

تحلیل ریسک روگذری سد با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی

احمد شرافتی¹، باقر ذهبیون^{2*}

1- دانشجوی دکتری عمران- مهندسی آب، دانشگاه علم و صنعت ایران

2- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

* تهران، صندوق پستی، 16765-163

bagher@iust.ac.ir

چکیده - برآورد صحیح ریسک روگذری سد با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های متغیرهای تصادفی مؤثر بر آن یکی از مباحث مهم در طراحی سدهای خاکی است. از این رو صرف‌نظر کردن از عدم قطعیت‌های متغیرهای تصادفی باعث برآورد کم و یا زیاد ارتفاع سد می‌شود. عدم قطعیت بارش و سیلاب از عوامل مؤثر در تحلیل ریسک روگذری سد هستند. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های RPG^1 و $HEC1$ ، سیلاب با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های بارش و پارامترهای مدل بارش-رواناب تولید شده است. همچنین با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو تحلیل ریسک روگذری سد جامیشان انجام شده است. بر اساس گزینه‌های تعریف شده، اثرات ابعاد سرریز، ارتفاع سد و تراز نرمال بر ریسک روگذری بررسی شده است. نتایج نشان داد که متوسط تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای یک واحد تغییرات واحد عرض سرریز در حدود 0/03 است. همچنین متوسط تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای یک واحد تغییرات تراز نرمال بهره‌برداری و تاج سد به ترتیب برابر 3/1 و 1/56 درصد است. از این رو در مقایسه دو عامل هیدرولیکی مؤثر بر لبریز شدن سد جامیشان، حجم کنترل سیلاب بر ریسک شکست سد تأثیر بیشتری نسبت به آب‌گذری سرریز دارد.

کلیدواژگان: ریسک، روگذری، عدم قطعیت، جامیشان، RPG .

1- مقدمه

بسیاری از کشورها با استفاده از روابطی غیر تصادفی²، عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در تعیین ارتفاع سد لحاظ نمی‌شود (Kwon and Moon, 2006)، که این امر بعضاً منجر به غیراقتصادی شدن پروژه می‌شود. از این رو صرف‌نظر کردن از این عدم قطعیت‌ها باعث برآورد کم³ یا زیاد⁴ ارتفاع سد می‌شود. لذا یکی از مباحث مهم در تحقیقات اخیر محققان، کمی کردن عدم

بر اساس آمار کمی بین المللی سدهای بزرگ (1973 ICOLD)، 35 درصد تخریب سدها در جهان بر اثر روگذری آنها به وقوع پیوسته است. از این رو در تعیین ارتفاع سد و ظرفیت آب‌گذری سیستم تخلیه سیلاب می‌بایست فاکتورهای اطمینان برای جلوگیری از تخریب سد لحاظ شود (Kwon and Moon, 2006). البته در

2. Deterministic
3. Underestimate
4. Overestimate

1. Rain Pattern Generator

قطعیت‌های مذکور و اعمال آنها در برآورد ریسک روگذری و در نهایت افزایش اعتمادپذیری¹ سد است. در زمینه تحلیل ریسک روگذری سد و ریسک شکست سازه‌های هیدرولیکی تحقیقات متعددی انجام شده است. Zhao et al. (1997)، ریسک روگذری یک سد تأخیری را با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ناشی از سیلاب ورودی به مخزن سد با در نظر گرفتن اثر روندیابی بررسی کردند. Thompson et al. (1997) ریسک شکست سد تحت تأثیر عدم قطعیت‌های هیدرولیکی (سیستم تخلیه سیلاب) و عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی ناشی از مدل بارش-رواناب را با استفاده از روش مونت‌کارلو بررسی کردند. Kwon and Moon. (2006) ریسک روگذری آب از سد (ریسک هیدرولوژیکی) را بررسی کردند. در آن تحقیق عوامل مهم در تحلیل ریسک، عدم قطعیت مقادیر پارامترهای تصادفی، نوع روش تحلیل عدم قطعیت (LHS, MCS, ...) و نوع توزیع احتمالاتی پارامترهای تصادفی فرض شده بود. Kuo et al. (2007) با تحلیل اعتمادپذیری شرطی، ریسک روگذری سد فیتسوهی² را بررسی کردند. شروط تحلیل اعتمادپذیری، مقدار دوره بازگشت سیلاب طراحی و تعداد درجه‌های غیرفعال بودند. Yenigun and Erkek (2007) یک برنامه کامپیوتری به نام DAM-RISK را معرفی کردند. این برنامه قادر به تحلیل ریسک تعیین ارتفاع سد با استفاده از روش‌های MFOSM و AFOSM است. این برنامه قابلیت بررسی ابعاد سرریز براساس سطح معین ریسک را دارد. Paik (2008) یک رابطه تحلیلی برای روندیابی در یک مخزن با سطح ثابت در ترازهای مختلف را ارائه داد. با استفاده از رابطه مذکور، تحلیل ریسک هیدرولوژیکی برای یک سد تأخیری (احتمال افزون بودن پیک دبی خروجی سد از دبی مجاز پهنه‌بندی سیلاب در پایین دست) را انجام داد. در آن تحقیق تحلیل ریسک با استفاده

از روشهای MFOSM و AFOSM انجام گردید. Kuo et al. (2008) با در نظر گرفتن عدم کارکرد دریاچه‌ها در محاسبه ریسک روگذری سد، بازه زمانی بهینه بازدید سد شیهمن³ را تعیین کردند. Hsu et al. (2011) بر اساس یک روش آماری توزیع احتمالاتی روگذری سد با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های پیک سیلاب و موج ناشی از باد را ارائه کردند. در آن تحقیق با استفاده از آنالیز فراوانی پیک سیلاب و ارتفاع موج، احتمال روگذری سد شیهمن در تایوان محاسبه شد. Goodarzi et al. (2011) با استفاده از تحلیل فراوانی و توزیع احتمالاتی گامبل لاجستیک⁴ دومتغیره و شبیه‌سازی مونت‌کارلو، احتمال روگذری سد درودزن در جنوب ایران را بررسی کردند. در آن تحقیق متغیرهای تصادفی، پیک سیلاب، تراز اولیه مخزن و ضریب آب‌گذری سرریز بودند.

Lee and Mays (1986) عدم قطعیت هیدرولیکی در محاسبه ظرفیت یک سیل‌بند را بررسی کردند. برای تحلیل عدم قطعیت هیدرولیکی ظرفیت سیل‌بند از روش MFOSM استفاده شد. Afshar and Marino (1990) برای تعیین ابعاد بهینه سرریز از مفهوم ریسک پویا استفاده کردند. در آن تحقیق از عدم قطعیت‌های ذاتی و پارامتری سیلاب که به ترتیب ناشی از سرشت سیلاب و تعداد داده در نمونه می‌باشد، برای تحلیل ریسک شکست استفاده شد. Afshar et al. (1990) تعیین ابعاد بهینه سیستم انحراف را با در نظر گرفتن ریسک شکست سیستم انحراف تحت اثر عدم قطعیت‌های ذاتی و پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی بررسی کردند.

Gui et al. (1998) ریسک روگذری از سیل بند با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های ذاتی تراز سیلابی و ارتفاع امواج ناشی از باد را بررسی کردند. Gui et al. (1998) برای تحلیل اعتمادپذیری سازه سیل‌بند به بررسی مدل‌های اعتمادپذیری پویا با استفاده از توزیع‌های احتمالاتی

1. Reliability

2. Feitsui

3. Shihmen

4. Logistic

قطعیت‌های بارش و پارامترهای مدل بارش - رواناب تولید شده است. در ادامه‌ی شبیه‌سازی مونت‌کارلو و پس از تولید تصادفی سیلاب، هر واقعه سیلاب وارد مخزن سد می‌گردد. در این تحقیق سد جامیشان به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. در این تحقیق روندیابی سیلاب با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های هیدرولیکی آب‌گذری سیستم تخلیه سیلاب انجام شده است. پس از اتمام روندیابی سیلاب و محاسبه تراز سیلابی در هر شبیه‌سازی مونت‌کارلو، تراز سیلابی به عنوان بارگذاری سیستم (L) با ارتفاع سد یعنی مقاومت سیستم (R) مقایسه شده و در حالت $L > R$ ، یک شکست¹ رخ داده است. از این رو بر اساس تابع عملکرد $W = L - R$ و تعداد زیادی شبیه‌سازی مونت‌کارلو احتمال ریسک شکست سد $P(W > 0)$ و یا اعتماد پذیری سد $P(W \leq 0)$ محاسبه شده است.

2-1-1 مدل RPG

مدل RPG یک مدل آماری مبتنی بر شبیه‌سازی مونت کارلو است. در این مدل سه متغیر مهم در تولید الگوی توزیع زمانی بارش عبارت از عمق بارش، مدت بارش و نوع الگوی بارش هستند (شرافتی و ذهبیون، 1391). در هر شبیه‌سازی مونت کارلو بر اساس عمق بارش تولید شده بر اساس آنالیز فراوانی، مدت بارش، نوع بارش (نوع الگوی توزیع زمانی بارش) و در نهایت الگوی زمانی بارش به صورت تصادفی تولید می‌شود. الگوریتم تولید الگوهای بارش در مدل RPG در شکل 1 ارائه شده است (شرافتی و ذهبیون، 1391).

2-2-1 مدل HEC1

مدل بارش - رواناب مورد استفاده در این تحقیق مدل

دوجمله‌ای و پواسون پرداختند. (Yanmaz, 2000). با استفاده از تحلیل اعتمادپذیری پویا که مبتنی بر روش مقاومت - بارگذاری با توزیع پواسون است، اعتمادپذیری سیستم انحراف را بررسی کردند. (Lian and Yen, 2003) با استفاده از 5 روش تحلیل ریسک احتمال عدم کفایت ظرفیت یک کالورت برای عبور سیلاب را بررسی کردند. پنج روش عبارت از روش‌های MFOSM و AFOSM، LHS، PPE و شبیه‌سازی مونت‌کارلو بودند. (Afshar et al., 2009) برای تعیین ابعاد بهینه سیستم انحراف آب از تلفیق الگوریتم ژنتیک و ریسک شکست سازه استفاده کردند.

هدف اصلی در این تحقیق تحلیل ریسک روگذری سد با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی است. در این مورد، روش اصلی برای تحلیل ریسک روگذری سد استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو است. در هر شبیه‌سازی متغیرهای تصادفی مرتبط با ریسک روگذری سد، با استفاده از روش مونت‌کارلو تولید شده‌اند. در این تحقیق سعی شده است، کلیه عوامل مؤثر در ایجاد تراز سیلابی آب در مخزن سد شناسایی و عدم قطعیت آنها در برآورد ریسک روگذری سد لحاظ شود.

2-2-2 مواد و روش‌ها

برای تحلیل ریسک روگذری سد، در ابتدا عامل اصلی و مولد سیلاب یعنی بارش بررسی شده است. به منظور کمی کردن رفتار تصادفی بارش از مدل تولید کننده تصادفی وقایع بارش به نام RPG استفاده شده است (Sharafati and Zahabiyoun, 2012). این مدل می‌تواند وقایع بارش را با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مدت و الگوی بارش تولید کند. همچنین به منظور تولید سیلاب از مدل بارش - رواناب HEC-1 استفاده شده است. با اجرای مدل RPG و تولید تصادفی پارامترهای مدل HEC-1 و اجرای آن، سیلاب با در نظر گرفتن عدم

کاهش دبی و زمان تاخیر می‌باشند. پارامترهای مذکور در جدول 1 ارائه شده‌اند.

مدل HEC1 بارش را بر اساس رابطه (1) تصحیح می‌کند.

$$\begin{cases} r(t) = 0 & , p(t) \leq IA \\ r(t) = r_0(t) & , p(t) > IA \end{cases} \quad (1)$$

در رابطه فوق $P(t)$ بارش تجمعی، $r(t)$ شدت بارش مازاد، t زمان بعد از شروع بارش و IA تلفات اولیه می‌باشند. در حالتی که بارش تجمعی از تلفات اولیه بیشتر است، شدت بارش مازاد برابر $r_0(t)$ است. در مدل HEC1 برای محاسبه تلفات نفوذ با در نظر گرفتن مدل تلفات گرین و امپ از رابطه (2) استفاده می‌شود.

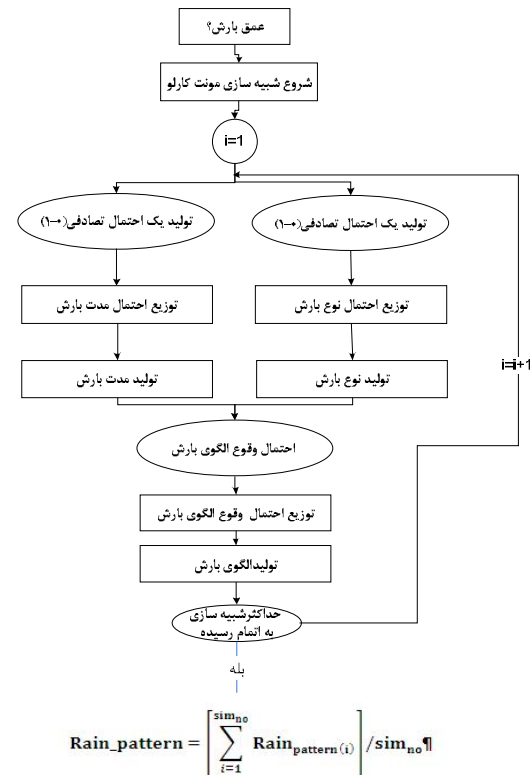
$$\begin{cases} F(t) = \frac{PSIF \times DTHETA}{\left[\frac{f(t)}{XKSAT - 1} \right]} & , f(t) > XKSAT \\ f(t) = r(t) & , f(t) \leq XKSAT \\ f(t) = dF(t)/dt \end{cases} \quad (2)$$

در رابطه فوق $F(t)$ نفوذ تجمعی، $f(t)$ نرخ نفوذ، PSIF مکش مرطوب، DTHETA کمبود رطوبت و XKSAT هدایت هیدرولیکی در شرایط اشباع است.

در این تحقیق متغیرهای مؤثر بر بارش به عنوان متغیرهای تصادفی ورودی مدل HEC1 انتخاب شده‌اند. عمق بارش، مدت بارش و الگوی زمانی بارش با استفاده از مدل RPG تولید شده و به عنوان متغیرهای ورودی مدل HEC1 در نظر گرفته می‌شوند. اولین مرحله در تولید تصادفی سیلاب، استخراج توزیع چگالی احتمال پارامترهای مدل HEC1 است.

با توجه به خاصیت فیزیکی پارامترهای مدل HEC1 که محدود هستند، از توزیع احتمالاتی مثلثی مطابق رابطه (3) استفاده شده است (Dorp and Kotz, 2002). مقادیر پارامترهای توزیع احتمالاتی مثلثی با استفاده از واسنجی ده واقعه مشاهداتی تعیین شد. مقایسه هیدروگرافهای شبیه‌سازی و مشاهداتی در مرحله واسنجی مدل HEC1 در بازه‌های زمانی متفاوت در شکل 2 ارائه شده است.

HEC1 است (USCE, 1998). این مدل از نوع توده ای¹ و برای شبیه‌سازی جریان‌های تک واقعه² تهیه شده است.



$$\text{Rain_pattern} = \left[\sum_{i=1}^{\text{sim}_{no}} \text{Rain_pattern}(i) \right] / \text{sim}_{no}$$

شکل 1 الگوریتم تولید الگوهای بارش در مدل RPG

(شرافتی و ذهبیون، 1391)

در این تحقیق از معادلات تلفات گرین آمپ، جریان پایه نمایی و هیدروگراف واحد مصنوعی SCS برای شبیه‌سازی رواناب استفاده شده است. پارامترهای انتخاب شده از مدل HEC1 به منظور شبیه‌سازی سیلاب عبارت از تلفات اولیه⁵، کمبود رطوبت⁶، مکش مرطوب⁷، هدایت هیدرولیکی⁸، درصد سطح نفوذناپذیر، دبی رودخانه در ابتدای واقعه، دبی حدی در شروع شاخه نزولی، ضریب

1. Lump
2. Single event
5. Initial loss
6. Moisture deficit
7. Wetting front suction
8. Hydraulic conductivity

جدول 1 پارامترهای مورد استفاده در شبیه‌سازی رواناب در مدل HEC1

پارامتر	حروف اختصاری در مدل HEC1	واحد	تعریف
IA	LG(1)	mm	تلفات اولیه
DTHETA	LG(2)	-	کمبود رطوبت
PSIF	LG(3)	mm	مکش مرطوب
XKSAT	LG(4)	mm/hr	هدایت هیدرولیکی
RTIMP	LG(5)	%	درصد سطح نفوذناپذیر
STRTQ	BF(1)	cms	دبی رودخانه در ابتدای واقعه
QRCSN	BF(2)	cms	دبی حدی در شروع شاخه نزولی
RTIOR	BF(3)	-	ضریب کاهش دبی
TLAG	UD	hr	زمان تاخیر

استفاده از توزیع احتمالاتی استخراج شده برای پارامترهای مذکور.

- اجرای مدل HEC1 و ذخیره سیلاب خروجی

جدول 2 مشخصات توزیع احتمالاتی پارامترهای مدل HEC1

پارامترهای مدل HEC1	واحد	پارامترهای توزیع احتمالاتی مثلثی		
		a	b	c
تلفات اولیه	mm	0	1/35	0/5
کمبود رطوبت	-	0/06	0/45	0/17
مکش مرطوب	mm	200	2000	440
هدایت هیدرولیکی	mm/hr	0/07	3/5	0/07
درصد سطح نفوذناپذیر	%	1/8	12	7/65
زمان تاخیر	min	150	900	463
دبی رودخانه در ابتدای واقعه	cms	0/5	19	3/55
دبی حدی در شروع شاخه نزولی	cms	2/5	35	19/38
ضریب کاهش دبی	-	1/01	7/56	1/19

- کنترل تعداد شبیه‌سازیهای انجام شده با تعداد شبیه‌سازی‌های مدنظر در مونت کارلو
الگوریتم تولید هیدروگراف سیلاب در شکل 3 ارائه شده است.

مشخصات توزیع احتمالاتی پارامترهای مدل HEC 1 در جدول 2 ارائه شده است.

$$f(x|a,b,c) = \begin{cases} 0 & \text{for } x < a \\ \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)} & \text{for } a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)} & \text{for } c < x \leq b \\ 0 & \text{for } b < x \end{cases} \quad (3)$$

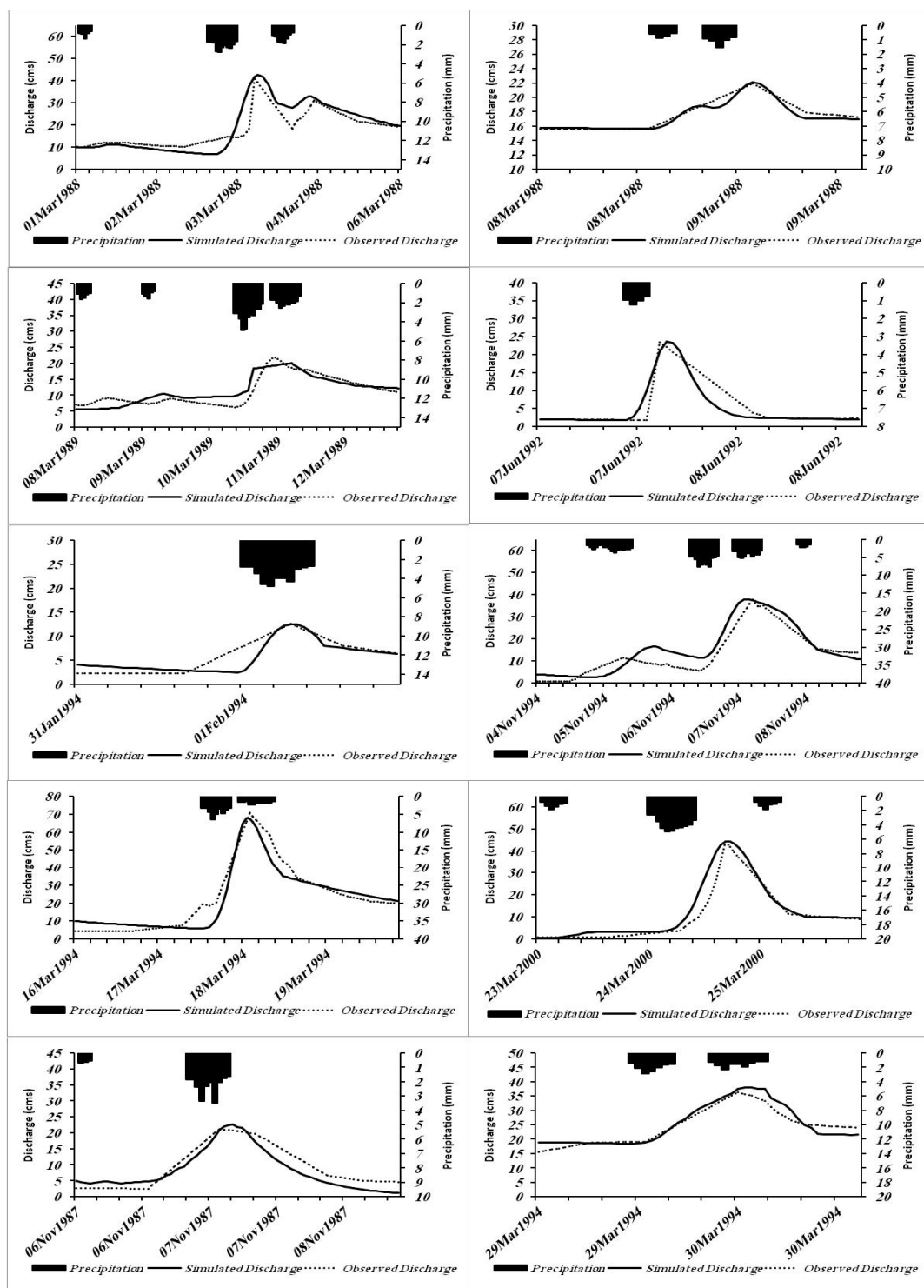
که در رابطه فوق a ، b و c پارامترهای توزیع احتمالاتی مثلثی هستند. همچنین x متغیر تصادفی است. پس از تعیین توزیع احتمالاتی پارامترهای تصادفی و امکان تولید وقایع بارش توسط مدل RPG، با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو وقایع سیلاب تولید شد.

2-3- شبیه‌سازی مدل بارش - رواناب

مراحل تولید هیدروگراف سیلاب به شرح ذیل است: (شرافتی و ذهیبون، 1391).

- تولید متغیرهای تصادفی مدل بارش - رواناب شامل عمق بارش، مدت بارش و الگوی زمانی بارش توسط مدل RPG.

- تولید پارامترهای تصادفی مدل بارش - رواناب شامل پارامترهای تلفات، جریان پایه و هیدروگراف واحد با



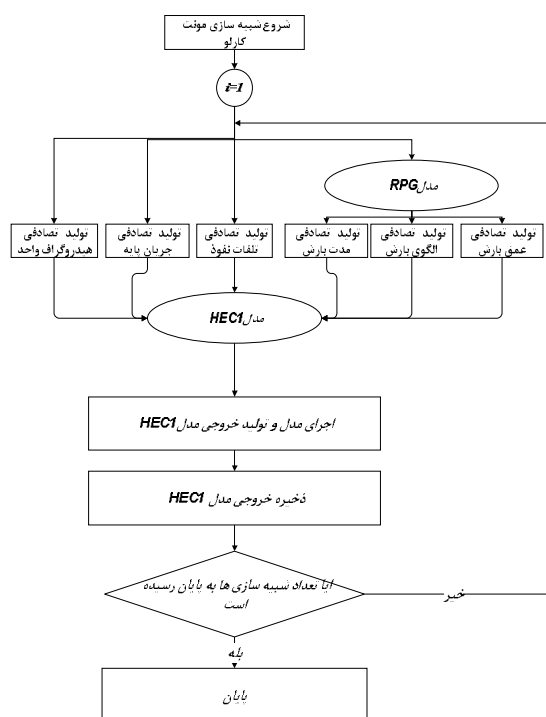
شکل 2 مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی در مرحله واسنجی مدل HEC 1

به منظور کنترل صحت سیلاب های تولید شده توسط توزیع مثلی، چهار واقعه سیلاب از حوضه سد جامیشان انتخاب شد. مشخصات وقایع انتخابی در جدول 3 ارایه شده است.

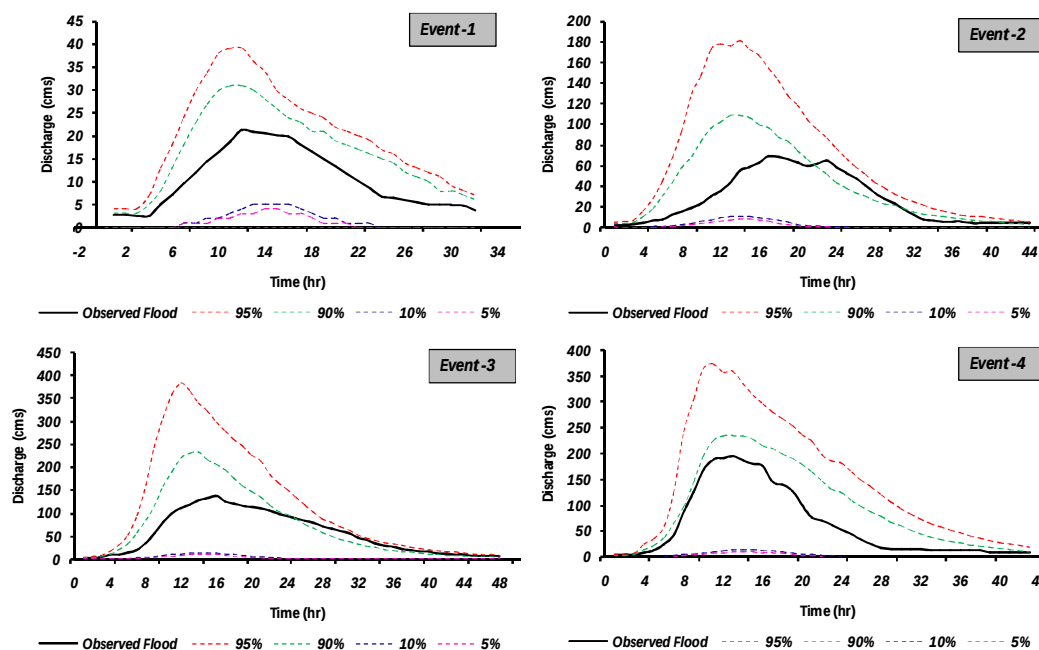
بر اساس عمق بارش مشاهداتی و الگوریتم اشاره شده در شکل 3، تعداد 1000 سیلاب متناظر با هر واقعه بارش تولید شده است. هیدروگراف سیلاب های تولیدی متناظر با 4 واقعه مشاهداتی در شکل 4 ارایه شده است.

همچنین مقادیر پیک و حجم سیلاب مشاهداتی با باند معنی دار مقادیر تولیدی مقایسه شده و نتایج در شکل های 5 و 6 ارایه شده است.

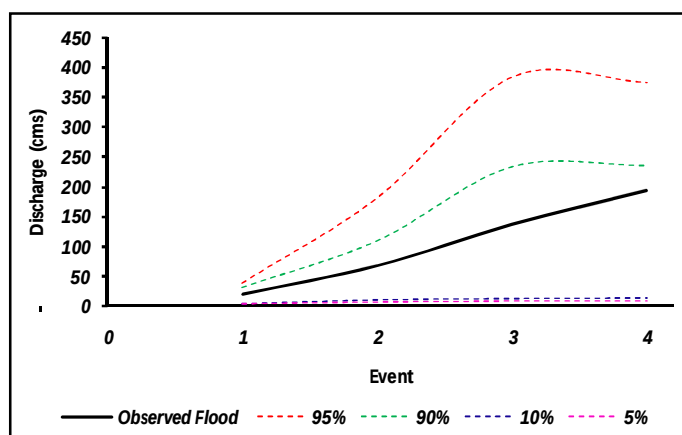
با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل های 4 تا 6 مشخص شد که کلیه مقادیر حجم، پیک سیلاب های مشاهداتی در باند معنی دار سیلاب های تولیدی قرار دارند.



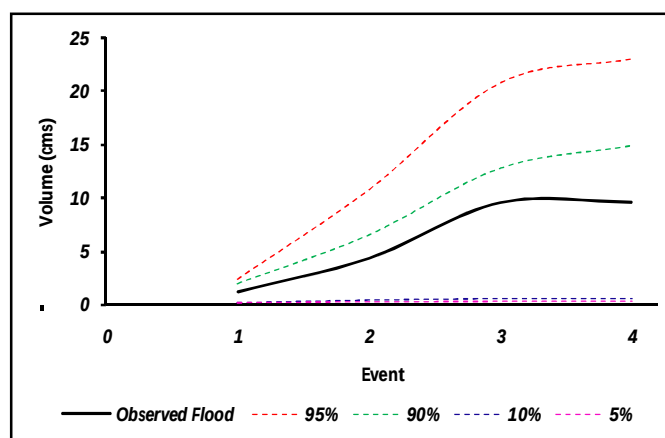
شکل 3 شبیه سازی تصادفی مدل HEC1 توسط فرایند مونٹ کارلو



شکل 4 مقایسه هیدروگراف سیلاب های تولیدی و سیلاب های مشاهداتی



شکل 5 مقایسه باند معنی دار پیک سیلاب‌های تولیدی و سیلاب‌های مشاهداتی



شکل 6 مقایسه باند معنی دار حجم سیلاب‌های تولیدی و سیلاب‌های مشاهداتی

روگذری سد را دارد.

جدول 3 مشخصات وقایع مشاهداتی سیلاب و بارش

پیک سیلاب (مترمکعب بر ثانیه)	عمق بارش (میلی متر)	واقعه
21/30	24/30	1
69	43	2
138	53	3
195	57/50	4

2-4- منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی کاربردی روش تحقیق از داده‌های حوضه آبریز سد جامیشان با مساحت 524/07 کیلومتر مربع استفاده شده است. این حوضه آبریز از نظر تقسیمات کشوری جزء استان کرمانشاه و بخشی از سرشاخه‌های حوضه رودخانه سیمره محسوب می‌شود. موقعیت جغرافیایی آن حد فاصل 34° - 32° تا 34° - 53° عرض شمالی و 47° - 22° تا 47° - 52° طول شرقی است. بلندترین نقطه آن 3000 متر از سطح دریا، متوسط

از این رو نتایج حاصل مؤید آن است که روش‌شناسی تولید سیلاب و انتخاب توزیع مثلی برای تولید پارامترهای بارش - رواناب در این تحقیق با دقتی مناسب امکان تولید هیدروگراف سیلاب به منظور تحلیل ریسک

3-2- روندیابی سیلاب و عدم قطعیت سیستم تخلیه

سیلاب

پس از تولید هیدروگراف سیلاب با استفاده از رابطه روندیابی پالس، رابطه (4)، تراز آب در مخزن و سیلاب خروجی از سد محاسبه شد.

$$I_{ave} - Q_{ave} = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_{t+\Delta t} - S_t}{\Delta t} \quad (4)$$

در رابطه فوق I_{ave} ، متوسط دبی ورودی به مخزن سد، Q_{ave} ، ظرفیت متوسط آب‌گذری سیستم تخلیه سیلاب، ΔS تغییرات حجم مخزن و Δt گام زمانی روندیابی هستند.

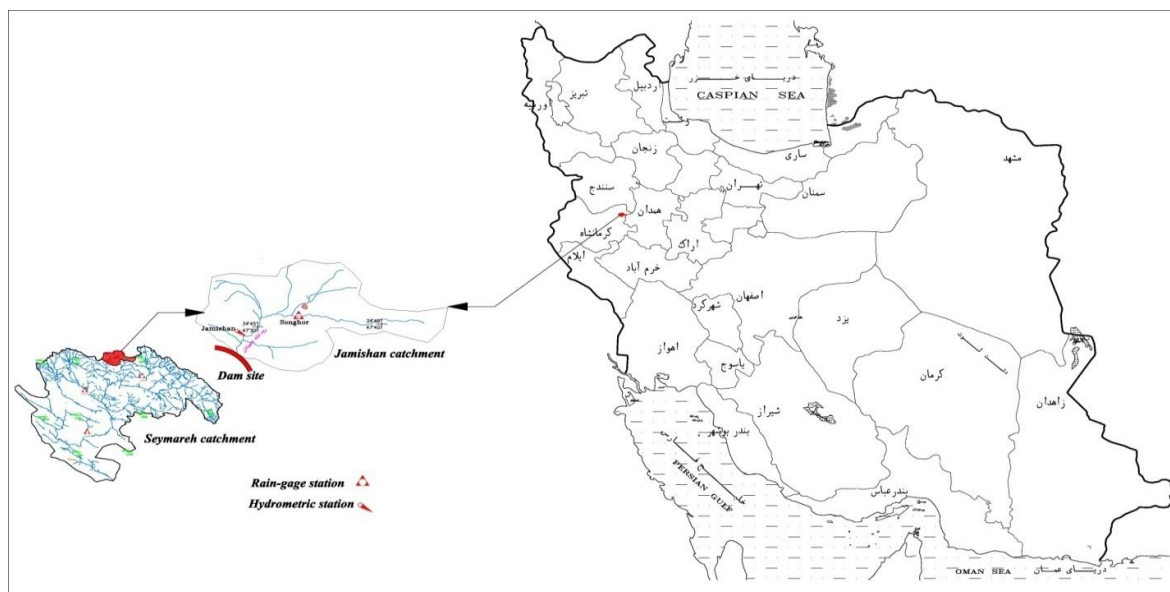
در هر شبیه‌سازی مونت‌کارلو طی روندیابی سیلاب، اثر عدم قطعیت هیدرولیکی سیستم تخلیه سیلاب لحاظ شده است. از این رو عدم قطعیت‌های عرض خالص سرریز و ضریب آب‌گذری سرریز در نظر گرفته شد. عدم قطعیت عرض خالص ناشی از ضریب تأثیر شکل پایه (K_p) و ضریب تأثیر شکل کناره‌های ورودی سرریز (K_a) است.

بارندگی سالانه آن 441 میلی‌متر، متوسط تبخیر از سطح آزاد آن 1534 میلی‌متر و متوسط دمای سالانه آن 10 درجه سانتی‌گراد است. ایستگاه‌های باران‌سنجی سنقر و هیدرومتری جامیشان از جمله ایستگاه‌های موجود در حوضه و مورد استفاده در این تحقیق هستند. موقعیت حوضه آبریز جامیشان در ایران و نسبت به حوضه آبریز سیمره در شکل 7 ارایه شده است.

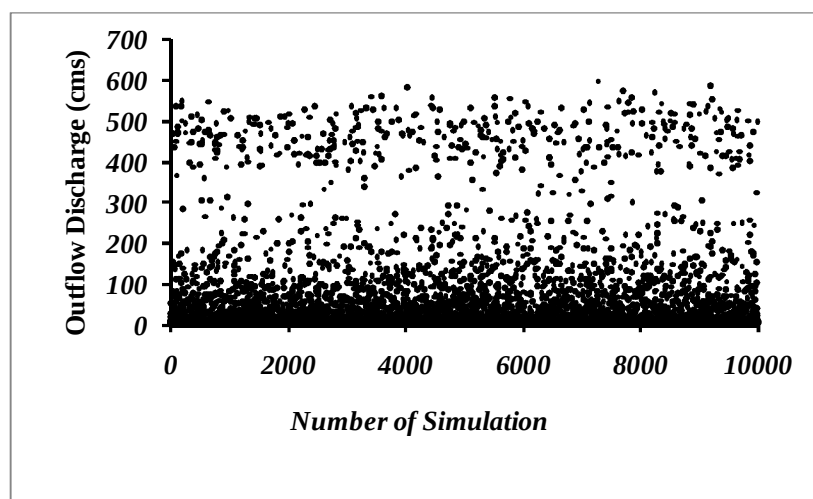
3- نتایج و بحث

3-1- تولید تصادفی بارش و سیلاب

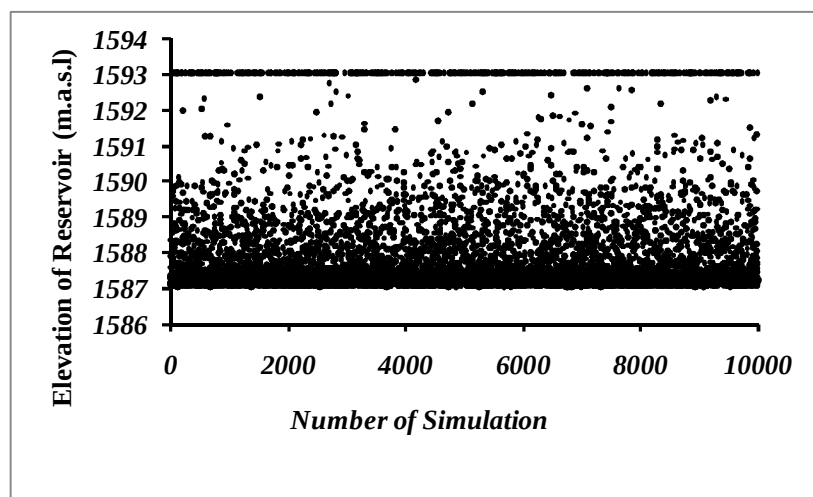
در هر شبیه‌سازی مونت‌کارلو کلیه فرایند از تولید تصادفی بارش، هیدروگراف سیلاب و روندیابی تصادفی سیلاب در مخزن انجام شد. در نهایت در انتهای هر شبیه‌سازی تراز آب در مخزن سد محاسبه گردید. نمونه‌ای از عمق بارش، مدت بارش، پیک سیلاب خروجی از مخزن به همراه تراز آب در مخزن در شکل‌های 8 تا 11 ارائه شده است.



شکل 7 موقعیت حوضه آبریز سد جامیشان در ایران و حوضه آبریز سیمره



شکل 8 نمونه‌ای از پیک سیلاب خروجی از سد جامیشان طی شبیه‌سازی مونت کارلو

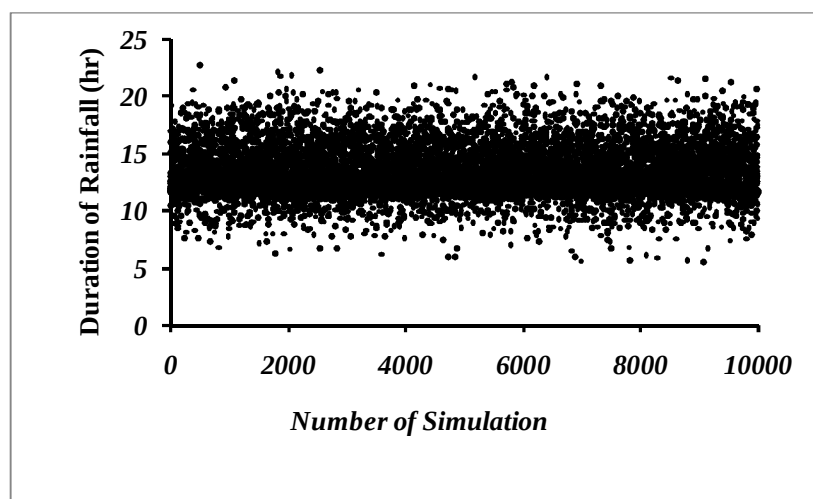


شکل 9 نمونه‌ای از تراز سیلابی در مخزن سد جامیشان طی شبیه‌سازی مونت کارلو

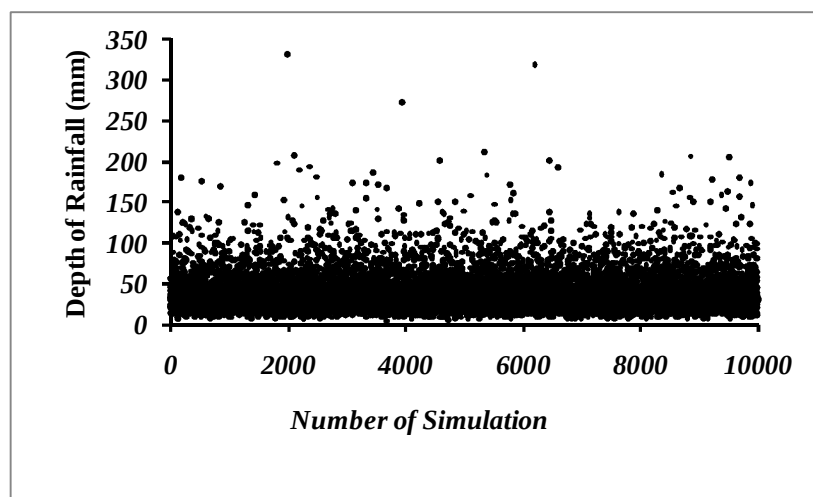
جدول 4 مشخصات توزیع احتمالاتی متغیرهای سیستم تخلیه سیلاب

متغیر	عنوان	توزیع احتمالاتی	پارامترهای توزیع احتمالاتی		
			a	b	c
ضریب تأثیر شکل پایه	K_p	یکنواخت	0	0/02	-
ضریب تأثیر شکل کناره های سرریز	K_a	یکنواخت	0	0/2	-
ضریب پایه آب‌گذری سرریز	C_0	یکنواخت	1/707	2/18	-
ضریب تأثیر تراز انرژی مخزن	K_{He}	مثلی	0/081	1/069	0/921
ضریب تأثیر شیب وجه بالادست سرریز	K_{Sp}	مثلی	0/998	1/025	1/003

عدم قطعیت آب‌گذری سرریز نیز ناشی از ضریب اولیه تخلیه سیلاب (C_0)، اثر تراز انرژی در مخزن سد (He)، و شیب وجه بالادست سرریز (Sp) است. برای تأثیر این عدم قطعیت‌ها در روندیابی سیلاب با استفاده از محدوده تغییرات پارامترهای مذکور طبق استاندارد USBR، توزیع احتمالاتی آنها استخراج گردید. مشخصات توزیع احتمالاتی پارامترهای هیدرولیکی در جدول 4 ارائه شده است.



شکل 10 نمونه‌ای از مدت بارش تولیدی در حوضه آبریز سد جامیشان طی شبیه‌سازی مونت کارلو



شکل 11 نمونه‌ای از عمق بارش تولیدی در حوضه آبریز سد جامیشان طی شبیه‌سازی مونت کارلو

در مخزن سد جامیشان یا بطور کلی برآورد بارگذاری سیستم (L) فراهم شد. دو عامل مهم در روندیابی سیلاب در مخزن سد ابعاد هندسی سرریز و تراز نرمال هستند. از این رو به منظور بررسی اثر تغییرات ابعاد سرریز و تراز نرمال بر بارگذاری سیستم و در نهایت ریسک روگذری سد، سه گزینه مختلف برای عرض سرریز با عرض‌های 20، 35 و 50 متر و سه گزینه برای تراز نرمال با ترازهای 1585/5، 1587 و 1588/5 متر در نظر گرفته شد. طبق جدول 5، گزینه‌های مرتبط با تغییرات ابعاد سرریز عبارت

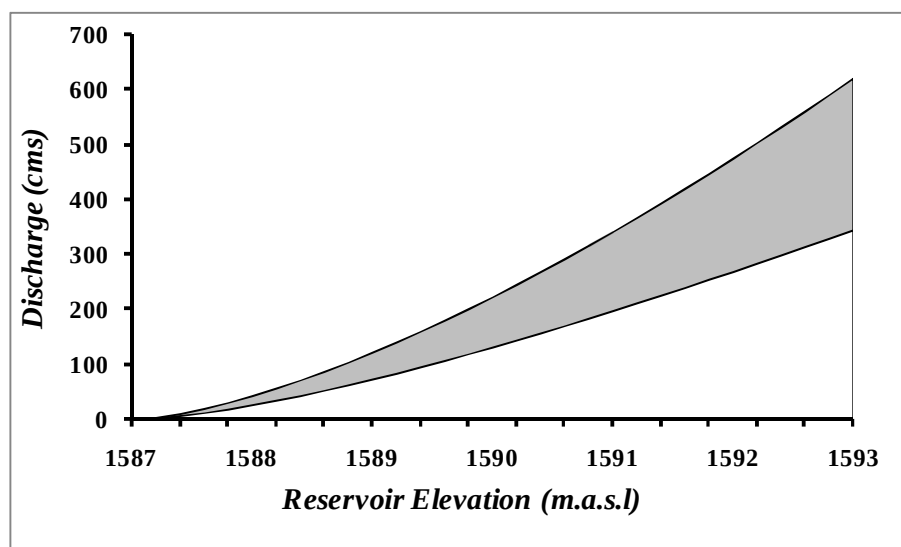
با استفاده از توزیع احتمالاتی متغیرهای هیدرولیکی، منحنی آب‌گذری سیستم تخلیه سیلاب سد جامیشان برای سه عرض 20، 35 و 50 متر استخراج شد. نمونه‌ای از باند منحنی‌های آب‌گذری تولید شده در شکل 12 ارائه شده است.

3-3- تحلیل ریسک روگذری سد

با توجه به توضیحات فوق و با استفاده از روش شناسی تحقیق، امکان روندیابی سیلاب و تولید تصادفی تراز آب

مذکور طبق جدول 5 عبارت از گزینه‌های 7 تا 9 هستند. ریسک روگذری سد جامیشان، متناظر با هر گزینه محاسبه و منحنی ریسک شکست سد برای کلیه گزینه‌ها در شکل 13 و مقادیر ریسک آنها در جدول 6 ارائه شده است.

از گزینه‌های 1 تا 3 و گزینه‌های مرتبط با تغییرات تراز نرمال عبارت از گزینه 4 تا 6 می‌باشند. با توجه به این که برای تحلیل ریسک روگذری سد به مقاومت سیستم (R) یا ارتفاع سد نیز نیاز می‌باشد، از این رو سه گزینه با تراز تاج 1585/5، 1590 و 1591 متر به عنوان مقاومت سیستم در نظر گرفته شد. گزینه‌های



شکل 12 نمونه‌ای از باند منحنی های آب‌گذری تولید شده (عرض سرریز 20 متر)

جدول 6 مقادیر ریسک شکست و اعتماد پذیری سد جامیشان

در گزینه‌های مختلف

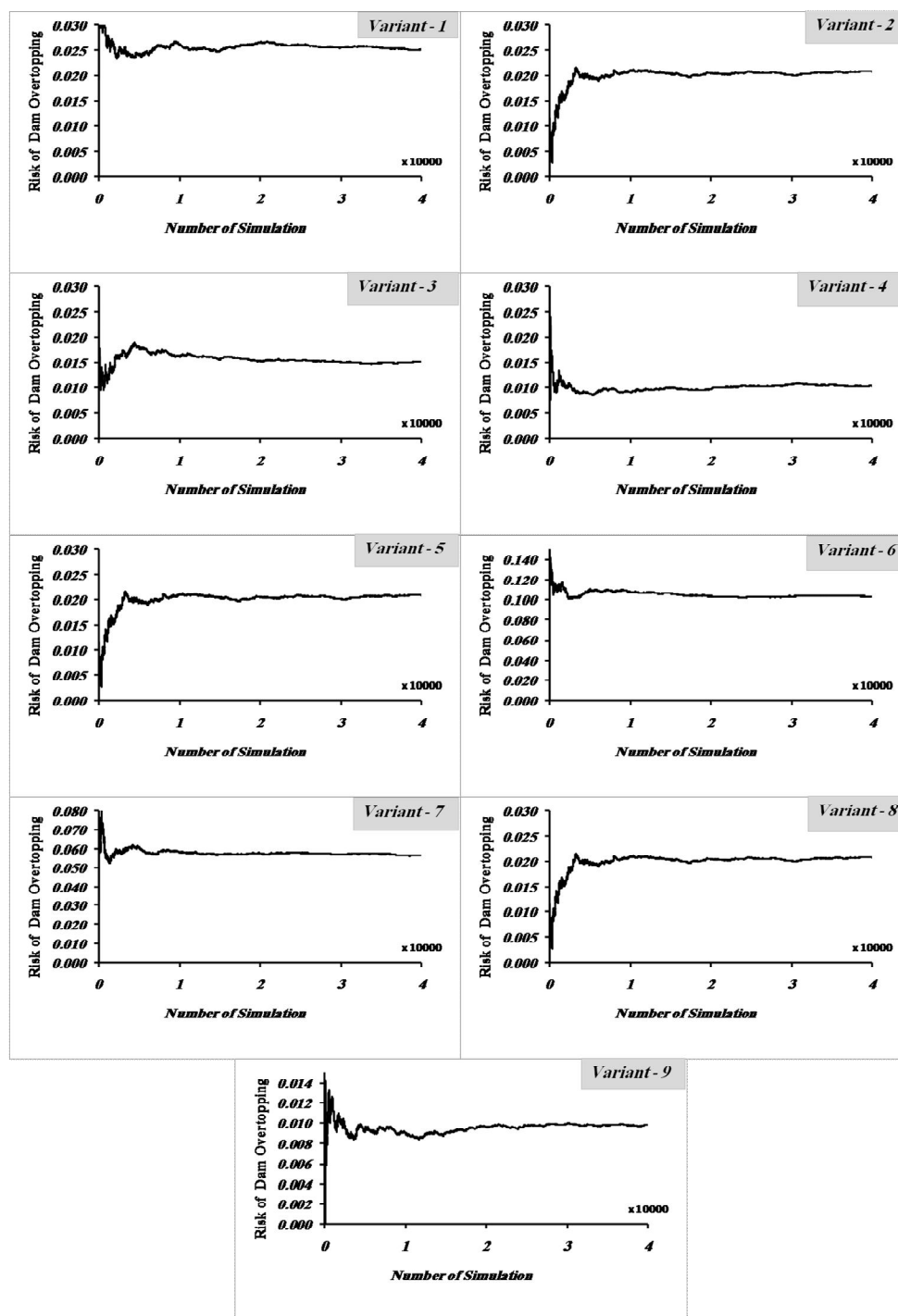
گزینه	ریسک شکست سد (درصد)	اعتماد پذیری (درصد)
1	2/515	97/49
2	2/078	97/92
3	1/508	98/49
4	1/038	98/96
5(2)*	2/078	97/92
6	10/298	89/70
7	5/670	94/33
8(2)*	2/078	97/92
9	0/985	99/02

جدول 5 گزینه‌های مورد بررسی در تحلیل ریسک روگذری

سد جامیشان

گزینه	هدف بررسی	تراز نرمال (m)	عرض سرریز (m)	تراز تاج سد (m)
1	اثر تغییرات عرض سرریز	1587.0	20	1590.0
2		1587.0	35	1590.0
3		1587.0	50	1590.0
4	اثر تغییرات تراز نرمال	1585.5	35	1590.0
5(2)*		1587.0	35	1590.0
6		1588.5	35	1590.0
7	اثر تغییرات تراز تاج سد	1587.0	35	1588.5
8(2)*		1587.0	35	1590.0
9		1587.0	35	1591.5

*گزینه مدنظر دارای شرایط مشابه با گزینه درون پراوتر است.



شکل 13 منحنی ریسک شکست سد جامیشان در گزینه مختلف

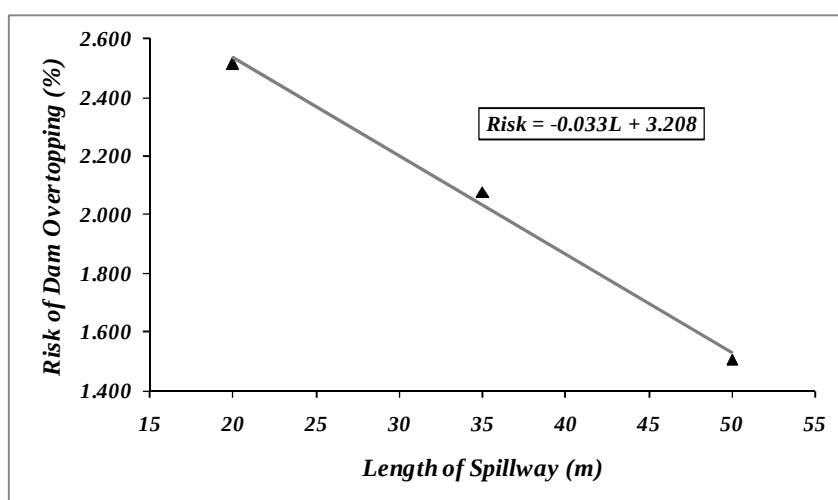
متغیرها بررسی و در شکل های (14) تا (17) ارایه شده است.

برای مقایسه تأثیر متغیرهای مختلف بر ریسک شکست سد، تغییرات ریسک روگذری سد به ازای تغییرات

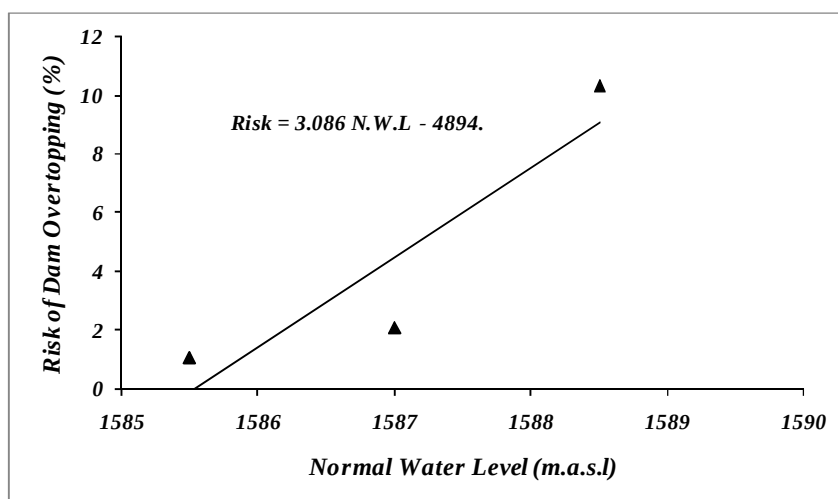
درصد است. از این رو نتایج نشان می دهد که تغییرات تراز نرمال نسبت به سایر متغیرها بر ریسک شکست مؤثرتر است.

همچنین پس از بررسی کلیه گزینه ها مشخص شد که گزینه 6 که در آن بالاترین تراز نرمال در نظر گرفته شده است با ریسک شکست 10/3 درصد، بیشترین احتمال روگذری را دارد.

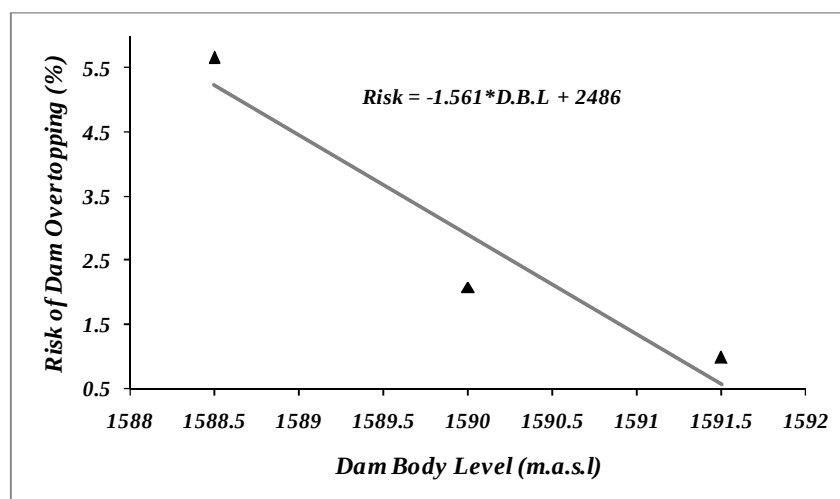
بررسی شکل 14 نشان داد که متوسط تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای یک واحد تغییرات عرض سرریز در حدود 0/03 است. به عبارت دیگر به ازای هر متر افزایش یا کاهش عرض سرریز 0/03 درصد ریسک شکست سد به ترتیب کاهش یا افزایش می یابد. همچنین بررسی شکل های 15 و 16 نشان داد که متوسط تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای یک واحد تغییرات واحد تراز نرمال و تاج سد به ترتیب برابر 3/1 و 1/56



شکل 14 منحنی تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای تغییرات عرض سرریز



شکل 15 منحنی تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای تغییرات تراز نرمال بهره برداری



شکل 16 منحنی تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای تغییرات تراز تاج سد

نتایج نشان داد که متوسط تغییرات ریسک شکست سد جامیشان به ازای یک واحد تغییرات عرض سرریز، تراز نرمال و تراز تاج سد به ترتیب برابر 0/03، 3/1 و 1/56 درصد است. از این رو در مقایسه دو عامل هیدرولیکی مؤثر بر لبریز شدن سد جامیشان، حجم کنترل سیلاب بر ریسک شکست سد بیشترین تأثیر را دارد.

5- فهرست علائم

$C0$	ضریب اولیه تخلیه سیلاب
$DTHETA$	کمبود رطوبت
$DTHETA$	کمبود رطوبت
$F(t)$	نفوذ تجمعی
$f(t)$	نرخ نفوذ
He	تراز انرژی در مخزن سد
I_{ave}	متوسط دبی ورودی به مخزن سد
IA	تلفات اولیه
Ka	ضریب تأثیر شکل کناره های ورودی سرریز
KHe	ضریب تأثیر تراز انرژی مخزن
Kp	ضریب تأثیر شکل پایه
KSp	ضریب تأثیر شیب وجه بالادست سرریز

از آنجا که تراز نرمال و تاج سد تعیین کننده حجم کنترل سیلاب می باشند، نتایج فوق نشان می دهد که در مقایسه دو عامل هیدرولیکی مؤثر بر روگذری سد جامیشان که شامل حجم کنترل سیلاب و ظرفیت آب گذاری سیستم تخلیه سیلاب هستند، تأثیر حجم کنترل سیلاب بر ریسک روگذری سد جامیشان نسبت به آب گذاری سرریز بیشتر است.

4- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل های تصادفی RPG و HEC1، سیلاب با در نظر گرفتن عدم قطعیت های بارش و پارامترهای مدل بارش-رواناب بطور تصادفی تولید گردید. با استفاده از سیلابهای تولید شده و در نظر گرفتن عدم قطعیت سیستم تخلیه سیلاب که سرریز اوجی آزاد بود، سیلابها در مخزن سد جامیشان با در نظر گرفتن عدم قطعیت های هیدرولیکی روندیابی و ترازهای مختلف آب در مخزن سد برآورد گردیدند. در نهایت بر اساس گزینه های تعریف شده، اثرات تغییرات ابعاد سرریز، ارتفاع سد و تراز نرمال بر ریسک روگذری سد جامیشان بررسی شدند.

Hydraulic Engineering, Vol. 124, No. 12, pp. 1227-1234.

Gui S., Zhang R. and Wu J. (1998). "Simplified dynamics reliability models for hydraulic desing", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 124, No. 3, pp. 329-333.

Hsu Y.C., Tung Y.K. and Kuo J.T. (2011). "Evaluation of dam overtopping probability induced by flood and wind", Stoch. Environ. Res. Risk Assess., 25, pp. 35-49.

International Commission on Large Dams (ICOLD), (1973). Lessons from dam incidents (reduced edition). ICOLD, Paris.

Kuo J.T., Yen B.C., Hsu Y.C. and Lin H.F., (2007). "Risk analysis for dam overtopping—Feitsui reservoir as a case study", Journal of Hydraulic Engineering, 133 (8), pp. 955-963

Kuo J.T., Hsu Y.C., Tung Y.K., Yeh K.C. and Wu J.D., (2008). "Dam overtopping risk assessment considering inspection program", Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 22 (3), pp. 303-313.

Kwon, H.H and Moon Y. (2006). "Improvement of overtopping risk evaluations using probabilistic concepts for existing dams", Stoch. Environ. Res. Risk Assess., 20, pp. 223-237.

Lee H.L and Mays L.W. (1986). "Hydraulic uncertainties in flood levee capacity", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 10, pp. 928-934.

LianY. and Yen B.C. (2003). "Comparison of Risk calculation methods for a culvert", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 129, No. 2, pp. 140-152.

Paik K. (2008). "Analytical derivation of reservoir routing and hydrological risk evaluation of detention basins", Journal of Hydrology, 352, pp. 191-201.

Sharafati A., Zahabiyou B. (2012). "Uncertainty analysis of storm pattern on Seymareh catchment", The international conference on Dam and Hydropower, Iran, Tehran

Thompson K.D. Stedinger J.R. and Heath D.C. (1997). "Evaluation and presentation of dam failure and flood risks", Journal of Water Resources Planning and Management, 123 (4), pp. 216-227.

USACE (1998). HEC-1 flood hydrograph package users manual. Davis C.A: Hydrologic Engineering Centre.

$P(t)$	بارش تجمعی
$PSIF$	مکش مرطوب
Q_{ave}	ظرفیت متوسط آب‌گذری سیستم تخلیه سیلاب
$QRCSN$	دبی حادی در شروع شاخه نزولی
R	مقاومت سیستم
$r(t)$	شدت بارش مازاد
$r0(t)$	شدت بارش خالص
$RTIMP$	درصد سطح نفوذناپذیر
$RTIOR$	ضریب کاهش دبی
Sp	شیب وجه بالادست سرریز
$STRTQ$	دبی رودخانه در ابتدای واقعه
t	زمان بعد از شروع بارش
$TLAG$	زمان تاخیر
$XKSAT$	هدایت هیدرولیکی در شرایط اشباع
$XKSAT$	هدایت هیدرولیکی
Δs	تغییرات حجم مخزن
Δt	گام زمانی روندیابی

6- منابع

Afshar A. and Marino M.A. (1990). "Optimizing spillway capacity with uncertainty in flood estimator", Journal of Water Resources Planning and Management, 116 (1), pp. 71-84.

Afshar A., Barkhordary A., and Marino M.A. (1994). "Optimizing river diversion under hydraulic and hydrologic uncertainties", Journal of Water Resources Planning and Management, 120 (1), pp. 36-47.

Afshar A., Rasekh A. and Afshar M.H. (2009). "Risk-based optimization of large flood-diversion systems using genetic algorithms", Engineering Optimization, Vol. 41, No. 3, pp. 259-273.

Goodarzi E., Mirzaei M., Shui L.T. and Ziaei M. (2011). "Evaluation dam overtopping risk based on univariate and bivariate flood frequency analysis". Hydrol., Earth Syst. Sci. Discuss., 8, pp. 9757-9796.

Gui S., Zhang R. and Xue X. (1998). "Overtopping reliability models for river levee", Journal of

شرافتی، ا. ذهبیون، ب. (1391). "تولید استوکستیک هیدروگراف سیلاب در حوضه آبریز سد جامیشان" فصلنامه علمی-پژوهشی علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره 14، شماره 4، صص. 63-71

شرافتی، ا. ذهبیون، ب. (1391). "تحلیل عدم قطعیت برآورد سیلاب توسط مدل HEC-HMS در حوضه آبریز سد جامیشان"، مجله علمی-پژوهشی هیدرولیک-دوره 7، شماره یک، صص. 13-28

Yanmaz A.M. (2000). "Overtopping risk assessment in river diversion facility design", Canadian Journal of Civil Engineering 27(2). pp. 319-326

Yenigun K. and Erkek C. (2007). "Reliability in dams and the effects of spillway dimensions on risk levels", Water Resources Management , Vol. 21, No. 4, pp. 747-760.

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 Hydraulics, 11, pp. 33-50.