

تجربیاتی چند در کار با مدل HEC-RAS در تحلیل جریان غیردائمی

شکست سد "مطالعه موردي: سد بيدواز اسفراين"

ساناز بمبئی چی

دانشجوی دکترای آب و هیدرولیک، گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد

سید محمود حسینی

دانسیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده:

در این نحقیق سعی شده است تا با استفاده از قابلیت مدلسازی شکست سد در نرم افزار HEC-RAS به مدلسازی توسعه شکاف در بدنه سد و نیز با استفاده از مدل یک بعدی جریان غیردائمی به روندیابی سیلاب حاصل در پایین دست سد برداخته شود. سد مورد مطالعه، سد خاکی بیدواز در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهر اسفراین در خراسان شمالی می‌باشد. بررسی‌های انجام شده در مورد سد بیدواز محتمل ترین نحوه شکست در این سد را به علت رگاب (فرسایش داخلی در اثر زه آب) پیش‌بینی می‌کند. فرآیند مدلسازی مبتنی بر مدلسازی مخزن، معرفی خصوصیات سد و چگونگی انهدام آن، و در نهایت روندیابی سیلاب حاصل در پایین دست با استفاده از داده‌های مربوط به هندسه و زبری رودخانه مسیر می‌باشد. معادلات بدست آمده توسط Barkau اساس کار نرم افزار HEC-RAS در حل جریان غیردائمی می‌باشد. روش تفاضل محدود مورد استفاده در این نرم افزار برای حل معادلات یکبعدی جریان غیردائمی، روش ضمنی چهار نقطه‌ای (Box Scheme) می‌باشد. در این روش مشتقات و مقادیر تابع مکان در یک نقطه داخلی شکاف و زمان انهدام)، ارزیابی می‌شوند. لذا برای یک بازه از رودخانه، یک سیستم معادلات همزمان بدست می‌آید. پارامترهای موردنیاز این مدلسازی شامل مشخصات مخزن، مشخصات هندسی سد و سرریز آن، پارامترهای فیزیکی و زمانی توسعه شکاف در سد در حین انهدام (عرض شکاف، عمق شکاف، ضریب شبیه مانینگ در کanal رودخانه و سواحل آن، مشخصات موردنیاز تحلیل غیردائمی جریان (شامل شرایط مرزی و شرط اولیه) و پارامترهای عددی روش تفاضل محدود می‌باشدند. از آنچاکه نرم افزار HEC-RAS به‌طور مستقل قادر به برآورد پارامترهای شکاف نمی‌باشد، لذا برای مدلسازی گسترش ساف سد در آن لازم است تا ابتدا پارامترهای موردنیاز را از طریق روابط پیشنهادی موجود در مباحث مقدماتی شکست سد (نظیر روابط پیشنهادی توسط Reclamation و Von Thun & Gillitte، Froehlich) محاسبه نمود. از جمله دشواریهای موجود در این تحقیق نحوه مدلسازی مخزن بود. به‌طوریکه بایداری مدل از نظر عددی به شدت تحت تأثیر قرار می‌گرفت. لذا، مخزن سد به شیوه‌های مختلف مدلسازی گردید تا حداقل بتوان به

یک جواب پایدار رسید. در مدل نهایی، تنها نقش ذخیره‌ای مخزن در نظر گرفته شد. لذا مقاطع مخزن به گونه‌ای تعریف شدند تا حجم مخزن در تراز نرمال را ایجاد نموده و به منظور اجتناب از روندیابی جریان در مقاطع مربوطه در مخزن، ضریب زبری مابینگ عدد کوچکی در نظر گرفته شد، که بدین طریق پایداری مدل به میزان زیادی بهبود یافت که در نهایت با تأمل بیشتر در برآورد پارامترهای موردنیاز برنامه و اجراء‌های متواتی مدل به پایداری کامل رسید. همچنین، مدل به شدت نسبت به تغییر پارامترها حساس بود، به گونه‌ای که در حین انجام تحلیل حساسیت پارامترهای فیزیکی، مدل نایابی‌دار می‌شد و برای رفع نایابی‌دار آن نیاز به تغییر پارامترهای عددی بود. پس از رفع دشواریهای فراوان در اخذ یک پاسخ پایدار از مدل، نتایج تحلیل حاکی از بزرگی سبلاب بوجود آمده و اعماق بالای آب در محل نیز شهر می‌باشد. به گونه‌ای که تمام مناطق شهری دچار آب‌گرفتگی می‌شوند و یک ساعت و پنحاه دقیقه پس از آغاز شکست سد، موج سیلان حاصل به اینداشی شهر که در فاصله ۱۵ کیلومتری از محل سد قرار دارد، می‌رسد. لذا جمعیت تحت خطر باید پیش از رسیدن موج سیلان از محل تخلیه شوند. نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان می‌دهد که زمان انهدام و عرض نهایی شکاف نسبت به سایر پارامترهای شکاف تأثیر بیشتری بر روی موج سیلان می‌گذارند. همچنین، ضریب زبری در نزدیکی شهر نسبت به ضریب زبری در سایر موقعیت‌های مسیر، بیشترین تأثیر را بر روی نتایج تحلیل می‌گذارد. لذا باید توسط جمع آوری اطلاعات بیشتر در خصوص این موارد اقدام به کاهش این عدم قطعیت‌ها نمود. با توجه به نتایج مدلسازی شکست سد و تحلیل حساسیت پارامترهای مدلسازی در این تحقیق مشخص شد که موضوعات زیادی در تحلیل واقعه شکست سد وجود دارند که در این زمینه‌ها نیاز به تحقیقات بیشتری می‌باشد. از جمله می‌توان به تعیین نحوه شکل‌گیری شکاف در سد و پارامترهای واسته به آن، مدلسازی نواحی شهری و مناطق مسکونی با وجود تأسیسات در آنها، استفاده از مدل‌های دوبعدی (در پلان)، مدلسازی گسترش سیلان در اطراف کانال رودخانه و مشخص نمودن نواحی که به عنوان ذخیره مرده عمل می‌کنند و یا آب در آنها به اضراف سریز می‌شود و تعیین ضرایب زبری مورد استفاده در شبیه‌سازی جریان اشاره نمود. لازم به توضیح است که در این مطالعه برداشت عرضی مقاطع در عرض محدودی (حداکثر ۴۰۰ متر) صورت یافته نتیجه‌گیری کلی این مقاله این است که در مجموع استخراج یک پاسخ مناسب و قابل قبول از این نرم‌افزار در تحلیل بدبده غیردانمی شکست سد امری مشکل است و حساسیت فوق العاده و نایابی‌داری در پاسخ به تغییر پارامترهای فیزیکی و عددی مدلسازی، موضوعی غیرمنطقی است که کاربرد مدل را سحدود می‌کند.

واژه‌های کلیدی: امواج نیز، پایداری مدل، توسعه شکاف، روندیابی سیلان، سد بیدواز، شکست سد، HEC-RAS



تجربیاتی چند در کار با مدل HEC-RAS در تحلیل جریان غیردائمی شکست

سد "مطالعه موردي: سد بيدواز اسفراين"

ساناز بمبئی چی

دانشجوی دکترای آب و هیدرولیک، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق

پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۱۱، Email: sanaz_bambeichi@yahoo.com

سید محمود حسینی

دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۱۱

Email: shossein@Ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

بررسی پیامدهای ناشی از شکست سدها از جمله مطالعاتی است که بر روی سدهای ایران صورت می‌گیرد و یا خواهد گرفت. این موضوع به دلیل قرارگیری بسیاری از سدها در مجاورت مناطق مسکونی و شرایط خاص منطقه از نظر زلزله‌خیزی می‌باشد. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از قابلیت مدلسازی شکست سد در نرم افزار HEC-RAS به مدلسازی توسعه شکاف در بدنه سد و نیز با استفاده از مدل یک بعدی جریان غیردائمی و روش حل معادلات تفاضل محدود ضمنی چهار نقطه‌ای موجود در این نرم افزار به روندیابی سیلان حاصل در پایین دست سد پرداخته شود. سد مورد مطالعه، سد خاکی بیدواز در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی شهر اسفراین در خراسان شمالی می‌باشد. پارامترهای موردنیاز این مدلسازی شامل پارامترهای هندسی و زمانی توسعه شکاف در سد در حین انهدام از قبیل عرض شکاف، عمق شکاف، زمان انهدام و...، پارامتر فیزیکی ضریب زبری مانینگ و مشخصات هندسی مسیر رودخانه و پارامترهای عددی روش تفاضل محدود می‌باشند. فرآیند مدلسازی مبتنی بر مدلسازی مخزن، معرفی خصوصیات سد و چگونگی انهدام، و هندسه و زبری رودخانه مسیر می‌باشد. از جمله دشواریهای موجود در این تحقیق نحوه مدلسازی مخزن بود، به طوریکه پایداری مدل از نظر عددی به شدت تحت تأثیر قرار می‌گرفت. لذا، مخزن سد به شیوه‌های مختلف مدلسازی گردید تا حداقل بتوان به یک جواب پایدار رسید. همچنین، مدل به شدت نسبت به تغییر پارامترها حساس بود، به گونه‌ای که در حین انجام تحلیل حساسیت پارامترهای فیزیکی مدل ناپایدار می‌شد و برای رفع ناپایداری آن نیاز به تغییر پارامترهای عددی بود. نتایج و تجربیات اختصاصی حاصل از این مطالعه می‌تواند مورد استفاده متخصصین، که در امر مدلسازی این پدیده‌ها کار می‌کنند، قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: امواج تیز (shock)، پایداری مدل، توسعه شکاف، روندیابی سیلان، سد بیدواز، شکست سد، HEC-RAS



مقدمه

زمانی که سدی می‌شکند، مقادیر بزرگی از آب ناگهان رها شده و امواج بزرگ سیلاب که قادر به ایجاد زیان‌های بزرگی در نواحی پایین‌دست می‌باشند، بوجود می‌آیند. این امواج سبب خسارات جانی و مالی فراوان، فرسایش زمین و اثرات زیست‌محیطی نامطلوب می‌گردند. سیلاب حاصل از شکست سد، چه از لحاظ ابعاد آن و چه از لحاظ اثرات دینامیکی موج سیلاب، قابل مقایسه با سیلابهای طبیعی حوضه آبریز مربوطه نمی‌باشد و بنابراین از قدرت تخریب بالایی برخوردار است. علاوه بر آن در اکثر موارد، کanal رودخانه در پایین دست سد چنین سیلابی را تجربه نکرده و لذا قادر به مهار آن در کanal اصلی خود نمی‌باشد. از این رو انجام تحلیل شکست سد و ارزیابی تبعات ناشی از آن برای همه سدها ضروری به نظر می‌رسد. این تحلیل علاوه بر ارزیابی خسارت و میزان خطر موجود در پایین دست سد، امکان برنامه‌ریزی عملیات نجات و تسکین فاجعه ناشی از شکست سد را نیز فراهم می‌کند [۱ و ۲]. در این تحقیق، سعی شده است تا با استفاده از نرم افزار HEC-RAS سیلاب حاصل از شکست سد مورد نظر ارزیابی و در رودخانه پایین دست آن روندیابی شود. برای این منظور سد بیدواز اسفراین انتخاب گردید، چرا که شهر اسفراین در فاصله نه چندان زیادی از پایین دست آن قرار دارد و شکست سد خسارات جانی و مالی قابل توجهی را به بار خواهد آورد.

مشخصات سد مورد مطالعه

سد مورد مطالعه، سد مخزنی بیدواز می‌باشد که در ۱۵ کیلومتری شمال‌شرقی اسفراین در پایین دست روستای دنج ببروی رودخانه بیدواز واقع است. از جمله اهداف احداث این سد، تأمین آب کشاورزی، آب شرب، کنترل سیلاب، ایجاد اشتغال، پرورش ماهی و ... را می‌توان نام برد. بدنه سد بیدواز از نوع خاکی- سنگریزهای با هسته نفوذناپذیر رسی است. ارتفاع آن از بستر رودخانه ۶۶ متر و طول و عرض تاج آن به ترتیب ۱۰۴ و ۱۱ متر می‌باشند. حجم کل و حجم مفید مخزن به ترتیب $52/9$ و $31/9$ میلیون مترمکعب است که قادر به تنظیم $39/3$ میلیون مترمکعب آب در سال می‌باشد. سرریز سد از نوع آزاد- مکزیکی است که در تکیه‌گاه راست سد واقع شده است. تاج سرریز در تراز نرمال آب (1530 متر) و طول تاج $115/7$ متر است و با احتساب ضریب تخلیه $1/9$ سیل هزار ساله روندیابی شده برابر 583 مترمکعب بر ثانیه را در تراز $1531/92$ از خود بگذراند. تاج سرریز از نوع اوجی و مطابق با استاندارد USBR می‌باشد [۳-۷].

فرآیند مدلسازی پدیده شکست

فرآیند مدلسازی مبتنی بر مدلسازی مخزن، معرفی خصوصیات سد و چگونگی انهدام آن، و در نهایت روندیابی سیلاب حاصل در پایین دست با استفاده از داده‌های مربوط به هندسه و زبری رودخانه مسیر می‌باشد. به منظور مدلسازی مخزن نیاز به مشخصات هندسی آن و منحنی مشخصه مخزن می‌باشد که با استفاده از این اطلاعات نرم افزار HEC-RAS قادر به مدلسازی مخزن خواهد بود. توضیح کاملتر درباره نحوه مدلسازی مخزن و رفع مشکلات مربوط به آن در ایجاد پایداری، در بخش بعد آمده است.



أنواع متداول شكلت در سدهای خاکی عبارت از روگذری ایجادشده توسط سیلابهای عظیم (overtopping)، انهدام سازهای به علت فرسایش داخلی (رگاب-piping)، انهدام سازهای به علت لغزش برشی، انهدام سازهای به علت مشکلات فونداسیون و انهدام به علت زلزله طبیعی یا بوجود آمده می باشد که از این میان دو نوع اول متداول تر هستند [۲ و ۸]. بررسی های انجام شده در مورد سد بیدواز محتمل ترین نحوه شکست در این سد را به علت رگاب (فرسایش داخلی در اثر زه آب) پیش بینی می کند، بدین ترتیب که با ایجاد ترک در محل اتصال بدن سد به تکیه گاهها و در نتیجه تراوش آب از آن، موجب گسترش ترک و جدا شدن کامل سد از تکیه گاهها می شود. این امر به علت شیب بسیار تندره محل سد می باشد. در این حالت پیش بینی می شود که در فاصله کوتاهی بعد از شکل گیری ترک در محل اتصال با تکیه گاهها، به طور ناگهانی کل سازه سد توسط جریان آب شسته شده و به سمت پایین دست حمل گردد.

در نهایت پس از مدلسازی مخزن و معرفی چگونگی انهدام سد، نوبت به روندیابی سیلاب حاصل در رودخانه پایین دست سد می رسد. معادلات بدست آمده توسط Barkau اساس کار نرم افزار HEC-RAS در حل جریان غیر دائمی می باشد [۹]. Barkau (1982)، معادلات پیوستگی و اندازه حرکت را برای کانال رودخانه و سیلاب دشت اطراف آن به طور جداگانه تعریف نموده و با استفاده از فاکتور توزیع سرعت، عبارات انتقالی را به یکدیگر ارتباط داده است. بعلاوه Barkau با تعریف یک مسیر جریان معادل، عبارات شیب اصطکاکی را با یک نیروی معادل جایگزین نمود و در نهایت به معادلات پیوستگی و اندازه حرکت به صورت زیر دست یافت:

$$\Delta Q + \frac{\Delta A_c}{\Delta t} \Delta X_c + \frac{\Delta A_f}{\Delta t} \Delta X_f + \frac{\Delta S}{\Delta t} \Delta X_f - \bar{Q}_l = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\Delta (Q_c \Delta X_c + Q_f \Delta X_f)}{\Delta t} + \Delta (\beta V Q) + g \bar{A} \Delta Z + g \bar{A} \bar{S}_f \Delta X_e = 0 \quad (2)$$

که در آنها، X = فاصله در طول کanal، t = زمان، Q = دبی جریان، A = سطح مقطع جریان، S = ذخیره در قسمت های غیرفعال سطح مقطع، \bar{Q}_l = دبی عرضی متوسط، g = شتاب جاذبه، β = ضریب تصحیح اندازه حرکت، V = سرعت جریان، ΔX_e = مسیر جریان معادل، \bar{S}_f = شیب خط انرژی برای کل سطح مقطع، \bar{A} = سطح مقطع متوسط جریان ($\bar{A} = \bar{A}_c + \bar{A}_f$) و زیرنویس های c و f به ترتیب مربوط به کanal و سیلاب دشت می باشند.

روش تفاضل محدود مورد استفاده در این نرم افزار برای حل معادلات یک بعدی جریان غیر دائمی، روش ضمنی چهار نقطه ای (Box Scheme) می باشد. در این روش مشتقات و مقادیر تابع مکان در یک نقطه داخلی $(n + \theta)\Delta t$ ، ارزیابی می شوند. بنابراین مقادیر مربوط به زمان $(n + 1)\Delta t$ وارد همه عبارات موجود در معادلات می شوند. برای یک بازه از رودخانه، یک سیستم معادلات همزمان بدست می آید. حل همزمان معادلات مهمترین جنبه این روش است، چرا که باعث می شود تمام اطلاعات موجود در یک بازه بر روی محاسبات مربوط به هر نقطه تأثیر بگذارد. در نتیجه، بازه زمانی می تواند به طور قابل ملاحظه ای بزرگتر از روش های عددی صریح باشد [۹].

اطلاعات موردنیاز برای تحلیل غیر دائمی جریان، شامل شرایط مرزی و شرط اولیه می باشد. شرایط مرزی خود به دو دسته شرایط مرزی خارجی و داخلی تقسیم می گردند. شرایط مرزی خارجی شامل یک شرط مرزی



در بالادست و دیگری در پایین دست می باشد. برای شرط مرزی بالادست یک هیدروگراف دبی جریان و یا هیدروگراف تراز آب لازم است. شرط مرزی پایین دست را نیز می توان توسط هیدروگراف دبی جریان، هیدروگراف تراز آب، منحنی دبی- اشل تکین مقدار و یا عمق نرمال با استفاده از معادله مانینگ تعریف نمود. شرایط مرزی داخلی در صورت وجود سد، پل، آبشار و ... در مسیر جریان مطرح می گردند که در آنها جریان دیگر تغییرات تدریجی نداشته بلکه یک جریان متغیر سریع می باشد. به طور کلی شرایط مرزی داخلی برای یک سد عبارت از هیدروگراف دبی جریان، هیدروگراف تراز آب، منحنی دبی- اشل، جریان خروجی از شکاف، جریان خروجی از سرربیز، جریان خروجی از دریچه، جریان از روی تاج سد و جریان از درون توربین می باشند [۱۰]. از این میان به عنوان مثال جریان خروجی از شکاف و سرربیز توسط معادلات زیر بیان می گردند:

$$Q_b = 3.1b(h - h_{br})^{3/2} + 2.45z(h - h_{br})^{5/2} \dots \quad (3)$$

که در آنها $h =$ تراز آب در بالادست سازه، $Q_s =$ دبی روگذری از سرریز، $h_s =$ تراز تاج سرریز، $L_s =$ طول سرریز، $C_s =$ ضریب تخلیه سرریز، $Q_b =$ دبی خروجی از شکاف، $h_{br} =$ تراز کف شکاف، $Z =$ شیب جانبی شکاف (۱) عمودی: Z (افقی) و $b =$ عرض لحظه‌ای کف شکاف است و از رابطه زیر بدست می‌آید:

که در آنها $b_0 =$ عرض نهایی شکاف، $t_{br} =$ زمان از آغاز شکاف گیری شکاف، $\tau_{br} =$ زمان شکل گیری شکاف می باشد. افزون بر شرایط مرزی، شرایط اولیه (شامل دبی و تراز آب) نیز باید در تمام نقاط سیستم در آغاز مدلسازی، تعیین شوند تا بتوان معادلات پیوستگی و اندازه حرکت را حل نمود. متداول ترین روش برای تعریف شرایط اولیه، وارد کردن داده های جریان برای هر بازه و سپس محاسبه تراز های سطح آب توسط مدل با اجرای یک تحلیل جریان دائمی، می باشد [۹].

برآورد پارامترهای شکست سد و روندیابی در مسیر

پارامترهای موردنیاز این مدلسازی شامل مشخصات مخزن، مشخصات هندسی سد و سریز آن، پارامترهای فیزیکی و زمانی توسعه شکاف در سد در حین انهدام (عرض شکاف، عمق شکاف، ضریب شیب جانی شکاف و زمان انهدام)، مشخصات هندسی مسیر رودخانه (مقاطع عرضی رودخانه)، ضریب زبری مانینگ در کanal رودخانه و سواحل آن، مشخصات موردنیاز تحلیل غیردائمی جریان و پارامترهای عددی روش تفاضل محدود می‌باشند. با استفاده از نقشه‌های ۱/۵۰۰۰ موجود از محدوده مورد مطالعه، مقاطع عرضی بر روی مسیر رودخانه زده شد و اطلاعات موردنیاز برای مدلسازی رودخانه از آنها برداشت گردید (شکل ۱). مشخصات موردنیاز برای مدلسازی مخزن، سد و سریز آن نیز از گزارش‌های مشاور طرح استخراج شد [۳-۷]. این مشخصات در قسمت داده‌های هندسی نرم افزار HEC-RAS وارد می‌شوند.



از آنجاکه نرمافزار HEC-RAS به طور مستقل قادر به برآورد پارامترهای شکاف نمی‌باشد، لذا برای مدلسازی گسترش شکاف سد در آن لازم است تا ابتدا پارامترهای موردنیاز را از طریق روابط پیشنهادی موجود در مباحث مقدماتی شکست سد محاسبه نمود. با استفاده از روابط پیشنهادی Von Thun & Reclamation و Gillitte و Froehlich پارامترهایی چون عرض متوسط شکاف و زمان انهدام محاسبه گردید [۱۱]. برای شبیه‌سازی شکاف نیز مقادیری با توجه به مطالعات موردنی پیشنهاد شده است. اما برای سایر پارامترهایی که موردنیاز مدل HEC-RAS می‌باشند، از قبیل ایستگاه مرکزی شکاف و تراز نهایی کف شکاف هیچ رابطه پیشنهادی ویا قاعده کلی وجود ندارد. اگرچه در این تحقیق شرایط خاص مربوط به هندسه سد و دره آن، انتخاب این پارامترها را به مقادیر خاصی محدود نمود، اما در حالت کلی تخمین این پارامترها با عدم قطعیت بسیاری همراه است. با توجه به عرض متوسط بدست آمده برای شکاف توسط روابط بالا و ابعاد دره محل سد، مشخص شد که اگر سد شکسته شود، به احتمال زیاد شکاف نهایی ایجاد شده، به اندازه تمام سد خواهد بود. با توجه به آنکه دره محل سد را می‌توان با یک ذوزنقه به عرض قاعده ۵۰ متر در پایین و ۱۰۰ متر در بالا تقریب زد، پارامترهای شکاف بدین شرح بدست آمدند: عرض نهایی شکاف ۴۰ متر، زمان انهدام یک ساعت، ایستگاه مرکزی شکاف $74/5$ متر، تراز نهایی کف شکاف 1472 متر، شبیه‌سازی سمت چپ $0/29$ و شبیه‌سازی سمت راست $0/38$ منظور شدند و بررسی سایر مقادیر ممکن برای آنها، در تحلیل حساسیت قرار داده شد.

بازدیدهای محلی از مسیر رودخانه بیدواز نشان داد که با توجه به خصوصیات فیزیکی کanal و سیلان دشت‌های اطراف آن، می‌توان مسیر را برای تعریف ضریب زبری مانینگ به ۷ بازه جداگانه تقسیم نمود. با استفاده از جداول راهنمای اشکال راهنمای در مراجع [۱۲ و ۱۳]، برای هریک از بازه‌ها، سه ضریب زبری مختلف برای سواحل چپ، راست و کanal اصلی تخمین زده شد. به منظور بالاتر بردن دقت، در روشی دیگر با استفاده از فرمول Cowan [۱۲] اقدام به تخمین پارامتر n گردید. سپس با مقایسه مقادیر بدست آمده از دو روش فوق، مقدار نهایی n انتخاب گردید (جدول ۱).

اطلاعات موردنیاز برای تحلیل غیر دائمی جریان، شامل شرایط مرزی و شرط اولیه می‌باشد. در این تحقیق هیدروگراف دبی جریان به عنوان شرط مرزی بالادست و عمق نرمال به عنوان شرط مرزی پایین دست اعمال گردید. به منظور برقراری شرایط اولیه نیز کافی است تا یک دبی در ابتدای بازه وارد شود تا محاسبات پس‌زدگی در حالت جریان دائمی برای محاسبه ترازهای متناظر در هر مقطع عرضی توسط برنامه انجام گیرد.

مدلسازی مخزن که از جمله دشواریهای این تحقیق بود به طرق مختلف صورت گرفت. در اولین مدل، مخزن سد توسط گزینه ناحیه ذخیره (Storage Area) در HEC-RAS شبیه‌سازی گردید. در روش ناحیه ذخیره، ابتدا یک شکل شماتیک از مخزن رسم می‌شود که محل قرارگیری آن در بازه مطالعاتی را نشان می‌دهد و سپس با تعریف منحنی مشخصه مخزن که تغییرات حجم مخزن در ارتفاع را نشان می‌دهد، ناحیه ذخیره مدلسازی می‌گردد. در این حالت، مدل مت Shank از دو بازه از رودخانه قبل و بعد از ناحیه ذخیره و یک ناحیه ذخیره در میانه بود. بازه اول شامل تعدادی مقطع عرضی از رودخانه در بالادست مخزن بود، پس از آن ناحیه ذخیره قرار داشت که از بالادست به بازه اول متصل بود. سپس بازه دوم قرار داشت که به پایین دست ناحیه



ذخیره متصل بود و خود شامل مقاطع عرضی از چند مقطع قبل از سد تا انتهای شهر بود. شرط مرزی بالادست نیز هیدروگراف سیل هزارساله قبل از روندیابی در مخزن وارد گردید. علیرغم آنکه این مدل از لحاظ هیدرولیکی مدل مناسبی به نظر می‌رسید اما به شدت ناپایدار بود و با هیچ یک از روش‌های ممکن ایجاد پایداری [۱۴ و ۱۵]، نظیر تغییر پارامترهای عددی، پایدار نگردید. در مدل دوم، مخزن با استفاده از یک سری مقاطع عرضی که از نقشه $1/5000$ مخزن سد (پس از مشخص نمودن تراز نرمال بروی نقشه توپوگرافی) تهیه شدند، مدل‌سازی گردید و سایر مشخصات مدل همانند قبل بدون تغییر باقی ماند. بدین ترتیب پایداری مدل به میزان زیادی بهبود یافت، به طوری که نتایج حاصل از اجرای برنامه تا قبل از بروز ناپایداری نتایج معقولی به نظر می‌رسید، اما مدل به پایداری کامل نرسید. در مدل سوم تنها نقش ذخیره‌ای مخزن در نظر گرفته شد لذا مقاطع مخزن به گونه‌ای تعریف شدند تا حجم مخزن در تراز نرمال را ایجاد نموده و به منظور اجتناب از روندیابی جریان در مقاطع مربوطه در مخزن، ضریب زبری مانینگ عدد کوچکی در نظر گرفته شد. پایداری مدل باز هم بهبود پیدا کرد و با تأمل بیشتر در برآورد پارامترهای موردنیاز برنامه و اجراهای متوالی در نهایت مدل به پایداری کامل رسید.

پیش‌بینی

پروفیل ماکزیمم سطح آب ممکن در هر مقطع عرضی در زمانهای مختلف، که توسط مدل پیش‌بینی شده‌است، در شکل (۲) به تصویر کشیده شده است. در شکل (۳) هیدروگرافهای تراز آب و دبی جریان از محل سد تا درون شهر در چند مقطع نمونه نمایش داده شده‌اند.

تحلیل حساسیت

در این مرحله به منظور مقایسه کیفی حساسیت مدل نسبت به تغییرات مشخصه‌های نامطمئن، حساسیت نسبی و مطلق ضریب زبری مانینگ و حساسیت مطلق پارامترهای شکاف انجام گرفت. مراد از تحلیل حساسیت مطلق، تغییر هر یک از مشخصه‌ها تا کرانهای بالایی و پایینی بازه عدم قطعیتشان و مقایسه نتایج حاصل از این تغییرات است. حدود بالایی و پایینی پارامترهای شکاف براساس روابط پیش‌بینی متفاوت و شرایط خاص هندسه سد تعیین گردیدند (جدول ۲). به عنوان مثال یکی از روش‌های تحلیل حساسیت مطلق انجام گرفته در این تحقیق شرح داده می‌شود. در این روش به ازای حدود بالایی و پایینی هر یک از پارامترهای شکاف، تغییرات تراز سطح آب در محل شهر در چندین مقطع مختلف به عنوان متغیر وابسته محاسبه گردید. سپس، بین مقاطع مختلف موجود در شهر از قدرمطلق این تغییرات میانگین گیری شد. در صورتی که میانگین قدرمطلق تغییرات تراز آب به عنوان معیار اصلی در نظر باشد، با توجه به شکل (۴) حساسیت بالای مدل نسبت به زمان انهدام کاملاً مشهود است. پس از زمان انهدام، مدل نسبت به عرض نهایی کف شکاف، حساس‌تر از سایر پارامترها می‌باشد و پس از آن می‌توان به ترتیب تراز نهایی کف شکاف، ایستگاه مرکزی شکاف، شیب جانبی سمت چپ و در نهایت شیب جانبی سمت راست (که مدل نسبت به آن کاملاً غیر حساس می‌باشد) را قرار داد.

ضریب زبری مانینگ نیز در سه بازه انتخابی از مسیر پس از سد تا شهر (اولی در ابتداء، دومی در وسط و سومی در انتهای این مسیر) به طور جداگانه به میزان یک درصد افزایش داده شد. از آنجا که پایداری مدل به



شدت متأثر از این پارامتر بود، لذا امکان تغییر بیشتر آن وجود نداشت. اما این تغییر کم توانست هدف از تحلیل حساسیت را برآورده نماید. نتایج حاصل از تحلیل حساسیت ضریب زبری مانینگ نیز نشان می‌دهد که بازه انتهایی مسیر، درست در قبل از شهر، بیشترین تأثیر را بروی تراز آب در شهر می‌گذارد و پس از آن تغییر زبری در بازه‌های میانی و ابتدایی به ترتیب به میزان کمتری تراز آب در شهر را تغییر می‌دهند.

نتایج و بحث

نتایج فشرده زیر را می‌توان از این فرآیند مدلسازی استخراج نمود:

- ۱- از بررسی نتایج بدست آمده در مناطق شهری از جمله نتایج مربوط به مقاطع عرضی و عمق آب در آنها اینطور قضاوت می‌شود که با ورود موج سیالاب به شهر، کanal اصلی رودخانه قادر به حمل حجم عظیم سیالاب نبوده و با توجه به اعمق بزرگ آب در محل شهر، تمام مناطق شهری دچار آب‌گرفتگی شدید می‌شوند.
- ۲- از مطالعه هیدرولیکوگرافهای محل شهر و مقادیر دبی اوج در آنها مشاهده می‌شود که سیالابی عظیم با دبی جریانهای بزرگ وارد شهر می‌گردد. لذا در صورت شکست سد باید اقدام به تخلیه شهر نمود.
- ۳- از آنجا که شکل‌گیری اولین ترک در سد یک ساعت و ده دقیقه پس از آغاز تحلیل رخ می‌دهد و سیالاب حاصل از شکست سد سه ساعت پس از آغاز تحلیل به محل شهر می‌رسد نتیجه می‌شود که فاصله زمانی بین آغاز شکست سد و رسیدن موج سیالاب به شهر تنها یک ساعت و پنجاه دقیقه می‌باشد. لذا نجات ساکنین مشروط بر آن است که به محض ایجاد اولین ترک در سد، از وقوع آن مطلع شده و بلافاصله عملیات نجات آغاز گردد.
- ۴- طبیعتاً هر یک از پارامترهای شکاف برآورد شده منجر به یک هیدرولیکوگراف خروجی متفاوت می‌گردد. اگرچه روندیابی این هیدرولیکوگراف‌ها در پایین‌دست سد، باعث همگرا شدن آنها به یکدیگر می‌شود اما میزان نزدیک شدن آنها به یکدیگر به فاصله‌ای که روندیابی می‌شوند، شبیه رودخانه، زبری رودخانه و سیالاب دشتها و... بستگی دارد، که این عوامل در واقع باعث میرایی هیدرولیکوگراف می‌گردد. همانطور که در نتایج تحلیل حساسیت این پروژه مشاهده شد، شرایط رودخانه بیدواز در بازه مورد مطالعه، در مجموع به گونه‌ای است که پارامترهای شکاف تأثیر قابل توجهی بر روی هیدرولیکوگرافهای محل شهر می‌گذارند. از این رو برآورد پارامترهای شکاف باید با دقت و توجه خاص انجام گیرد.
- ۵- در نگاهی کلی به نتایج تحلیل حساسیت مشاهده می‌شود که متغیرهای مورد نظر تحلیل، شامل دبی اوج محل سد و تراز آب در شهر، بیش از هر پارامتر دیگری نسبت به زمان انهدام و عرض نهایی کف شکاف حساس می‌باشند. بنابراین بیشترین عدم قطعیت در برآورد این پارامترها مطرح می‌باشد.
- ۶- نتایج تحلیل حساسیت ضریب زبری مانینگ بیانگر آن است که از میان ۷ بازه تعریف شده برای ضریب زبری در مسیر مورد مطالعه از رودخانه، بازه انتهایی درست در قبل از شهر، بیشترین تأثیر را بروی تراز آب در شهر می‌گذارد. لذا باید توسط جمع آوری اطلاعات بیشتر درباره خصوصیات این نواحی و یا حتی اندازه‌گیری در محل و به تبع آن صرف هزینه‌های بیشتر اقدام به کاهش این عدم قطعیتها نمود.



۷- جداسازی (Resolution) انتخابی در مشاهده نتایج، تأثیر زیادی بر روی خروجی‌های برنامه می‌گذارد. با انتخاب جداسازی‌های ریزتر نوساناتی در هیدرولوگی‌های خروجی مشاهده می‌گردد که در جداسازی‌های درشت‌تر قابل مشاهده نبودند. بررسی این نوسانات نشان می‌دهد که آنها بیش از هر چیز بیانگر خطاهای موجود در روش عددی حل مسئله توسط مدل می‌باشند. روش‌های عددی تفاضل محدود از قبیل روش چهار نقطه‌ای ضمنی مورد استفاده، نمی‌توانند جوابگوی بی‌نظمی‌های شدید بوجود آمده در مسائلی از قبیل شکست سد باشند و به‌واقع قادر به مدلسازی موج شاک بوجود آمده در اینگونه مسائل نمی‌باشند.

۸- با توجه به نتایج مدلسازی شکست سد و تحلیل حساسیت پارامترهای مدلسازی در این پروژه مشخص شد که موضوعات زیادی در تحلیل واقعه شکست سد وجود دارند که در این زمینه‌ها نیاز به تحقیقات بیشتری می‌باشد. از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تعیین نحوه شکاف در سد و پارامترهای وابسته به آن،
- مدلسازی نواحی شهری و مناطق مسکونی با وجود تأسیسات در آنها،
- استفاده از مدل‌های دوبعدی (در پلان)،
- مدلسازی گسترش سیلاب در اطراف کanal رودخانه و مشخص نمودن نواحی که به عنوان ذخیره مرده عمل می‌کنند و یا آب در آنها به اطراف سرریز می‌شود و
- تعیین ضرایب زبری مورد استفاده در شبیه‌سازی جریان.

در پایان لازم به توضیح است که در این مطالعه برداشت عرضی مقاطع در عرض محدودی (حداکثر ۶۰۰ متر) صورت پذیرفت. اگر برداشت در عرض وسیعتری انجام می‌شد، قطعاً نتایج تعديل یافته و هموارتر می‌گردید. علیرغم این مسئله نتایج ذکر شده تصویری هر چند تقریبی از رفتار جریان و عملکرد مدل ارائه می‌دهند.

نتیجه‌گیری کلی

نتیجه‌گیری کلی این مقاله، که در برخی مطالعات دیگر (از جمله می‌توان به مدل یکبعدی DAMBBREAK UK در بازه ۵ کیلومتری رودخانه Toce در [۱۶] اشاره نمود) نیز مشاهده می‌شود، این است که در مجموع استخراج یک پاسخ مناسب و قابل قبول از این نرم‌افزار در تحلیل پدیده غیر دائمی شکست سد امری مشکل است و حساسیت فوق العاده و ناپایداری در پاسخ به تغییر پارامترهای فیزیکی و عددی مدلسازی، موضوعی غیرمنطقی است که کاربرد مدل را محدود می‌کند. بخشی از این پیچیدگی مربوط به ماهیت فیزیکی پدیده است، چرا که باید یک سیستم هیدرولیکی کاملاً متغیر (ناپیوستگی شدید در عمق جریان در محل سد در ابتدای تحلیل) و امواج تیز (shock) حاصل از این جریان را مدلسازی نمود. بخش دیگر مربوط به ساختار روش‌های عددی موجود در این نرم افزار است که روش عددی مورد استفاده تناسب چندانی با جذب خصوصیات فیزیکی پدیده ندارد.



مراجع

- [1] Singh, V.P. (1996). "Dam Breach Modeling Technology" Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- [2] Finnish Environment Institute (2001). "Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis-RESCDAM" Final Report.
- [3] شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، (۱۳۷۱). "مطالعات مرحله اول - گزارش فنی سد و تأسیسات وابسته" فصل دهم، ۱۵۷ - ۲۲۱۰۱۶.
- [4] شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، (۱۳۷۸). "مطالعات مرحله دوم سد مخزنی اسفراین - سیمای طرح و سد و شبکه آبیاری" خلاصه گزارش، ۱۱۴۴ - ۲۳۲۰۱۶.
- [5] شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، (۱۳۷۸). "مطالعات مرحله دوم سد مخزنی اسفراین - سازه‌های هیدرولیکی: سیستم انحراف، تخلیه کننده عمقی، آبگیر و سرربز (اصلاح شده)" گزارش فنی، پیوست شماره (۱۰)، ۸۵۹/۱ - ۲۳۲۰۱۶.
- [6] شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، (۱۳۷۸). "ساختمان سد بیدواز اسفراین" خلاصه گزارش.
- [7] شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، (۱۳۷۸). "مطالعات مرحله دوم سد مخزنی اسفراین - گزارش فنی".
- [8] Washington State Department of Ecology (1992). "Dam Break Inundation Analysis and Downstream Hazard Classifications." Dam Safety Guidelines, Technical Note1.
- [9] US Army Corps of Engineers (2002). "HEC-RAS, Hydraulic Reference Manual." Institute For Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Version 3.1.
- [10] Fread, D.L. (1993). "Flow Routing." Chapter 10, Handbook of Hydrology, D.R. Maidment (ed.), McGraw-Hill Book Company.
- [11] Water Resources Research Laboratory (1998). "Prediction of Embankment Dam Breach Parameters." U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, DSO-98-004.
- [12] Chow, V.T. (1959). "Open-Channel Hydraulics." McGraw-Hill Kogakusha, International Student Edition.
- [13] Sturm, T.W. (2001) "Open Channel Hydraulics." McGraw-Hill International Edition, Civil Engineering Series.
- [14] US Army Corps of Engineers (2002). "Hec-RAS, User's Manual." Institute For Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Version 3.1.
- [15] US Army Corps of Engineers, (2002). "Applications Guide" Institute For Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Version 3.1 Chapter 17.
- [16] Rosu, C. and Ahmed, M. "Toce River dam-break test case – A comparision between the DAMBRK UK numerical model and the Physical Model." HR Wallingford, X10 8BA, England.



ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران



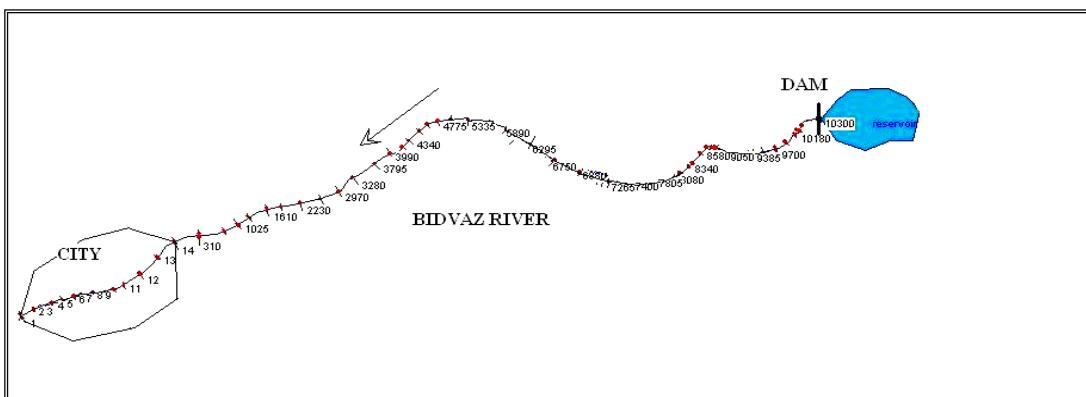
دانشگاه شهرکرد ۱۳-۱۵ شهریور ۱۴۰۶

جدول ۱: مقادیر نهایی برآورد شده برای ضریب زبری در بازه های مختلف از مسیر پس از سد

ضریب زبری			بازه
راست	کانال اصلی	چپ	
۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۱۲	اول
۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۸	دوم
۰/۱	۰/۰۷	۰/۱	سوم
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	چهارم
۰/۰۶	۰/۰۴۵	۰/۰۶	پنجم
۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	ششم
۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱۵	هفتم

جدول ۲ : حد پایینی، مقدار پایه و حد بالایی پارامترهای شکاف در سد

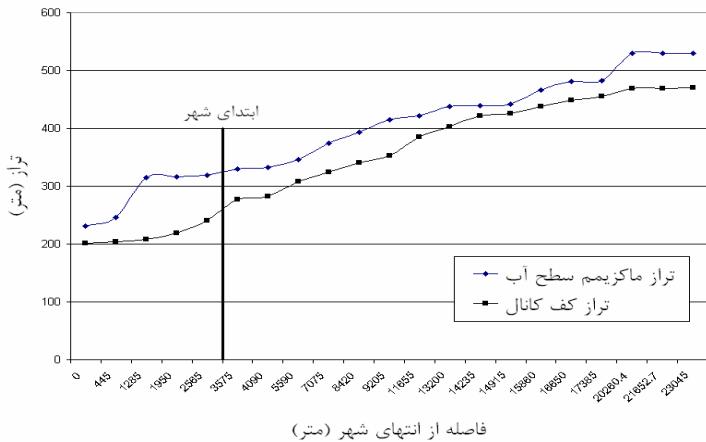
حد بالایی	مقدار پایه	حد پایینی	پارامترهای شکاف
۴۳	۴۰	۳۷	عرض نهایی کف شکاف(m)
۲	۱	۰/۶۸	زمان انهدام(hr)
۷۶/۵	۷۴/۵	۷۳	ایستگاه مرکزی شکاف(m)
۱۴۷۳	۱۴۷۲	۱۴۷۰	تراز نهایی کف شکاف(m)
۰/۳۱	۰/۲۹	۰/۲۷	شیب جانبی سمت چپ شکاف
۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۳۴	شیب جانبی سمت راست شکاف



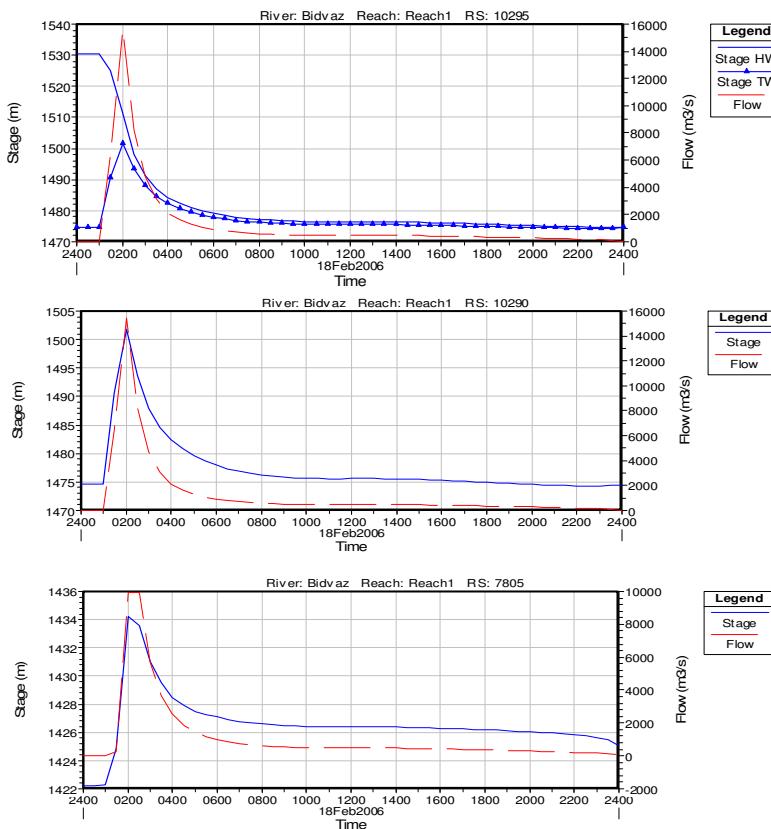
شکل ۱ : پلان موقعیت مخزن، سد، شهر و مقاطع عرضی در مدل تعریف شده

ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران

دانشگاه شهرکرد، ۱۳-۱۵ شهریور ۱۳۸۶



شکل ۲ : پروفیل ماقریم سطح آب

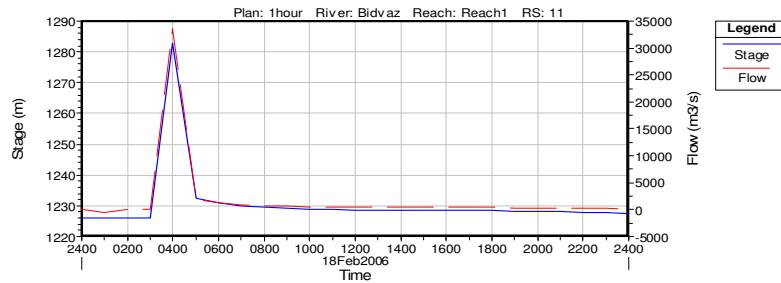




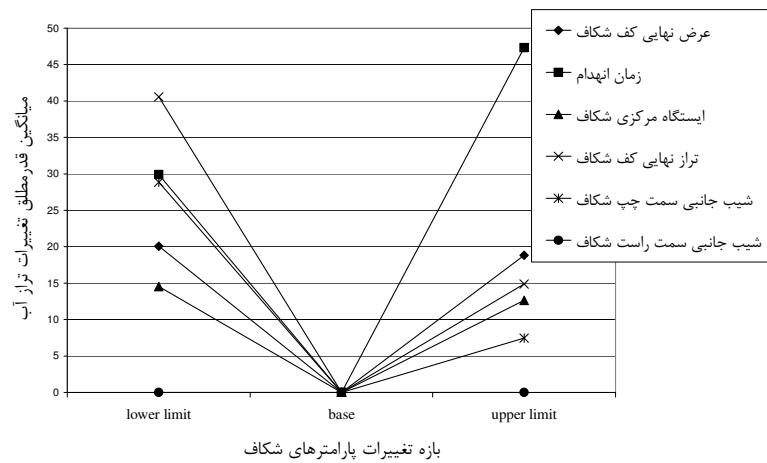
ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران



دانشگاه شهرکرد ۱۳-۱۵ شهریور ۱۴۰۶



شکل ۳ : هیدروگرافهای تراز آب و دبی جریان از محل سد تا درون شهر در چند مقطع نمونه



شکل ۴ : بررسی حساسیت تراز آب در شهر نسبت به پارامترهای شکاف