



## بررسی خطرات ناشی از شکست سد طرق

مریم ابارشی<sup>۱</sup>، محمد رضا جعفرزاده<sup>۲</sup>، سید محمود حسینی<sup>۲</sup>

- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه فردوسی مشهد

- دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

[Abareshi.maryam@yahoo.com](mailto:Abareshi.maryam@yahoo.com);  
[Jafarzad@um.ac.ir](mailto:Jafarzad@um.ac.ir);  
[Shossein@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:Shossein@ferdowsi.um.ac.ir)

### خلاصه

شکست سد همواره به عنوان یک حادثه با مخاطرات فوق العاده تلقی می‌شود. ارزیابی درجه خطرپذیری مناطق پایین دست به پارامترهای متعددی از قبیل زمان فرار، عمق و سرعت جریان بستگی دارد. در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار ARC-View و MIKE-11، مسئله شکست سد طرق در تزدیکی شهر مشهد بررسی می‌شود و پنهان آب‌گرفتگی نواحی پایین دست سد مشخص می‌گردد. آن‌گاه با شبکه‌بندی این مناطق، میزان خطرپذیری آن‌ها با توجه به پارامترهای مخاطره تعیین می‌شود.

**کلمات کلیدی:** شکست سد، عمق آب‌گرفتگی، سرعت جریان، زمان فرار، ماتریس مخاطره.

### ۱. مقدمه

هر گونه خرابی جزئی یا کلی در بدنه یک سد که به طور ناگهانی منجر به رهاسازی حجم غیرقابل کنترلی از آب شود، شکست سد نامیده می‌شود. تا قبل از سال ۱۹۵۰، درصد سدهای شکسته شده در سراسر دنیا برابر با ۱/۲ درصد بود. این مقدار پس از سال ۱۹۵۰ به ۰/۳ درصد کاهش یافت. با توجه به حوادث تلخی چون شکست سد بتی Austin در سپتامبر ۱۹۱۱ در آمریکا بر اثر روگذری با نفر کشته و ۸۸ میلیون دلار خسارت مالی و شکست سد بتی قوسی Malpasset در دسامبر ۱۹۵۹ در فرانسه به دلیل لغزش بدنه سد با ۴۲۱ نفر کشته، بررسی مسئله شکست سد ضروری است، [۱].

خسارات ایجاد شده در نتیجه سیلاب ناشی از شکست سد تنها به عمق آب‌گرفتگی محدود نیست، بلکه به عوامل دیگری همچون سرعت جریان بستگی دارد. یکی از روش‌های مناسب به منظور در نظر گرفتن پارامتر سرعت استفاده از روش ماتریس مخاطره است. Du Plessis در سال ۲۰۰۱، Adriaans در سال ۲۰۰۲، Stephenson در سال ۲۰۰۳، Roos در سال ۲۰۰۴ و Fattorelli و همکاران در سال ۲۰۰۳، Vrouwenvelder و همکاران در سال ۲۰۰۳ و Huang و همکاران در سال ۲۰۰۴ در مطالعات خود تأثیر سرعت جریان سیلابی بر تبعات شکست سد را بررسی نمودند. آن‌ها با تلفیق پارامتر سرعت با هر یک از پارامترهای عمق آب‌گرفتگی، احتمال وقوع شکست و یا درصد خسارت ناشی از آب‌گرفتگی، انواع ماتریس مخاطره<sup>۱</sup> را پیشنهاد کردند، [۲].

در ایران، خدایی و همکاران در مطالعه شکست سد گلستان ۱، با ایجاد یک شبکه نامنظم سلولی در منطقه و با تلفیق نرم-افزارهای HEC-RAS و ARC-GIS در این مطالعه شکست سد استفاده کردند، [۳].

در این مقاله شکست سد بتی طرق در مجاورت شهر مشهد به کمک نرم‌افزار MIKE 11 مطالعه می‌شود. آن‌گاه با استفاده از ماتریس مخاطره، نواحی در معرض خطر سیلاب با تلفیق نقشه‌های سرعت و عمق آب‌گرفتگی مشخص می‌گردد و میزان خطرپذیری هر ناحیه تعیین می‌شود. در نهایت راه کارهایی برای جلوگیری از مخاطرات ناشی از شکست سد پیشنهاد می‌گردد.



## ۲. نرم افزار مورد استفاده

در ابتدا نرم افزار HEC-RAS برای تحلیل هیدرولیکی شکست سد طرق انتخاب شد. از این نرم افزار قبلاً در شکست سدهای خاکی استفاده شده بود، [۳]. اما در عمل ملاحظه شد که HEC-RAS در تحلیل شکست آنی سدهای بتی ناپایدار است و قادر به شبیه سازی پیشروی امواج تیز حاصل از شکست سد در پایین دست و پسروی امواج منفی در مخزن سد نمی باشد. بر این اساس نرم افزار MIKE-11 با قابلیت مدل سازی شکست آنی سدهای بتی انتخاب شد.

نرم افزار MIKE-11 توسط مؤسسه هیدرولیک دانمارک (DHI) برای شبیه سازی جریان در رودخانه ها و سیستم های آبیاری، انتقال رسوب، مطالعات کیفیت آب، مدل سازی پدیده شکست سد و دیگر زمینه های منابع آب (هیدرولوژی و ...) تدوین شده است. در این نرم افزار از روش تفاضل محدود ضمنی برای حل یک بعدی معادلات حاکم بر جریان (معادلات پیوستگی و اندازه حرکت)، استفاده می شود. در این مدل ابتدا معادلات فوق به کمک روش تفاضل محدود ضمنی، به فرم گسته نوشته شده و سپس معادلات جداسازی شده بر روی شبکه نقاط دبی و تراز، در طول رودخانه و در زمان های مختلف توسط الگوریتم شش نقطه ای ابوت<sup>۱</sup> حل می گردد، [۴].

## ۳. مبانی نظریه خطرپذیری بر اثر شکست سد

پژوهشگران سه پارامتر زمان فرار، سرعت و عمق آب گرفتگی را به عنوان معیارهای مناسب خطرپذیری شکست سد می دانند، [۵] و [۶]. با توجه به اهمیت زمان فرار در کاهش خسارات جانی مناطق پائین دست سد، زمان های ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه اول پس از آغاز شکست سد، به عنوان معیار خطرپذیری این مناطق نسبت به زمان انتخاب می شود، [۵].

سرعت جریان و عمق آب گرفتگی نیز در ارزیابی تبعات شکست سد به طور توأم در نظر گرفته می شود. در این صورت محدوده آب گرفتگی شبکه بندی شده و شاخص مخاطره،  $HR$ ، مطابق تعریف زیر به سلول های شبکه اختصاص داده می شود، [۶]:

$$HR = d(V + 0.5) \quad (1)$$

عمق جریان سیلانی بر حسب متر و  $V$  سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه است.

در حالت کلی مناطق خطرپذیر به ۴ درجه خطرپذیری کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی می شوند. در جدول (۱) طبقه بندی خطرپذیری بر حسب شاخص مخاطره درج و توصیف شده است، [۶].

جدول ۱- طبقه بندی خطرپذیری سیل به عنوان تابعی از عمق و سرعت [۶]

درجه مخاطره سیل	علامت	توصیف مخاطره
کم	R1	هشدار: ناحیه آب گرفتگی با آب جاری کم عمق یا آب مانند عمیق
متوسط	R2	خطرناک برای برخی افراد (متلاً کودکان): ناحیه آب گرفتگی با آب جاری عمیق یا پر سرعت
زیاد	R3	خطرناک برای بیشتر افراد: ناحیه آب گرفتگی با آب جاری عمیق و پر سرعت
خیلی زیاد	R4	خطرناک برای همه افراد: ناحیه آب گرفتگی با آب جاری عمیق و پر سرعت

## ۴. مشخصات سد طرق و حوضه پایین دست

سد طرق در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر مشهد در طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه و در عرض جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۳ دقیقه بر رودخانه طرق احداث شده است، [۷]. مشخصات سد طرق در جدول (۲) ارائه شده است.



جدول ۲- مشخصات سد طرق [۷]

تراز بستر سد: ۱۱۵۹/۸ متر	نوع سد: بتنی دو قوسی متقابل
ارتفاع سد از بی: ۸۱ متر	رقوم تاج سد: ۱۲۲۰ متر از سطح دریا
حجم کل مخزن در رقوم تاج سد: ۴۰ میلیون مترمکعب	طول تاج سد: ۳۲۲ متر
حجم کل مخزن در تراز نرمال: ۱۳۳ میلیون مترمکعب	عرض دره در تراز بستر سد: ۸۴ متر
شیب جانی چپ و راست سد: ۰/۵٪ افقی به ۱ قائم	رقوم نرمال دریاچه: ۱۲۱۷ متر از سطح دریا

## ۵. توصیف مناطق خطرپذیر پایین دست سد طرق

در شکل (۱) تصویر ماهواره‌ای مخزن سد طرق و حوضه پایین دست آن مشاهده می‌شود. موقعیت مناطق مسکونی، نظامی، اقتصادی و صنعتی در معرض خطرات ناشی از شکست سد طرق، در جدول (۳) مشخص شده است. همچنین جمعیت ساکن در مناطق مسکونی ده غیبی، شهرک عسگریه و شهرک طرق در جدول (۴) ارائه شده است. [۸].



شکل ۱- محدوده سد طرق و حوضه پایین دست آن

جدول ۳- مناطق خطرپذیر پایین دست سد طرق

ردیف	نام منطقه	شماره مطابق شکل (۱)
-	مخزن سد طرق	۱
۱۵۵	باغ فاضل	۲
۶۰۵	ده غیبی	۳
۱۶۰	اردوگاه شهید هاشمی نژاد	۴
۲۶۵۰	کارخانه پلاستیک سازی	۵
۲۴۲۰	شهرک ابودر	۶
۲۱۲۵	حوزه نظام وظیفه عمومی مشهد	۷
۳۵۹۰	انبارهای نفت	۸
۴۰۹۵	شهرک عسگریه	۹
۳۱۲۵	فرودگاه بین‌المللی مشهد	۱۰
	حمل و نقل	



## ادامه جدول ۳

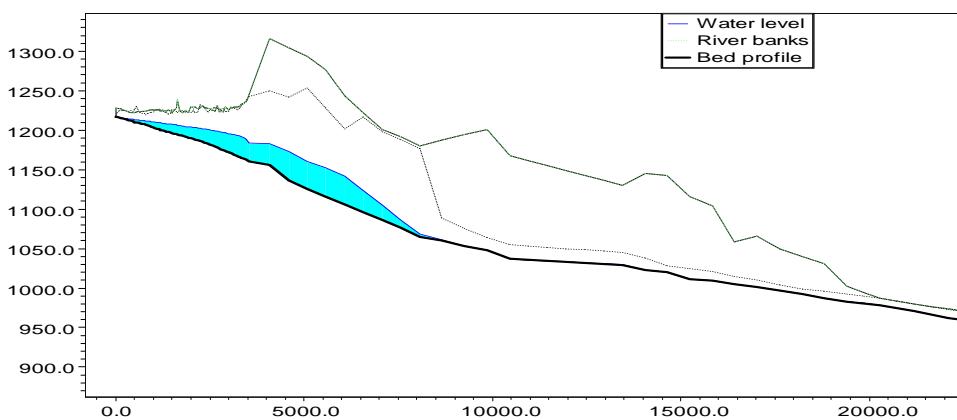
شماره مطابق شکل (۱)	نام منطقه	نوع کاربری	فاصله از سد طرق (متر)	فاصله از محور رودخانه طرق (متر)
۱۱	پایگاه سوم هوایی شهید کاوه	نظامی	۱۹۳۰	۱۱۰۹۵
۱۲	ترمینال کامیون دارها	حمل و نقل	۳۰۰	۹۲۹۵
۱۳	گروه صنعتی برادران منوری	صنعتی	۱۵۵	۹۷۸۴
۱۴	کارخانه قند شیرین	صنعتی	۸۸۰	۱۰۸۸۰
۱۵	مجتمع کشت و صنعت چن چین	صنعتی	۷۴۰	۱۰۹۳۶
۱۶	شهر ک طرق	مسکونی	۷۰۵	۱۲۲۱۰
۱۷	پاسگاه انتظامی	نظامی	۷۰۵	۱۱۳۷۵
۱۸	کاخ ایوان طرق	تفریحی	۲۰۰	۱۱۰۹۵

## جدول ۴- جمعیت مناطق مسکونی پایین دست سد طرق [۸]

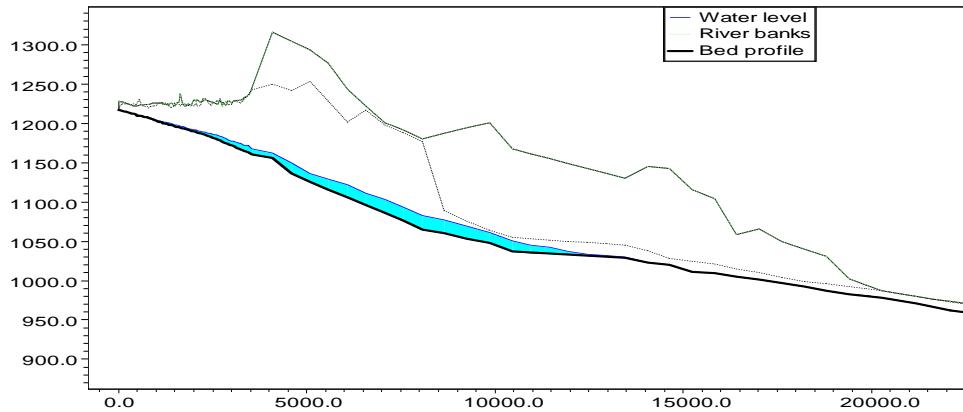
منظمه	مجموعه	حوزه	دهستان	آبادی تحت پوشش	خانوار تحت پوشش
مشهد	طرق	طرق	-	۱	۳۸۱۷
مشهد قلی	عسگریه	عسگریه	میان ولایت	۲۰	۱۸۳۱
		پایین ده	میان ولایت	۱۲	۶۹۹
مشهد	مشهد	ده غرسی	سرجام	۴	۳۳۰

## ۶. بورسی مسئله شکست سد طرق

ابتدا با داشتن نقشه های رقومی منطقه مطالعاتی و استفاده از نرم افزار View ARC، مدل گرافیکی سد و مناطق پایین دست آن تهیه گردید. سپس به منظور انجام محاسبات هیدرولیکی و تعیین پارامترهای زمان، سرعت جریان و عمق آب گرفتگی، داده های مدل مذکور به نرم افزار MIKE-11 انتقال داده شد. به هنگام شکست سد، آب در تراز نرمال مخزن بود و بستر پایین دست خشک فرض شد. شکست سد نیز به طور کامل در نظر گرفته شد. در شکل های (۲) و (۳) پروفیل تغیرات سطح آب در طول رودخانه اصلی در زمان های ۳۰ و ۱۲۰ دقیقه پس از شکست سد ترسیم شده است. همان طور که ملاحظه می شود حجم نسبتاً زیاد آب در مخزن سد پس از شکست آن به سرعت در رودخانه پخش می شود.



شکل ۲- پروفیل سطح آب ۳۰ دقیقه پس از آغاز شکست سد



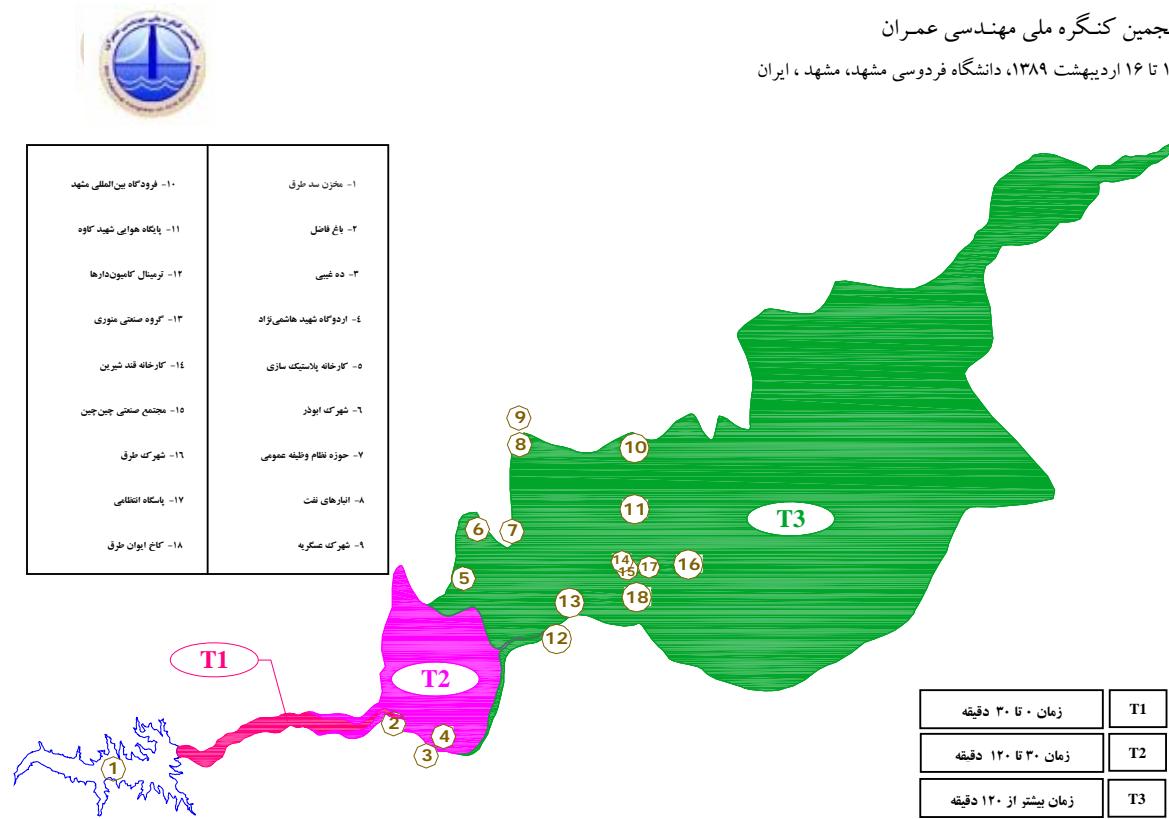
شکل ۳- پروفیل سطح آب ۱۲۰ دقیقه پس از آغاز شکست سد

#### ۷. تبعات ناشی از شکست سد طرق

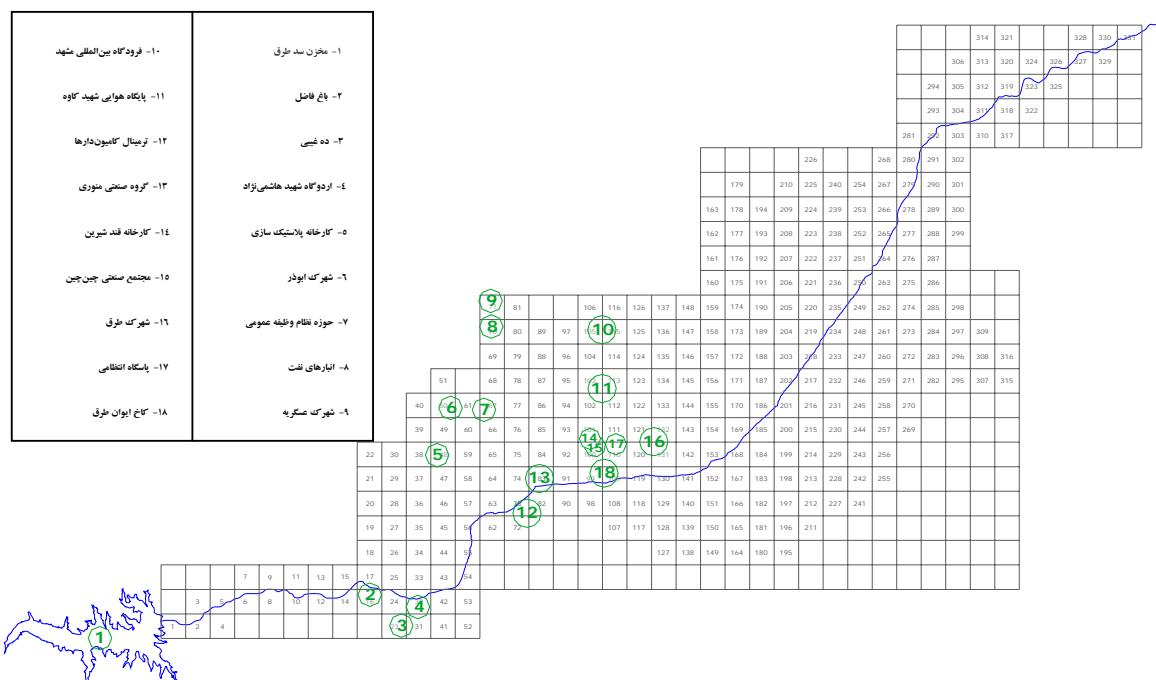
در شکل (۴) پهنه آب گرفتگی پایین دست سد طرق ترسیم شده است. در این شکل با در نظر گرفتن زمان فرار سه منطقه مخاطره T1، T2 و T3 مشخص شده است. این مناطق نشان دهنده چگونگی پخش سیلان در زمانهای ۰ تا ۳۰ دقیقه اول، ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه و بیشتر از ۱۲۰ دقیقه می‌باشد. خوشبختانه مطابق نقشه و عکس‌های هوایی، ناحیه T1 خالی از مناطق مسکونی و شهری است. اما چنانچه افرادی در این ناحیه گرفتار سیل شوند، به علت کم بودن زمان فرار، باید از آمادگی لازم برخوردار بوده و آگاهی کامل از راههای فرار منطقه داشته باشند. ساکنین نواحی T2 دارای زمان فرار بیشتری هستند. لذا ایجاد موانعی برای جلوگیری از آب گرفتگی، نظیر کیسه‌های شنی در این مناطق زمان فرار را افزایش داده و نقش مهمی در کاهش خسارات جانی و تخلیه ساکنین منطقه بازی می‌کند. مهلت فرار و تخلیه کامل منطقه برای مردمی که در ناحیه خطر T3 قرار گرفته‌اند زیادتر است و لذا خسارات احتمالی واردہ به این ناحیه کمتر از ناحیه قبلی است.

با توجه به شکل (۴) مشاهده می‌شود که منطقه زراعی باغ فاضل در انتهای ناحیه T1 واقع شده است. روستای ده غیبی و اردوگاه تفریحی - ورزشی شهید هاشمی نژاد در ناحیه T2 قرار دارند. اما مناطق مسکونی مهم نظیر شهرک‌های طرق، عسگریه و ابوذر، مناطق اقتصادی از قبیل کارخانه پلاستیک سازی، انبارهای نفت، کارخانه قند شیرین، مجتمع کشت و صنعت چین چین، مناطق نظامی از قبیل پایگاه سوم هوایی شهید کاوه و حوزه نظام وظیفه عمومی و نیز فروندگاه بین‌المللی شهر مشهد همه در ناحیه T3 واقع شده‌اند و دارای زمان فرار مناسب برای تخلیه کامل منطقه می‌باشند. به منظور بررسی دقیق‌تر مخاطرات آب گرفتگی، منطقه مورد مطالعه به ۳۳۱ سلوی با

ابعاد ۵۰۰ متر مطابق شکل (۵) تقسیم گردید.



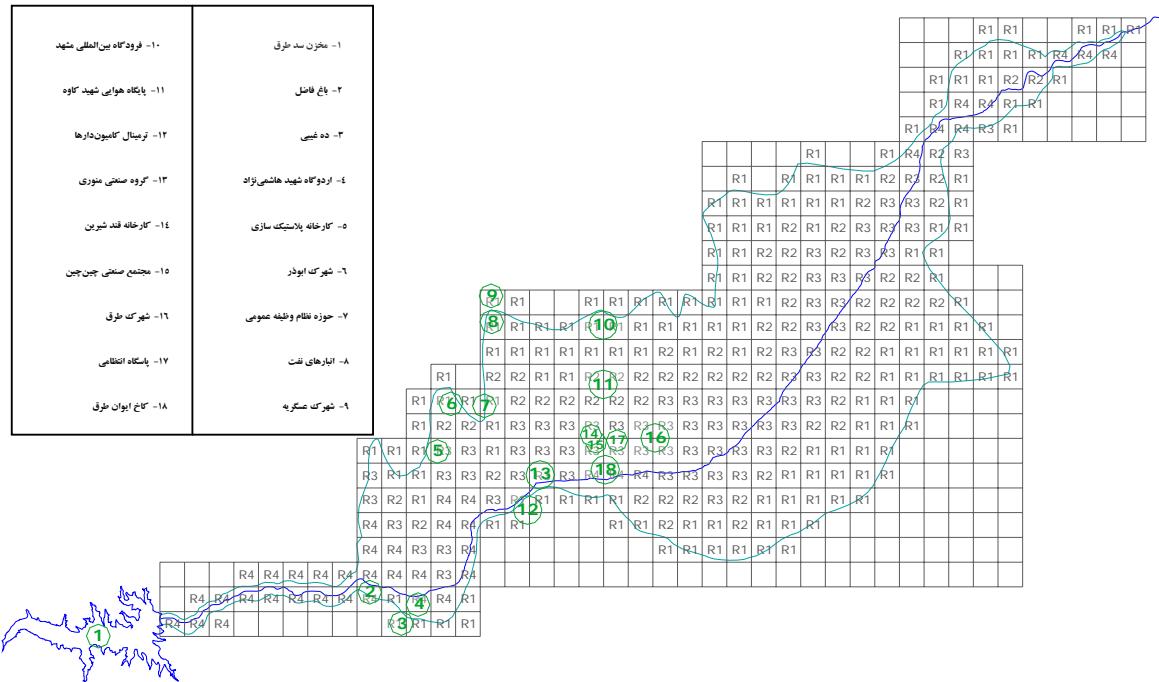
شکل ۴- پهنه آب گرفتگی در پایین دست سد طرق



شکل ۵- شبکه بندی منطقه پایین دست سد طرق با توجه به پهنه آب گرفتگی



بر اساس فرمول (۱)، سرعت جریان و عمق آب گرفتگی هر دو در شاخص خطرپذیری یک منطقه مشارکت دارند و با ترکیب این دو، ماتریس مخاطره تعیین می‌شود. در شکل (۶) نقشه مخاطره پایین دست سد طرق ترسیم شده است. بر اساس این نقشه مناطق با شاخص خطرپذیری زیاد و خیلی زیاد (R3 و R4) بیشتر در بستر و حریم رودخانه اصلی و یا نواحی با شبیب و عمق زیاد واقع شده‌اند. از بررسی دقیق نقشه مخاطره مشاهده می‌شود که باع فاضل، اردوگاه تفریحی-ورزشی شهید هاشمی‌زاده و کاخ ایوان طرق در ناحیه با خطرپذیری خیلی زیاد قرار دارند. مناطق صنعتی نظری کارخانه پلاستیک سازی، گروه صنعتی برادران منوری، کارخانه قند شیرین و مجتمع کشت و صنعت چین‌چین، منطقه مسکونی شهرک طرق و نیز پاسگاه انتظامی مجاور آن در ناحیه با خطرپذیری زیاد قرار دارند. پایگاه سوم هوایی شهید کاوه در محدوده با خطرپذیری متوسط واقع شده است. روستای ده غیبی، شهرک‌های ابوذر و عسگریه، انبار شرکت نفت، حوزه نام وظیفه عمومی، ترمیمال کامیون‌دارها و فرودگاه بین‌المللی مشهد در ناحیه با کمترین مخاطره قرار می‌گیرند.



شکل ۶- نقشه مخاطره پایین دست سد طرق (R<sub>1</sub> کمترین و R<sub>4</sub> بیشترین میزان مخاطره می‌باشد)

## ۸. نتیجه‌گیری

۱. نرم‌افزار MIKE-11 قادر است تا پنهانه آب گرفتگی ناشی از شکست سدهای بتی را به خوبی مدل‌سازی کند.
۲. با استفاده از این نرم‌افزار ملاحظه شد که در صورت شکست سد طرق پس از یکصد و بیست دقیقه مناطق مسکونی، اقتصادی و صنعتی واقع در حوضه باعین دست در معرض خطرات ناشی از سیلاب قرار می‌گیرند.
۳. استفاده از رویکرد ماتریس مخاطره و ایجاد نقشه‌های مخاطره به روشنی که در این تحقیق ارائه شد، ابزار مناسبی برای بررسی اثر تلفیق دو عامل سرعت جریان و عمق آب گرفتگی بوده و می‌تواند کاربرد زیادی در مدیریت بحران ناشی از شکست سد داشته باشد.
۴. از بررسی نقشه مخاطره پایین دست سد طرق مشاهده می‌شود که خوشبختانه شهرک‌های مسکونی ابوذر و عسگریه و فرودگاه بین‌المللی مشهد در ناحیه با کمترین مخاطره قرار می‌گیرند. پایگاه سوم هوایی شهید کاوه در ناحیه با خطرپذیری متوسط واقع شده است. اما مناطق صنعتی و کارخانجات و منطقه مسکونی پرجمعیت شهرک طرق در ناحیه با خطرپذیری زیاد قرار دارند و در صورت بروز حادثه شکست سد طرق، بیشترین مخاطره متوجه این مناطق خواهد بود. بنابراین در نواحی اخیر پیش‌بینی سیستم‌های کاهش خسارت، نظری سیستم هشدار سیل یا ضد سیلاب کردن ساختمان‌ها، تدوین دستورالعمل اقدامات در شرایط اضطراری در سدها، تهیه دستورالعمل



عمومی مواجهه با شرایط اضطراری برای توزیع عمومی و انجام مأمورهای دوره‌ای به منظور حفظ آمادگی لازم برای مواجهه با شرایط بحرانی به تکییک خطرپذیری مناطق ضروری است.

## ۹. مراجع

1. ICOLD, (1998), "Dam Break Flood Analysis, Review and recommendations".
2. Huang, Y., (2008), "Appropriate Modeling For Integrated Flood Assessment", Ph.D. Thesis, Civil Engineering Department, University of Twente, The Netherlands.
3. خدابنی، م.، عطاری، ج. و بنی‌هاشمی، م.ع.، (۱۳۸۸)، "نقش سرعت جریان و زمان فرار در مدیریت بحران سیلاب ناشی از شکست سد (مطالعه موردی سد گلستان ۱)"، مجموعه مقالات هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران، ۲۱-۲۳ اردیبهشت.
4. DHI, (2007), "A Modeling System for Rivers and Channels", MIKE-11 Reference Manual.
5. Dncergok, T., (2007), "The Role of Dam Safety in Dam-Break Induced Flood Management", International Congress River Basin Management, Antalya, Turkey, 22-24 March.
6. Vrouwenvelder A., Van der Veen, A., Stuyt, L.C.P.M and Reinders, J.E.A., (2003), "Methodology for Flood Damage Evaluation", Delft Cluster Seminar: The Role of Flood Impact Assessment in Flood Defense Policies, IHE, Delft, The Netherlands.
7. شرکت مهندسین مشاور توسعه آب، (۱۳۸۳)، "مطالعات کنترل پایداری، رفتارستنجی و مدیریت اینترنتی سدهای بتی شیراز، طرق و کارده-سد طرق، هواشناسی و هیدرولوژی"، جلد دوم، ۲۲۲۵-۲۲۴۲۴۳.
8. شایان، ح.، (۱۳۸۵)، "نظام سطح بنای خدمات رسانی روستایی در شهرستان مشهد"، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۸.



## پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران

۱۳۸۹ تا ۱۶ اردیبهشت

دانشگاه فردوسی مشهد



### بررسی خطرات ناشی از شکست سد طرق

مریم ابارشی، محمد رضا جعفرزاده، سید محمود حسینی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه فردوسی مشهد

دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

[Abareshi.maryam@yahoo.com](mailto:Abareshi.maryam@yahoo.com)

[Jafarzad@um.ac.ir](mailto:Jafarzad@um.ac.ir)

[Shossein@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:Shossein@ferdowsi.um.ac.ir)

شکست سد همواره به عنوان یک حادثه با مخاطرات فوق العاده تلقی می شود. ارزیابی درجه خطرپذیری مناطق پایین دست به پارامترهای متعددی از قبیل زمان فرار، عمق و سرعت جریان بستگی دارد. در این مقاله با استفاده از نرم افزار MIKE ARC View و نرم افزار آب گرفتگی نواحی پایین دست سد مشخص می گردد. آن گاه با شبکه بندی این مناطق، میزان خطرپذیری آنها با توجه به پارامترهای مخاطره تعیین می شود.

کلمات کلیدی: شکست سد، عمق آب گرفتگی، سرعت جریان، زمان فرار، ماتریس مخاطره.