

بررسی و مدل‌سازی شکست دو سد متوالی تحت رویکردهای متفاوت (مطالعه موردی: سدهای گلپایگان و کوچری)

سحر وزیری^۱ و الهام ایزدی‌نیا^{۲*}

چکیده

سیلاب ناشی از شکست سد، از فاجعه‌آمیزترین حوادث در دو قرن اخیر بوده است. در این نوع سیلاب، مقدار قابل توجهی آب در مدت زمان کوتاهی در پایین‌دست رودخانه رها و موجب پیدایش خسارات عظیم در پایین‌دست می‌شود. با توجه به اهمیت شکست سد، استفاده از مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی پیشروی و انتشار سیل ناشی از آن امری ضروری است. در پژوهش حاضر، شبیه‌سازی شکست سدهای خاکی گلپایگان و کوچری در استان اصفهان با استفاده از نرم‌افزار MikeFlood بررسی قرار شد. برای شبیه‌سازی مدل دوبعدی Mike21 داده‌های مرزی و شرایط اولیه مورد نیاز برای شروع کار را از مدل یک بعدی Mike11 دریافت کرده و پس از پر شدن آبراهه اصلی و نفوذ به دشت سیلابی فعال شده و شروع به شبیه‌سازی دوبعدی جریان در دشت سیلابی می‌کند. در این تحقیق سه رویکرد محتمل (۱) شکست هر دو سد در اثر روگذری، (۲) شکست سد گلپایگان در اثر رگاب و شکست سد کوچری در اثر روگذری و (۳) سد گلپایگان بدون شکست و شکست سد کوچری در اثر رگاب بررسی شده است. در رویکرد اول حداکثر دبی سیلاب در پایین‌دست ۱۱۸۷۲۷ مترمکعب بر ثانیه، در ۵۳ دقیقه پس از شکست سد کوچری و در رویکرد دوم حداکثر دبی سیلاب ۱۱۰۷۱۷ مترمکعب بر ثانیه، در ۵۱ دقیقه پس از شکست سد کوچری و در رویکرد سوم حداکثر دبی سیلاب ۵۰۲۰۸ مترمکعب بر ثانیه در ۴۳ دقیقه پس از شکست سد کوچری رخ می‌دهد. همچنین زمان‌های هشدار و پهنه‌بندی سیلاب در رویکردهای مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد در اثر شکست سد در هر سه رویکرد متفاوت، شهرک الوند و شهرک صنعتی سعیدآباد که از جمله مناطق مهم در پایین‌دست سد هستند، دچار آب‌گرفتگی نخواهند شد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، روندیابی، سد کوچری، سد گلپایگان، شکست سد، نرم‌افزار Mike Flood.

ارجاع: وزیری س. و ایزدی‌نیا ا. ۱۳۹۹. مدل‌سازی شکست دو سد متوالی تحت رویکردهای متفاوت (مطالعه موردی: سدهای گلپایگان و کوچری). مجله پژوهش آب ایران. ۱۷۲-۱۵۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان.

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان.

* نویسنده مسئول: e.izadnia@ashrafi.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۱

مقدمه

ساخت سدها، منافع زیادی برای جامعه به همراه دارد و نقش آن‌ها در توسعه کشاورزی و عمرانی مناطق روستایی و شهری، تأمین آب آشامیدنی، تولید انرژی برقی و کنترل و تنظیم شدت جریان رودخانه‌ها قابل توجه است. در کنار منافع قابل توجه ساخت سدها، سیلاب ناشی از شکست سدهای ساخته شده از جمله فاجعه‌آمیزترین حوادث در طی دو قرن اخیر بوده است. موج سیلاب ناشی از شکست سد، به دلیل ویژگی‌های خاص هیدرولیکی که آن را از سیلاب‌های طبیعی متمایز می‌کند، از حساسیت بیشتری برخوردار است. در این نوع سیلاب، حجم قابل توجهی از آب در مدت زمان کوتاهی در پایین دست رودخانه رها و موجب پیدایش امواج سیلابی عظیم در پایاب می‌شود. از آنجا که بسیاری از رودخانه‌ها، توانایی گذردهی امواج عظیم این نوع سیلاب را ندارند؛ لذا موج سیلاب در پایین دست از مسیر اصلی رودخانه خارج شده و ضمن ورود به دشت سیلابی موجب آب‌گرفتگی شهرها، روستاها و تأسیسات موجود در رودخانه می‌گردد. شکست سدها به صورت تدریجی در طی زمان یا ناگهانی انجام می‌شود. شکست تدریجی بیشتر در سدهای خاکی در اثر رگاب و یا روگذری جریان اتفاق می‌افتد. شکست ناگهانی اغلب در سدهای بتنی و در اثر روگذری یا لغزش تکیه‌گاه‌ها اتفاق می‌افتد. شکست یک سد نه تنها خسارات مالی فراوانی به همراه دارد، بلکه با توجه به ناحیه آب‌گرفته، جمعیت در معرض خطر و مدت زمانی که برای اعلام خطر وجود دارد، می‌تواند خسارات جانی بسیار چشمگیری به دنبال داشته باشد (توکلی، ۱۳۹۱). خسارات ناشی از شکست سدها، شامل خسارات مالی (خسارات وارده به بدنه سد و تأسیسات آن، ساختمان‌های مسکونی، زمین‌های کشاورزی) و خسارات جانی است. برای این منظور باید در نواحی مختلف اراضی پایین‌دست سدها میزان خطر ناشی از شکست سد برآورد شود تا بتوان مناطق بحرانی را تشخیص داد و به طرح‌ریزی عملیات نجات پرداخت. در رابطه با مدل‌سازی پدیده شکست سد مطالعات فراوانی صورت انجام شده؛ از جمله کرک‌پاتریک (۱۹۷۷) سیزده مورد مطالعه موردی و شش شکست فرضی را ارائه کرد و بهترین رابطه برای دبی پیک را به‌عنوان تابعی از عمق آب پشت سد در زمان شکست پیشنهاد داد. این تحلیل شامل داده‌هایی از شکست سد

وزنی بتنی سنت فرانسویس و کالیفرنیا می‌شد. جانسون و ایلس (۱۹۷۷) شکل شکست را برای سدهای خاکی وزنی و قوسی طبقه‌بندی کردند. برای سدهای خاکی شکل شکاف در فرآیند شکست سد از مثلثی به ذوزنقه‌ای تغییر می‌کند. شکاف اکثر سدهای خاکی در مطالعات گذشته به‌صورت ذوزنقه‌ای توصیف شده بود. اداره حفاظت خاک^۱ (۱۹۸۱) از سیزده مطالعه موردی ثبت شده توسط کرک‌پاتریک برای توسعه معادلاتی که پیک جریان خروجی شکست را به عمق آب در سد در زمان شکست مرتبط می‌کردند، استفاده کرد. این کار منجر به ایجاد یک منحنی پوش شد که البته سه نقطه کمی بالاتر از منحنی قرار گرفتند. اداره توسعه آمریکا (USBR^۲) (۱۹۸۲) این کار را توسعه داد و یک معادله پوش برای جریان خروجی پیک با استفاده از داده‌های ۲۱ سد پیشنهاد داد. ساین و اسنورسن (۱۹۸۴) از مدل‌های DAMBRK و HEC-1 برای مطالعه تأثیر تغییر پارامترهای شکاف روی جریان خروجی پیک پیش‌بینی شده برای هشت سد فرضی شکسته شده استفاده کردند. آنان عرض شکاف، عمق، زمان شکست و هد روگذری را در محدوده به‌دست آمده از تحلیل بیست شکست واقعی، تغییر دادند. با تغییر زمان شکست در مخازن دارای ذخیره نسبتاً کوچک، تغییرات بزرگی در جریان پیک ایجاد شد. کاهش ۵۰ درصدی زمان شکست حین هیدروگراف حداکثر سیلاب محتمل (PMF^۳) منجر به افزایش ۱۳ تا ۸۳ درصدی دبی پیک شد. در مخازن بزرگ پیک جریان خروجی نسبت به تغییر مشابه در زمان شکست حساس نبود و تنها تغییر ۱ تا ۵ درصدی را نشان داد. پتراسچک و سیدلر (۱۹۸۴) حساسیت دبی، ترازهای سیلاب و زمان رسیدن سیلاب به دبی پیک را نسبت به تغییرات عرض شکاف و زمان شکل‌گیری آن بررسی کردند. برای مکان‌های نزدیک به سد هر دو پارامتر می‌توانند تأثیر چشمگیری بر پارامترهای اشاره شده داشته باشند. برای مکان‌هایی که تا اندازه‌ای در پایین‌دست سد قرار دارند، دبی پیک و ترازهای سیل نسبت به تغییر پارامترهای شکاف حساسیتی ندارند؛ لذا پیش‌بینی درست پارامترهای شکست برای یک تخمین قابل اطمینان پیک جریان خروجی و سیلاب نقاط پایین‌دست مجاور سد، ضروری است. مک‌دونالد و

1- Soil Conservation Service

2- United States Bureau of Reclamation

3- Probable Maximum Flood

شبیه‌سازی کردند. دبی پیک و به تبع آن میزان افزایش تراز آب در نواحی مختلف پایین‌دست سد را به ازای دو رویکرد شکست آنی و شکست تدریجی بررسی کردند. ابارشی و همکاران (۱۳۸۹) به کمک نرم‌افزار MIKE11 سیلاب ناشی از شکست سد طرق را به صورت یک بعدی مدل‌سازی کرده‌اند. آنان این نرم‌افزار را برای پهنه‌بندی سیلاب حاصل از شکست سد مناسب ارزیابی کردند. خداینده شهرکی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی با استفاده از مشخصات سد خاکی بیدکان واقع در استان چهارمحال و بختیاری و به کارگیری مدل SMPDBK نرم‌افزار WMS پدیده شکست سد را شبیه‌سازی کردند. سیفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهش خویش شکست سد پلرود در اثر روگذری با استفاده از مدل BREACH GUI را بررسی کردند. آنان نتیجه گرفتند هیدروگراف سیلاب ناشی از شکست سد، دارای دبی اوج ۴۷۲۵۳ مترمکعب در ثانیه است. این دبی، ۲۷ ساعت پس از شروع سیلاب و یک ساعت پس از آغاز روگذری از سد رخ داد. ارزولو و همکاران (۱۳۹۵) شکست سد شهرچای ارومیه را بررسی کردند و به پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست روگذری دست یافتند. قاسمی و همکاران (۱۳۹۶) شکست سد مخزنی در حال ساخت میرزای شیرازی در فارس را تحت تأثیر دو رویکرد با نرم‌افزار MikeFlood شبیه‌سازی کردند. در رویکرد شکست آنی حداکثر دبی سیلاب ۱۱۸ هزار و در رویکرد شکست تدریجی ۸۰ هزار مترمکعب بر ثانیه است.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته در زمینه شکست سدها، اکثر مطالعات به بررسی شکست یک سد پرداخته و تأثیر شکست دو سد متوالی تحت رویکردهای متفاوت تاکنون بررسی نشده است. هدف از انجام این پژوهش مدل‌سازی پهنه سیلاب در اثر شکست دو سد متوالی گلپایگان و کوچری و همچنین روندیابی سیلاب است. علاوه بر آن به ارزیابی خسارات ناشی از سیلاب تحت سه رویکرد متفاوت بر اساس اطلاعات و آمار سرشماری سال ۱۳۹۰ و میزان رشد جمعیت سال ۱۳۹۷ پرداخته شده است.

لانگریج- منوپلیس (۱۹۸۴) عامل شکل‌گیری شکاف را پیشنهاد کردند که حاصل حجم جریان خروجی شکاف (ذخیره اولیه به انضمام جریان ورودی همزمان) و عمق آب بالای آبگذر شکاف در زمان شکست است. به علاوه آنان از تحلیل ۴۲ مورد مطالعاتی ثبت شده در مقالاتشان، دریافتند که شیب کناره شکاف می‌تواند در بیشتر موارد برای حالت‌های مثلثی یا دوزنقه‌ای ۲(عمودی):۱(افقی) فرض شود. واندراکیمین و همکاران (۲۰۰۸) خطر سیلاب برای بخشی از دشت ساحلی بلژیک را با استفاده از نرم‌افزار MikeFlood و SOBEK1 D2D بررسی کردند. نتایج حاصل شده از هر دو مدل بسیار به هم نزدیک بود و عدم قطعیت در انتخاب هریک از بسته‌های نرم‌افزاری بسیار ناچیز است. پاترو و همکاران (۲۰۰۹) از مدل تلفیقی یک‌بعدی-دو بعدی MikeFlood برای شبیه‌سازی سیلاب در منطقه دلتای رودخانه ماهاندی در هند استفاده کردند. گودرزی و همکاران (۲۰۱۳) به کاربرد تحلیل ریسک و عدم قطعیت در پدیده روگذری آب از سد پرداخته‌اند. آنان احتمال روگذری آب از سد میجران را با استفاده از دو روش ارزیابی عدم قطعیت (شبیه‌سازی مونتکارلو و نمونه‌گیری هایپرکیوب) ارزیابی قرار کردند. کمان‌بدست و بریانوند (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر شکست سد بر پایین‌دست سد ایوشان لرستان پرداختند. آن‌ها ابتدا با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS به شبیه‌سازی شکست سد پرداختند، سپس با استفاده از نتایج حاصل‌شده نقشه سیلاب را در GIS تهیه کردند. رویکردهای تعریف شده شامل شکست سد بر اثر جنگ و شکست بر اثر سیلاب ده هزار ساله بود. پس از تحلیل نتایج مشخص شد که عمق آب در روستاهای پایین‌دست برای رویکرد اول دو برابر رویکرد دوم است. یانگ و همکاران (۲۰۱۵) به مطالعه آزمایشگاهی روی فرآیند شکاف بر اثر روگذری و مکانیسم شروع شکاف پرداختند. با استفاده از مشاهدات آزمایشگاهی، جزئیات شکاف بررسی و کل فرآیند شکاف به پنج مرحله ۱- فرسایش بر اثر نشت، ۲- تشکیل شکاف اولیه، ۳- فرسایش به سمت بالا، ۴- گسترش شکاف و ۵- به تعادل رسیدن کانال رودخانه تقسیم شد. نتایج نشان می‌دهد که به احتمال زیاد شکاف اولیه در شیب پایین‌دست سد نزدیک به لبه بالایی سطح تراوش رخ می‌دهد. زرگر و همکاران (۱۳۸۷) شکست سد مارون را با استفاده از نرم‌افزار Mike11

مواد و روش‌ها

الف - منطقه مورد مطالعه

سد گلپایگان و سد کوچری

سد گلپایگان در ۲۰ کیلومتری جنوب غربی شهر گلپایگان، روی رودخانه اناربار واقع شده است. هدف از احداث این سد، جلوگیری از خسارات ناشی از سیل و تأمین آب کشاورزی شش هزار هکتار از اراضی کشاورزی منطقه بوده است. در حدود ۱۲ کیلومتر پایین‌تر از سد گلپایگان، سد کوچری احداث شده است. عملیات اجرایی آن در سال ۱۳۸۸ آغاز و تاکنون ۹۵ درصد پیشرفت فیزیکی داشته است. هدف از احداث سد کوچری:

- انتقال آب از سد به شبکه و تأمین آب شرب شهرهای قم، خوانسار، گلپایگان، خمین، محلات، دلیجان و سلفچگان؛
- تأمین آب برای مصارف کشاورزی و رونق کشاورزی و در نهایت ایجاد اشتغال در منطقه؛

۳. کنترل سیلاب‌های فصلی و در نهایت کاهش

خسارات و هزینه‌های ناشی از آن.

در شکل ۱ سدهای گلپایگان، کوچری و موقعیت قرارگیری آن‌ها نسبت به شهر گلپایگان قابل مشاهده است. در جدول ۱ مشخصات سد گلپایگان و کوچری آورده شده است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و پایین‌دست دو سد گلپایگان و کوچری

جدول ۱- خلاصه مشخصات سدهای گلپایگان و کوچری

سد کوچری	سد گلپایگان	
۸ کیلومتری جنوب غربی گلپایگان	۲۰ کیلومتری جنوب غربی گلپایگان	محل سد
مرکزی- دریاچه نمک	مرکزی- دریاچه نمک	حوضه آبریز
اناربار (قمرود- گلپایگان)	اناربار (قمرود- گلپایگان)	نام رودخانه
۹۵ درصد پیشرفت فیزیکی	۱۳۳۶	سال بهره‌برداری
خاکی با هسته رسی	خاکی با هسته رسی	نوع سد
۶۳۲.۵ متر	۳۶۰ متر	طول تاج
۹۷ متر	۵۶ متر	ارتفاع از پی
۲۰۷ میلیون مترمکعب	۴۲.۵ میلیون مترمکعب	حجم مخزن

ب- روش‌شناسی

مدل Mike-Flood یک مدل یک‌بعدی-دو بعدی است که جریان عبوری از مقطع شکسته شده سد را توسط مدل Mike11 مانند جریان عبوری از بالای یک سرریز عریض به دو روش مختلف در نظر می‌گیرد: در روش اول مقطع شکست سد با زمان تغییر می‌کند و در روش دوم جریان عبوری از بالای تاج سد و جریان عبوری از مقطع شکست به صورت جداگانه محاسبه می‌شوند.

مدل Mike11 می‌تواند شکاف ایجاد شده در سد را به صورت تدریجی یا آنی با استفاده از روابط انتقال رسوب یا سری زمانی شکست سد، گسترش دهد تا سد به طور کامل نابود شود و از بین برود. بهترین انتخاب برای شبیه‌سازی جریان در دره‌های پرشیب استفاده از مدل‌های

یک‌بعدی است. مدل‌های دو بعدی نیز به تنهایی نمی‌توانند نیازهای این مطالعه مهم را رفع کنند. مهم‌ترین ضعف مدل‌های دو بعدی علاوه بر نیاز به داده‌های بیشتر مشکلاتی است که در خصوص شبیه‌سازی جریان قبل از حالت مقطع پر (bank full)، همچنین سازه‌های هیدرولیکی دارند. مدل یک‌بعدی-دو بعدی Mike-Flood نرم‌افزاری است که ارتباط بین مدل یک‌بعدی Mike11 (برای شبیه‌سازی یک‌بعدی جریان در آبراه اصلی رودخانه) و مدل دو بعدی Mike21 (برای شبیه‌سازی دو بعدی جریان در دشت‌های سیلابی) را به صورت یک‌پارچه برقرار می‌کند. شیوه عمل به‌گونه‌ای است که در مواقع قبل از پر شدن مقطع جریان در آبراه اصلی رودخانه، مدل Mike11 فعال می‌شود و روندیابی سیل در

که در آن $C_B(0.71)$ ضریب بدون بعدی است که ضریب بارتر نامیده می‌شود، W_R عرض مخزن که از طول تاج تخریب نشده به دست می‌آید، $h_{b,term}$ تراز نهایی کف شکاف (پایین‌ترین تراز در فایل سری زمانی) است.

ضریب غوطه‌وری با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$K_S = \max\left(1 - 27.8 \left(\frac{h_{ds} - h_b}{h - h_b}\right) - 0.67\right)^3, 0\right) \quad (3)$$

که در آن h_{ds} تراز آب پایین دست است. جریان عبوری از حفره، با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$Q = C_{orifice} A \sqrt{2g(h - \max(h_p, h_{ds}))} \quad (4)$$

که در آن $C_{orifice}$ ضریب اوریفیس برابر مقدار ثابت ۰/۶۰ در نظر گرفته شد، A مساحت سطح مقطع که از معادله زیر به دست می‌آید:

$$A = b(h_{pt} - h_b) + S(h_{pt} - h_b)^2 \quad (5)$$

که در آن h_{pt} ارتفاع بالای حفره، h_b ارتفاع پایین حفره، h_p ارتفاع مرکز حفره که با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$h_p = \frac{(h_{pt} + h_b)}{2} \quad (6)$$

اگر ارتفاع بالای حفره به تراز تاج سد برسد، حفره متلاشی می‌شود. همچنین اگر تراز آب بالادست به اندازه کافی زیاد نباشد که جریان را در حفره نگهداری کند، حفره متلاشی خواهد شد که این موضوع بر اساس معادله زیر بررسی می‌شود:

$$h < \frac{3}{2}(h_{pt} - h_b) + h_b \quad (7)$$

به محض متلاشی شدن حفره، جریان با استفاده از معادلات جریان در شکاف (روگذری) محاسبه خواهد شد. دبی جریان عبوری از روی تاج سد با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = K_s C_{weir} b_c \sqrt{g(h - h_c)}(h - h_c) \quad (8)$$

که در آن h_c تراز تاج، b_c طول تاج باقی‌مانده (عمود بر جریان) هستند.

و ضریب غوطه‌وری از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$K_S = \max\left(1 - 27.8 \left(\frac{h_{ds} - h_c}{h - h_c}\right) - 0.67\right)^3, 0\right) \quad (9)$$

طرح رویکردها

امکان انتخاب گزینه‌های مختلف در مورد یک پدیده، رویکردهای متفاوت به وجود می‌آورد. ملاحظه می‌شود که اطلاعات مربوط به پلان مسیر شامل مختصات نقاط

آبراهه اصلی را انجام می‌دهد. در این حین، تمامی سازه‌های موجود در مسیر آبراهه را با تمامی جزئیات در شبیه‌سازی در نظر می‌گیرد. با افزایش دبی جریان و پر شدن مقطع جریان در آبراهه اصلی و نفوذ جریان به دشت سیلابی، مدل Mike21 فعال می‌شود و شروع به شبیه‌سازی دوبعدی جریان در دشت سیلابی می‌کند. در مدل Mike-Flood لینک‌هایی برای برقراری ارتباط بین دو مدل مذکور تعبیه شده است که کاربر باید در تعریف مدل، لینک‌های مذکور را جهت ارتباط بهتر مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی در حین شبیه‌سازی تعریف کند. از قابلیت‌های دیگر Mike-Flood، سهولت شبیه‌سازی سرعت‌های بالا و جریان‌های بحرانی در شبکه پیچیده و طولانی رودخانه است.

توسعه اولیه شکاف

شکاف با توجه به روش خاصی که برای محاسبه آن در نظر گرفته شده است، شروع به گسترش می‌کند. در روش شکست سد سرویس ملی هواشناسی^۱ (NWS) شکاف ممکن است هم به‌عنوان یک دوزنقه یا به‌عنوان یک شکست جوششی آغاز گردد. با استفاده از روش شکاف استاندارد سد، شکاف یا به‌صورت دوزنقه یا اگر از روش فرسایش محور استفاده شود، به‌صورت یک شکست دوار جوششی آغاز شود (توکلی، ۱۳۹۱).

جریان میان شکاف دوزنقه‌ای با معادله زیر به دست می‌آید:

$$Q = C_v K_S [C_{weir} b \sqrt{g(h - h_b)}(h - h_b) + (C_{slope} S \sqrt{g(h - h_b)}(h - h_b))^2] \quad (1)$$

که در آن b عرض کف شکاف، g شتاب ثقل، h تراز آب بالادست (مخزن)، h_b تراز کف شکاف، S شیب جداره شکاف، C_{weir} ضریب سرریز برای قسمت افقی، C_{slope} ضریب سرریز برای قسمت شیب، C_v ضریب اصلاحی برای بخش عبوری (این ضریب افت انرژی ناشی از عبور جریان سازه را جبران می‌کند)، K_s ضریب اصلاحی مربوط به غوطه‌وری است.

ضریب اصلاحی برای بخش عبوری با استفاده از معادله زیر به دست می‌آید:

$$C_v = 1 + \frac{C_B Q^2}{g W_R^2 (h - h_{b,term})^2 (h - h_b)} \quad (2)$$

اضطراری در لحظه شکست است؛ لذا تعیین پهنه سیلاب ناشی از شکست در حالتی که مخزن پر است، بیشترین احتمال وقوع را دارد که در این مطالعه نیز برای شبیه‌سازی انتخاب گردید. موارد مورد نیاز برای شبیه‌سازی دوبعدی نیز با توجه به ترکیب مدل دوبعدی با مدل یک‌بعدی و استفاده از شرایط مرزی مدل یک‌بعدی، تنها نیازمند وارد کردن توپوگرافی منطقه و ضریب زبری مانینگ بوده که ثابت است و گزینه‌ای را برای ایجاد رویکردهای مختلف ندارد. در زیر توضیح رویکردهای پژوهش آمده است:

۱) رویکرد شکست سدهای گلپایگان و کوچری در حالت وقوع حداکثر سیلاب محتمل PMF

در رویکرد شکست در روز سیلابی، بر اثر وقوع حداکثر PMF، فرض بر این است که مخزن سدهای گلپایگان و کوچری در تراز نرمال قرار دارند و با ورود حداکثر سیلاب محتمل به مخزن سد گلپایگان و افزایش رقوم سطح آب در مخزن تا بیش از رقوم تاج سد، مکانیزم روگذری باعث شسته شدن بدنه سد می‌شود و شکاف در بدنه سد ایجاد می‌کند. توسعه تدریجی شکاف سد منجر به شکست سد می‌شود و سیلاب ناشی از آن در پایین‌دست اتفاق می‌افتد و به سد کوچری می‌رسد. با ورود سیلاب به مخزن سد کوچری مکانیزم روگذری باعث ایجاد شکاف در بدنه سد می‌شود. در این رویکرد سیلاب ناشی از شکست سد، برابر حجم معادل دبی سیلاب ورودی به مخزن سد گلپایگان در اثر وقوع حداکثر سیلاب محتمل، به‌علاوه حجم معادل تراز نرمال مخزن سد گلپایگان همچنین حجم معادل تراز نرمال مخزن سد کوچری خواهد بود. شدت جریان PMF سد گلپایگان معادل ۳۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه است.

۲) رویکرد شکست سد گلپایگان در حالت روز آفتابی با مخزن پر و سد کوچری در حالت روگذری

در رویکرد شکست سد گلپایگان در روز آفتابی، بر اثر زلزله یا ضعف سازه‌ای یا جنگ، فرض بر این است که مخزن سد گلپایگان در تراز نرمال قرار دارد و مکانیزم زیرشویی باعث شسته شدن بدنه سد می‌شود و ایجاد روزنه در بدنه سد می‌کند. توسعه تدریجی روزنه ایجاد شده منجر به شکسته شدن سد می‌شود و سیلاب ناشی از آن در پایین‌دست سد اتفاق می‌افتد. با توجه به وجود سد کوچری در پایین‌دست، با ورود سیلاب به مخزن سد کوچری مکانیزم روگذری باعث ایجاد شکاف در بدنه سد می‌شود. در این

شبکه، فاصله از ابتدای مسیر، ارتفاع تاج سدها و طول تاج سدها در هر حالتی که برای مسأله در نظر گرفته شود، ثابت است؛ اما سطح آب در مخزن در لحظه شکست خود می‌تواند باعث ایجاد رویکردهای مختلف شود. همچنین در مورد مقاطع عرضی، هندسه مقاطع عرضی ثابت است. شرایط اولیه به سطح یا دبی آب رودخانه و مخزن سد در لحظه شروع شبیه‌سازی بستگی دارد و در مسأله شبیه‌سازی شکست سد گزینه‌های مختلفی ایجاد نمی‌کند؛ زیرا سیلاب، پدیده‌ای ناگهانی است و در شبیه‌سازی این پدیده، باید ابتدا شرایط عادی مخزن و رودخانه به‌عنوان شرایط اولیه به مدل معرفی شود که مقداری ثابت و مشخص است. بررسی شرایط مرزی، نرم‌افزار Mike-Flood، پدیده شکست سد را بسته به انتخاب کاربر از روش روگذری یا زیرشویی مدل می‌کند. با توجه به معادلات حاکم متفاوت امکان شبیه‌سازی همزمان این دو مکانیزم در نرم‌افزار وجود ندارد؛ لذا انتخاب مکانیزم شکست سد در حالت روگذری یا زیرشویی رویکردهای مختلف را نتیجه می‌دهد. از آنجا که شکست در حالت روگذری در اثر سرریز آب ملازاد مخزن از روی تاج سد است؛ بنابراین شامل مواردی از شکست می‌شود که ظرفیت دبی عبوری سرریز کافی نباشد و این شرایط زمانی اتفاق می‌افتد که یا سیلابی بزرگ‌تر از سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله (سیلاب طراحی) در مخزن به وقوع بپیوندد یا در اثر زلزله یا ریزش مصالح به درون مخزن امواجی در داخل آن ایجاد و باعث روگذری از تاج سد شود.

در این پژوهش تنها به شکست در حالت روگذری ناشی از حداکثر سیلاب محتمل پرداخته می‌شود. برای مدل کردن این رویکرد در قسمت شرایط مرزی باید حداکثر سیلاب محتمل به‌عنوان شرط مرزی بالادست وارد شود. شکست در حالت زیرشویی زمانی اتفاق می‌افتد که سد از لحاظ سازه‌ای دچار اشکال گردد که این اشکال می‌تواند ناشی از نشست، لغزش پی، ضعف سازه‌ای، جنگ یا زلزله باشد. اصطلاحی که پژوهشگران برای این نوع شکست به کار می‌برند، شکست در روز آفتابی است. برای مدل کردن این رویکرد باید در قسمت شرایط مرزی بالادست دبی پایه رودخانه به مدل معرفی شود. تنها گزینه‌ای که می‌تواند در این حالت رویکردهای مختلفی ایجاد کند، سطح آب در مخزن در لحظه شکست است. با توجه به اینکه هدف از انجام مطالعات کمک به انجام هرچه بهتر اقدامات

شکست سد، برابر حجم معادل تراز نرمال مخزن سد کوچری خواهد بود.

نتایج و بحث

روندیابی سیلاب

از جمله قابلیت‌های مدل امکان رندیابی سیلاب برای مقاطع عرضی است. با توجه به ۶۳ مقطع عرضی بعد از سد کوچری و عدم نیاز به تحلیل هیدروگراف در تمامی مقاطع، تحلیل هیدروگراف در نه مقطع عرضی حائز اهمیت و استراتژیک انجام شد. این نه مقطع با توجه به قرارگیری در مناطق حساس زمین‌های کشاورزی، شهر گلپایگان، شهرک الوند و روستاهای اطراف انتخاب شده‌اند. محل مقاطع در جدول ۲ آورده شده است.

رویکرد سیلاب ناشی از شکست سد، برابر حجم معادل تراز نرمال مخزن سد گلپایگان به علاوه حجم نرمال مخزن سد کوچری خواهد بود.

۳) رویکرد سد اول بدون شکست و شکست سد دوم در حالت روز آفتابی با مخزن پر

در این رویکرد فرض بر این است که سد گلپایگان بدون شکست باشد و مخزن سد کوچری در تراز نرمال قرار دارد و مکانیزم زیرشویی باعث شسته شدن بدنه سد شود و ایجاد روزنه کند. توسعه تدریجی روزنه ایجاد شده منجر به شکسته شدن سد می‌شود و سیلاب ناشی از آن در پایین دست سد اتفاق می‌افتد. در این رویکرد سیلاب ناشی از

جدول ۲- مشخصات مقاطع بررسی شده بعد از شکست سد

محل مقاطع	فاصله از مخزن سد کوچری (Km)
اولین مقطع پس از سد	۰/۵
زمین‌های کشاورزی بالاتر از حسن حافظ	۲/۵
زمین‌های کشاورزی حسن حافظ	۵
حسن حافظ	۹
شهرک الوند و شهر گلپایگان	۱۱/۵
زمین‌های کشاورزی پایین دست گلپایگان، رباط سرخ و گوگد	۱۵
رباط قالقان، زمین‌های کشاورزی بالادست فقس‌ستان	۱۸
فقس‌ستان و سعیدآباد و زمین‌های کشاورزی مجاور آن‌ها	۲۱/۵
غرغه و لالان و زمین‌های کشاورزی	۲۶

داشت. علاوه بر آن مشاهده می‌شود رویکرد سوم دارای دبی پیک کمتر (حدود ۵۰ درصد دبی پیک) نسبت به دو رویکرد دیگر در مقاطع نزدیک به سد است و با فاصله گرفتن از سد اختلاف دبی پیک رویکرد سوم با دو رویکرد دیگر کمتر می‌شود. با توجه به شکل در فاصله ۱۸ کیلومتری به بعد دبی پیک هر سه رویکرد به یک مقدار تقریباً ثابت خواهد رسید.

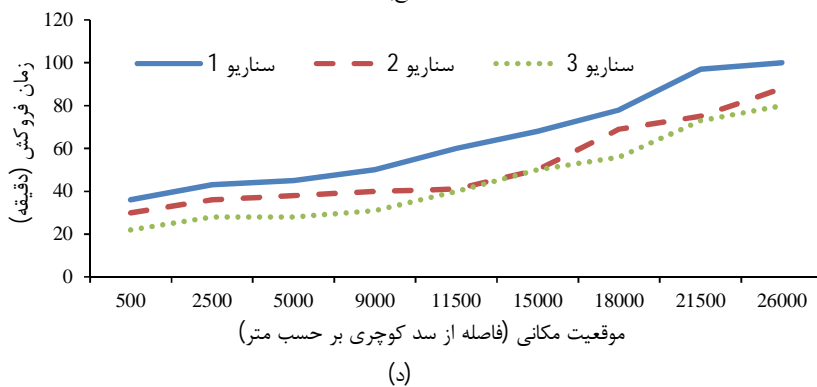
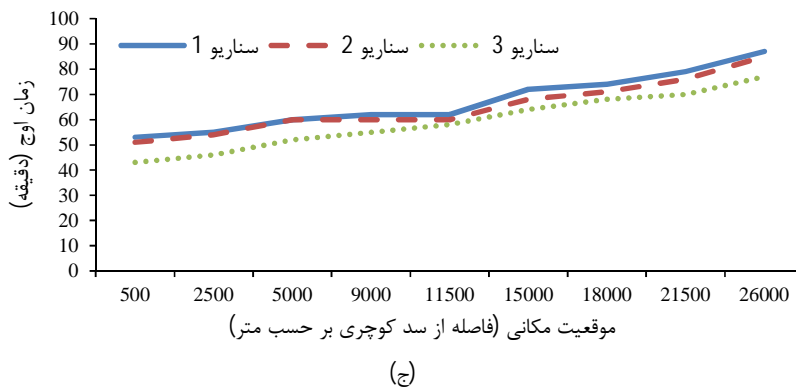
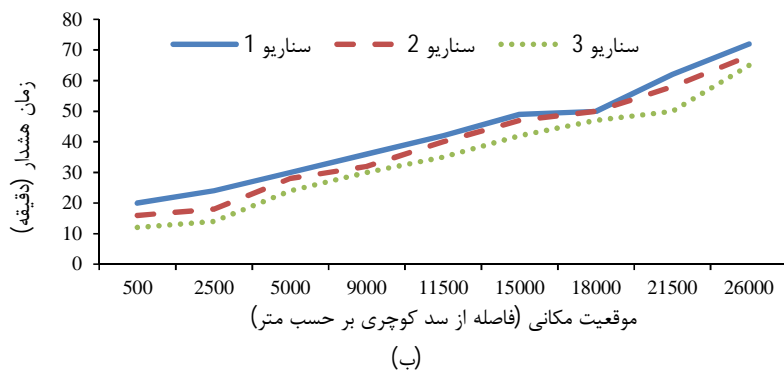
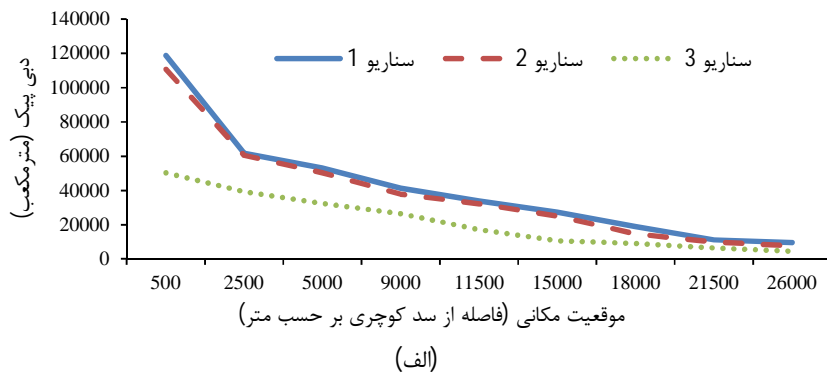
از شکل ۲- ب مشخص است که زمان هشدار (زمان رسیدن اولین موج ناشی از شکست سد) با افزایش فاصله مقاطع از سد کوچری افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر اولین موج سیلاب به مقاطع با فاصله بیشتر از سد دیرتر خواهد رسید. در یک موقعیت مکانی ثابت زمان هشدار از رویکرد اول به سوم کاهش می‌یابد؛ بنابراین با وجود اینکه در رویکرد اول میزان دبی پیک بیشتر است، فرصت زمان هشدار نیز افزایش می‌یابد. بر اساس شکل ۲- ج و د زمان اوج و فروکش سیلاب با افزایش فاصله نسبت به سد

در شکل ۲ مقدار دبی پیک، زمان هشدار (زمان رسیدن اولین موج ناشی از شکست سد)، زمان اوج و زمان فروکش سیلاب (فاصله زمان رسیدن به دبی اوج تا خاتمه سیلاب) در رویکردهای مختلف آورده شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۲- الف بیشترین میزان دبی پیک مربوط به رویکرد اول (شکست هر دو سد در اثر روگذری) است و کمترین دبی پیک را رویکرد سوم (سد گلپایگان بدون شکست و شکست سد کوچری در اثر زیرشویی) به خود اختصاص داده است. با توجه به شکل، با افزایش فاصله مقاطع از سد، میزان دبی پیک سیلاب کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه اختلاف ناچیز در میزان دبی پیک رویکرد اول و دوم در تمام مقاطع است؛ زیرا تنها تفاوت این دو رویکرد در میزان دبی سیلاب ورودی به مخزن سد گلپایگان در اثر وقوع حداکثر سیلاب محتمل است که نشان می‌دهد این سیلاب در مقایسه با میزان آب ذخیره شده در دو سد تأثیر چندانی بر دبی پیک نخواهد

یکدیگر نزدیک است. مقاطع اولیه بعد از سد نسبت به سایر مقاطع بعدی زودتر به ماکزیمم می‌رسد و فروکش می‌کند.

افزایش می‌یابد و در یک موقعیت مکانی ثابت میزان زمان اوج و فروکش سیلاب در رویکرد اول بیشتر از دو رویکرد دیگر بوده و زمان فروکش سیلاب رویکرد دوم و سوم به



شکل ۲- مقایسه نتایج حاصل از روندیابی (الف) دبی پیک، (ب) زمان هشدار، (ج) زمان اوج و (د) زمان فروکش

خواهد شد. سیلاب به بخشی از گوگد، اسفرنجان و رباط قالقان خواهد رسید.

- ۱۲۰ دقیقه پس از شکست

با توجه به شکل ۳- د پس از رسیدن به کوه‌های تیمره همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شد، سیلاب در مسیر اصلی رودخانه به حرکت خود ادامه می‌دهد که با رنگ زرد (عمق آب ۳۰-۲۷/۵ متر) و سبز (۲۰-۱۷/۵ متر) و در حاشیه رودخانه با رنگ آبی (۷/۵-۵ متر) قابل مشاهده است. با توجه به وجود سنگ‌نگاره‌های کهن در این منطقه و بر اساس شیوه پخش سیلاب، مشاهده می‌شود که پس از شکست سدهای گلپایگان و کوچری بعد از گذشت ۱۲۰ دقیقه و بیشتر از آن، احتمال به زیر آب رفتن این سنگ‌نگاره‌ها وجود دارد.

پهنه سیلاب در رویکرد دوم (سد گلپایگان زیرشویی و سد کوچری روگذری)

- ۳۰ دقیقه پس از شکست

با توجه به شکل ۴- الف در ابتدای رودخانه رنگ سبز (عمق آب ۲۰-۱۷/۵ متر) در مسیر اصلی و رنگ آبی (۷/۵-۵ متر) در حاشیه رودخانه است. بیشترین عرض سیلاب در حدود ۹۰۰ متر است. پیشروی سیلاب در ساحل چپ و راست رودخانه اناربار تا حدودی متقارن است. در این زمان، که ۳۰ دقیقه پس از شکست سد است، سیلاب شروع به پیشروی در زمین‌های کشاورزی نزدیک سد کوچری می‌کند.

- ۶۰ دقیقه پس از شکست

بر اساس شکل ۴- ب مسیر اصلی رودخانه با رنگ سبز (عمق آب ۲۵/۵-۲۲/۵ متر) و زرد (۲۷-۲۵/۵ متر) و حاشیه رودخانه (۷/۵-۵ متر) با رنگ آبی نشان داده شده است. بیشترین عرض سیلاب ۳ کیلومتر است. ابتدای مسیر با توجه به وجود رشته کوه الوند در سمت چپ و کوه‌های قلعه دختر در سمت راست، سیلاب تا دامنه این کوه‌ها پخش می‌شود. سیلاب به صحرای دره، صحرای ابلولان و صحرای چهل جریب و دشت همواری و بیشتر مراتع بین شهر گلپایگان و سد کوچری خواهد رسید. بخشی از شهر گلپایگان در شمال غربی نیز دچار آب‌گرفتگی می‌شود.

پهنه‌بندی سیلاب در اثر شکست سدهای گلپایگان و کوچری و تلفیق نقشه‌های آب‌گرفتگی با تصاویر ماهواره‌ای

با ورود آب از مجرای اصلی رودخانه به سیلاب‌دشت رودخانه مدل دوبعدی Flood-Mike شروع به شبیه‌سازی پیشروی سیلاب در سیلاب‌دشت می‌کند. روند توسعه سیلاب در محدوده شهر گلپایگان در چند زمان مختلف در سه رویکرد در شکل‌های زیر نشان داده شده است:

پهنه سیلاب در رویکرد اول (هر دو سد روگذری)

- ۳۰ دقیقه پس از شکست

با توجه به شکل ۳- الف در ابتدای رودخانه رنگ سبز (عمق جریان ۲۰-۲۲ متر) در مسیر اصلی و رنگ آبی (۷/۵-۱۰ متر) در حاشیه رودخانه دیده می‌شود. بیشترین عرض سیلاب برابر ۱/۳۳ کیلومتر است و ابتدای رودخانه به دلیل وجود کوه در اطراف مسیر، پخش سیلاب به میزان کمی انجام می‌شود و پیشروی سیلاب در ساحل چپ و راست تا حدودی متقارن است.

- ۶۰ دقیقه پس از شکست

با توجه به شکل ۳- ب ابتدای مسیر رودخانه رنگ زرد (عمق آب ۳۰-۲۷/۵ متر) و سبز (۲۷/۵-۲۵ متر) و در حاشیه رودخانه رنگ آبی (۷/۵-۱۰ متر) را نشان می‌دهد. بیشترین عرض سیلاب برابر ۳/۱۶ کیلومتر است. شکل پیشروی سیلاب در دو بال مجرای اصلی رودخانه متقارن نیست. ابلولان، مراتع و زمین‌های کشاورزی ابلولان، بخشی از شهر گلپایگان و قسمتی از مرتع و مزارع پایین‌دست شهر گلپایگان دچار آب‌گرفتگی خواهد شد و سیلاب تا ابتدای سعیدآباد و فقس‌ستان می‌رسد.

- ۹۰ دقیقه پس از شکست

با توجه به شکل ۳- ج رنگ سبز در مسیر اصلی رودخانه (عمق آب ۲۰-۲۲ متر) و رنگ آبی در حاشیه رودخانه (۷/۵-۱۰ متر) دیده می‌شود. بیشترین عرض سیلاب در حدود ۶ کیلومتر است. پیشروی سیلاب در دو بال مجرای اصلی رودخانه متقارن نیست، و سیلاب در سمت راست رودخانه پخش می‌شود. علت پخش سیلاب در سمت راست، وجود رشته کوه الوند در سمت چپ است. رکابدار، رباط پیرعلی، اسفنج، ابلولان و سررابط که به سد کوچری نزدیک هستند، به طور کامل دچار آب‌گرفتگی می‌شوند. شهر گلپایگان نیز به طور کامل دچار آب‌گرفتگی

- ۹۰ دقیقه پس از شکست

با توجه به شکل ۴- ج رنگ سبز (عمق آب ۲۰-۱۷/۵ متر) در مسیر اصلی رودخانه و رنگ آبی (۱۰-۷/۵ متر) در حاشیه رودخانه قابل مشاهده است. بیشترین عرض سیلاب در حدود ۵ کیلومتر است. ابتدای مسیر سیلاب در سمت چپ رودخانه و پس از آن تا انتهای مسیر در سمت راست رودخانه اناربار حرکت کرده است. شهر گلپایگان دچار آب‌گرفتگی می‌شود و تمامی مراتع موجود در اطراف شهر به زیر آب خواهد رفت. سیلاب به رباط قالقان، فقس‌ستان و بخش شرقی سعیدآباد خواهد رسید.

- ۱۲۰ دقیقه پس از شکست

بر اساس شکل ۴- د از شدت سیلاب در شهر گلپایگان و مناطق نزدیک به سد کاسته می‌شود. از ابتدای مسیر تا کوه‌های تیمره رنگ آبی (عمق آب ۷/۵-۵ متر) پس از رسیدن سیلاب به کوه‌های تیمره رنگ سبز (۲۰/۵-۱۷/۵ متر) مشاهده می‌شود. پس از رسیدن سیلاب به کوه‌های تیمره سیلاب تغییر مسیر می‌دهد و به علت کوهستانی بودن مسیر، پخش سیلاب رخ نمی‌دهد و فقط در مسیر اصلی رودخانه به حرکت خود ادامه می‌دهد. رباط ملکی و دست‌جرده به طور کامل و بخش شمال غربی گوگد آب‌گرفتگی را شاهد خواهد بود.

پهنه سیلاب در رویکرد سوم (سد گلپایگان بدون شکست و سد کوچری زیرشویی)

- ۳۰ دقیقه پس از شکست

با توجه به شکل ۵- الف ابتدای رودخانه رنگ سبز (عمق آب ۱۷/۵-۱۵ متر) و در حاشیه رنگ آبی (۵-۲/۵ متر) دیده می‌شود. بیشترین عرض سیلاب ۸۰۰ متر است. پیشروی سیلاب در ساحل چپ و راست متقارن نیست و در این‌جا سیلاب در بخش چپ ساحل پیشروی بیشتری دارد. ۳۰ دقیقه پس از شکست، مراتع ابتدایی (نزدیک‌ترین به سد) به زیر آب خواهند رفت.

- ۶۰ دقیقه پس از شکست

با توجه به شکل ۵- ب مسیر اصلی رودخانه با رنگ زرد (عمق آب ۲۷/۵-۲۵ متر) و سبز (۲۲/۵-۲۰ متر) حاشیه رودخانه با رنگ آبی (۷/۵-۵ متر) قابل مشاهده است. بیشترین عرض سیلاب ۲/۵ کیلومتر است. بخش زیادی از مراتع و زمین‌های کشاورزی حد فاصل شهر گلپایگان و سد کوچری به زیر آب خواهد رفت. قسمتی از زمین‌های

کشاورزی رباط سرخ و سعید آباد دچار سیلاب خواهند شد.

- ۹۰ دقیقه پس از شکست

بر اساس شکل ۵- ج رنگ سبز در مسیر اصلی (عمق آب ۱۷/۵-۱۵ متر) و رنگ آبی در حاشیه رودخانه (۵-۲/۵ متر) بیشترین عرض سیلاب ۴/۵ کیلومتر است. پیشروی سیلاب در ساحل چپ و راست رودخانه متقارن نیست و سیلاب در بیشتر مناطق به سمت راست حرکت کرده است. رکابدار، حسن حافظ، رباط پیرعلی، ابلولان، اسفنجی و سررباط که در نزدیکی سد کوچری هستند، به طور کامل دچار آب‌گرفتگی خواهند شد. این پهنه آب‌گرفتگی در سمت راست تا جایی ادامه پیدا می‌کند که به ارتفاعات کوه قلعه دختر برسد و پیشروی در آن منطقه متوقف می‌شود. بخش زیادی از شهر گلپایگان نیز دچار آب‌گرفتگی خواهد شد.

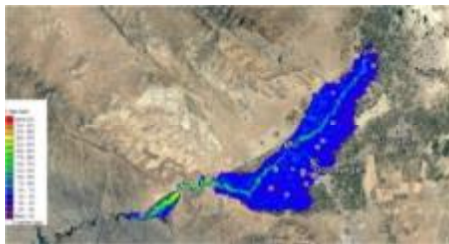
- ۱۲۰ دقیقه پس از شکست

بر اساس شکل ۵- د از شدت سیلاب در شهر گلپایگان کاسته می‌شود و تمامی مناطق قبل از کوه‌های تیمره به رنگ آبی (عمق آب ۲/۵-۰ متر) نشان داده شده‌اند. با رسیدن سیلاب به کوه‌های تیمره، تغییر مسیر می‌دهد و فقط در مسیر اصلی رودخانه جریان می‌یابد که با رنگ‌های سبز (۱۵-۱۲/۵ متر) دیده می‌شود. سیلاب به دست‌جرده، رباط ملکی و بخش کمی از گوگد خواهد رسید. هرچه زمان بگذرد، از میزان آب‌گرفتگی شهر گلپایگان و مراتع ابتدایی مسیر کاسته خواهد شد.

با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی سیلاب می‌توان گفت، در تمامی زمان‌های بررسی شده ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه، در رویکرد اول (شکست سدهای گلپایگان و کوچری در اثر روگذری) روند توسعه سیلاب بیشتر است و مناطق بیشتری دچار آب‌گرفتگی خواهند شد. در رویکرد سوم (سد گلپایگان بدون شکست و شکست سد کوچری در اثر زیرشویی) پخش سیلاب نسبت به دو رویکرد دیگر کمتر است. در هر سه رویکرد، شهر گلپایگان دچار آب‌گرفتگی خواهد شد و شهرک الوند که در دامنه رشته کوه الوند واقع شده است از سیلاب مصون می‌ماند. تمامی زمین‌های کشاورزی در نزدیکی سد کوچری نیز به زیر آب خواهند رفت. در خصوص عرض سیلاب، بیشترین عرض‌های سیلاب در زمان‌های مختلف پس از شکست سد، مربوط به رویکرد اول است که

بیشترین عمق‌ها مربوط به رویکرد اول و کمترین مربوط به رویکرد سوم است که علت آن حداکثر دبی سیلاب در رویکرد اول برابر $118727 m^3/s$ و در رویکرد سوم $50208 m^3/s$ است. عمق‌های جریان در ۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ دقیقه پس از شکست با هم مقایسه شده‌اند و بیشترین مقدار در هر سه رویکرد مربوط به ۶۰ دقیقه پس از شکست است. زمان رسیدن به حداکثر دبی سیلاب در رویکرد اول ۵۳ دقیقه، در رویکرد دوم ۵۱ دقیقه و در رویکرد سوم ۴۳ دقیقه پس از شکست سد است؛ بنابراین اولین زمان در هر سه رویکرد پس از رسیدن به حداکثر دبی سیلاب زمان ۶۰ دقیقه می‌باشد.

شکست همزمان دو سد در نظر گرفته شده، و کمترین عرض سیلاب مربوط به رویکرد سوم که تنها شکست یک سد (سد کوچری) در نظر گرفته شده است. همچنین هرچه زمان بیشتری از شکست سد گذشته باشد، عرض سیلاب دارای مقدار بیشتری خواهد بود؛ برای مثال عرض سیلاب در رویکرد اول ۳۰ دقیقه پس از شکست $1/33$ کیلومتر و در ۹۰ دقیقه بعد از شکست ۶ کیلومتر خواهد بود. عمق‌های جریان در رویکردهای اول تا سوم و در زمان‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. به‌طور کلی عمق جریان در مسیر اصلی رودخانه دارای مقادیر بیشتری نسبت به حاشیه‌های آن است.



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

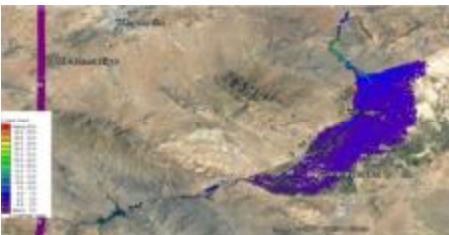
شکل ۳- (الف) ۳۰ دقیقه پس از شکست، (ب) ۶۰ دقیقه پس از شکست، (ج) ۹۰ دقیقه پس از شکست، (د) ۱۲۰ دقیقه پس از شکست



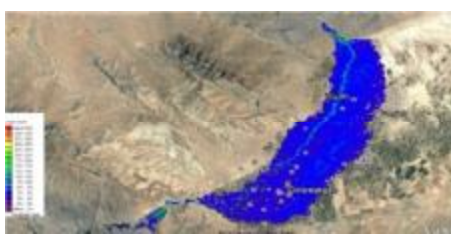
(ب)



(الف)

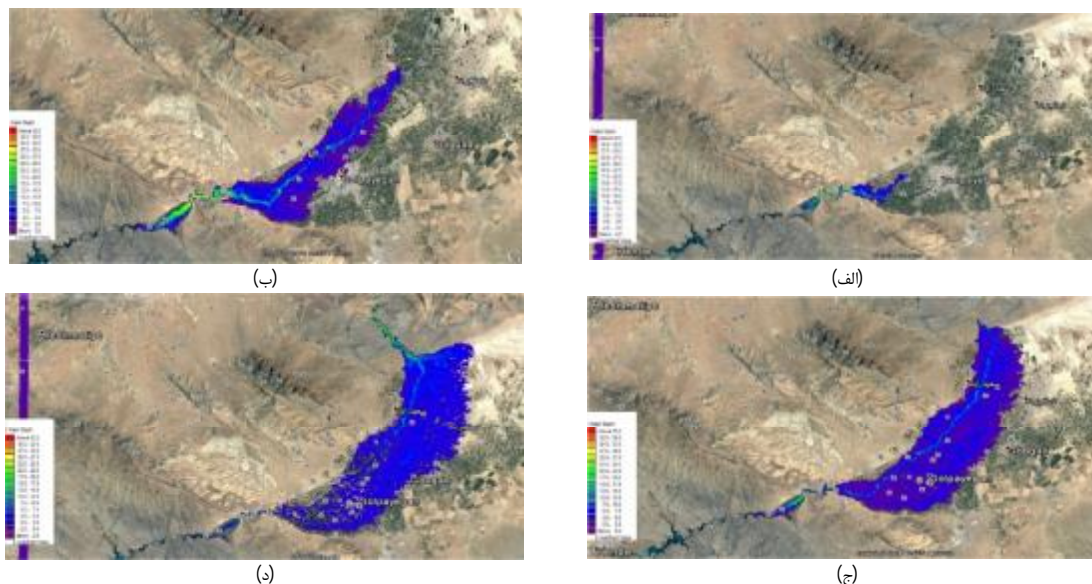


(د)



(ج)

شکل ۴- (الف) ۳۰ دقیقه پس از شکست، (ب) ۶۰ دقیقه پس از شکست، (ج) ۹۰ دقیقه پس از شکست، (د) ۱۲۰ دقیقه پس از شکست



شکل ۵- الف) ۳۰ دقیقه پس از شکست، ب) ۶۰ دقیقه پس از شکست، ج) ۹۰ دقیقه پس از شکست و د) ۱۲۰ دقیقه پس از شکست

ارزیابی خسارت سیلاب

خسارت وارده سیل ناشی از شکست سد به خصوصیات بسیاری از قبیل توپوگرافی، آمار جمعیت، خط مشی بهره‌برداری، ظرفیت مخزن و سایر عوامل وابسته است. در این پژوهش، خسارت ناشی از سیل بر اساس خسارت جانی با توجه به سرشماری سال ۱۳۹۰ و نرخ رشد جمعیت سال ۱۳۹۷ و همچنین برحسب بهای دیه در

ماه‌های حرام سال، کشاورزی منطقه، دام و طیور و ساختمان‌های روستایی و شهری برآورد و به ترتیب در جدول ۳ آورده شده است. تخمین خسارت‌های کشاورزی، دام و طیور و ساختمان‌ها پس از به‌دست آوردن نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب با نرم‌افزار MikeFlood با کمک شهرداری و آب منطقه‌ای گلپایگان به‌دست آمده است.

جدول ۳- محاسبه خسارت سیل ناشی از شکست سدهای گلپایگان و کوچری در رویکردهای مختلف (میلیارد ریال)

جمع	ساختمان	دام و طیور	کشاورزی	جانی	نوع خسارت	
					رویکرد	رویکرد
۸۹۰۷	۴۱۶۰	۶۳	۱۲۴	۴۵۶۰	۱	رویکرد ۱
۸۱۷۹	۳۶۸۷	۴۳	۹۹	۴۳۵۰	۲	رویکرد ۲
۵۸۵۱	۲۷۶۷	۲۱	۷۶	۲۹۸۷	۳	رویکرد ۳

درصد از کل مبلغ تخمین زده شده را به خود اختصاص داده‌اند.

نتیجه‌گیری

سدهای گلپایگان و کوچری در نزدیکی شهر گلپایگان روی رودخانه اناربار قرار دارند. از آن‌جا که سد کوچری در دست احداث و بررسی شکست سد گلپایگان صورت نگرفته، تحلیل سیلاب ناشی از آن امری ضروری است. بدین‌منظور سه رویکرد محتمل شکست سد در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار MikeFlood بررسی شد.

به‌طور کلی بیشترین مبلغ خسارت به‌ترتیب مربوط به خسارت جانی، ساختمان، کشاورزی و دام و طیور است. از بین رویکردهای بررسی شده، بیشترین خسارت مربوط به رویکرد اول (شکست هر دو سد گلپایگان و کوچری) و کمترین خسارت مربوط به رویکرد سوم (تنها شکست سد کوچری) است. در رویکرد اول جانی %۵۱/۱۹، کشاورزی %۱/۳۹ درصد، دام و طیور %۰/۷۱ درصد و ساختمان %۴۶/۷۱ درصد از مبلغ کل خسارت را به خود اختصاص داده‌اند. در رویکرد سوم خسارت جانی %۵۱/۰۵ درصد، کشاورزی %۱/۳ درصد، دام و طیور %۰/۳۶ درصد و ساختمان‌ها %۴۷/۲۹

ü در تخمین خسارت سیلاب، بیشترین مقدار مربوط به خسارت جانی و کمترین مربوط به دام و طیور است. رویکرد اول بیشترین مقدار خسارت و رویکرد سوم کمترین خسارت را وارد خواهد کرد.

منابع

۱. ابارشی م. جعفرزاده م. ر. و حسینی س. م. ۱۳۸۹. بررسی خطرات ناشی از شکست سد طرق. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد. اردیبهشت ۱۳۸۹. ص ۸.
۲. ارزولو ا. حسنزاده ی. و کاردان ن. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی عددی شکست سد و پهنه‌بندی سیل به‌منظور استفاده در تهیه برنامه واکنش سریع (مطالعه موردی: سد شهرچای ارومیه). دوفصل‌نامه علمی پژوهشی دریا فنون. ۳(۲): ۸۳-۹۸.
۳. توکلی ا. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد مهاباد با استفاده از نرم‌افزار MikeFlood. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه. ۲۰۱ صفحه.
۴. خدابنده شهرکی ا. محرم‌پور م. کاتوزی م. ۱۳۹۰. مدل‌سازی شکست سد خاکی با مطالعه موردی سد خاکی بیدکان توسط نرم‌افزار WMS. مجله عمران آب. ۴۷: ۱۰-۱۷.
۵. زرگر م. نکویان‌فر م. محمودی کردستانی س. ۱۳۸۷. مدل‌سازی هیدرولیکی شکست سد مارون با استفاده از نرم‌افزار Mike11، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه برقابی. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران. ۱۱ ص.
۶. سیفی‌زاده م. عمادی ع. فضل‌اولی ر. ۱۳۹۳. بررسی شکست سد پلرود در اثر روگذری و روندیابی سیلاب ناشی از آن در پایین‌دست. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۵(۱۰): ۱۵-۲۹.
۷. قاسمی ک. ذونعمت‌کرمانی م. ثمره هاشمی م. ۱۳۹۶. بررسی هیدرولیکی شکست سد و اثرات آن بر پایین‌دست با استفاده از نرم‌افزار MikeFlood (مطالعه موردی سد مخزنی میرزای شیرازی). نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی. ۴(۱۵): ۳۵-۴۷.

8. Goodarzi E. shui L. T. and Ziaee M. 2013. Dam Overtopping Risk Using Probabilistic

به طور کلی نتایج را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:
 ü نتایج گستره سیلاب با شرایط توپوگرافی اراضی ساحل رودخانه و نواحی شهر مطابقت دارد و همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شود در مناطق با ارتفاع پایین‌تر پهنه سیلاب گسترده‌تر است. ساحل چپ رودخانه دارای مناطق مرتفع‌تر و پهنه سیلاب محدودتر می‌باشد.

ü شهرک الوند واقع در ساحل چپ رودخانه، به‌دلیل واقع شدن در منطقه‌ای مرتفع‌تر (دامنه رشته کوه الوند) نسبت به شهر گلپایگان، دچار سیلاب نمی‌شوند، همچنین شهرک صنعتی سعید آباد نیز دچار آب‌گرفتگی نخواهد شد.

ü پهنه‌بندی سیلاب در رویکردهای مختلف و در زمان‌های متفاوت نشان می‌دهد در حالتی که رویکرد اول (شکست سدهای گلپایگان و کوچری در اثر روگذری) برقرار است، سیلاب پهنه بیشتری دارد و میزان پیشروی آن سریع‌تر است. در رویکرد سوم (سد گلپایگان بدون شکست و شکست سد کوچری در اثر زیرشویی) به نسبت رویکرد اول و رویکرد دوم (شکست سد گلپایگان در اثر زیرشویی و شکست سد کوچری در اثر روگذری) پخش سیلاب کمتر است.

ü عرض سیلاب در رویکرد اول در زمان‌های مختلف بعد از شکست سد دارای بیشترین مقدار و در رویکرد سوم دارای کمترین مقدار است.

ü عمق جریان در سناریوی اول بیشترین و در رویکرد سوم کمترین مقدار را دارد، و به‌طور کلی در هر سه رویکرد عمق جریان در مسیر اصلی رودخانه نسبت به حاشیه‌های آن دارای مقدار بیشتری است. بیشترین عمق‌های جریان در هر سه رویکرد مربوط به ۶۰ دقیقه پس از شکست سد است.

ü رویکرد اول بیشترین مقدار دبی پیک و رویکرد سوم کمترین مقدار دبی پیک را دارد. در هر سه رویکرد هرچه فاصله مقاطع از سد زیاد شود، از مقدار دبی پیک کاسته می‌شود. زمان هشدار، زمان رسیدن به دبی پیک و زمان فروکش سیلاب در مقاطع، با افزایش فاصله مقاطع از سد رابطه مستقیم دارد و افزایش می‌یابند.

- Concepts-case study: The Meijaran Dam. *Ain Shams Engineering Journal*. 4(2): 185-197.
9. Johnson F. and Illes P. 1977. A classification of dam failures. *Water Resources Journal (UN/ESCAP)*. 43-45.
 10. Kamanbedast AA. Bryanvand R. 2014. Effects of dam break on Downstream lands using Gis and Hec-Ras (Case Study: Eyvashan in Lorestan-Iran). *Advances in Environmental Biology*. 8(7): 2314-2321.
 11. Kirkpatrick G. W. 1977. Evaluation guidelines for spillway adequacy. Paper presented at the Evaluation of Dam Safety. Proceedings of the Engineering Foundation Conference, Pacific Grove, California. ASCE. 395-414.
 12. MacDonald T. C. Langridge-Monopolis J. 1984. Breaching characteristics of dam failures. *Journal of Hydraulic Engineering*. 110(5): 567-586.
 13. Patro S. Chatterjee C. Mohanty S. Singh, R. Raghuvanshi N. S. 2009. Flood inundation modeling using MIKE FLOOD and remote sensing data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 37(1): 107-118.
 14. Petrascheck A. Sydler P. 1984. Routing of dam break floods. *International Water Power and Dam Construction*. 36(7). 29-32.
 15. Singh K. P. Snorrason A. 1984. Sensitivity of outflow peaks and flood stages to the selection of dam breach parameters and simulation models. *Journal of hydrology*. 68(1-4): 295-310.
 16. Soil Conservation Service. 1981. Simplified Dam-Breach Routing Procedure. Technical Release No. 66 (Rev. 1). 39 p.
 17. United States Bureau of Reclamation (USBR). 1982. Guidelines for defining inundated areas downstream from Bureau of Reclamation dams. Reclamation Planning Instruction No. 82-11. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation. Denver. 25.
 18. Vanderkimpen P. Melger E. Peeters P. 2008. Flood modeling for risk evaluation: a MIKE FLOOD vs. SOBEK 1D2D benchmark study.
 19. Yang Y. Shu-you C. Yang K. J. and LI WP. 2015. Experimental study of breach process of landslide dams by overtopping and its initiation mechanisms. *Journal of Hydrodynamics*. 27(6): 872-883.