

بهره‌برداری از سد گلستان در شرایط سیلابی جهت حداقل نمودن خسارات ناشی از سیل در پایین دست سد

زهرا صادقی^۱، سعیدرضا خداشناس^{۲*}، سیدحسین ثنائی نژاد^۳، مهدی مفتاح هلقی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۱۵

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی اعمال سناریوهای بهره‌برداری بر روی سد گلستان جهت کاهش پهنه سیل و خسارت سیل در پایین دست سد، انجام شد. بدین منظور هیدروگراف ورودی به سد گلستان، برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله با در نظر گرفتن فاصله اطمینان بدست آمد. برای روندیابی هیدروگراف‌های سیل در مخزن و محاسبه هیدروگراف خروجی از سد از روش پالس ذخیره‌ای استفاده گردید. هم‌چنین از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل هیدرولیکی HEC-RAS جهت پهنه‌بندی سیلاب‌های مختلف استفاده شد. در نهایت خسارت وارد به اراضی اطراف رودخانه در هر سناریو بدست آمد. نتایج نشان داد که اختصاص حجمی از مخزن سد گلستان جهت کنترل سیل، برای سیلاب‌هایی با دبی اوج هیدروگراف تا ۲۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه اثرگذار است و با افزایش دبی اوج هیدروگراف ورودی، عملاً خالی نگه داشتن سد تاثیری چندانی در کاهش دبی اوج هیدروگراف خروجی از سد نخواهد داشت. به طوری که در سیل‌های با دبی اوج ۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه می‌توان با اعمال سناریوهای بهره‌برداری پهنه سیل را نسبت به حالت مخزن پر تا ۱۰۰ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: رودخانه گرگان‌رود، سد گلستان، کنترل سیل، GIS، HEC-RAS

مقدمه

می‌باشد. مخزن با ذخیره کردن مقداری از حجم سیلاب باعث شکست دبی اوج سیل شده و خطر سیلاب را در نواحی پایین دست کاهش می‌دهد و در نتیجه به‌جای آن که زمین‌های با ارزش اقتصادی بالا به زیر آب برده شوند، آب در بالادست در زمین‌های با ارزش اقتصادی پایین ذخیره می‌شوند (بخشکی و همکاران، ۱۳۹۳).

بسیاری از محققان جهت برآورد پهنه سیلاب از مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی استفاده کرده‌اند، که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: چانتین و چاو یک دیدگاه برای بهره‌برداری در زمان واقعی از مخازن سدهای تاخیری در زمان سیلاب ارائه نمودند. در این دیدگاه، دو تلفیق از مدل‌های تحلیلی و قوانین بهره‌برداری برای مدیریت سامانه مخزن در زمان سیلاب به کار رفته است. با پیش‌بینی مقادیر ورودی به مخزن مقدار آب که بایستی در شرایط سیلابی از مخزن خارج شود به صورت تکراری محاسبه می‌شود (Chuntian and Chau., 2002).

چنگ و چاو برنامه جامع برای مدیریت سیلاب با بهره‌برداری مناسب از مخازن سدها را در کشور چین ارائه نمودند. در این مطالعات یک برنامه جامع مدیریت سیلاب^۵ (IMSFCR) به صورت نرم‌افزاری

سیل از مخاطرات طبیعی است که در گوشه و کنار جهان خسارت‌های جانی و مالی فراوانی به بار می‌آورد. توسعه مناطق روستایی در حاشیه رودخانه‌ها و سیلاب‌ها، بدون درک و توجه به شرایط دینامیکی و هیدرولوژیکی باعث افزایش خطر سیل شده است (Golshan et al., 2016). مسئله وقوع سیلاب، خسارات مالی و تلفات جانی ناشی از آن در ایران از اهمیت خاصی برخوردار است. سیلاب مرداد ماه ۱۳۸۰ استان گلستان به لحاظ شدت سیلاب، بزرگ‌ترین سیلاب مشاهده شده در ایران بود. طبق گزارشات موجود، تعداد تلفات ۲۰۰ نفر و میزان خسارت آن حدود ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است (نشریه ۲۶۹_الف، وزارت نیرو). احداث سدهای مخزنی از جمله اقدامات سازه‌ای به‌منظور کاهش خسارات سیل

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

گرگان

* - نویسنده مسئول: (Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

سیلاب دینامیکی در سدهایی پرداختند که اندازه مخزن این سدها برای مدیریت عدم قطعیت در وقوع سیل، طراحی بیش از حد محدود باشد. این محققین به منظور دستیابی به این هدف از ترکیب یک مدل پیش‌بینی سیلاب (تخمین حجم سیلاب و دبی اوج و تهیه دیگرام مشخصات سیل طراحی) و یک روش روندیابی ذخیره‌ای استفاده نمودند. نتایج مطالعات انجام شده روی سد مخزنی چند هدفه کوچک Ubolratana در رودخانه Pong تایلند نشان داد که این منحنی فرمان برای سیل‌های تاریخی بزرگ با دوره بازگشت بیش از ۱۰۰۰۰ سال قابل قبول می‌باشد. منحنی فرمان کنترل سیلاب تهیه شده قابلیت حفظ ایمنی سد، جلوگیری از سیل‌زدگی نواحی پایین‌دست سد و تامین آب برای فصول خشک‌سالی پی در پی را دارد (Chaleeraktragoon and Chinsomboon., 2015).

همکاران با استفاده از مدل هیدرولوژیکی به روندیابی رودخانه، بهینه‌سازی تولید برق، کنترل سیلاب و بهره‌برداری زیست محیطی سیستم چند مخزنه بخش بالایی و میانی رودخانه یانگ تسه پرداختند. در مدل شبیه‌سازی این رودخانه از روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه و تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شد. با این روش‌ها سطح مدیریتی منابع آب به طور موثری بهبود یافته و برنامه‌های کاربردی و تضمین شده‌ای برای تخلیه مخزن ارایه شد که سهم بزرگی در توسعه صنعت آب و برق و ارتقا ساختاری آن داشت (Zhou et al., 2014).

مددی و همکاران به منظور مدیریت سیلاب در سیستم رودخانه - مخزن سد نرماب سناریوهایی را برای حجم کنترل سیل در مخزن سد در نظر گرفته و اقدام به روندیابی سیل در مخزن به ازای ۴ سناریو و ۴ دوره بازگشت ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساله سیلاب ورودی به مخزن نمودند. آن‌ها پس از بررسی ۱۶ گزینه و بهینه‌بندی سیلاب توسط مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS تحت شرایط ماندگار، به این نتیجه رسیدند که سد مخزنی نرماب کارایی بسیار خوبی در کاهش دبی اوج سیلاب و خسارات ناشی از سیل بر اراضی منطقه دارد (Madadi et al., 2015). گتهون و گبر، خطر سیل و پهنه سیل در حوضه رودخانه Awash را با استفاده از GIS و مدل HEC-RAS / GeoRAS تجزیه و تحلیل نمودند. از نتیجه تحقیقات ایشان می‌توان برای توسعه استراتژی با توجه به خطر سیل در این منطقه استفاده نمود (Getahun and Gebre., 2015).

شعبان‌لو و یوسف‌وند مشارکت زیرحوضه‌ها در تولید سیلاب حوضه گلستان در ایران را بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار GIS حوضه گلستان را به زیرحوضه‌هایی تقسیم نمودند و مدل HEC-HMS را جهت بدست آوردن هیدروگراف سیل در هر زیر حوضه بکار گرفتند. هم‌چنین از HEC-GeoHMS برای استخراج مشخصات فیزیوگرافی حوضه استفاده کردند. مطالعه ایشان نشان داد که زیرحوضه رودخانه دوغ بیشترین میزان تولید سیل را دارد

خاص برای مدیریت مهار سیلاب مخازن ارایه شد (Chun and Chau, 2004). آکتر و سیمونویچ برای مدل نمودن عدم قطعیت‌ها در بهره‌برداری کوتاه‌مدت با استفاده از مجموعه فازی و الگوریتم ژنتیک تحقیقی ارایه نمودند. در این مدل، عدم قطعیت در تابع خسارت مخزن و مقدار خروجی موردنیاز از مخزن در نظر گرفته شد (Akter and Simonovic., 2004). تارگون بهره‌برداری روزانه بهینه از یک مخزن کوچک تحت قیود احتمالی در سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها را مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه، با تعریف یک منحنی خطر^۱ برای سطوح مخزن از حد بالا و پایین در وضعیت وقوع یکی از حالات سیلابی و یا خشک‌سالی، سیاست بهره‌برداری بهینه روزانه مخزن بر اساس ناحیه بین دو منحنی اعلام خطر، محاسبه گردید (Turgeon., 2005).

ایرلسل و همکاران قابلیت مدل HEC-GeoRAS در به تصویر کشیدن پهنه سیلاب و تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی مورد نیاز مدل HEC-RAS را بررسی نمودند (Earles et al., 2004). یانگ و همکاران به منظور تعیین پهنه سیلاب به ازای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف از GIS و مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS استفاده نمودند (Yang et al., 2006). کاسترو گاما و همکاران به منظور مدیریت جریان در مخزن از یک مدل شبیه‌سازی استنتاجی بین دو متغیر به عنوان جایگزینی برای مدل‌های بهینه‌سازی استفاده نمودند. در پژوهش آن‌ها رابطه بین بهره‌برداری از مخازن و هیدروگراف ورودی به عنوان متغیر اول و هیدروگراف سیل در ایستگاه هیدرولوژیکی پایین‌دست مخزن به عنوان متغیر دوم در نظر گرفته شد (Castro Gama et al., 2014).

لی و همکاران روش‌هایی را برای استخراج قوانین رهاسازی بهینه برای مخازن چند هدفه با توجه به خطر سیلاب ارایه نمودند. آن‌ها به منظور روندیابی موقتی در طول دوره رهاسازی سری‌های جریان در مخازن تاریخی، روش‌های رگرسیون خطی، تست من - کندال و اسپیرمن را انتخاب نمودند. با استفاده از این قوانین رهاسازی بدون افزایش خطر سیلاب می‌توان میزان ذخیره‌سازی مخزن را بهبود بخشید و میزان تولید انرژی برقی را افزایش داد (Li et al., 2014). محمدی و همکاران، جهت بررسی خسارت سیل در منطقه مسکونی حاشیه رودخانه نکا، در شرق استان مازندران (شمال ایران)، از مدل HEC-FDA استفاده نمودند، ایشان جهت شبیه‌سازی هیدرولوژیکی سیل از GIS و مدل HEC-RAS / HEC-GeoRAS استفاده نمودند. در نهایت مناطق مستعد سیل با دوره بازگشت مختلف مشخص شد و خسارت سالانه به صورت کمی به دست آمد (Mohammadi et al., 2015).

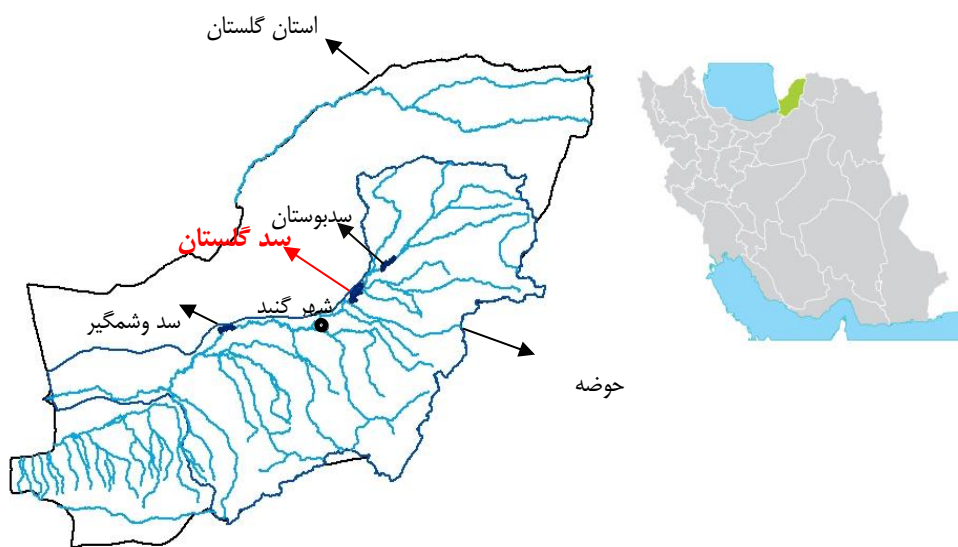
چالیراکتراکون و چینسمبون به تهیه منحنی فرمان کنترل

در پایین دست این سد مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور هیدروگراف ورودی به سد گلستان، برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله با در نظر گرفتن فاصله اطمینان بدست آمد. سپس به پهنه‌بندی سیلاب‌های مختلف در رودخانه گرگان‌رود پایین دست سد گلستان، پرداخته شد و در نهایت تاثیر سناریوهای بهره‌برداری بر پهنه سیلاب و کاهش خسارات سیل مورد بررسی قرار گرفت.

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز گرگان‌رود، به عنوان اصلی ترین منبع آب‌های سطحی استان گلستان، در شمال شرقی ایران و جنوب شرقی دریای خزر با مختصات جغرافیایی طول بین ۵۳ تا ۵۶ درجه شرقی و عرض ۳۶ تا ۳۷ درجه شمالی واقع گردیده است. سد بوستان، گلستان و وشمگیر بر روی رودخانه گرگان‌رود ساخته شده اند (Safaripour et al, 2012). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی سدهای بوستان، گلستان و وشمگیر را نشان می‌دهد.

(Shabanlou and Yosefvand, 2015). رودخانه دوغ یکی از ورودی‌های سد گلستان است. گلشن و همکاران با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS تحت شرایط ماندگار، پهنه سیل را برای سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ در حوضه صفارود استان کرمان بدست آوردند، سپس تاثیر ضریب زبری را بر روی پهنه سیل بررسی نمودند و به این نتیجه دست یافتند که افزایش ضریب زبری باعث افزایش عمق سیلاب می‌شود، این افزایش در دوره بازگشت‌های بالا مشهودتر بود (Golshan et al, 2016). بهره‌مند و جاویدان (۱۳۹۵)، با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی Wet Spa حساسیت پارامترهای موثر بر روندیابی هیدروگراف سیل در حوضه آبخیز زیارت گرگان (شمال ایران) را بررسی نمودند. بررسی حساسیت پارامترها نشان داد که تاثیر تغییر فراوانی سیل و ضریب زبری نسبت به آستانه شیب حداقل و آستانه سطح بر روی هیدروگراف خروجی و هیدروگراف واحد حوزه بیشتر است. با توجه به سیلاب‌های مخرب رخ داده در رودخانه گرگان‌رود، در این تحقیق تاثیر اعمال سناریوهای مختلف بهره‌برداری از مخزن سد گلستان در شرایط سیلابی جهت کاهش پهنه سیلاب و خسارات سیل



شکل ۱- حوضه آبریز گرگان‌رود و سدهای واقع بر آن

کیلومترمربع و ۱۹۰ میلیون مترمکعب است. حجم اولیه مخزن در تراز آستانه سرریز ۸۶ و در تراز نرمال ۵۶ میلیون مترمکعب بوده که بر اثر رسوب گذاری حجم مخزن در تراز آستانه سرریز و در تراز نرمال به ترتیب به ۵۷ و ۵۲ میلیون مترمکعب تقلیل یافته است. (شناسنامه سد گلستان، ۱۳۹۴). مشخصات اصلی سد گلستان در جدول ۱ ارایه شده است.

سد گلستان در فاصله ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهرستان گنبد کاووس احداث گردیده و در سال ۱۳۷۹ به بهره‌برداری رسید. این سد از نوع خاکی همگن بوده و هدف از احداث آن توسعه و بهبود اراضی ساحل راست گرگان‌رود، بهبود عمر مفید سد وشمگیر و کنترل و مهار سیلاب بوده است (Dashti Naser Abadi et al, 2015). مساحت حوضه آبریز این سد و متوسط آورد سالانه به ترتیب ۴۴۵۱

جدول ۱- مشخصات سد گلستان (شناسنامه سد گلستان- شرکت آب منطقه گلستان ۱۳۹۴)

نوع سد	خاکی همگن
طول تاج (متر)	۱۳۶۷
عرض تاج (متر)	۱۰
تراز تاج سد (متر)	۶۶
تراز سرریز (متر)	۶۲
حداکثر ظرفیت سرریز (مترمکعب در ثانیه)	۱۵۵۰
حجم مخزن در تراز نرمال (میلیون مترمکعب)	۵۲
ضریب آبگذری سرریز (C_d)	۱,۷
طول موثر سرریز (متر) (L_e)	۱۱۰
پیک سیلاب PMF ورودی به مخزن (m^3/s)	۲۴۵۰
نوع سرریز	تندآب

محاسبه فاصله اطمینان ۹۵٪، استفاده گردید. لازم به ذکر است دبی اوج سیلاب‌های حداکثر سالانه از توزیع لوگ لجستیک^۱ پیروی نموده‌اند. در شکل ۲، هیدروگراف جریان برای ۴ دوره بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله آرایه شده است.

در شکل ۲ تغییرات زیاد فاصله اطمینان مشاهده می‌شود. به این دلیل که به طور مثال دبی حداکثر لحظه‌ای در یکی از ورودی‌های سد گلستان (رودخانه دوغ) در سال ۱۳۸۰، ۱۶۵۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که این مقدار برای سال قبل و بعد از آن به ترتیب ۱۴/۵ و ۵۵۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. این حد تغییرات باعث ایجاد انحراف معیار بالایی می‌شود، که متعاقباً دامنه تغییرات فاصله اطمینان زیاد خواهد شد.

روندیابی سیل در مخزن سد گلستان

جهت بررسی تاثیر سد گلستان برای کنترل سیلاب سناریوهای مختلف بهره‌برداری به صورت زیر تعریف شد (جدول ۲). از روش پالس ذخیره‌ای برای روندیابی هیدروگراف‌های سیل، استفاده گردید. بدین صورت که با توجه به پیش‌بینی حجم انتظار در مخزن، و با فرض تله‌اندازی تا حجم پیش‌بینی شده و خروجی صفر تا پر شدن مخزن مقدار حجم پیش‌بینی شده در هر سناریو که توسط مخزن تله‌اندازی می‌شود از هیدروگراف ورودی جداسازی شد و مقدار تعدیل شده آن در روندیابی دخالت داده شد. برای جداسازی از انتگرال‌گیری عددی به روش ذوزنقه استفاده گردید. شکل ۳ هیدروگراف‌های ورودی و خروجی مخزن سد گلستان را تحت ۷ سناریو مختلف، برای سیل با دوره بازگشت ۵۰ سال را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، برای سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله در صورتی که مخزن پر باشد (سناریو S_1) دبی اوج هیدروگراف روندیابی شده در مخزن $320 m^3/s$ می‌باشد. در این صورت تحت سناریوهای S_2, S_3, S_4, S_5, S_6 و S_7 دبی اوج سیلاب خروجی به ترتیب ۳۰۰،

حوضه گرگان‌رود به دلیل شرایط آب و هوایی و طوفان‌های تابستانی شدید یکی از حوضه‌های سیل‌خیز در ایران بشمار می‌رود. در طول جاری شدن سیلاب در ماه مرداد سال ۱۳۸۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴، خسارات جانی و مالی سنگینی در این منطقه بوجود آمد. هیدروگراف سیلاب مردادماه سال ۱۳۸۰ نشان می‌دهد که پیک سیل ورودی به سد برابر حدود ۳۰۰۰ مترمکعب در ثانیه بود. محدوده مطالعاتی در این تحقیق، قسمتی از رودخانه گرگان‌رود به طول ۳۶ کیلومتر می‌باشد که از محل سد گلستان شروع شده و تا شهر گنبد ادامه دارد. به منظور برآورد پهنه سیل در بخشی از رودخانه گرگان‌رود (پایین‌دست سد گلستان)، نرم‌افزار Arc GIS و الحاقیه‌ی آن از HEC-GeoRAS و نرم‌افزار HEC-RAS استفاده شد.

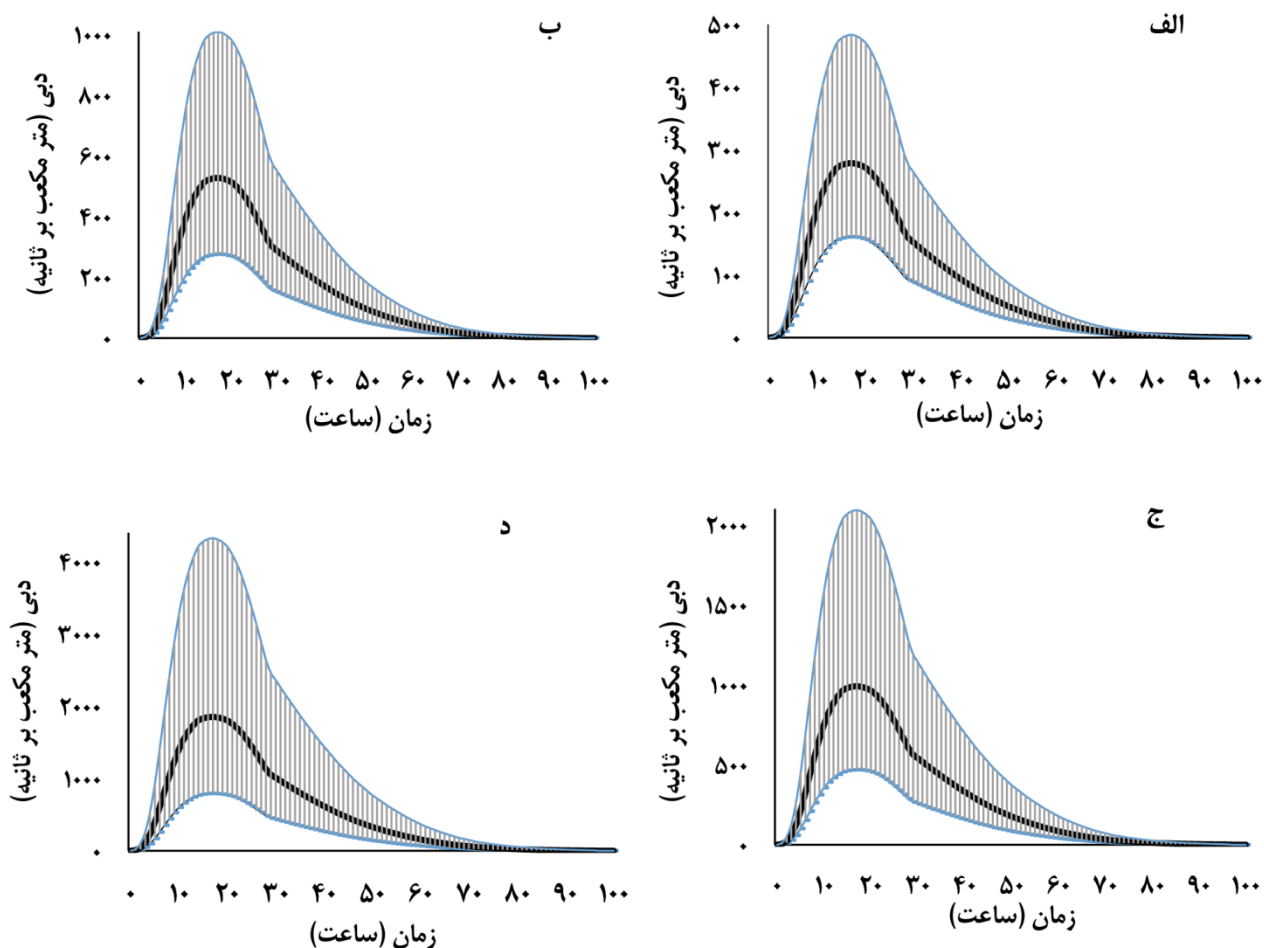
مواد و روش‌ها

برآورد هیدروگراف سیل با دوره بازگشت‌های مختلف در محل سد گلستان نتایج بدست آمده از تحقیقات صادقی و همکاران (۱۳۸۷)، نشان داد که به‌رغم تعداد بسیار کم وقایع قابل استفاده در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیک به واسطه پراکندگی داده‌ها، عدم مدیریت اطلاعاتی، هم‌چنین پیچیدگی شرایط حاکم، امکان شبیه‌سازی هیدروگراف‌های سیل برای منطقه شمالی کشور با تاکید بر استان‌های گیلان، مازندران و گلستان به کمک تنها چهار عامل محیط، ارتفاع متوسط وزنی، شیب متوسط و طول آبراهه اصلی وجود دارد. لازم به ذکر است ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه در تحقیقات ایشان در استان گلستان ایستگاه تمر و قزاقلی بر روری رودخانه گرگان‌رود بوده است. بدین ترتیب جهت محاسبه هیدروگراف‌های ورودی به مخزن از دبی حداکثر لحظه‌ای در طول دوره‌ی آماری ۴۰ ساله (۱۳۹۴-۱۳۵۵) و مشخصات فیزیوگرافی حوضه استفاده شد. هم‌چنین از نرم‌افزار Minitab به منظور مطابقت بهترین توزیع‌های آماری همراه با

پایین دست شبیه سازی شد. جهت شبیه سازی جریان، نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ از مسیر اصلی رودخانه و سیلاب دشت ها تهیه شد. سپس این نقشه ها در محیط Arc GIS باز و نقشه TIN رودخانه مورد نظر تهیه گردید (شکل ۴). از TIN آماده شده در الحاقیه HEC-GeoRAS جهت آماده کردن مجموعه داده های ورودی HEC-RAS استفاده شد.

۲۵۸، ۲۳۶، ۱۶۸، ۱۰۸ و ۱۸ مترمکعب بر ثانیه می شود. البته با توجه به برنامه بهره برداری، مخزن سد در ماه های سیلابی خالی می شود تا حدی که شرایط پایداری سد رعایت گردد. بنابراین انتظار می رود سناریوهای ۱ تا ۴ رخ ندهد.

شبیه سازی جریان در رودخانه پایین دست بر اساس شدت جریان های خروجی از سرریز، جریان رودخانه

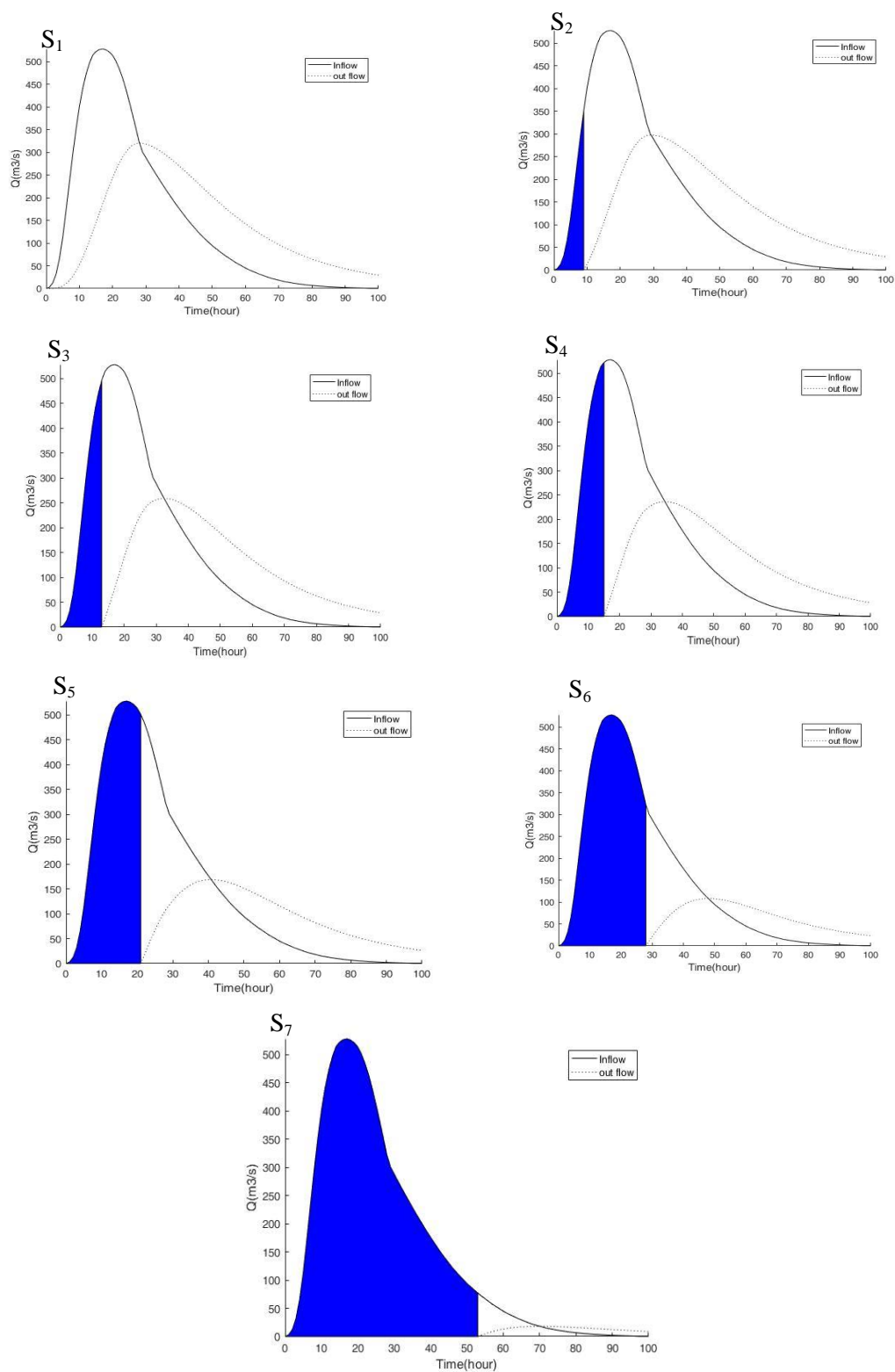


شکل ۲- هیدروگراف سیلاب ورودی به سد گلستان الف، ب، ج و د، به ترتیب با دوره بازگشت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله با در نظر گرفتن فاصله اطمینان ۹۵٪

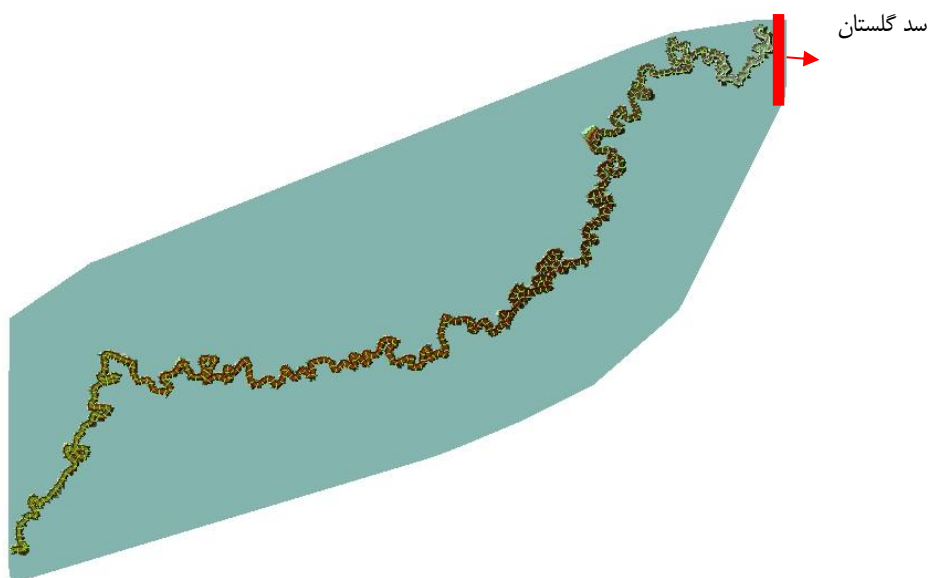
جدول ۲- سناریوهای تعریف شده برای حجم ذخیره قابل دسترس

سناریو						
S ₇	S ₆	S ₅	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
۱۰۰	۷۰	۵۰	۳۰	۲۰	۱۰	۰

حجم مخزن در تراز نرمال جهت کنترل سیل درصدی از



شکل ۳- هیدروگراف ورودی و روندیابی سیل با دوره بازگشت ۵۰ ساله به روش پالس ذخیره‌ای برای سناریوهای مختلف



شکل ۴- نمایش TIN منطقه و خطوط مقاطع عرضی ایجاد شده در طول رودخانه گرگان رود در پایین دست سد گلستان توسط HEC-GeoRAS

خسارت ناشی از سیل شامل خسارات محسوس و خسارات نامحسوس می باشد که خود خسارات محسوس به دو دسته خسارات مستقیم و خسارات غیرمستقیم تقسیم بندی می شود. خسارت مستقیم شامل سیل گیری اراضی و تاسیسات، ایجاد فرسایش کناری در حاشیه رودخانه ها و تخریب و از بین رفتن اراضی کشاورزی می باشد. خسارت غیرمستقیم نیز شامل افزایش هزینه های حمل و نقل به علت تغییر مسیر جاده های ارتباطی و خسارت ناشی از قطع آب و برق و تلفن و هزینه های احیای اراضی و هزینه های بازسازی می باشد. (یخکشی و همکاران، ۱۳۹۳).

اراضی اطراف رودخانه گرگان رود (پایین دست سد گلستان) در ماه های سیلابی (مرداد و شهریور) بیش تر به کشت ذرت (۸۷/۵٪) و هندوانه آجیلی (۱۲/۵٪) اختصاص دارد (میرزایی، ۱۳۹۲). میزان محصول تولیدی در هر هکتار برای ذرت ۴۷ تن و برای هندوانه ۵۰ تن (معادل ۰/۹ تن تخم هندوانه) می باشد. هم چنین قیمت هر کیلو ذرت در محل در سال ۱۳۹۵ حدود ۲۳۰۰ ریال و قیمت هر کیلو تخم هندوانه در سال ۱۳۹۵ حدود ۸۰۰۰ ریال می باشد (جهاد کشاورزی استان گلستان، ۱۳۹۵) برای محاسبه سطح اراضی که زیر سیل رفته اند، پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال به عنوان حریم رودخانه در نظر گرفته شد و از تفاضل پهنه سیل در هر یک از سناریوهای تعریف شده با پهنه سیل ۲۵ ساله، مساحت خالص اراضی سیل زده بدست آمد.

با توجه به نوع محصول کاشته شده و قیمت آن و نیز با فرض وارد آمدن ۸۰ درصد تلفات، خسارت مستقیم قابل محاسبه می باشد. از

در حفظ دقیق ویژگی های باریک و یا کوچک سطحی، مانند سدها و یا کانال های جریان TIN بهتر از DEM عمل می نماید (Deshpande., 2013). مزیت استفاده از DEM پردازش آسان آن است، اما نقطه ضعف آن دقت پایین نسبت به TIN می باشد. مشکل این است که نمی تواند توصیف دقیقی از نقاط سطحی که منطبق با نقاط شبکه نیست، داشته باشد. داده های هندسی شامل خط مرکزی جریان، سواحل کانال اصلی، مقاطع هندسی، پل ها و کالورت ها بودند. این لایه ها از طریق الحاقیه HEC-GeoRAS تهیه شدند. سپس با استفاده از این الحاقیه، لایه ها با یکدیگر تلفیق و به محیط HEC-RAS انتقال داده شدند.

مرحله بعدی باز کردن و تکمیل مشخصات هندسی رودخانه در محیط HEC-RAS می باشد. در این مرحله مشخصات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی جریان رودخانه نظیر سازه های متقاطع مسیر، ضرایب افت انرژی، شرایط مرزی بالادست و پایین دست، نوع رژیم جریان، هیدروگراف سیلاب ها و ضریب زبری مانینگ به مدل هیدرولیکی HEC-RAS وارد می شود. در این تحقیق، شیب متوسط بستر ۰/۰۰۷ به عنوان شرط مرزی پایین دست (عمق نرمال) برای شبیه سازی جریان تحت شرایط ناماندگار در نظر گرفته شد و ضریب زبری این بازه از رودخانه بر اساس مطالعات پرسیایی و بهره مند (۱۳۹۱) در مورد تخمین ضریب زبری رودخانه گرگان رود، در نظر گرفته شد. بر این اساس ضریب زبری برای کانال اصلی ۰/۰۲۳ و برای سیلاب دشت ۰/۰۲۹ انتخاب گردید.

ارزیابی خسارت وارد به اراضی کشاورزی منطقه

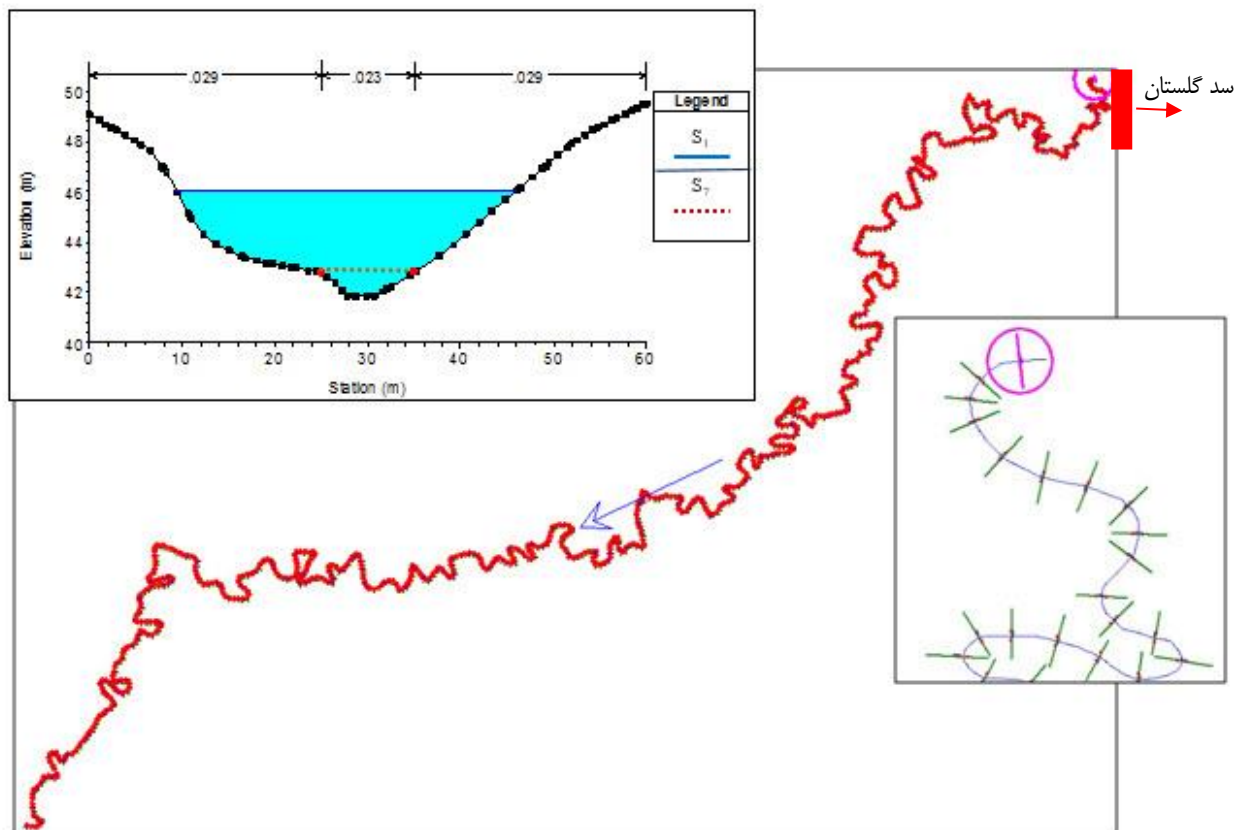
های مختلف و به ازای ۷ سناریو ارائه می‌دهد. به طوری که در جدول ۲ نمایان است، به عنوان مثال برای دبی اوج هیدروگراف ورودی ۱۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه، برای سناریوهای S₁ الی S₇ به ترتیب دبی اوج هیدروگراف خروجی ۷۰۰، ۶۷۵، ۶۲۰، ۶۰۰، ۵۳۰، ۴۵۰ و ۳۳۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد، که با ترسیم پهنه‌های سیل مذکور، افزایش سطح سیل‌گیر نسبت به پهنه سیل ۲۵ سال ۶۵، ۵۹، ۵۶، ۵۵، ۴۵، ۳۹ و ۳۴ هکتار در طول بازه مطالعاتی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان پهنه سیل در سناریوی S₇ نسبت به سناریو S₁، ۴۸ درصد کاهش یافته است. همچنین با توجه به کشت منطقه خسارت ناشی از سیل گرفتگی در سناریوهای S₁ و S₇ از ۵۰۰۰ میلیون ریال به ۲۶۱۸ میلیون ریال کاسته می‌شود. شکل ۶ نقش سد مخزنی گلستان در کاهش مساحت سیل گرفتگی اراضی پایین‌دست در حالتی که مخزن خالی باشد (سناریو S₇) نسبت به حالت مخزن پر (سناریو S₁) نشان داده شده است. نمودارهای این شکل نشان می‌دهند که نقش احداث سد بر کاهش مساحت سیل‌گیری با افزایش دبی اوج سیلاب ورودی کم‌رنگ‌تر می‌شود.

آن‌جا که مقدار خسارت غیرمستقیم به راحتی قابل برآورد نیست، با توجه به مطالعات سارجنت مقدار خسارت غیرمستقیم دو برابر خسارت مستقیم ارزیابی می‌شود. بدین صورت خسارت مستقیم و غیرمستقیم برای هیدروگراف‌های سیل با دبی اوج‌های مختلف و سناریوها مختلف بدست آمد و مجموع خسارت مستقیم و غیرمستقیم به عنوان خسارت کل محاسبه شد (Sargent., 1992).

نتایج و بحث

پس از تهیه ورودی‌های مورد نیاز مدل، پروفیل طولی سطح آب به ازای سناریوها و سیلاب‌های ورودی مختلف محاسبه شد. شکل ۵ نمونه‌ای از مقطع عرضی پروفیل سطح آب را به ازای سناریوهای S₁ و S₇ برای هیدروگراف سیل با دوره بازگشت ۵۰ ساله نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش حجم ذخیره روند افت سطح آب در سناریو S₇ دیده می‌شود.

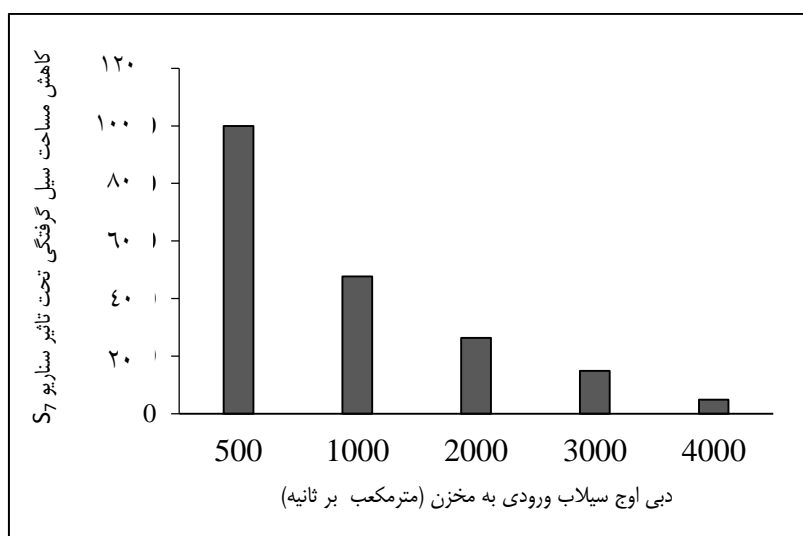
جدول ۲، دبی اوج هیدروگراف خروجی از سد، مساحت خالص سیل گرفتگی، درصد کاهش پهنه سیلاب نسبت به سناریو S₁ و خسارت وارده به اراضی کشاورزی برای هیدروگراف سیل با دبی اوج-



شکل ۵- نمونه‌ای از مقاطع عرضی رودخانه گرگان‌رود در هنگام وقوع سیل ۵۰ ساله تحت سناریوهای S₁ و S₇

جدول ۲- پهنه سیلاب و خسارت سیل برای هیدروگراف سیل با دبی اوج مختلف و به ازای ۷ سناریو

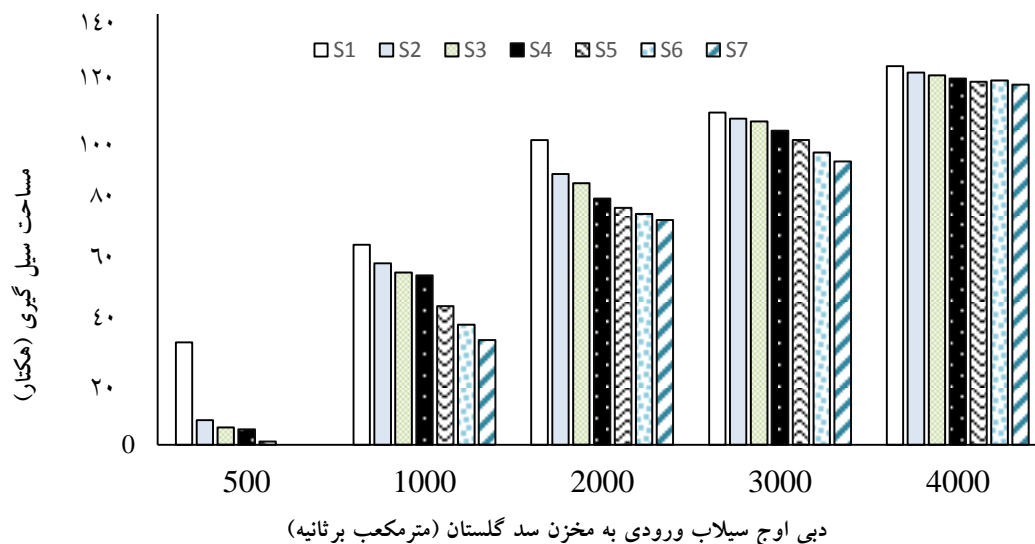
خسارت کل (میلیون ریال)	درصد کاهش پهنه سیل نسبت به سناریو S ₁	مساحت خالص سیل گرفتگی (هکتار)	دبی اوج هیدروگراف خروجی (m ³ /s)	سناریو بهره- برداری	دبی اوج هیدروگراف ورودی (m ³ /s)	خسارت کل (میلیون ریال)	درصد کاهش پهنه سیل نسبت به سناریو S ₁	مساحت خالص سیل گرفتگی (هکتار)	دبی اوج هیدروگراف خروجی (m ³ /s)	سناریو بهره- برداری	دبی اوج هیدروگراف ورودی (m ³ /s)
۷۶۲۳	-	۹۹	۱۶۵۰	S ₁		-	-	-	۱۵۳	S ₁	
۶۷۷۶	۱۱	۸۸	۱۶۳۰	S ₂		-	-	-	۱۳۰	S ₂	
۶۵۴۵	۱۴	۸۵	۱۶۱۵	S ₃		-	-	-	۹۹	S ₃	
۶۱۶۰	۱۹	۸۰	۱۵۹۰	S ₄	۲۰۰۰	-	-	-	۷۴	S ₄	۲۸۰
۵۹۲۹	۲۲	۷۷	۱۵۲۰	S ₅		-	-	-	۱۸	S ₅	
۵۷۷۵	۲۴	۷۵	۱۴۲۰	S ₆		-	-	-	۰	S ₆	
۵۶۲۱	۲۶	۷۳	۱۳۰۰	S ₇					۰	S ₇	
۸۳۱۶	-	۱۰۸	۲۵۷۰	S ₁		۲۵۴۱	-	۳۳	۳۲۰	S ₁	
۸۱۶۲	۲	۱۰۶	۲۵۶۰	S ₂		۶۱۶	۷۸	۸	۳۰۰	S ₂	
۸۰۸۵	۳	۱۰۵	۲۵۴۵	S ₃		۴۳۱	۸۳	۵/۶	۲۵۸	S ₃	
۷۸۵۴	۶	۱۰۲	۲۵۲۰	S ₄	۳۰۰۰	۳۸۵	۸۵	۵	۲۳۶	S ₄	۵۰۰
۷۶۲۳	۸	۹۹	۲۴۴۵	S ₅		۷۷	۹۷	۱	۱۶۸	S ₅	
۷۳۱۵	۱۲	۹۵	۲۳۹۰	S ₆		۰	۱۰۰	-	۱۰۸	S ₆	
۷۰۸۴	۱۵	۹۲	۲۲۵۰	S ₇		۰	۱۰۰	-	۱۸	S ₇	
۹۴۷۱	-	۱۲۳	۳۸۴۰	S ₁		۵۰۰۰	-	۶۵	۷۰۰	S ₁	
۹۳۱۷	۲	۱۲۱	۳۸۲۰	S ₂		۴۵۴۳	۹	۵۹	۶۷۵	S ₂	
۹۲۴۰	۲	۱۲۰	۳۸۰۰	S ₃		۴۳۱۲	۱۴	۵۶	۶۲۰	S ₃	
۹۱۶۳	۳	۱۱۹	۳۷۷۵	S ₄	۴۰۰۰	۴۲۳۵	۱۵	۵۵	۶۰۰	S ₄	۱۰۰۰
۹۰۸۶	۴	۱۱۸	۳۷۳۵	S ₅		۳۴۶۵	۳۱	۴۵	۵۳۰	S ₅	
۹۰۸۶	۴	۱۱۸/۴	۳۶۸۰	S ₆		۳۰۰۰	۴۰	۳۹	۴۵۰	S ₆	
۹۰۰۹	۵	۱۱۷	۳۶۱۵	S ₇		۲۶۱۸	۴۸	۳۴	۳۳۰	S ₇	



شکل ۶- کاهش مساحت سیل گرفتگی تحت تاثیر سناریو S₇ نسبت به سناریو S₁ به ازای سیلاب‌ها با دبی اوج مختلف

مساحت سیل‌گیری مقایسه می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نظر گرفتن حجمی از مخزن جهت ذخیره‌سازی سیلاب باعث کاهش مساحت سیل‌گیری شده است، اما این کاهش در سیلاب‌های با اوج هیدروگراف پایین‌تر نمایان‌تر است. می‌توان گفت در سیلاب‌های با دبی اوج بالای ۲۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه خالی نگه داشتن مخزن سد تاثیر چندانی در کاهش پهنه سیلاب نخواهد داشت.

با توجه به شکل ۶، در صورت ورود سیلابی با دبی اوج ۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه و سناریو بهره‌برداری S₇، ۱۰۰ درصد کاهش پهنه سیل نسبت به سناریو S₁ دیده می‌شود. که این مقدار برای سیل ورودی به سد با دبی اوج ۴۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه فقط ۵ درصد می‌باشد. شکل ۷ تاثیر سناریوها و سیلاب‌های ورودی به سد گلستان را بر



شکل ۷- مساحت پهنه سیل به ازای سناریوها و سیلاب‌ها با دبی اوج مختلف

منابع

- بهره‌مند، ع.ر.، و جاویدان، ن. ۱۳۹۵. بررسی حساسیت پارامترهای موثر بر روندیابی هیدروگراف سیل با روش موج پخش دیفیوژن با مدل هیدرولوژیکی توزیعی Wet Spa در حوزه آبخیز زیارت گرگان. نشریه آب و خاک. ۳۰: ۶۸۵-۶۹۷.
- پریسای، ز.، بهره‌مند، ع.ر. ۱۳۹۱. بررسی مناسب‌ترین روش تعیین ضریب زبری در بخشی از رودخانه گرگان‌رود. سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران. راهنمای ارزیابی خسارت نشریه شماره ۲۹۶-الف. وزارت نیرو. اردیبهشت ۱۳۸۵.
- شناسنامه سد گلستان شرکت آب منطقه ای استان گلستان. ۱۳۹۴.
- صادقی، س.ح.، افضلی، ع.، وفاخواه، م.، تلوری، ع.ر. ۱۳۸۷. تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی حوزه‌های آبخیز شمالی کشور با استفاده از ویژگی‌های فیزیوگرافی. مجله پژوهش‌های آبخیزداری. میرزایی، ش. بهینه‌سازی الگوی کشت اراضی تحت پوشش شبکه

نتیجه‌گیری

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود در سیل‌های بزرگ سناریوی S₆ و S₇ به ترتیب ۷۰ و ۱۰۰ درصد از حجم مخزن را جهت کنترل سیل در نظر گرفته‌اند، تفاوت زیادی با یکدیگر ندارند. در سیل‌های کم‌تر از ۵۰۰ مترمکعب بر ثانیه نیز سناریو S₆ کاهش ۱۰۰ درصدی در کاهش پهنه سیل داشت (جدول ۲). در این صورت می‌توان نتیجه گرفت که در ماه‌های سیلابی حدود ۷۰ درصد مخزن جهت کنترل سیل در نظر گرفته شود (سناریوی S₆) و مابقی آن که حدود ۱۶ میلیون مترمکعب در مخزن جهت تامین نیاز پایین‌دست نگه داشته شود. در صورتی‌که در بهره‌برداری فعلی در ماه‌های سیلابی حدود ۲ الی ۳ میلیون مترمکعب در مخزن نگه داشته می‌شود و مابقی آن تخلیه می‌گردد. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود با توجه به سیل‌خیز بودن منطقه و کاهش حجم مخزن سد به دلیل رسوب‌گذاری، روش‌های دیگر کنترل سیل و کاهش دبی اوج سیل هم‌چون: عملیات آبخیزداری، ایجاد سازه‌های کوچک در مسیر سرشاخه‌ها جهت تاخیر در وقوع سیلاب، لایه‌روبی و اصلاح مسیر رودخانه‌ها و ... بررسی گردد.

- 21.1: 24-34.
- Getahun, Y.S and Gebre, S.L. 2015. Flood Hazard Assessment and Mapping of Flood Inundation Area of the Awash River Basin in Ethiopia using GIS and HEC-GeoRAS/HEC-RAS Model. *Journal of Civil and Environmental Engineering*. 5.4:1-12.
- Li, Y., Guo, S.H., Guo, J., Wang, Y., Li, T and Chen, J. 2014. Deriving the optimal refill rule for multi-purpose reservoir considering flood control risk. *Journal of Hydro-environment Research*, 8: 248-259.
- Madadi, M.R., Azamathulla, H.M. and Yakhkeshi, M. 2015. Application of Google earth to investigate the change of flood inundation area due to flood detention dam, *Journal of Earth Science Informatics*. 3. 8: 627-838.
- Mohammadi, S.A., Nazariha, M and Mehrdadi, N. 2014. Flood damage estimate (quantity), using HEC-FDA model Case study: the Neka River, 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry. 1173 – 1182.
- Safaripour, M., Monavari, M and Zare, M. 2012. Flood Risk Assessment Using GIS (Case Study: Golestan Province, Iran). *Polish Journal of Environmental Studies*. 21.6: 1817-1824.
- Sargent, D.M. 1992. Flood Management in Rockhampton. International Conference on Floods and Flood Management. Florence. Italy. 3-17.
- Shabanlou, S., Yosefvand, F. 2015. Calculation of Sub-Basin Participation in Total Flood of Golestan Basin, Golestan, Iran. *Agricultural communications*. 3.2: 54-62.
- Turgeon, A. 2005. Daily operation of reservoir subject to yearly probabilistic constraints. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 131.5: 342-350.
- Yang, J., Townsend, R.D., Daneshfar, B. 2006. Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network floodplain delineation. *Canadian Journal of Civil Engineering*. . 33: 19-28.
- Zhou, J., Zhang, Y., Zhang, R., Ouyang, S.H., Wang, X and Liao, O. 2015. Integrated optimization of hydroelectric energy in the upper and middle Yangtze River. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 45: 481-512.
- آبیاری و زهکشی سد گلستان ۱. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده آب و خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۳۹۲.
- یخکشی، م.، مفتاح هلقی، م.، ظهیری، ع.ر. ۱۳۹۳. نقش احداث سد مخزنی نرماب بر کاهش پهنه سیل و خسارات وارده به اراضی پایین دست. ۴. ۱۶: ۲۴-۳۶.
- Akter, T and Simonovic, S. 2004. Modeling uncertainties in short-term reservoir operation using fuzzy sets and a genetic algorithm. *Hydrological Sciences-Journal*. 49.6: 1081-1097.
- Castro Gama, M., Popescu, I., Shengyang, L and Mynett, A. 2014. Modeling the inference between upstream inflow hydrographs and downstream flooded areas in a reservoir driven system. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 108: 207-218.
- Chaleeraktragoon, C and Chinsomboon, Y. 2015. Dynamic rule curves for flood control of a multipurpose dam. *Journal of Hydro-environment Research*. 9: 133-144.
- Chun, C., and Chau, K.W. 2004. Flood control management system for reservoirs. *Environmental Modeling and Software*. 19: 1141-1150.
- Chuntian, C and Chau, K.W. 2002. Three-person Multi-objective Conflict Decision in reservoir flood control. *European Journal of Operational Research*. 142: 625-631.
- Dashti Naser Abadi, H., Dehghani, A.A and Rasuli, S.H. 2015. Evaluation of Dam Ceiling Stability (Comparison Case of Golestan Dam). *International Journal of Review in Life Sciences*. 5.5: 1454-1459.
- Deshpande, S. 2013. Improved Floodplain Delineation Method Using High-Density LiDAR Data. *Civil and Infrastructure Engineering*. 28: 68-79.
- Earles, T.A., Wright, K.R., Brown, C.H and Langan, T.E. 2004. Los alamos forest fire impact modeling. *Journal of the American Water Resources Association*. 4: 371-384.
- Golshan, M., Jahanshahi, A and Afzali, A. 2016. Flood hazard zoning using HEC-RAS in GIS environment and impact of manning roughness coefficient changes on flood zones in semi-arid climate. *Desert*.

Golestan Dam Operation in Flood Conditions to Minimize Flood Damages in Downstream of Dam

Z. Sadeghi¹, S.R. Khodashenas^{*2}, S.H. Sanaeinejad³ and M.Meftah Halghi⁴

Recived: Oct.03, 2017

Accepted: Nov.06, 2017

Abstract

The aim of this study is investigation the application of operation scenarios on Golestan dam to reduce the inundated area and the flood damages at downstream of dam. So considering confidence interval, the inflow hydrographs for Golestan dam were calculated for 4 return periods (25, 50, 100, 200 year). Then these hydrographs were routed through Puls method in order to obtain the outflow hydrographs passing through dam spillway. Also, the integrated of Geographical Information System (GIS) and the HEC-RAS hydraulic model were used to produce a flood map for different floods. Finally, the damage to land around the river was estimated in each scenario. The results showed that assigning a flood control volumes in Golestan dam is effective only for floods whit peak discharge up to 2000 m³/s. And as the flood peak discharge increases, the effect of dam on flood controlling decreases, even if you keep the dam empty. So that, by the application of operation scenarios, flood inundated area can be reduced to 100% in the floods whit peak discharge up to 500 m³/s.

Keywords: Discharge, Flood controlling, GIS, Golestan dam, HEC- RAS

1- PhD Student. Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Professor of Civil Engineering, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate Professor of Meteorology, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

4-Associate Professor of water Structure Engineering, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(*- Corresponding Author Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)