و شبیه‌سازی سیلاب، به بررسی و مدل‌سازی فرسایش کناره‌ای رودخانه با استفاده از مدل BSTEM در حوضه آبریز لاریج رود در استان مازندران پرداختند. رجبی و همکاران (۱۳۹۸) با بهره‌گیری از امکانات GIS و سنجش از دور و مدل EPM، لایه‌های زمین‌شناسی، خاکشناسی، کاربری اراضی و قابلیت فرسایش‌پذیری، را به واسطه روابط ریاضی تلفیق کرده و قابلیت رسوب‌دهی حوضه آبریز شازند در استان اراک را بررسی کردند. مهم‌ترین عوامل زمین‌شناسی موثر بر سیل‌خیزی شامل ویژگی‌های سنگ‌شناسی حوضه آبریز، میزان [درجه] گسل [خوردگی]، درز و شکاف و شکستگی در حوضه، تراکم آبراهه‌ها و نفوذپذیری واحدهای سنگ‌شناسی است (Barr, 2002). به‌طور کلی در صورت ثابت بودن سایر شرایط، در سنگ‌های نفوذپذیر مانند سنگ‌های آهکی، بارندگی بیشتر نفوذ می‌کند، رواناب کمتری تولید شده و مناطق پوشیده از این سنگ‌ها سیل‌خیزی کمتری را دارا هستند. در سنگ‌های نفوذناپذیر مانند مارن‌ها بیشتر بارش به رواناب سطحی تبدیل می‌شود و مناطق پوشیده از این

تاریخی پرداخته است. نتایج پژوهش نشان داد سد کرخه میانگین سری دبی‌های اوج سیلاب را به میزان ۷۹ درصد کاهش داد. سیل فروردین ۱۳۹۸ بدون اثر سدهای سیمره و کرخه با دبی حداکثر روزانه ۶۹۴۰ و دبی لحظه‌ای بالغ بر ۸۳۴۹ مترمکعب بر ثانیه مرتبه اول سیلاب‌ها را جابجا و به خود اختصاص داد. با اضافه شدن این داده به پارامترهای آماری، گشتاورها، تابع توزیع و مقادیر دوره بازگشت سیل تغییر یافت. براساس نظر لبادی (Labadi, 2004)، با وجود این‌که مدل‌های بهینه‌سازی به‌خوبی رشد و توسعه‌یافته‌اند اما باز هم اکثر برنامه‌ریزی‌های مخزن و مطالعات بهره‌برداری بر اساس مدل‌های شبیه‌سازی صورت می‌گرفت. چالش اصلی در توسعه بهره‌برداری بهینه از مخازن تقابل با پیچیدگی‌های معمول سیستم و از جمله نبود قطعیت در مورد جریان‌های ورودی و قیمت انرژی تولید شده در آینده می‌باشد. علاوه بر پیچیدگی‌های فوق در طراحی و مدیریت منابع آب، پارامترهای اجتماعی و زیست‌محیطی مدام در حال تغییر هستند. در پژوهشی که توسط تقیان (۱۳۹۶) انجام شده است، به بررسی و توسعه یک مدل آبدی برای سیستم منابع آب سه مخزنی در حوضه آبریز زهره در جنوب غرب ایران پرداخته شده است. گستره آزادسازی مطمئن می‌تواند از صفر تا ۱۰۰ درصد دبی امن رودخانه را در بر گیرد. در صورتی که خروجی سد از حد مطمئن خارج شود و از خروجی مطلوب تفاوت داشته باشد، هزینه‌ها به‌صورت نمایی افزایش می‌یابند (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵). میزان جریان خروجی سد مخزنی کرخه توسط تابع خسارات ایجاد شده شبیه‌سازی و نتایج آن حاکی از این است، در مراحل ابتدایی انحراف از دبی ایمن رودخانه میزان خسارت نسبی به ۴۰ درصد کل خسارت رسید. این به دلیل امکانات محدوده درون سیستم در تخلیه سیلاب می‌باشد. ۵۰ درصد خسارات سیلاب مربوط به دبی خروجی متوسط ۹۷۷ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. دبی‌های خروجی حدود ۱۳۵۰ و ۱۷۰۰ متر مکعب در ثانیه باعث ایجاد ۶۰ و ۷۰ درصد خسارت شد و بالاخره ۸۵ درصد خسارات نسبی در دبی ۲۱۰۰ متر مکعب در ثانیه اتفاق می‌افتد (حمادی و نوذریان، ۱۴۰۰). دوره بازگشت تراز سطح آب در اثر شرایط نا ایستایی و نیاز به بهنگام

انجام شده است. از میان آن‌ها می‌توان به مطالعات محمدپور و همکاران (۱۳۸۷) اشاره کرد. این پژوهشگران تاثیر ساخت سد مخزنی کرخه بر میزان خطرپذیری اراضی پایین دست سد را مطالعه و نشان دادند ساخت این سد باعث شده تا ریسک خطر سیلاب‌هایی با دوره بازگشت پنج تا ۲۵ ساله به‌صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کند. ابریشمچی و همکاران (Abrishamchi et al., 2011)، یک مدل بهینه‌سازی چندمنظوره را برای در نظر گرفتن تعارض‌های بین کنترل سیلاب و تولید انرژی برقابی در سامانه‌های دربرگیرنده مخازن چندمنظوره و سازه‌های کنترل سیلاب ارائه دادند. آن‌ها در مطالعه خود به بررسی سیستم مخزن کرخه پرداختند. نتایج، نشان از یک تناقض بین اهداف مختلف مخزن داشته و درستی این تناقض‌ها با منحنی مصالحه نشان داده شد. رودخانه‌ها مهم‌ترین و اساسی‌ترین منبع تأمین آب برای مصارف مختلف جوامع انسانی و زیستی هستند، بنابراین مطالعه وضعیت تاریخی آن‌ها برای برنامه‌ریزی منابع آب، ساخت سازه‌های هیدرولیکی و تأمین آب همواره لازم و یک ضرورت مهندسی است (Azarang et al., 2015). "رژیم جریان" معیار مناسبی برای مطالعه و ارزیابی بهتر رفتار رودخانه و درک آن است. تعیین ابعاد سازه‌های آبی نیازمند محاسبه دبی طراحی از مطالعات هیدرولوژی می‌باشد. بنابراین برآورد دبی سیلاب با دوره‌های بازگشت مناسب آن سازه از اهم اهداف طرح‌ها می‌باشد (رجائی، ۱۴۰۲). بختیاری و جهانتاب (۱۴۰۱) با به‌کارگیری الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و توابع تحلیلی GIS، به مدل‌سازی مکانی سیلاب در حوضه آبریز رود کن در استان تهران پرداخت. حمیدی مچک‌پشتی و همکاران (Hamidi Macheckposhti et al., 2016 and 2017) سیلاب کرخه را با استفاده از مدل‌های آماری بررسی کردند و نتیجه گرفتند، مدل آماری آریمما برای تجزیه و تحلیل سیلاب حوضه کرخه بسیار مناسب می‌باشد. بررسی سیلاب‌های تاریخی و کنونی به برنامه‌ریزی و مدیریت کمک شایانی می‌کند. حمادی و ذاکری حسینی (۱۳۹۸) به بررسی وضعیت تاریخی پدیده سیلاب به لحاظ دبی اوج، دوره بازگشت، حجم و مقایسه واقعه سیل فروردین ۱۳۹۸ با سیلاب‌های

روش مطالعه

جایگاه زمین‌شناسی و پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبریز رود کرخه

حوضه آبریز درجه دو رودخانه کرخه با کد ۲۲ و مساحت ۵۱۶۴۳ کیلومتر مربع (دستورالعمل و ضوابط تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور، ۱۳۹۱)، در حوضه درجه یک خلیج فارس و دریای عمان قرار دارد و شامل بیش از نیمی از استان‌های لرستان و کرمانشاه و بخش‌هایی از استان‌های کردستان، همدان، ایلام و خوزستان است. از نظر زمین‌شناسی این حوضه دربرگیرنده بخشی از پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان و پهنه زاگرس (مرتفع، چین‌خورده و دشت خوزستان) است. واحدهای زمین‌شناسی گستره، تنوعی از انواع لیتولوژی از پرمین تا عهد حاضر را شامل می‌شوند. حدود سه درصد از گستره حوضه آبریز شامل انواع واحدهای آذرین نفوذی و آتشفشانی است. شش درصد گستره نیز از واحدهای دگرگونی تشکیل شده است و ۹۱ درصد گستره از انواع واحدهای رسوبی تشکیل شده است. در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز رود کرخه ارائه شده است. بر اساس وضعیت نفوذپذیری، ژئومورفولوژی، لیتولوژی و فرسایش‌پذیری، پتانسیل سیل‌خیزی واحدهای زمین‌شناسی بر اساس تشخیص کارشناسی استخراج و در جدول ۱ ارائه شده است. نظر کارشناسی بر مبنای مشاهدات صحرایی، جنس لایه‌ها، پوشش سطح زمین و شیب واحدها شکل گرفت. بر این اساس حدود ۷۳ درصد حوضه آبریز دارای پتانسیل سیل‌خیزی بالا می‌باشد. واحدهای شیلی، مارنی، دگرگونی، آذرین، آبرفتی و واحدهای لیتولوژیک سخت فاقد شکستگی (مثل آهک‌های توده‌ای) در این رده قرار دارند. واحدهای ماسه سنگی، کنگلومرایی و بعضی از آهک‌ها در کلاس سیل‌خیزی متوسط (۱۱ درصد مساحت حوضه) قرار دارد. سایر واحدها به دلیل نفوذپذیری بالا در رده پتانسیل کم سیل‌خیزی (۱۶ درصد مساحت حوضه آبریز) قرار دارد. رودخانه کرخه پس از ورود به دشت‌های استان خوزستان از حاشیه یا درون شهرهای زیادی عبور می‌کند و

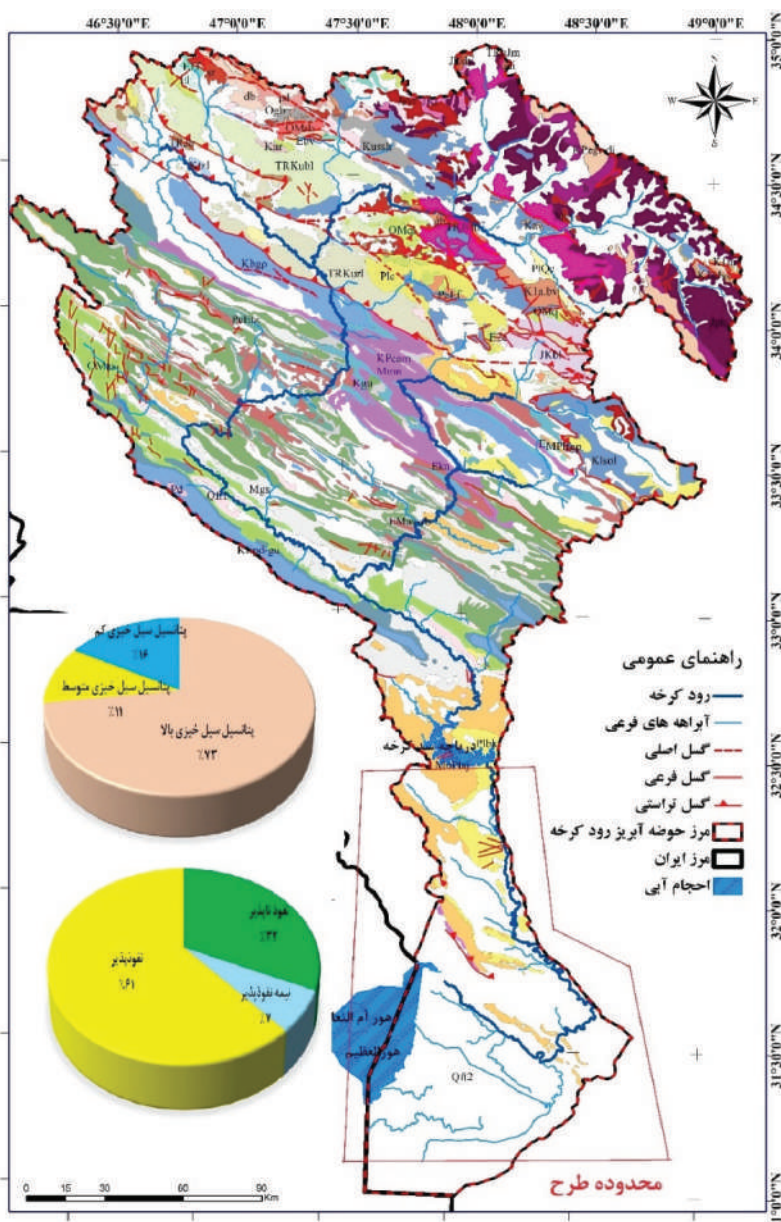
سازی استراتژی‌های طراحی سازه‌ها توسط موندال و دانیل (Mondal and Daniel, 2018) به صورت مفصل مورد بحث قرار گرفت. بررسی رویکردهای پیش‌بینی چندگانه برای برآورد دبی اوج شکست سد توسط موگن و همکاران (Moglen et al., 2018) مورد بررسی قرار گرفت. هیدرولوژی فرکانس (تحلیل فراوانی) سیل با داده‌های محدود برای حوضه آبریز رودخانه وزر آلمان توسط مک‌کالوم و بیگلی (McCullum and Beighley, 2019) مورد مطالعه قرار گرفت. این پژوهش چالش‌ها و راه‌حل‌های برآورد دبی سیلاب منطقه‌ای از تعداد محدودی از ایستگاه‌های هیدرومتری و آمار با طول دوره‌های مختلف را بررسی کردند. البته قبل از آن اسمیت و همکاران (Smith et al., 2016) برای اقلیم و زیرحوضه‌های رودخانه وزر، به صورت مختلف تابع توزیع مقادیر حدی گسترش یافته را برازش کردند. لیو و همکاران (Liu et al., 2020) توسط مدل BTOPMC واقعه سیلاب حوضه آبریز رودخانه فوجی ژاپن را مورد شبیه‌سازی و حساسیت پارامترهای آن را بهینه کردند. کارلو برتو و همکاران (Carvalho Barreto et al., 2020) تحلیل قابلیت پیچیده جریان رودخانه سائو فرانسیسکو و را در بالادست و پایین دست سدها و مخازن و اثرات آن‌ها را به طور مفصل مطالعه نموده‌اند. ییلماز و همکاران (Yilmaz et al., 2020) روند حداکثر دبی جریان سالانه رودخانه‌های مختلف ترکیه را بر اساس تئوری انتقال موجک مطالعه کردند. نتایج نشان داد روند نزولی در سری زمانی حداکثر دبی جریان سالانه وجود داشته و این روند منفی نیز از نظر آماری در سطح پنج درصد معنی‌دار است. هدف از پژوهش جاری بررسی تاثیر زمین‌شناسی بر سیلاب‌خیزی حوضه آبریز رود کرخه، شبیه‌سازی جریان سیلاب توسط مدل دو بعدی، استفاده از کانال‌های سیلاب بر و حوضچه‌های ذخیره‌ای برای انحراف بخشی از سیلاب به عنوان ذخیره و نیز کنترل و تنظیم بخش دیگر جریان برای کاهش دبی اوج به طوری که خسارات پایین دست را در حد قابل قبول تقلیل دهد، می‌باشد.

قدس، دشت آزادگان، دشت عباس، فکه و عین خوش و همچنین تولید انرژی برقی به میزان ۹۳۴ گیگا وات ساعت در سال و کنترل سیلاب‌های مخرب و جلوگیری از خسارات وارده ناشی از آنها اشاره کرد. حجم کل مخزن ۷/۳ میلیارد مترمکعب، حجم مخزن در تراز بهره‌برداری ۲۲۰ متری برابر ۵۵۷۲ میلیون مترمکعب (قبل از رسوب‌گذاری)، حجم مخزن در حداقل تراز بهره‌برداری ۱۶۰ متر ۴۳۰ میلیون مترمکعب و بالاخره حجم مفید مخزن برابر ۳۸۳۰ میلیون

در نهایت در چندین شاخه وارد تالاب هورالعظیم می‌شود. سد کرخه یکی از بزرگ‌ترین سدهای خاکی دنیا و بزرگ‌ترین سد خاکی ایران و خاورمیانه است و بر روی رودخانه کرخه در ۲۲ کیلومتری شمال غربی شهرستان اندیمشک در استان خوزستان ساخته شده است. از اهداف اولیه سد بیان شده می‌توان به تأمین و تنظیم آب برای آبیاری بیش از ۳۲۰ هزار هکتار از اراضی پایین دست، دشت‌های پای پل (اوان، اریض، دوسالق و باغه) و همچنین دشت‌های حمیدیه،

راهنمای زمین شناسی

- واحدهای رسوبی**
- Q12: تراس های کم ارتفاع
 - Q11: تراس های برتفع
 - P20: کنتلورا و ماسه سنگ مخروط افکنه ای
 - P10: کنتلورای بخاری
 - P0: ماسه سنگ و کنتلورای پلینتیک
 - MuPl1: ماسه سنگ و مارن آتاجاری
 - Mm: مارن و آهک مارنی مینان
 - Mg: مارن و لیس چسبان
 - MP10p: گروه فارس
 - CM10: آهک آسماری
 - EM10-d0: آهک آسماری-خیزان
 - CM10: سازند قم
 - CM10p: آهک ریخی
 - CM10r: لایه های سرخ رسوبی
 - EL: آهک لومولتی
 - E: سنگ های نفیکت شده الوس
 - Eh: شیل کندوان
 - E2c: کنتلورا و ماسه سنگ
 - E1f: واحدهای رسوبی
 - E2b: آهک تله زنگ
 - E2f: فلیش، ماسه سنگ و بادستون
 - KP10m: فلیش اخوان
 - K10: مارن و شیل گودزی
 - K10-d0: کزدنی (آهک)
 - K10r: شیل سندیج
 - K10p: شیل و چرت رادیولیتی
 - K10c: گروه بنگستان (سنگ آهک و شیل)
 - K10s: ماسه سنگ و کنتلورای فریز
 - K10t: آهک تیزکوه
 - K10m: مارن، ماسه سنگ و آهک
 - K10d: آهک اورینولین دار
 - K10b: آهک لایینی
 - J10: ماسه سنگ
 - TK10b: آهک سینون
 - TK10r: رادیولیت‌های نریز و کوان
 - P1: سازند دورود
 - TK10r: آهک با میان لایه شیل و چرت
- واحدهای آذرین**
- Q10: گرو،
 - H10: سنگ های وکالیکی بازتی
 - KP10g: سنگ های نفودی
 - K10v: آندزیت وکالیکی
 - d10: دیپاز
 - K10a,b,c: سنگ وکالیکی بازتی و آندزیتی
 - g10: مار و لایه ای
 - J10d: دیوریت ژوراسیک بالایی
 - J10g: ریولیت و ریوداسیت وکالیکی
 - S10: سربانتیت
 - p10: پرندولیت
 - J10v: توف وکالیکی ریولیتی
 - J10r: توف وکالیکی آندزیتی
- واحدهای دگرگونی**
- K10: آهک کربناتی و کالک شیت
 - TK10m: زون انتقال
 - TK10v: متاکالک و ماسه آهک
 - S10: سکارن
 - P10: فیلت همدان



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز رود کرخه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، برکه‌های NH38-4 و NH39-1 و NI39-5,9,13 و NI38-7,8,11,12,15).

۱:۲۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰) و بازه‌های شناسایی شده دارای پتانسیل انحراف سیل، مورد تحلیل قرار گرفت. در هر حال گام‌های روش‌شناسی پژوهش حاضر مطابق زیر خلاصه می‌شوند:

در مرحله اول، اطلاعات جریان رودخانه کرخه، مقاطع عرضی، نقشه‌ها، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای در گستره مورد بررسی جمع‌آوری شد. در مرحله دوم اطلاعات جمع‌آوری شده به‌خصوص آمار ایستگاه‌های هیدرومتری بازه مورد مطالعه از قبیل آبدهی و سیلاب، پردازش عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، مقاطع عرضی رودخانه و پروفیل طولی آن مورد بررسی و تحلیل مقدماتی قرار گرفت. مرحله سوم به تهیه و ساخت مدل شامل بررسی منابع خطا در مدل‌سازی، واسنجی صحت سنجی مدل و مقایسه نتایج مدل با تصاویر ماهواره‌ای موجود در زمان‌های سیلابی اختصاص یافت. در مرحله چهارم به اجرای مدل و استخراج نتایج شامل مشخصات هیدرولیکی رودخانه و بازه‌های بحرانی از جنبه پخش سیلاب به ازاء مقادیر مختلف جریان و باز اجرای مدل برای گزینه‌های کنترل سیلاب (کانال‌های سیلاب‌بر) در بازه‌های دارای پتانسیل انحراف جریان و استخراج نتایج بر اساس جریان سیلابی مورد نظر پرداخته شد. در بخش پایانی مراحل پژوهش استخراج گزینه‌های نهایی کنترل سیلاب از جنبه مکان یا مکان‌های انحراف جریان سیلاب و مقادیر هدایت شده آن و ارائه راهکارهای لازم مد نظر قرار گرفت. بازه تحت تاثیر سیل، رودخانه کرخه سفلی حدفاصل سد تا تالاب هورالعظیم به طول بالغ بر ۳۵۵ کیلومتر (با احتساب شاخه‌های فرعی منتهی به تالاب) می‌باشد، در این گستره شهرهایی همچون شوش، الوان، حمیدیه، سوسنگرد، بستان و رفیع و نیز ده‌ها روستا متأثر از سیلاب کرخه هستند، همین موضوع، اهمیت ایجاد تمهیدات برای مدیریت و کنترل سیلاب را در بازه یاد شده، ایجاب می‌کند. داده‌های هیدرولوژیکی و هندسی مورد نیاز مدل‌سازی شامل داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای سیل، هیدروگراف‌های سیلاب، نقشه‌ها و گستره سیلاب فروردین ۱۳۹۸، مقاطع عرضی رودخانه (تعداد ۲۹۶ مقطع عرضی) و نقشه‌های توپوگرافی سیلاب‌دشت‌ها و دشت‌های مجاور از سازمان آب و برق خوزستان دریافت و در پژوهش حاضر

مترمکعب (بعد از رسوب‌گذاری) می‌باشد. این سد دبی اوج و حجم سیلاب را کاهش و در زمان سیل و رسیدن آن به پایین دست تأخیر ایجاد می‌کند. سد مخزنی مورد بحث دارای ضوابط بهره‌برداری خاص در شرایط سیلاب است (بخش‌های مهندسین مشاور مهتاب قدس و سازآب اهواز طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶). اهمیت پخش سیل در سیلاب دشت‌های پیرامون آن بخصوص در پایین دست سد مخزنی کرخه منجر به انتخاب این گستره یعنی حد فاصل سد مخزنی کرخه تا تالاب هورالعظیم به‌عنوان میدان پژوهش شد.

در این پژوهش به‌منظور مدل‌سازی هیدرولیک جریان در شرایط سیلابی از مدل MIKE FLOOD استفاده شد. این مدل یک مدل ترکیبی است که با ارتباط و پیوند دو مدل MIKE 11 و MIKE 21، توانایی شبیه‌سازی جریان‌های پیچیده در رودخانه و سیلاب‌دشت‌ها را به‌صورت هیدرودینامیکی دارد. در مدل ریاضی MIKE FLOOD، کانال رودخانه به‌صورت یک بعدی و سیلاب دشت به‌صورت دو بعدی شبیه‌سازی می‌شود. در این مدل، ارتباط بین دو زیرمدل به لحاظ هیدرودینامیک، فقط به‌صورت چشمه‌های جریان در معادله پیوستگی هر یک از دو مدل برقرار است. در نتیجه، یک سری از نقاط شبکه مدل یک‌بعدی به یک سری از نقاط شبکه در مدل دو بعدی وابسته می‌شوند. در این شرایط، در صورتی که تراز آب در هر یک از مدل‌ها بر دیگری غلبه کند، ظرفیت تبادل جریان بین دو مدل ایجاد می‌شود. حال این جریان، بسته به نوع ارتباط مورد نظر، به‌صورت یک چشمه به مدل گیرنده ارسال و به‌صورت چاه از مدل فرستنده کسر می‌شود. شرایط کار با مدل به‌گونه‌ای است که در ابتدا وضعیت سیلاب و پخش آن در بازه مورد مطالعه مورد پژوهش و بررسی قرار گرفت سپس مقایسه‌ای نیز با تصاویر ماهواره‌ای سیلاب‌های رودخانه کرخه در بازه مورد مطالعه برای تدقیق مدل ریاضی و شناسایی بازه‌های دارای پتانسیل هدایت و انحراف سیل و ... صورت گرفت.

پس از آن روش‌های کنترل سیلاب در رودخانه با رویکرد استفاده از سیلاب‌دشت رودخانه برای ایجاد حوضچه‌های تأخیری برای انحراف سیلاب از طریق کانال‌های آب برحسب اطلاعات و نقشه‌های توپوگرافی موجود (نقشه‌های با مقیاس

جدول ۱. ویژگی‌های لیتولوژیک و پتانسیل سیل‌خیزی واحدهای زمین‌شناسی گستره طرح

پتانسیل سیل‌خیزی	مساحت- km^2	سن	کد	لیتولوژی	گروه
زیاد	۲۰۵۹۷	کواترنری	Qft2	تراس‌های کم ارتفاع و نهشته‌های رودخانه‌ای جوان	رسوبی
زیاد	۷۳۷	کواترنری	Qft1	تراس‌های مرتفع و نهشته‌های رودخانه‌ای قدیمی	
کم	۱۲۴	پلیوسن-کواترنری	PIQc	کنگلومرا و ماسه‌سنگ مخروط افکنه‌ای عهد حاضر	
متوسط	۱۱۰۲	پلیوسن	PIbk	سازند بختیاری: کنگلومرا	
متوسط	۵۰۶	پلیوسن	Plc	ماسه‌سنگ و کنگلومرای پلی میکتیک	
زیاد	۲۲۸۵	میوسن	MuPlaj	سازند آجاجاری: ماسه‌سنگ و مارن	
زیاد	۱۶۰۷	میوسن	Mmn	سازند میشان: مارن و آهک مارنی	
زیاد	۲۳۸۵	میوسن	Mgs	سازند گچساران: مارن و ژیبس	
زیاد	۴۷	میوسن	MPIfgp	گروه فارس: ژیبس و مارن گچساران، مارن میشان و مارن و ماسه‌سنگ آجاجاری	
کم	۱۷۴۹	میوسن	OMas	سازند آسماری: آهک	
کم	۳۸۷۴	ائوسن-میوسن	EMas-sb	آهک‌های تفکیک نشده آسماری و شهبازان	
متوسط	۳۶	اولیگومیوسن	OMq	سازند قم: آهک، مارن، ماسه‌سنگ	
متوسط	۴۰۸	اولیگومیوسن	OMql	آهک ریفی توده‌ای تا ضخیم لایه	
زیاد	۷۶	اولیگومیوسن	OMrb	لایه‌های سرخ کنگلومرا، ماسه‌سنگ، مارن و ژیبس	
متوسط	۶۲	ائوسن	EI	آهک نومولیتی	
زیاد	۲۵	ائوسن	E	سنگ‌های تفکیک نشده ائوسن	
زیاد	۱۱۸۵	ائوسن	Ekn	شیل کندوان: آهک آرژیلیتی و شیل آهکی	
متوسط	۱۵	ائوسن میانی	E2c	کنگلومرا و ماسه‌سنگ	
زیاد	۹۵	ائوسن زیرین	E1f	شیل سیلتی، ماسه‌سنگ، مارن، آهک ماسه‌ای و کنگلومرا	
کم	۵۸۶	پالئوسن-ائوسن	PeEtz	سازند تله زنگ: آهک توده‌ای فسیل دار	
زیاد	۱۵۸	پالئوسن-ائوسن	PeEf	فلش‌های توریدیتی: ماسه‌سنگ و مادستون آهکی	
زیاد	۲۲۶۷	کرتاسه-پالئوسن	KPeam	سازند امیران: فلش (سیلتستون، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و آهک)	
زیاد	۷۳۶	کرتاسه	Kgu	سازند گورپی: مارن و شیل	
زیاد	۱۶۷۰	کرتاسه بالایی	KEpd-gu	سازند کژدمی: آهک فسیل دار تیره	
زیاد	۳۳۲	کرتاسه بالایی	Kussh	شیل سندنج، شیس و فیلیت	
زیاد	۳۵	کرتاسه بالایی	Kur	شیل و چرت رادیولاریتی	
کم	۱۸۳۹	کرتاسه	Kbgp	گروه بنگستان: شیل کژدمی، آهک سروک، شیل و آهک سورگه و آهک ایلام	
متوسط	۱۴	کرتاسه	K1c	ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز	
کم	۳۹	کرتاسه زیرین	Ktzt	سازند تیزکوه: آهک اوربیتولین دار ضخیم لایه و توده‌ای	
متوسط	۱۴	کرتاسه زیرین	K1m	آهک و ماسه‌سنگ و مارن ژیبسی	
متوسط	۱۸۵۸	کرتاسه زیرین	Klsol	آهک اوربیتولین دار ضخیم لایه	
متوسط	۴۵۴	ژوراسیک-کرتاسه	JKbl	آهک الیتی ضخیم لایه	
متوسط	۶۸	ژوراسیک	Jss	ماسه‌سنگ	
متوسط	۱۳۸۴	تریاس-کرتاسه	TRKubl	آهک بیستون	
زیاد	۱۴۶۷	تریاس-کرتاسه	TRKurl	رادیولاریت‌های نیریز و کرمان: چرت رادیولاریت و آهک پلاژیک	
زیاد	۱۹	پریمین	Pd	سازند دورورد: ماسه‌سنگ و شیل قرمز و آهک ماسه‌ای	
متوسط	۱۱۰	تریاس-کرتاسه	TRJlr	آهک با میان لایه شیل رادیولاریتی و چرت	

ادامه جدول ۱.

پتانسیل سیل‌خیزی	مساحت- km^2	سن	کد	لیتولوژی	کد
زیاد	۱۲۰	اولیگومیوسن	Ogb	گابرو	۱۰۰
زیاد	۳۷	ائوسن میانی	Ebv	سنگ‌های ولکانیکی بازالتی	
زیاد	۴۰۷	کرتاسه-پالئوسن	KPegr-di	سنگ‌های نفوذی (گرانیت و گرانودیوریت)	
زیاد	۳۴	کرتاسه بالایی	Kav	آندزیت ولکانیکی	
زیاد	۱۶۷	کرتاسه بالایی	db	دیپایاز	
زیاد	۱۹۸	کرتاسه زیرین	K1a.bv	سنگ ولکانیکی بازالتی و آندزیتی	
زیاد	۳۴	ژوراسیک-کرتاسه	gb	گابرو لایه‌ای	
زیاد	۱۰	ژوراسیک بالایی	Judi	دیوریت ژوراسیک بالایی	
زیاد	۳۹	ژوراسیک بالایی	JUdv	ریولیت و ریوداسیت ولکانیکی	
زیاد	۵۲	تریاس-کرتاسه	sr	سریانتینیت	
زیاد	۲۷۷	تریاس-کرتاسه	pd	پریدوتیت: هارزبورژیت، دونیت، لرزولیت و وبستریت	۱۰۰
زیاد	۳۰	ژوراسیک	Jdvt	توف ولکانیکی ریولیتی و ریوداسیتی	
زیاد	۳۱۵	ژوراسیک	Javt	توف ولکانیکی آندزیتی	
زیاد	۹۷	ژوراسیک-کرتاسه	JKI	آهک کریستالی و کالک شیبست	
زیاد	۱	تریاس-کرتاسه	TRUJm	زون انتقال: فیلیت با میان لایه آهک کریستالی و افق ولکانیکی اسیدی	
زیاد	۸۲۶	تریاس-کرتاسه	TRJm	متاولکانیک، فیلیت، اسلیت و متاهک	
زیاد	۵۰۶	ژوراسیک	h	اسکارن: میکا هورنفلس، کوردیوریت هورنفلس، آندالوزیت، سیلیمانیت هورنفلس	
زیاد	۲۰۰۳	ژوراسیک	Jph	فیلیت همدان: فیلیت، اسلیت و متا سندستون	

خروجی سد مخزنی کرخه بین ۶۵۰ تا ۲۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه تغییر می‌کند اما در دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ توان استهلاک سیل توسط مخزن به شدت کاهش می‌یابد. بر همین مبنا و تجارب کارشناسی نگارنده نسبت به تدوین پنج سناریو برای مرز بالادست مدل اقدام شد این سناریوها شامل دبی سیلابی ماندگار ۵۰۰، ۱۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ متر مکعب بر ثانیه با حجمی معادل ۴۷۵، ۹۵۰، ۱۴۲۶، ۱۹۰۱ و ۲۳۷۶ میلیون مترمکعب طی تداوم ۱۱ روز می‌باشند.

بحث

بررسی وضعیت زمین‌شناسی حوضه آبریز رود کرخه نشان می‌دهد در بارش‌هایی با شدت بالا و تداوم کم و همچنین در رویدادهای طوفانی، حوضه آبخیز کرخه پتانسیل بالایی در تولید رواناب (سیلاب) دارد. در حوضه آبریز رودخانه کرخه، سیلاب‌ها حاصل تاثیر جبهه هوای اقیانوس اطلس شمالی و مدیترانه است و در زمستان و اوایل بهار ریزش

استفاده شد. بحث واسنجی مدل هیدرولیکی در مطالعات پیشین گستره مورد مطالعه به خوبی دنبال و انجام شده است (مهندسين مشاور سازآب اهواز، ۱۳۹۶). مطالعات اساسی و مهم در این زمینه توسط سازمان آب و برق خوزستان انجام شد و در قالب این مطالعات، ضرایب زبری بازه‌های مختلف رودخانه کرخه و سایر انشعابات سامانه تعیین شده است. در این میان رخداد سیلاب فروردین ۱۳۹۸ تجربه خوبی به شمار می‌آید. ویژگی‌های این سیلاب و دوره بازگشت آن پیش‌ازین توسط حمادی و ذاکری حسینی (۱۳۹۸) و حمادی و نوذریان (۱۴۰۰) انجام شده است. اضافه می‌شود خلاصه ضرایب زبری اعمال شده در مطالعات پیشین رودخانه کرخه و اخیر در جدول ۲ منعکس شده است. در پژوهش حاضر از نتایج واسنجی مطالعات سازمان آب و برق خوزستان (۱۳۹۸) با اصلاحات جزئی در بخش دشت‌های سیلابی استفاده شد. مطابق مطالعات ذکر شده، سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف دو تا ۱۰۰۰ ساله

جدول ۲. مقادیر زبری رودخانه کرخه و انشعابات آن حاصل از واسنجی مدل (مهندسی مشاور سازآب اهواز، ۱۳۹۶)

شاخه رودخانه	فاصله از بالادست (متر)	مطالعات قبلی	مطالعات حاضر
کرخه	۰	۰/۰۴۸	۰/۰۵۸
کرخه	۱۰۱۷۱۷	۰/۰۴۸	۰/۰۵۸
کرخه	۱۰۱۷۱۸	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵
کرخه	۲۵۴۱۲۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵
هوفل	۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
هوفل	۳۳۵۹۰	۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
سابله	۰	۰/۰۱۴	۰/۰۱۷
سابله	۱۷۲۸۸	۰/۰۱۴	۰/۰۱۷
نیسان	۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴
نیسان	۳۶۰۵۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴
سایر بازه‌ها		۰/۰۱۷	۰/۰۱۷
دشت‌های سیلابی	-	-	۰/۱۰

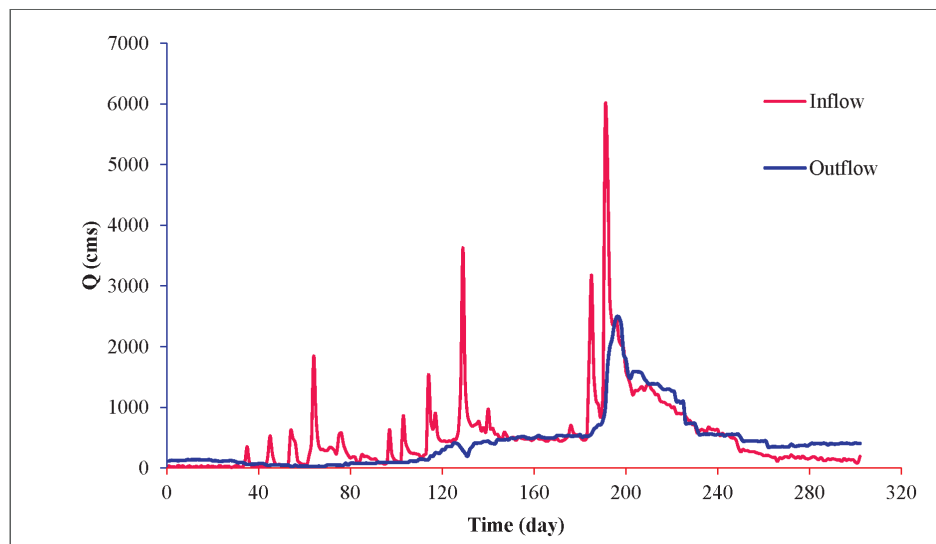
به‌ناچار منجر به خروجی بیش از دبی ایمن رودخانه در پایین دست از سوم فروردین تا آخر اردیبهشت ۱۳۹۸ شد. طی این بازه زمانی ۶۰ روزه حدود شش میلیارد متر مکعب معادل دبی متوسط ۱۱۶۸ متر مکعب در ثانیه از سد خارج شد. اضافه می‌شود که دبی حداکثر خروجی در روز هفدهم فروردین ۱۳۹۸ و به میزان ۲۴۹۲ متر مکعب در ثانیه رخ داد. همان‌گونه که اشاره شد در این بازه زمانی دبی خروجی سد از دبی ایمن رودخانه کرخه در پایین دست بیشتر است و باعث خسارت شد.

به‌منظور کاهش خسارات با بررسی سیلاب‌های بزرگ رودخانه کرخه و با استفاده از مدل ریاضی دقیق شده، محل‌های دارای پتانسیل نگهداشت سیلاب خروجی از رودخانه کرخه شناسایی و جانمایی شد. با توجه به توپوگرافی گستره و تراز جریان خروجی از محل‌های فوق، حجم حوضچه‌های تاخیری مطابق جدول ۳ برآورد شد. بر این اساس با توجه به این‌که در همه سیلاب‌های با دبی بالای ۱۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه در رودخانه کرخه، جریان سیلابی از گستره شاکریه (بین حمیدیه و سوسنگرد) وارد سیلاب دشت شده و به‌موازات پخش می‌شود، این گستره به‌عنوان موثرترین (اولویت اول) محل حوضچه تاخیری از نظر حجم ذخیره و مستعد بودن شرایط توپوگرافی تعیین شد (شکل ۳).

نتایج جدول فوق نشان می‌دهد، تعیین مکان‌های دارای پتانسیل برای ذخیره حجم سیلابی در سیلاب‌دشت‌ها، حجم

می‌کند. از مشخصه این ریزش‌های جوی، شدت متوسط و تداوم زیاد است و نتیجه آن هیدروگراف سیلاب با دامنه زیاد می‌باشد. در مواقعی که رگبارهای بهاره با ذوب برف همراه می‌شود، سیلاب‌ها دارای اوج زیاد خواهند بود. به‌طورکلی رودخانه‌های حوضه کرخه، سیل خیز است و شیب بالای سرشاخه‌ها در بخش‌های شمالی و غربی حوضه و تغییر شیب ناگهانی در بخش‌های جنوبی مانند دشت اوان و ورودی سد کرخه، باعث شده سیلاب‌های به وقوع پیوسته بسیار بزرگ باشد. سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ برای رودخانه کرخه یک سال پرآب و سیلابی است (در حالت جریان طبیعی رتبه اول به لحاظ حجم و دبی اوج سیلاب را به خود اختصاص می‌دهد) و برخلاف وجود سدهای مخزنی بزرگ سیمره و کرخه در سیلاب فروردین ماه سال ۱۳۹۸ با افزایش خروجی سد مخزنی کرخه و شکست سیل‌بندها، جریان به سیلاب‌دشت و گستره‌های سیل انتقال و وارد شد. شکل ۲ هیدروگراف ورودی و خروجی به سد مخزنی کرخه از ابتدای سال آبی ۹۸-۱۳۹۷ یعنی از اول مهر ماه ۱۳۹۷ تا آخر تیر ماه ۱۳۹۸ به مدت ۳۰۳ روز را نشان می‌دهد. میزان خروجی در این دوره زمانی به‌طور متوسط ۴۴۵ متر مکعب بر ثانیه و معادل حجم ۱۱/۷ میلیارد متر مکعب می‌باشد.

در این سال آبی از آذر ماه تا اردیبهشت ماه سیلاب‌های متعددی وارد سد مخزنی کرخه شده است. بزرگ‌ترین و آخرین آن‌ها در فروردین ماه ۱۳۹۸ رخ داد. سیل فروردین



شکل ۲. هیدروگراف جریان روزانه ورودی و خروجی مخزن سد کرخه از مهر ماه ۱۳۹۷ تا تیر ماه ۱۳۹۸

جدول ۳. مشخصات هندسی حوضچه‌های تأخیری مستخرج از شبیه‌سازی جریان سیلاب

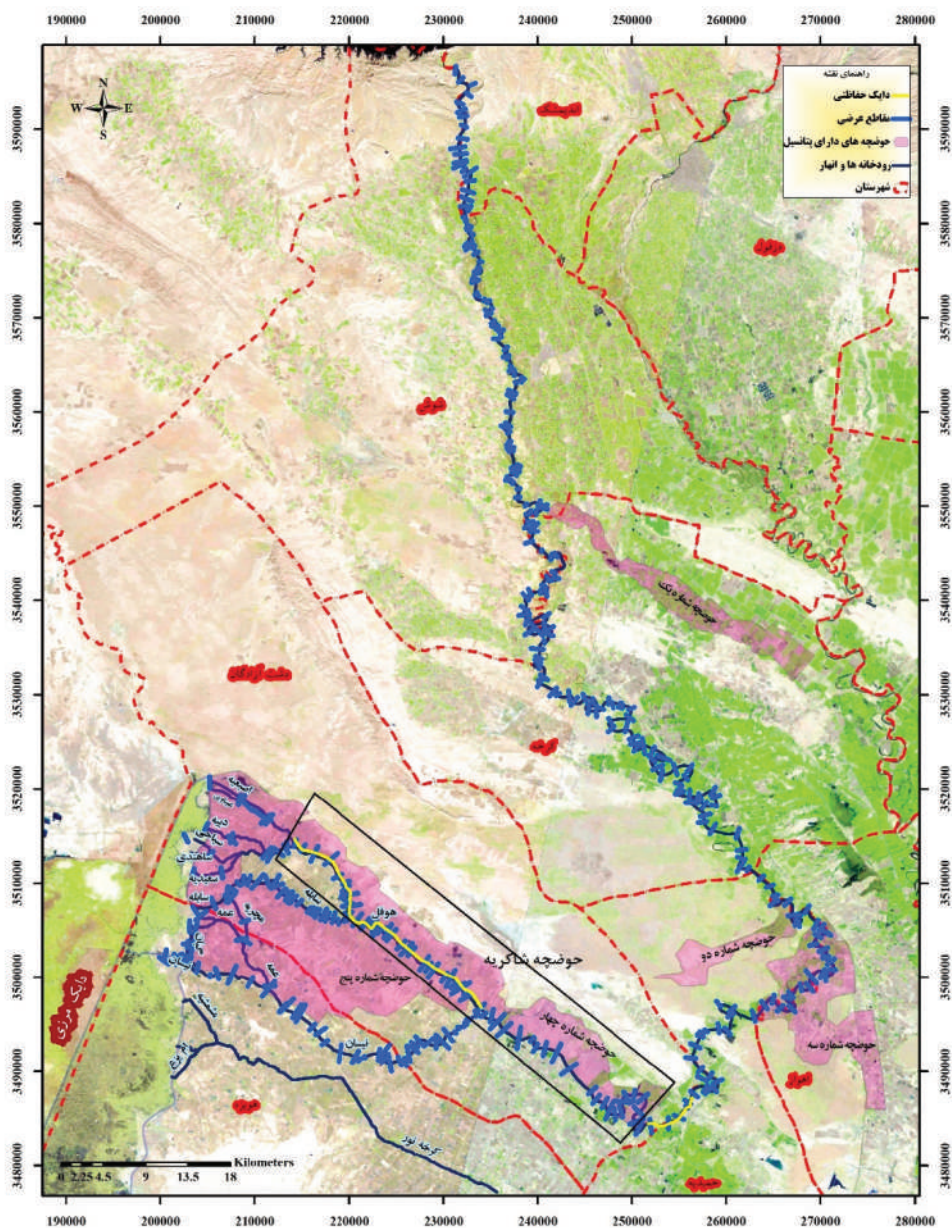
شماره حوضه حوضچه	نام منطقه	مساحت- km^2	عمق جریان-m	حجم ذخیره-mcm
I	شاوور	۸۷/۲	۰/۳	۲۶/۲
II	خسج	۳۲/۹	۱/۱	۳۶/۲
III	الهایی	۱۱۵/۰	۰/۸	۹۲/۰
IV	شاكریه	۲۵۹/۸	۱/۵	۳۸۹/۸
V	غرب سوسنگرد	۲۳۶/۲	۱/۰	۲۳۶/۲
	جمع	۷۳۱	۱/۱	۷۸۰

نگهداشت شاكریه به‌عنوان گزینه نهایی، لازم است نقاط در معرض خطر پخش سیل در بالادست و پایین دست این کانال با ساخت و تقویت دایک از پخش سیلاب محافظت شوند. شهرهای حمیدیه، سوسنگرد و بستان همواره در معرض خطر سیلاب‌های رودخانه کرخه هستند. همان‌گونه که پیش از این بحث شد، گزینه برتر حوضچه نگهداشت در گستره شاكریه قرار دارد. این گستره در پایین دست حمیدیه و در امتداد سوسنگرد و بستان قرار دارد. با مجموعه اقدامات مدیریتی شامل ساخت دایک‌های حفاظتی در بازه‌های فاقد خاکریز یا دایک و یا تقویت و افزایش ارتفاع دایک‌های موجود و تعیین حوضچه تأخیری شاكریه، شهرهای در معرض خطر حفظ و سیلاب به‌طور ایمن به تالاب منتقل می‌شوند.

کاهش خسارات جانی و مالی سیلاب عبوری از مراکز جمعیتی از مهم‌ترین اهداف مدیریت سیلاب است. حفاظت شهر حمیدیه از سیلاب‌های رودخانه کرخه که به‌موازات

سیلاب رسیده به پایین دست رودخانه کرخه را به میزان ۳۳ درصد کاهش می‌دهند. ساخت و نگهداری حوضچه‌های چندگانه، هزینه‌های سنگینی به همراه دارد. تملک اراضی کشاورزی و حتی مسکونی به‌منظور تامین وسعت و عمق حوضچه‌های تأخیری در زمان سیلاب بسیار بالا است. از میان گزینه‌های مورد بررسی، شاكریه در تمامی سیلاب‌های بزرگ رودخانه کرخه فعال است و از نظر حجم نگهداشت ۵۰ درصد از کل حجم ذخیره پیشنهادی را تامین می‌کند. همچنین این حوضچه در نهایت به تالاب هورالعظیم منتهی می‌شود و علاوه بر اینکه به تامین نیاز زیست‌محیطی تالاب کمک شایان می‌کند، مکان مناسبی برای نگهداشت و ذخیره حجم قابل توجه سیلاب نیز می‌باشد.

خلاصه‌ای از نتایج حداکثر رقوم سطح آب حاصل سامانه کرخه حاصل از شبیه‌سازی مدل هیدرولیک برای سناریوهای مختلف در جدول ۴ منعکس شده است. با تعیین حوضچه



شکل ۳. موقعیت مقاطع عرضی، حوضچه‌های نگهداشت سیلاب و دایک‌های حفاظتی. دایک‌های پیشنهادی در گستره حمیدیه به طول شش کیلومتر و به موازات جاده سوسنگرد تا تالاب هورالعظیم به طول ۳۰ کیلومتر

۱۹ متر از سطح آزاد دریا است. ساحل چپ و راست رودخانه در مقطعی دارای دایک هستند؛ پیشنهاد می‌شود با توجه به تراز جریان در این بازه و در نظر گرفتن سطح آزاد آب، تراز دایک‌های موجود به میزان ۱/۲ متر در هر دو سمت افزایش ارتفاع داشته باشد. با خروج جریان از طریق حوضچه شاکریه و حرکت جریان به موازات رودخانه به سمت تالاب

رودخانه توسعه یافته است، همواره مورد توجه است. با در نظر گرفتن تجربیات رخ داده‌های گذشته سیل در رودخانه و با فرض حوضچه شاکریه به عنوان گزینه نگهداشت و تخفیف سیلاب در پایین دست رودخانه، لازم است مصون ماندن شهر از خطر سیلاب با ساخت و تقویت دایک‌های موجود تضمین شود. تراز جریان در شرایط مورد مطالعه (دبی ۲۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه) در گستره بیان شده به طور متوسط برابر

1. Freeboard

هورالعظیم و ظرفیت پایین رودخانه هوفل و شاخه‌های انتهایی کرخه، ضرورت دارد به منظور محافظت روستاهای حاشیه رودخانه و جلوگیری از آب‌گرفتگی جاده سوسنگرد-بستان، از شهر سوسنگرد تا بستان به طول ۳۰ کیلومتر دایک‌های موجود ترمیم و افزایش ارتفاع داشته باشند و در نواحی فاقد دایک، خاکریز و سیل بند با ارتفاع مناسب ایجاد

شد. مطابق شبیه‌سازی تراز جریان در ابتدای هوفل حاضر از ۱۴/۴ شروع و به حدود ۹/۵ متر از سطح آزاد دریا در بستان می‌رسد. پیشنهاد می‌شود متناسب با شیب رودخانه، دایک مورد نظر به ارتفاع ۱/۵ متر بالاتر از تراز رودخانه از سوسنگرد تا بستان ساخته شود.

جدول ۴. حداکثر رقوم سطح آب رودخانه کرخه و شاخه‌های آن در سناریوهای مختلف (متر از سطح دریا)

نام مقطع	موقعیت	کیلومتر	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴	سناریوی ۵
k-1	پای پل	۷/۴۲۸	۱۰۷/۳۴	۱۰۸/۵۱	۱۰۹/۳۸	۱۱۰/۰۸	۱۱۰/۶۹
k141	عبدالخان	۱۱۴/۳۳۸	۳۲/۴	۳۴/۱۲	۳۵/۲۸	۳۶/۰۱	۳۶/۵۱
k182	خسرج	۱۶۴/۸۴۴	۲۵/۶۱	۲۷/۳۱	۲۸/۱۲	۲۸/۶	۲۸/۹۳
k230	حمیدیه	۲۱۷/۸۸۰	۱۵/۷۸	۱۷/۶۸	۱۸/۶۱	۱۹/۲۳	۱۹/۶۷
k257	سوسنگرد	۲۵۳/۱۶۳	۱۲/۳۹	۱۴/۰۴	۱۴/۲۹	۱۴/۳۴	۱۴/۴۲

سپاسگزاری

از سازمان آب و برق خوزستان به دلیل همکاری در اختیار قرار دادن داده و اطلاعات و حمایت از پژوهش حاضر قدردانی می‌شود.

منابع

- چمن پیرا، غ.، روغنی، م.، ویسکرمی، ا. و پیامی، ک.، ۱۳۹۴. ارزیابی تأثیر حوضچه‌های ذخیره آب در کنترل سیلاب حوزه آبخیز داد آباد لرستان، سومین کنفرانس ملی مدیریت و مهندسی سیلاب با رویکرد سیلاب‌های شهری، تهران، ۹.
- حسین زاده، م. و اسماعیلی، ر.، ۱۳۹۷. برآورد فرسایش کناره‌های رودخانه با استفاده از مدل BSTEM. فصلنامه زمین‌شناسی ایران. ۴۵. ۵۳-۷۰.
- حسین‌خانی، ح.، ۱۳۹۲. ارزیابی خطر فرسایش و پتانسیل رسوبدهی حوضه آبریز سد شهریار میانه با استفاده از تکنیک‌های GIS و مدل EPM. فصلنامه زمین‌شناسی ایران. ۲۶. ۹۶-۸۷.
- حمادی، ک و ذاکری حسینی، ف. ۱۳۹۸. تحلیل وضعیت سیلاب‌های تاریخی رودخانه کرخه در استان خوزستان با تأکید بر واقعه سیل فرودین ۱۳۹۸، کنفرانس ملی "سیلاب ۹۸-۹۷، اگر تکرار شود" اهواز، ۹.
- حمادی، ک. و نوذریان، ل.، ۱۴۰۰. ارزیابی سیاست‌های بهره‌برداری سد مخزنی کرخه توسط یک تابع خسارات نسبی طی سیلاب تاریخی فرودین ۱۳۹۸. هشتمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب، تهران، ۱۲.
- احمدی شرف، ا. و تجریشی، م.، ۱۳۹۳. جانمایی حوضچه‌های ذخیره با استفاده از مدل شبیه‌ساز SWMM و تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی. نشریه آب و فاضلاب، ۲۵، ۶، ۹۴، ۵۷-۶۶.
- امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۹۱. دستور العمل و ضوابط تقسیم‌بندی و کدگذاری حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور. شرکت مدیریت منابع ایران. ۶.
- بختیاری، م. و جهانتاب، ز.، ۱۴۰۱. مدلسازی مکانی سیلاب با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی و توابع تحلیلی GIS. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. ۱۹۴-۱۷۷، ۴۹.
- تقیان، م.، ۱۳۹۶. برآورد آبدهی مطمئن در سیستم‌های منابع آب با استفاده از بهینه‌سازی خطی. مجله علوم و مهندسی آبیاری، مجله علمی-پژوهشی، ۴۰، ۱، ۸۲-۷۳.

- اراضی پایین دست و حریم قانونی رودخانه. مجله علوم و صنایع کشاورزی ویژه آب و خاک، ۲۲، ۱، ۷۹-۹۶.
- معمارزاده، ر.، ۱۳۹۸. مبانای مدیریت سیلاب در رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها. هجدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، ۹.
- مهندسین مشاور ساز آب اهواز، کارفرما سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۹۶. مطالعات پهنه‌بندی سیلاب رودخانه کرخه از سد کرخه تا تالاب هورالعظیم، ۴۲۹.
- Abrishamchi, A., Dashti M. and Tajrishy M., 2011. Development of a multi-reservoir flood control optimization model; Application to the Karkheh river basin, Iran. World Environmental and Water Resources Congress, Palm Springs, California, United States. 3048-3056.
- Azarang, F., Telvari, A., Sedghi, H. and Shafai Bajestan, M., 2015. Large dam effects on flow regime (case study: Karkheh river, downstream of reservoir dam). International Journal Available at www.cibtech.org/sp.ed/jls/2015/03/jls.htm. 5 (S3). 1970-1984.
- Barr, T., 2002. Application of tools for hydraulic power plant presentation. 105-Upper Gotvand Hydroelectric Power Project Feasibility Study. Reservoir Operation Flood, 14.
- Carvalho Barreto, I.D., Stosic, T., Filho, M.C., Delrieux, C. P., Singh, V. and Stosic, B., 2020. Complexity Analyses of Sao Francisco River Streamflow: Influence of Dams and Reservoirs. American Society of Civil Engineers. J. Hydrol. Eng., 25(10): 05020036. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001996.
- Hamidi Machekposhti, K., Sedghi, H., Telvari, A. and Babazade, H., 2016. Determination of Suitable Probability Distribution for Annual Discharges Estimation (Case Study: Karkheh River at Iran) International Journal of Probability and Statistics 2016, 5(3): 73-81.
- Hamidi Machekposhti, K., Sedghi, H., Telvari, A. and Babazade, H., 2017. Flood Analysis in Karkheh River Basin using Stochastic Model. 3, 9, 794-808.
- رجایی، ف.، ۱۴۰۲. مقایسه روش‌های مختلف برآورد سیلاب به منظور طراحی ابعاد کانال (مطالعه موردی: شهرک صنعتی علویجه در حوزه آبخیز زاینده‌رود). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۲(۱)، ۲۶۰-۲۷۳. doi: ۲۰۲۳/۳۷۷۸۴۹/۱۳۹۷.gmpj/۱۰/۲۲۰۳۴
- رجبی، ع.، یآوری، ع. و سلوکی، ح.، ۱۳۹۸. کاربرد مدل EPM در ارزیابی فرسایش خاک (مطالعه موردی، حوزه سازند). فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۵۰، ۸۹-۹۸.
- سازمان زمین‌شناسی. نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰. شیت‌های NI۳۸-۱۵، ۱۱، ۱۲، ۸، ۷، ۰، NI۳۹-۱۳، ۵ و NH۳۸-۴ و NH۳۹-۱.
- شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس، ۱۳۸۱. دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری سد کرخه، ۱۴۲.
- شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس، ۱۳۸۱. مطالعات بهنگام سازی مرحله سوم سد کرخه، ۳۸۲.
- شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس، ۱۳۸۳. طرح بهینه‌سازی تخصیص منابع آب کرخه، ۲۵۳.
- شریفی سیستانی، ع. و صنعی، ا.، ۱۳۹۷. ارزیابی استفاده از حوضچه‌های تاخیری جهت کاهش دبی پیک سیلاب در حوضه آبریز شهری کال سرفرازان. سومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و طراحی شهری، تبریز، ۱۱.
- فیض‌نیا، س.، موسویان، م.، عبدالهیان‌دهکردی، ز. و ابراهیمی درچه، خ.، ۱۳۹۴. بررسی اثر زمین‌شناسی بر سیل‌خیزی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز جوتقان واقع در شهرکرد). مجله منابع طبیعی ایران، مرتع و آبخیزداری، ۴، ۶۹، ۱۳۹۵. ۱۰۱۷۷-۱۰۲۹.
- قبادی، ف.، خداشناس، س. و مساعدی، ا.، ۱۳۹۷. مدیریت سیلاب شهری با احداث حوضچه‌های ذخیره‌ای (مطالعه موردی: منطقه ۱۰ شهرداری مشهد). اولین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست‌محیطی، ساری، ۱۰.
- کارآموز، م.، احمدی، آ. و نظیف، س.، ۱۳۸۵. چالش‌ها و فرصت‌های بکارگیری مدل‌های بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود شهرکرد. دانشگاه شهرکرد، ۱۶.
- محمدپور، م.، بهنیا، ع.، آخوند علی، ع. و تلوری، ع.، ۱۳۸۷. تاثیر سد مخزنی کرخه بر میزان خطرپذیری

- Labadi, J. W., 2004. Optimal Operation of Multi Reservoir Systems: State-of-the-art Review, *Journal of Water Planning and Management*. 130(2). 93-111.
- Liu, L., Zhou, L., Li, X., Chen, T. and Ao, T., 2020. Screening and Optimizing the Sensitive Parameters of BTOPMC Model Based on UQ-PyL Software: Case Study of a Flood Event in the Fuji River Basin, Japan. American Society of Civil Engineers. *Journal of Hydrologic Engineering*. 25, 9 . DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001970.
- McCollum, J. and Beighley, E., 2019. Flood Frequency Hydrology with Limited Data for the Weser River Basin, Germany, American Society of Civil Engineers. *Journal of Hydrologic Engineering*. , 24(3): 05019002.
- Moglen, G. E., Hood, K. and Hromadka, T.V., 2018. Examination of Multiple Predictive Approaches for Estimating Dam Breach Peak Discharges. American Society of Civil Engineers, *Journal of Hydrologic Engineering*. , 24(2): 04018065.
- Mondal, A. and Daniel, D., 2018. Return Levels under Nonstationarity: The Need to Update Infrastructure Design Strategies. American Society of Civil Engineers. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001738. 43-52.
- Smith, A., Sampson, C. and Bates, P., 2015. Regional flood frequency analysis at the global scale.
- *Water Resources Research*. 51 (1): 539-553. <https://doi.org/10.1002/2014WR015814>.
- Yilmaz, M., Tosunoglu, F. and Kaplan, N.H., 2020. Evaluation of Trends and Dominant Modes in Maximum Flows in Turkey Using Discrete and Additive Wavelet Transforms. American Society of Civil Engineers. *Journal of Hydrologic Engineering*. , 25(11): 05020037 . DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002000.