نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست
Amirkabir Jounrnal of Science and Research Civil and Enviromental Engineering (AJSR-CEE)

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره ۴۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵، صفحه ۳۹۵ تا ۴۰۵
Vol. 48, No. 4, Winter 2016, pp. 395-405

ارزیابی ریسک ایمنی سدها (مطالعه موردی: ریسک سیلاب در سد گلستان)

منا محمودیان شوشتری[۱]، بهرام ملک‌محمدی[۲*]، محمدعلی بنی‌هاشمی[۳]

۱- کارشناس ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۲- دانشیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۳- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

(دریافت: ۱۳۹۲/۳/۱۶، پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۲)

چکیده

ایمنی سد در صنعت سدسازی از مهم‌ترین مسائل در هنگام طراحی، ساخت و بهره‌برداری به شمار می‌رود. امروزه استفاده از فنون ارزیابی کمی ریسک در مدیریت ایمنی سدها (به ویژه در کشورهای توسعه‌یافته)، به سرعت در حال گسترش است. اما این رویکرد جدید به مهندسی سد و ایمنی در ایران همچنان ناشناخته بوده و تحقیقات محدودی در این زمینه انجام شده است. در این مقاله، در ابتدا روش‌های ارزیابی ریسک در ایمنی سدها مورد بررسی قرار گرفته و روش ارزیابی بر اساس دستورالعمل کمیته ملی سدهای بزرگ استرالیا (ANCOLD) تشریح شده است. در ادامه، ایمنی سد گلستان به عنوان مطالعه موردی بررسی شده و با توجه به روش پیشنهادی، ارزیابی ریسک شکست این سد تحت خطر وقوع سیل در بالادست آن انجام گرفته است. احتمال شکست سد گلستان با استفاده از روش ارزیابی درخت رویداد (ETA) محاسبه شده و تعداد تلفات جانی به علت سیل ناشی از شکست سد نیز از طریق روش رایج در اداره اصلاح اراضی آمریکا (USBR) موسوم به DSO-۹۹-۰۶ تخمین زده شده است. در آخر از طریق مقدار ریسک بدست آمده و مقایسه آن با معیارهای مختلف برای سطح ریسک قابل قبول، این نتیجه‌گیری حاصل شد که مقدار ریسک شکست سد گلستان بر اثر وقوع سیل در بالادست آن، غیرقابل قبول بوده و اقدام‌ها برای کاهش ریسک فوری ضروری است.

کلمات‌کلیدی:

ارزیابی ریسک، ایمنی، سد گلستان، ارزیابی درخت رویداد، خطر سیلاب

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:
Mahmoudian-Shoushtari, M., Malekmohammadi, B. and Banihashemi, M. A., 2016. "Dam Safety Risk Assessment (Case Study: Flood Risk for Golestan Dam)". *Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48(4), pp. 395-405.
DOI: 10.22060/ceej.2015.505
URL: http://ceej.aut.ac.ir/article_505.html

نویسنده مسئول و عهده‌دار مکاتبات: E-mail: malekb@ut.ac.ir

۱- مقدمه

ایمنی سد در صنعت سدسازی از مهم‌ترین مسائل در هنگام طراحی، ساخت و بهره‌برداری به شمار می‌رود. هرگاه سخن از ایمنی سد به میان می‌آید، مستقیماً مسئله شکست سد مطرح خواهد شد. زیرا شکست سد اصلی‌ترین و مهم‌ترین پیامد وجود عوامل تهدیدکننده ایمنی سد بوده و دورنمای شکست یک سد، یک موضوع نگران‌کننده در کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ[۱] (ICOLD) است. علم مهندسی و تجربه در سدسازی نشان می‌دهد که به طور متوسط، سالانه کمتر از یک سد از میان ده‌ها هزار سد بزرگ دنیا شکسته می‌شود [۱]. از آن‌جایی که پدیده شکست سد، ریسک و خطرپذیری را به همراه خواهد داشت، بنابراین می‌توان از ارزیابی ریسک به عنوان ابزاری کارآمد و نو در عرصه مدیریت سدها به منظور کاهش خسارت‌ها استفاده نمود. استفاده از فن ارزیابی ریسک در کنار مطالعات شکست سد و تلفیق آن با مدیریت بحران را می‌توان رویکردی نوین در این عرصه برشمرد که مورد توجه بسیاری از محققین نیز قرار گرفته است.

فل[۲] و همکارانش [۲] روش‌های موجود برای تخمین احتمال شکست سدها را به منظور استفاده در ارزیابی کمی ریسک برای تمامی حالت‌های شکست مورد بررسی قرار داده‌اند. باولس[۳] [۳] در مقاله‌ای به بحث درباره مفهوم ریسک قابل تحمل در ایمنی سد اشاره کرده و لی[۴] [۴] به موضوع عدم قطعیت در ارزیابی ریسک ایمنی سدها پرداخته است. هیل[۵] و همکارانش [۵] نیز روش ارزیابی درخت رویداد[۶] (ETA) را ابزار مناسبی برای ارزیابی ریسک ایمنی سدها دانسته‌اند. چاهن[۷] و باولس [۶] با بیان یک مثال کاربردی، ارزیابی عدم قطعیت را در محاسبات ریسک برای یک سد خاکی بزرگ وارد کرده‌اند. دیسیلوا[۸] [۷] در تحقیق خود چهارچوبی را برای تخمین احتمال کلی شکست سد برای سدهای خاکی سریلانکا ارائه نموده است. شیرواستاوا[۹] و همکارانش [۸] نیز روش ارزیابی درخت رویداد را مناسب‌ترین روش برای تحلیل ریسک‌های مؤثر بر ایمنی سدها می‌دانند. گودرزی و همکارانش [۹] به کاربرد تحلیل ریسک و عدم قطعیت در پدیده روگذری آب از سد پرداخته‌اند. آن‌ها احتمال روگذری آب از سد میجران را با استفاده از دو روش ارزیابی عدم قطعیت (شبیه‌سازی مونت‌کارلو[۱۰] و نمونه‌گیری هایپرکیوب[۱۱]) مورد ارزیابی قرار داده‌اند. اغلب تحقیقات در داخل کشور در زمینه شکست سد، غالباً به مدلسازی و شبیه‌سازی هیدرولیکی پدیده شکست و یا روندیابی سیل ناشی از آن و در چند مورد نیز به تهیه برنامه واکنش فوری برای اقدامات بعد از شکست سد خلاصه شده‌اند. برای نمونه، موحدی‌نیا [۳] به تهیه برنامه واکنش فوری برای کاهش خسارات سیل ناشی از شکست سد گلستان پرداخته است. خدایی و همکارانش [۱۰] نقش سرعت جریان و زمان فرار را در مدیریت بحران سیل ناشی از شکست سد گلستان بررسی کرده‌اند. قنادکار [۱۱] مدلسازی شکست تدریجی سد خاکی در اثر روگذری آب از بدنه سد را انجام داده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که در تحقیقات داخلی انجام‌شده، به ارزیابی ریسک ایمنی سدها توجه کمتری شده است.

در این مقاله، پدیده شکست سد با نگاهی نوین از نظر ایمنی و با رویکرد ارزیابی کمی ریسک مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس، ضمن معرفی و تشریح فرآیند ارزیابی ریسک ایمنی سدها بر مبنای دستورالعمل کمیته ملی سدهای بزرگ استرالیا[۱۲] (ANCOLD)، ارزیابی ریسک شکست سد گلستان در اثر خطر وقوع سیل در بالادست آن به عنوان مورد مطالعاتی انجام شده و نتایج آن نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- روش تحقیق

در حقیقت، ارزیابی ریسک یک فرآیند تصمیم‌گیری بوده و هدف اصلی آن، کمک به مدیریت ریسک شامل اقدامات کنترل آن است. ارزیابی ریسک از دو بخش ارزیابی ریسک و سنجش ریسک تشکیل شده است. این ابزار نتایج فازهای ارزیابی ریسک و سنجش ریسک را ترکیب می‌کند و توصیه‌های لازم را برای کاهش آن بیان می‌کند. ارزیابی ریسک نیز خود به گام‌هایی تقسیم می‌شود. در این تحقیق، از روش ارزیابی کمی ریسک برای تخمین احتمال رخداد وقایع و پیامدهای آن‌ها استفاده شده است. مراحل انجام ارزیابی ریسک بر طبق دستورالعمل کمیته ANCOLD، برای ارزیابی ریسک ایمنی سدها مطابق با نمودار نشان داده شده در شکل (۱) است. مطابق با این نمودار، گام‌های ارزیابی ریسک ایمنی سدها در بخش (۲-۱) مطرح شده است [۱۲]:

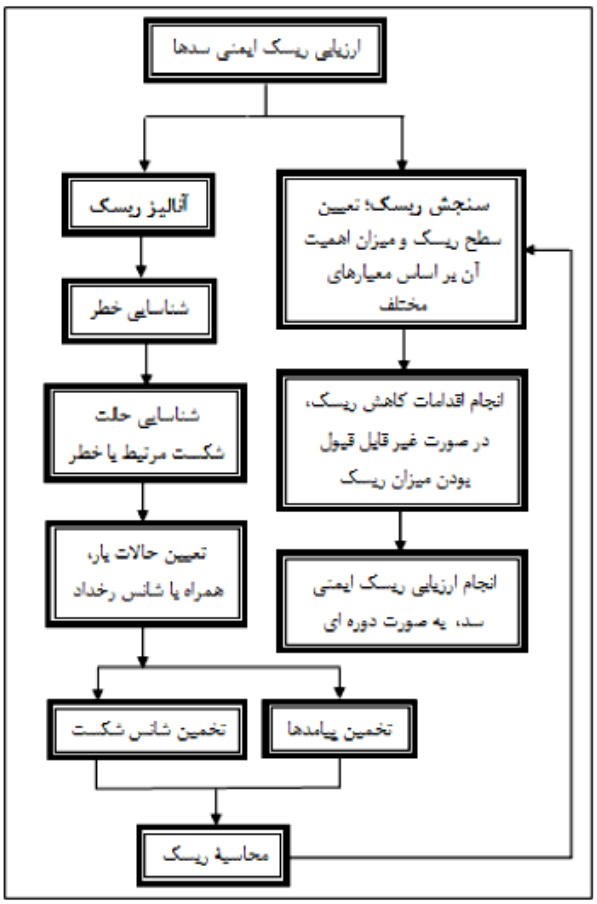
۲- ۱- آنالیز ریسک

گام‌هایی که در مرحله ارزیابی ریسک باید طی شوند، به شرح زیر هستند:

گام (۱): شناسایی خطرات. در این مرحله تمامی خطراتی که احتمال وقوع آن‌ها وجود دارد، مشخص شده و از خطراتی که یقیناً دارای ریسک کم هستند، صرف‌نظر می‌شود.

گام (۲): ارزیابی حالت‌های شکست. یک حالت شکست شامل سری وقایعی است که به عنوان پاسخ سیستم تلقی می‌شوند. یک حالت شکست، از یک واقعه اولیه به راه افتاده و می‌تواند منجر به شکست سد شود. نحوه شناسایی حالت‌های شکست سیستم می‌تواند مختلف باشد. اما معمولاً با شناخت کلی از نحوه عملکرد سد و نیز فرآیند شکست می‌توان

[1] International Committee on Large Dams
[2] Fell
[3] Bowles
[4] Lee
[5] Hill
[6] Event Tree Analysis
[7] Chauhan
[8] De Silva
[9] Srivastava
[10] Monte Carlo Simulation
[11] Hypercube Sampling
[12] Australian National Committee on Large Dams



شکل (۱): نمودار روش ارزیابی ریسک ایمنی سدها

حالت‌های شکست را تعریف و تعیین نمود.

گام (۳): تعیین حالت‌های بار همراه با شانس رخداد آن‌ها. این مرحله، خود شامل دو بخش می‌شود:

الف) استفاده از منحنی‌های «بزرگی واقعه در مقابل احتمال/فرکانس» برای تعیین بارگذاری خطر (در این مقاله بار سیل به عنوان بار وارده به سد در نظر گرفته شده است).

ب) تقسیم‌بندی بازه بارگذاری به بازه‌های بار کوچکتر (حالت‌های بار) که برای ارزیابی ریسک مورد نیاز است.

گام (٤): تخمین شانس شکست. این گام، خود دارای سه مرحله به شرح زیر است:

الف) تعریف فرآیند شکست. در این بخش فرآیند شکست به وسیله یک طرح منطقی مانند درخت رویداد یا درخت خطا نشان داده می‌شود. تعریف و ترسیم فرآیند شکست به تخصیص احتمال‌های شرطی تخمینی برای فرآیند شکست کمک می‌کند. در این تحقیق، از روش ارزیابی درخت رویداد (ETA) برای تعریف فرآیند شکست و ترسیم آن استفاده می‌شود.

ب) تخمین شانس یا احتمال شکست سد و بارهای وارده. تخصیص احتمال به عناصر فرآیند شکست (شاخه‌های درخت) به منظور محاسبه احتمال شکست تحت یک بارگذاری خاص (در این مقاله بارگذاری خاص، وقوع سیل در بالادست سد است).

ج) تعیین احتمال کلی سالانه شکست. این کار از طریق ترکیب احتمال تخمین زده شده برای حالت‌های بار یا واقعه آغازین با احتمال‌های شرطی شکست (احتمال‌های در شاخه‌های درخت) انجام می‌شود.

گام (٥): تخمین پیامدها. تحلیل و سنجش پیامدهای ناشی از شکست سد، بخش مهم و جدایی‌ناپذیری از مطالعات ایمنی سد و تحلیل ریسک است. شکست یک سد می‌تواند عواقب و پیامدهای مختلف و شدیدی را شامل پیامدهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و زیست‌محیطی داشته باشد. اما می‌توان گفت که مهم‌ترین و زیان‌بارترین پیامد شکست سد، تلفات انسانی در پایین‌دست آن است. تلفات جانی بر اثر شکست سد غالباً به علت سیل ناشی از شکست سد و نبود سیستم هشدار است.

میزان تلفات جانی به علت شکست سد، به سه عامل اساسی زیر بستگی دارد [۱۳]:

– جمعیت مردمی که در پایین‌دست سد و در منطقه تحت تأثیر سیل ناشی از شکست احتمالی سد زندگی می‌کنند.

– میزان هشدارها در ارتباط با زمان مورد نیاز برای رفتن به یک محل ایمن

– شدت سیلی که مردم با آن مواجه خواهند بود.

اداره ایمنی سد آمریکا وابسته به اداره اصلاح اراضی آمریکا (USBR)[1]، روشی را برای تخمین تلفات جانی ناشی از شکست سد (موسوم به DSO–۹۹–۰۶) تهیه کرده و آموزش داده است. این روش، اساساً از داده‌های جمع‌آوری‌شده از شکست سدهایی که در امریکا رخ داده‌اند، بدست آمده و دارای هفت مرحله به ترتیب زیر است [۱۴]:

مرحله (۱): تعیین سناریوی شکست سد برای بررسی و سنجش

مرحله (۲): تعیین موقعیت زمانی وقوع شکست. زمان وقوع شکست (مانند روز یا شب و یا فصول سال) می‌تواند هم بر زمان آغاز هشدارها و هم بر تعداد مردم در معرض ریسک شکست تأثیر بگذارد.

مرحله (۳): تعیین زمان آغاز هشدار وقوع شکست. زمان آغاز هشدارها به معنی زمانی است که مسئولین ایمنی، اطلاع‌رسانی درباره خطر قریب‌الوقوع شکست سد را به مردم آغاز می‌کنند. فرضیات مرتبط با زمان آغاز هشدار شکست برای یک سد خاص را می‌توان با استفاده از جدول راهنمای تخمین زمان آغاز هشدارهای شکست سدهای خاکی در روش DSO–۹۹–۰۶ بدست آورد [۱۴].

مرحله (٤): تعیین منطقه زیر سیل ناشی از شکست سد. این کار را می‌توان از طریق مدلسازی هیدرولیکی شکست سد انجام داد.

مرحله (٥): تخمین جمعیت در معرض ریسک[2] (PAR) برای سناریوی تعیین‌شده و نیز برای موقعیت زمانی وقوع شکست. جمعیت در معرض ریسک عبارت است از تعداد مردمی که در منطقه تحت خطر سیل ناشی از شکست سد بدون وجود هیچ‌گونه هشداری زندگی می‌کنند [۱۳].

[1] United States Bureau of Reclamation
[2] Population at Risk

مرحله (٦): تعیین نرخ مرگ‌ومیر برای تخمین تلفات جانی. نرخ مرگ‌ومیر بر اساس شدت سیل، میزان هشدارها و نیز میزان درک از شدت سیل بیان می‌شود. میزان هشدارها با توجه به زمان آغاز هشدارها و فاصله منطقه مورد نظر از سد، به سه دسته بدون هشدار، هشدار کم و هشدار کافی تقسیم شده و همچنین درک شدت سیل به دو نوع درک مبهم و درک دقیق تقسیم می‌شود. درک مبهم به این معنی است که مسئولین اعلام هشدار، هنوز متوجه شکست سد نشده‌اند و یا این‌که از بزرگی واقعی سیل آگاه نشده‌اند. درک دقیق به معنی درک درست از بزرگی سیل توسط مسئولین اعلام هشدار است. همچنین سیل‌ها بر اساس شدتی که به یک منطقه وارد می‌شوند، خود به سه دسته شدت کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌شوند. این دسته‌بندی بر اساس عمق آب در پای ساختمان‌ها و خسارات محتمل وارده است. با استفاده از روندیابی سیلابی که در اثر شکست سد جاری می‌شود، می‌توان عمق آب را در منطقه مورد نظر پیش‌بینی نمود. در روش DSO-۰۶-۹۹، جدولی با عنوان «نرخ مرگ‌ومیر توصیه‌شده برای تخمین تلفات جانی به علت شکست سد» برای هر نوع ترکیبی از شدت سیل، میزان هشدار و میزان درک شدت سیل ارائه شده است. این جدول با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از چهل سیل رخ‌داده که عمدتاً به علت شکست سد بوده‌اند، تهیه شده است [۱۴].

مرحله (۷): تعیین تلفات جانی. حاصلضرب نرخ مرگ‌ومیر در تعداد مردم تحت ریسک، میزان تلفات جانی را نتیجه خواهد داد.

گام (٦): تخمین ریسک. ریسک برابر با حاصلضرب خطر در پیامد است. در تعریف جزئی‌تر که توسط USBR بیان شده، معادله ریسک به صورت زیر است [۱۵]:

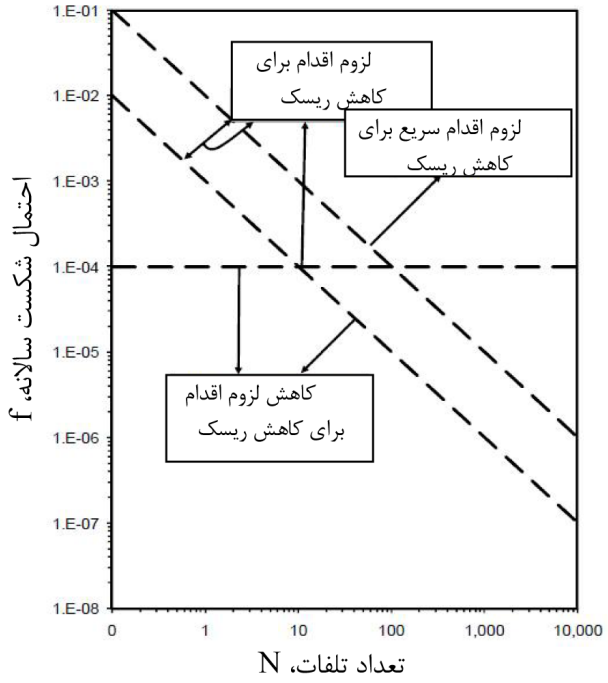
$$\text{Risk}= P\left(\text{loading}\right)*P\left(\text{fail}|\text{loading}\right)*\text{Consequences} \quad (۱)$$

که در آن، $P\left(\text{loading}\right)$ احتمال یک بارگذاری (حالت بار) مشخص، $P\left(\text{fail}|\text{loading}\right)$ احتمال شکست تحت بارگذاری مشخص و Consequences پیامدهای متناظر با شکست تعریف می‌شوند. هنگامی که پیامد بر اساس تلفات انسانی بیان شود، از این رابطه می‌توان میزان تلفات جانی سالانه[1] را بدست آورد.

۲- ۲- سنجش ریسک

در نهایت با توجه به مقدار ریسک بدست آمده در مرحله اول، می‌توان به نتیجه‌گیری درباره اهمیت ریسک بالقوه پرداخت؛ به طوری که آن را در دسته «ریسک قابل قبول»، «ریسک قابل تحمل» و یا «ریسک غیرقابل قبول» قرار داده و در صورت لزوم به ارائه راه‌کارهای کاهش ریسک پرداخت. در این تحقیق، تشخیص سطح ریسک بر اساس ضوابط و معیارهای مختلف مانند مثلث مدیریت ایمنی و بهداشت[2] (HSE) کشور انگلستان و ضوابط USBR خواهد بود.

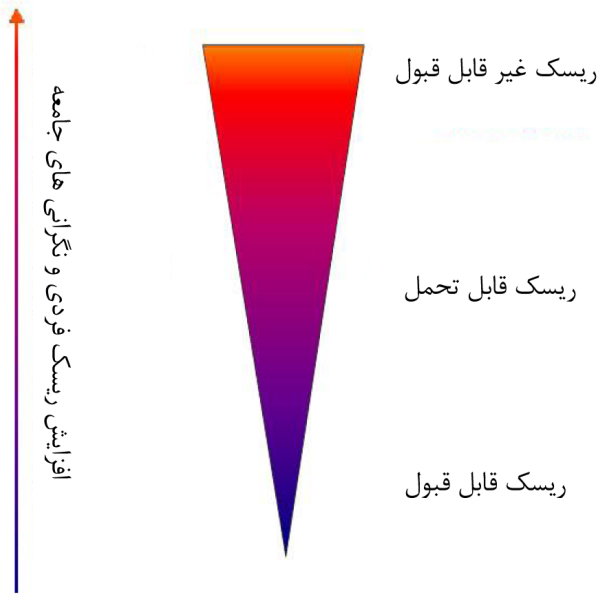
در USBR یک نمودار موسوم به نمودار f-N (احتمال شکست



شکل (۲): معیار سطح ریسک درUSBR [۱٦]

سالانه بر حسب تعداد تلفات) برای تشخیص سطح ریسک وجود دارد (شکل (۲)). با توجه به محل قرار گرفتن نقطه f-N که از محاسبات ریسک بدست آمده، می‌توان درباره اهمیت ریسک قضاوت نمود [۱۶].

مدیریت ایمنی و بهداشت انگلیس (HSE)، مثلث معکوس HSE را برای تعریف سطح ریسک قابل تحمل ارائه کرده است. شکل مثلث، مقدار توجه و تمرکز منابع را در یک موقعیت خاص نشان می‌دهد؛ به طوری که دقت بیشتر و تمرکز منابع به موقعیتی است که در آن، ریسک‌ها



شکل (۳): حدود ریسک در HSE برای ریسک‌های اجتماعی [۱٦]

[1] Annualized Life Loss
[2] Health and Safety Executive

غیرقابل قبول هستند (شکل (۳)). HSE در مورد ریسک‌های اجتماعی، ریسک حادثه‌ای که سبب مرگ پنجاه نفر و یا بیشتر در یک واقعه شود را غیرقابل قبول می‌داند و این در صورتی است که احتمال شکست سالانه کلی آن یک در ۵۰۰۰ تخمین زده شود [۱۶].

۳- مطالعه موردی (سد گلستان)

سد گلستان (گلستان ۱) در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهرستان گنبد کاووس بر روی رودخانه گرگانرود بنا شده است (شکل (۴)). این سد به منظور توسعه و بهبود اراضی کشاورزی ساحل راست رودخانه گرگانرود، کمک به بهبود اراضی شبکه آبیاری سد وشمگیر و مهار سیلاب‌های مخرب سالانه ساخته شد [۱۱]. مشخصات سد در جدول (۱) ارائه شده و مساحت حوضه آبریز سد ۴۴۵۱ کیلومتر مربع است که علاوه بر آب رودخانه گرگانرود، آب رودخانه‌های دوغ و اوغان نیز به این مخزن تخلیه می‌شود. سرریز سد از نوع آزاد بتنی است که با طول ۱۳۰ متر در تکیه‌گاه سمت چپ سد واقع شده است. تراز تاج سرریز ۶۲ متر از سطح دریا، دبی طراحی سرریز ۱۵۵۰ مترمکعب بر ثانیه و ارتفاع آب روی سرریز در هنگام تخلیه بیشینه سیلاب محتمل[1] (PMF) برابر با ۳/۳۵ متر است. آب عبوری از سرریز به رودخانه اوغان وارد و از آن‌جا به رودخانه اصلی (گرگانرود) هدایت می‌شود [۱۷].

٤- تحلیل نتایج

تحلیل ریسک ایمنی سد گلستان با استفاده از روش تحقیق ارائه‌شده انجام و مقدار ریسک شکست تحت خطر شناسایی و محاسبه می‌شود. در مرحله سنجش ریسک به بررسی ریسک بالقوه و اظهارنظر در مورد اهمیت آن با توجه به معیارهای مختلف پرداخته شده است.

با توجه به مشخصات هیدرولوژیکی و فنی سد، شرایط آب‌وهوایی

شکل (٤): موقعیت سد گلستان

جدول (۱): مشخصات سد گلستان [۱۷]

نوع سد	خاکی همگن
ارتفاع سد از پی	۲۵ متر
تراز تاج سد	۶۶ متر
تراز نرمال	۶۲ متر
تراز سرریز	۶۲ متر
تراز سد در سیلاب طراحی	۶۵ متر
ذخیره آب مخزن متناظر با تراز سد	۸۶ متر
ذخیره آب مخزن متناظر با سیلاب طراحی	۱۳۵ متر
بیشینه ظرفیت سرریز	۱۵۵۰ متر مکعب بر ثانیه
پیک سیلاب (PMF) ورودی به مخزن	۲۳۸۹ متر مکعب بر ثانیه
پیک سیلاب ده‌هزار ساله ورودی	۱۷۰۳ متر مکعب بر ثانیه
پیک سیلاب پنجاه‌هزار ساله ورودی	۲۴۹۰ متر مکعب بر ثانیه
پیک سیلاب یکصد هزار ساله ورودی	۳۰۲۷ متر مکعب بر ثانیه

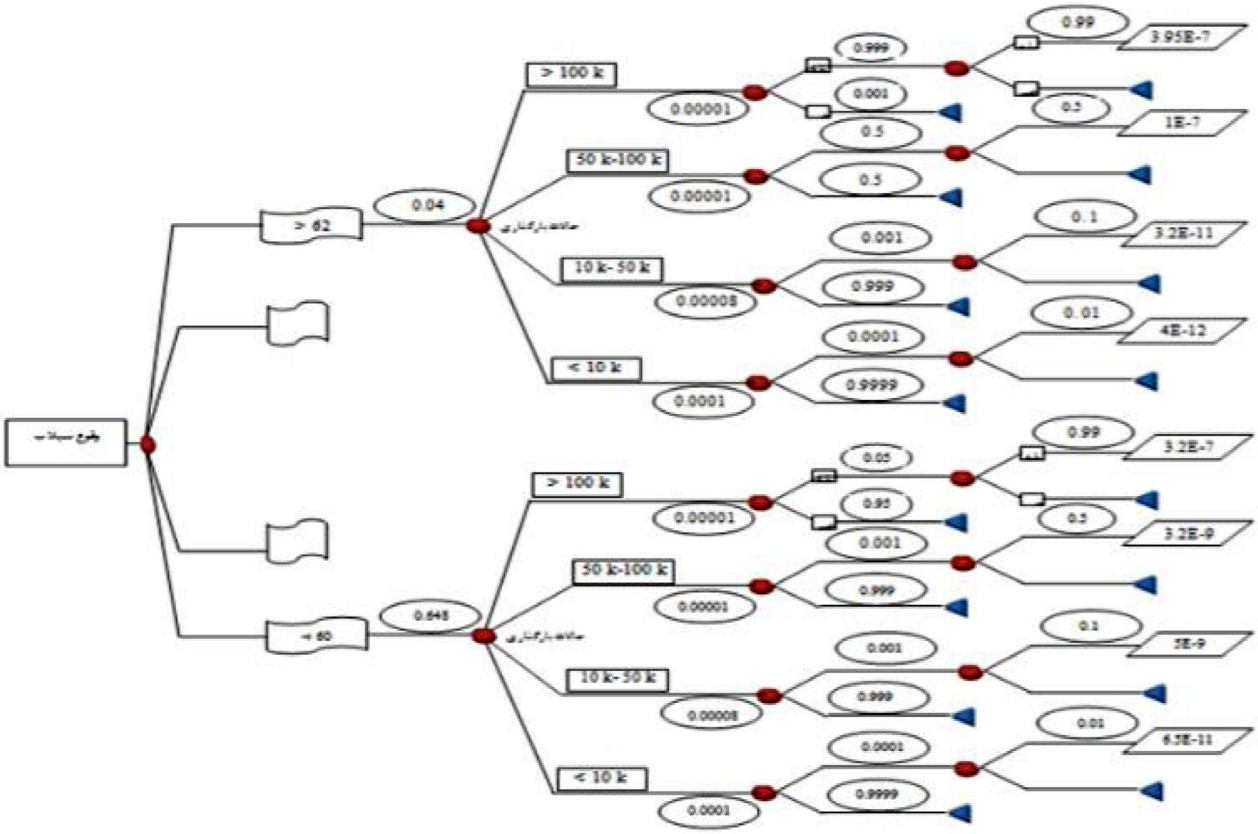
منطقه و سابقه وقوع سیلاب‌های مکرر و بزرگ در بالادست سد، وقوع سیل‌های بزرگ مهم‌ترین عامل تهدیدکننده ایمنی سد گلستان هستند. بنابراین در این تحقیق، خطر وقوع سیل در بالادست سد به عنوان یک خطر بالقوه مهم در نظر گرفته شده، مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته و ریسک آن محاسبه شده است.

در مرحله شناسایی حالت شکست، «روگذری از بدنه سد» به عنوان حالت شکست بالقوه ناشی از وقوع سیل در بالادست سد برای انجام ارزیابی ریسک انتخاب شده است. با توجه به این‌که خطر شناسایی‌شده برای سد گلستان خطر وقوع سیل در بالادست است، بنابراین سیلاب بالادست به عنوان بار وارده به سد در نظر گرفته شده، شانس رخداد آن محاسبه شده و همچنین منحنی «بزرگی واقعه–احتمال وقوع سالانه[2] (AEP)» ترسیم می‌گردد. به این منظور، لازم است تا دبی‌های با دوره بازگشت مختلف به عنوان بار وارد به سیستم در نظر گرفته شده و اثر آن بر روی سیستم ارزیابی شود.

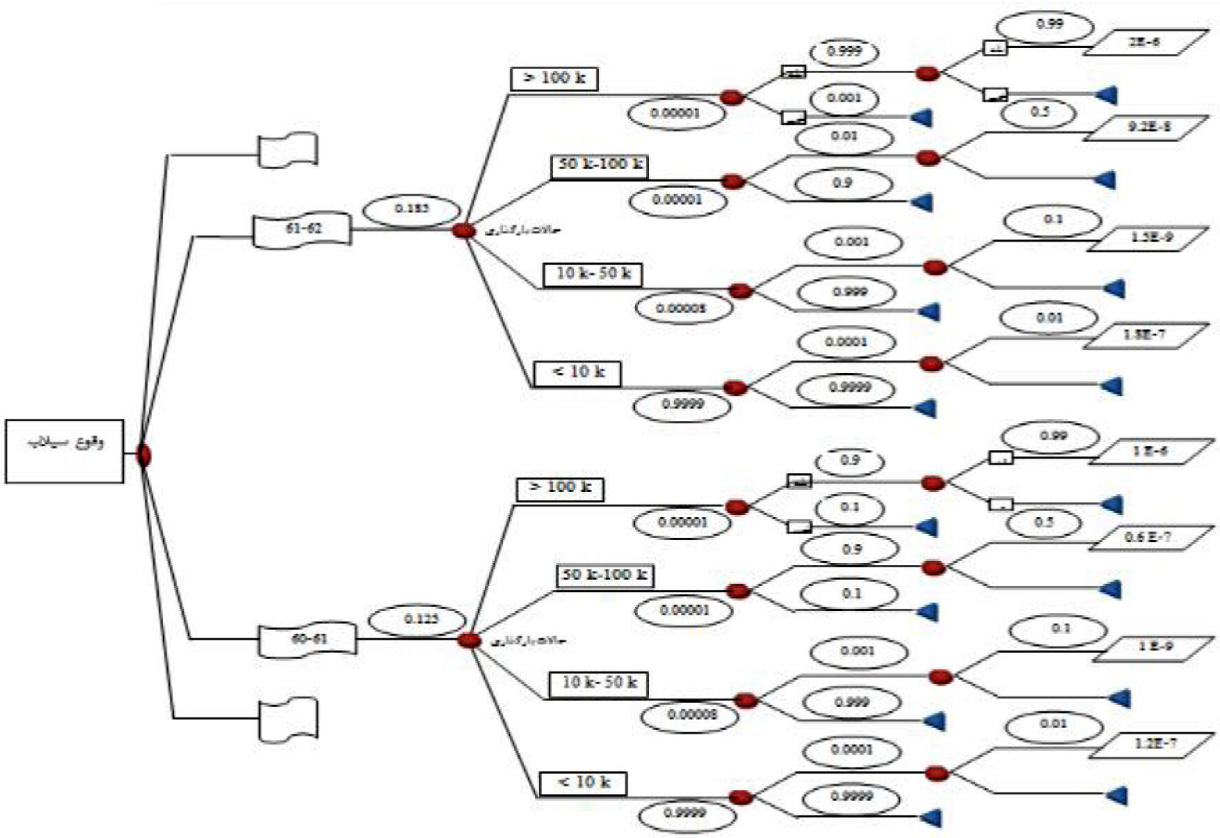
با توجه به این که شکست سد در اثر وقوع سیلاب در بالادست آن مورد نظر است، بنابراین فرآیند شکست به این صورت خواهد بود که تحت یک تراز اولیه سطح آب مخزن مفروض، سیلاب‌هایی با دوره بازگشت‌های مشخص وارد مخزن می‌شوند. بر اثر ورود یک سیلاب مشخص به مخزن، تراز سطح آب در مخزن افزایش می‌یابد. در صورتی که تراز ثانویه سطح آب مخزن از تراز تاج سد (که برابر با ۶۵ متر است) بیشتر باشد، بنابراین آب از بدنه سد عبور خواهدکرد. وقوع روگذری از بدنه سد می‌تواند منجر به شکست سد شود. در شکل‌های (۵) و (۶) درخت

[1] Probable Maximum Flood

[2] Annual Exceedance Probability



شکل (۵): درخت رویداد مربوط به تراز اولیه سطح آب بزرگتر از ۶۲ و تراز اولیه کوچکتر از ۶۰ متر



شکل (۶): درخت رویداد مربوط به تراز اولیه سطح ۶۱-۶۰ متر و تراز اولیه ۶۲-۶۱ متر

رویداد مربوط به ارزیابی ریسک شکست سد گلستان با تراز آب در سطوح مختلف ترسیم شده است.

برای تخصیص احتمال به شاخه‌های درخت (که بیانگر احتمال وقوع رویداد در آن شاخه است)، در ابتدا با توجه به آمار تراز روزانه سطح آب مخزن، احتمال وقوع یک تراز مشخص تعیین شده است. احتمال وقوع هر سیلاب در درخت رویداد نیز برابر است با احتمال وقوع سالانه آن سیلاب که در واقع همان معکوس دوره بازگشت است. با در نظر گرفتن یک تراز اولیه مشخص برای سطح آب مخزن و وقوع یک سیلاب با دوره بازگشت معین و انجام روندیابی سیل در مخزن، می‌توان تراز ثانویه سطح آب در مخزن را بدست آورد. با کمک تراز ثانویه می‌توان احتمال وقوع روگذری و به دنبال آن احتمال شکست را تخمین زد. جدول (۲) احتمال تراز اولیه سطح آب مخزن را نمایش می‌دهد و اطلاعات آن از آمار روزانه تراز سطح آب مخزن سد گلستان بدست آمده است. تراز ثانویه سطح آب مخزن در اثر سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف (که با کمک روندیابی سیل درون مخزن بدست آمده‌اند)، در جدول (۳) نشان داده شده است.

به منظور انجام روندیابی سیلاب، از رابطه پیوستگی زیر استفاده شده است:

$$I - O = \frac{dV}{dt} \qquad (۲)$$

که در آن، I دبی ورودی به مخزن، O دبی خروجی از مخزن، V حجم مخزن و t زمان هستند. به منظور حل معادله فوق، از روش تفاضل محدود استفاده شده است [۱۷].

با توجه به جدول (۳) و قضاوت مهندسی، می‌توان احتمال روگذری

جدول (۲): آمار مربوط به تراز متوسط مخزن سد گلستان

تراز متوسط مخزن (متر)	احتمال وقوع
>۶۲	۰/۰۴
۶۱–۶۲	۰/۱۸۵
۶۰–۶۱	۰/۱۲۵
<۶۰	۰/۶۵

جدول (۳): نتایج روندیابی سیل در مخزن (ترازسطح آب بعد از وقوع سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف)

تراز مخزن قبل از وقوع سیلاب (متر)	تراز مخزن در اثر سیلاب با دوره بازگشت‌های معین (متر)		
	۱۰ k*	۵۰ k	۱۰۰ k
۶۲	۶۴/۹	۶۵/۷	۶۶/۲۵
۶۱	۶۴/۷۳	۶۵/۵	۶۶/۱۱
۶۰	۶۴/۵۶	۶۵/۴	۶۶

k^* معادل ۱۰۰۰ است.

جدول (٤): اعداد متناظر با هر متغیر زبانی برای برآورد احتمال پاسخ‌های سد در USBR [۱۸]

متغیر زبانی	احتمال متناظر
واقعاً قطعی	۰/۹۹۹
خیلی محتمل	۰/۹۹
محتمل	۰/۹
خنثی	۰/۵
نامحتمل	۰/۱
خیلی نامحتمل	۰/۰۱
واقعاً غیرممکن	۰/۰۰۱

و پس از آن احتمال شکست یا عدم شکست سد را در اثر وقوع هر سیلاب تحت هر تراز اولیه سطح آب مخزن تخمین زد. قابل ذکر است که برای تخصیص احتمال کمی به وقوع یا عدم وقوع روگذری و نیز شکست و یا عدم شکست سد در هر شاخه از جدول (۴) استفاده شده است. احتمال‌های شکست سد در شکل‌های (۱) و (۲) بر اساس مجموع عوامل (تراز اولیه، بزرگی سیلاب و تراز ثانویه) و به استناد مقادیر جدول (۴) و قضاوت مهندسی تخمین زده شده است. حاصلضرب احتمال‌های مربوط به شاخه‌های مسیری که به شکست منجر شده، برابر است با احتمال سالانه شکست تحت شرایط تراز اولیه و بار سیلاب در آن مسیر (مقادیر درون متوازی‌الاضلاع در شکل‌های (۵) و (۶)).

مجموع احتمال سالانه تمام مسیرهای منتهی به شکست، احتمال سالانه کلی شکست سد در اثر وقوع سیلاب را نتیجه می‌دهد. در نتیجه احتمال سالانه کلی شکست سد گلستان بر اثر وقوع سیل در بالادست سد برابر با $۴/۹۷\times۱۰^{-۶}$ خواهد بود.

به منظور تخمین تلفات جانی به علت سیل ناشی از شکست سد گلستان، بر مبنای روش DSO-۹۹-۰۶، در ابتدا سناریوی شکست سد تعیین شده که همان وقوع سیل در بالادست سد و روگذرشدن آب از روی سد است. با توجه به این‌که سیل‌هایی که تا کنون در منطقه سد گلستان رخ داده‌اند اکثراً در فصل تابستان بوده‌اند، بنابراین در این‌جا فرض می‌شود که موقعیت زمانی-فصلی وقوع سیل محتمل مفروض نیز در فصل تابستان است. همچنین این واقعه برای دو حالت وقوع سیل در روز و وقوع سیل در شب بررسی خواهد شد.

فرضیات برای زمان آغاز هشدار وقوع سیل، بر اساس جدول راهنمای روش DSO-۹۹-۰۶ به صورت زیر خواهد بود و قابل ذکر است که با وجود برنامه واکنش فوری برای سیل ناشی از شکست سد گلستان، وجود مراقبین زیاد در سد فرض شده است:

– در زمان وقوع شکست در روز: زمان آغاز هشدارها دو ساعت قبل از شروع شکست خواهد بود.

– در زمان وقوع شکست در شب: زمان آغاز هشدارها بین یک تا دو

ساعت قبل از شروع شکست خواهد بود.

از طریق روندیابی سیلابی که بر اثر شکست سد جاری می‌شود، می‌توان مناطقی را که دچار آب‌گرفتگی می‌شوند را شناسایی کرده و در نتیجه جمعیت تحت ریسک را تخمین زد. بر اساس برنامه واکنش فوری که برای شکست سد گلستان تهیه شده است، مناطقی که در حالت وقوع بیشینه سیل محتمل در بالادست سد و شکست آن دچار آب گرفتگی می‌شوند و و همچنین جمعیت آن‌ها عبارتند از [۱۰]:

– حد فاصل سد گلستان تا شهر گنبد کاووس–ساحل راست و چپ رودخانه (مجموع ده روستا): ۱۳۳۳۵ نفر

– کل شهر گنبد کاووس و روستاها و محلات اطراف آن: ۱۷۶۶۸۶ نفر

– روستاهای محدوده پایین‌دست شهر گنبد تا سد وشمگیر: ۵۲۷۷۰ نفر

بنابراین، بر اساس زمان رسیدن سیل به پایین‌دست سد (که در برنامه واکنش فوری شکست سد گلستان و بر اساس روندیابی سیل ناشی از شکست سد محاسبه شده است)، میزان هشدارها به سه دسته تقسیم شده‌اند. همچنین میزان درک از شدت سیل ناشی از شکست سد گلستان نیز در دو نوع درک دقیق و درک مبهم دسته‌بندی شده‌اند. علاوه بر این، بر اساس نقشه آب‌گرفتگی که برای شهر گنبد کاووس در اثر شکست سد گلستان تهیه شده است [۱۰]، شدت سیل برای هر کدام از مناطق مشخص شده است.

با در نظر گرفتن کلیه موارد فوق و با استفاده از جدول «نرخ مرگ‌ومیر توصیه‌شده برای تخمین تلفات جانی» در روش DSO-۹۹-۰۶، می‌توان نرخ تلفات ناشی از شکست سد به علت وقوع سیلاب‌های با شدت مختلف را محاسبه کرد. این مقادیر در جدول (۵) نشان داده شده‌اند.

در نهایت با استفاده از نرخ تلفات بدست آمده و با توجه به جمعیت تحت ریسک، میزان تلفات جانی تخمینی بر اثر سیل ناشی از شکست سد گلستان به وسیله ضرب نرخ تلفات هر حالت در جمعیت منطقه متناظر با آن مطابق با جدول (۶) خواهد بود. قابل ذکر است که این جدول برای همه ترازهای اولیه سطح آب مخزن یکسان است.

پس از تخمین تلفات جانی در مرحله محاسبه ریسک، در ابتدا باید حاصلضرب احتمال شکست سالانه هر شاخه از درخت رویداد را در میزان تلفات جانی متناظر با آن بدست آورد. سپس تلفات جانی سالانه تمام شاخه‌ها تحت تمام حالت‌های بار را با هم جمع نمود که در نتیجه، ریسک متناظر با حالت شکست بالقوه تعریف‌شده را به دست می‌دهد.

در جدول (۷)، مقادیر تخمینی ریسک شکست سد گلستان بر اثر حالت شکست بالقوه روگذری از بدنه سد، با استفاده از رابطه (۱) و برای دو زمان وقوع شکست در روز و وقوع شکست در شب ارائه شده است.

جدول (۵): نرخ مرگ‌ومیر به علت سیل ناشی از شکست سد گلستان برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف

	حالت‌های بار							
	کمتر از ده‌هزار		بین ده‌هزار تا پنجاه‌هزار		بین پنجاه‌هزار تا یکصد هزار		بیشتر از یکصد هزار	
موقعیت مکانی	وقوع سیل در روز	وقوع سیل در شب	وقوع سیل در روز	وقوع سیل در شب	وقوع سیل در روز	وقوع سیل در شب	وقوع سیل در روز	وقوع سیل در شب
محدوده سد گلستان تا شهر گنبد	۰/۰۵۵	۰/۰۰۹	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۳	۰/۵
شهر گنبد و روستاهای اطراف	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۴
پایین‌دست شهر گنبد تا سد وشمگیر	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱۵

جدول (٦): میزان تخمینی تلفات جانی بر اثر سیل ناشی از شکست سد گلستان (نفر)

	حالت‌های بار							
	کمتر از ده‌هزار		بین ده‌هزار تا پنجاه‌هزار		بین پنجاه‌هزار تا یکصد هزار		بیشتر از یکصد هزار	
موقعیت مکانی	وقوع سیل در روز	وقوع سیل در شب	وقوع سیل در روز	وقوع سیل در شب	وقوع سیل در روز	وقوع سیل در شب	وقوع سیل در روز	وقوع سیل در شب
محدوده سد گلستان تا شهر گنبد	۶۶	۱۲۰	۱۳۳	۶۶۶	۴۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۶۶۶۷
شهر گنبد و روستاهای اطراف	۳۵	۱۰۶۰	۱۷۶	۱۲۳۶	۱۲۳۶	۵۳۰۰	۱۵۹۰	۷۰۶۷
پایین‌دست شهر گنبد تا سد وشمگیر	۵	۱۰	۵	۱۰	۴۲۲	۴۷۴	۵۲۷	۷۹۱
مجموع	۱۰۶	۱۱۹۰	۳۱۴	۱۹۱۲	۲۰۵۸	۷۷۷۴	۶۱۱۷	۱۴۵۲۵

جدول (۷): مقادیر تخمینی ریسک شکست سد گلستان بر اثر روگذری

مسیر شکست		احتمال سالانه شکست	در حالت وقوع شکست سد در روز		در حالت وقوع شکست سد در شب	
			تلفات جانی (نفر)	تلفات جانی سالانه	تلفات جانی (نفر)	تلفات جانی سالانه
تراز آب: >۶۲	شاخه ۱	$۳/۹\times۱۰^{-۷}$	۶۱۱۷	۰/۰۰۲۳۸۶	۱۴۵۲۵	۰/۰۰۵۶۶۵
	شاخه ۲	۱×۱۰^{-۷}	۲۰۵۸	۰/۰۰۰۲۰۶	۷۷۷۴	۰/۰۰۰۷۷۷
	شاخه ۳	$۳/۲\times۱۰^{-۱۱}$	۳۱۴	۱×۱۰^{-۸}	۱۹۱۲	$۶/۱۲\times۱۰^{-۸}$
	شاخه ۴	۴×۱۰^{-۸}	۱۰۶	$۴/۲۴\times۱۰^{-۶}$	۱۱۹۰	$۴/۷۶\times۱۰^{-۵}$
تراز آب: ۶۱-۶۲	شاخهٔ ۱	۲×۱۰^{-۶}	۶۱۱۷	۰/۰۱۲۲۳	۱۴۵۲۵	۰/۰۲۹۰۵
	شاخه ۲	$۹/۲\times۱۰^{-۸}$	۲۰۵۸	$۱/۸۹\times۱۰^{-۴}$	۷۷۷۴	$۷/۱۵\times۱۰^{-۴}$
	شاخه ۳	$۱/۵\times۱۰^{-۹}$	۳۱۴	$۴/۷۱\times۱۰^{-۷}$	۱۹۱۲	$۲/۸۷\times۱۰^{-۶}$
	شاخه ۴	$۱/۸\times۱۰^{-۷}$	۱۰۶	$۱/۹۱\times۱۰^{-۵}$	۱۱۹۰	$۲/۱۴\times۱۰^{-۴}$
تراز آب: ۶۰-۶۱	شاخهٔ ۱	۱×۱۰^{-۶}	۶۱۱۷	۰/۰۰۶۱۲	۱۴۵۲۵	۰/۰۱۴۵۳
	شاخه ۲	$۰/۶\times۱۰^{-۷}$	۲۰۵۸	$۱/۲۳\times۱۰^{-۴}$	۷۷۷۴	$۴/۶۶\times۱۰^{-۴}$
	شاخه ۳	۱×۱۰^{-۹}	۳۱۴	$۳/۱۴\times۱۰^{-۷}$	۱۹۱۲	$۱/۹۱\times۱۰^{-۶}$
	شاخه ۴	$۱/۲\times۱۰^{-۷}$	۱۰۶	$۱/۲۷\times۱۰^{-۵}$	۱۱۹۰	$۱/۴۳\times۱۰^{-۴}$
تراز آب: <۶۰	شاخه ۱	$۳/۲\times۱۰^{-۷}$	۶۱۱۷	۰/۰۰۱۹۵۷	۱۴۵۲۵	۰/۰۰۴۶۴۸
	شاخه ۲	$۳/۲\times۱۰^{-۹}$	۲۰۵۸	$۶/۵۹\times۱۰^{-۶}$	۷۷۷۴	$۲/۴۹\times۱۰^{-۵}$
	شاخه ۳	۵×۱۰^{-۹}	۳۱۴	$۱/۵۷\times۱۰^{-۶}$	۱۹۱۲	$۹/۵۶\times۱۰^{-۶}$
	شاخه ۴	$۶/۵\times۱۰^{-۷}$	۱۰۶	$۶/۸۹\times۱۰^{-۵}$	۱۱۹۰	$۷/۷۴\times۱۰^{-۴}$
مجموع		$۴/۹۷\times۱۰^{-۶}$	–	۰/۰۲۳۳۲	–	۰/۰۵۶۶۰
میانگین وزنی تلفات		–	۴۷۹۲	–	۱۱۵۵۱	–

در این جدول، منظور از شاخه ۱، مسیر مربوط به وقوع سیلاب با دوره بازگشت بیشتر از یکصد هزار سال در درخت رویداد است. همچنین منظور از شاخه ۲ مسیر مربوط به وقوع سیلاب با دوره بازگشت بین پنج‌هزار و یکصد هزار سال در درخت رویداد است. شاخه ۳ مربوط به وقوع سیل با دروه بازگشت بین ده‌هزار تا پنجاه‌هزار سال و شاخه ۴ مربوط به سیلاب با دوره بازگشت کمتر از ده‌هزار سال است.

در انتها به منظور سنجش ریسک، ریسک تخمینی محاسبه شده و با معیارهای ارائه‌شده توسط USBR و HSE مورد سنجش قرار گرفته است.

با توجه به این‌که برای حالت شکست بالقوه مفروض و وقوع آن در روز، احتمال شکست کلی سالانه برابر با $۴/۹۷\times۱۰^{-۶}$ و تلفات جانی سالانه کلی ۰/۰۲۳۳۲ بوده، بنابراین میانگین وزنی تلفات در حدود ۴۸۰۰ نفر است. در حالت وقوع شکست در شب که تلفات جانی سالانه کلی برابر با ۰/۰۵۶۶۰ است، میانگین وزنی تلفات در حدود ۱۱۶۰۰ نفر می‌شود. با توجه به نمودار f-N برای سطح ریسک در USBR، ریسک شکست سد چه به هنگام وقوع در روز و چه در شب، در منطقه‌ای است که لزوم اقدام سریع برای کاهش ریسک را می‌طلبد.

در معیار دیگر ارائه‌شده توسط USBR، اگر ریسک تخمینی تلفات جانی سالانه از ۰/۰۱ بیشتر باشد، باید اقدامات سریع برای کاهش ریسک انجام گیرد. از آن‌جایی که ریسک شکست به هنگام روز ۰/۰۲۳ و به هنگام شب ۰/۰۵۶ شده است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ریسک در حدی است که اقدام‌های سریع برای کاهش نیاز خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

ارزیابی ایمنی سدها بر پایه ریسک، رویکردی نوین در این زمینه بوده که کاربرد آن و نیز روش‌های انجام آن در دنیا، روز به روز در حال گسترش و افزایش است. این رویکرد هم در مرحله طراحی و هم در مرحله بهره‌برداری و نگهداری از سد مورد توجه و استفاده است. دستورالعمل ارزیابی ریسک ایمنی سدها توسط محققان و مراجع مختلف ارائه شده و در مجموع می‌توان گفت که اصول و روش کلی تمامی آن‌ها یکسان

است. در این تحقیق، از دستورالعمل ANCOLD به عنوان یک نهاد معتبر در زمینه مهندسی سد برای انجام ارزیابی ریسک ایمنی سد گلستان استفاده شده است.

در این تحقیق و بر اساس دستورالعمل ANCOLD، خطرهای مؤثر بر ایمنی سد گلستان بررسی شد و از میان خطرهای تهدیدکننده سد، خطر وقوع سیل در بالادست سد به عنوان مهم‌ترین خطر بالقوه مورد تحلیل و ارزیابی قرار داده شد. وقوع سیل‌های بزرگ در بالادست سد می‌توانند سبب روگذری آب از بدنه سد شده و به این ترتیب، شکست سد را موجب شوند. با استفاده از روش ارزیابی درخت رویداد (ETA) که یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی ریسک است، فرآیند شکست از ابتدا (واقعه اولیه) تا انتها (شکست سد) شناسایی شد. به منظور محاسبه احتمال شکست سد، از اطلاعات آماری مربوط به سد برای تخصیص احتمال به فراوانی ترازهای اولیه سطح آب مخزن، از اطلاعات هیدرولوژیکی سد برای محاسبه احتمال وقوع سیل‌های مختلف با دوره بازگشت مشخص و از نتایج روندیابی سیلاب درون مخزن برای تخصیص احتمال به روگذری یا عدم روگذری آب از سد استفاده شد. حاصلضرب احتمال‌های مربوط به شاخه‌های مسیری که در نهایت منجر به شکست سد شده است، احتمال شکست سالانه سد تحت شرایط مفروض در آن مسیر را بدست می‌دهد. حاصلجمع احتمال شکست سالانه تمام مسیرهای منتهی به شکست، احتمال شکست سالانه کلی را به مقدار $۴/۹۷\times۱۰^{-۶}$ نتیجه می‌دهد. برای تخمین تلفات جانی ناشی از شکست سد از روش DSO-۹۹-۰۶ استفاده شد؛ به این صورت که بر اساس سه عامل شدت سیل، درک شدت سیل و میزان هشدارها و با استفاده از جدول مربوطه، نرخ مرگ‌ومیر بر اثر سیل ناشی از شکست سد برای سه منطقه پایین‌دست سد و برای دو حالت وقوع سیل در روز و در شب بدست آمد. حاصلضرب نرخ مرگ‌ومیر در جمعیت هر منطقه، میزان تلفات جانی هر منطقه را مشخص می‌کند. با ضرب میزان تلفات جانی بدست آمده در احتمال شکست سالانه هر مسیر منتهی به شکست، تلفات جانی سالانه متناظر با آن مسیر بدست آمد. مجموع تلفات جانی سالانه تمام مسیرهای منتهی به شکست، تلفات جانی سالانه کلی و به عبارت دیگر، مقدار ریسک شکست سد بر اثر وقوع سیل در بالادست و روگذری آب از بدنه را نتیجه می‌دهد. این مقدار برای شکست سد گلستان به علت وقوع سیل در بالادست، در هنگام روز برابر با ۰/۰۲۳۳۲ و هنگام شب برابر با ۰/۰۵۶۶ بدست آمد.

پس از آن، ریسک بدست آمده با معیارهای HSE و USBR به منظور سنجش اهمیت ریسک، مورد ارزیابی قرار گرفت و این نتیجه‌گیری حاصل شد که سطح ریسک شکست سد گلستان بر اثر وقوع سیل در بالادست آن غیرقابل قبول بوده و نیازمند اقدام‌های کاهش ریسک فوری است.

٦- مراجع

[1] Graham, L. P. and Bartsch, M.; "Risk Analysis Safety Assessment for Use at Swedish Dams," *Presented at the Symposium: Research and Development in the Field of Dams*, Cranes-Montana, Switzerland, Vol. 7–9, 1995.

[2] Bowles, D. S.; "Evaluation and Use of Risk Estimates in Dam Safety Decision Making (20-Year Retrospective and Prospective of Risk-based Decision-making," *ASCE*, Santa Barbara, California, pp. 17–32, 2001.

[3] Movahhedinia, J.; "Preparation of Operational Schedule in Emergency Situation for Flood Damage Reduction from Dam Break (Case Study: Golestan Dam 1)," *M.Sc. Thesis in Management of Natural Disasters, Department of Environment,* University of Tehran, Tehran, Iran, 2008 (in Persian).

[4] Goodarzi, E.; Shui, L. T. and Ziaei, M.; "Dam Overtopping Risk Using Probabilistic Concepts-case Study: The Meijaran Dam, Iran," *Ain Shams Engineering Journal*, Vol. 4, No. 2, pp. 185–197, 2013.

[5] Fell, R.; Bowles, D. S.; Anderson, L. R. and Bell, G.; "The State of Methods for Estimating of the Probability of Failure Dams for Using Quantitative Risk Assessment," *20th International Commission on Large Dams*, Congress, Beijing, China, 2000.

[6] Consulting Engineers of Tehran-Berkeley; "First Phase of Study on Dam and Water Distribution Network of Garkaz Plan (Golestan)," *Mazandaran Regional Water Company, Ministry of Energy*, Vol. 8: Hydrological Studies, 1993 (in Persian).

[7] ANCOLD (Australian National Committee on Large Dams; "Guidelines on Risk Assessment," 2003.

[8] Hill, P. I.; Bowles, D. S.; Nothan, R. J. and Herweyen, R.; "On the Art of Event Tree Modeling for Portfolio Risk Assessment," *NZSOLD/ANCOLD 2001 Conference on Dams*, pp. 99–108, 2001.

[9] Cyganiewicz, J. and Smart, J.; "U.S. Bureau of Reclamation's Use of Risk Analysis and Risk Assessment in Dam Safety Decision Making," *ICOLD 20*, Beijing 2000, Vol. Q76, 2000.

[10] Khodaei, M.; Attari, J. and Bani-Hashemi, M.; "Rule of Flow Rate and Escape's Time

in Crisis Management of Flood from Dam Break (Case Study: Golestan Dam 1)," *8th International Congress on Civil Engineering*, Shiraz University, Shiraz, Iran, 2009 (in Persian).

[11] Ghanadkar-Sarabi, M.; "Numerical Model of Soil Dam Break in Effect of Water Overflow on the Body," *M.Sc. Thesis in Hydraulic Structures, Faculty of Engineering,* University of Tehran, Tehran, Iran, 2011 (in Persian).

[12] Statistical Center of Iran; "Selected Results of Census 1390," *Planning and Strategic Supervision of Presidential Adjutancy*, 2011 (in Persian).

[13] ICOLD; "Bulletin 130-Risk Assessment in Dam Safety Assessment," *A Reconnaissance of Benefits, Methods and Current Applications*, 2005.

[14] Chauhan, S. S. and Bowles, D. S.; "Dam Safety Risk Assessment with Uncertainty Analysis," *Proceeding of the ANCOLD Risk Workshop*, Launceston, Tasmania, Australia, 2003.

[15] Srivastava, A.; Bowles, D. S. and Chauhan, S. S.; "Generalized Event Tree Algorithm and Software for Dam Safety Risk Assessment", *Utah State University*, Logan, Utah, 2011.

[16] Lee, J. S.; "Uncertainty Analysis in Dam Safety Risk Assessment," *Civil Engineering*, Utah State University, Logan, Utah, 2002.

[17] Mahmoudian-Shoushtari, M.; "Principles of Flow in Open Channels," *Shahid Chamran University Press*, Ahvaz, Iran, Vol. 2, 2008 (in Persian).

[18] Lar Consulting Engineers; "Study on Comprehensive Plan for Flooding of Golestan Province," *Golestan Regional Water Company, Ministry of Energy*, Vol. 10, 2006 (in Persian).

[19] Golestan Regional Water Co.; "The Plan of Flood Immediate Response from Golestan Dam Break (Golestan 1)," 2009 (in Persian).

[20] USBR; "Dam Safety Risk Analysis Best Practices Training Manual," *5th Consequences on Dam Failure*, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 2009.

[21] USBR; "Dam Safety Risk Analysis Best Practices Training Manual," *30th Public Risk Tolerance and Risk Guidelines*, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 2009.

[22] USBR; "Dam Safety Public Protection Guidelines: Example of Use," *Reclamation Managing Water in the West*, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 2011.