

بررسی هیدرولیکی شکست سد و اثرات آن بر پایین دست با استفاده از نرم افزار

MIKE-FLOOD (مطالعه موردی سد مخزنی میرزای شیرازی)

کوثر قاسمی^۱

محمد ذونعمت کرمانی*^۲

مرضیه ثمره هاشمی^۳

چکیده

سیلاب ناشی از شکست سد، یکی از فاجعه آمیزترین حوادث در طی دو قرن اخیر بوده است. در این نوع سیلاب حجم قابل توجهی آب در مدت زمان کوتاهی در پایین دست رودخانه رها شده و موجب پیدایش امواج عظیم در پایاب می گردد. با توجه به ماهیت شکست سد، استفاده از مدل های ریاضی برای شبیه سازی پیشروی و انتشار سیل ناشی از آن امری معمول است. در پژوهش حاضر شبیه سازی هیدرولیکی شکست سد مخزنی در حال ساخت میرزای شیرازی واقع در استان فارس مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی و روندیابی سیلاب ناشی از شکست سد میرزای شیرازی از نرم افزار MIKE-FLOOD استفاده شده است. در این تحقیق دو سناریو محتمل شکست سد در نظر گرفته شده است؛ اولین شکست بر اثر روگذری به صورت آبی؛ و دومین شکست بر اثر روگذری به صورت تدریجی. در سناریو شکست آبی حداکثر دبی سیلاب در مقطع شکست ۱۱۸ هزار و در سناریو شکست تدریجی ۸۰ هزار مترمکعب بر ثانیه می باشد. میانگین سرعت پیشروی آب در بستر رودخانه در شکست آبی ۱۰/۰۲ و در شکست تدریجی ۵/۰۶ متر بر ثانیه است. همچنین بررسی خسارت نشان می دهد که بر اثر سیلاب ناشی از شکست سد میزان خسارت در سناریو شکست تدریجی ۵۵۷۸ و در سناریو شکست آبی ۹۱۳۶ میلیارد ریال خواهد بود.

واژه های کلیدی

شکست سد، مدل MIKE-FLOOD، پهنه بندی سیلاب، شبیه سازی عددی، روند یابی سیلاب.

^۱ دانشجوی کارشناسی، مهندسی سازه های آبی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

^۲ دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، zounemat@uk.ac.ir.

^۳ استادیار، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

مقدمه

پدیده‌ی شکست و تخریب سدها ممکن است در اثر سیل‌های ناگهانی که بدون مقدمه و هیچ‌گونه شناخت قبلی اتفاق می‌افتند، رخ دهد. این در حالی است که می‌توانند خسارات جانی و مالی فراوانی به بار آورند. هیدروگراف^۱ این سیل‌ها اغلب دارای زمان پایه کوتاه و نقطه اوج مرتفع می‌باشد. سیلاب‌هایی با چنین مشخصاتی ممکن است ناشی از طوفان، بارندگی شدید و کوتاه‌مدت (سیلاب‌های فصلی) و یا ناشی از ریزش ناگهانی آب در اثر شکست سدهای بالادستی باشد. فروریختن ناگهانی یک سد که در مخزن آن حجم عظیمی از آب ذخیره شده است، باعث می‌شود که به تأسیسات پایین‌دست از قبیل نیروگاه‌ها، تأسیسات شهری، مناطق مسکونی و کشاورزی خسارت وارد کند. این در حالی است که اگر در پایین‌دست مناطق مسکونی وجود داشته باشد، علاوه بر خسارت مالی، خسارات جانی فراوانی نیز به بار می‌آید (فیضی خانکندی^۲ و طاهرشمسی^۳، ۱۳۹۲). شبیه‌سازی هیدرولیکی پدیده شکست سد، جهت برآورد خسارت، برنامه‌ریزی صحیح و تدارک فعالیت‌های امدادی در محدوده اثر این واقعه از اهمیت خاصی برخوردار است (زرگر^۴ و همکاران، ۱۳۸۷).

هرگونه خرابی جزئی یا کلی در بدنه یک سد که به‌طور ناگهانی منجر به رهاسازی حجم غیرقابل کنترلی از آب شود، شکست سد نامیده می‌شود (کمیته ملی سدهای بلند^۵، ۱۹۹۸). سیلاب حاصل از شکست سد، از قدرت تخریب بالایی برخوردار بوده و علاوه بر آن در اکثر موارد، کانال رودخانه در پایین‌دست سد چنین سیلابی را تجربه نکرده و لذا قادر به مهار آن در کانال اصلی خود نیست (ابارشی^۶، ۱۳۸۸). مهم‌ترین علل شکست سد عبارت‌اند از روگذری، لغزش، رگاب، واژگونی، تراوش از بدنه سد، ترک برداشتن، نگهداری نامطلوب، تخلیه ناگهانی و عوامل طبیعی خارجی، شامل باران‌های شدید، طوفان، زلزله و غیره نیز از عوامل مؤثر بر شکست می‌باشند. از مهم‌ترین عوامل انسانی

شکست سد نیز می‌توان به تولید گازهای گلخانه‌ای، حملات تروریستی و جنگ اشاره کرد (حسن‌زاده^۷، ۱۳۸۳). پدیده شکست سد از نظر هیدرولیکی یک پدیده بسیار ناپایدار بوده و جهت شبیه‌سازی عددی آن نیاز به مدل ریاضی بسیار قوی می‌باشد. به‌طور کلی در پدیده شکست سد از مدل‌های سه‌بعدی تنها در محدوده شکست سد و جهت تخمین بهتر هیدروگراف شکست سد، از مدل‌های دوبعدی در محدوده شکست سد و نواحی پایین‌دست نزدیک سد جهت تعیین دقیق پهنه سیلاب ناشی از شکست سد و از مدل‌های یک‌بعدی در نواحی دوردست پایین سد جهت تعیین پهنه سیلاب ناشی از شکست سد استفاده می‌گردد (زرگر^۸ و همکاران، ۱۳۸۷). ممکن نیست که بتوان از بروز تمامی شکست‌های سد پیش‌گیری کرد، اما این امکان وجود دارد تا بتوان تعداد قربانیان را در حادثه فاجعه‌بار شکست سد، به حداقل رساند. این مسئله تنها زمانی ممکن است که مردم پایین‌دست به‌موقع و قبل از آن‌که موج سیلابی به مناطق مسکونی برسد، تخلیه شوند. به‌منظور کاستن از اثرات چنین پدیده فاجعه‌باری، برنامه اقدام اضطراری باید توسط داده‌های حاصل از شبیه‌سازی‌های عددی و یا مدل‌های عددی، تهیه و در دسترس سازمان‌های مربوطه قرار گیرد. به‌وسیله این مدل‌ها اطلاعات مربوط به زمان حرکت موج سیلابی و مناطق سیلاب‌گرفتنی در هر حادثه شکست سد می‌تواند پیش‌بینی‌شده و این نتایج می‌تواند به‌عنوان یک راهنما در مدیریت شرایط اضطراری به کار گرفته شود. این نوع از برنامه‌ها ممکن است شامل نقشه‌های سیلاب، جداول زمان هشدار برای هر منطقه و ساخت سیستم‌های هشداردهنده باشد که تنها راه جلوگیری از افزایش قربانیان است (دیویس^۹، ۲۰۰۱).

در رابطه با مدل سازی پدیده شکست سد مطالعات فراوانی صورت گرفته است از جمله:

^۶ Abareshi
^۷ Hasanzade
^۸ Zargar
^۹ Devis

^۱Hydrograph
^۲ Feizikhankandi
^۳Tahershamsy
^۴ Zargar
^۵ ICOLD

شکاف به پنج مرحله تقسیم شد: ۱- فرسایش بر اثر نشت ۲- تشکیل شکاف اولیه ۳- فرسایش به سمت بالادست ۴- گسترش شکاف ۵- به تعادل رسیدن کانال رودخانه. نتایج نشان می‌دهد که به احتمال زیاد شکاف اولیه در شیب پایین دست سد نزدیک به لبه بالایی سطح تراوش رخ می‌دهد. واندرکیمپن^۹ و همکاران (۲۰۰۸) خطر سیلاب برای بخشی از دشت ساحلی بلژیک را با استفاده از نرم افزار MIKE FLOOD و D2D ۱SOBEK مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله از هر دو مدل بسیار به هم نزدیک بود و عدم قطعیت در انتخاب هریک از بسته‌های نرم‌افزاری بسیار ناچیز است. همچنین پاترو^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۹) از مدل تلفیقی یک‌بعدی MIKE FLOOD جهت شبیه‌سازی میزان سیل و عمق سیلاب در منطقه‌ی دلتای رودخانه ماهاندی در هند استفاده کردند. در پژوهش حاضر دو سناریوی محتمل شکست سد میرزای شیرازی شامل: شکست بر اثر روگذری به صورت آبی و شکست تدریجی سد در طول زمان و با توجه به معادلات پارامترهای شکست جهت تعیین زمان و عرض شکاف، مدل‌سازی شکست سد و روندیابی سیلاب ناشی از آن در اراضی پایین دست انجام گرفته و پهنه سیل در محدوده پایین دست استخراج شده است.

مواد و روش‌ها

رودخانه قره‌آغاج یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان فارس است که از آب آن هم‌اکنون در جهت مصارف شرب و کشاورزی استفاده می‌شود. احداث سد سلمان فارسی در شهرستان قیر و کارزین^{۱۱} و مطالعات جهت احداث سد کوار^{۱۲} بر روی این رودخانه نشانه اهمیت این رودخانه در استان فارس می‌باشد. سازمان آب منطقه‌ای استان فارس از سال ۱۳۵۰ مطالعات خود را به وسیله مهندسان مشاور برای احداث سدی در ۱۰ کیلومتری غرب شهر کوار و ۶۵ کیلومتری جنوب شرقی شیراز روی رودخانه قره‌آغاج آغاز کرد. بعد از انقلاب عملیات اجرایی

میگنویت^۱ و پاکویر^۲ (۲۰۰۵)، وثوقی فر^۳ و همکاران (۲۰۱۱)، سینگ^۴ و همکاران (۲۰۱۱)، سیفی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) و از پیشگامان عرصه مطالعات شکست سد، فرید^۵ است. وی حاصل بخشی از مطالعات خود را در قالب مدل DAMBRK در سال ۱۹۸۷ و همچنین تکمیل شده این مدل یعنی BREACH را در سال ۱۹۸۸ ارائه کرده است. وی روش مناسبی برای محاسبه پهنه سیلاب شکست سد به صورت یک‌بعدی ارائه داده است. این مدل هیدروگراف خروجی از شکست یک سد و روند پیشروی و گسترش سیلاب را در رودخانه پایین دست پیش‌بینی و تحلیل می‌کند. معادلات حاکم در این مدل همان معادلات سن و نان هستند که به صورت معادلات کامل جریان‌های غیردائمی یک‌بعدی بیان می‌شوند. این معادلات با اعمال معادلات شرایط مرزی داخلی مانند جریان متغیر با تغییرات سریع از روی سرریز لبه پهن و معادلات شرایط مرزی مناسب خارجی در دو انتهای بالادست و پایین دست بازه مورد مطالعه با استفاده از روش تفاضلات محدود ضمنی به صورت چهار نقطه وزنی گسسته تحلیل می‌گردند. در این مدل جریان مایع به صورت زیربحرانی یا فوق‌بحرانی بوده و نیز از نوع نیوتنی (آب) و یا غیرنیوتنی (جریان غلیظ گل‌ولای) باشد. کمانبدست^۶ و بریانوند^۷ (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر شکست سد بر پایین دست سد ایوشان لرستان پرداختند. آن‌ها ابتدا با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS ابتدا به شبیه‌سازی شکست سد پرداختند، سپس با استفاده از نتایج حاصله نقشه سیلاب را در GIS تهیه کردند. سناریوهای تعریف شده شامل شکست سد بر اثر جنگ و شکست بر اثر سیلاب ده‌هزارساله بود. پس از تحلیل نتایج مشخص شد که عمق آب در روستاهای پایین دست برای سناریوی اول دو برابر سناریوی دوم است. یانگ^۸ و همکاران (۲۰۱۵) به مطالعه آزمایشگاهی بر روی فرایند شکاف بر اثر روگذری و مکانیسم شروع شکاف پرداختند. با استفاده از مشاهدات آزمایشگاهی، جزئیات شکاف بررسی و کل فرایند

^۷ Beryanvand

^۸ Yang

^۹ Vanderkimpen

^{۱۰} Patro

^{۱۱} Ghrokarzin

^{۱۲} Kavav

^۱ Mignot

^۲ Paquier

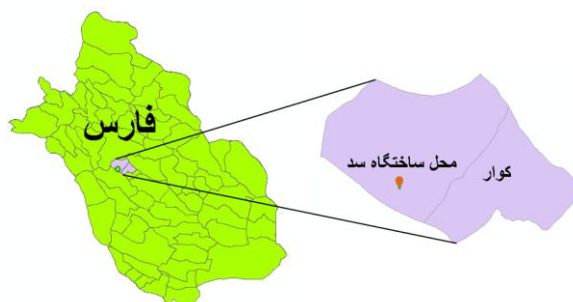
^۳ Vosughifar

^۴ Singh

^۵ Fread

^۶ Kamanbedast

آن شروع شد تا آب این رودخانه را به قسمت دشت کوار برسانند و آب آشامیدنی شهر کوار را تأمین کنند.



شکل (۲): موقعیت منطقه مورد مطالعه

سد میرزای شیرازی سدی خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی است. مشخصات سد در جدول ۳-۲ مشخص شده است.

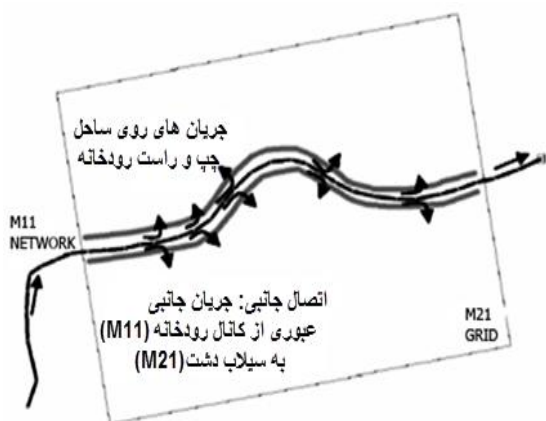
جدول (۱): مشخصات سد میرزای شیرازی

نوع سد	خاکی سنگریزه‌ای با هسته رسی	ارتفاع سد از بی	۵/۵۲ متر
رقوم تاج سد	۱۶۶۳/۵ متر از سطح دریا	حجم کل مخزن در رقوم نرمال	۲۰۱ میلیون مترمکعب
طول تاج سد	۲۹۰ متر	شیب شیروانی بالادست	۲/۳:۱ (V:H)
تراز بستر سد:	۱۶۱۱ متر از سطح دریا	شیب شیروانی پائین دست	۱:۲ (V:H)

معرفی مدل عددی

مدل یک‌بعدی-دو بعدی MIKE-FLOOD نرم‌افزاری است که ارتباط بین مدل یک‌بعدی MIKE ۱۱ (جهت شبیه‌سازی یک‌بعدی جریان در آبراهه اصلی رودخانه) و مدل دو بعدی MIKE ۲۱ (جهت شبیه‌سازی دو بعدی جریان در دشتهای سیلابی) را به صورت یکپارچه برقرار می‌نماید. نحوه عمل به گونه‌ای است که در مواقع قبل از پر شدن مقطع جریان در آبراهه اصلی رودخانه، مدل MIKE ۱۱ فعال شده و روندیابی

سیل در 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 بده جریان و پر شدن مقطع جریان در آبراهه اصلی و نفوذ جریان به دشت سیلابی، مدل MIKE ۲۱ فعال شده و شروع به شبیه‌سازی دو بعدی جریان در دشت سیلابی می‌نماید. در مدل MIKE-FLOOD لینک‌هایی جهت برقراری ارتباط بین دو مدل مذکور تعبیه گردیده است که کاربر می‌بایست در تعریف مدل، لینک‌های مذکور را جهت ارتباط بهتر مدل‌های یک‌بعدی و دو بعدی در حین شبیه‌سازی تعریف نماید. به‌طور کلی در محیط MIKE FLOOD دو مدل MIKE ۱۱ و MIKE ۲۱ به صورت جانبی باهم در ارتباط بوده و تحلیل معادلات توسط اطلاعات در فصل مشترک محل تلاقی دو مدل صورت می‌پذیرد. همان‌گونه که در شکل (۳) قابل مشاهده است، امکان ارتباط (به صورت جانبی) از مدل MIKE ۱۱ در یک میدان فیزیکی از پیش تعیین شده (کادر مستطیل شکل) به مدل MIKE ۲۱ امکان پذیر می‌گردد و به دنبال آن شبیه‌سازی سیلاب بر روی پهنه‌ی کانال رودخانه در بخش‌های مورد نظر توسط مدل MIKE ۲۱ صورت می‌گیرد.

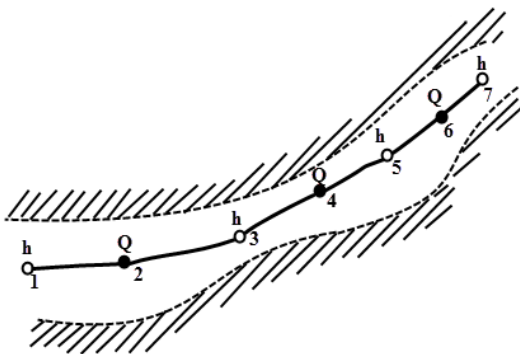


شکل (۳): شمای عمومی نحوه مدل سازی یک‌بعدی-دو بعدی در برنامه

معادلات یک‌بعدی حاکم بر جریان رودخانه عبارت‌اند از معادلات پیوستگی و اندازه حرکت (معادلات سنت ونانت) که در محاسبات مدل هیدرودینامیک به کار رفته‌اند.

اتمسفری (kg/m^3)، ρ_w برابر با دانسیته آب (kg/m^3) و τ_{xx} , τ_{xy} , τ_{yy} مؤلفه‌های تنش برشی (N/m^2) می‌باشند.

در مدل هیدرودینامیک ابتدا معادلات فوق به روش تفاضل محدود و به فرم منقطع نوشته شده و سپس معادلات گسسته شده بر روی یک شبکه نقاط در طول و در زمان‌های مختلف حل می‌گردند. به این منظور مطابق شکل ۴ گره‌های Q و h انتخاب می‌شوند. نقاط h در واقع گره‌های عمق بوده و برنامه در گام‌های زمانی مختلف در این نقاط تراز سطح آب را محاسبه می‌نماید. نقاط فوق در واقع همان نقاط مقاطع عرضی بوده و استفاده کننده می‌تواند در صورت لزوم بین مقاطع معرفی شده نیز گره‌های عمق معرفی نماید. در این صورت برنامه بین مقاطع ارائه شده درون‌یابی خطی نموده و مقطع مورد نظر را محاسبه می‌نماید. نقاط Q گره‌هایی هستند که در آن‌ها دبی در گام‌های زمانی مختلف محاسبه می‌گردد. نقاط Q توسط خود برنامه و در وسط دو نقطه h مجاور همدیگر انتخاب می‌شوند.



شکل (۴): نمای شماتیک شبکه نقاط محاسباتی در مدل MIKE11

روند مدل سازی شکست سد میرزای شیرازی

برای آماده و اجرا کردن مدل شبیه سازی شکست سد در نرم افزار MIKE-FLOOD ابتدا باید فایل شبیه سازی شکست سد در مدل یک بعدی MIKE11 و سپس فایل شبیه سازی شکست سد مدل دوبعدی MIKE21 آماده گردد و سپس این دو مدل در نرم افزار یک بعدی-دوبعدی MIKE-FLOOD تلفیق گردد. مراحل آماده سازی فایل های نرم افزار به اختصار در شکل ۵ آماده است.

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial X} + qA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g|Q|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (2)$$

در این معادلات Q برابر با دبی جریان برحسب m^3/s ، A معادل سطح مقطع جریان q ، m^2 بیان کننده دبی جریان فرعی (دبی در واحد طول تغذیه یا برداشت) h نشانگر تراز آب نسبت به یک سطح مبنا m ، C ضریب شزی برحسب $\text{m}^{3/2}/\text{s}$ ، α برابر با ضریب تصحیح مربوط به سرعت های متفاوت در مقطع و R بیان کننده شعاع مقاومتی یا شعاع هیدرولیکی است.

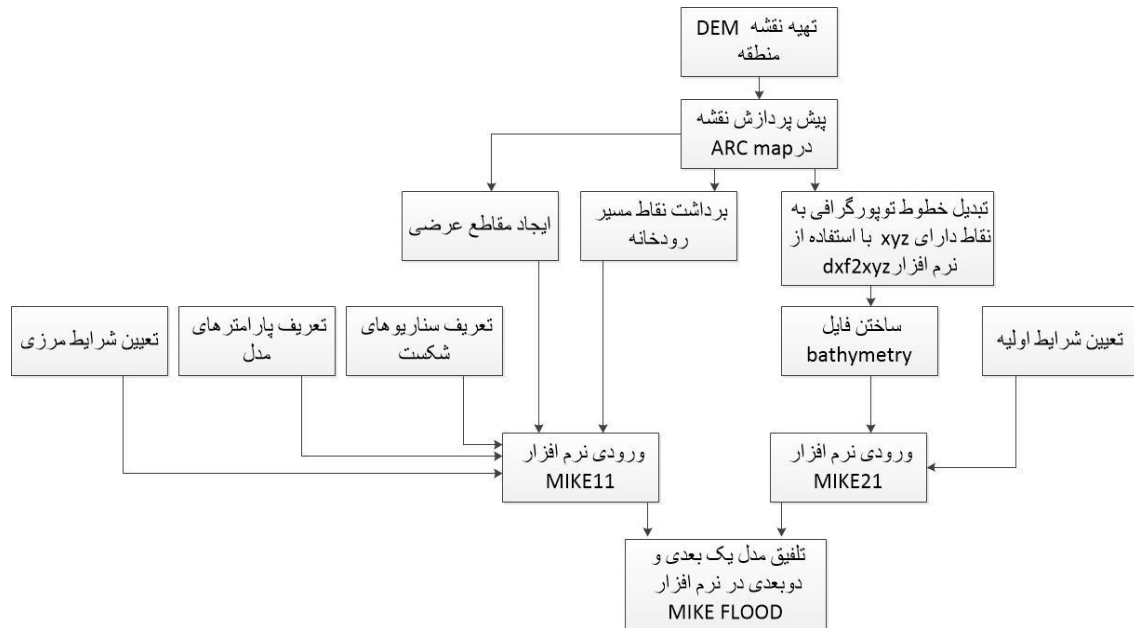
معادلت حاکم بر جریان رودخانه در مدل هیدرودینامیک نرم افزار MIKE ۲۱ عبارتند از معادلات دوبعدی پیوستگی و اندازه حرکت در جهت X و Y (معادلات ۳ تا ۵).

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{c^2+h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial xy} (p_a) = 0 \quad (5)$$

در معادلات فوق $h(x,y,t)$ نشانگر عمق آب (m) ، $\xi(x,y,t)$ برابر با تراز سطح آب (m) ، $p, q(x,y,t)$ دبی عبوری در جهت x و y برحسب مترمکعب بر ثانیه بر متر، $c(x,y)$ نشان دهنده ضریب شزی $f(v)$ ، $(\text{m}^{1/2}/\text{s})$ بیانگر ضریب اصطکاک باد، V نشان دهنده سرعت باد و مؤلفه های آن در جهت x و y ، $\Omega(x,y)$ برابر پارامتر کوریولیس 1 (s^{-1})، p_a بیان کننده فشار



شکل (۵): مراحل آماده‌سازی فایل‌های ورودی به نرم‌افزار

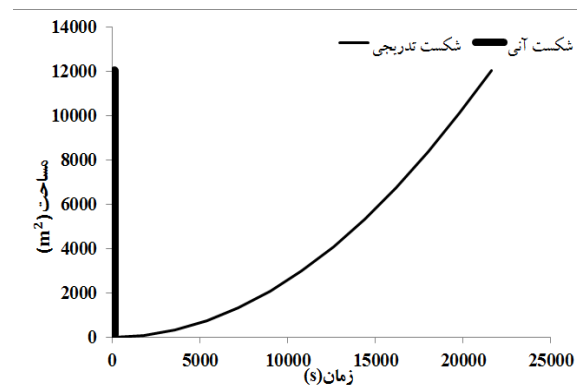
تعریف ضریب زبری مانینگ^۱ برای آبراهه‌های اصلی رودخانه و دشت‌های سیلابی می‌باشد که عوامل متعددی در برآورد آن دخالت دارند. این عوامل عبارت‌اند از زبری بستر رودخانه و نوع دانه‌بندی مواد بستر، میزان ناهمواری در سطح بستر رودخانه، وجود موانع در مسیر جریان، نوع و تراکم پوشش گیاهی و شرایط هیدرولیکی مانند عمق و دبی جریان. ضریب زبری مانینگ با توجه به جنس پوشش منطقه مورد مطالعه و گزارش و آمارهای موجود طبق جدول ۲ برای مسیر شبیه‌سازی برآورد گردیده است.

جدول (۲): مشخصات سد میرزای شیرازی

بازه	محل موردنظر	ضریب زبری برآورد شده
مخزن سد	بستر	۰/۰۳
	اراضی مجاور	۰/۰۴
پایین‌دست سد	بستر	۰/۰۳۳
	اراضی مجاور	۰/۰۵

جهت تعیین شرایط اولیه در مدل MIKE21 یک آیتم سطح‌مبنا باید به مدل معرفی گردد که ارتفاع نقاط نسبت به آن سنجیده شود. با توجه به مینیمم ارتفاع موجود در

از آنجا که هیدروگراف خروجی از شکاف سد تابعی از عرض شکاف و مدت زمان توسعه شکاف است، پس از برآورد پارامترهای شکست، مساحت شکست در طول زمان محاسبه شد.



شکل (۶): توسعه میزان مساحت شکست بدنه سد در طول زمان

شرایط مرزی بالادست شامل هیدروگراف‌های ورودی به مخزن سد و شرایط مرزی در محل شکست سد که با توجه به سناریوهای مختلف شامل شکست آنی و یا سری‌های زمانی گسترش شکاف سد است. یک نکته مهم در تعریف پارامترهای مدل، انتخاب و یا

^۱ Manning

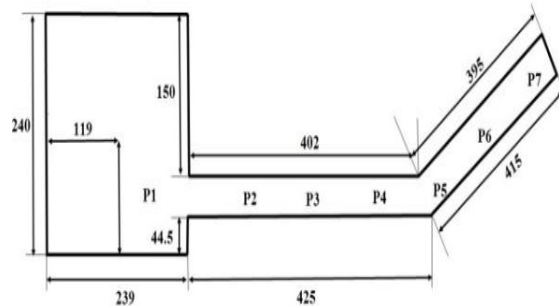
محاسبه شد. در ادامه نتایج مربوط به پیاده سازی شکست سد میرزای شیرازی آورده شده و نتایج مورد بحث قرار گرفته است.

بین نقاط وارد شده به مدل دوبعدی، مقدار ارتفاع ۱۴۷۱ در نظر گرفته شد.

نتایج و یافته های مدل سازی عددی

آزمون صحت سنجی داده های آزمایشگاهی مربوط به این آزمون از نتایج آزمایشگاهی بروفا^۱ و گارسیا^۲ (۲۰۰۰)، برداشت شده است.

در این بخش ابتدا جهت صحت سنجی مراحل کار در نرم افزار، با استفاده از داده های آزمایشگاهی مدل سازی انجام شد و سپس نتایج آن ها با یکدیگر مقایسه و درصد خطا



شکل (۶): نمای بالای کانال

دیواره ها ۰/۰۱۹۵ است. ۷ نقطه برای اندازه گیری سطح آب نسبت به زمان انتخاب شد که موقعیت آن ها بر روی شکل ۶ نشان داده شده است. پس از انجام مدل سازی نتایج حاصله در قالب نمودار (شکل ۸) با نتایج عددی مقایسه و میزان درصد خطا در قالب معیارهای خطای نسبی و مجذور میانگین مربعات خطا محاسبه شد (جدول (۳)).

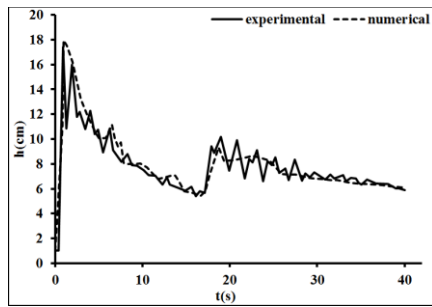
مخزنی مربعی شکل در بالادست (۲/۴۴ و ۲/۴۹ متر) و یک کانال با زاویه ۴۵ درجه. کانال به طول ۴/۲۵ و ۴/۱۵ متر و عرض ۰/۴۹۵ متر که با زاویه ۴۵ درجه به هم متصل شده اند (شکل ۶). شرایط اولیه شامل سطح آزاد آب در مخزن ۰/۲۵ متر و عمق اولیه آب در کانال ۰/۰۱ متر است. تمام مرزهای دیواره صلب هستند به جز خروجی که به صورت آزاد در نظر گرفته می شود. ضریب مانینگ بستر ۰/۰۰۹۵ و برای

جدول (۳): خطای محاسبه شده در هر نقطه در آزمون صحت سنجی

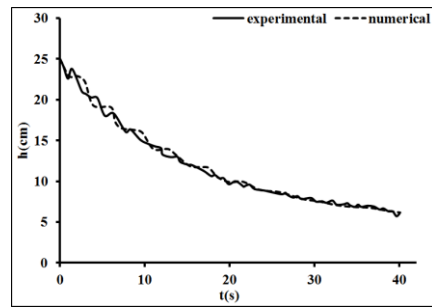
نقاط اندازه گیری شده	P7	P6	P5	P4	P3	P2	P1	میانگین
درصد خطای نسبی	۸/۱	۶/۶	۲/۳	۱۹/۳	۱۰/۱۳	۲/۲۶	۳/۰۲	۷/۸
میانگین خطای مطلق (cm)	۰/۸۲	۰/۴۶	۰/۲	۰/۶۲	۰/۹۴	۰/۴۷	۰/۴۳	۰/۵۷

^۱ Brufau

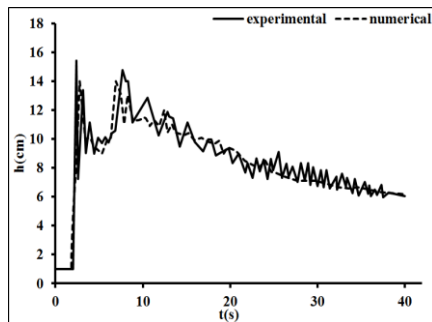
^۲ Garcia



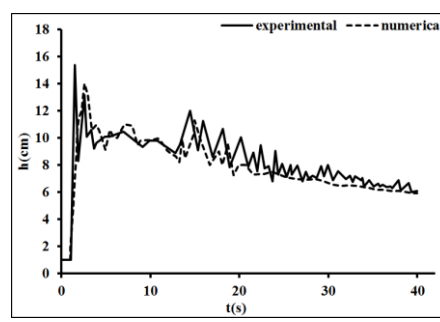
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل (۸): مقایسه سطح آب در نقاط الف(پ1، ب.پ2، ج.پ3 و د.پ4)

پس از اجرای مدل یک‌بعدی-دو بعدی MIKE-FLOOD در دو سناریو شکست نتایج زیر حاصل گردید.

پروفیل طولی سطح آب

آنچه در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود پروفیل طولی سطح آب در طول مسیر شبیه‌سازی می‌باشد. مدل قابلیت نمایش پروفیل طولی سطح آب را به صورت فایل انیمیشن دارد. زمان اتفاق افتادن ماکزیمم پروفیل طولی سطح آب در تمامی مقاطع یکسان نیست و در مقاطع نزدیک به سد سریع‌تر اتفاق می‌افتد.

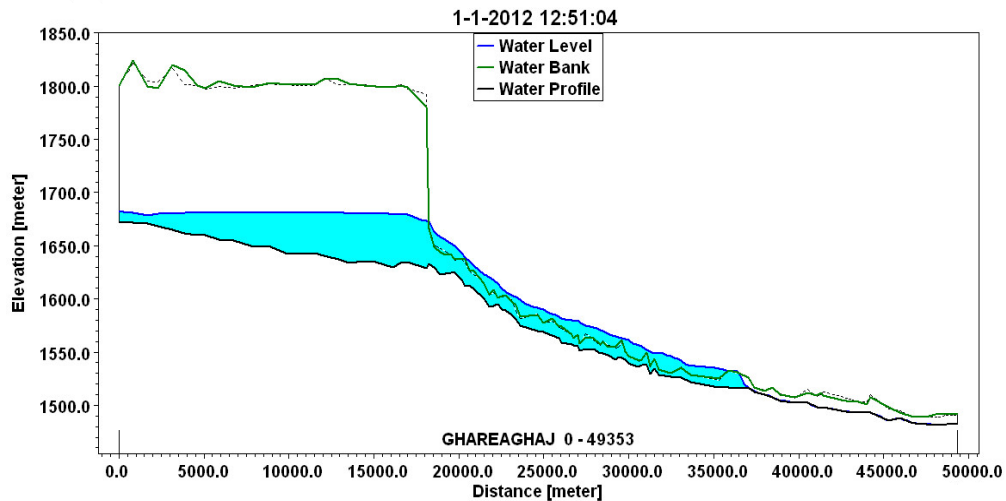
با توجه به پروفیل‌های سطح آب می‌توان زمان پیشروی آب در بستر رودخانه همچنین سرعت پیشروی آب را محاسبه کرد. همان‌گونه که در نمودار شکل ۱۱ مشخص است سرعت پیشروی آب در سناریوی شکست آبی بیشتر از سناریوی شکست تدریجی است. میانگین سرعت پیشروی آب در بستر رودخانه در شکست آبی ۱۰/۰۲ متر بر ثانیه و در شکست تدریجی ۵/۰۶ متر بر ثانیه است.

با توجه به نتایج آزمون صحت‌سنجی و میزان خطای نسبی محاسبه‌شده کمتر از ۱۰ درصد و با توجه به کم بودن میزان خطای مجذور میانگین مربعات خطا (کمتر از یک سانتی‌متر) و با توجه به بازه تغییرات سطح آب (حدود ۲۰ سانتی‌متر)، مابین برداشت‌های آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی شده حاصل، عملکرد مدل عددی رضایت‌بخش است.

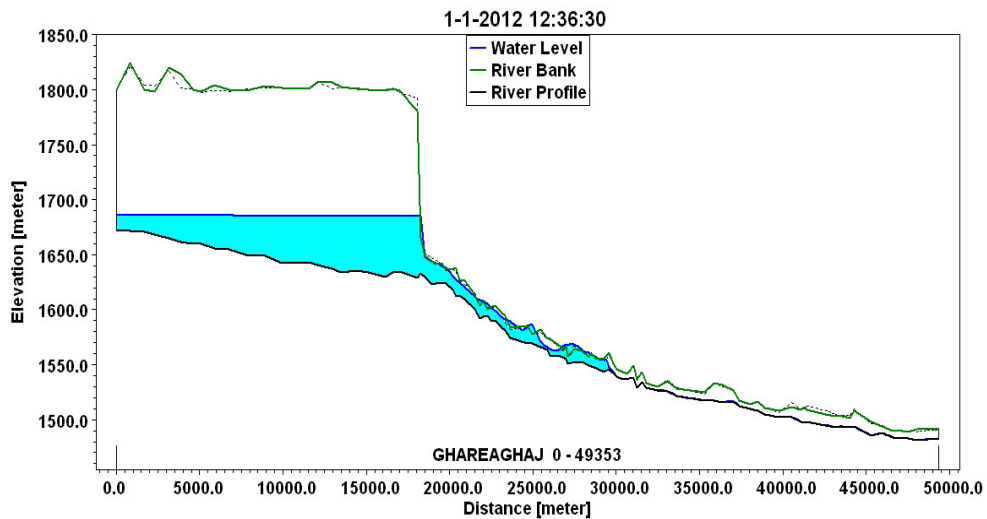
اجرای مدل، نتایج و بحث مربوط به شکست سد میرزای شیرازی

با توجه به ماهیت پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد میرزای شیرازی که شرایط مرزی آن بر اساس سیلاب محتمل و در شرایط سطح اولیه مخزن پر اتفاق می‌افتد دو سناریو در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند:

۱. شکست سد در حالت پر بر اثر روگذری به صورت آبی
۲. شکست سد در حالت پر بر اثر روگذری به صورت تدریجی



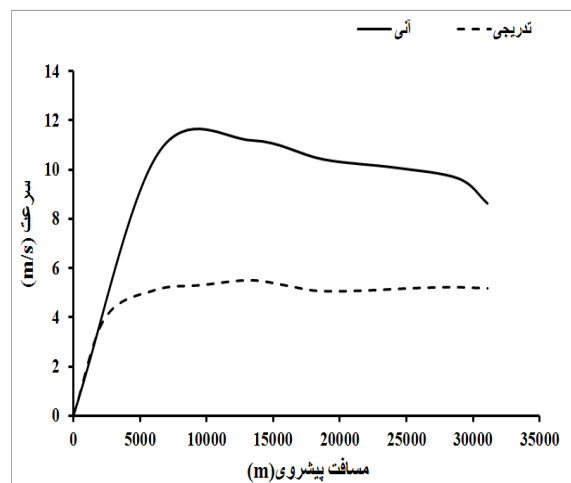
شکل (۹): پروفیل تراز آب ۳۰ دقیقه پس از شکست در سناریوی شکست آنی



شکل (۱۰): پروفیل تراز آب ۳۰ دقیقه پس از شکست در سناریوی شکست تدریجی

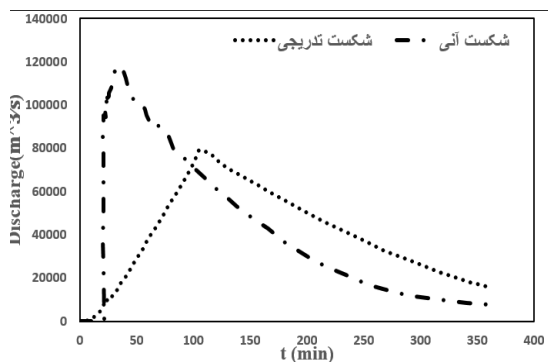
هیدروگراف سیلاب در طول مسیر

در حالتی که شکست سد به صورت آنی اتفاق می افتد کل بدنه سد و یا قسمت اعظم آن از مسیر جریان حذف می شود. این اتفاق ناگهانی باعث ایجاد یک سیل شدید پیش رونده می شود. این در حالی است که شکست های تدریجی در یک بازه زمانی به وجود می آید که ممکن است از چند دقیقه تا چند ساعت متغیر باشد. در شکست های تدریجی با مدت زیاد می توان انتظار داشت موج شکست از حالت شوک خارج شود که البته این حالت در سدهای کوتاه با حجم مخزن کوچک رخ خواهد داد، چون در سدهای مرتفع انرژی ایجاد شده بر اثر هد بالای جریان باعث

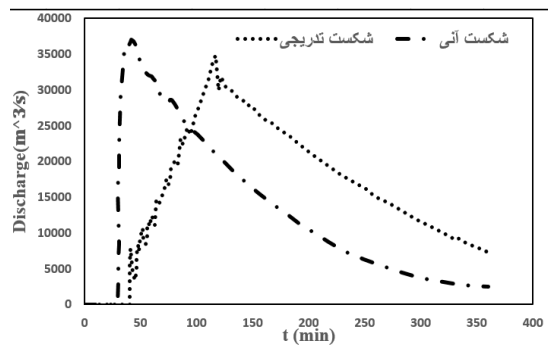


شکل (۱۱): نمودار سرعت-مسافت پیشروی

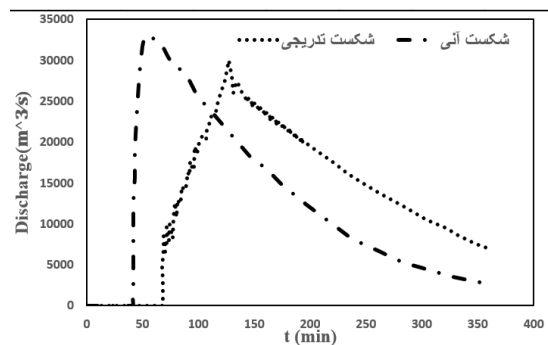
و در سناریو شکست تدریجی ۱۱/۴ متر بر ثانیه در زمان ۱۰۰ دقیقه پس از شکست سد می‌باشد. در مقطع شهر کوار و روستای قصر احمد در سناریو شکست آنی به ترتیب ۱۶ و ۷ متر بر ثانیه ۲۱ و ۴۶ دقیقه پس از شکست سد است؛ و در سناریو شکست تدریجی به ترتیب ۱۴/۸ و ۸ متر بر ثانیه، ۱۱۶ و ۱۲۸ دقیقه بعد از شکست سد است. شکل ۱۵ و ۱۶ زمان رسیدن دبی ماکزیمم به نقاط پایین دست را نشان می‌دهد.



شکل (۱۲): هیدروگراف سیلاب در محل شکست سد



شکل (۱۳): هیدروگراف سیلاب در مقطع شهر کوار



شکل (۱۴): هیدروگراف سیلاب در مقطع شهر قصر احمد

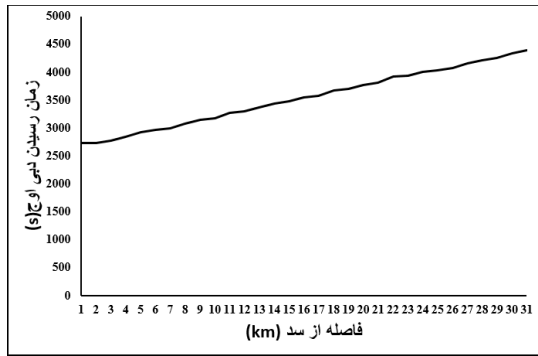
تخریب بدنه سد در مدتی کوتاه می‌گردد و در شکست‌هایی که در مدت کوتاهی اتفاق می‌افتد کماکان این پدیده شکل خواهد گرفت. این مسئله باعث ایجاد دو نوع هیدروگراف می‌شود به نحوی که در شکست‌های ناگهانی هیدروگراف کاملاً نوک‌تیز می‌باشد ولی در شکست‌های تدریجی، این هیدروگراف از الگوی سیل‌های رودخانه‌ای ولی در مقیاسی کاملاً متفاوت پیروی می‌کند.

یکی از قابلیت‌های مدل، استخراج هیدروگراف سیلاب برای تمامی مقاطع عرضی می‌باشد. با توجه به عدم نیاز به تحلیل هیدروگراف در اولین مقطع بعد از شکست و مقطع مربوط به شهر کوار و روستای قصر احمد که در فواصل نزدیک‌تر به رودخانه قرار دارند می‌پردازیم (شکل ۱۲، ۱۳ و ۱۴). در سناریوی شکست آنی دبی پیک در مقطع شکست برابر ۱۱۸ هزار مترمکعب بر ثانیه در زمان ۱۳ دقیقه پس از شکست سد، در مقطع شهر کوار ۳۷ هزار مترمکعب بر ثانیه در زمان ۲۰ دقیقه پس از شکست سد و در مقطع روستای قصر احمد ۳۳ هزار مترمکعب بر ثانیه در زمان ۳۱ دقیقه پس از شروع شکست سد است؛ و در سناریوی شکست تدریجی در مقاطع شکست، شهر کوار و روستای قصر احمد به ترتیب برابر ۸۰ هزار مترمکعب بر ثانیه، ۱۰۰ دقیقه پس از زمان شروع شکست سد، ۳۳ هزار مترمکعب بر ثانیه، ۱۰۸ دقیقه پس از زمان شروع شکست و ۳ هزار مترمکعب بر ثانیه، ۱۲۲ دقیقه پس از زمان شروع شکست سد می‌باشد.

زمان هشدار برای سناریوی شکست سد آنی در مقطع شهر کوار ۹ دقیقه و روستای قصر احمد ۱۹ دقیقه است. زمان هشدار برای سناریوی شکست تدریجی شهر کوار برابر ۳۵ دقیقه و برای روستای قصر احمد برابر ۱ ساعت و دو دقیقه است.

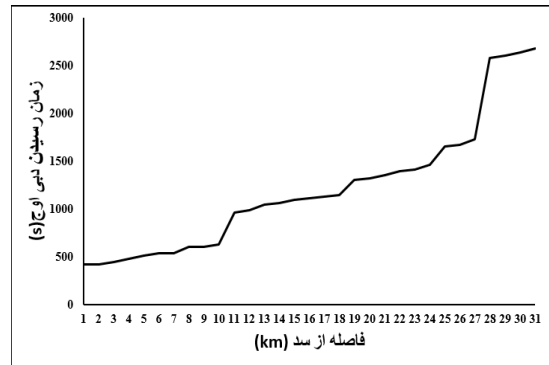
زمان رسیدن دبی ماکزیمم سیلاب به نقاط پایین دست سد

حداکثر سرعت در سناریو شکست آنی در مقطع شکست ۱۰/۶ متر بر ثانیه در زمان ۱۷ دقیقه پس از شکست سد



شکل (۱۶): نمودار زمان رسیدن دبی ماکزیمم به نقاط پایین دست

در سناریو شکست تدریجی



شکل (۱۵): نمودار زمان رسیدن دبی ماکزیمم به نقاط

پایین دست در سناریو شکست آنی

سه ساعت پس از شکست		دو ساعت پس از شکست		یک ساعت پس از شکست		نوع شکست
تدریجی	آنی	تدریجی	آنی	تدریجی	آنی	
۳۰	۶۰	۲۰	۴۰	۰	۱۰	شهر کوار
۱۰۰	۱۰۰	۶۰	۹۰	۰	۵۰	روستای قصر احمد

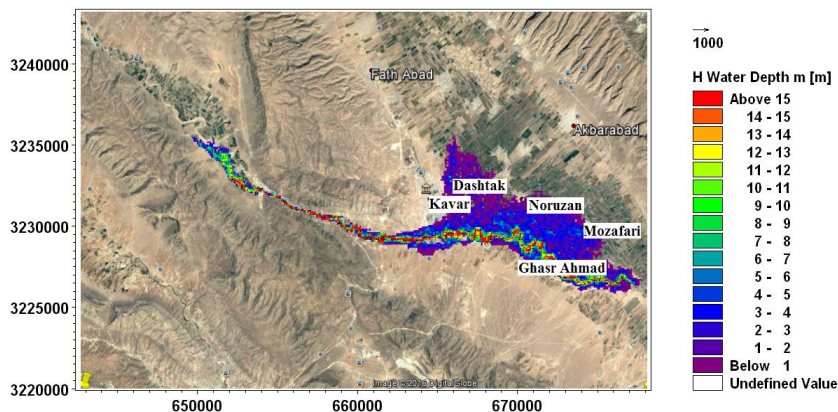
جدول (۴): درصد استغراق نقاط حساس پایین دست

می نماید. نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که سیلاب در محدوده پایین دست به لحاظ مسطح بودن و شیب کم وارد دشت سیلابی گردیده است. سیلاب وارده به دشت سیلابی در ساحل چپ و راست رودخانه توسعه پیدا کرده و بخشی از اراضی اطراف را زیر آب می برد. پهنه سیلاب به زمان وابسته است و در زمان های مختلف از شروع سیلاب، پهنه هایی با گستردگی متفاوت ایجاد خواهد شد.

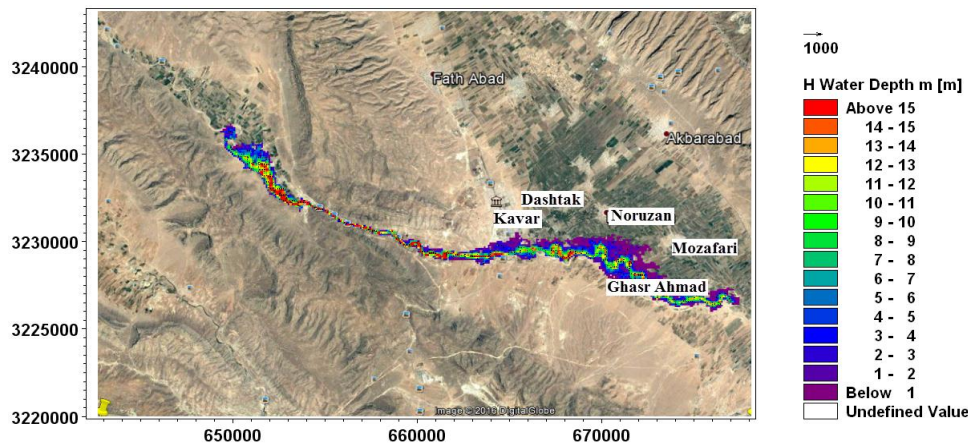
به منظور داشتن درک بهتر از چگونگی وضعیت آب گرفتگی مناطق پایین دست، مساحت آبگرفتگی شهرها و روستاهای پایین دست در طول زمان در جدول ۴ آورده شده است.

پیاده سازی مدل، یافته های تحقیق و بحث

با ورود آب از مجرای اصلی رودخانه قره آغاج به سیلاب دشت رودخانه، مدل دوبعدی MIKE-FLOOD شروع به شبیه سازی پیشروی سیلاب در سیلاب دشت



شکل (۱۷): پهنه بندی سیلاب ناشی از شکست آنی سد ۹۰ دقیقه پس از شکست



شکل (۱۸): پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست تدریجی سد ۹۰ دقیقه پس از شکست

نتایج ارائه شده توسط دومینگو^۱ و همکاران (۲۰۱۰) مدل MIKE_FLOOD از توانایی قابل قبول در شبیه‌سازی روند سیلاب در شرایط واقعی و پیچیده برخوردار است. به طوری که مقایسه نتایج مربوط به میزان آبگرفتگی حاصل از نرم‌افزار و اطلاعات برداشت شده در مناطق شهر گرو^۲ در کشور دانمارک مؤید این مطلب می‌باشد.

ارزیابی خسارت سیلاب

میزان خسارت ناشی از سیل بسیار وابسته به خصوصیات ویژه هر محل از قبیل توپوگرافی، آمار جمعیت، خط‌مشی بهره‌برداری، ظرفیت مخزن و ... می‌باشد. در برآورد مخاطرات پایین دست باید افزایش تراز آب ناشی از سیلاب رها شده به واسطه شکست سد محاسبه شود. در این پژوهش، خسارت سیلاب بر اساس خسارت جانی با توجه به سرشماری سال ۱۳۹۰ و با عنایت به نرخ رشد جمعیت، برحسب جمعیت سال ۱۳۹۵ و همچنین با توجه به نرخ نامه دیه در ماه‌های حرام سال، کشاورزی منطقه و محاسبه مساحت اراضی زراعی و باغی با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، دام و طیور، ساختمان‌های روستایی و شهری و همچنین خسارت وارده بر سد بر اثر شکست برآورد شده است.

سیلاب ناشی از شکست در سناریوی شکست تدریجی بیشتر در آبراهه اصلی طی مسیر می‌نماید باین وجود روستای قصر احمد و قسمتی از شهر کوآر دچار آب‌گرفتگی می‌شود. در سناریوی شکست آنی پهنه سیلاب وسعت بیشتری دارد؛ تا جایی که روستاهای مظفری، نوروزان و دشتک را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و دچار آب‌گرفتگی می‌شوند (شکل (۱۷)). بیشترین عرض سیلاب پس از یک ساعت و نیم از شروع شکست، در سناریو شکست آنی برابر ۶ هزار متر و در سناریو شکست تدریجی برابر ۲ هزار متر می‌باشد. با عنایت به راهنمای نقشه، نقاطی که دارای عمق آب بالاتر از ۱۵ متر می‌باشند با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند؛ بنابراین عمق آب در سناریو شکست تدریجی در مسیر رودخانه کمتر از عمق آب در شکست آنی می‌باشد. با توجه به شکل پیشروی سیلاب در دو مجرای اصلی رودخانه متقارن نیست و قسمت عمده پیشروی سیلاب در ساحل راست رودخانه است.

شایان ذکر است که با توجه به عدم دسترسی به مقادیر مشاهداتی مربوط به نتایج حاصله از شکست سد در پایین دست، امکان صحت‌سنجی مستقیم نتایج وجود ندارد. باین حال طبق شبیه‌سازی‌های صورت گرفته و

^۱ Domingo

^۲ Greve

جدول (۵): محاسبه خسارت سیلاب در دو سناریو شکست سد میرزای شیرازی (میلیارد ریال)

جمع	سد	ساختمان	چارپایان و احشام	کشاورزی	جانمی	نوع خسارت سناریو
۹۱۳۶	۸۵۳	۳۷۷۵	۳۹	۸۸	۴۳۸۰	آنی
۵۵۷۸	۸۵۳	۲۵۵۱	۱۴	۴۴	۲۱۱۴	تدریجی

نتیجه گیری

سد میرزای شیرازی در ۱۰ کیلومتری غرب شهر کوار و ۶۵ کیلومتری جنوب شرقی شیراز روی رودخانه قره آغاج در دست احداث قرار دارد و با توجه به این که در مرحله ساخت می باشد تحلیل سیلاب ناشی از آن امری ضروری می باشد. بدین منظور دو سناریوی محتمل شکست سد در این پژوهش شامل شکست آنی سد در حالت بحرانی مخزن و شکست تدریجی سد بر اثر روگذری با استفاده از نرم افزار MIKE-FLOOD بررسی شد. در سناریو شکست آنی حداکثر دبی سیلاب در مقطع شکست ۱۱۸۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه و در سناریو شکست تدریجی ۸۰۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه می باشد. میانگین سرعت پیشروی آب در بستر رودخانه در شکست آنی ۱۰/۰۲ متر بر ثانیه و در شکست تدریجی ۵/۰۶ متر بر ثانیه است. سیلاب ناشی از شکست در سناریوی شکست تدریجی نسبت به سناریو شکست آنی بیشتر در آبراهه اصلی طی مسیر می نماید با این وجود روستای قصر احمد و قسمتی از شهر کوار دچار آب گرفتگی می شود. در سناریوی شکست آنی پهنه سیلاب وسعت بیشتری دارد. تا جایی که روستاهای مظفری، نوروزان و دشتک را نیز تحت تأثیر قرار می دهد و دچار آب گرفتگی می شوند. در این پژوهش خسارت مربوط به شکست آنی و شکست تدریجی به ترتیب ۹۱۳۶ و ۵۵۷۸ میلیارد ریال برآورد شده است

مراجع

- نرم افزار MIKE11، دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه برقابی، شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران.
- ۴- فیضی خانکندی، اتابک. طاهرشمسی، احمد. (۱۳۹۲)، "بررسی آزمایشگاهی پایه ای استوانه ای شکل در جریان های ناشی از شکست سد"، مجله ی عمران شریف، شماره ۲.
- 5- Brufau, P. Garcia-Navarro, P. (2000). "Two-dimensional dam break flow simulation. International Journal For Numerical Methods In Fluids". Int, J, Numer, Meth, Fluids 33: 35-57.
- 6- DHI. (2005). "A modeling system for rivers and channels (MIKE11)". User guide manual. DHI water & Environment, Denmark.
- 7- DHI. (2005). "A modeling system for rivers and channels (MIKE11)". Reference manual. DHI water & Environment, Denmark.
- 8- Fread, DL. (1988). "BREACH: An erosion model for earthen dam failures". National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration. Silver Spring. Maryland.
- 9- ICOLD, (1998) "Dam-break Flood Analysis". Bulletin.
- 10- Kamanbedast, AA. Bryanvand, R. (2014). "Effects of dam break on Downstream lands using Gis and Hec-Ras (Case Study: Eyvashan in Lorestan-Iran)". Adv. Environ. Biol.
- 11- 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.
- 12- Vanderkimpen, P. Melger, E. & Peeters, P. (2008). Flood modeling for risk evaluation: a MIKE FLOOD vs. SOBEK 1D2D benchmark study.
- 13- Yang, Y. Shu-you, C. Yang, KJ. LI, WP. (2015). "Experimental study of breach process of landslide dams by overtopping and its initiation mechanisms". *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 2015: 872-883.
- 14- You, L. Chen, L. Min X, Tong X. (2012). "Review of dam-break research of earth-rock dam combining with dam safety management". *Procedia Engineering*.

۱- ابارشی، مریم، (۱۳۸۸)، "بررسی تبعات شکست سد (مطالعه موردی سد طرق)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- حسن زاده، یوسف، (۱۳۸۳)، "هیدرولیک شکست سد"، انتشارات وزارت نیرو، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، چاپ اول.

۳- زرگر، مرتضی، نکوئیان فر، مصطفی، محمودی کردستانی، سهام الدین، (۱۳۸۷)، "مدل سازی هیدرولیکی شکست سد مارون با استفاده از