Archive of SID

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۴، ص. ۵۲۷-۵۱۷

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 3, Jul.-Agu. 2015, p. 517-527

تحلیل عدم قطعیت و ارزیابی ریسک روگذری سد مارون با استفاده از روش مونت‌کارلو و روش مربع لاتین

جمال محمد ولی سامانی[۱]- حامد رادمهر[۲]- مجید دلاور[۳*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۱۵

چکیده

سد خاکی به دلایل نشست پی و خزش، روگذری، فرسایش سرریز، لغزش و غیره تخریب می‌شود که روگذری عمده‌ترین دلایل شکست سد می‌باشد. از طرفی طراحی سدها تحت تاثیر عدم قطعیت و پتانسیل شکست می‌باشد لذا آنالیز ریسک و عدم‌قطعیت در طراحی سدهای مخزنی از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف اصلی در این تحقیق ارائه روش‌هایی برای آنالیز عدم قطعیت و برآورد ریسک روگذری سد می‌باشد. از دبی ورودی سالانه به مخزن سد مارون جهت آنالیز هفت رخداد سیل حدی با دوره بازگشت‌های مختلف استفاده شده است. عدم قطعیت بالاترین ارتفاع سطح آب مخزن در این هفت سیل با استفاده از روندیابی مخزن و بررسی اثر چهار عامل غیرقطعی تاثیرگذار در آن محاسبه شد. آنالیز عدم قطعیت و ریسک روگذری در این مطالعه از با روش‌های: ۱) شبیه سازی مونت کارلو (MCS) ۲) شبیه‌سازی مربع لاتین (LHS)، صورت می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که عدم قطعیت ارتفاع آب در روش مونت کارلو بیشتر از روش مربع لاتین بوده از طرفی ریسک روگذری محاسبه شده در روش مربع لاتین بیشتر از روش مونت کارلو می‌باشد. هم‌چنین افزایش دبی ورودی نسبت به افزایش دوره بازگشت در تغییرات ریسک روگذری سد مارون موثرتر است.

واژه‌های کلیدی: دوره بازگشت، سد خاکی، شبیه سازی، شکست سد

مقدمه

شکست سازه‌هایی نظیر سد باعث از بین رفتن زندگی انسان‌ها و خسارات مالی زیاد می‌شود. اگر در ایمنی ساختاری سد، شک و تردیدی وجود داشته باشد، نمی‌توان ضمانتی برای جان مردمی که در پایین دست آن زندگی می‌کنند داشت. لذا تعیین و توجه به ایمنی سد در اولویت می‌باشد (۳).

شکست سد بواسطهٔ عدم قطعیت عوامل طبیعی و محیطی، مشکلات طراحی و ساخت می‌باشد لذا شکست سد یک اتفاق قطعی نبوده و ارزیابی کمی ایمنی سد نیاز به یک تئوری احتمالاتی دارد. سد خاکی به دلایل نشت پی و خزش، روگذری، فرسایش سرریز، لغزش و غیره تخریب می شود که نشست پی و روگذری عمده ترین دلایل شکست سد می‌باشد (۱). روگذری زمانی رخ می‌دهد که سطح آب مخزن تا لبه سد بالا بیاید. این ممکن است ناشی از عدم تطبیق زمانی خارج شدن سیل از طریق سرریزها و خروجی‌ها باشد.

از آن‌جایی که طراحی و عملکرد سدها همیشه تحت تاثیر عدم قطعیت و پتانسیل شکست هستند محاسبه ریسک شکست با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها لازم و ضروری خواهد بود. در این راستا محاسبه ریسک روگذری درسدها برای بدست آوردن ایمنی سد، از اهمیت ویژه ای برخوردار می‌باشد.

مطالعات مختلفی در زمینه ریسک روگذری صورت گرفته است: چنگ (۱) مدل‌سازی ریسک روگذری را با روش‌های انتگرال گیری مستقیم، روش شبیه‌سازی مونت کارلو، روش مرتبه اول-ممان دوم و روش پیشرفته مرتبه اول-ممان دوم انجام داد و به تاثیر بسزای دبی ورودی به مخزن در افزایش ریسک روگذری اشاره کرد. زاوو و همکاران (۷) در آنالیز اطمینان سازه‌های هیدرولیکی به بررسی عدم قطعیت هیدروگراف واحد با روش شبیه‌سازی مونت کارلو و تکنیک روندیابی پرداختند. کوون و مون (۵) سه روش جدید برای تحلیل ریسک روگذری ارائه کرده‌اند که عبارتند از روش‌های تقریب چگالی غیر پارامتریک، استفاده از روش مربع لاتین برای بهبود روش مونت کارلو و استفاده از نمونه‌سازی خودکار برای تعیین سطح آب اولیه مخزن. کاوو و همکاران (۳) از روش تقریبی رزنبلوئنت، روش تقریبی نقطه‌ای هار، روش شبیه‌سازی مونت کارلو، روش تقریبی مرتبه

۱، ۲ و ۳- به ترتیب استاد، دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی و استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.delavar@modares.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

اول-کمان دوم و روش شبیه‌سازی مربع لاتین برای بررسی ریسک روگذری استفاده کردند و بیان کردند روش‌های تقریبی مقادیر بیشتری نسبت به روش‌های شبیه‌سازی حاصل می‌کند. گودرزی و همکاران (۲) به بررسی ریسک روگذری در سد بر پایه آنالیز یک متغیره و دو متغیره دوره بازگشت سیل با روش‌های مونت کارلو و مربع لاتین پرداختند و بیان کردند سطح اولیه آب مخزن مهم‌ترین پارامتر تاثیرگذار در مقدار ریسک روگذری سد بوده است. منصوری (۸) به بررسی ریسک روگذری سد با روش‌های مونت کارلو و مربع لاتین پرداخته است و در نتیجه بیان نمود که سطح اولیه آب مخزن تاثیر چندانی در میزان ریسک روگذری سد ونک نداشته و مهم‌ترین عامل دبی ورودی به مخزن سد می‌باشد.

با توجه به طیف گسترده مطالعات در این زمینه ارزیابی سیستماتیک ریسک روگذری سد با لحاظ عوامل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی موثر کمتر موردتوجه قرار گرفته است.

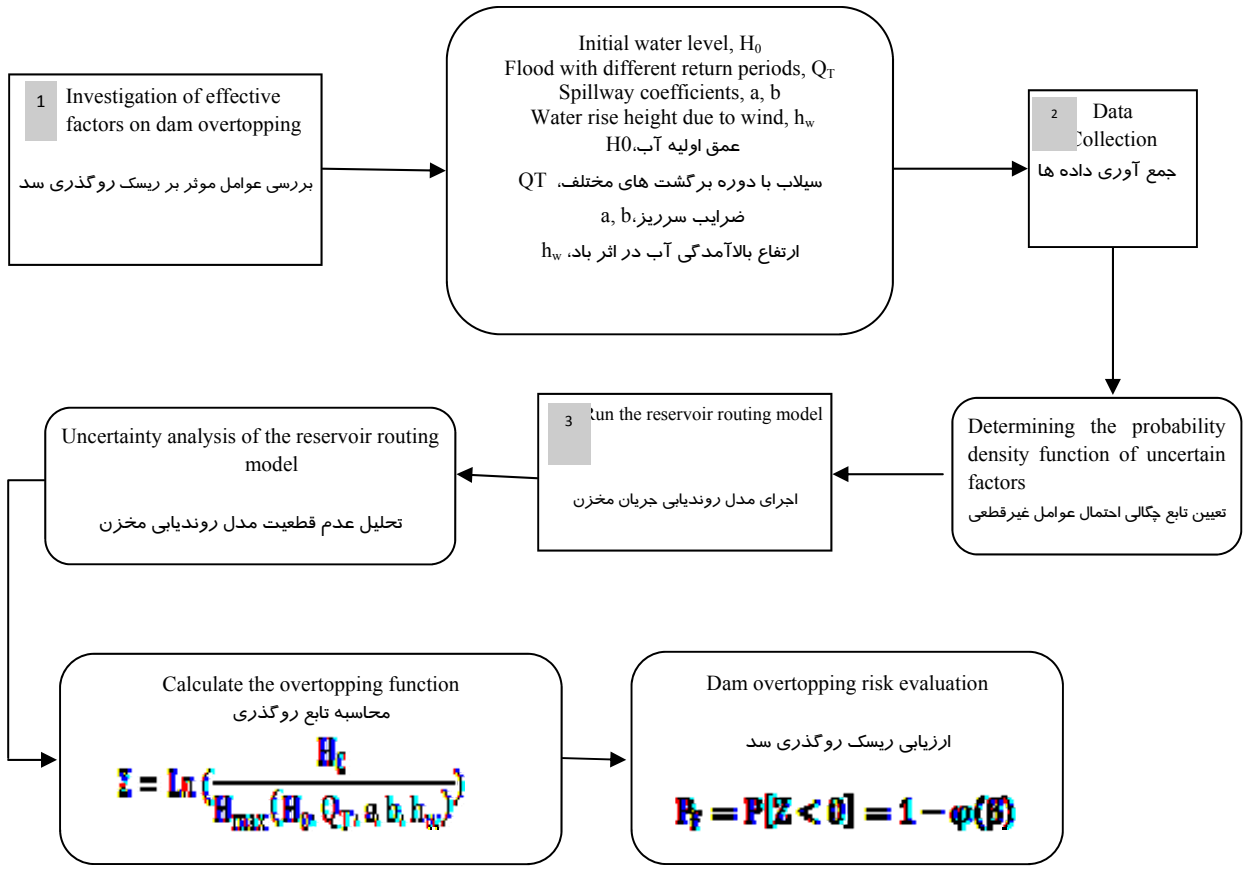
هدف این مقاله ارائه یک روش شناسی عملی و مقایسه روش‌های مختلف آنالیز عدم قطعیت در ارزیابی ریسک روگذری سدها بوسیله سیل می‌باشد. بدین منظور روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو و مربع لاتین برای محاسبه ریسک روگذری سد و ارزیابی عدم قطعیت و همچنین محاسبه بیشترین ارتفاع سطح آب در طول رخ داد سیل‌های مختلف استفاده گردید. به منظور ارزیابی کاربرد روش‌های یاد شده نیز، سد مارون به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد.

شکل ۱ نشان دهنده روند کار در این مقاله می‌باشد که شامل پنج قسمت است: ۱) شناسایی و ارزیابی عوامل مهم و اثرگذار در روندیابی سیل و روگذری سد ۲) جمع‌آوری داده‌ها و تعیین توابع چگالی عوامل غیر قطعی ۳) روندیابی مخزن و آنالیز عدم قطعیت آن ۴) محاسبه تابع روگذری سیل ۵) تحلیل ریسک

مواد و روش‌ها

آنالیز ریسک

ریسک به عنوان عدم موفقیت در یک سیستم ناشی از عدم قطعیت‌های متغیرهای فشار (L) و مقاومت (R) می‌باشد. ابزار کلی برای تعیین ریسک بصورت ریاضی به شکل زیر می‌باشد:



شکل ۱- روند نمای ارزیابی ریسک روگذری سد

Figure 1- Flowchart of Dam Overtopping Risk Evaluation

www.SID.ir

Archive of SID

$$p_f = p[L>R] \quad (۱)$$

که p_f ریسک سیستمی می‌باشد. معادله ۱ را می‌توان به شکل زیر نیز بیان نمود :

$$p_f = p[R-L<0] \quad (۲)$$

که این معادله را می‌توان به حالت کلی زیر نوشت:

$$p_f = p[Z<0] \quad (۳)$$

که Z به عنوان تابع ارزیابی تعریف می‌شود که تابعی از اجزاء متغیرهای مقاومت و فشار می‌باشد. این تابع بر اساس تابع توزیع آن می‌تواند به اشکال متفاوتی داشته باشد. به عنوان مثال در صورتی که تابع توزیع آن به صورت لوگ نرمال باشد تابع ارزیابی می‌تواند به صورت معادله ۴ بیان گردد:

$$Z = Ln(R/L) \quad (۴)$$

تحلیل ریسک روگذری سد

روگذری به حالتی گفته می‌شود که بخش خروجی سیلاب قادر به تخلیه آب با سرعت کافی نباشد و سطح آب از ارتفاع تاج سد بالاتر بیاید. در بررسی ریسک روگذری سد متغیرهای فشار شامل ارتفاع اولیه آب مخزن و ارتفاع بالاآمدگی آب ناشی از وقوع سیل و متغیر مقاومت شامل ارتفاع تاج سد می‌باشد.

اگر H_f ارتفاع بالا آمده آب مخزن بوسیله اثر نیروی سیل (F) و Hc ارتفاع تاج سد و H_0 ارتفاع سطح اولیه آب مخزن قبل از وقوع F باشد آنگاه روگذری زمانی رخ می‌دهد که $H_f+H_0>H_c$ شود. لذا ریسک روگذری p_f بصورت زیر خواهد بود:

$$p_f = p[H_f+H_0>H_c] = p[H_f>H_c-H_0] \quad (۵)$$

لذا تابع ارزیابی به این صورت تعریف می‌شود:

$$Z = Ln(H_c / H_{max}) \quad (۶)$$

که در آن، H_C ارتفاع تاج سد و H_{MAX} بالاترین ارتفاع آب در طی رویداد سیلاب است که می‌توان آن را با روندیابی مخزن با در نظر گرفتن فاکتورهای عدم قطعیت ارزیابی نمود.

تلفیق فاکتورهای عدم قطعیت مورد نظر در این تحقیق با تابع ارزیابی، که مشروط به سطح اولیه آب در پشت سد (H_0) و دوره بازگشت سیلاب T ساله (Q_T) می باشد را می‌توان به این صورت نشان داد:

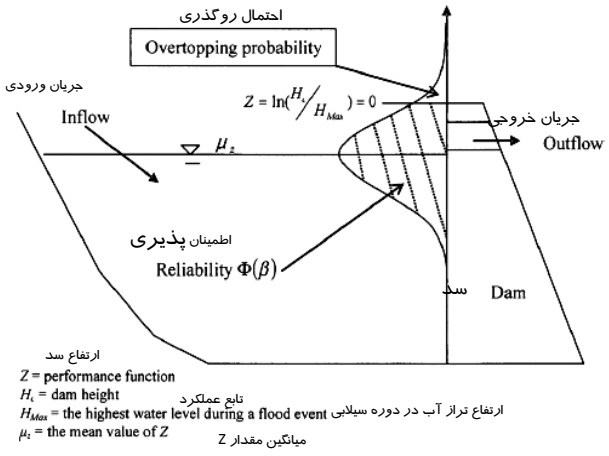
$$Z(H_0,Q_T) = Ln(H_c / H_{max}[H_0,Q_T,a,b]) \quad (۷)$$

که در آن، H_C ارتفاع سد؛ H_0 سطح آب اولیه در مخزن؛ Q_T حداکثر تخلیه در دوره بازگشت سیلاب T ساله و a و b ضرایب منحنی حجم مخزن می‌باشند. با فرض اینکه Z توزیع نرمال دارد، اعتمادپذیری α از معادله زیر به دست می آید:

$$\alpha = \varphi(\mu_Z / \sigma_Z) = \varphi(\beta) \quad (۸)$$

که در آن، μ_z و σ_z به ترتیب، میانگین و ضریب تغییرات Z هستند؛ $\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z}$ شاخص اعتمادپذیری است که عکس ضریب تغییرات Z است؛ و $\varphi(\beta)$ احتمال نرمال تجمعی مربوط به β است (شکل ۲). ریسک روگذری شرطی، $P(O_T|Q_T,H_0)$ را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$P(Q_T , H_0) = P[Z(Q_T , H_0) < 0] = 1 - \varphi[\beta(Q_T , H_0)] \quad (۹)$$



شکل ۲ – برآورد ریسک روگذری سد (۳)

Figure 2- Estimation of dam overtopping risk (3)

آنالیز عدم قطعیت تابع ارزیابی روگذری

هدف آنالیز عدم قطعیت تعیین ویژگی‌های آماری خروجی‌های سیستم و یا بررسی اثر عوامل تغییر پذیر در عکس العمل سیستم می‌باشد. انتخاب روش مناسب آنالیز عدم قطعیت به ماهیت مسئله، اطلاعات در دسترس، پیچیدگی مسئله و نوع نتایج مورد نظر بستگی دارد (۶).

مرسوم ترین روش‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی عبارتند از (۴): ۱) روش شبیه سازی مونت کارلو ۲) روش نمونه‌گیری مربع لاتین

شبیه‌سازی مونت کارلو

یکی از روش‌های ارزیابی عدم قطعیت و آنالیز ریسک که کاربرد زیادی در علوم مختلف دارد روش شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد. در این روش برای تهیه اعداد تصادفی با حفظ توزیع آماری آن‌ها، از تابع تجمعی احتمال استفاده می‌شود. این تابع را با Fx(x) نشان می‌دهند که یک تابع صعودی و مقدار آن در بازه [۰,۱] تغییر می‌کند (۳).

در این روش ابتدا توزیع آماری پارامترهای ورودی تعیین و تابع توزیع تجمعی آن‌ها همراه با احتمال‌های مربوطه بدست می‌آید و سپس اعداد تصادفی بین صفر تا ۱ تولید می‌شود. آنگاه به تعداد مورد نظر نمونه از تابع توزیع تجمعی پارامترها به ازای هر عدد تصادفی ایجاد می‌گردد. جهت ارزیابی ریسک از پارامترهای میانگین و ضریب

www.SID.ir

Archive of SID

تغیرات مدل خروجی استفاده می‌شود.

نمونه‌برداری مربع لاتین

روش نمونه برداری مربع لاتین یکی دیگر از روش‌های آنالیز عدم قطعیت می‌باشد و از جمله روش‌های نمونه برداری آماری بوده که توزیع احتمال پارامترهای ورودی را طبقه‌بندی کرده تا نمونه‌های تصادفی یکنواخت از مقادیر تصادفی متغیرها تولید کند (۳).

در این روش تابع توزیع تجمعی پارامترها را با طبقه‌بندی کردن به بخش‌های مساوی با احتمال یکسان در نظر می‌گیرند و نمونه‌های مورد نظر نیز به همان مقدار ایجاد می‌شود. در این روش نیز جهت ارزیابی ریسک از پارامترهای میانگین و ضریب تغیرات مدل خروجی استفاده می‌شود.

مطالعه موردی

سد مارون که از سال ۱۳۷۷ مورد استفاده می‌باشد و در پایین‌دست رودخانه مارون که انشعابی از رودخانه جراحی است قرار دارد. این سد به فاصله ۱۹ کیلومتری در شمال شرقی شهرستان بهبهان به مختصات ۵۰ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی و ۳۰ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی واقع شده است. سد مارون با ارتفاع ۱۶۵ متر، یکی از بلندترین سدهای سنگریزه‌ای در کشور می‌باشد. حوضه آبخیز بالادست آن ۳۸ هزار هکتار مساحت دارد و حجم کل مخزن $۱/۲\times۱۰^{۹}$ متر مکعب است. کاربردهای اصلی این مخزن، تامین آب آشامیدنی، تولید برق آبی، و کنترل سیلاب‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

تحلیل فراوانی سیلاب و تعیین عدم‌قطعیت حداکثر جریان ورودی به سد

همان‌طور که بیان شد روگذری سد ممکن است بر اثر یک یا ترکیبی از وقایع نظیر سیل، لغزش زمین، زلزله و بادهای شدید رخ دهد. سیل‌های بزرگ بیشترین تاثیر را بر روگذری داشته لذا آنالیز فراوانی سیلاب از اهمیت بسیاری در محاسبه ریسک روگذری برخوردار است. بدین منظور در این مطالعه از داده‌های حداکثر دبی سالانه طی دوره آماری ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۵در ایستگاه ایدنک استفاده گردید. به منظور تحلیل فراوانی سیلاب، ابتدا برازش توزیع‌های چگالی احتمال نرمال، لوگ نرمال، پیرسون نوع ۳، لوگ پیرسون نوع ۳، گامبل و گاما به وسیله آزمون زیبندگی مجذور کای بررسی شد که نتایج نشان داد که توزیع لوگ نرمال برای سیلاب برازش بهتری نسبت به دیگر توزیع‌ها دارد. با توجه به تحلیل فراوانی داده‌های مشاهداتی می‌توان مقادیر میانگین و انحراف معیار حداکثر جریان ورودی را در یک دوره بازگشت معین به دست آورد. در جدول ۱ مقادیر میانگین و انحراف معیار جریان در دوره بازگشت‌های مختلف آورده شده است.

جدول ۱ – میانگین و انحراف معیار جریان در دوره بازگشت‌های مختلف

Table 1 – Mean and standard deviation of inflow in various return periods

سیلاب Flood		
دوره بازگشت (سال) Return Period (Year)	انحراف معیار Standard Deviation	میانگین Mean (m^3/s)
2	4	54
50	17	129
100	21	147
1000	38	210
2000	43	228
5000	49	252
10000	60	283

فاکتورهای عدم قطعیت

از بین عوامل شناسایی شده در بررسی رفتار سیستم‌های تخلیه کننده طغیان نظیر سد، پارامترهایی چون دبی ورودی، تراز اولیه آب مخزن، منحنی تراز–حجم مخزن سد، ظرفیت سرریز و ... می‌توانند مشمول عدم قطعیت‌های گوناگون باشند. در این مطالعه، غیر از عدم قطعیت حداکثر دبی ورودی به مخزن، عدم قطعیت عواملی چون: تراز اولیه آب در مخزن و جریان خروجی از سرریز مد نظر قرار داده شد. سطح متوسط آب در مخزن سد مارون از روی داده‌های سطح آب مخزن که در فصل بارانی جمع آوری شده است تخمین زده می‌شود و برابر با ۴۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این مطالعه به منظور بررسی عدم قطعیت تراز اولیه سطح آب در مخزن، پنج سطح آب اولیه برای مخزن در نظر گرفته شد: ۴۷۰، ۴۷۸، ۴۸۵، ۴۹۳ و ۵۰۴ متر از سطح دریا. جریان خروجی از سرریز تابعی از ارتفاع آب در روی سرریز می‌باشد، برای تعیین عدم قطعیت جریان خروجی از سرریز به عنوان عامل هیدرولیکی، روابط مختلف بین دبی خروجی سرریز و ارتفاع سطح آب روی آن از داده‌های موجود بررسی و نهایتا با برازش مناسب یک رابطه خطی ($Q = a.H + b$) مقدار عدم قطعیت جریان خروجی از سرریز بیان گردید. در این رابطه مقدار پارامتر a برابر ۰/۲۱۵ با انحراف معیار ۰/۰۰۰۳۸ و مقدار b برابر ۱۰۱/۲ با انحراف معیار ۱/۲ می‌باشد. در جدول ۲ به طور خلاصه مشخصات آماری عوامل دارای عدم قطعیت آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲ – مشخصات آماری عوامل عدم قطعیت

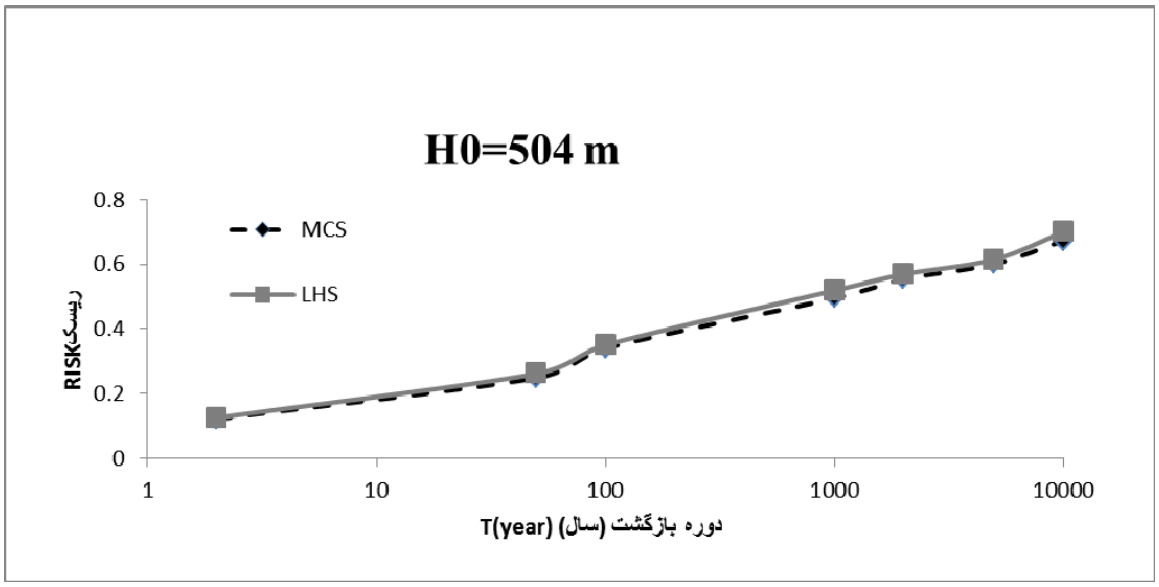
Table 2 – Statistical characteristics of uncertainty factors

عوامل عدم قطعیت Uncertainty Factors	واحد Unit	میانگین Mean	انحراف از معیار Standard Deviation	نوع توزیع Distribution Type	توضیحات Description
سطح اولیه آب (H_0) Initial Water Level	m	470	5	نرمال Normal	از ارتفاع ۴۷۰ تا ۵۰۴ From high 470 to 504
سیلاب مربوط به دوره بازگشت T ساله (Q_T) Flood with T return period	m^3/s	–	–	لوگ نرمال Log Normal	جدول ۱ Table 1
a	–	0.215	0.00038	نرمال Normal	
b	–	101.2	1.2	نرمال	

نتایج و بحث

با در نظر گرفتن چهار فاکتور عدم قطعیت، دو روش آنالیز عدم قطعیت (مونت کارلو و مربع لاتین) جهت آنالیز عدم قطعیت و ارزیابی ریسک روگذری در سد مارون تحت پنج سطح اولیه آب مختلف و هفت دوره بازگشت مختلف سیلاب، بکار برده شد. برای این روش‌ها در این مقاله تعداد ۱۰۰۰ عدد نمونه تولید شد. پنج سطح اولیه آب مخزن برای روندیابی سیل برابر ۴۷۰، ۴۷۸، ۴۸۵، ۴۹۳ و ۵۰۴ متر بوده که دارای انحراف از معیار یکسان ۵ متر می‌باشند. دوره بازگشت‌های ۲، ۵۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال جهت مقادیر مختلف سیلاب در نظر گرفته شد. جهت روندیابی مخزن از روش پالس استفاده شد.

مقادیر آنالیز عدم قطعیت ارتفاع آب مخزن سد مارون در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر بدست آمده از روش مونت کارلو در نقاط مختلف بیشتر از مقادیر روش مربع لاتین می‌باشد و بازه تغییرات آن نیز در روش مونت کارلو بیشتر است. همچنین این مقادیر در هر دو روش برای یک ارتفاع اولیه سطح آب ثابت با افزایش دوره بازگشت، افزایش می‌یابد و برای سطوح مختلف آب مخزن در یک دوره بازگشت ثابت، انحراف معیار ثابت می‌باشد که این نشاندهٔ بی اثر بودن سطح اولیه آب مخزن در مقدار عدم قطعیت ارتفاع آب می‌باشد.



شکل ۳ – ریسک روگذری در تراز اولیه آب مخزن ۵۰٤ متر

Figure 3 – Overtopping risk for 504 meter initial water level of the reservoir

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳ – مقادیر عدم قطعیت ارتفاع آب مخزن سد مارون

Table 3 –Uncertainty of water elevation in Maroon dam

سطح اولیه مخزن (متر) Initial Reservoir Level (m) H0(m)	دوره بازگشت T(year)	انحراف معیار (MCS) Standard deviation (MCS)	انحراف معیار (LHS) Standard Deviation (LHS)
470	2	16.48	16.06
	50	16.87	16.29
	100	17.22	16.24
	1000	17.74	16.64
	2000	17.99	16.72
	5000	18.2	16.81
	10000	18.5	16.93
478	2	16.48	16.06
	50	16.87	16.29
	100	17.22	16.24
	1000	17.74	16.64
	2000	17.99	16.72
	5000	18.2	16.81
	10000	18.5	16.93
485	2	16.48	16.06
	50	16.87	16.29
	100	17.22	16.24
	1000	17.74	16.64
	2000	17.99	16.72
	5000	18.2	16.81
	10000	18.5	16.93
493	2	16.48	16.06
	50	16.87	16.29
	100	17.22	16.24
	1000	17.74	16.64
	2000	17.99	16.72
	5000	18.2	16.81
	10000	18.5	16.93
504	2	16.48	16.06
	50	16.87	16.29
	100	17.22	16.24
	1000	17.74	16.64
	2000	17.99	16.72
	5000	18.2	16.81
	10000	18.5	16.93

شکل ۳ نشان دهندهٔ نتایج محاسبه شده ریسک روگذری سد مارون، برای سطح اولیه آب مخزن ۵۰۴ متر می‌باشد که به عنوان نمونه آورده شده و مقادیر ریسک آن و سایر سطوح اولیه سطح آب در جدول ۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهد که روند نمودارهای ریسک محاسبه شده با این دو روش تقریباً یکسان می‌باشد. تفاوت در مقادیر ریسک در دو روش مونت کارلو و مربع لاتین به جهت متفاوت بودن روش تولید نمونه در آن‌ها می‌باشد و همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر ریسک با روش مربع لاتین در دوره بازگشت‌های بالا مقادیر بیشتری نسبت به روش مونت کارلو نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤ – ریسک روگذری برای ارتفاع‌های مختلف تراز اولیه سطح آب و دوره بازگشت‌های مختلف

Table 4 – Overtopping risk for various initial water levels and return periods

Return Period (years) دوره بازگشت (سال)	H0 سطح اولیه مخزن Initial Reservoir Level	MCS مونت کارلو	LHS مربع لاتین
2		0	0.001
50		0.005	0.006
100		1.00E-02	0.012
1000	470	0.028	0.03
2000		0.032	0.04
5000		0.049	0.056
10000		0.087	0.092
2		0.001	0.002
50		0.009	0.01
100		0.02	0.024
1000	478	0.043	0.052
2000		0.056	0.062
5000		0.083	0.096
10000		0.13	0.136
2		0.006	0.007
50		0.021	0.024
100		0.038	0.046
1000	485	0.085	0.098
2000		0.118	0.123
5000		0.145	0.156
10000		0.205	0.218
2		0.013	0.018
50		0.055	0.058
100		0.093	0.097
1000	493	0.17	0.176
2000		0.207	0.223
5000		0.256	0.266
10000		0.328	0.345
2		0.075	0.078
50		0.161	0.166
100		0.24	0.247
1000	504	0.368	0.38
2000		0.418	0.439
5000		0.475	0.509
10000		0.572	0.586

آنالیز حساسیت روش‌های ارزیابی ریسک روگذری سد

جهت بررسی نحوهٔ تغییرات ریسک روگذری با افزایش سطح اولیه آب مخزن و دوره بازگشت و نیز مقایسه نتایج به‌دست آمده از نسبت زیر استفاده گردید:

$$\omega = Risk_{T,H0} / Risk_{T=2,H0=470} \qquad (۱۰)$$

که $Risk_{T,H0}$ ریسک روگذری در هر دوره بازگشت و هر سطح اولیه آب می‌باشد و $Risk_{T=2,H0=470}$ ریسک روگذری در دوره بازگشت ۲ سال و سطح اولیه آب ۴۷۰ متر است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش دوره بازگشت در مقایسه با افزایش سطح اولیه آب در افزایش مقدار ریسک مهم‌تر است (جدول ۴). نسبت ریسک‌های روگذری در $T = 2 - 10000$ و $H_0 = 470 - 504$ برای روش مونت کارلو به عنوان نمونه در شکل ۴ نشان داده شده است.

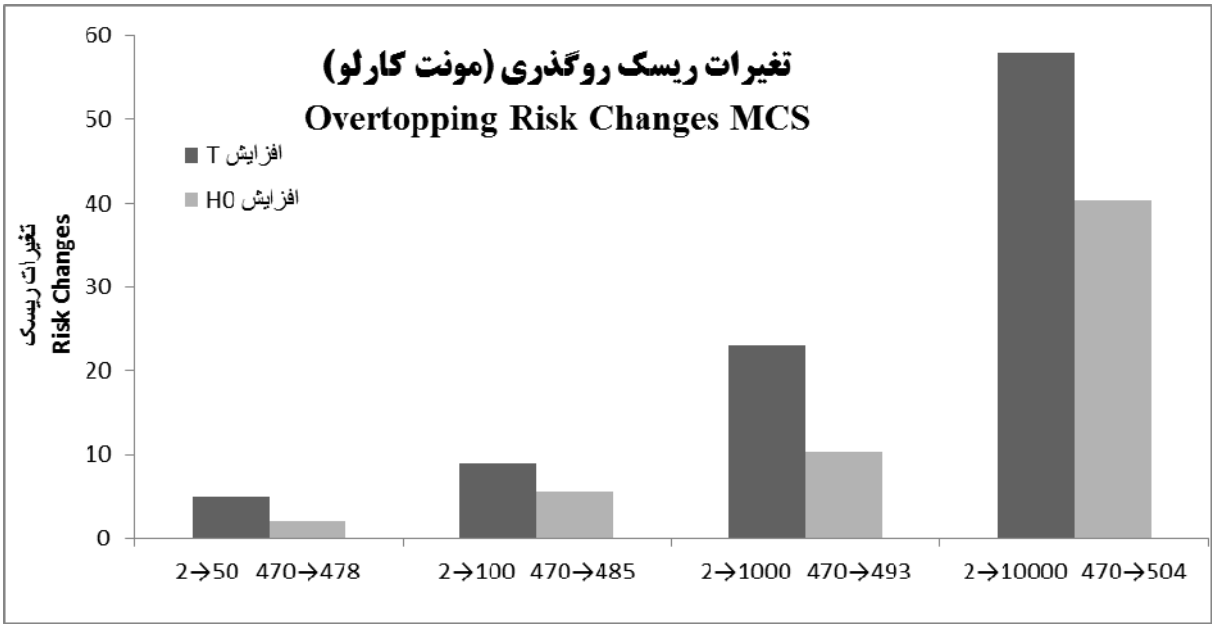
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- نسبت ریسک روگذری نسبت به ریسک در T = 2 و H0=470

Table 5 – Ratio of overtopping risk related to risk in T = 2 & H0=470

دوره بازگشت T Rerurn period T سطح اولیه مخزن H0 Initial Reservoir Level	Method روش	2→2	2→50	2→100	2→1000	2→2000	2→5000	2→10000
470→470		1	5	9	23	31.67	42.36	58
470→478		2	7	15.6	37	46.67	58.34	79
470→485	MCS	5.6	13.6	28.6	55.6	70.34	85.67	112.6
470→493		10.3	32.6	54	95.6	113	127.34	152
470→504		40.3	83	117.3	165	184.67	200.34	224.3
470→470		1	5.34	11	25.3	35.34	43	60.3
470→478		2.3	8.6	18	39.3	49.67	60.67	84
470→485	LHS	5.3	17.3	32.6	58.3	74.67	89	114.6
470→493		13.3	37.6	57.6	97	111.34	133.34	160.3
470→504		41.6	87.3	119.6	173	189.67	205	233.3



شکل ٤- تغییرات ریسک روگذری با افزایش دوره بازگشت و سطح اولیه مخزن (روش مونت کارلو)

Figure 4 – Overtopping risk changes with increasing return period and initial water level of the reservoir (Monte Carlo Method)

نتیجه‌گیری کلی

آنالیز ریسک و عدم قطعیت می‌تواند برای محاسبه احتمال شکست سد در اثر روگذری و زلزله و ... بکار گرفته شود. این مقاله فرآیند ارزیابی ریسک روگذری در اثر سیل و آنالیز عدم قطعیت ارتفاع آب خروجی سد مارون را نشان می‌دهد.

در روش‌های نمونه‌گیری، روش مونت کارلو رایج‌ترین روش است اما شاخص اعتماد پذیری آن فقط زمانی که اندازه نمونه‌ها زیاد شود شروع به همگرای و پایدار شدن می‌کند. روش مربع لاتین تابع توزیع تجمعی داده‌ها را به چند منطقه فرعی طبقه بندی می‌کند که از نظر برنامه نویسی پیچیده‌تر از روش مونت کارلو بوده اما کارایی آن از نظر محاسباتی بیشتر است. در کل ممکن است دقت نتایج به‌دست آمده روش‌های نمونه‌گیری بسته به مورد متفاوت باشد. انتخاب و استفاده از روش‌های عدم قطعیت به دسترس بودن اطلاعات پارامترهای مدل و نیز پیچیدگی آن بستگی دارد.

نتایج نشان دهنده اینست که عدم قطعیت ارتفاع آب سد مارون قابل توجه بوده لذا ریسک روگذری در این سد مهم می‌باشد. روش مونت کارلو مقادیر بیشتری در آنالیز عدم قطعیت نسبت به روش مربع لاتین نشان می‌دهد ولی ریسک روگذری محاسبه شده در آن کمتر است. افزایش دوره بازگشت موثرتر از افزایش سطح اولیه آب در

www.SID.ir

Archive of SID

تغییرات ریسک می‌باشد که نشان دهندهٔ اهمیت این پارامتر می‌باشد. همچنین مقدار ریسک در ارتفاع‌های بالای سطح اولیه آب بیشتر می‌باشد که جهت کاهش ریسک پایین نگه داشتن سطح آب پشت سد مورد نظر است اما این امر از نظر اقتصادی بصرفه نیست لذا بایستی ارتفاع بهینه سطح آب در مخزن مشخص شود.

منابع

1- Cheng S.T. 1982. Overtopping Risk Evaluation for an Existing Dam. PhD Thesis, University of Illinois at Urbana Champaign, USA. p. 197.
2- Goodarzi E., Mirzaei L., Shui T., and Ziaei M. 2011. Evaluation Dam Overtopping Risk Based on Univariate and Bivariate Flood Frequency Analysis. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 8: 9757-9796.
3- Kuo J. T., Yen B.C., Hsu Y. C., and Lin H. F. 2007. Risk Analysis for Overtopping-Feitsui Reservoir as a Case Study. Journal of Hydraulic Enginieering, ASCE.
4- Melching C.S. 1995. Reliability Estimation. Computer Models of Watershed Hydrology, V. P. Singh, ed., Chap. 3, Water Resources Publication, Littleton, Colo., 69-118.
5- Kwon H.H., Moon Y. 2006. Improvement of Overtopping Risk Evaluations using Probabilistic Concepts for Existing Dams. Stochastic Environmental Research Risk Assessment, 20(4):223-237.
6- Tung Y.K., and Yen B.C. 2005. Hydro systems Engineering Reliability Assessment And Risk Analysis, McGraw-Hill Professional, New York.
7- Zhao B., Tung Y.K., Yeh K.C., and Yang J.C. 1997. Reliability Analysis of Hydraulic Structures Considering Unit Hydrograph Uncertainty. Stochastic Hydrology and Hydraulic, 11(1): 33-50.
8- Mansouri N., and Kabiri Samani A. 2012. Risk Based Analysis Of Earth Overtopping (Vanak Dam As A Case Study). 9th International Congress on Civil Engineering, 8-10May. 2012. Isfahan University of Technology, Iran (in persian)

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 3, Jul.-Agu. 2015, p. 517-527

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۴، ص. ۵۲۷-۵۱۷

Uncertainty Analysis and Overtopping Risk Evaluation of Maroon Dam withMonte Carlo and Latin Hypercube Methods

J. M. Vali Samani[1]- H. Radmehr[2]- M. Delavar[3*]

Received: 16-12-2013
Accepted: 06-12-2014

Introduction: The greatest part of constructed dams belongs to embankment dams and there are many examples of their failures throughout history. About one-third of the world's dam failures have been caused by flood overtopping, which indicates that flood overtopping is an important factor affecting reservoir projects' safety. Moreover, because of a poor understanding of the randomness of floods, reservoir water levels during flood seasons are often lowered artificially in order to avoid overtopping and protect the lives and property of downstream residents. So, estimation of dam overtopping risk with regard to uncertainties is more important than achieving the dam's safety. This study presents the procedure for risk evaluation of dam overtopping due to various uncertaintiess in inflows and reservoir initial condition.

Materials and Methods: This study aims to present a practical approach and compare the different uncertainty analysis methods in the evaluation of dam overtopping risk due to flood. For this purpose, Monte Carlo simulation and Latin hypercube sampling methods were used to calculate the overtopping risk, evaluate the uncertainty, and calculate the highest water level during different flood events. To assess these methods from a practical point of view, the Maroon dam was chosen for the case study. Figure. 1 indicates the work procedure, including three parts: 1) Identification and evaluation of effective factors on flood routing and dam overtopping, 2) Data collection and analysis for reservoir routing and uncertainty analysis, 3) Uncertainty and risk analysis.

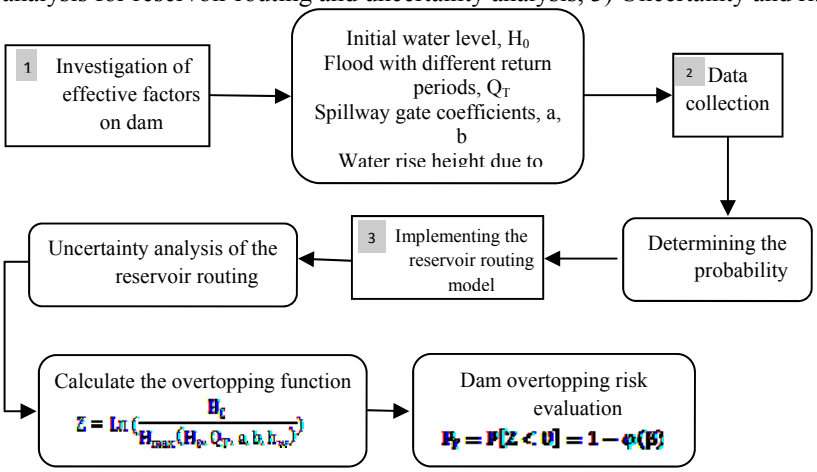


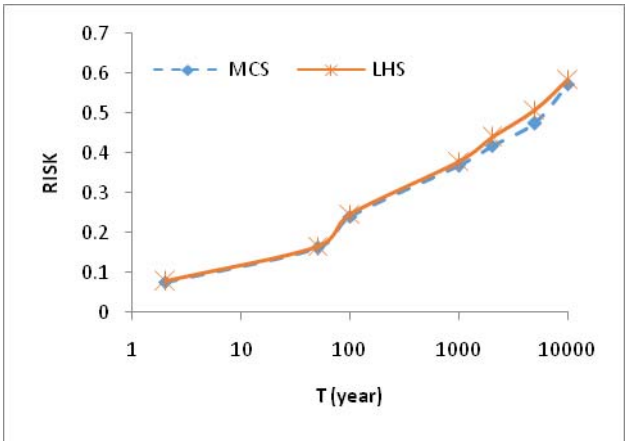
Figure 1- Diagram of dam overtopping risk evaluation

Results and Discussion: Figure 2 shows the results of the computed overtopping risks for the Maroon Dam without considering the wind effect, for the initial water level of 504 m as an example. As it is shown in Figure. 2, the trends of the risk curves computed by the different uncertainty analysis methods are similar. As it can be seen, the risk curves computed by the LHS are slightly higher than those curves computed by the MCS method. Also as it is observed, the differences between risk values of the two methods increase in longer return periods. Variations of overtopping risk with increasing the initial water level and return period related to overtopping risk in the 2-year return period for the initial water level of 470 m are shown in Table1. The results show that elongation of return period plays a more important role in increasing the risk, than the increase of initial water level.

1, 2, 3- Professor, MSc. Graduated of Water Structure and Assistant Professor of Water Resources Engineering. Department, Tarbiat Modares University, Respectiely
(*-Corresponding Author Email: m.delavar@modares.ac.ir)

www.SID.ir

Archive of SID



2ndHD = 470

T	Method	2→2	2→50	2→100	2→1000	2→5000	2→10000
470→470		1	5	9	23	42.36	58
470→478		2	7	15.6	37	58.34	79
470→485	MCS	5.6	13.6	28.6	55.6	85.67	112.6
470→493		10.3	32.6	54	95.6	127.34	152
470→504		40.3	83	117.3	165	200.34	224.3
470→470		1	5.34	11	25.3	43	60.3
470→478		2.3	8.6	18	39.3	60.67	84
470→485	LHS	5.3	17.3	32.6	58.3	89	114.6
470→493		13.3	37.6	57.6	97	133.34	160.3
470→504		41.6	87.3	119.6	173	205	233.3

Figure 2- Overtopping risk in the initial water level of 504 m, without considering the wind effect

Conclusions: This study applies MCS and LHS methods to analyze the uncertainty and evaluate the dam overtopping risk consideringthe uncertainties in input variables, such as quintile of flood peak discharge, initial levels of water and spill coefficients. The results show that the uncertainty of water level calculated by MCS is higher than that calculated by LHS. In addition, the overtopping risk calculated by LHS is higher than that calculated by MCS. Furthermore, the increase of inflow rate influences the variations of the overtopping risk more than the increase of the return period. In addition, evaluation of the results indicates that the overtopping risk is an important issue in the Maroon dam. So, a comprehensiverisk analysis procedure in conjunction with uncertainty gives very important information for decision makers to make better judgments in dam operation based on uncertainty in inputs.

Keywords: Latin Hypercube, Monte Carlo, Overtopping Risk, Uncertainty

www.SID.ir