نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ ویژه‌نامه مدیریت سیلاب/ تابستان ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ Special Issue on Flood Management/ September 2023

جانمایی مخازن تعدیل سیلاب و طراحی سیستم انحراف رودخانه به منظور ایمن‌سازی سیلاب‌دشت، مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود

شقایق طالبی لشکریان[۱]
جعفر یزدی* [۲]

چکیده

سیل از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی از نظر زیان‌های جانی و خسارت‌های مالی در جهان و ایران است که در سال‌های اخیر، شدت و تواتر وقوع آن افزایش یافته است. یکی از روش‌های سازه‌ای کنترل سیل، انحراف سیلاب رودخانه است. در این پژوهش، مکان‌یابی محل‌های ذخیره موقت سیل و طراحی سیستم انحراف سیلاب رودخانه با استفاده از مدلسازی هیدرولیکی یک‌بعدی و دوبعدی سیل و در نظرگیری ملاحظات سازه‌ای و هیدرولیکی طراحی بندهای انحرافی انجام شده است. بازه‌ی مهمی از رودخانه گرگانرود که شامل بازه پایین دست سد گلستان تا اتصال به دریای خزر می‌شود، بعنوان مطالعه موردی انتخاب شده است و اثر انحراف سیلاب بر دبی اوج سیلاب نقاط آسیب شامل شهرهای آق‌قلا و گمیشان مطالعه شده است. مکان‌یابی محل‌های انحراف و ذخیره‌سازی با استفاده از مدل‌های Flo-2D، HEC-RAS و SWMM انجام شده و سپس، با توجه به معیارهای هزینه و کارایی، مکان‌های مناسب مخازن ذخیره سیلاب تعیین شده است. در نهایت، عملکرد مجزا و ترکیبی این بندها بر روی خصوصیات سیلاب رودخانه در نقاط آسیب طی چهار واقعه مهم بارش، برآورد شده است. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از یک و دو سیستم انحراف سیل، دبی اوج سیل در ورودی به شهر آق‌قلا طی ۴ واقعه بزرگ سیل بررسی شده، بطور متوسط ۷/۴۵ و ۱۶/۳۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین در صورت استفاده از سه سیستم انحراف سیلاب، دبی اوج سیل ورودی به شهر گمیشان، بطور متوسط ۲۲/۱۵ درصد کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی

انحراف سیلاب رودخانه، مخازن تعدیل سیل، مدلسازی هیدرولیکی، روش‌های سازه‌ای

[۱]* دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی. s.talebilashkarian@sbu.ac.ir
[۲]مولف مسئول، دانشیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی. j_yazdi@sbu.ac.ir

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۸

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

مقدمه

همه ساله وقوع سیلاب‌هایی با شدت‌های مختلف، محیط زیست بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در بین وقایع طبیعی هیدرولوژیکی، سیل به لحاظ خسارت مالی و جانی ناشی از وقوع آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به اینکه کاربرد سیلاب‌دشت بصورت پویا در حال تغییر است، می‌توان گفت خسارت سیل دائماً با زمان تغییر می‌کند.

انحراف سیلاب رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، شاید یکی از قدیمی‌ترین روش‌های حفاظت در برابر سیلاب باشد و در صورت امکان انجام آن، معمولاً یکی از بهترین و ارزان‌ترین روش‌های مهار سیلاب است. زیرا با این روش، جریان سیلاب و خطرات آن از رودخانه و آبراهه دور می‌شود. از این‌رو، تأثیر این روش خیلی‌زیاد است. فرق این روش با سایر روش‌های مهار سیلاب مثل گوره‌ها و دیوارهای سیل‌بند در این است که با احداث گوره یا دیوار سیل‌بند، خطرات بالقوه ناشی از سیل در سراسر طول گوره‌ها و دیوارهای سیل‌بند باقی می‌ماند، در حالیکه با انحراف سیلاب، خطرات ناشی از آن در سرتاسر بازه موردنظر از رودخانه یا آبراهه برطرف می‌گردد.

میزان اثربخشی روش‌های سازه‌ای کنترل سیلاب در مطالعات و تحقیقات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه به نمونه‌هایی از این تحقیقات اشاره می‌شود.

معراجی[1] و همکاران (۱۳۸۷) سیستم کنترل سیلاب پارس جنوبی متشکل از یک سد تاخیری با تخلیه‌کننده تحتانی و چندین کانال انتقال آب را مورد بررسی قرار داده و طرح بهینه را با استفاده از الگوریتم PSO[2] و نرم‌افزار SWMM[3] ارائه‌کردند به نحوی که ایمنی در حد مطلوب باقی بماند و کلیه پارامترها و محدودیت‌های طراحی برآورده شود. نتایج نشان داد که کارآمدی مدل در کاهش هزینه‌های ساخت تا حدود ۲۳ درصد است.

خواجه‌نصیری[4] و همکاران (۱۳۹۴) عملکرد سیستم زهکش مسیل آب و برق مشهد با مساحت ۱۵/۴ کیلومترمربع را ارزیابی کرده و برای تعدیل دبی سیلاب از حوضچه تأخیری بعنوان یک روش توسعه کم‌اثر با پیشنهاد سه مخزن در قالب دو سناریو استفاده کردند. نتایج نشان داد که سناریوی دو حوضچه تعدیل می‌تواند دبی پیک سیلاب خروجی را ۳۶/۷ درصد کاهش دهد. همچنین استفاده‌ی تلفیقی از حوضچه و کانال می‌تواند جایگزین خوبی برای کانال‌هایی با ابعاد بزرگ و پرخطر شود و هزینه‌ها را کاهش دهد.

قاسمی[5] و فغفور مغربی (۱۳۹۴) با بررسی بهترین روش‌های مدیریتی و با استفاده از مدل SWMM5 به بررسی تأثیر مخازن ذخیره بر کاهش دبی اوج سیل در شهر مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که با در نظرگرفتن دو مخزن تعدیل سیلاب، دبی پیک ۳۱ درصد و درصورت درنظرگیری سه مخزن تعدیل سیلاب، دبی سیلاب طرح انتخاب شده ۳۸ درصد کاهش خواهد یافت.

کارآموز[6] و همکاران (۱۳۹۵) طراحی فرازبند و سیستم انحراف سیلاب سد کارون را با دو رویکرد مطالعه کردند. در رویکرد اول، با مبانی یکسان طرح مشاور و بکارگیری روش‌های بهینه‌سازی ابعاد سیستم انحراف بهینه می‌شود. در رویکرد دوم با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای هیدرولیکی در تونل‌ها و نشیب‌بند، مدلی بر اساس هزینه‌های ساخت و اجرا در پروژه و هزینه‌های ناشی از شکست سیستم انحراف ارائه شده است. بر این اساس، بهترین قطر، تراز، جنس پوشش، طول تونل‌ها و ارتفاع فرازبند و نشیب‌بند تعیین می‌شود و همچنین مشخص می‌شود که فرازبند دارای سرریز باشد یا بدون سرریز طراحی شود. نتایج نشان داد که طرح دوم کمترین هزینه سالانه مورد انتظار را داراست.

نورکرمی[7] و همکاران (۱۳۹۵) حوضه آبریز رودخانه وردآورد را جهت بررسی تأثیر مخازن تأخیری در کاهش سیلاب مورد بررسی قرار دادند. ابتدا پس از ساخت سیلاب طراحی و روندیابی آن، تأثیر آن را در پایین‌دست، بدون در نظر گرفتن مخازن بررسی کردند و سپس با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS، حوضه مورد نظر و مخازن در بالادست حوضه شهری را مدل و عملکرد این مخازن را در کاهش هیدروگراف سیلاب ورودی بررسی کردند. طبق نتایج، با استفاده از

[1] Meraji
[2] Particle Swarm Optimization
[3] Storm Water Management Model
[4] Khajenasiri
[5] Ghasemi
[6] Karamooz
[7] Noorkarami

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

سدهای تأخیری، میزان دبی خروجی از حوضه به شدت کاهش یافت. اثر کاهش دبی پیک سیل برای سیلاب با دوره بازگشت ۲ ، ۵ ، ۱۰ ، ۲۵ ، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۹۱/۴، ۹۲/۱ ، ۸۹/۹ ، ۵۸/۱ ، ۴۱/۷، ۲۸/۵ درصد است که نشان‌دهنده‌ی این است که تأثیر سازه‌ها در کاهش دبی پیک به طور متوسط ۶۶/۹۵ درصد بوده و با افزایش دوره بازگشت، تاثیر سازه بر کاهش دبی اوج، کاهش یافته است.

کارآموز[1] و همکاران (۱۳۹۷) از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای تعیین ابعاد بهینه سیستم انحراف آب بر اساس هزینه‌های ساخت، هزینه‌های شکست و ریسک قابل‌قبول برای سیستم انحراف با درنظرگرفتن عدم قطعیت هیدرولیکی و آنالیز ریسک سیل استفاده کردند. هدف از مدل بهینه‌سازی به حداقل رساندن هزینه‌های ساخت و ساز و هزینه پیش‌بینی شده خسارات ناشی از سیل‌ها با دوره بازگشت متغیر برای سد کارون ۴ در جنوب‌غربی ایران بود. نتایج نشان داد که هزینه متوسط سالانه‌ی مورد انتظار، کمتر از رقم برآورد شده مشاور است. همچنین بررسی ریسک سیل و عدم قطعیت آن می‌تواند چارچوب بهتری برای طراحی و هزینه برای پیکربندی سیستم‌های انحرافی در سدها فراهم کند.

رحیمی[2] و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر منابع عدم قطعیت بر مشخصه‌های سیستم انحراف جریان را با توسعه یک مدل احتمالاتی چندمتغیره بر پایه توابع مفصل تعیین کردند. آنها بدین منظور از سری‌های زمانی داده‌ها شامل دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه و حجم حداکثر سیلاب سالانه برای یک دوره ۳۷ ساله استفاده کردند. دو تابع هدف کمینه‌سازی ریسک شکست سیستم و هزینه ساخت به عنوان دو هدف متضاد در ساختار مدل شبیه‌سازی بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک چندهدفه مبتنی بر رتبه‌بندی نامغلوب تعریف و قطر، شیب، پوشش دیواره و ارتفاع ورودی تونل‌ها، ارتفاع فرازبند، و ارتفاع نشیب‌بند بعنوان متغیرهای تصمیم انتخاب شدند. نتایج نشان داد دوره بازگشت ۲۵ سال با توجه به دو عامل هزینه و ریسک روگذری، پاسخ بهینه بشمار می‌رود. برای این دوره بازگشت قطر تونل‌ها ۱۰/۵ و ۹/۹ متر، ارتفاع فرازبند ۴۴/۵ متر و ارتفاع نشیب‌بند ۱۲/۵ متر بدست آمد.

شه‌بندی[3] و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر مخازن تعدیل درون‌شهری را بر دبی اوج سیلاب و ابعاد مجاری آبرو در یکی از زیرحوضه‌های شهر ساری (گذرخان) بررسی کردند. آنها برای شبیه‌سازی شبکه، از نرم افزار SWMM استفاده کردند و دبی اوج سیلاب و ابعاد تیپ مجاری آبرو را تعیین کردند. سپس با وجود مخازن تعدیل سیلاب، شبیه‌سازی را مجدد انجام داده و تأثیر مخازن بر دبی اوج خروجی و ابعاد آبرو را بررسی کردند. نتایج نشان داد که وجود مخازن تعدیل، میزان سیلاب در خروجی‌های حوضه را ۸۶ و ۸۹ درصد کاهش داده و ابعاد مجاری آبرو را نیز به میزان ۵۷ درصد کاهش می‌دهد.

لاکس و استار[4] (۲۰۰۶) انحراف سیلاب رودخانه ترینیتی را مورد مطالعه قرار دادند. برای هدایت سیلاب و کاهش آن، یک کانال جانبی و یک سد با سه دریچه بررسی شد. جریان سیل به کانال جانبی هدایت شده و دریچه‌های جداسازی سیل برای محدود کردن جریان در کانال موجود به جریان کم طراحی شد. ایشان برای تأیید عملکرد طراحی، از یک مدل هیدرولیکی پویا (نرم افزار HEC-RAS[5]) استفاده کردند. نتایج نشان داد که در بسیاری از موارد، اثربخشی قابل توجه‌ای برای کارکرد تدریجی سیستم وجود خواهد داشت. با این حال، در هنگام طوفان‌های با شدت بالا (بارندگی‌های بیشتر از یک اینچ در ساعت)، عملیات سریع دریچه‌ها، مورد نیاز خواهد بود.

لئون[6] و همکاران (۲۰۱۲) سیستم رودخانه بویز[7] در آیداهو را مورد بررسی قرار دادند. آنها با بکارگیری یک روش روندیابی هیدرولیکی مستحکم و کارآمد با استفاده از نمودارهای عملکردی و الگوریتم چند هدفه NSGA-II[8]، یک چارچوب پویا برای کنترل هوشمند سیل ارائه کردند که در صورت عبور بیش از حد ظرفیت انتقال سیستم رودخانه، امکان جاری شدن سیل را کنترل می‌کند. نتایج نشان داد که عملکرد سازه‌های کنترلی با توجه به روش پیشنهادی،

[1] Karamooz
[2] Rahimi
[3] Shahbandi
[4] Loucks and Stahr
[5] Hydrological Engineering Center– River Analysis System
[6] Leon
[7] Boise
[8] Non-dominated Sorting Genetic Algotithm

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

وقوع سیل را به تأخیر می‌اندازد، اما به دلیل کمبود ظرفیت ذخیره‌سازی کافی در مخزن، از وقوع آن اجتناب نمی‌کند.

بوگاردی و بالوغ[1] (۲۰۱۴) سیستم رودخانه تیسا در مجارستان را مورد مطالعه قرار دادند و مزایای استفاده از سیاست کنترل بهینه را که منجر به کمترین خسارت در کل سیستم می‌شود، بررسی کردند. این سیستم متشکل از یک رودخانه است که توسط خاکریزهای طولی در برابر طغیان محافظت می‌شود. با توجه به یک رویداد سیل بالادستی، یک سیاست بهره‌برداری در زمان واقعی برای سیستم انحراف سیل محاسبه می‌شود تا حداقل تلفات مورد انتظار سیل را بدست آورد. نتایج نشان داد که استفاده از سیاست کنترل بهینه سیلاب منجر به کاهش ۴۴ درصدی خسارات مورد انتظار سیلاب می‌شود و در صورت استفاده از یک سیاست کنترل غیر بهینه، تنها می‌توان ۱۵ درصد از ضررهای مورد انتظار را کاهش داد.

یزدی و کیم[2] (۲۰۱۵) یک سیستم زهکشی شهری را در سئول بررسی کردند و یک مدل بهینه‌سازی زمان واقعی برای یافتن سیاست‌های بهینه برای عملکرد مشترک تأسیسات زهکشی، از جمله دریچه‌های ذخیره‌سازی و ایستگاه‌های پمپ چندگانه توسعه دادند. نتایج تجربی در یک مطالعه موردی واقعی نشان داد که مدل بهره‌برداری فعال دریچه‌های کنترل می‌تواند دبی اوج سیل را به طور متوسط حدود ۴۸ درصد کاهش دهد و کارایی سیستم انحراف رودخانه را تا ۴۷ درصد در مقایسه با اقدامات کنترل غیرفعال بهبود بخشد. دستاورد مدل بهره‌برداری پمپاژ از نظر کاهش سیل به طور متوسط از ۲۰ تا ۳۰ درصد است و نتیجه آن نیز دارای مزیت کاهش تعداد سوئیچ‌های پمپ تا ۳۴ درصد است. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی بهره‌برداری پمپاژ یک روش عملی و بسیار مؤثر برای کاهش حجم سیلاب و طغیان شهری بدون ایجاد تغییر در زیرساخت‌های سیستم موجود می‌باشد.

انجو[3] و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل SWMM به بررسی سیلاب بر اساس دو واقعه بارندگی در شهر سئول پرداختند و از مخازن تعدیل سیلاب برای کاهش میزان دبی اوج سیلاب استفاده نمودند. نتایج نشان داد که با بررسی بارش ۱۸۰ دقیقه‌ای سال ۲۰۱۰، میزان کاهش سیلاب ۷۹ درصد و با بارش سال ۲۰۱۱ میزان آن ۲۰ درصد بوده است.

احمدی‌شرف[4] و همکاران (۲۰۲۱) حوضه آبریز درکه در شمال تهران را بررسی کردند. آنها تأثیر حوضچه‌های ذخیره سیلاب بر کاهش سیلاب و همچنین حذف جامدات معلق[5] در آن را مورد ارزیابی قرار داده و تأثیرات استفاده از حوضچه‌های ذخیره را با روش سنتی انتقال سیل به شبکه کانال مقایسه کردند. نتایج نشان داد که استفاده از یک حوضچه بزرگ، کارآمدتر از چندین حوضچه کوچک به منظور کاهش سیل و حذف جامدات معلق خواهد بود. همچنین افزایش ابعاد کانال (عمق کانال) مقرون به صرفه‌تر از استفاده از حوضچه خواهد بود در حالی که استفاده از حوضچه‌های ذخیره حجم سیلاب بیشتری را کاهش داده و همچنین جامدات معلق را حذف خواهند کرد.

ونگ[6] و همکاران (۲۰۲۱) رودخانه یانگ‌تسه در چین را بررسی کردند. آنها مدلی برای بهینه‌سازی مکان انحراف سیل و مانور دریچه حوضچه تعدیل هوایانگ[7] در پایین‌دست رودخانه یانگ‌تسه توسعه دادند. مدل مذکور، مکان‌یابی انحراف و استراتژی کنترل را با هدف کاهش خسارات سیل در حوضه تعدیل با کمترین هزینه، بهینه می‌کند. نتایج نشان داد که بهینه‌سازی مانور دریچه‌های حوضچه تعدیل می‌تواند بطور قابل توجهی خسارات سیلاب را برای یک سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله کاهش دهد. همچنین مشخص شد که هر چه دریچه انحراف سیل به بالادست نزدیکتر باشد، مزایای کنترل سیل در منطقه حفاظت شده بیشتر ولی خسارات سیل در محدوده حوضچه تعدیل بیشتر است.

برکینشاو و کریتسف[8] (۲۰۲۲) دو حوضچه تعدیل سیلاب موجود و دو حوضچه بالقوه در حوضه برید برن[9] واقع در شهر ایدنبورگ اسکاتلند را بررسی کردند. آنها با استفاده از مدل هیدرولوژیکی Shetran[10]، تأثیر این حوضچه‌ها را بر دبی

[1] Bogardi and Balogh
[2] Yazdi and Kim
[3] Ngo
[4] Ahmadisharaf
[5] TSS (Total Suspended Solids)
[6] Wang
[7] Huayanghe
[8] Birkinshaw and Krivtsov
[9] Braid Burn
[10] PBSD (Physically-Based, Spatially-Distributed)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

رودخانه برای هشت رویداد بارندگی مطالعه کردند. نتایج نشان داد که حوضچه واقع در شهر بلکفورد[1] (که دارای بزرگ‌ترین ابعاد است) در کاهش دبی اوج در خروجی حوضه بهترین عملکرد را دارد. سه حوضچه دیگر، تقریباً با ابعاد یکسانی طراحی شدند. حوضچه بالقوه در قسمت فوقانی حوضه، دبی اوج در خروجی را کاهش می‌دهد؛ اما حوضچه در وسط حوضه و واقع در شهر اکسگانگ[2]، کاهش اندکی در میزان دبی اوج ایجاد می‌کند در حالی که حوضچه بالقوه در قسمت پایینی حوضه آبریز دبی اوج در خروجی را افزایش می‌دهد. مطابق نتایج هنگام در نظر گرفتن خطر سیل، مکان حوضچه تعدیل در یک حوضه آبریز رودخانه بسیار مهم بوده و در صورت قرار گرفتن در مکان اشتباه می‌تواند سیل را در خروجی تشدید کند. در این پژوهش بهترین مکان برای جانمایی حوضچه تعدیل، قسمت فوقانی حوضه بوده است. اگرچه مکان ایده‌آل به شکل حوضه و زمان تأخیر بستگی دارد.

گوپالان[3] و همکاران (۲۰۲۲) حوضه رودخانه چائو فرایا[4] در تایلند را که یک شبکه رودخانه پیچیده با چندین کانال انحرافی طبیعی و مصنوعی است، مطالعه کردند. آنها یک طرح انحراف آب منطقه‌ای برای حوضه چائو فرایا به منظور ارزیابی اثرات انحراف سیلاب بر مناطق پایین‌دست توسعه دادند. نتایج نشان داد که مقدار عمده سیلاب منحرف شده در کانال‌های انحراف به نقاط خروجی باز می‌گردد. در نتیجه اگرچه خطر سیل در نقطه انحراف کاهش می‌یابد، اما مقدار خطر در نقطه خروجی حوضچه به قوت خود باقی می‌ماند. در صورتیکه حوضچه‌های ذخیره سیل قادر به ذخیره مقدار سیلاب بیشتری باشند، آسیب سیل به مناطق مسکونی و تجاری واقع در پایین‌دست کاهش می‌یابد. این هدف با در نظرگیری حوضچه‌های ذخیره در زمین‌های زراعی آبی و غیر آبی بطور همزمان با در نظر گیری امکان تخلیه آب پس از اتمام سیلاب توسط پمپ‌ها به داخل رودخانه، بدست می‌آید. بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد طراحی مجزا و ترکیبی بندهای انحرافی به منظور کنترل سیل و تأثیر آن بر خصوصیات سیلاب رودخانه در نقاط آسیب‌پذیر سیلاب‌دشت کمتر مورد توجه بوده است. این در حالی است که در برخی از مناطق سیل‌خیز کشور مانند مناطق پایین‌دستی رودخانه گرگانرود، بدلیل توپوگرافی پست و هموار دشت آن، استفاده از انحراف سیل یکی از گزینه‌های اقتصادی و شدنی کنترل سیل است. در مقاله حاضر، تلاش شده است روشی برای جانمایی و طراحی این سازه‌ها بصورت همزمان و به همراه جانمایی محل‌های ذخیره‌سازی سیلاب ارائه شود.

در این پژوهش، ابتدا با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی Flo-2D، HEC-RAS و SWMM سیستم رودخانه-سیلابدشت شبیه‌سازی شده است و با بهره‌گیری از مدل رقومی-ارتفاعی حوضه در GIS و نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی، گودی‌های طبیعی حوضه، شناسایی و مکان‌های بالقوه استقرار مخازن ذخیره سیلاب تعیین شده‌اند. سپس، برای هر المان ذخیره، با در نظرگیری ملاحظات سازه‌ای و هیدرولیکی طراحی بندهای انحرافی، سیستم انحراف سیلاب رودخانه شامل بند انحرافی و کانال هدایت به محل المان ذخیره و حجم المان ذخیره، طراحی شده است. در ادامه، با توجه به معیارهای هزینه و کارایی، مکان‌های بالقوه مخازن ذخیره سیلاب اولویت‌بندی شده است و سه گزینه برتر سیستم انحراف بعنوان انتخاب نهایی مد نظر قرار گرفته است. در نهایت عملکرد مجزا و ترکیبی این سیستم‌های انحراف سیلاب، با هدف به حداقل رساندن بزرگی سیلاب در نقاط آسیب شاخص سیلاب‌دشت تحلیل می‌شود.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان در رودخانه‌ها و سیلابدشت، در حالت یک‌بعدی، معادلات سنت-ونان (معادلات بقای جرم و اندازه حرکت یک‌بعدی) (جعفرزاده[5]، ۱۳۹۵) و در حالت

[1] Blackford
[2] Oxgangs
[3] Gopalan
[4] Chao Phraya
[5] Jafarzade

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

دوبعدی معادلات آب‌های کم عمق (معادلات بقای جرم و اندازه حرکت دو بعدی) است (هادیان[1] و زراتی، ۱۳۸۸).

حل معادلات حاکم

برای حل معادلات حاکم بر جریان، در این تحقیق از سه مدل Flo-2D، HEC-RAS و SWMM استفاده شده است. شایان ذکر است که معادلاتی که هر سه مدل فوق بصورت عددی حل می‌کنند، معادلات یک‌بعدی سنت-ونان است. مدل Flo-2D برای شبیه‌سازی جریان دوبعدی در سیلابدشت، معادلات سنت-ونان را در ۸ جهت مختلف، شامل ۴ جهت اصلی (شمال، جنوب، شرق و غرب) و ۴ جهت فرعی (شمال شرقی، شمال غربی، جنوب شرقی و جنوب غربی) حل می‌کند. مدل HEC-RAS و مدل SWMM نیز معادلات سنت-ونان را در جهت جریان رودخانه بصورت عددی حل می‌کنند.

از مدل HEC-RAS به همراه افزونه HEC-GeoRAS در GIS برای تهیه مقاطع عرضی رودخانه و شبیه‌سازی اولیه جریان سیلاب در رودخانه استفاده شد. سپس این مقاطع عرضی به محیط برنامه SWMM وارد شد و شبیه‌سازی جریان در این مدل نیز انجام شد. در این پژوهش، از مدل SWMM برای شبیه‌سازی جریان رودخانه بهمراه بندهای انحرافی و کانال هدایت و مخازن تعدیل سیلاب استفاده شده است. لازم به ذکر است که حل SWMM در رودخانه طبیعی در سطح بین المللی سابقه علمی داشته است. از مدل Flo-2D در این پژوهش برای تعیین گودی‌های طبیعی زمین از طریق شبیه‌سازی میزان جمع‌شدگی آب در گودال‌های طبیعی و زمین‌های پست استفاده شده است. مدل Flo-2D در سال ۱۹۸۶، برای پیش‌بینی هیدرولیک جریان‌های سیلابی و واریزه‌ای طراحی شد. آژانس فدرال مدیریت اضطراری ایالات متحده[2] از توسعه مدل اولیه و اولین کاربرد آن در تلوراید (شهری در ایالت کلرادو) در سال ۱۹۸۸ حمایت کرد. در ۳۰ سال گذشته Flo-2D به عنوان پرکاربردترین مدل سیل تجاری موجود تبدیل شده است. Flo-2D از نظر حفظ حجم، سرعت، ثبات عددی و جزئیات یک مدل قابل اعتماد است (www.FLO-2D.com).

مطالعه موردی

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق بخشی از رودخانه گرگانرود، از بازه بعد از سد گلستان تا دلتای گرگانرود است. حوضه آبریز گرگانرود از شمال به حوضه آبریز اترک، از جنوب و جنوب غربی به حوضه‌های آبریز ایران مرکزی و قره‌سو و از غرب به دریای خزر منتهی می‌شود. این رودخانه پس از عبور از شهرهای گنبدکاووس، آق‌قلا و گمیشان در غرب خواجه‌نفس با تشکیل دلتای بزرگی به دریای خزر می‌ریزد. (نمازی‌راد[3] و همکاران، ۱۴۰۰).

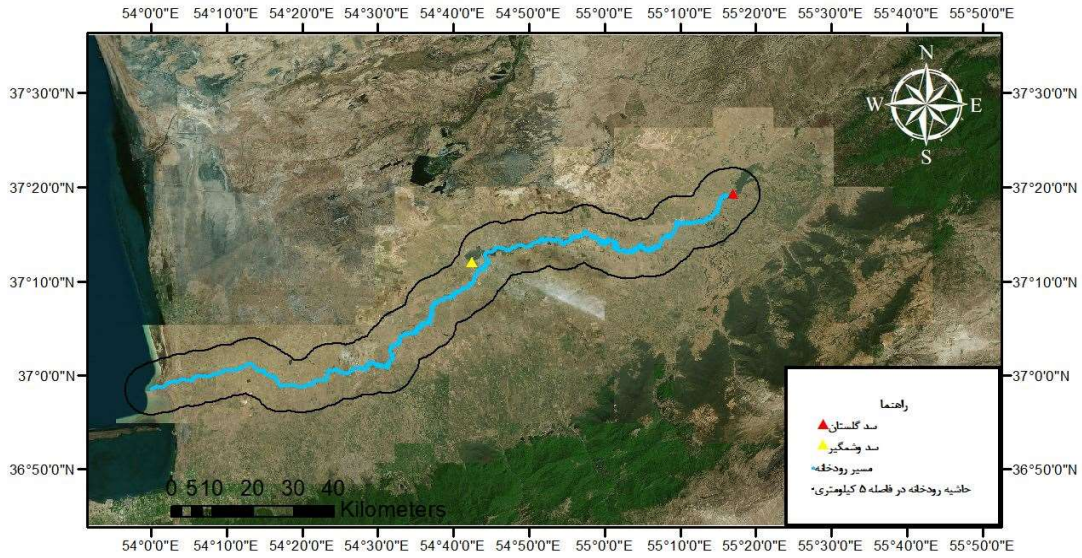
حوضه آبریز گرگانرود یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق سیل‌خیز در ایران است که حوادث سیلاب فاجعه باری دارد. بارش‌های رگباری شدید در استان گلستان از مهمترین عوامل وقوع سیلاب هستند. در سال‌های اخیر نیز وقوع این سیلاب‌های مخرب به عنوان یکی از مسایل مهم در مدیریت حوضه‌های آبریز بوده است. اغلب سیل‌های رخ داده از نوع سیل‌های تند و سریع با دبی لحظه‌ای بالا بوده‌اند. حوضه آبریز گلستان که دارای نواحی کوهستانی و جنگلی، دشت، تراکم جمعیتی بالا، تراکم زراعی زیاد و اهمیت ترابری است، استعداد سیل‌خیزی خیلی بالایی دارد. سیل‌های متعددی طی دو دهه اخیر در استان گلستان به وقوع پیوسته است اما پنج سیل بزرگ اردیبهشت سال ۱۳۷۱، مرداد سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۴ و فروردین ۱۳۹۸ را می‌توان به عنوان سیل‌های شاخص در نظر گرفت. به لحاظ رتبه و بزرگی سیل سال ۸۰ بزرگترین و سیل سال ۷۱ کوچکترین سیلاب و خوشبختانه بدون تلفات جانی بوده است. از تلفات ناشی از سیلاب می‌توان به تعداد کشته‌شدگان در سیل‌های مرداد ۱۳۸۰، مرداد ۱۳۸۴، فروردین ۱۳۹۸ اشاره کرد که این آمار به ترتیب حدود ۲۵۴، ۴۰ و ۱۳ نفر بوده است. همچنین خسارات مالی ناشی از وقوع سیلاب‌های مهیب سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۴ به ترتیب حدود ۱۸۰ ، ۷۳۶ و ۲۵۰ میلیارد ریال (بر اساس قیمت‌های سال‌های مذکور) برآورد

[1] Hadian
[2] FEMA
[3] Namazirad

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

شده است. علاوه بر سیل‌های شاخص، هر ساله تعداد سیل کوچکتر با خسارات مالی و جانی کمتر نیز به وقوع می‌پیوندد (گزارش هیات ملی سیلاب، ۱۳۹۸).

در جریان سیل فروردین‌ماه ۱۳۹۸ استان گلستان، شهرهای گنبدکاووس، آق‌قلا، بندر ترکمن، گمیشان و غیره که در مسیر رودخانه‌های قره‌سو و گرگانرود قرار داشتند خسارت قابل توجهی متحمل شدند. سیل همچنین بخش‌هایی از استان گلستان، به ویژه گنبدکاووس را درگیر کرد. بارندگی شدید در شرق استان گلستان آغاز شد و طی ۴۸ ساعت به‌طور مداوم در برخی شهرستان‌های این استان ادامه داشت که میزان آن تا ۳۰۰ میلی‌متر رسید، این بارندگی‌ها موجب شد سدهای بوستان و گلستان در شرق استان گلستان سرریز کنند و رودخانه‌های چهل‌چای و گرگانرود طغیان کنند. شکل (۱)، نمای کلی رودخانه گرگانرود بعد از سد گلستان و حاشیه رودخانه را در عرض ۵ کیلومتری را نشان می‌دهد. همچنین، شکل (۲)، پهنه‌ی سیل ایجاد شده در نرم افزار HEC-RAS را برای سیلاب انتهای فروردین‌ماه سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمای کلی رودخانه گرگانرود بعد از سد گلستان

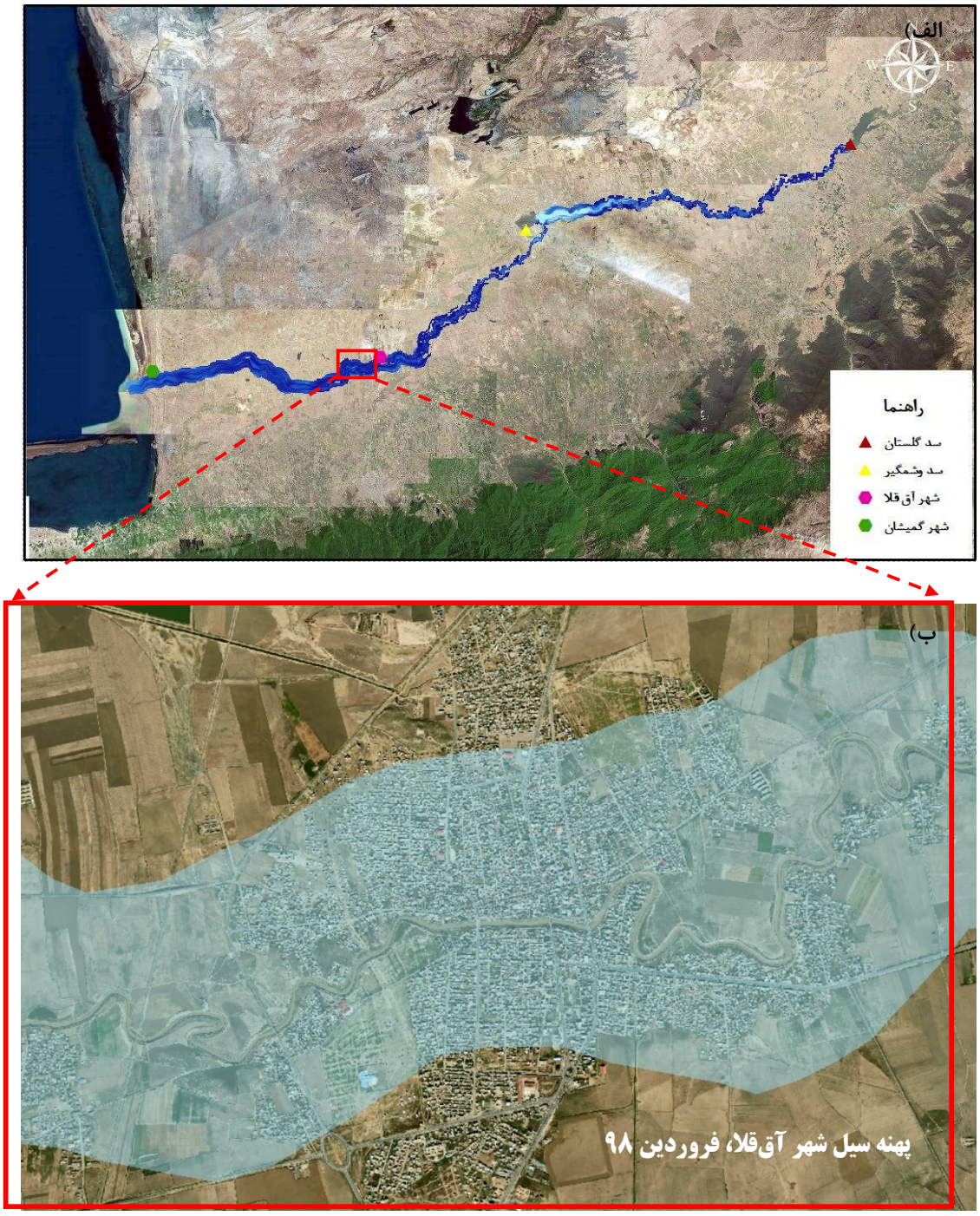
معیارهای طراحی بند انحرافی

سیستم‌های انحراف آب از رودخانه، برای آبگیری از رودخانه در محل بندهای انحرافی استفاده می‌شود. عامل پایداری این نوع سازه‌ها در مقابل نیروهای وارده، وزن و شکل آنهاست. یعنی شکل سازه بند انحرافی باید طوری طراحی شود که بر اثر وزن خود در مقابل عوامل ناپایداری سازه نظیر لغزش و واژگونی ناشی از نیروهای وارده، مقاومت کند. علاوه بر نیروهای وارده بر بند انحرافی، وقوع پدیده‌هایی نظیر زیرشویی[1] و جوشش[2] که بستگی به نوع مصالح پی بند انحرافی و بار هیدرولیکی موجود دارند، ممکن است پایداری بند انحرافی را به خطر بیندازند (ظهیری[3] و جعفری، ۱۳۹۹). در این مقاله، طراحی بندها در محل‌های جانمایی شده بر اساس معیارهای پایداری[4] سازه‌ای شامل پایداری در مقابل لغزش[5]، پایداری در مقابل واژگونی[6] و تنش یا خستگی قائم در سطح بدنه بند انحرافی انجام شده است. علاوه بر پایداری سازه‌ای، پایداری پی نیز حائز اهمیت است. حرکت جریان آب زیر پی در اثر اختلاف انرژی بالادست و پایین‌دست بند

[1] Piping
[2] Boiling
[3] Zahiri
[4] Stability Criteria
[5] Sliding Stability
[6] Stability Against Overturning

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

انحرافی، موجب اعمال نیرو به ذرات خاک و در نتیجه
احتمال حرکت ذرات خاک پی می‌شود.



شکل (۲): پهنه سیل اواخر فروردین ۹۸، الف) نمای کلی پهنه قبل از احداث بند انحرافی، ب) پهنه سیل در محدوده شهر آق‌قلا

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

تحت شرایط خاصی، حرکت ذرات خاک باعث وقوع پدیده‌های زیرشویی و جوشش می‌گردند که وقوع هر یک از این پدیده‌ها، پایداری سازه‌ای بند انحرافی را مختل خواهد کرد. پدیده‌های زیرشویی و جوشش نیز بر اساس معیارهای تئوری خزش لین و بررسی شیب هیدرولیکی بحرانی در طراحی بندهای انحرافی کنترل شده است. شایان ذکر است که کنترل پایداری سازه‌ای و پی بندهای انحرافی طراحی شده در این پژوهش، از طریق ماکرونویسی در محیط EXCEL انجام شده است.

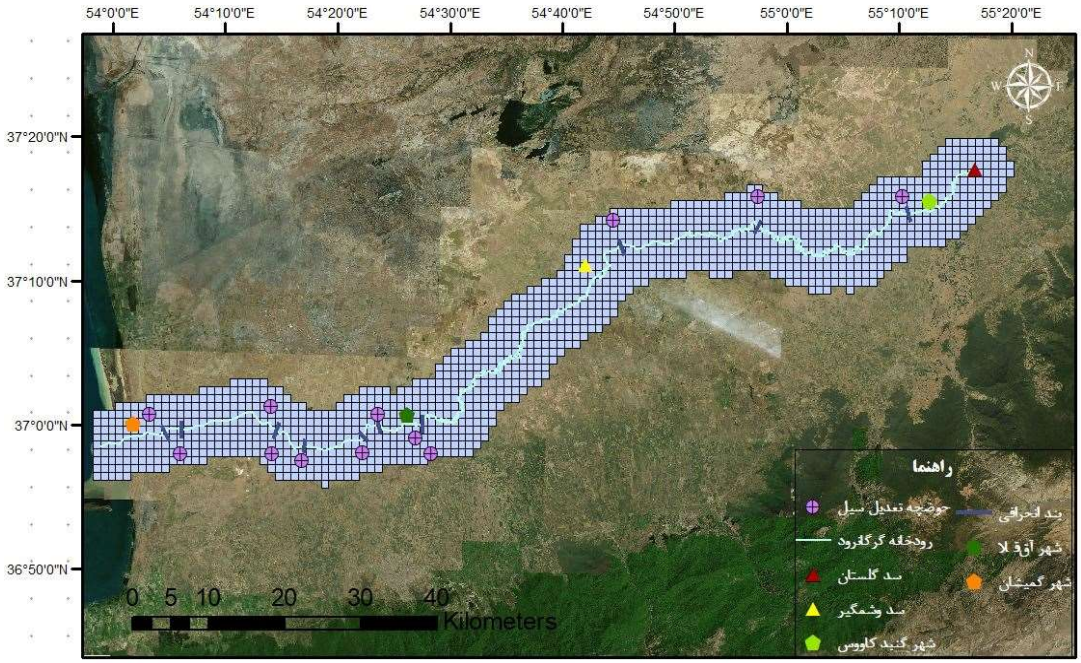
برای بندهای انحرافی با توجه به اهمیت سازه، معمولا از دبی‌های سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله یا ۱۰۰ ساله استفاده می‌شود. در این تحقیق، طراحی بر مبنای سیلاب ۵۰ ساله انجام شده و معیارهای طراحی بر اساس این سیلاب رعایت شده‌اند.

مکان‌یابی حوضچه‌های تعدیل سیلاب

به منظور مکان‌یابی حوضچه‌های تعدیل سیلاب، مدل رقومی-ارتفاعی کل حوضه گرگانرود به مدل هیدرولیکی Flo–2D معرفی شد و یک مقدار بارش بسیار بزرگ برابر ۱۵۰۰ میلیمتر به مدت ۱۵ ساعت بر روی یک شبکه محاسباتی با ابعاد مش ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر شبیه‌سازی شد و بر مبنای عمق آب‌گرفتگی سلول‌ها، ۲۰ سلول محاسباتی که بیشترین عمق آب گرفتگی را داشتند (در تراز ارتفاعی پایین‌تری قرار داشتند)، انتخاب شدند. سپس، با توجه به محدودیت‌هایی از قبیل: راه‌های دسترسی مختلف، مالکیت اراضی، وجود مراکز جمعیتی در مسیر کانال‌های انحراف، مناسب نبودن مکان حوضچه تعدیل طبق نقشه طبیعی زمین و غیره، تعدادی از مکان‌های بالقوه برای حوضچه‌های تعدیل سیلاب حذف و در نهایت ۱۲ نقطه بعنوان محل‌های بالقوه ذخیره سیلاب انتخاب شد. لازم به توضیح است که بارش بزرگ ۱۵۰۰ میلیمتر بر روی حوضه، صرفا برای شناسایی نقاط گود (توسط مدل FLO-2D) و تعیین محل مخازن ذخیره‌سازی سیل در سیستم انحراف بوده است، نه به منظور طراحی بند و سیستم انحراف. شکل (۳)، محل‌های مناسب قرارگیری حوضچه‌های ذخیره‌سازی سیل (بر اساس میزان گود بودن آنها) را نسبت به رودخانه گرگانرود به همراه شبکه محاسباتی ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر، همچنین محل قرارگیری بندهای انحرافی، موقعیت سدهای گلستان و وشمگیر و شهرهای گنبد کاووس، آق‌قلا و گمیشان را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که ارتفاع حوضچه‌های ذخیره، ۶ متر در نظر گرفته شده است تا ضمن اینکه امکان کشاورزی و کشت گیاهان در آنها وجود داشته باشد، حجم ذخیره سیلاب نیز بیشینه شود. بعبارت دیگر، فرض بر این است که کاربری زمین در شرایط غیر سیلابی در فصول مختلف سال همچنان بقوت خود باقی است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]



شکل (۳): موقعیت پیشنهادی حوضچه‌های تعدیل سیلاب و بندهای انحرافی انتخاب شده

در ادامه، هزینه احداث سیستم انحراف سیلاب شامل بندهای انحرافی، کانال‌های انتقال، دریچه‌های آبگیر و حوضچه‌های تعدیل سیل، مطابق فهرست بهای سال ۱۴۰۱ محاسبه می‌شود. عواملی مانند مجموع هزینه احداث هر حوضچه (که شامل هزینه احداث کانال انتقال، بند انحرافی، حوضچه تعدیل و دریچه مرتبط با آن نیز می‌شود)، میزان اهمیت مکان حوضچه از نظر راه‌های دسترسی به آن، نزدیک بودن به شهرهای پرجمعیت و غیره، بررسی شده و در نهایت ۳ حوضچه که هزینه کمتری دارند و نزدیک به نقاط آسیب قرار دارند، بعنوان محل نهایی ذخیره سیلاب پیشنهاد شده است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

جدول (۱)، مشخصات محل‌های شناسایی شده برای حوضچه‌ها، حجم حوضچه تعدیل سیلاب، طول و ارتفاع کانال انتقال، ارتفاع بند انحرافی (بر مبنای طراحی انجام شده)، ارتفاع دهانه آبگیر نسبت به بستر رودخانه و هزینه هر یک (شامل هزینه احداث کانال انتقال، بند انحرافی و حوضچه تعدیل سیلاب) را نشان می‌دهد.

همچنین به علت عریض بودن رودخانه در محل احداث بند، توصیه شده است از سرریز آزاد به جای دریچه قطاعی استفاده شود (ظهیری و جعفری، ۱۳۹۹).

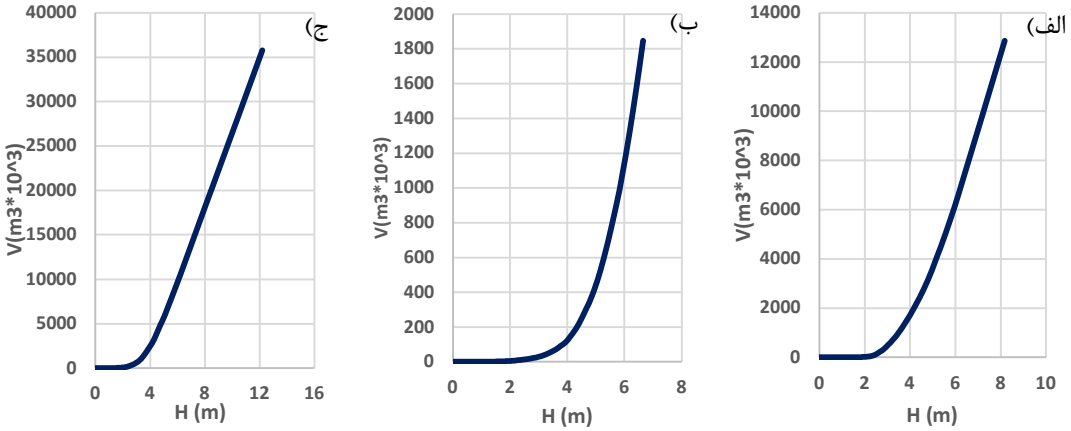
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

جدول (۱): مشخصات سیستم انحراف شامل بند انحرافی و حوضچه تعدیل به همراه هزینه‌های سیستم

بند انحرافی	طول جغرافیایی حوضچه تعدیل	عرض جغرافیایی حوضچه تعدیل	حجم حوضچه تعدیل (مترمکعب)	ارتفاع بند (متر)	طول کانال انتقال (متر)	عرض کانال انتقال (متر)	ارتفاع کانال انتقال (متر)	ارتفاع دهانه آبگیر نسبت به بستر رودخانه (متر)	مجموع هزینه‌ها (میلیارد ریال)
بالادست شهر آق‌قلا ۱	۵۴/۴۸	۳۶/۹۸	۲۹۲۲۶۹۳۶	۲/۱	۳۸۵۹	۱۲	۶	۲/۱	۸۵۰/۱۵۳
بالادست شهر آق‌قلا ۲	۵۴/۳۹۵۱	۳۶/۹۷۴۰	۲۰۶۹۰۱۶۰	۳/۹	۳۸۲۸	۱۲	۶	۳/۹۴	۷۴۲/۴۰۴
بالادست شهر گمیشان	۵۴/۱۱۵۸	۳۶/۹۷۷۵	۳۰۱۵۱۹۹۲	۲/۴	۲۲۵۳	۱۲	۶	۱/۴۳	۸۳۹/۷۲۸

برای مدلسازی بندهای انحرافی در نرم‌افزار SWMM به منحنی حجم – ارتفاع مخزن بندهای انحرافی نیز نیاز است. این محنی‌ها با استفاده از مدل رقومی – ارتفاعی در محیط HEC-RAS2D استخراج شده است. شکل (۴) این منحنی‌ها را نشان می‌دهد.



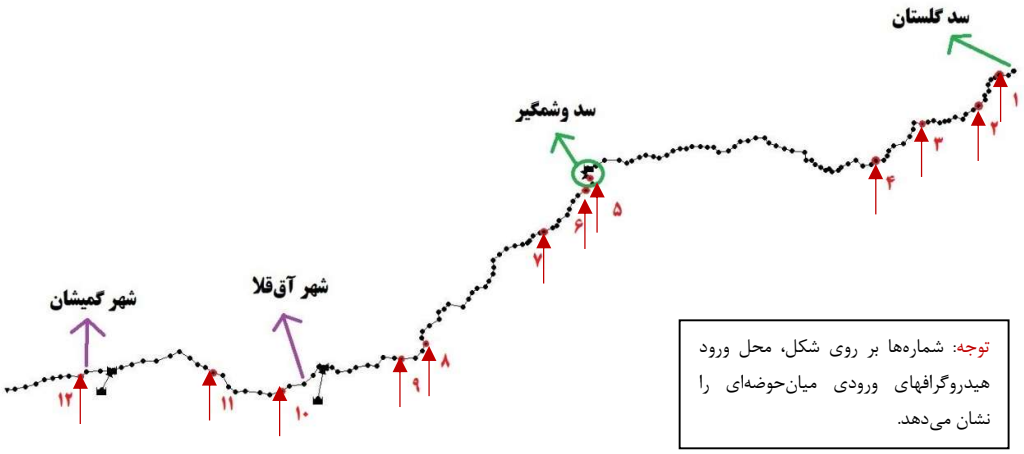
شکل (۴): منحنی حجم – ارتفاع مخزن بندهای انحرافی، الف) مخزن بالادست آق‌قلا ۱، ب) مخزن بالادست آق‌قلا ۲، ج) مخزن بالادست گمیشان

شکل (۵)، موقعیت‌های بالقوه شناسایی شده برای بندهای انحرافی و مخازن تعدیل سیل را نسبت به رودخانه گرگانرود و نقاط آسیب انتخابی (شهر آق‌قلا و گمیشان) و همچنین محل وارد شدن هیدروگراف‌های ورودی را در نرم‌افزار SWMM نشان می‌دهد.

هیدروگراف‌های ورودی میان‌حوضه‌ای (که از مدل واسنجی شده بارش-رواناب حوضه استخراج شده است)، شامل ۱۲ هیدروگراف بوده که با نقاط قرمز رنگ و بصورت عدد در شکل نمایش داده شده است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]



شکل (۵): مدل نهایی رودخانه گرگانرود و سیستم انحراف سیلاب آن در نرم‌افزار SWMM

نتایج و بحث

چهار واقعه سیل مهم استان گلستان که بزرگترین وقایع از نظر مقدار بارش بوده‌اند، انتخاب شده است. مشخصات این چهار واقعه در جدول (۲) آورده شده است. برای شبیه‌سازی بارش-رواناب این وقایع، از مدل واسنجی شده SWMM حوضه آبریز گرگانرود (Alizadeh & Yazdi, 2023) استفاده شد و در نهایت، مشخصات سیل رسیده به نقاط آسیب مهم مانند شهرهای پر جمعیت آق‌قلا و گمیشان در هر واقعه، مشخص شد.

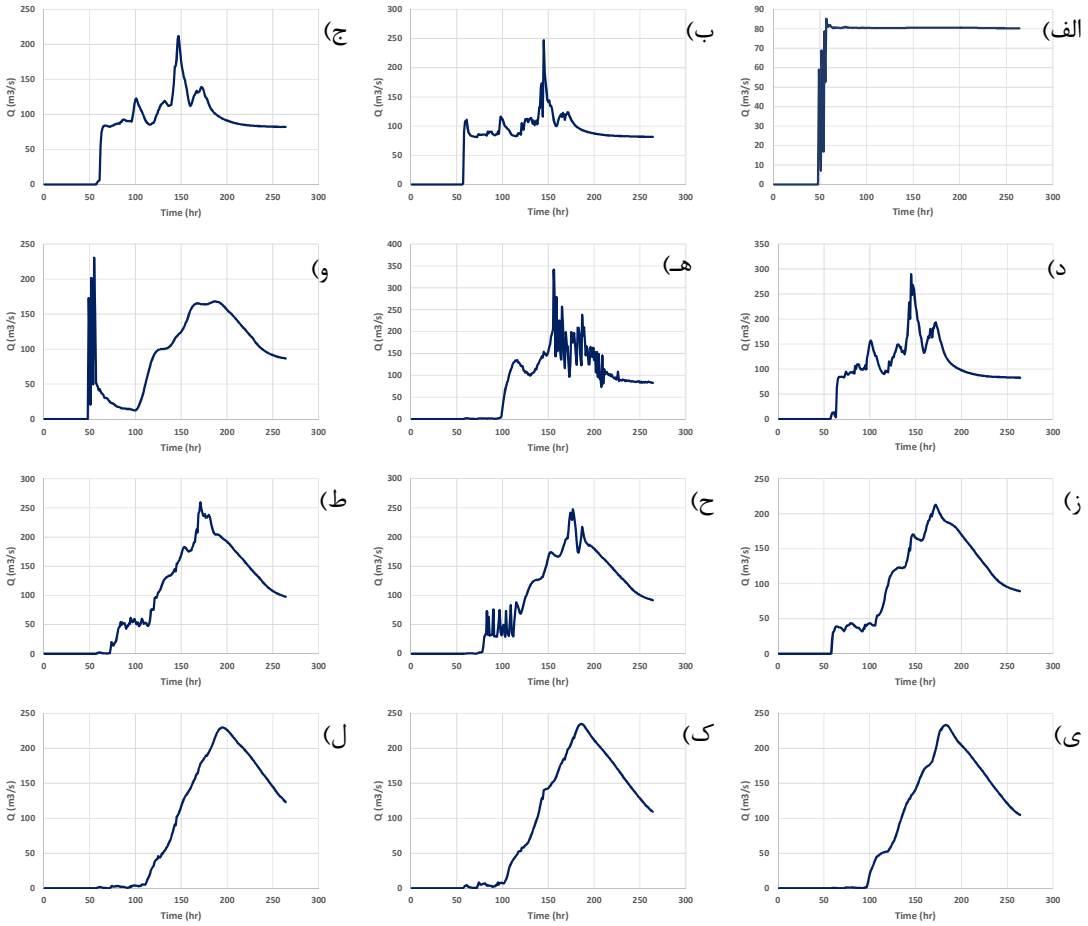
جدول (۲): وقایع بارش‌های سنگین حوضه گرگانرود در سوابق تاریخی آن

ردیف	تاریخ واقعه	متوسط مدت بارندگی ایستگاه‌ها (hr)	متوسط عمق تجمعی بارش ایستگاه‌ها (mm)
۱	۱۸ مرداد ۱۳۸۴	۷/۸۵	۵۹/۹۹
۲	۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۶	۴۳	۲۷/۷۸
۳	۱۲ شهریور ۱۳۹۵	۶/۵	۴۱/۵۵
۴	۳۰ فروردین ۱۳۹۸	۲۸/۸	۴۶/۳۶

همچنین هیدروگراف‌های ورودی به حوضه گرگانرود برای سیل سال ۱۳۹۸ بصورت ۱۲ هیدروگراف ورودی و مطابق شکل (۶) خواهد بود. همچنین محل ورود این هیدروگراف‌ها مطابق اعداد مشخص شده در شکل (۵) خواهد بود.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]



شکل (۶): هیدروگراف‌های ورودی به رودخانه گرگانرود در محدوده مورد مطالعه، الف) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۱، ب) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۲، ج) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۳، د) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۴، هـ) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۵، و) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۶، ز) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۷، ح) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۸، ط) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۹، ی) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۱۰، ک) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۱۱، ل) هیدروگراف میان حوضه‌ای ۱۲

پارامترهای ورودی اصلی مدل SWMM برای روندیابی سیل در رودخانه ضریب مانینگ سیلابدشت و ضریب مانینگ کانال اصلی بوده که مقدار ضریب مانینگ برای کانال اصلی ۰/۰۳۵ و برای سیلابدشت ۰/۰۵ بر اساس مطالعات هیدرولیکی قبلی صورت گرفته در حوضه گرگانرود انتخاب شده است (WRI, 2012).

در ادامه، تأثیر سیستم انحراف و مخازن تعدیل سیلاب طراحی شده (جدول (۱)) بر کاهش شدت سیلاب در نقاط مورد نظر (ورودی شهرهای آق قلا و گمیشان) بررسی شده است و با حالت بدون در نظرگیری مخازن بر حسب هیدروگراف رسیده به نقاط آسیب، مقایسه شده است.

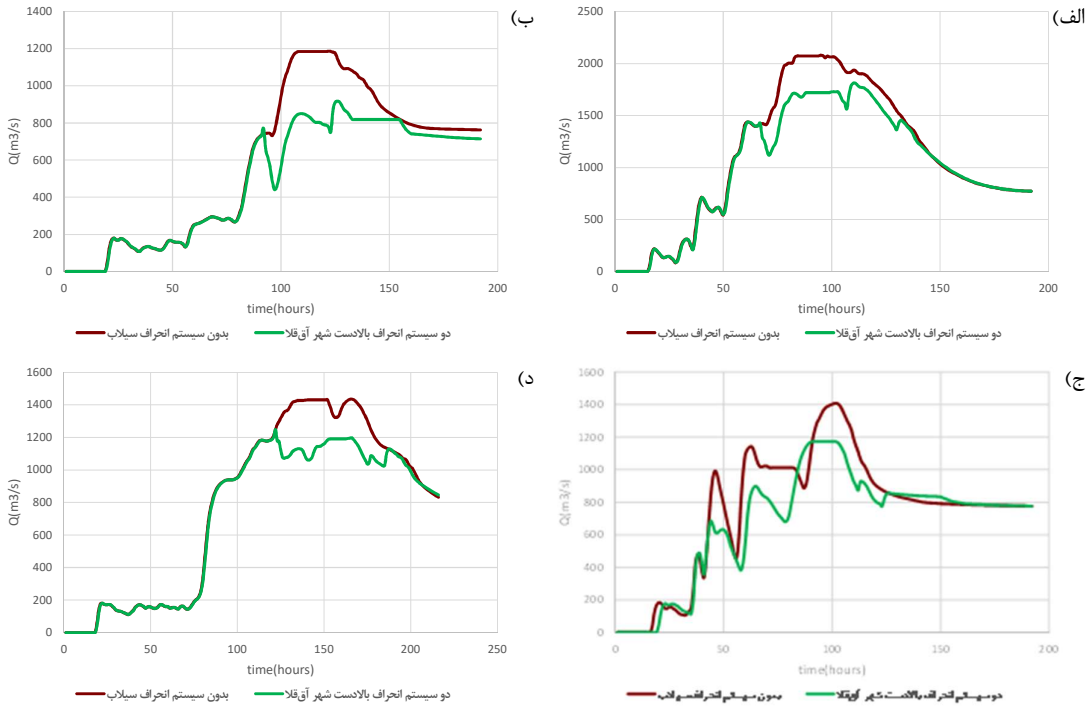
شکل (۷)، هیدروگراف ورودی به شهر آق‌قلا بدون در نظر گیری سیستم انحراف سیلاب و در حالت در نظر گیری دو سیستم انحراف بر روی گرگانرود در بالادست این شهر را نمایش می‌دهد.

در شکل (۷ – الف)، واقعه ۱۸ مرداد ۱۳۸۴ بررسی شده و طی آن، دبی اوج هیدروگراف در صورت استفاده از سیستم انحراف بالادستی، از مقدار ۲۰۷۹/۶۲ متر مکعب بر ثانیه به ۱۸۱۰/۸۱ متر مکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد.

شکل (۷ – ب)، اثر استفاده از سیستم انحراف سیلاب بر واقعه ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۶ را نشان داده که طی آن، دبی اوج هیدروگراف از ۱۱۸۵/۹۱ متر مکعب بر ثانیه به ۹۱۷/۰۶ متر مکعب بر ثانیه رسیده است. در شکل (۷ – ج)، واقعه

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

۱۲ شهریور ۱۳۹۵ در نظر گرفته شده و طی آن دبی پیک از ۱۴۰۹/۱۳ متر مکعب بر ثانیه به ۱۱۷۲/۶ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است. مطابق شکل (۷ – د)، مدل طی واقعه ۳۰ فروردین ۱۳۹۸ که بزرگترین سیل مورد بررسی بوده است، دبی پیک را از مقدار ۱۴۳۶/۲۶ متر مکعب بر ثانیه به ۱۲۴۸/۷۱ متر مکعب بر ثانیه تقلیل داده است.



شکل (۷): هیدروگراف سیل ورودی به شهر آق‌قلا در حالت در نظر گیری دو سیستم انحراف سیلاب در بالادست شهر آق‌قلا و بدون در نظر گیری سیستم انحراف سیلاب، الف) واقعه ۱۸ مرداد ۱۳۸۴، ب) واقعه ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۶، ج) واقعه ۱۲ شهریور ۱۳۹۵، د) واقعه ۳۰ فروردین ۱۳۹۸

شکل (۸)، هیدروگراف ورودی به شهر گمیشان بدون در نظر گیری سیستم انحراف سیلاب و با در نظر گیری سه سیستم انحراف را نمایش می‌دهد.

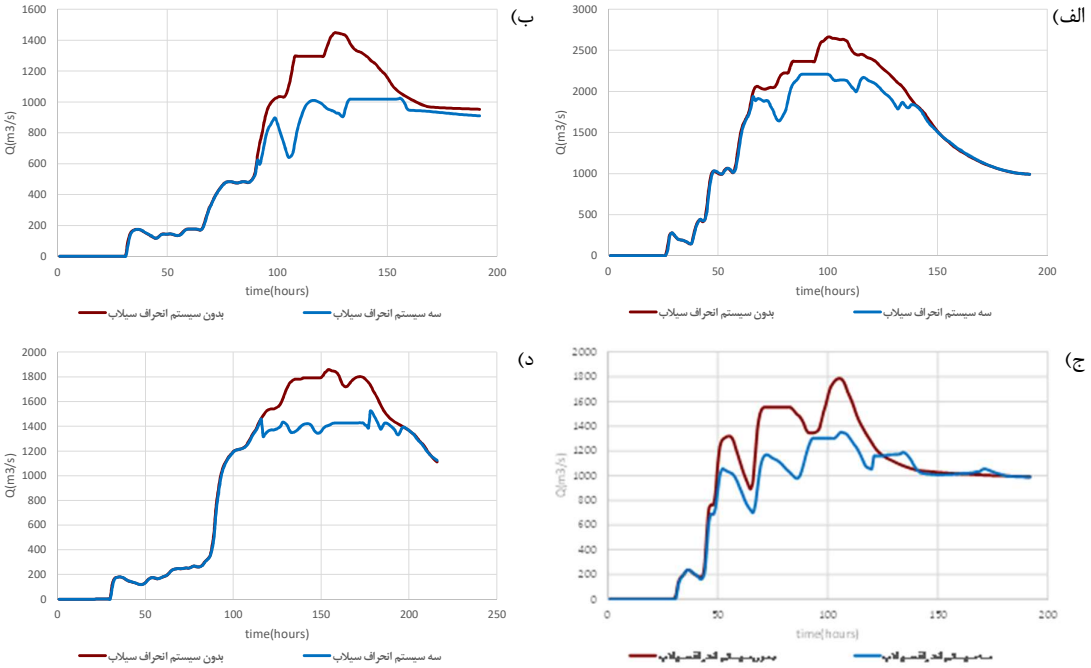
در شکل (۸ – الف)، واقعه ۱۸ مرداد ۱۳۸۴ بررسی شده و طی آن، دبی اوج هیدروگراف در صورت استفاده از سیستم انحراف، از مقدار ۲۶۶۲/۹۵ متر مکعب بر ثانیه به ۲۲۰۹/۲۷ متر مکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد. شکل (۸ – ب)، اثر استفاده از سیستم انحراف سیلاب بر واقعه ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۶ را نشان داده که طی آن، دبی اوج هیدروگراف از ۱۴۴۷/۶۵ متر مکعب بر ثانیه به ۱۰۲۳/۵۸ متر مکعب بر ثانیه رسیده است. در شکل (۸ - ج)، واقعه ۱۲ شهریور ۱۳۹۵ در نظر گرفته شده و طی آن در صورت استفاده از سیستم انحراف، دبی اوج هیدروگراف از مقدار ۱۷۸۷/۰۱ متر مکعب بر ثانیه به ۱۳۵۳/۰۵ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است. همچنین، مطابق شکل (۸ – د)، طی واقعه ۳۰ فروردین ۱۳۹۸، درصورت استفاده از سیستم انحراف طراحی شده، دبی پیک از مقدار ۱۸۵۸/۳۶ متر مکعب بر ثانیه به ۱۵۲۳/۱۸ متر مکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد.

مقادیر کاهش میزان دبی پیک هیدروگراف ورودی به شهرهای آق‌قلا و گمیشان طی چهار واقعه مورد بررسی بشرح جدول (۳) و جدول (۴) است.

شایان ذکر است که با توجه به عمق زیاد بارش و مدت نسبتا طولانی وقایع مورد بررسی، در طی این وقایع، سدهای حوضه کاملا پر بوده و با تمام ظرفیت رهاسازی داشته‌اند. لذا در این پژوهش نیز، این شرایط، بعنوان شرایط اولیه در مدل بارش-

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

رواناب لحاظ شده است و مانور دریچه‌های سدها بررسی نشده است.



شکل (۸): هیدروگراف سیل ورودی به شهر گمیشان در حالت در نظر گیری سه سیستم انحراف سیلاب در بالادست شهر گمیشان و بدون در نظر گیری سیستم انحراف سیلاب، الف) واقعه ۱۸ مرداد ۱۳۸۴، ب) واقعه ۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۶، ج) واقعه ۱۲ شهریور ۱۳۹۵، د) واقعه ۳۰ فروردین ۱۳۹۸

جدول (۳): میزان کاهش دبی پیک هیدروگراف ورودی به شهر آق‌قلا در حالت استفاده از یک و دو سیستم انحراف سیلاب

ردیف	تاریخ واقعه	درصد کاهش دبی پیک درصورت استفاده از دو سیستم انحراف سیلاب	درصد کاهش دبی پیک درصورت استفاده از دو سیستم انحراف سیلاب
۱	۱۸ مرداد ۱۳۸۴	٪ ۶/۴۶	٪ ۱۲/۹۲
۲	۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۶	٪ ۱۲/۱	٪ ۲۲/۶۷
۳	۱۲ شهریور ۱۳۹۵	٪ ۵/۸۸	٪ ۱۶/۷۸
۴	۳۰ فروردین ۱۳۹۸	٪ ۵/۳۶	٪ ۱۳/۰۵

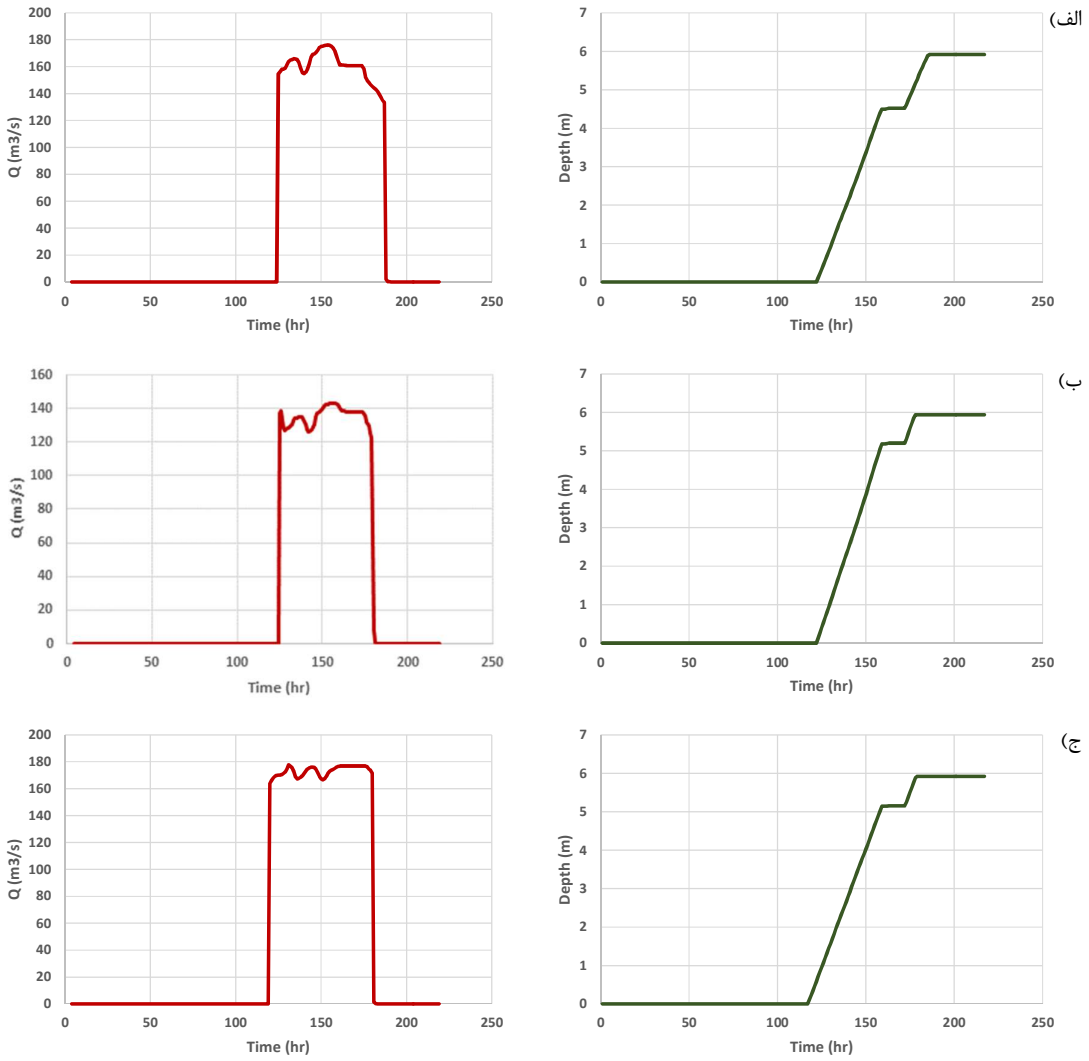
جدول (۴): میزان کاهش دبی پیک هیدروگراف ورودی به شهر گمیشان در حالت استفاده از سه سیستم انحراف سیلاب

ردیف	تاریخ واقعه	درصد کاهش دبی پیک درصورت استفاده از سه سیستم انحراف سیلاب
۱	۱۸ مرداد ۱۳۸۴	٪ ۱۷/۰۳
۲	۲۴ اردیبهشت ۱۳۸۶	٪ ۲۹/۲۹
۳	۱۲ شهریور ۱۳۹۵	٪ ۲۴/۲۸
۴	۳۰ فروردین ۱۳۹۸	٪ ۱۸/۰۳

در انتها، نمودار تغییرات زمانی سطح آب در سه حوضچه تعدیل مربوط به سیستم انحراف سیل و همچنین هیدروگراف جریان ورودی به کانال‌های انتقال متناظر با آنها، بعنوان نمونه برای واقعه سیل فروردین ۱۳۹۸ در شکل (۹) نمایش داده شده است.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]



شکل (۹): تغییرات سطح آب و جریان ورودی به کانال انتقال طی واقعه ۳۰ فروردین ۱۳۹۸، الف) سیستم انحراف بالادست آق‌قلا ۱، ب) سیستم انحراف بالادست آق‌قلا ۲، ج) سیستم انحراف بالادست گمیشان

همانطور که این شکل نشان می‌دهد، هر سه حوضچه ذخیره مورد استفاده در سیستم انحراف، طی واقعه فروردین ۱۳۹۸، کاملاً پر شده و از تمام ظرفیت آنها برای تعدیل سیل استفاده شده است.

بحث و نتیجه‌گیری

اهم نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته در این پژوهش به شرح ذیل است:

۱- طی ۴ واقعه سیل بررسی شده، در صورت استفاده از دو سیستم انحراف سیلاب در بالادست شهر آق‌قلا، دبی اوج هیدروگراف ورودی به این شهر، بطور متوسط ۱۶/۳۵ درصد کاهش یافته است.

۲- در صورت استفاده از یک سیستم انحراف سیلاب در بالادست شهر آق‌قلا، دبی اوج هیدروگراف ورودی به این شهر، بطور متوسط ۷/۴۵ درصد کاهش می‌یابد.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

۳- دبی اوج هیدروگراف ورودی به شهر گمیشان، در حالت در نظر گیری سه سیستم انحراف سیلاب در بالادست این شهر، بطور متوسط ۲۲/۱۵ درصد کاهش خواهد یافت.

۴- نتایج کاهش شدت سیل بدست آمده از سیستم‌های انحراف طراحی شده، برای بزرگترین وقایع تاریخی سیل رخ داده در حوضه گرگانرود بوده است. انتظار می‌رود با توجه به ابعاد سیستم انحراف، طراحی شده تأثیر این سیستم‌ها بر تسکین سیلاب وقایع بارش کوچکتر، بیشتر باشد.

در انتها لازم است به این نکته اشاره شود که در تحقیق حاضر، تنها جانمایی و طراحی بندهای انحرافی و سیستم ذخیره سیلاب مورد توجه قرار گرفت، حال آنکه نحوه بهره‌برداری از سیستم انحراف سیلاب یعنی میزان دبی انحراف و زمان مناسب آن یا بعبارتی میزان گشودگی دریچه‌های سیستم انحراف در زمان‌های مختلف نیز بر شدت سیل در پایین‌دست اثرگذار است که مجال پرداختن به آن در این تحقیق وجود نداشت. این موضوع می‌تواند در پژوهش‌های آتی مطالعه شود. همچنین، با توجه به در دسترس نبودن مدل رقومی-ارتفاعی دقیق از سیلابدشت رودخانه، برآورد هزینه‌ها و میزان کارایی سیستم طراحی شده تقریبی بوده و با تهیه مدل رقومی-ارتفاعی دقیق‌تر از بستر و سواحل رودخانه، از جنبه کاربردی، نتایج تحقیق باید تدقیق و بروزرسانی شود. در این پژوهش، فرض بر این بود که جریان جدا شده از رودخانه، در مخازن تعدیل سیل ذخیره می‌شود و در اثر نفوذ و یا تبخیر در مخزن تعدیل سیلاب به مرور زمان فروکش می‌کند. می‌توان امکان بازگشت جریان سیل ذخیره شده به بازه‌های پایین‌دست رودخانه (بعد از نقاط آسیب) را از طریق تعریف سازه خروجی برای مخزن ذخیره و کانال هدایت به سمت رودخانه نیز بررسی کرد. در این حالت، انعطاف‌پذیری بیشتری برای بهره‌برداری مؤثرتر از حجم المان ذخیره در طی زمان سیل وجود دارد. البته هزینه‌های سیستم انحراف سیلاب نیز در کنار آن افزایش خواهد داشت.

مراجع

1- Ahmadisharaf, E., Alamdari, N., Tajrishy, M., Ghanbari, S., (2021), "Effectiveness of Retention Ponds for Sustainable Urban Flood Mitigation across Range of Storm Depths in Northern Tehran, Iran", Journal of Sustainable Water in the Built Environment.

2- Alizadeh, Z. Yazdi, J. (2023), "Calibration of Hydrological Models for Ungauged Catchments by Automatic Clustering Using a Differential Evolution Algorithm: The Gorganrood river basin case study", Journal of Hydroinformatics (2023) 25 (3): 645–662.

3- Birkinshaw, S., Krivtsov, V., (2022), "Evaluating the Effect of the Location and Design of Retention Ponds on Flooding in a Peri-Urban River Catchment". Land 2022, 11, 1368.

4- Bogardi, I., Balogh, E., (2014), "Floodway System Operation along Levee-Protected Rivers", J. Water Resour. Plann. Manage, Vol. 140, No. 8, Pp. 04014014.

5- Ghasemi, S. and Faghfour Maghrebi, M., (1394), "Analyze the best method of collecting surface runoff in Mashhad", 14th Hydraulic Conference of Iran, Faculty of Engineering Shahid Nikbakht, Zahedan, Pp. 8. (In Persian)

6- Gopalan, S., Champathong, A., Sukhapunnaphan, T., Nakamura, S., Hanasaki, N., (2022), "Inclusion of flood diversion canal operation in the H08 hydrological model with a case study from the Chao Phraya River basin: model development and validation", Hydrol. Earth Syst. Sci., 26, 2541–2560.Hadian, M.R., Zarati, A.R., (1388), "Numerical models of shallow waters and their application in river and coast engineering", Publications of Amirkabir University of Technology. (In Persian)

7- Jafarzade, M.R., (1395), "River Mechanics, translation of the book River Mechanics, Pir Zhulin", Publications of Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)

8- Karamooz, M., Doroodi, S., Moridi, A., (1395), "Optimum design for the dimensions of diversion system in dams by examining and analyzing hydraulic uncertainty and hydrological risk", Scientific-Research Journal, Vol. 11, No. 1. (In Persian)

9- Karamouz, M., Doroudi, S., Moridi, A., (2018), "Developing a model for optimizing the geometric characteristics of water diversion systems", J Irrig Drain Eng 144.

10- Khajenasiri, A., Golkar, H., Tavoosi, M., (1394), "Using retarding ponds to adjust and reduce flood volume using storm and sanitary analysis (ASSA) and GIS", Khorasan razavi research and education center for agriculture and natural resources scientific association of rain catchment surface systems of Iran.

11- Leon, S. E, P. ASCE, M. Kanashiro, A., (2012), "A Dynamic Framework for Intelligent Control of River Flooding - A Case Study", Journal of Water Resources Planning and Management, Pp. 1943-5452.0000260.

12- Loucks, D., Stahr, M., (2006), "Operation of the Trinity River/FortWorth Central City Flood Management System", World Environmental and Water Resource Congress.

13- Meraji, H., Afshar, M., Afshar, A., (1387), "Optimum Design of Flood Control Systems Using Particle

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

Swarm Optimization Algorithm", International Journal of Engineering Sciences of Iran University of Science and Technology, Special Issue of Civil Engineering, Vol. 19, No. 8, Pp. 41-53. (In Persian)

14- Mirzaei, A., Yekani Motlagh, Y., Sabeh,, Gh., (1394), "Specialized water engineering software", Kian University Press. (In Persian)

15- Namazi Rad, A., Mohseni, N., Hoseinzadeh, R., (1400), “Identification of flood-prone areas in Golestan province using sentinel images and hydraulic modeling”, Quantitative geomorphology researches, 10th year, No. 3, Pp. 56-4. (In Persian)

16- Ngo, T.T., D.G. Yoo, Y.S. Lee and Kim, J.H., (2016), “Optimization of upstream detention reservoir facilities for downstream flood mitigation in urban areas”, Water Journal, Pp. 14.

17- Noorkarmi, b., Sadeghi, M., VatanDost, H., (1395), "Effect of delayed dams in urban river flood control and containment, a case study (Vardavard River catchment)", 15th Iran Hydraulics Conference, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin.

18- Rahimi, Y., Saghafian, B., Banihashemi, M., (1399), “Risk based optimization of flood diversion system of Karun4 dam under hydraulic and hydrologic uncertainties”, Iranian soil and water research, Vol. 51, No. 10, Pp. 2575-2591. (In Persian)

19- Shahbandi, E., Masoudian, M., Fazloula, R., (1399), “The Effect of Intercity Retarding Reservoirs on Flood Peak Discharge and Reduce the Dimensions of Flood Collection Network (Case Study: Gozarkhan Subcatchment, Sari)”, Journal of Watershed Management Research, Vol. 11, No. 21. (In Persian)

20- Special committee of the national flood report (1398), “Hydrology and Water Resources” Report, Tehran University (In Persian).

21- Wang, K., Wang, Z., Liu, K., Cheng, L., Bai, Y., Jin, G., (2021), “Optimizing flood diversion siting and its control strategy of detention basins: A case study of the Yangtze River, China”, Journal of Hydrology 597, 126201.

22- Water Research Institute (2012), Development of Gorganrood flood warning system, Hydrology Report.

23- Yazdi, J., Kim, J. H., (2015), “Intelligent Pump Operation and River Diversion Systems for Urban Storm Management”, J. Hydrol. Eng., Vol. 20, No. 11, Pp. 04015031.

24- Zahiri, A., Jafari, M., (1399), “Design of diversion dams and lateral river intakes”, Academic jihad organization, No. 1. (In Persian)

25- Zahrayi, B., Takshi, A., (1387), “Application of Genetic Algorithm and k-Nearest Neighbors methods in formulating reservoir exploitation policies during floods”, Iran's water resources research, 4th year, No. 3. (In Persian)

26- Zargar, M., Mohammad Vali Samani h., Haghigi, A., (1394), "Optimization of operation of sluice spillways in multi-reservoir systems using genetic algorithm with a case study of Dez and Bakhtiari dam system",

Scientific-Research Journal, Vol. 10, No. 2. (In Persian)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ ویژه‌نامه مدیریت سیلاب/ تابستان ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ Special Issue on Flood Management/ September 2023

Placement of flood retention ponds and design of river flood diversion system in order to protect the floodplain, case study: Gorganrood River

Shaghayegh Talebi Lashkarian[1]
Jafar Yazdi*[2]

Abstract

Flood is one of the most important natural hazards in terms of loss of life and financial damage in the world and has increased its intensity and frequency, in recent years. One of the structural methods for flood control is river flood diversion. In this research, the location of the temporary flood storage sites and the design of the river flood diversion system have been carried out using one-dimensional and two-dimensional hydraulic modeling of the flood and considering the structural and hydraulic design criteria of diversion dams. An important portion of the Gorganrood River, which includes the downstream reach of the Golestan Dam to the connection to the Caspian Sea, has been selected as a case study, and the effect of flood diversion on the peak discharge and flood level of the most vulnerable flood prone areas including the cities of Aqqala and Gomishan, has been studied. Locating the diversion and storage locations has been done using Flo-2D, HEC-RAS and SWMM models, and then, according to the criteria of cost and efficiency, suitable locations of flood storage sites have been determined. Finally, the separate and combined performance of these dams on the flood features of the river at the damage points during 4 important rainfall events have been estimated. The results showed that if one and two flood diversion systems are used, the peak flow of the flood at the entrance to Aqqala city during the four large flood events, will decrease by 7.45 and 16.35% on average. Also, if three flood diversion systems are used, the peak flow of flood entering Gomishan city will decrease by 22.15%, on average.

Keywords

River flood diversion, Retention ponds, Hydraulic modeling, Structural methods

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.4.3]

[1] Master's student of water engineering and hydraulic structures, Faculty of Civil Engineering, Water and Environment, Shahid Beheshti University. s.talebilashkarian@sbu.ac.ir

[2]* Corresponding author, Associate Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University. j_yazdi@sbu.ac.ir

Received: 2022/12/26 Accepted: 2023/06/18