

در این مطالعه به منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش رواناب و اثر مخزن هر یک از سه سازه متوالی پیشنهادی بر مشخصات سیلاب از مدل HEC-HMS استفاده شد. حوزه آبخیز کندر عبدالرضا در حدود ۲۷ کیلومتری جنوب شرقی شهر لامرد استان فارس قرار دارد و بر اساس تقسیم‌بندی حوزه‌های آبخیز کشوری، جزء حوزه کُل - مهران (بخشی از حوزه درجه یک خلیج فارس و دریای عمان) محسوب می‌شود. در این راستا، پس از تهیه اطلاعات پایه مورد نیاز (از جمله مشخصات مربوط به توپوگرافی، بارندگی، گروه هیدرولوژیک خاک، کاربری اراضی و سازه‌های طراحی شده)، دبی اوج و حجم سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از مدل HEC-HMS برآورد شد. جهت محاسبه شدت رگبارها نیز از روش قهرمان - آبخضر استفاده شد. ویژگی‌های سیل در پایین دست در غیاب سه سازه پیشنهادی (دو بند اصلاحی سنگ‌وملاتی و یک بند خاکی) بررسی شد و در گام بعدی، تأثیر مخازن این سازه‌ها روی هیدروگراف سیلاب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. از آنجایی که سازه‌های پیشنهادی در بالادست منطقه مسکونی و بزرگراه واقع شده‌اند، مبنای طراحی سازه‌ها براساس دبی سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بوده است. در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده، میزان درصد کاهش دبی اوج سیل تحت تأثیر احداث هر کدام از بندها (مخازن) تعیین و مقایسه شد.

### نتایج و بحث

بر اساس نتایج روش هیدروگراف واحد SCS در حوزه کندر عبدالرضا، میزان دبی اوج سیل در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب برابر با ۷، ۳۲، ۴۶، ۷۲، ۹۱ و ۱۱۶ مترمکعب بر ثانیه بوده است. به طوری که زمان پایه هیدروگراف از ۶/۵ ساعت در دوره بازگشت ۲ ساله تا نزدیک ۹ ساعت در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله متغیر است. همچنین حجم رواناب از ۷۳ مترمکعب در دوره بازگشت ۲ ساله تا ۱۰۵۳ مترمکعب در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله متغیر بوده است. نتایج نشان داد در صورت احداث سه سازه پیشنهادی با مجموع حجم مخزن معادل ۶۱۴۳۶۷ مترمکعب، دبی اوج سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال از ۱۱۶ مترمکعب بر ثانیه به ۳۲ مترمکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد. به علاوه، نتایج شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در حوضه مورد مطالعه نشان داد که دبی اوج و حجم سیلاب پس از انجام عملیات سازه‌ای پیشنهادی در دوره بازگشت ۵۰ ساله به ترتیب ۸۴ و ۷۳ درصد و برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به ترتیب ۷۲ و ۵۷ درصد کاهش خواهد داشت. بنابراین با توجه به نتایج شبیه‌سازی اثر سه سازه طراحی شده، می‌توان ادعا نمود

## بررسی تأثیر بندهای اصلاحی بر هیدروگراف سیلاب در یک حوزه آبخیز فاقد آمار (مطالعه موردی: کندر عبدالرضا، استان فارس)

علیرضا نفرزادگان<sup>۱\*</sup>، محمد کاظمی<sup>۲</sup>، مسعود سمعی<sup>۳</sup>  
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴  
DOI: 10.22034/18.64.64

### چکیده مبسوط مقدمه

سیل یکی از مخاطرات محیطی است که عامل بسیاری از آسیب‌های تکرارشونده به منابع آب و خاک در مناطق مختلف ایران و سراسر جهان است. در این راستا، بندهای اصلاحی به عنوان عملیات مکانیکی در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور برای کنترل دبی اوج و جلوگیری از فرسایش خاک احداث شده‌اند. بنابراین ارزیابی نقش عملیات مکانیکی آبخیزداری در کنترل سیلاب در سطح حوزه‌های آبخیز امری ضروری است. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر احداث سه سازه، با ارتفاع سرریز ۹، ۶ و ۸ متر، بر ویژگی‌های سیلاب در حوزه آبخیز کندر عبدالرضا واقع در استان فارس است. به عبارت دیگر، این مطالعه بررسی می‌کند که آیا ساخت این سه سازه متوالی، هدف عملیات یعنی کنترل سیلاب از طریق کاهش قابل توجه دبی اوج و حجم سیل در منطقه را برآورده می‌کند یا خیر. بنابراین مهمترین متغیرها در این پژوهش، حجم سیلاب و حجم مخازن پیشنهادی برای کنترل سیلاب است. مقدار حجم سیل از هیدروگراف سیل استخراج می‌شود و حجم مخازن با استفاده از نقشه توپوگرافی (منحنی میزان) و منحنی‌های حجم-ارتفاع به دست می‌آید. بدیهی است که اگر حجم مخزن بیشتر از حجم سیلاب باشد، تمامی سیلاب توسط مخزن سازه مستهلک می‌شود و رواناب از سرریز سازه عبور نمی‌کند.

### مواد و روش‌ها

۱- استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، \* نویسنده مسئول  
Email: a.r.nafarzadegan@hormozgan.ac.ir

۲- استادیار، مرکز مطالعات و تحقیقات هرمز، دانشگاه هرمزگان  
۳- دکتری، کارشناس مطالعات آبخیزداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس

که سازه‌های پیشنهادی برای حوضه مورد مطالعه، قابلیت تعدیل و مهار سیلاب‌ها را خواهند داشت.

### نتیجه‌گیری

اجرای عملیات سازه‌ای پیشنهادی برای حوزه آبخیز کندر عبدالرزاق شامل دو بند اصلاحی سنگ‌وملاتی و یک بند خاکی علاوه بر کاهش دبی اوج و حجم جریان‌های سیلابی می‌تواند به تثبیت پروفیل طولی آبراهه‌ها - که در واقع مهمترین اثر اجرای بندهای اصلاحی است - و در نتیجه آن منجر به کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب شود. در دوره بازگشت‌های مختلف (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال)، سه بند اصلاحی پیشنهادی از ظرفیت لازم برای ذخیره‌سازی رواناب و کاهش دبی اوج سیل در حوزه آبخیز مورد مطالعه برخوردارند، اما با افزایش دوره بازگشت، اثر این بندها (مخازن) در مهار سیلاب و کاهش دبی اوج کاهش می‌یابد. ضمن اینکه تأثیر سامانه سازه‌های متوالی پیشنهادی بر کاهش دبی اوج بیشتر از تأثیر این سازه‌ها بر کاهش حجم سیلاب است. به طور کلی، به منظور بالا بردن اثربخشی طرح‌های مطالعات آبخیزداری پیشنهاد می‌شود بررسی تأثیر احداث سازه‌ها بر مشخصات جریان‌های سیلابی در شرح خدمات این طرح‌ها گنجانده شود تا تصمیم برای انجام یا عدم انجام عملیات سازه‌ای در هر حوضه یا زیرحوضه براساس نتایج شبیه‌سازی و با اطلاعات دقیق‌تری گرفته شود. در ضمن پیشنهاد می‌شود به منظور ارزیابی بهتر اقدامات سازه‌ای پیشنهادی برای کنترل سیل، نصب ایستگاه‌های هیدرومتری ثبات در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار که مستعد تولید سیل هستند، در اولویت قرار بگیرد.

**کلیدواژه‌ها: اقدامات سازه‌ای، تعدیل سیلاب، دبی اوج، مدل هیدرولوژیکی، مهار سیلاب**

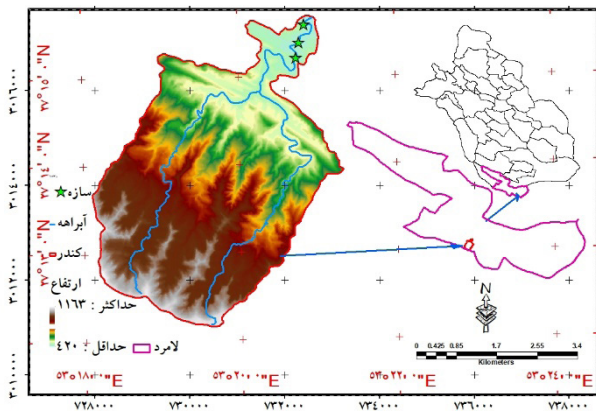
### مقدمه

سیل یکی از مخاطرات محیطی است که عامل بسیاری از آسیب‌های تکرارشونده به منابع آب و خاک در مناطق مختلف ایران و سراسر جهان است. به استناد آمار و اطلاعات موجود، خسارات ناشی از سیل در پاره‌ای از نقاط دنیا به‌ویژه در آسیا و اقیانوسیه، بیشترین میزان را در بین خسارات حاصل از بلایای طبیعی به خود اختصاص می‌دهد [۷]. با وجود اینکه تاکنون آمار و اطلاعات مقایسه‌ای در خصوص خسارات ناشی از سیل و زلزله در کشور ما منتشر نشده است، لیکن چنین به نظر می‌رسد که گذشته از اهمیت خسارات جانی ناشی از زلزله، خسارات مالی سیل به لحاظ تناوب زیاد وقوع از یکسو و گسترش وسیع آن از سوی دیگر در مرتبه بالاتری قرار می‌گیرد [۶]. بنابراین هر نوع راه حل سازه‌ای و غیرسازه‌ای در جهت کاهش قدرت جریان در حوزه‌های آبخیز مستعد سیل‌خیزی باید مورد توجه و بررسی جدی قرار بگیرد. در میان اقدامات سازه‌ای، بندهای اصلاحی در بسیاری از حوزه‌های آبخیز در سراسر جهان به منظور کاهش سرعت جریان و کنترل سیل، تله‌اندازی رسوبات و

کاهش شیب بستر آبراهه‌ها بکار گرفته شده‌اند [۳]. مطالعات متعدد نشان داده است که ساخت بندهای اصلاحی می‌تواند حجم کل و زمان رسیدن تا اوج سیلاب را کاهش دهد و در نتیجه خسارات ناشی از سیلاب را کاهش دهد [۱۰، ۲۶، ۲۷، ۲۹، ۳۰].

دقت در انتخاب نوع، تعداد و اندازه سازه‌های مدیریت سیلاب نقش مهمی در به حداقل رساندن هزینه طرح‌های مدیریت مخاطرات سیل به‌ویژه در حوزه‌های آبخیز کوهستانی دارد [۲۷]. بنابراین ارزیابی نقش عملیات سازه‌ای آبخیزداری در کنترل سیلاب در سطح حوزه‌های آبخیز امری ضروری است. سلطانی و همکاران [۲۵] اثر احداث بندهای اصلاحی را بر کاهش دبی اوج سیلاب حوزه آبخیز منشاد یزد مورد بررسی قرار دادند. نتایج شبیه‌سازی، تأثیر سازه‌ها بر کاهش دبی اوج به طور متوسط معادل ۹/۸۲ درصد و بر کاهش حجم سیل معادل ۷/۷۵ درصد بوده است. عبدالمی [۱] به بررسی تأثیر بندهای اصلاحی بر روی جریان با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز گوشک‌آباد استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که دبی اوج و حجم سیلاب پس از انجام اقدامات آبخیزداری به ترتیب به میزان ۹۴/۳۸ و ۷۲/۲۵ درصد کاهش داشته است. مصطفی زاده و همکاران [۱۷] به بررسی هیدروگراف سیل با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال، قبل و بعد از احداث سازه‌های آبخیزداری در حوزه آبخیز جعفرآباد استان گلستان پرداختند. در این مطالعه اثر سازه‌های آبخیزداری در محدوده مذکور بر ویژگی‌های دبی اوج، زمان تا اوج، زمان پایه، حجم سیلاب کمتر از ۱/۵ درصد محاسبه شد که به حجم نامناسب و مکان‌گزینی غیرصحيح عملیات سازه‌ای مرتبط دانستند. کاوه‌کار و همکاران [۱۳] میزان تأثیر عملیات آبخیزداری بر دبی پیک سیلاب حوزه آبخیز ماسوله را بررسی کردند. طبق نتایج بدست آمده با انجام عملیات آبخیزداری (مکانیکی و بیولوژیکی) در دوره‌های مختلف از ۴/۱۷ تا ۲/۴۸ درصد از میزان دبی پیک سیلاب و ارتفاع رواناب کاسته می‌شود. شیروی و همکاران [۲۴] به بررسی محل بهینه بندهای آبخیزداری جهت کاهش حجم سیلاب پرداختند و اعلام کردند این سازه‌ها به‌ترتیب توان کنترل ۷۵ و ۵۰ درصدی سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال را خواهند داشت. نجفی نژاد و همکاران [۱۸] در ارزیابی اثرات عملیات آبخیزداری بر سیل‌خیزی حوزه رامیان اعلام کردند که بیشترین میزان کاهش حجم سیلاب و دبی اوج در دوره بازگشت‌های ۱۰ و ۲۰ ساله رخ داده است. آلیاس عمر و همکاران [۲] تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی سد باتو، مالزی را با مدل HEC-HMS مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج، سد باتو با ظرفیت تخلیه سرریز ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه است. در شرایط PMF، برای سد باتو مشکلی ایجاد نخواهد شد زیرا اوج خروجی سطح مخزن هنوز زیر سطح تاج سد است. لاسیلیا و همکاران [۱۵] پیش‌بینی سیل را با مدل HEC-HMS در حوزه سد سیدی محمد بن عبدالله در مراکش انجام دادند. تجزیه و تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که حجم رواناب، جریان اوج و NSE به زمان تأخیر و پارامترهای CN حساس‌تر هستند. یزدی و همکاران

زیرحوضه‌هایی که احداث سازه‌ها پیشنهاد شده است، منطقه مسکونی وجود ندارد، اما در پایین دست آن می‌توان به جاده مهر-لامرد و سه منطقه مسکونی کندر عبدالرضا، گزدان و عالی آباد اشاره نمود. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و سازه‌های آبخیزداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و سازه‌ها

Fig 1. Location of the study area and structures

## ۲-۲- روش کار

در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش رواناب و اثر مخزن بر مشخصات سیلاب از مدل HEC-HMS استفاده شد. شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز در این مدل توسط سه مؤلفه اساسی به نام‌های مدل حوضه، مدل هواشناسی و مشخصه‌های کنترل انجام می‌گیرد. داده‌های لازم جهت ساخت این مؤلفه‌ها در مدل شامل خواص فیزیکی حوضه آبریز، مؤلفه‌های هیدرولوژیکی موجود در مدل حوضه (محاسبات مربوط به تعیین میزان تلفات در حوضه، انتخاب روش تبدیل بارش مازاد به رواناب، مقدار جریان پایه و شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها و مخازن و روندیابی آن‌ها)، محاسبات تولید رواناب در زیرحوضه‌ها، تحلیل داده‌های هواشناسی توسط مدل هواشناسی و کنترل محدوده زمانی شبیه‌سازی است [۱۲]. ابتدا ویژگی‌های سیلاب در پایین دست در شرایط عدم وجود مخازن پیشنهادی بررسی و در گام بعد تأثیر این مخازن (بندها) روی هیدروگراف سیلاب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

## ۲-۲-۱- تعیین شدت، مدت، فراوانی رگبارهای حوزه آبخیز

### کندر عبدالرضا

جهت محاسبه شدت رگبارها در حوزه‌های آبخیز روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که می‌توان به روش بل، وزیری و قهرمان - سپاسخواه اشاره کرد و آخرین روش پیشنهادی برای هر منطقه از ایران روش قهرمان - آبخضر که در روابط ۱ تا ۴ ارائه شده است. در پژوهش حاضر، روابط شدت-مدت-فراوانی بارش به روش قهرمان - آبخضر (۸) بررسی شد.

[۲۷] با استفاده از مدل HEC HMS به فرآیند شبیه‌سازی بارش رواناب پرداختند و با در نظر گرفتن اقدامات سازه‌ای آبخیزداری به بررسی میزان کاهش دبی اوج و زمان رسیدن تا دبی اوج در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله پرداختند. هاشمی و کاشی [۱۱] با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANNS) به پیش‌بینی تعداد بهینه بندهای اصلاحی بر اساس متغیرهای هیدرولوژیکی زمان تمرکز، شیب، مساحت محدوده مطالعاتی، سطوح نفوذناپذیر، شماره منحنی و دبی بالادست در یک حوزه آبخیز پرداختند. آنالیز حساسیت این مطالعه نشان داد متغیرهای سطح حوزه، زمان تمرکز و شماره منحنی حساس‌ترین متغیرها در برآورد تعداد سازه‌های اصلاحی یک حوزه آبخیز هستند. در مقیاس حوزه آبخیز، احداث بندهای اصلاحی موجب کاهش حجم رواناب می‌شود و در این رابطه می‌توان به مطالعات رودخانه‌های هوآنگ فاجوان<sup>۱</sup> و وودینگ<sup>۲</sup> (دو انشعاب اصلی رودخانه زرد کشور چین) اشاره کرد که احداث بندهای اصلاحی موجب کاهش ۳۹٪ و ۱۲٪ حجم رواناب در آن‌ها شده است [۲۳]. همچنین یوان و همکاران [۲۸] به بررسی نقش سازه‌های اصلاحی در کاهش حجم رواناب با استفاده از مدل مایک در بخشی از فلات لسی چین پرداختند و نشان دادند که بندهای اصلاحی باعث کاهش حجم کل رواناب به میزان ۵۸ درصد و دبی اوج آن به میزان ۶۵ درصد می‌شود. به‌طور کلی در پژوهش‌های پیشین بررسی اثر بندهای اصلاحی روی مشخصات رواناب، معمولاً میزان دبی و حجم سیلاب تنها در خروجی حوزه با و بدون سازه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته در صورتی که در پژوهش حاضر، علاوه بر این موارد، میزان کاهش دبی و حجم رواناب و همچنین زمان جریان پایه در تک‌تک سازه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. هدف پژوهش حاضر بررسی و ارزیابی نقش و تعداد بندهای اصلاحی پیشنهادی در تغییرات حجم و دبی اوج سیلاب محدوده مورد مطالعه در دوره بازگشت‌های مختلف است. لذا در مرحله اول حجم و دبی اوج سیلاب خروجی بدون در نظر گرفتن بندهای اصلاحی، از طریق شبیه‌سازی برآورد شد و سپس با در نظر گرفتن رواناب ذخیره‌شده در هر کدام از مخازن سازه‌ها، حجم و دبی اوج سیلاب خروجی برآورد شد.

## مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مورد مطالعه در حدود ۲۷ کیلومتری جنوب شرقی شهر لامرد استان فارس قرار دارد و بر اساس تقسیم‌بندی حوزه‌های آبخیز کشوری، جزء حوضه کل-مهران (بخشی از حوضه درجه یک خلیج فارس و دریای عمان) محسوب می‌شود و از نظر مختصات جغرافیایی در موقعیت طول ۱۸° ۵۳' تا ۲۱° ۵۳' شرقی و عرض ۱۲° ۲۷' تا ۱۵° ۲۷' شمالی از خط استوا واقع شده است. در داخل

1. Huangfuchuan  
2. Wuding

$$R_t^T = 0.1299e^{0.4952}[0.4608 + 0.2349\ln(T - 0.62)]R_{60}^{10} \quad T \leq 1 \text{ hr} \quad (1)$$

$$R_t^T = 0.1372t^{0.4778}[0.4608 + 0.2349\ln(T - 0.62)]R_{60}^{10} \quad 1 \leq t < 2 \text{ hr} \quad (2)$$

$$R_t^T = 0.2009t^{0.3937}[0.5565 + 0.1948\ln(T - 0.8)]R_{60}^{10} \quad 2 \leq t \leq 9 \text{ hr} \quad (3)$$

$$R_{60}^{10} = e^{0.291}(R_{1440}^2)^{0.694} \quad (4)$$

$L$ : زمان تأخیر به ساعت،  $T_c$ : زمان تمرکز به ساعت،  $L$ : طول جریان به فوت،  $Y$ : متوسط شیب حوزه به درصد،  $S$ : حداکثر پتانسیل ذخیره به اینچ  
تلفات بارندگی با استفاده از روش شماره منحنی سرویس حفاظت از خاک (SCS-CN) در HEC-HMS محاسبه شد. این روش شامل تعیین سه پارامتر اصلی است: تلفات اولیه ( $I_a$ )، عدد منحنی (CN) و درصد نفوذناپذیری. تلفات اولیه مقدار بارندگی است که در شکاف‌ها، سینک‌ها و دیگر سازندها یا سازه‌ها در شروع یک رویداد بارندگی محبوس می‌شود. جذب اولیه را می‌توان به صورت رابطه ۸ محاسبه کرد [۲۷].

$$I_a = 0.2S \quad (8)$$

۲-۲-۳- محاسبه دبی با دوره بازگشت‌های مختلف به روش سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS)  
رواناب حاصل از بارندگی را می‌توان برحسب ارتفاع یا حجم توصیف کرده و آن را به روش‌های مختلف برآورد نمود. از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی روش SCS است، که بر روی حوزه‌های فاقد داده‌های اندازه‌گیری دبی بکار برده می‌شود. در روش SCS، ارتفاع رواناب حاصل از بارندگی به صورت رابطه ۹ محاسبه می‌شود:

$R_t^T$ : مقدار بارندگی با تداوم و دوره بازگشت معین (میلی‌متر)،  $t$ : تداوم بارش (دقیقه)،  $T$ : دوره بازگشت (سال)،  $R_{60}^{10}$ : باران با تداوم ۶۰ دقیقه و دوره بازگشت ۱۰ سال (میلی‌متر)،  $R_{1440}^2$ : میانگین بیشینه بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال.  
در پژوهش حاضر از نقشه هم‌باران میانگین بیشینه بارش ۲۴ ساعته و متوسط سالانه، مقادیر میانگین استخراج شد. نمودار شدت-مدت-فراوانی حوزه آبخیز کندر عبدالرضا در شکل (۲) ارائه شده است.

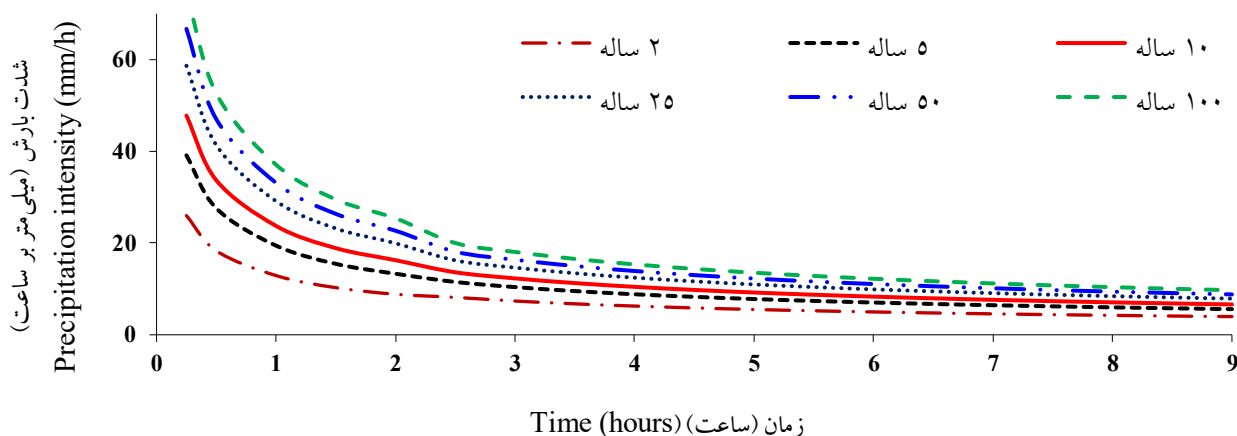
### ۲-۲-۲ محاسبه زمان تمرکز و زمان تأخیر

یکی از عوامل تأثیرگذار روی هیدروگراف مربوط به بارش معین در یک حوزه، زمان تأخیر است [۱، ۲۲]. به دلیل اینکه در روش SCS، منحنی میزان (CN)، دخالت دارد در منطقه مورد مطالعه برای محاسبه زمان تأخیر از روش SCS استفاده شده است. روابط ۵ تا ۷ روش محاسبه زمان تمرکز را نشان می‌دهد.

$$T_c = \frac{10.8(S+1)^{0.7}}{1140Y^{0.5}} \quad (5)$$

$$\text{Lag} = 0.6T_c \quad (6)$$

$$S = \frac{1000}{\text{CN}} - 10 \quad (7)$$



شکل ۲- منحنی شدت-مدت-فراوانی حوزه آبخیز کندر عبدالرضا

Fig 2. The intensity-duration-frequency curve at Kander Abdolreza watershed

بر اطلاعات حاصل از نقشه برداری زمینی، حجم آب گیری این بندها در تراز ارتفاعی سرریز (ارتفاع مفید) در مجموع ۶۱۴۳۶۷ مترمکعب است.

به دلیل اینکه سازه های پیشنهادی در بالادست منطقه مسکونی قرار دارند دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بوده است. بر این اساس برای بند خاکی (سازه سوم)، تراز ارتفاعی ۴۱۳٫۵ متر (ارتفاع نسبت به پنج مارک نقشه برداری زمینی) به عنوان رقم بند تعیین شده و سپس با در نظر گرفتن عمق آب بر روی سرریز و ارتفاع آزاد مورد نیاز و استفاده از منحنی سطح-حجم-ارتفاع، تراز ارتفاعی ۴۱۱ متر (ارتفاع نسبت به پنج مارک نقشه برداری زمینی) به عنوان رقم ارتفاعی سرریز برای این بند انتخاب شده است. همانطور که در جدول (۱) مشخص گردیده است میزان حجم مخزن در ارتفاع سرریز (ارتفاع مفید) برای بند اصلاحی اول (سنگ و ملاتی) معادل ۲۶۰٫۱۴ هزار مترمکعب، برای بند اصلاحی دوم (سنگ و ملاتی) معادل ۱۴۱٫۶۲ هزار مترمکعب و برای سازه سوم (بند خاکی) معادل ۲۱۲٫۶۱ هزار مترمکعب است.

جدول ۱- مقادیر حجم و ارتفاع سدهای طراحی شده

Table 1. The volume and height values of the designed dams

سازه اول (بند سنگ و ملاتی) First Structure (Masonry check dam)		سازه دوم (بند سنگ و ملاتی) Second Structure (Masonry check dam)		سازه سوم (بند خاکی) Third Structure (Embankment dam)	
ارتفاع Hight	ذخیره Storage	ارتفاع Hight	ذخیره Storage	ارتفاع Hight	ذخیره Storage
متر (m)	(1000m <sup>3</sup> )	متر (m)	(1000m <sup>3</sup> )	متر (m)	(1000m <sup>3</sup> )
416	0.5	410	0.05	403	0.47
417	2.5	411	1.94	404	2.72
418	6.6	412	7.73	405	8.30
419	13.9	134	22.49	406	19.18
420	26.8	414	49.65	407	38.61
421	47.7	415	87.71	408	66.90
422	80.2	416	141.62	409	103.64
423	126.8	417	214.54	410	150.66
424	188.4	418	3.4.15	411	212.61
425	260.1	419	411.70	412	292.49
426	340.8			413	388.15
427	438.5			414	5.4.23

در مدل HEC-HMS، سه روش برای محاسبه دبی از طریق سرریز

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (9)$$

P: ارتفاع بارندگی (میلی متر)، S: عامل مربوط به نگهداشت آب در سطح زمین (میلی متر)، R: ارتفاع رواناب (میلی متر)، CN: نمایه شماره منحنی (بدون بُعد) [۱۹].

در پژوهش حاضر جهت ترسیم هیدروگراف سیل از روش هیدروگراف واحد مصنوعی استفاده شده است. در این روش مختصات هیدروگراف واحد با توجه به نسبت های (t/tp) و (Q/Qp) دبی سیلاب محاسبه می شود. مقادیر دبی اوج و زمان وقوع آن با استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱ محاسبه می شود.

$$Q_p = \frac{0.208A}{t_p} \quad (10)$$

$$t_p = \frac{D}{2} + t_l \quad (11)$$

Q<sub>p</sub> = دبی اوج سیلاب (مترمکعب بر ثانیه)، t<sub>p</sub> = زمان اوج سیلاب (ساعت)، D = تداوم بارندگی (ساعت)، t<sub>l</sub> = زمان تأخیر (ساعت) با توجه به شرایط بیان شده، با محاسبه هیدروگراف واحد شش ساعته برای هر زیرحوزه و در نظر گرفتن مقدار رواناب حاصل از حداکثر رگبارهای شش ساعته با دوره های بازگشت مختلف، پیک، حجم و هیدروگراف سیل برای زیرحوزه ها محاسبه شد.

### ۳-۲-۳- روندیابی سیل

جهت انجام روندیابی سیل در رودخانه از روش های متفاوتی استفاده می گردد. روش مورد استفاده با توجه به هدف کار و عوامل موجود، انتخاب می گردد [۲۰]. در پژوهش حاضر جهت روندیابی سیل از روش ماسکینگام استفاده شد. روش روندیابی ماسکینگام نتایج قابل قبولی را نسبت به مدل روندیابی ماسکینگام کانج در مقیاس حوزه آبخیز به همراه دارد [۱۶].

### ۳-۲-۴- مشخصات سازه های مورد بررسی

جهت آگاهی از میزان حجم مخزن سازه های پیشنهادی، بعد از تعیین محور سازه ها، حجم مخزن با استفاده از منحنی های هم تراز توپوگرافی و منحنی های حجم-ارتفاع تهیه شده توسط مشاور در ترازهای مختلف ارتفاعی تعیین شد (جدول ۱). شایان یادآوری است که حجم های در نظر گرفته شده برای هر سازه به گونه ای است که بیشترین حجم مخزن را جهت کنترل سیلاب فراهم کند، بدین گونه تراز ارتفاعی سرریز تعیین شده است.

در همین راستا، تعداد سه عدد سازه در امتداد یکدیگر (دو بند اصلاحی سنگ و سیمانی به ارتفاع مفید شش و نه متر و یک بند خاکی با طول حدود ۷۵ متر و ارتفاع سرریز هشت متر) در حوزه مطالعاتی پیشنهاد شده است. سازه های پیشنهادی به گونه ای طراحی شده است که پس زدگی آب در آخرین نقطه آب گرفتگی مخزن به هیچ مانعی برخورد نداشته و در حریم تاسیساتی واقع نیست. با تکیه

دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب برابر با ۷، ۳۲، ۴۶، ۷۲، ۹۱ و ۱۱۶ مترمکعب بر ثانیه بوده است که میزان زمان پایه هیدروگراف از ۶٫۵ ساعت در دوره بازگشت ۲ ساله تا ۸٫۷۵ ساعت در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله متغیر است. همچنین حجم رواناب از ۷۳٫۱ مترمکعب در دوره بازگشت ۲ ساله تا ۱۰۵۳ مترمکعب در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله متغیر است.

### ۲-۳- روندیابی سیل در شرایط احداث سازه‌های پیشنهادی

در شرایط بهینه، سازه‌های پیشنهادی موفق به استهلاک و مهار کل حجم سیلاب می‌شوند. نتایج پژوهش و مقایسه حجم سیلاب و حجم سازه پیشنهادی نشان می‌دهد که ۱۰۰٪ حجم سیل تا دوره بازگشت ۲۵ سال در مخزن سازه‌های پیشنهادی مستهلک می‌شود. شکل‌های ۴ تا ۶ نمودار ارتفاع-ذخیره و دبی پیک و وردی و خروجی سازه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

همان گونه که از جدول (۲) و شکل‌های (۴ تا ۶) ملاحظه می‌شود، در سازه اول با ارتفاع سرریز ۹ متر، در دوره بازگشت ۲ ساله حداکثر ذخیره ۷۴۰۰۰ مترمکعب بوده است و دبی ورودی به سازه ۹/۴ مترمکعب بوده این دبی سرریز نمی‌شود. در نتیجه سازه اول کل رواناب دوره بازگشت ۲ ساله را مهار نموده و در نتیجه در این دوره بازگشت روانابی وارد سازه‌های دوم و سوم نمی‌شود. برای دوره بازگشت ۵ ساله دبی ورودی به سازه اولی ۴۵ مترمکعب بر ثانیه بوده و دبی خروجی ۴/۸ مترمکعب بوده است و حدود ۸۹ درصد از دبی و ۸۵ درصد از حجم رواناب توسط این سازه مهار شده است و مقدار کمی سرریز می‌کند. این میزان دبی خروجی از سازه اول بطور کلی توسط سازه دوم مهار شده و در نتیجه آبی سرریز نمی‌کند و کل حجم رواناب مابقی توسط سازه دوم مهار می‌شود. در دوره بازگشت ۱۰ ساله، ۷۳ درصد از دبی پیک و ۶۱ درصد از حجم رواناب توسط

شامل Ogee, Broad-Crested و User Specified وجود دارد [۵]. در بندهای سنگ‌وملاتی مورد بررسی، سرریزها از نوع لبه‌پهن طراحی شده‌اند. البته سرریز در بندهای سنگ‌وملاتی بر روی خود آن‌ها قرار می‌گیرد و در حقیقت خود بند، سرریز است. محاسبه دبی سرریز به صورت رابطه ۱۲ است:

$$Q = CLH^{1.5} \quad (12)$$

Q: دبی بر حسب مترمکعب در ثانیه، L: طول سرریز بر حسب متر و H: ارتفاع آب روی سرریز بر حسب متر، C: ضریب سرریز.

### ۲-۴- تعیین درصد کاهش دبی اوج سیل

پس از به دست آوردن مقادیر فوق با استفاده از رابطه ۱۳، درصد کاهش دبی اوج عبوری از سرریز با عرض‌های مختلف، به دست آمده است:

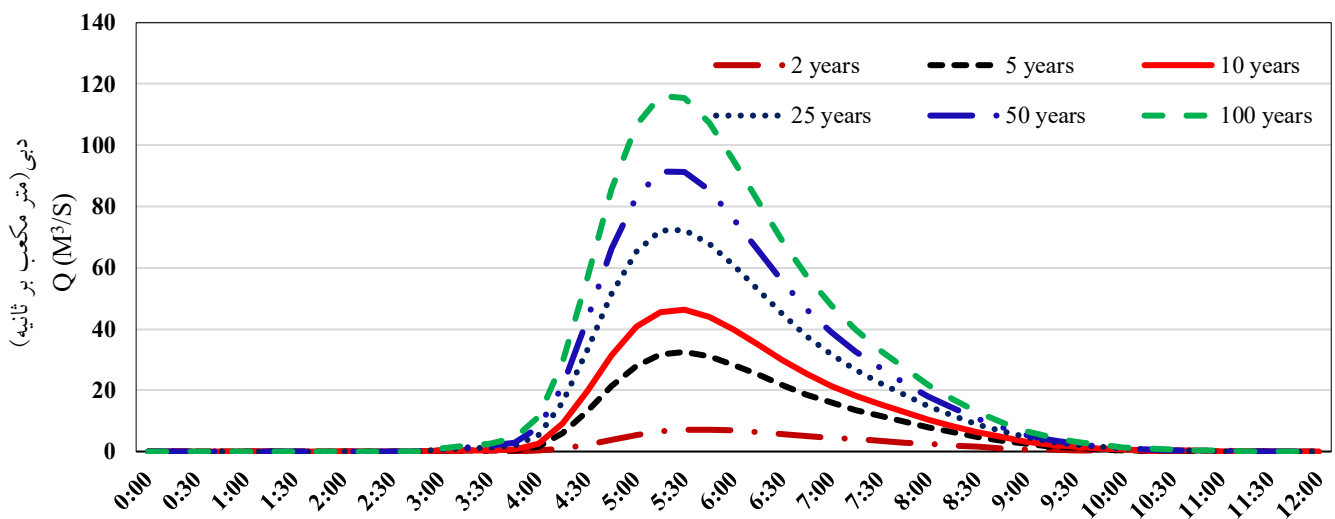
$$P = \left( \frac{Q_t - Q_p}{Q_p} \right) * 100 \quad (13)$$

P: درصد کاهش اوج سیل،  $Q_t$ : مقدار دبی اوج به دست آمده با احتساب ضریب عرض طراحی سرریز (مترمکعب بر ثانیه)،  $Q_p$ : مقدار دبی اوج به دست آمده با عرض طراحی سرریز (مترمکعب بر ثانیه)، سپس با استفاده از نتایج به دست آمده میزان درصد کاهش دبی اوج سیل تحت تأثیر احداث هر کدام از بندها تعیین و مقایسه شده‌اند.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- برآورد دبی حداکثر و حجم سیلاب بدون احداث سازه

نتایج دبی حداکثر و حجم سیلاب براساس روش هیدروگراف در حوزه کندر عبدالرضا در شکل (۳) نشان داده شده SCS واحد است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، میزان دبی حداکثر سیلابی در



شکل ۳- هیدروگراف‌های خروجی حوزه مورد مطالعه، تولید شده با مدل HEC-HMS در دوره بازگشت‌های مختلف

Fig 3. Outlet hydrographs of the study watershed produced by HEC-HMS model in different return periods

سازه اولی مهار شده و در سازه دوم ۹۰ درصد از دبی پیک افت کرده و فقط ۱/۵ مترمکعب بر ثانیه سرریز می‌کند و حجم رواناب نیز نزدیک به ۸۵ درصد مهار شده که در سازه سوم دبی خروجی صفر بوده و حجم رواناب نیز بطور کلی مهار می‌شود. در دوره بازگشت ۲۵ ساله، در سازه اول حدود ۵۳ درصد افت دبی پیک و ۳۹ درصد افت حجم رواناب وجود دارد و در سازه دوم افت پیک به ۴۱ درصد و حجم رواناب ۳۵ درصد افت داشته که در سازه سوم میزان دبی پیک خروجی از سرریز به ۲ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد که حدود ۹۰ درصد افت دبی پیک داشته و حجم رواناب نیز تا ۸۰ درصد مهار شده و به ۵۲۰۰۰ مترمکعب می‌رسد. در دوره بازگشت ۵۰ ساله، در سازه اولی دبی پیک ۴۴ درصد افت و حجم رواناب نیز

۳۱ درصد افت کرده و در سازه دوم حدود ۳۴ درصد افت دبی و حجم رواناب نیز ۲۵ درصد افت داشته و در سازه سوم نیز ۶۰ درصد افت دبی و ۴۹ درصد حجم رواناب افت کرده و دبی خروجی از سرریز به ۱۵ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد. در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله نیز در سازه اول ۳۳ درصد افت دبی و ۲۴ درصد کاهش رواناب، در سازه دوم نیز ۲۸ درصد افت دبی و ۱۷ درصد کاهش حجم رواناب داشته و در سازه سوم ۴۵ درصد افت دبی که میزان دبی خروجی از سرریز از ۱۶۴ مترمکعب بر ثانیه ورودی قبل از سازه اولی به حدود ۳۳ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد و حجم رواناب نیز از ۱۰۳۳۰۰۰ مترمکعب به ۴۴۷۰۰۰ مترمکعب می‌رسد. با توجه به اینکه حجم مخزن سازه‌های پیشنهادی سیلاب تا دوره بازگشت ۲۵

جدول ۲- ارزیابی اثر مخازن پیشنهادی بر مهار سیل

Table 2. Evaluation of the effect of the designed reservoirs on flood control

Structure سازه	Investigated Parameters پارامترهای مورد بررسی	Return Period دوره بازگشت							
		2	5	10	25	50	100		
First اول	Qin_max(m3/s) بیشینه دبی ورودی	9.4	45.7	65.6	103	130.1	164.7		
	Qout_max(m3/s) بیشینه دبی خروجی			0	4.8	17.6	47.8	72.3	109.4
	Volume_in(m3۱۰۰۰) حجم جریان ورودی			73.5	303.8	427.2	656.5	820.7	1033.1
	Volume_out(m3۱۰۰۰) حجم جریان خروجی			0	43.5	166	401.5	563.2	780.8
	(%) Qmax decrease درصد کاهش دبی پیک			-100	-89.5	-73.2	-53.6	-44.4	-33.6
	(%) Volume decrease درصد کاهش حجم جریان			-100	-85.7	-61.2	-38.8	-31.4	-24.4
	tb_in(h) مدت زمان جریان پایه ورودی(ساعت)			5.3	6	10.5	11.5	6.8	7
	tb_out(h) مدت زمان جریان پایه خروجی(ساعت)			0	11.3	13	24	14.3	14.3
Second دوم	Qin_max(m3/s) بیشینه دبی ورودی	0	4.3	16.3	42.8	63.4	.891		
	Qout_max(m3/s) بیشینه دبی خروجی			0	0	1.5	25.2	42	66
	Volume_in(m3۱۰۰۰) حجم جریان ورودی			0	44.2	167.5	401.1	568.4	789
	Volume_out(m3۱۰۰۰) حجم جریان خروجی			0	0	25.4	259.9	427.6	650
	(%) Qmax decrease درصد کاهش دبی پیک			-100	-100	-90.8	-41.1	-33.8	-28.1
	(%) Volume decrease درصد کاهش حجم جریان			-100	-100	-84.9	-35.2	-24.8	-17.6
	tb_in(h) مدت زمان جریان پایه ورودی(ساعت)			0	13	14.8	15.3	15.5	15.5
	tb_out(h) مدت زمان جریان پایه خروجی(ساعت)			0	0	15.3	18.8	19.5	19.8
Third سوم	Qin_max(m3/s) بیشینه دبی ورودی			0	0.3	1.4	23.3	39	61
	Qout_max(m3/s) بیشینه دبی خروجی			0	0	0	202	4.45	33.3
	Volume_in(m3۱۰۰۰) حجم جریان ورودی			0	1.7	28.4	265.3	434.5	659.4
	Volume_out(m3۱۰۰۰) حجم جریان خروجی			0	0	0	52.5	221.9	447.8
	(%) Qmax decrease درصد کاهش دبی پیک			-100	-100	-100	-90.6	-60.5	-45.4
	(%) Volume decrease درصد کاهش حجم جریان			-100	-100	-100	-80.3	-48.9	-32.1
	tb_in(h) مدت زمان جریان پایه ورودی(ساعت)			0	3	18.8	21.8	22	22
	tb_out(h) مدت زمان جریان پایه خروجی(ساعت)			0	0	0	24.3	26.8	28

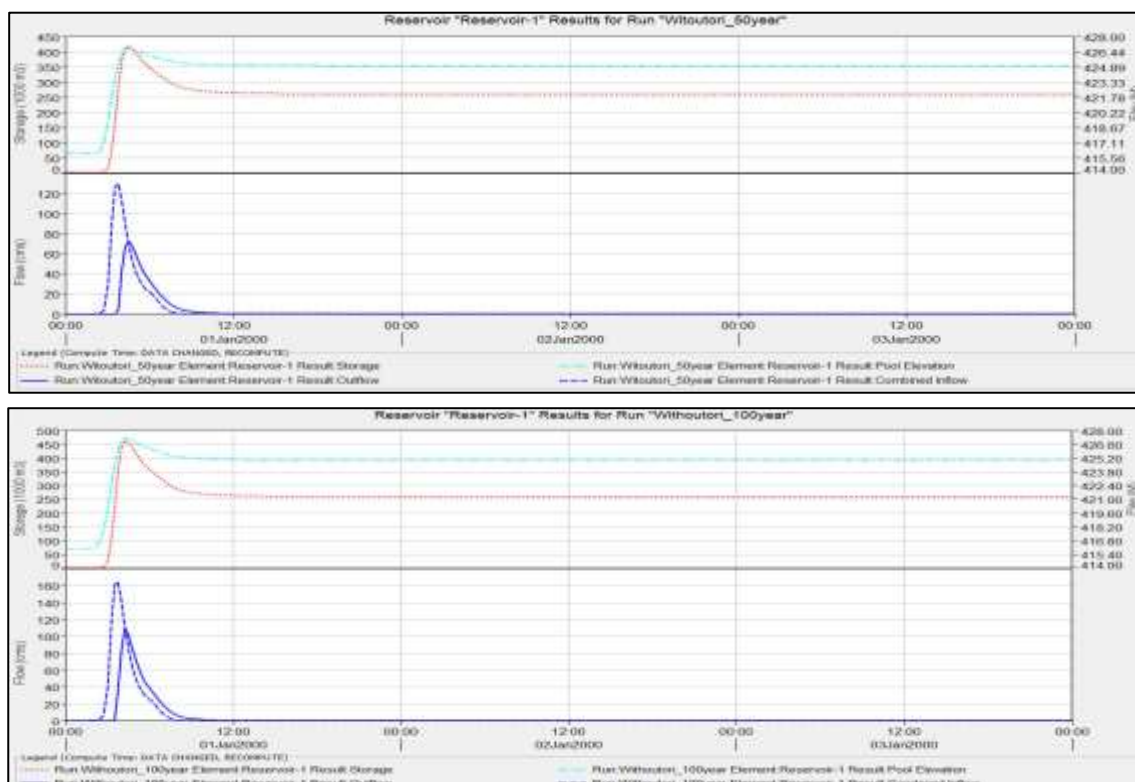
خروجی حوزه نشان می‌دهد. بر اساس محاسبات پیک سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در شرایط طبیعی ۱۱۶ مترمکعب بر ثانیه است و با فرض وجود سه سازه پیشنهادی با حجم تجمعی مخزن معادل ۶۱۴۳۷ هزار مترمکعب، دبی اوج سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به ۳۲ مترمکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد (جدول ۳). در مجموع و با توجه به نتایج شبیه‌سازی شرایط احداث سازه‌ها می‌توان ادعا نمود که سازه‌های پیشنهادی برای حوزه آبخیز کندر عبدالرضا قابلیت مهار سیلاب را خواهد داشت.

سال را به صورت ۱۰۰ درصد مهار می‌نماید، قاعدتاً پیک سیلاب تا دوره بازگشت ۲۵ ساله نیز به پائین‌دست سازه‌های پیشنهادی منتقل نخواهد شد. به عبارتی اثر سازه‌های پیشنهادی، حذف هیدرولوژیک جریان پائین‌دست در سیلاب‌های تا دوره بازگشت ۲۵ ساله بوده است. بر اساس محاسبات بخشی از سیلاب دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله مازاد بر حجم مخزن است و ضرورت دارد تا پیک سیل مربوط به این حجم مازاد محاسبه شود. شکل (۷) اثر سازه پیشنهادی بر پیک سیل را با فرض وجود سازه‌های پیشنهادی در

جدول ۳- ارزیابی و مقایسه اثر سازه‌های پیشنهادی بر مهار سیل در خروجی حوزه

Table 3. Evaluation and comparison of the effect of the designed dams on flood control in the watershed outlet

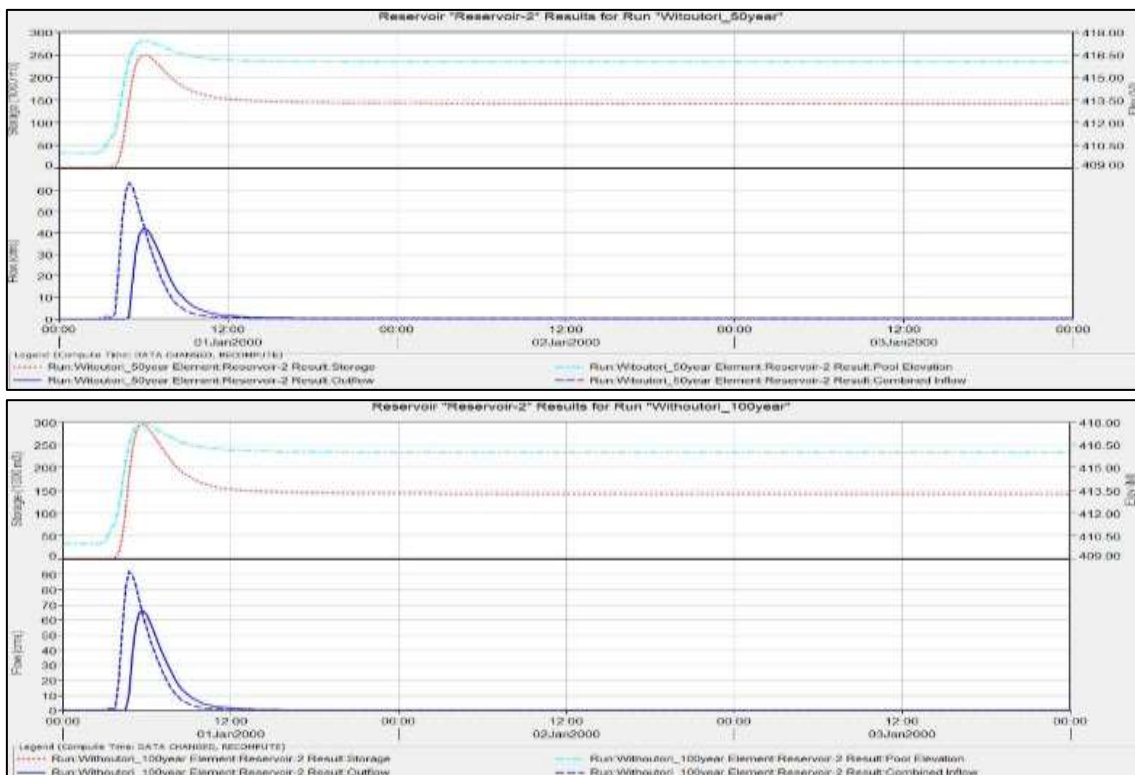
دوره بازگشت Return period	خروجی بدون سازه Outlet without Structure		خروجی با سازه Outlet with Structure		کاهش دبی پیک (درصد) $Q_{max}$ decrease (%)	کاهش حجم (درصد) Volume decrease (%)
	دبی ( $m^3/s$ ) $Q_{max}$	حجم Volume ( $m^3$ )	دبی حداکثر ( $m^3/s$ ) $Q_{max}$	حجم Volume ( $m^3$ )		
2	7.1	73.9	0	0	-100	-100
5	32.5	306.8	0.2	0.54	-99.38	-99.82
10	46.3	430.8	0.3	0.72	-99.35	-99.83
25	72.3	664.9	2.1	53.64	-97.1	-91.93
50	91.4	8735.2	14.7	223.92	-83.92	-73.19
100	116.1	1053.2	31.9	450.99	-72.52	-57.18



شکل ۴- نمودار ارتفاع ذخیره بند شماره ۱ با دوره بازگشت‌های مختلف (۵۰ و ۱۰۰ ساله)

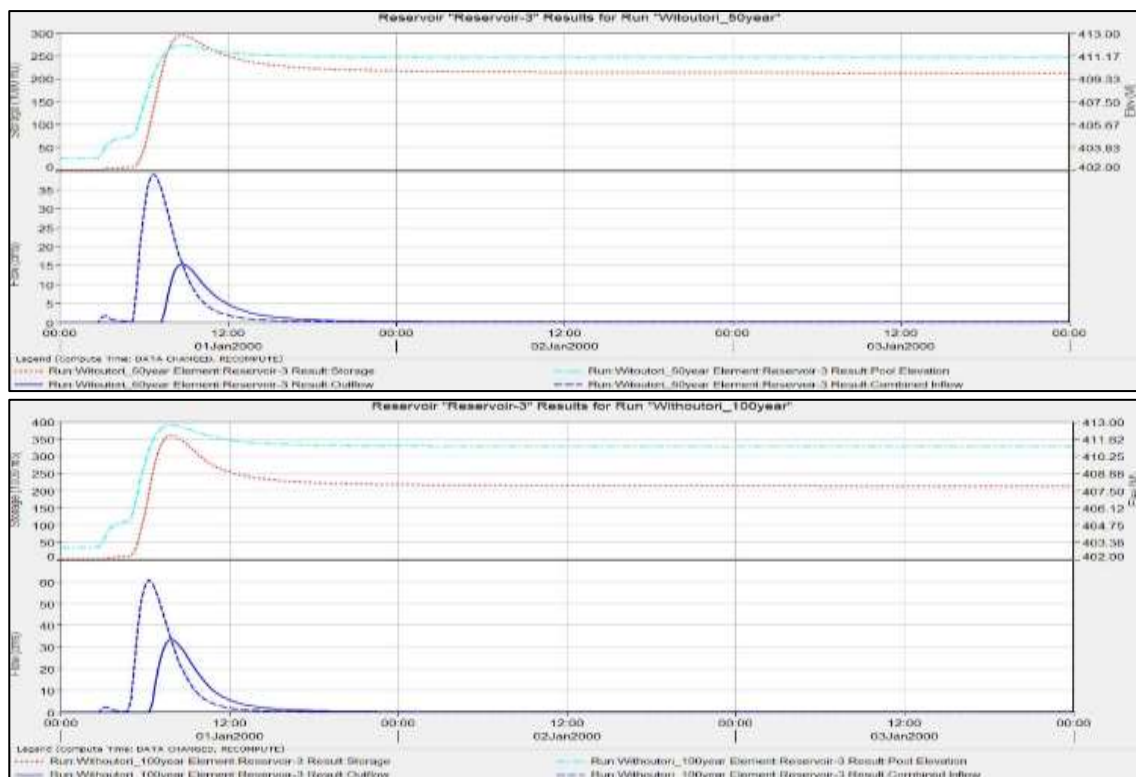
Fig 4. Diagram of storage height of Dam No. 1 with different return periods (50 and 100 years)





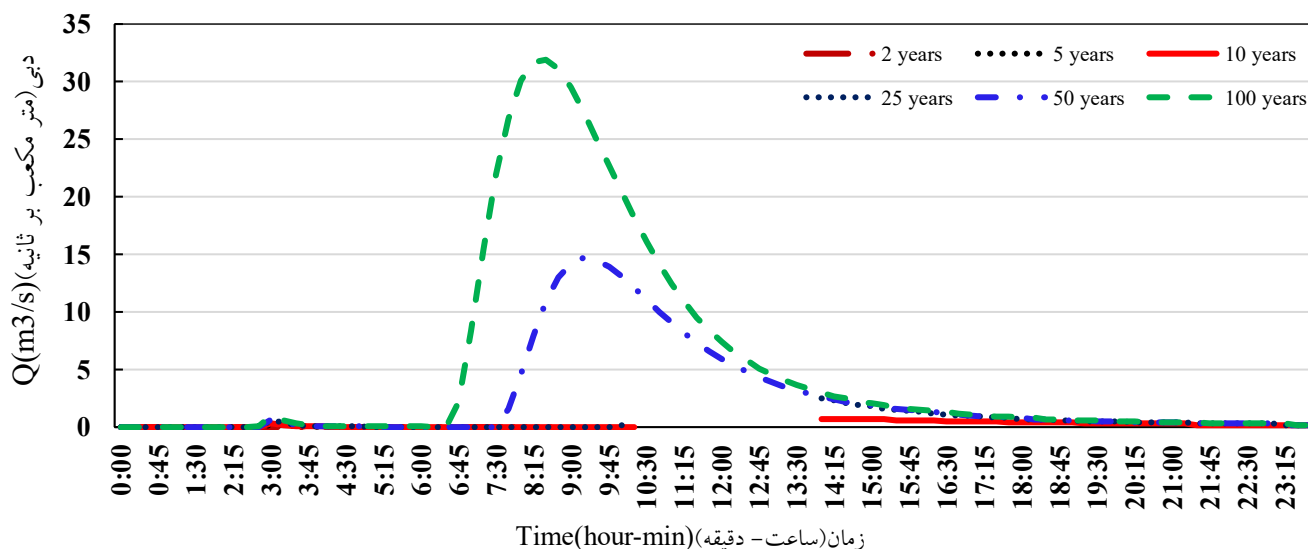
شکل ۵- نمودار ارتفاع ذخیره بند شماره ۲ با دوره بازگشت‌های مختلف (۵۰ و ۱۰۰ سال)

Fig 5. Diagram of storage height of Dam No. 2 with different return periods (50 and 100 years)



شکل ۶- نمودار ارتفاع ذخیره بند شماره ۳ با دوره بازگشت‌های مختلف (۵۰ و ۱۰۰ سال)

Fig 6. Diagram of storage height of Dam No. 3 with different return periods (50 and 100 years)



شکل ۷- اثر سازه‌های پیشنهادی بر شکل هیدروگراف سیل  
 Fig 7. The effect of the designed Structures on flood hydrograph shape

اوج سیل در حوزه آبخیز کندر عبدالرضا برخوردارند، اما با افزایش دوره بازگشت، نقش این سازه‌ها در مهار سیلاب و کاهش دبی اوج کاهش می‌یابد که با نتایج حاصل از تحقیقات فصاحت و همکاران [۷]، چمن‌پیرا و روغنی [۴]، کاوه‌کار و همکاران [۱۳]، آلیاس عمر و همکاران [۲]، لاسیلیا و همکاران [۱۵] مطابقت دارد. با توجه به اینکه روغنی و همکاران [۲۱] توان ذخیره سازه‌های احداث شده در حوزه آبخیز بارده استان چهارمحال و بختیاری برای کنترل سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال را کافی دانستند، در پژوهش حاضر نیز معلوم شد که مخازن پیشنهادی برای حوزه آبخیز کندر، توان مهار کامل سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال را خواهند داشت. کاویان و همکاران [۱۴] نیز بر تأثیر معنادار عملیات سازه‌های آبخیزداری بر کاهش دبی اوج سیلاب و تغییر شیب آبراهه اشاره کردند که در پژوهش حاضر علاوه بر تصدیق اثر معنادار سازه‌های مورد بررسی بر حجم و دبی اوج سیلاب به بررسی اثرات سازه‌ها بر یکدیگر برای کنترل سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف نیز پرداخته شد. نتایج نشان دادند که دبی اوج سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در شرایط طبیعی ۱۱۶ مترمکعب بر ثانیه بوده است و با فرض وجود سازه‌های پیشنهادی، به ۳۲ مترمکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد که به نقش معنادار عملیات سازه‌ای در حوضه مورد مطالعه اشاره دارد. شیروی و همکاران [۲۴] نقش ۷۵ و ۵۰ درصدی سازه‌های آبخیزداری در کنترل سیلاب با دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ سال در زیرحوضه‌های کشف‌رود گزارش کردند که در پژوهش حاضر نیز تأثیر ۷۳ و ۵۷ درصدی بندهای اصلاحی آبخیزداری در مهار سیل به ترتیب برای دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ سال در منطقه مورد مطالعه برآورد شده است که تقریباً به حجم‌های مشابهی برای این دوره بازگشت‌ها اشاره دارند. مصطفی‌زاده و همکاران [۱۷] بر اثربخشی بیشتر سازه‌های آبخیزداری در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۵ سال اذعان

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

بندهای اصلاحی در بسیاری از حوزه‌های آبخیز در سراسر جهان به منظور تعدیل و تنظیم سیلاب، تله‌اندازی رسوبات و کاهش شیب بستر آبراهه‌ها بکار گرفته شده‌اند [۳، ۲۹]. یکی از بهترین راهبردهای پیشگیری از سیل، ساخت مخازن و حوضچه‌های نگهداری آب است که باعث افزایش ظرفیت حوضه در تنظیم و ذخیره سیلاب می‌شوند [۹، ۱۹]. در محدوده مورد مطالعه چون هیچگونه آمار مستقیم و ثبت شده‌ای از سیلاب وجود ندارد از روش‌های تجربی برای تخمین سیلاب‌ها استفاده شده است. هدف نهایی این مطالعه، بررسی این موضوع است که سازه‌های پیشنهادی بر رفتار هیدرولوژیک حوزه چه تأثیری می‌گذارد و آیا هدف طرح که کنترل سیلاب هست را تأمین می‌کنند. بنابراین مهمترین متغیرها در این بررسی، حجم سیل و حجم مخازن پیشنهادی برای کنترل سیل بوده است. مقدار حجم سیل از هیدروگراف سیل استخراج شده و حجم مخازن با استفاده از اطلاعات نقشه‌برداری زمینی و منحنی‌های سطح-حجم-ارتفاع بدست آمده است. بدیهی است اگر حجم مخزن بیش از حجم سیل باشد، تمامی سیل در مخزن سازه مستهلک می‌شود و جریان سطحی از سرریز سازه عبور نمی‌کند. در این شرایط در پایین‌دست سازه مورد نظر، حذف هیدرولوژیک صورت گرفته است و بر عکس اگر حجم سیل بیش از حجم مخزن باشد، به ناچار پس از پر شدن مخزن، بخشی از سیل از سرریز عبور می‌کند. اما این رخداد بدان مفهوم نیست که سازه پیشنهادی در کنترل سیل نقش نداشته است. به هر حال همین سازه بخشی از سیل را ذخیره نموده است، اما موضوع مهم این است که سازه‌ای که حجم آن از حجم سیل کمتر است تا چه مقدار بر کنترل سیلاب اثر گذاشته است. نتایج این مطالعه نشان داد که در دوره بازگشت‌های مختلف، بندهای اصلاحی مورد بررسی، از توانایی لازم برای ذخیره‌سازی رواناب و کاهش دبی

Resources University, 106 P.(In Persian).

2. Allias Omar, S.M., Wan Ariffin, W.N.H., Mohd Sidek, L., Basri, H., Moh Khambali, M.H. and Ahmed, A.N. 2022. Hydrological analysis of Batu Dam, Malaysia in the Urban area: flood and failure analysis preparing for climate change. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 19(24): 16530.

3. Banihabib, M. E., and Forghani, A. 2017. An assessment framework for the mitigation effects of check dams on debris flow. *Catena*, 152, 277-284.

4. Chamanpira, R. and Roughani, M. 2018. Evaluation the effects of watershed management operations in flood mitigation of Dadabad Watershed. *Watershed Engineering and Management*, 10(3), 350-360. (In Persian).

5. Davtalah, R., Mirchi, A., Khatami, S., Gyawali, R., Massah, A., Farajzadeh, M., and Madani, K. 2017. Improving continuous hydrologic modeling of data-poor river basins using hydrologic engineering center's hydrologic modeling system: case study of Karkheh River basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(8), 05017011.

6. Ebrahimi, A. 2017. Integrated Modeling of Flood Hazard Zonation and Assessment of Different Structural Scenario to Reduce the Risks of Flood, Master of Science in Hydraulic Structures, Imam Khomeini International University, 126p. (In Persian).

7. Fasahat, V. Sadatinejed, S.J., Honarbakhsh, A. and Samadi Borojeni, H. 2015. Influence of Storage Dam Construction on Downstream Flood Reduction. *Jwmr*. 5(10), 44-55. (In Persian).

8. Ghahraman, B. and Abkhezr, H., 2004. Improvement in intensity-duration-frequency relationships of rainfall in Iran. *JWSS- Isfahan University of Technology*, 8(2): 1-14. (In Persian).

9. Guo, Y. 2001. Hydrologic design of urban flood control detention ponds. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(6): 472-479.

10. Guyassa, E., Frankl, A., Zenebe, A., Poesen, J., and Nyssen, J. 2017. Effects of check dams on runoff characteristics along gully reaches, the case of Northern Ethiopia. *Journal of Hydrology*, 545, 299-309.

11. Hashemi, S. A. A., and Kashi, H. 2015. Determination of number of check dams by artificial neural networks in arid regions of Iran. *Water Science and Technology*, 72(6): 952-959.

12. Kaboosi, K. and Jelini, R. 2016. Investigation of performance indices and the rule of detention reservoir on flood control (case study: Jafarabad watershed in Golestan province). *Conservation of Soil and Water Resources*, 5 (4), 35-46. (In Persian).

13. Kaveh Kar, S. Ebadifar, M. Javadi, S. and Masoompour, F. 2015, Determining the impact of watershed operations on peak

دارند و برای دوره بازگشت‌های بیشتر میزان این اثربخشی را کاهش ارزیابی کردند که در پژوهش حاضر نیز تا دوره بازگشت ۲۵ سال تأثیر بسزایی در مهار سیلاب مشاهده شد و در دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر از میزان اثربخشی سازه‌های اصلاحی کاسته شد. یوان و همکاران [۲۹] تأثیر سامانه بندهای اصلاحی بر کاهش دبی اوج را بیشتر از تأثیر این سازه‌ها بر کاهش حجم سیلاب در فلات لسی چین ارزیابی کردند که در پژوهش حاضر نیز میزان کاهش بیشتر دبی اوج سیل نسبت به کاهش حجم سیل ناشی از عملیات سازه‌ای پیشنهادی مشهود بود. بنابراین اجرای عملیات سازه‌ای پیشنهادی برای حوزه آبخیز کندر عبدالرضا شامل دو بند اصلاحی سنگ و ملاتی و یک بند خاکی منجر به مهار سیلاب‌ها خواهد شد ضمن اینکه این عملیات می‌تواند به تثبیت پروفیل طولی آبراهه و تبدیل شیب آبراهه به شیب حد بینجامد که در واقع مهمترین اثر اجرای بندهای اصلاحی است که منجر به کاهش فرسایش خاک و تولید رسوب خواهد شد.

در نهایت پیشنهاد می‌شود بررسی تأثیر احداث سازه‌ها بر مشخصات جریان‌های سیلابی در شرح خدمات طرح‌های مطالعات آبخیزداری گنجانده شود تا تصمیم برای انجام یا عدم انجام عملیات سازه‌ای در هر حوضه یا زیرحوضه براساس نتایج شبیه‌سازی و با اطلاعات دقیق‌تری گرفته شود. همچنین نصب ایستگاه‌های هیدرومتری ثابت در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار که مستعد تولید سیل هستند، پیشنهاد می‌شود.

### سپاسگزاری

از دانشگاه هرمزگان و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس سپاسگزاریم.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

### دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

### مشارکت نویسندگان

علیرضا نفرزادگان: مفهوم‌سازی، روش‌شناسی، نرم‌افزار، تجزیه و تحلیل، نگارش - تهیه پیش‌نویس اصلی، بازبینی مقاله، بصری‌سازی، نظارت.

محمد کاظمی: روش‌شناسی، نرم‌افزار، بصری‌سازی.

مسعود سمیعی: منابع، روش‌شناسی، نرم‌افزار، تجزیه و تحلیل، نگارش - تهیه پیش‌نویس اصلی، بازبینی مقاله، بصری‌سازی.

### منابع مورد استفاده

1. Abdolahi, H. 2012. Investigating the effect of corrective dams on the flow using HEC-HMS model and GIS technique (case study of Gushakabad watershed, Razavi Khorasan province), *Watershed Management MSc.*, Sari Agricultural Sciences and Natural

22. Shaghaieghi Falah, R., 2001. Simulation of the maximum flood discharge in the tributaries of the river using the (hec-hms) model, a case study in the Mohammadabad watershed (Golestan province), Watershed Management MSc., Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, 168P. (In Persian).
23. Shi, P., Zhang, Y., Ren, Z., Yu, Y., Li, P., and Gong, J. 2019. Land-use changes and check dams reducing runoff and sediment yield on the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*, 664, 984-994.
24. Shiravi, B., Golkarian, A., and Abotalebi pirnaeimi, B. 2016. Distribution pattern optimization of watershed check dams to 25, 50 and 75 percent of flood control (Case study: A sub catchment of Kashaf rood). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 47 (3): 605-611. (In Persian)
25. Soltani, M., Ekhtesasi, M. R., Talebi, A., Pouraghniaei, M.J. and Sarsangi, A. R. 2012. Effect of check dams on reduction of flood peak (Case study: Manshad watershed), *Watershed Management Research*, 24(93): 46-54. (In Persian).
26. Xu, Y. D., Fu, B. J., and He, C. S. 2013. Assessing the hydrological effect of the check dams in the Loess Plateau, China, by model simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(6): 2185-2193.
27. Yazdi, J., Sabbaghian Moghaddam, M., and Saghafian, B. 2018. Optimal design of check dams in mountainous watersheds for flood mitigation. *Water Resources Management*, 32: 4793-4811.
28. Yuan, S., Li, Z., Chen, L., Li, P., and Zhang, Z. 2022. Influence of check dams on flood hydrology across varying stages of their lifespan in a highly erodible catchment, Loess Plateau of China. *Catena*, 210: 105864.
29. Yuan, S., Li, Z., Chen, L., Li, P., Zhang, Z., Zhang, J. and Wang, A. 2022. Effects of a check dam system on the runoff generation and concentration processes of a catchment on the Loess Plateau. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(1): 86-98.
30. Yuan, W., Liu, M., and Wan, F. 2019. Calculation of critical rainfall for small-watershed flash floods based on the HEC-HMS hydrological model. *Water Resources Management*, 33: 2555-2575.
- flood discharge (case study: Masoleh watershed), 6th National Conference on Water Resources Management of Iran, Sanandaj. (In Persian).
14. Kaviani, A., Mohammadi, M. A., and Azmoudeh, A. 2015. Effects of construction of corrective dams on the hydrological characteristics of the Mohammadabad Sari watershed, *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, 14(35): 213-230. (In Persian)
15. Laassilia, O. Saghiri, S. Ouazar, D. Bouziane, A. and Driss Hasnaoui, M. 2022. Flood forecasting with a dam watershed event-based hydrological model in a semi-arid context: case study in Morocco. *Water Practice and Technology*, 17 (4): 817-834.
16. Lauacheria, F., Kechida, S. and Chabi, M. 2018. Estimation-of-the-Parameters-of-Muskingum-Methods-for-the-Prediction-of-the-Flood-Depth-in-the-Moudjar-River-Catchment. 12: 921-924.
17. Mostafazadeh, R., Sadoddin, A., Bahremand, A., Sheikh, V and Nazarnejad, H. 2010. Assessing hydrological effects of Jafar-Abad watershed management project in Golestan province using HEC-HMS model. *Watershed Engineering and Management*. 2(2): 83-93. (In Persian)
18. NajafiNejad, A, Tevari, A., and Tajiki, M. 2017, Evaluation of the effect of watershed management measures on flooding in the Ramian watershed using HEC\_HMS, *Iranian Water Research Journal*, 12(3): 19-26. (In Persian).
19. Nyame Acheampong, J., Gyamfi, C. and Arthur, E. 2023. Impacts of retention basins on downstream flood peak attenuation in the Odaw river basin, Ghana, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47: 101364.
20. Pahlavan, A., 2013. Evaluating performance of runoff and sediment control earth dams in loess area in east of Golestan province (case study Ghoyjogh watershed). MSc thesis of watershed management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 170p. (In Persian).
21. Roghani, M., Tabatabai, S. M.r., and Shadfar, S., 2011. Evaluation of watershed management operations and the introduction of a method for determining flood control structures. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 4(13): 51-60. (In Persian)

## Investigating the Effect of Check Dams on Flood Hydrograph in an Ungauged Watershed (Case study: Kander Abdolreza, Fars province)

Ali Reza. Nafarzadegan<sup>1\*</sup>, Mohamad. Kazemi <sup>2</sup> and Masoud. Samiee <sup>3</sup>

Received: 2024.01.26 Accepted: 2024.03.04

### Abstract

#### Introduction:

Flooding is one of the environmental hazards that causes a lot of repeated damage to water and soil resources in different regions of Iran and around the world. Check dams as a mechanical practice have been built in many watershed areas of the country to control peak discharge and prevent soil erosion. Therefore, it is essential to examine the role of these mechanical practices in flood control at the level of watersheds. The current study aims to investigate the effect of the construction of three proposed structures (two masonry check dams and one embankment dam), with spillway heights of 9, 6, and 8 meters, on flood characteristics in Kander Abdolreza watershed, Fars province, Iran. In other words, this study examines whether the construction of these three consecutive structures fulfills the goal of the operation, which is flood control through a significant reduction in peak discharge and flood volume in the study area. Therefore, the most important variables in this study is the flood volume and the volume of reservoirs proposed for flood control. The amount of flood volume is extracted from the flood hydrograph, and the volume of reservoirs is obtained using a contour map and storage-height curves. It is obvious that if the volume of the reservoir is more than the volume of the flood, all the flood will be attenuated by the structure and the runoff would not pass through the spillway of the dam.

#### Materials and Methods:

In this study, the HEC-HMS model was used to simulate the rainfall-runoff process and the reservoir effect of each of the three proposed consecutive check dams on flood characteristics. The study area, Kander Abdul Reza watershed, is located about 27 kilometers southeast of Lamerd city, Fars province, Iran. According to the division of watersheds in the country, it is part of the Kol-Mehran basin which is a subbasin of the major basin of the Persian Gulf and Oman Sea. In this regard, after preparing the required data, including properties related to topography, rainfall, soil hydrologic group, and designed structures, the peak discharge and volume of flood under different return periods were estimated using the HEC-HMS model. Ghahreman-Abkheyr method was also used to estimate the intensity of rainstorms. The characteristics of the flood in the downstream were investigated in the absence of three proposed structures (two masonry check dams and one embankment dam) and in the next step, the effect of these reservoirs/dams on the hydrograph of the flood was analyzed. Due to the fact that the proposed structures are located upstream of the residential area and the highway, the basis of the design of the structures was the flood discharge with

1. Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2. Assistant Professor, Hormoz Studies and Research Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

3. Watershed Management Expert, General Department of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province, Shiraz, Iran

a return period of 100 years. Finally, using the obtained results, the percentage of reduction in the peak discharge of the flood under the influence of the construction of each of the reservoirs/dams was determined and compared.

#### Results and Discussion:

The outcomes of SCS unit hydrograph for Kander Abdolreza watershed showed that the flood peak discharge in the return period of 2, 5, 10, 25, 50, and 100 years is equal to 7, 32, 46, 72, 91, and 116  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , respectively; so that the time base of the hydrograph varies from 6.5 hours in the 2-year return period to nearly 9 hours in the 100-year return period. Meanwhile, the volume of runoff varies from 1.73  $\text{m}^3$  in the return period of 2 years to 1053  $\text{m}^3$  in the return period of 100 years. The results also showed that if the three proposed three consecutive structures were built, with a total reservoir volume of 614367  $\text{m}^3$ , the peak flood discharge would fall from 116  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  to 32  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  over a 100-year return period. In addition, the outcomes of the simulation of the rainfall-runoff process in the study watershed indicated that the reduction in the peak discharge and volume of the flood after the implementation of the proposed structural measures for the 50-year return period was 84% and 73%, respectively; and for the 100-year return period it was reduced by 72% and 57%, respectively. Thus, according to the results of the simulation of the effect of the designed structures, it can be claimed that the proposed structures for the study watershed would have the ability to mitigate and control floods.

#### Conclusion:

The implementation of the proposed structural measures for the Kander Abdolreza watershed, including two masonry check dams and one embankment dam, in addition to reducing the peak discharge and the volume of flood flows, can stabilize the longitudinal profile of the stream channels, which is useful for the conservation of soil and water resources in the study area. At different return periods (2, 5, 10, 25, 50, and 100 years), the three proposed structures have the required capacity to store runoff and reduce the peak discharge in the study watershed; however, as the return period increases, the role of these reservoirs/dams in controlling the flood and reducing the peak flow decreases. Moreover, the effect of the proposed consecutive structures system on peak flow reduction is greater than the effect of these structures on flood volume reduction.

In general, to increase the effectiveness of the watershed studies plans, it is recommended to include the study of the impact of the implementation of structural measures on the characteristics of flood flows in the service description worksheet of these projects so that the decision to carry out or not to carry out for structural operations in each basin or sub-basin is made based on the simulation results and with more detailed information. In addition, to better evaluate the proposed structural measures for flood control, it is suggested to prioritize the installation of hydrometric stations in ungauged watersheds that are prone to flood generation.

**Keywords:** Hydrologic model, Flood control, Flood mitigation, Peak discharge, Structural measures

#### Acknowledgement

We would like to express our gratitude to University of Hormozgan and General Department of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province.



#### Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

#### Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

#### Authors' contribution

Ali Reza Nafarzadegan: Conceptualization, Methodology, Software, Formal analysis and investigation, Writing - Original draft preparation, Manuscript editing, Visualization, Supervision.

Mohamad Kazemi: Methodology, Software, Visualization.

Masoud Samiee: Resources, Methodology, Software, Formal analysis and investigation, Writing - original draft preparation, Manuscript editing, Visualization.