

بررسی تأثیر تغییرات هندسی بدنه سد خاکی در برآورد سیل ناشی از شکست سد در اثر پایپینگ با لحاظ عدم قطعیت در خصوصیات مکانیکی مصالح

فرهود کلاته*^۱، رضا احدی فر^۲

^۱ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

دریافت: ۱۳/۳/۱۳۹۸، پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱، نشر آنلاین: ۱۴۰۰/۲/۱

چکیده

روش اعمال عدم قطعیت در مقاله حاضر آنالیز مونت کارلو (Monte Carlo) با اعمال ۱۰۰۰۰ عدد تصادفی به ازای پارامترهای عدم قطعیت می‌باشد که پارامترهای عدم قطعیت در مقاله حاضر زاویه اصطکاک داخلی، قطر متوسط ذرات، ضریب چسبندگی و وزن مخصوص مصالح تشکیل‌دهنده مصالح بدنه سد خاکی مذکور می‌باشد. در این مقاله به تأثیرات تغییر در هندسه بدنه سد خاکی و تغییرات ارتفاع سد و سطح آب ذخیره‌شده در پشت سد بر هیدروگراف خروجی پرداخته شده است. هدف از اعمال عدم قطعیت در خصوصیات مکانیکی ذرات تشکیل‌دهنده سد خاکی دستیابی به بحرانی‌ترین حالت شکست سد موردنظر با اعمال عدم قطعیت تحت اثر پایپینگ (Piping) و همچنین دستیابی به روند حالت شکست در اثر تغییرات هندسی بدنه سد در هر کدام از حالات خواهد بود. براساس نتایج به‌دست‌آمده در خصوص اعمال عدم قطعیت در خصوصیات مکانیکی مصالح تشکیل‌دهنده سد خاکی، مشخص گردید دو پارامتر زاویه اصطکاک داخلی و قطر متوسط ذرات تشکیل‌دهنده سد خاکی باعث ایجاد حالت بحرانی شکست می‌شوند. در خصوص تغییرات هندسی بدنه سد خاکی نتایج حاکی از آن است که هر چه سد خاکی دارای ضریب شکل کوچک‌تری باشد نسبت شکست بالاتری انتظار می‌رود، با افزایش در ارتفاع سطح آب اولیه مخزن انتظار می‌رود شدت شکست سد، سیر صعودی طی کند و همچنین با افزایش ارتفاع سد خاکی بدون تغییر در ضریب شکل آن مشاهده شد که دبی ناشی از شکست سد افزایش یابد.

کلیدواژه‌ها: سد خاکی، عدم قطعیت، روش مونت کارلو، پایپینگ، هیدروگراف خروجی.

۱- مقدمه

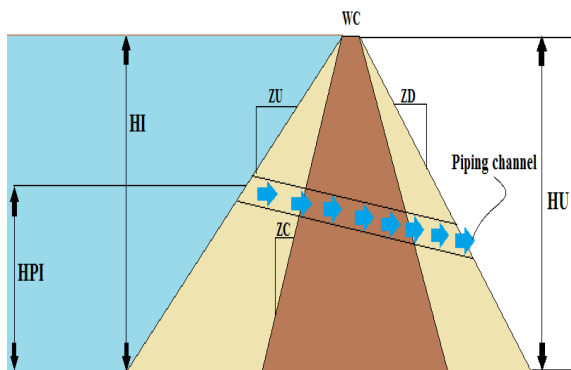
کاهش دهد. اندازه شکاف سد، طول و عرض آن، نرخ تشکیل شکاف و اندازه و شکل شکاف حاصل، هیدروگراف خروجی آن‌ها را مشخص می‌کند. این موضوع برای هیدرولوژیست‌ها^۱ و مهندسان مرتبط برای برنامه‌ریزی پیش‌بینی یا تخلیه برای سیل‌های ناشی از شکست سد اهمیت حیاتی دارد. هدف از مقاله حاضر اعمال آنالیز عدم قطعیت مونت کارلو به شبیه‌سازی شکست سد خاکی تتون^۲ توسط مدل BREACH-GUI تحت اثر عدم قطعیت و ایجاد تغییرات در ابعاد سد خاکی می‌باشد. پژوهش‌های مرتبط با این زمینه انجام گرفته‌اند که به‌اختصار بیان می‌گردد. به بررسی شکست سدهای خاکی توسط دو مدل BREACH و شبکه مصنوعی ANN تحت اثر روگذری پرداختند و نتایج دو مدل را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج حاصله نشان داد که بین نتایج روش شبکه مصنوعی و BREACH همبستگی و ارتباط زیادی موجود

پدیده پایپینگ یا همان لوله‌گذاری در بدنه سد خاکی یکی از دو عامل شایع در شکست سد می‌باشد که لوله‌گذاری در ساعات ابتدایی با قطر کم و دبی عبوری اندک بوده و با گذر زمان و با فرسایش دیواره‌های تونل فرسایشی باعث افزایش قطر تونل و دبی آب عبوری از تونل خواهد گردید که اگر این مقدار دبی از یک حد بگذرد باعث گسیختگی بدنه سد و در نهایت تخریب کامل بدنه سد را در پی خواهد داشت. تشکیل شکاف با توجه به زمان تدریجی است و عرض آن در امتداد تاج سد سنجیده می‌شود، معمولاً تنها بخشی از طول تاج سد را شامل می‌شود. در بسیاری از موارد پایین شکاف به‌طور مداوم پایین می‌افتد تا زمانی که به پایین سد می‌رسد. با این حال در بعضی موارد ممکن است پیشرفت در برخی از ارتفاع مؤثر آن را بین بالا و پایین سد

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- الگوریتم محاسباتی مدل BREACH

مدل BREACH قابلیت شبیه‌سازی شکست سد خاکی در دو حالت همگن و هسته‌دار را دارا می‌باشد در حالت دارای هسته رسی مرکزی هسته رسی سد خاکی تتون در پژوهش حاضر با قطر متوسط ذرات ۰/۳ میلی‌متر و پوسته آن با قطر متوسط ذرات ۱ میلی‌متر لحاظ می‌گردد. هسته رسی مرکزی سد خاکی در مدل BREACH به صورت پیش فرض از کف سد تا تاج سد با شیب ۱/۸ به ۱ فرض می‌گردد. ZU شیب بالادست سد خاکی در سد خاکی تتون ۲/۵ به ۱ و ZD شیب پایین دست ۲ به ۱ لحاظ می‌گردد. ارتفاع اولیه سطح آب موجود در مخزن هم ارتفاع با تاج سد و برابر با ۸۰ متر لحاظ می‌گردد (HU=HI). HPI ارتفاع تونل فرسایش از کف سد خاکی ۴۸/۸ متر لحاظ گردید. مقطع عرضی سد خاکی تتون که در حالت دارای هسته رسی در این تحقق شبیه‌سازی گردیده است در شکل (۱) نشان داده شده است، واضح است که در حالت شبیه‌سازی به صورت همگن از لحاظ هسته رسی مرکزی صرف نظر می‌گردد.



شکل ۱- هندسه کلی سد خاکی شبیه‌سازی شده سد خاکی تتون در مدل BREACH دارای هسته رسی

اگر شکست ناشی از پایپینگ شبیه‌سازی شده باشد سطح آب مخزن باید از ارتفاع مرکز خط کانال پایپینگ بیشتر باشد که مستطیل شکل خواهد بود. در ادامه حجم تونل به علت فرسایش افزایش یافته و دیواره‌ها تونل فرو می‌ریزد و به شکل دوزنقه‌ای در خواهد آمد (شکل (۲)). دبی آب جریان یافته در تونل فرسایشی از طریق رابطه (۱) محاسبه خواهد گردید:

$$Q_b = A \left[\frac{2g(HU - Hp)}{1 + \frac{L}{D}} \right]^{0.5} \quad (1)$$

که در آن Q_b دبی جریان در داخل تونل فرسایش، g ثابت شتاب گرانش، A سطح مقطع تونل فرسایش، Hd آبی استاتیکی در داخل تونل (HU-Hp) برحسب فوت، L طول کانال فرسایش،

است، سپس به بررسی شکست سد تتون با خصوصیات مختلف مصالح پرداختند، لذا نتایج حاصله نشان داد که خصوصیات مکانیکی مصالح تشکیل دهنده بدنه سد خاکی تأثیر بسزایی در هیدروگراف خروجی مخزن دارد (Amini و همکاران، ۲۰۱۲).

در پژوهش خود سعی کرد تا از فرمول‌های تجربی و مدل شبکه عصبی مصنوعی ANN برای تخمین هیدروگراف شکست سد تحت اثر پایپینگ استفاده کند. در این پژوهش چندین سد خاکی گسیخته شده در جهان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ثبت شده از شکست سدها در روش شبکه عصبی مصنوعی و فرمول‌های تجربی مقایسه گردید، نتایج حاصل نشان داد که بین هیدروگراف خروجی روش شبکه عصبی و نتایج تاریخی ثبت شده همبستگی بیشتری نسبت به فرمول‌های تجربی و نتایج ثبت شده وجود دارد (Hooshyaripor، ۲۰۱۲).

دو پارامتر حجم مخزن و ارتفاع آب ذخیره شده پشت سد خاکی را به عنوان دو پارامتر مهم شکست سد در شرایط آزمایشگاهی و تحت اثر پایپینگ مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که با افزایش سطح آب و حجم آب ذخیره شده مخزن انتظار می‌رود دبی پیک ناشی از شکست سد افزایش یابد (Hooshyaripor و همکاران، ۲۰۱۷).

به مطالعه تأثیر هندسه سد در دبی خروجی ناشی از شکست سد در شرایط آزمایشگاهی پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که هر چه میزان ابعاد سد خاکی کوچک‌تر گردد میزان دبی خروجی ناشی از شکست سد افزایش می‌یابد و زمان شکست سد خاکی کاهش می‌یابد و هر چه ضریب شکل سد کوچک‌تر باشد نسبت شکست بالاتر انتظار می‌رود که نتایج آزمایشگاهی با روابط تجربی مقایسه گردید و پیوستگی زیادی بین نتایج آزمایشگاهی و روابط تجربی مشاهده گردید (Hooshyaripor و همکاران، ۲۰۱۷).

در شرایط آزمایشگاهی به مطالعه تأثیر پارامترهایی مانند ارتفاع سطح آب اولیه، شیب پایپینگ، محل وقوع پایپینگ و عرض اولیه کانال پایپینگ پرداختند و نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد که تغییر در هر کدام از موارد ذکر شده تأثیر بسیار زیادی بر هیدروگراف خروجی از مخزن دارد (Wahl و همکاران، ۲۰۱۱).

با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه مشاهده ایجاد تغییرات در ابعاد بدنه سد خاکی و سطح آب اولیه موجود در مخزن تأثیر و همچنین تغییرات در موقعیت پایپینگ تأثیر بسزایی در هیدروگراف ناشی از شکست سد دارد. لذا به عنوان نوآوری سعی گردیده تمام حالات در مورد سد خاکی تتون توأمأ با لحاظ عدم قطعیت در مشخصات مکانیکی مصالح تشکیل دهنده سد خاکی مورد بررسی قرار گیرند.

توسط مدل خواهد بود. در این مقاله مدل فرسایش BREACH برای سد تتون در آیداهو در مورد خطاهای ناشی از مصالح سازنده بدنه سد تحت اثر پدیده پایپینگ مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات مکانیکی مصالح تشکیل دهنده بدنه سد خاکی برای حالت هسته دار به صورت زیر خواهد بود:

جدول ۱- مشخصات هندسی سد خاکی دارای هسته رسی مرکزی

مشخصه	مقدار (هسته- پوسته)	واحد
ضریب چسبندگی، C	۱۲ - ۱۲	Kpa
زاویه اصطکاک ϕ	۳۵ - ۴۰	Degree
وزن مخصوص، γ	۱/۶ - ۱/۶	$\frac{gr}{cm^3}$
قطر متوسط ذرات، D_{50}	۱ - ۰/۰۳	mm

۲-۲- روش مونت کارلو

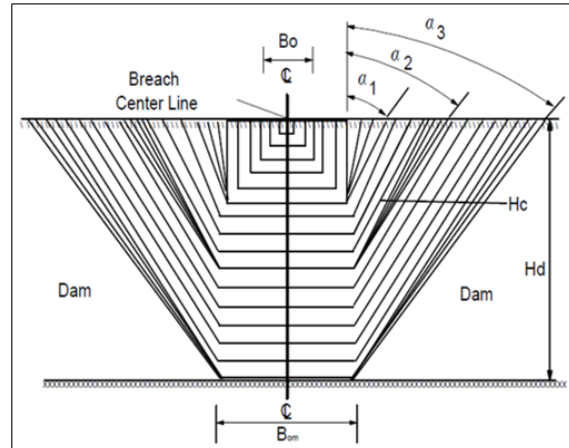
تحلیل مونت کارلو ابزار بسیار قوی در زمینه تحلیل آماری مسائل مهندسی می باشد طوری که منجر به ارزیابی پاسخ بسیار دقیقی برای مسائل پیچیده و روابط غیرخطی می گردد. به صورت کلی، متد مونت کارلو (یا شبیه سازی مونت کارلو) به هر تکنیکی اطلاق می شود که از طریق نمونه سازی آماری، پاسخ های تقریبی برای مسائل کمی فراهم می کند. شبیه سازی مونت کارلو بیشتر برای توصیف روشی جهت انتشار عدم قطعیت های موجود در ورودی مدل به عدم قطعیت ها در خروجی مدل، به کار می رود. بنابراین مونت کارلو، شبیه سازی ای است که صریحاً و به صورت کمی، عدم قطعیت را نمایش می دهد. شبیه سازی مونت کارلو متکی به فرآیند نمایش صریح عدم قطعیت با تعیین ورودی ها به عنوان توزیع های احتمال است. اگر ورودی های توصیف کننده یک سیستم، غیرقطعی باشند، آنگاه پیش بینی عملکرد پیش رو الزاماً غیرقطعی است. این بدان معنی است که نتیجه هرگونه تحلیل مبتنی بر ورودی های نمایش داده شده با توزیع های احتمال، خود یک توزیع احتمال است. به منظور محاسبه توزیع احتمال کارایی پیش بینی شده، لازم است تا عدم قطعیت های ورودی به عدم قطعیت های خروجی منتقل شود. روش های گوناگونی برای انتقال عدم قطعیت وجود دارند. شبیه سازی مونت کارلو احتمالاً رایج ترین تکنیک برای انتشار عدم قطعیت موجود در جنبه های مختلف یک سیستم به کارایی پیش بینی شده است. در شبیه سازی مونت کارلو، با استفاده از یک سری اعداد تصادفی و با فرض توابع توزیع برای متغیرهای تصادفی و در نظر گرفتن میانگین و انحراف معیار مشخص برای هر یک از متغیرها، مقادیری به صورت تصادفی برای

D قطر تونل برحسب فوت و f ضریب اصطکاک دارسی^۳ محاسبه شده از نمایش ریاضی از منحنی مودی می باشد. مقادیر ضریب اصطکاک دارسی از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$F = \frac{64}{NR} \dots \dots \dots NR < 2000 \quad (2)$$

$$f = 0.105 \left[\frac{D_{50}}{D} \right]^{0.167} \dots \dots \dots NR > 2000 \quad (3)$$

$$NR = 83333 Q_b D / A \quad (4)$$



شکل ۲- روند پیشرفت فرسایش تونل پایپینگ در مدل

روند تعیین عرض کانال شکست یک جز حیاتی از هر مدل های شکاف مطرح شده می باشد. در این مدل عرض شکاف به طور پویا توسط دو مکانیزم کنترل می شود، اولین مکانیزم فرض می کند که شکاف دارای یک مقطع مستطیلی اولیه است که در شکل (۲) نشان داده شده است، عرض شکاف B_0 تحت رابطه (۵) قابل محاسبه است:

$$B_0 = B_r Y \quad (5)$$

که در آن B_r یک ضریب مبتنی بر بهره وری هیدرولیکی کانال و Y عمق جریان در کانال فرسایش می باشد. برای شکست ناشی از روگذری B_r برابر دو فرض می شود و در شکست ناشی از پدیده پایپینگ برابر یک فرض می گردد. مدل فرض می کند که Y عمق بحرانی جریان در ورودی کانال فرسایش است:

$$Y = \frac{2}{3} (H - H_c) \quad (6)$$

که در آن H_c ارتفاع آب پایین تر از تونل و HU ارتفاع سطح آب اولیه موجود در مخزن سد خاکی می باشد. فرایند ذکر شده به صورت تکراری در گام های زمانی مختلف ایجاد خواهد گردید که بیشترین مقدار Q_b محاسبه شده مقدار Q_p محاسبه شده

۵-۲- تحلیل رگرسیونی و ضرایب خطا

با تغییرات در هر یک از ابعاد هندسی بدنه سد خاکی، هر یک از مقادیر کمترین زمان بحرانی و بیشترین دبی بحرانی شکست روند افزایشی یا کاهششی خواهند داشت که این روند توسط یک منحنی برازش سهمی گون نشان داده خواهد شد. بنابراین بین داده‌های مدل و منحنی برازش تفاوت‌هایی وجود خواهد داشت. پارامترهای ارزیابی به صورت خلاصه بیان می‌گردد. RMSE: خطای جذر میانگین مربعات، نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کم‌تر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات چقدر است.

MAE: میانگین مطلق خطا، برای برآورد خطا در محاسبه مقادیر شبیه‌سازی شده نسبت به مقادیر واقعی است.

CRM: ضریب باقی‌مانده جرم، نشان‌دهنده تمایل مدل برای برآورد بیش از حد (مقادیر منفی) یا برآورد کم‌تر از حد (مقادیر مثبت) در مقایسه با اندازه‌گیری‌هاست.

Er=MAPE: درصد میانگین مطلق خطای نسبی، متوسط خطای نسبی را نشان می‌دهد.

R-Square: ضریب تعیین، مقدار همبستگی را نشان می‌دهد که اگر نقاط زیادتر باشد مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد.

Adj_R-Square: مقادیر همبستگی میان مطالعات صحرایی و پیش‌بینی مدل نرم‌افزاری موردنظر را نشان می‌دهد. این مقادیر بیت صفر و یک بوده و هر چه به یک نزدیک‌تر باشند یعنی پراکنش نقاط کم‌تر بوده و همبستگی بیشتر است. عکس این موضوع نیز صادق است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - o_i)^2} \quad (7)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i - o_i| \quad (8)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N o_i - \sum_{i=1}^N x_i}{\sum_{i=1}^N o_i} \quad (9)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{x_i - o_i}{x_i} \right| \times 100 \quad (10)$$

$$R2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

$$Adj_R2 = 1 - \frac{(1-R2)(N-1)}{N-K-1} \quad (12)$$

در روابط (۷) تا (۱۲) x_i و o_i برابر مقادیر به ترتیب پیش‌بینی و منحنی برازش شده است و N تعداد نقاط، \bar{X} برابر میانگین مقادیر پیش‌بینی مدل و K برابر تعداد ستون داده‌ها می‌باشد. که در پژوهش حاضر برابر با ۲ است. حال برای این که ضرایب خطای منحنی برازش و داده‌ها کافی است نقاطی از منحنی برازش که هم‌ارز داده‌ها می‌باشد را در نظر گرفته ضرایب خطا را به دست آوریم. در جدول (۲) اطلاعات آماری سناریوهای مختلف شکست

هریک از متغیرها تولید می‌شود و در ادامه مدل طی روند مشخصی به تعداد دفعات زیادی با ورودی‌های استفاده از ورودی‌های تصادفی تولید شده اجرا می‌شود و در نتیجه پاسخ مدل با لحاظ ماهیت تصادفی متغیرهای ورودی به دست می‌آید که می‌توان با تجزیه و تحلیل آماری نتایج و پاسخ‌های خروجی و داده‌های تصادفی ورودی روابط و ارتباطی مابین آن‌ها به دست آورد.

۳-۲- روند اعمال عدم قطعیت در مصالح بدنه سد خاکی

جهت لحاظ عدم قطعیت در پارامترهای مکانیکی مصالح تشکیل‌دهنده بدنه سد خاکی تتون به ازای هر پارامتر که به صورت تصادفی فرض می‌گردد یک مقدار به عنوان میانگین و یک مقسدار به عنوان انحراف معیار برای تعریف بازه تغییرات مقادیر تصادفی به مدل تغییر یافته اعمال می‌گردد تا مدل توانایی آن را داشته باشد هیدروگراف‌های تصادفی در مقادیر دلخواه ترسیم نماید، بحرانی‌ترین حالت هیدروگراف را در هر سناریو را از نظر دو پارامتر کمترین زمان بحرانی و بیشترین دبی بحرانی شکست مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بدان معنی است که هیدروگراف خروجی که در کمترین زمان به بیشترین مقدار دبی خود برسد (دبی در لحظه فروپاشی سد) مدنظر قرار می‌گیرد. همان‌طور که بیان گردید، پارامترهای عدم قطعیت در پژوهش حاضر ضریب چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، وزن مخصوص و قطر متوسط ذرات تشکیل‌دهنده مصالح بدنه سد خاکی مذکور می‌باشد که در این مقاله پانزده حالت سناریو با اعمال ۱۰۰۰۰ مقدار تصادفی برای شکست سد خاکی تتون در حالت دارای هسته رسی مرکزی بررسی می‌گردد و بحرانی‌ترین حالت به عنوان نتیجه مدنظر است.

۴-۲- روند اعمال تغییرات هندسی در بدنه سد خاکی

در مقاله حاضر چهار حالت ممکن برای اعمال تغییرات در ابعاد سد خاکی در نظر گرفته شده است به طوری که عبارت‌اند از: (۱) بررسی اثرات تغییر در نسبت $\frac{HU}{B}$ ، به طوری که HU ارتفاع تاج سد و B عرض کف سد می‌باشند. ایجاد تغییر در نسبت $\frac{HU}{B}$ با تغییر در مقادیر، ZU، ZD، شیب‌های شیروانی‌های پایین دست و بالادست سد خاکی و با فرض ثابت بودن تراز تاج سد ایجاد گردید.

(۲) بررسی اثرات تغییر سطح آب اولیه موجود در مخزن و تراز تاج سد که به ترتیب به صورت HU و HI نمایش داده شده‌اند.

(۳) تغییرات در ارتفاع رخ داد پایپینگ با تغییر در مقدار HPI

(۴) بررسی تأثیر تغییر در ضخامت هسته رسی با تغییر در مقدار ZC، شیب شیروانی هسته رسی سد خاکی.

سد خاکی تتون در حالت دارای هسته رسی مرکزی ارائه شده است.

جدول ۲- اطلاعات آماری سناریوهای مختلف شکست سد خاکی تتون در حالت دارای هسته رسی مرکزی

انحراف معیار Qp	انحراف معیار Tp	Qp -avg (m^3s^{-1})	Tp -avg (hrs)	متناظر Tp (hrs)	Qp MAX (m^3s^{-1})	متناظر Qp (m^3s^{-1})	Tp min (hrs)	هسته دار ID
۳۳۱۳/۱۷	۰/۰۲۳۰۱۶	۵۸۷۸۱	۲/۲۱۳۲۱۱	۲/۱۹۶۴۵۸	۶۱۲۶۸/۰۱	۵۸۱۱۰/۷۳	۲/۱۹۱۷۴۸	C
۵۷۹۳/۹۵	۰/۰۱۵۲۳۱	۵۸۸۳۱	۲/۲۰۹۰۱۰	۲/۲۳۲۴۸۷	۷۹۱۷۰/۲۱	۵۹۰۸۸/۴۱	۲/۱۸۸۶۲	\emptyset
۱۶۵۴/۸۷	۰/۰۱۷۸۸۳	۶۰۰۴۰/۶۷	۲/۲۱۳۲۹۹	۲/۱۹۶۱۵۵	۶۱۱۷۳/۱۳	۶۱۱۶۲/۰۲	۲/۱۹۶۱۵۵	Y
۱۱۴۳/۴۰	۰/۱۸۱۲۲	۶۰۳۸۳/۶۱	۲/۲۴۲۰۸۹	۱/۹۱۳۷۲۵	۶۲۸۲۷/۵۲	۶۲۸۲۷/۵۲	۱/۹۱۳۷۲۵	D50
۵۷۶۶/۰۱	۰/۰۱۵۰۷۸	۵۸۶۹۷/۰۴	۲/۳۷/۲۰۸۸	۲/۲۳۲۶۸۷	۷۹۱۷۰/۲۱	۶۴۱۳۵/۳	۲/۱۸۷۶۸۲	C, \emptyset
۳۴۱۰/۵۸	۰/۰۲۱۳۶۴	۵۸۷۱۱/۴۴	۲/۲۱۱۷۷۶	۲/۱۹۲۳۱۳	۶۱۳۵۱/۷۳	۵۸۱۱۰/۷۳	۲/۱۹۱۷۴۶	C,Y
۳۴۵۲/۳۲	۰/۱۹۱۳۲۴	۵۸۶۴۹/۳۶	۲/۲۴۹۱۲۲	۱/۹۳۳۴۰۷	۶۳۱۹۷/۶۶	۵۴۲۹۴/۱۶	۱/۹۱۱۴۱۷	C,D50
۵۸۷۴/۴۶	۰/۰۱۴۹۴۱	۵۸۸۵۸/۹۹	۲/۲۰۸۸۹۳	۲/۲۳۷۴۹۷	۸۰۷۳۱/۹۱	۶۳۰۸۶/۵	۱/۱۸۹۸۰۲	\emptyset ,Y
۵۹۸۹/۷۲	۰/۱۹۰۳۸۴	۵۸۷۷۸/۷۰	۲/۲۴۴۶۲۳	۲/۱۴۱۰۱۶	۸۲۴۸۶/۹۰	۶۶۷۱۰/۵۷	۱/۹۰۲۰۰۵	\emptyset ,D50
۲۰۲۲/۹۷	۰/۱۸۲۲۴۸	۵۹۸۱۸/۸۴	۲/۲۴۸۰۶۰	۱/۹۱۲۹۰۵	۶۳۱۴۸/۸۹	۶۳۱۴۸/۸۹	۱/۹۱۲۹۰۵	Y,D50
۵۸۳۶/۸۳	۰/۰۱۴۸۷۱	۵۸۸۱۶/۷۰	۲/۲۰۸۸۴۱	۲/۳۳۷۴۹۷	۸۰۷۳۱/۹۱	۶۳۳۹۷/۲۹	۲/۱۹۰۹۲۵	C, \emptyset ,Y
۵۹۷۰/۲۷	۰/۱۸۲۰۸۰	۵۸۶۸۵/۶۶	۲/۲۴۳۶۵۹	۲/۱۴۵۳۰۱	۸۱۹۲۶/۲۷	۵۴۴۸۴/۴۱	۱/۹۱۱۸۶۴	C, \emptyset ,D50
۳۶۲۵/۷۶	۰/۱۸۲۷۳۰	۵۸۴۵۵/۴۲	۲/۲۴۶۸۱۲	۱/۹۳۸۵۳۰	۶۳۲۰۴/۵۹	۶۲۸۸۲/۲۴	۱/۹۱۰۶۹۳	C,Y,D50
۶۰۰۸/۸۳	۰/۱۸۲۱۷۵	۵۸۶۸۵/۳۷	۲/۲۴۳۷۵۳	۲/۱۴۵۳۰۱	۸۱۹۲۶/۲۷	۶۶۷۰۴/۱۷	۱/۹۰۲۱۰۰	\emptyset ,Y,D50
۵۹۸۴/۵۳	۰/۱۸۱۸۸۳	۵۸۶۱۸/۲۰	۲/۲۴۳۵۱۶	۲/۱۴۵۳۰۱	۸۱۹۲۶/۲۷	۵۴۴۸۴/۴۱	۱/۹۱۱۸۶۷	C, \emptyset ,Y,D50

۳-۲- تأثیر لحاظ عدم قطعیت

با توجه به جدول (۲) نتایج حاکی از آن است که حالتی که دو پارامتر \emptyset , D50 به عنوان پارامترهای عدم قطعیت لحاظ می گردند در دو حالت با در نظر گرفتن کمترین زمان شکست سد با زمان ۱/۹۰۲۰۰۵ ساعت و بیشترین دبی خروجی در لحظه شکست سد با دبی ۸۲۴۸۶/۹ مترمکعب بر ثانیه بحرانی ترین حالت را ایجاد می کند، لذا در ادامه پژوهش مقاله حاضر تمام محاسبات با در نظر گرفتن دو پارامتر مکانیکی خاک یعنی \emptyset , D50 به عنوان پارامترهای عدم قطعیت انجام می گردند.

۳-۳- تغییر در پارامترهای هندسی بدنه سد خاکی

با توجه به این که بحرانی ترین حالت شکست سد در دو حالت کمترین زمان بحرانی شکست و بیشترین دبی بحرانی شکست، زمانی رخ می دهد که زاویه اصطکاک داخلی و قطر متوسط ذرات تشکیل دهنده بدنه سد خاکی توأماً به صورت پارامترهای عدم قطعیت لحاظ می گردند، بنابراین تمام تغییرات در پارامترهای هندسی با این فرض ایجاد می گردند.

۳-۳-۱- تغییر در مقدار $\frac{HU}{B}$

همان گونه که در جدول (۴) مشاهده می گردد با افزایش مقدار $\frac{HU}{B}$ مقدار دبی پیک ناشی از شکست سد افزایش یافته و مقدار زمان لازم برای این که مقدار دبی به حداکثر مقدار خود برسد کاهش می یابد. شکل (۳) نیز گویای همین مطالب است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین حد کفایت تعداد آنالیزها

آنالیز مونت کارلو توانایی تولید اعداد تصادفی بی شمار برای ایجاد عدم قطعیت در محاسبات را دارا می باشد. لذا جدول (۳) که به عنوان نمونه برای نشان دادن حد کفایت برای تعداد محاسبات نشان داده شده است. با توجه به این جدول نتیجه ای که حاصل می گردد این است که تفاوت آن چنان میان نتایج با آنالیز ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ دیده نمی شود. لذا در این پژوهش تمام سناریوهای شکست سد خاکی تتون در حالت دارای هسته رسی مرکزی با تعداد ۱۰۰۰۰ آنالیز ایجاد می گردد. منظور از چهار متغیر تصادفی در جداول مربوطه، پارامترهای عدم قطعیت ضریب چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، وزن مخصوص و قطر متوسط ذرات مصالح تشکیل دهنده سد خاکی مذکور می باشد.

جدول ۳- تأثیر افزایش مقادیر تصادفی برای دبی پیک و زمان بحرانی در میانگین محاسبات در سد خاکی دارای هسته رسی

با چهار متغیر تصادفی C, \emptyset , Y و D50

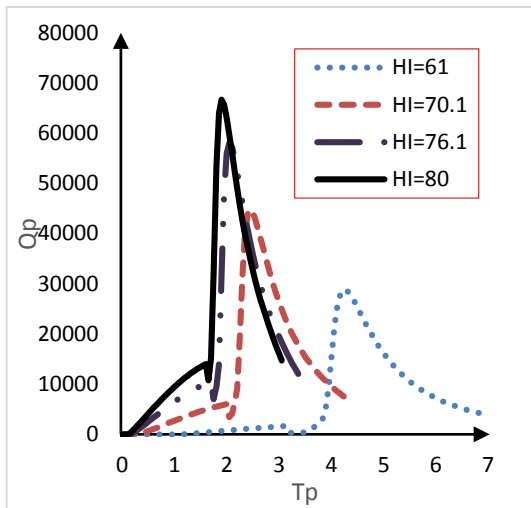
تعداد تکرار	Qp (avg) (m^3s^{-1})	Tp (avg) (hrs)
۱۰۰	۵۵۶۰۲/۳۵	۲/۵۰۶۷۰۴
۵۰۰	۵۵۶۸۵/۷۳	۲/۵۰۷۳۲۱
۱۰۰۰	۵۵۷۸۵/۱۳/	۲/۵۰۷۸۲۴
۵۰۰۰	۵۵۷۳۴/۹۵	۲/۵۰۸۵۳۳
۱۰۰۰۰	۵۵۷۶۹/۶۱	۲/۵۰۸۳۰۴

جدول ۵- جدول نتایج آماری تغییر در مقدار HI

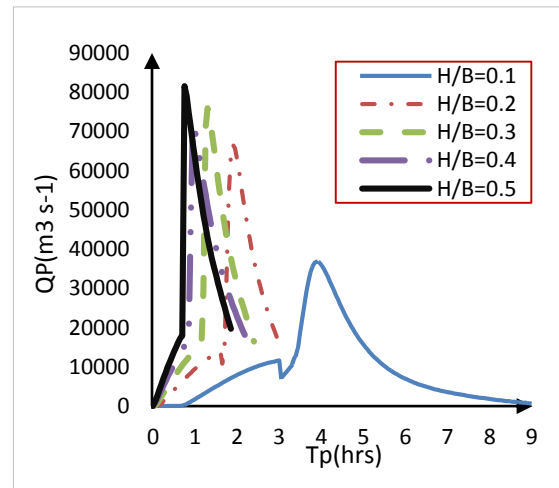
Qp-MAX (m^3s^{-1})	Tp (متناظر) (hrs)	Qp (متناظر) (m^3s^{-1})	Tp-min (hrs)	HI (m)
۳۷۳۴۰/۷۴	۵/۰۴۹۰۱۷	۲۸۹۰۵/۸۸	۴/۲۴۶۵۶۵	۶۱
۵۶۱۴۴/۵۲۰	۲/۷۹۶۰۶۴	۴۴۸۴۰/۲۵	۲/۴۴۷۴۵۱	۷۰/۱
۷۲۱۲۷/۶۲	۲/۳۱۸۶۱۵	۵۸۰۶۳/۲	۲/۰۵۵۴۹۶	۷۶/۲
۸۲۴۸۶/۹	۲/۱۴۱۰۱۶	۶۶۷۱۰/۵۷	۱/۹۰۲۰۰۵	۸۰

جدول ۴- جدول نتایج آماری تغییر در مقدار HU/B

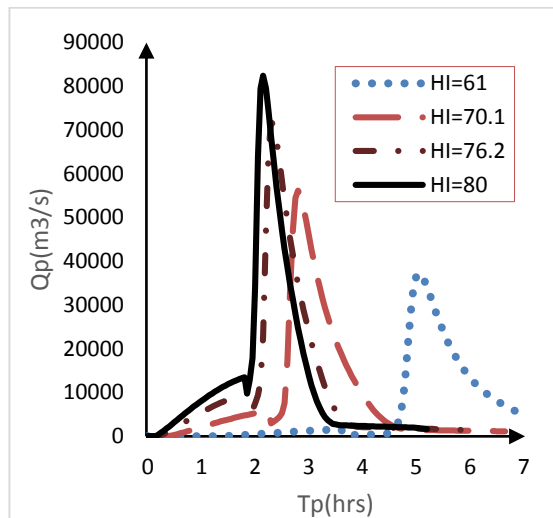
Qp-MAX (m^3s^{-1})	Tp (متناظر) (hrs)	Qp (متناظر) (m^3s^{-1})	Tp-min (hrs)	HU/B
۳۹۳۳۷/۸	۴/۲۴۳۵۲	۳۶۸۴۲/۷	۳/۹۰۵۳۰۵	۰/۱
۸۲۴۸۶/۹	۲/۱۴۱۰۲	۶۶۷۱۰/۶	۱/۹۰۲۰۰۵	۰/۲
۱۰۰۴۲۶۰/۶	۱/۴۵۷۷۵	۷۵۸۳۶/۴	۱/۲۸۸۷۲۸	۰/۳
۱۱۸۶۱۴/۲	۱/۰۴۵۳۱	۷۱۷۲۸	۰/۹۵۶۰۲۴	۰/۴
۱۲۶۰۹۵/۹	۰/۸۲۴۲۰	۸۱۵۹۵/۹	۰/۷۵۳۲۵۶	۰/۵



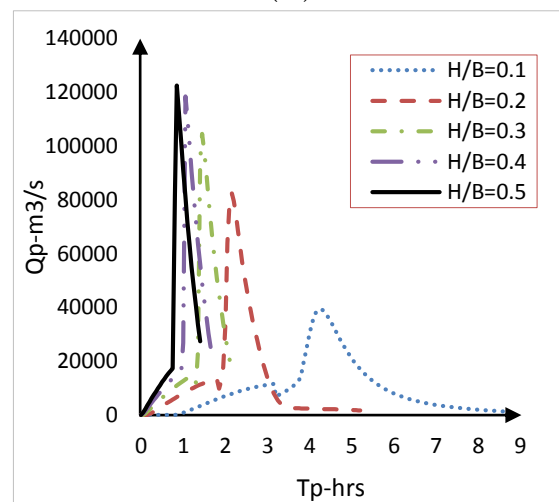
(الف)



(الف)



(ب)



(ب)

شکل ۴- روند تأثیر تغییر HI در هیدروگراف خروجی:
 (الف) سناریو شکست براساس کم‌ترین زمان بحرانی،
 (ب) سناریو شکست براساس بیش‌ترین دبی بحرانی شکست

شکل ۳- روند تأثیر تغییر HU/B در هیدروگراف خروجی:
 (الف) سناریو شکست بر اساس کم‌ترین زمان بحرانی،
 (ب) سناریو شکست براساس بیش‌ترین دبی بحرانی شکست

۳-۳-۳- تغییر در مقدار HU=HI

همان‌گونه که در جدول (۶) مشاهده می‌گردد با افزایش مقدار HU مقدار دبی پیک ناشی از شکست سد افزایش یافته و مقدار زمان لازم برای این‌که مقدار دبی به حداکثر مقدار خود برسد نیز افزایش می‌یابد. شکل (۵) نیز گویای همین مطالب است.

۳-۳-۲- تغییر در مقدار I

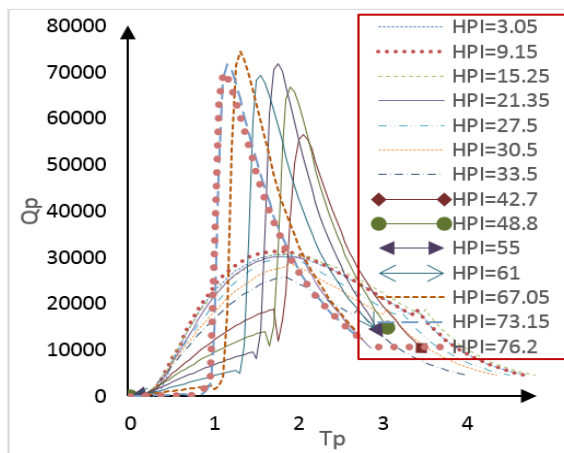
همان‌گونه که در جدول (۵) مشاهده می‌گردد با افزایش مقدار HI مقدار دبی پیک ناشی از شکست سد افزایش یافته و مقدار زمان لازم برای این‌که مقدار دبی به حداکثر مقدار خود برسد کاهش می‌یابد. شکل (۴) نیز گویای همین مطالب است.

جدول ۷- جدول نتایج آماری تغییر در مقدار HPI

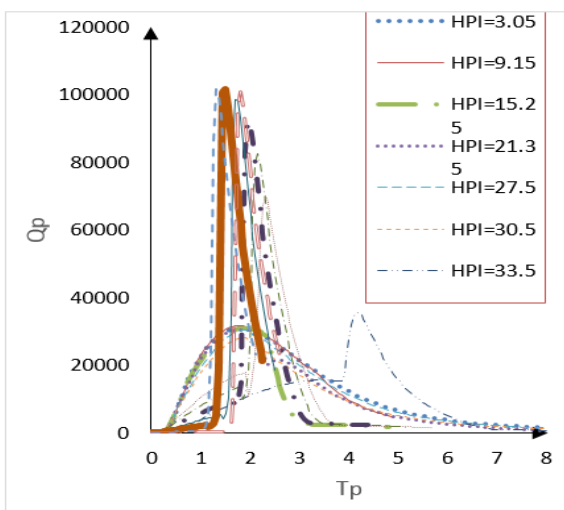
Qp-MAX (m^3s^{-1})	متناظر) Tp (hrs)	متناظر) Qp (m^3s^{-1})	Tp-min (hrs)	HPI (m)
۳۰۸۷۶/۸۷	۱/۷۷۹۹۹۹	۳۰۴۴۷/۳۷	۱/۷۱۹۹۹۹	۳/۰۵
۳۱۶۱۸/۲۹	۱/۷۷۴۹۹۹	۳۱۳۴۶/۵۷	۱/۶۷۹۹۹۹	۹/۱۵
۳۰۹۸۰/۸۱	۱/۸۵۹۹۹۸	۳۰۷۳۵/۴۴	۱/۷۷۹۹۹۹	۱۵/۲۵
۳۰۵۱۲/۸۴	۱/۸۱۴۹۹۹	۳۰۱۵۸/۷۲	۱/۷۵۹۹۹۹	۲۱/۳۵
۳۰۴۶۹/۹۲	۱/۹۰۴۹۹۸	۳۰۱۱۵/۹۲	۱/۸۷۹۹۹۸	۲۷/۵
۲۸۳۰۵/۹۳	۱/۸۸۹۹۹۸	۲۷۹۸۷/۸۱	۱/۸۷۴۹۹۸	۳۰/۵
۳۵۶۷۲/۸۷	۴/۳۷۱۹۶۱	۲۵۷۸۶/۱۲	۱/۸۴۹۹۹۸	۳۳/۵
۶۹۹۶۴/۵۲	۲/۳۰۱۳۱۴	۵۶۵۰۱/۶۷	۲/۰۴۲۰۲۱	۴۲/۷
۸۳۴۸۶/۹۱	۲/۱۴۱۰۲۴	۶۶۷۱۰/۵۷	۱/۹۰۲۰۰۵	۴۸/۸
۹۲۴۹۶/۱۴	۱/۹۹۶۰۳۸	۷۱۹۶۸/۵۲	۱/۷۳۷۱۴۲	۵۵
۹۹۴۵۳/۲۸	۱/۷۲۰۷۶۱	۶۹۳۳۴/۶۴	۱/۵۳۳۲۶۱	۶۱
۱۰۲۳۵۷/۲	۱/۴۷۴۷۱	۷۴۴۹۵/۰۹	۱/۲۹۵۷۰۴	۶۷/۰۵
۱۰۱۷۰۱/۷	۱/۳۱۰۶۴۶	۷۱۷۳۸/۲۷	۱/۱۵۱۰۶۲	۷۳/۱۵
۱۰۱۰۳۶	۱/۷۹۰۷۱	۷۰۰۷۴/۶۱	۱/۱۱۴۹۴۰	۷۶/۲

جدول ۶- جدول نتایج آماری تغییر در مقدار HU

Qp-MAX (m^3s^{-1})	متناظر) Tp (hrs)	متناظر) Qp (m^3s^{-1})	Tp-min (hrs)	HI=HU (m)
۵۲۳۰۲/۸	۱/۳۱۷۶۹۱	۳۸۴۸۰/۸۳	۱/۱۷۶۳۶	۶۱
۸۲۴۸۶/۹	۲/۱۴۱۰۱۶	۶۶۷۱۰/۵۷	۱/۹۰۲۰۰۵	۸۰
۹۹۰۴۸/۹۱	۲/۵۳۷۲۵۱	۸۱۳۰۰/۶۸	۲/۴۶۹۴۵۵	۹۸
۹۹۲۰۵/۱۱	۴/۶۱۶۹۳۱	۸۶۶۳۱/۳	۴/۰۱۷۹۴۸	۱۲۲



(الف)

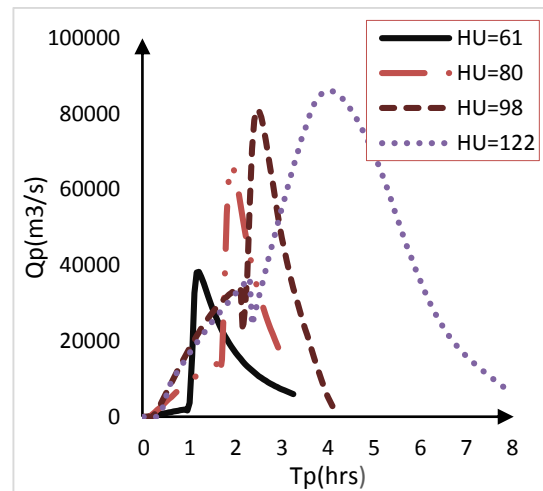


(ب)

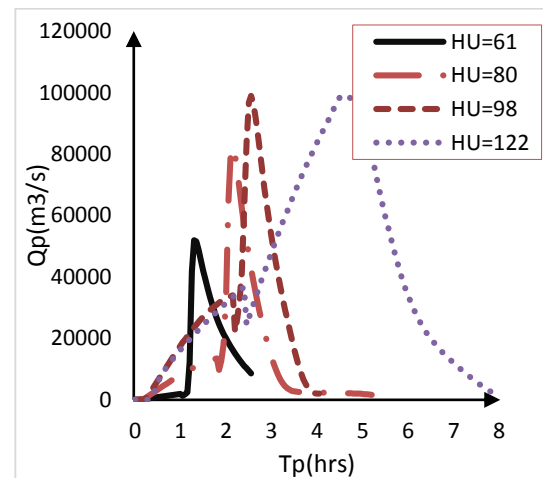
شکل ۶- روند تأثیر تغییر HPI در هیدروگراف خروجی:

الف) سناریو شکست براساس کم‌ترین زمان بحرانی،

ب) سناریو شکست براساس بیش‌ترین دبی بحرانی شکست



(الف)



(ب)

شکل ۵- روند تأثیر تغییر HU در هیدروگراف خروجی:

الف) سناریو شکست براساس کم‌ترین زمان بحرانی،

ب) سناریو شکست براساس بیش‌ترین دبی بحرانی شکست

۳-۳-۴- تغییر در مقدار HPI

با توجه به جدول (۷) با افزایش ارتفاع پایبند مقدار دبی پیک بحرانی به صورت نوسانی روند افزایشی داشته و کم‌ترین زمان بحرانی لازم تا ارتفاع ۴۲/۷ متر روند افزایشی نسبی داشته سپس کاهش می‌یابد، لذا نتایج حاکی از آن است که مقدار دبی پیک و زمان پیک بحرانی به صورت نوسانی سیر صعودی طی خواهند کرد.

به‌طور جداگانه به ازای داده‌های مدل منحنی برازش ترسیم می‌گردد و ضرایب خطا و همبستگی میان داده‌های مدل و منحنی برازش محاسبه می‌گردد.

۳-۵-۱- منحنی برازش کم‌ترین زمان شکست

در مقاله حاضر با توجه به مطالب بیان‌شده منحنی برازش سهمی درجه دو برای هرکدام از دو حالت بیش‌ترین دبی و کم‌ترین زمان بحرانی برای هر پنج مرحله تغییر در ابعاد سد و سطح آب بر مبنای داده‌های مدل BREACH ترسیم شده و ضرایب خطای منحنی برازش و داده‌های مدل مذکور محاسبه گردید. حال برای این که ضرایب خطای منحنی برازش و داده‌ها که به‌صورت نقاط توپر در تصاویر نمایان است کافی است نقاطی از منحنی برازش که هم‌ارز داده‌ها می‌باشند را در نظر گرفته و ضرایب خطا را به‌دست آوریم. همچنین ضرایب خطا و همبستگی میان داده‌ها و منحنی برازش درجه دو در جدول (۱۰) گنجانده شده است. کم‌ترین مقدار RMSE مربوط به حالت تغییرات در ZC می‌باشد یعنی کم‌ترین پراکنش را دارد و بیش‌ترین آن مربوط به حالت $\frac{HU}{B}$ است یعنی بیش‌ترین پراکنش را داراست که ضریب MAE هم این قضیه را تصدیق می‌نماید. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با این اوصاف مقدار MAPE هم در حالات ذکرشده به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار را نشان می‌دهد. با توجه به ضریب تعیین تعدیل‌شده بیش‌ترین همبستگی بین نقاط پیش‌بینی مدل BREACH و نقاط سهمی برازش ترسیم‌شده در حالت HI و کم‌ترین مقدار آن در حالت HPI می‌باشد. CRM در تمام حالات مقدار بسیار ناچیز و بسیار نزدیک به صفر است که این خود نشان‌دهنده عملکرد مناسب خط برازش شده است.

جدول ۱۰- ضرایب خطا و همبستگی حالات مختلف تغییر در ابعاد سد خاکی برای مقایسه نتایج به‌دست آمده مدل با منحنی

برازش ترسیمی با لحاظ زمان بحرانی					
فاکتور متغیر	RMSE	MAPE	MAE	CRM	Adj-R-Square
HU/B	۰/۱۸۳۳	۱۲/۳۵	۰/۱۶۷۳	۰/۰۰۱۹	۰/۹۴۸
HI	۰/۰۴۰۵	۱/۸۱۶	۰/۰۳۹۴	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۲
HU=HI	۰/۰۶۸۶	۳/۳۳۷	۰/۰۶۷	۰/۰۰۰۸	۰/۹۸۳
HPI	۰/۱۴۰۷	۴/۲۰۲	۰/۰۷۱	۰/۰۰۰۲	۰/۸۹۱
ZC	۰/۰۰۱۱	۰/۰۵۲	۰/۰۰۱۰	۰	۰/۹۹۱

هیدروگراف‌های شکل (۶) به تابعیت از اطلاعات جدول (۷) ترسیم شده‌اند.

۳-۳-۵- تغییر در مقدار ZC

نتایج ارائه‌شده در جدول (۸) حاکی از آن است که با تغییر در ضخامت هسته رسی مرکزی در بدنه سد خاکی که با افزایش مقدار ZC ضخامت هسته افزایش می‌یابد، تأثیر آن چنان بر روی هیدروگراف خروجی در لحظه شکست نخواهد گذاشت.

جدول ۸- تحلیل آماری تأثیرات تغییرات ضخامت هسته رسی

ZC	Qp (متناظر) (m^3s^{-1})	TP (متناظر) (m^3s^{-1})	TP-min (hrs)
۰/۹	۸۳۸۲۹/۳۲	۲/۱۱۶۹۰۳	۱/۹۶۶۴۸۳
۱/۲	۸۳۴۰۶/۶۱	۲/۱۳۸۲۳۱	۱/۹۵۸۵۹۲
۱/۵	۸۲۹۳۰/۳	۲/۱۴۹۷۳	۱/۹۳۹۸۵۳
۱/۸	۸۲۴۸۶/۹	۲/۱۴۱۰۱۶	۱/۹۰۲۲۲۵

۳-۴- مقایسه نتایج حالت قطعی با شرایط عدم قطعیت

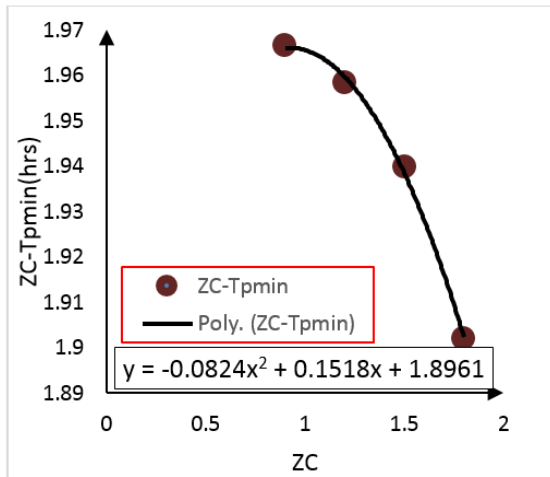
در این بخش مقایسه‌ای مابین نتایج تحلیل بدون لحاظ عدم قطعیت در برآورد پارامترهای مکانیکی مصالح بدنه سد خاکی مفروض با نتایج تحلیل با لحاظ عدم قطعیت ارائه شده است. خلاصه نتایج در جدول (۹) قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۹- مقایسه نتایج شرایط قطعی با شرایط غیرقطعی در

شرایط	پارامترهای هندسی	حالت‌های مختلف
قطعی	$HU=HI=۸۰m, HPI=۴۸/۸m$ $ZU=۲/۵, ZD=۲, ZC=۱/۸$	Qp (max) (m^3/s) : ۶۰۵۵۸۶ Tp (min) (hrs): ۲/۲۰۷
عدم قطعی (ϕ, D_{50})	$(HU/B)_{cr}=۰/۵$	۸۱۵۹۶
	$(HI)_{cr}=۸۰m$	۶۶۷۱۱
	$(HU=۶۱m)_{TP(min)}$	۳۸۴۸۱
	$(HU=۱۲۲)_{Qp(max)}$	۹۹۲۰۵
	$(HPI=۷۶/۲m)_{TP(min)}$	۷۰۰۷۵
عدم قطعی (ϕ, D_{50})	$(HPI=۶۷/۰۵m)_{Qp(max)}$	۱۰۲۳۵۷
	$(ZC=۱/۸)_{TP(min)}$	۶۶۷۱۰
	$(ZC=۰/۹)_{Qp(max)}$	۸۳۸۳۹

۳-۵- روندیابی تغییرات و ضرایب همبستگی و خطا

با توجه به تغییرات ایجادشده در تغییرات هندسی بدنه سد خاکی مشاهده گردید که هرکدام از پارامترهای کم‌ترین زمان بحرانی شکست و بیش‌ترین دبی بحرانی شکست روند افزایشی یا کاهش‌ی خواهند داشت. بنابراین برای هرکدام از پارامترها



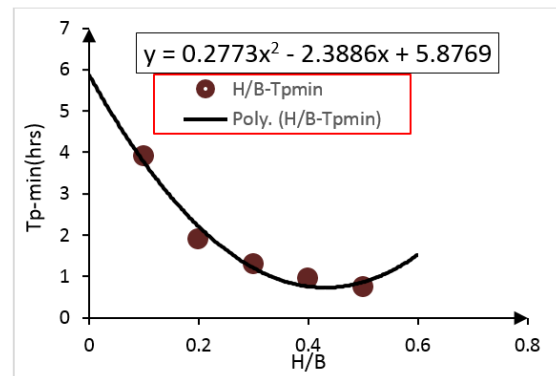
(د)

شکل ۷- منحنی برازش داده‌ها مدل بر مبنای کم‌ترین زمان شکست بحرانی با لحاظ تغییرات هندسه سد و سطح آب اولیه مخزن: الف) منحنی برازش تغییر در HU/B، ب) تغییر در HU، ج) تغییر در HI، د) تغییر در HPI، و) تغییر در ضخامت هسته

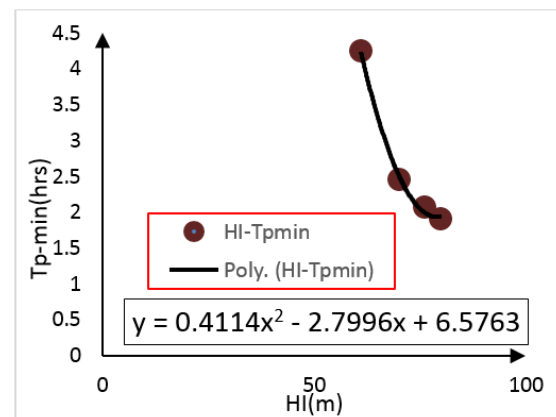
منحنی برازش سهمی درجه دو برای حالت بیش‌ترین کم-ترین زمان بحرانی برای هر پنج مرحله تغییر در ابعاد سد و سطح آب در شکل (۷) ارائه شده است.

۳-۵-۲- منحنی برازش دبی پیک بحرانی

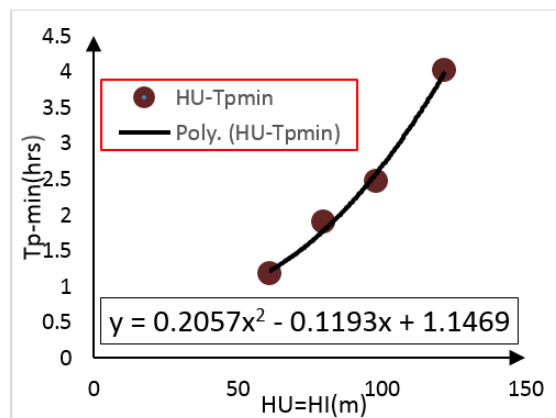
بیش‌ترین دبی بحرانی در حالات مختلف تغییر در ابعاد بدنه سد و تغییر در ارتفاع سطح آب که توسط مدل BREACH استخراج گردید، نقاط قهوه‌ای‌رنگ توپر شکل (۸) مختصات مربوط به داده‌های مدل می‌باشد و منحنی درجه دو که با رنگ مشکی مشخص است نشانگر برازش سهمی گون داده‌ها می‌باشد. حال برای این‌که ضرایب خطای منحنی برازش و داده‌ها که به‌صورت نقاط توپر در تصاویر نمایان است کفایت نقاطی از منحنی برازش که هم‌ارز داده‌ها می‌باشد را در نظر گرفته و ضرایب خطا را به‌دست آوریم. همچنین ضرایب خطا و همبستگی میان داده‌ها و منحنی برازش درجه دو در جدول (۱۱) گنجانده شده است. کم‌ترین مقدار RMSE مربوط به حالت تغییرات در ZC می‌باشد یعنی کم‌ترین پراکنش را دارد و بیش‌ترین آن مربوط به حالت HPE است. یعنی بیش‌ترین پراکنش را داراست که ضریب MAE هم این قضیه را تصدیق می‌نماید. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با این اوصاف مقدار MAPE هم در حالات ذکر شده به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار را نشان می‌دهد.



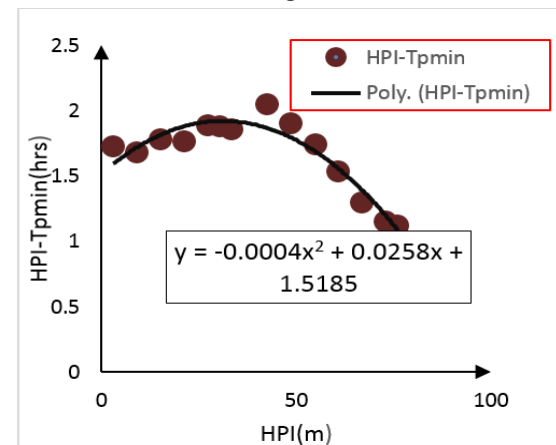
(الف)



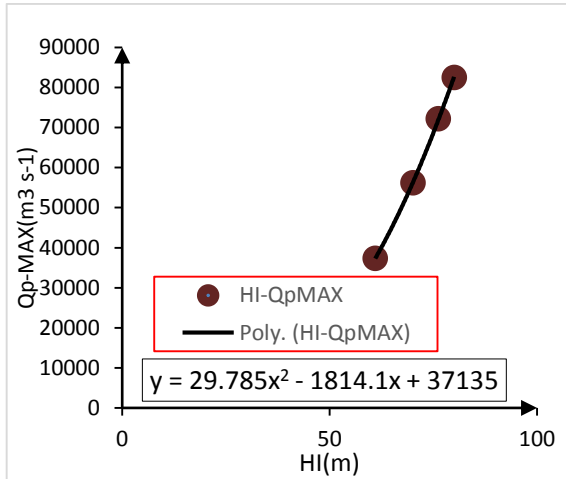
(ب)



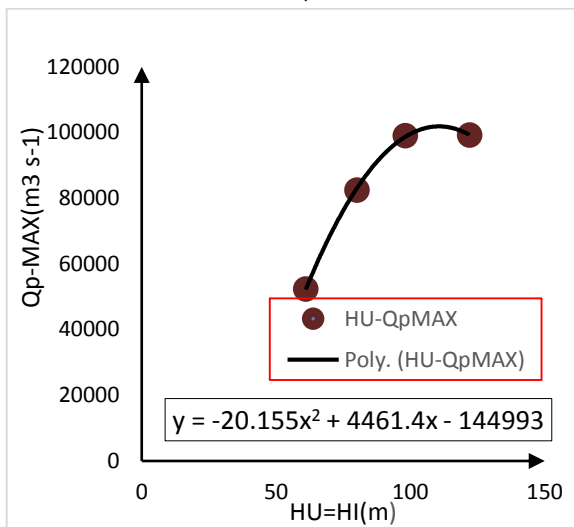
(ج)



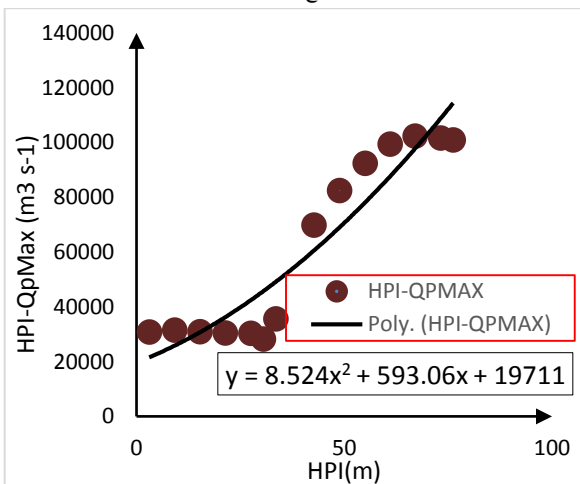
(د)



(ب)



(ج)



(د)

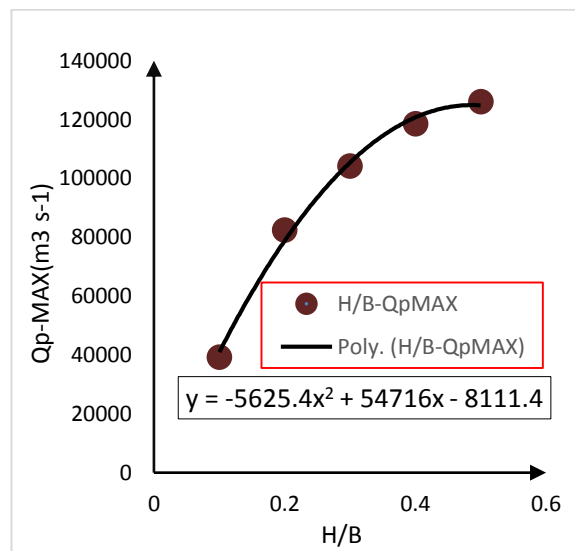
شکل ۸- منحنی برازش داده‌ها مدل بر مبنای بیشترین دبی بحرانی شکست با لحاظ تغییرات هندسه سد و سطح آب اولیه مخزن: الف) منحنی برازش تغییر در HU/B، ب) تغییر در HU،

ج) تغییر در HI، د) تغییر در HPI

جدول ۱۱- ضرایب خطا و همبستگی حالات مختلف تغییر در ابعاد سد خاکی برای مقایسه نتایج به دست آمده مدل با منحنی برازش ترسیمی با لحاظ دبی پیک بحرانی

فاکتور متغیر	CRM	MAE	MAPE	RMSE	Adj-R-Square
HU/B	۰/۹۹	۱۹۸۸/۸۴	۲/۵۱	۲۱۶۳	۰/۹۹
HI	۰/۹۹۹	۷۹/۹۸۵	۰/۱۲	۷۹/۳	۰/۹۹۹
HU	۰/۹۹۸	۳۴۵/۴۲۵	۰/۴۱	۳۶۲/۴	۰/۹۹۸
HPI	۰/۸۶۲	۹۸۶۰/۰۴	۲۰/۶۸	۱۸۱۸۵	۰/۸۶۲
ZC	۰/۹۹۸	۷/۲۲۲۵	۰/۰۰۸	۸/۵	-۰/۰۰۰۰۱

با توجه به ضریب تعیین تعدیل شده بیشترین همبستگی بین نقاط پیش‌بینی مدل BREACH و نقاط سهمی برازش ترسیم شده در حالت HI و کمترین مقدار آن در حالت HPI می‌باشد. معیار CRM در تمام حالات مقدار بسیار ناچیز و بسیار نزدیک به صفر است که این خود نشان دهنده عملکرد مناسب خط برازش شده است. در صورتی که برای CRM برای ZC مقدار منفی را نشان می‌دهد بدین معنی که عملکرد خط برازش اندکی بیش‌تر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌نماید.



(الف)

- Hooshyaripor F, Tahershamsi A, Razi S, "Reservoir's geometry impact of three dimensions on peak discharge of dam-failure flash flood", *Scientia Iranica Transactions A: Civil Engineering*, 2017, 25, 1931-1942.
- Okeke A, Wang F, "Critical hydraulic gradients for seepage induced failure of landslide dams", *Geoenvironmental Disasters-Springer Journal*, 2016, 9.
- Peter SJ, Siviglia S, Nagel J, Marelli S, Boes RM, Vetsch D, Sudret B, "Development of probabilistic dam breach model using Bayesian Inference", *ETHzürich Journal of Water Resources Research*, 2018, RSUQ-2018-004.
- Wahl TL, "Uncertainty of Embankment Dam Breach parameters", *Journal of Hydrolic Engineering*, 2004, 130 (5), 389-397.

۴- نتیجه گیری کلی

- با توجه به پژوهش در مورد تغییرات در ابعاد بدنه سد خاکی، تغییرات در سطح آب اولیه و تغییر در ارتفاع کانال پایپینگ در بدنه سد نتایج جالبی اتخاذ گردید که به طور مختصر در زیر بیان می گردد:
- ۱- پارامترهای عدم قطعیت که کمترین زمان و بیشترین دبی بحرانی را ایجاد می کنند، D_{50} و \emptyset به طور هم زمان می باشند.
 - ۲- با افزایش $\frac{HU}{B}$ مقدار دبی و کمترین زمان بحرانی به ترتیب افزایش و کاهش می یابند که بحرانی ترین حالت را در میان تغییرات هندسی بدنه سد ایجاد می کنند.
 - ۳- با افزایش HI مقدار دبی و کمترین زمان بحرانی به ترتیب افزایش و کاهش می یابند.
 - ۴- با افزایش HU مقدار دبی و کمترین زمان بحرانی هر دو افزایش می یابند.
 - ۵- با افزایش HPI مقدار دبی و کمترین زمان بحرانی به صورت نوسانی به ترتیب افزایش و کاهش می یابند.
- ضخامت هسته رسی با تغییر ZC تأثیر چندانی بر دبی و زمان بحرانی نخواهد داشت.

۵- مراجع

- Amini A, Nourani V, Hakimzadeh H, "Implementation of artificial neural network technique in the simulation of dam breach hydrograph", *Journal of Hydroinformatics*, 2012, 14 (2), 478-496.
- Amini A, Nourani V, Hakimzadeh H, "Genetic programming simulation of dam breach hydrograph and peak outflow discharge", *Journal of Hydrologic Engineering*, 2014, 19, 757-768.
- Awal R, Nakagava H, Fujita M, Kawaike K, Baba Y, Zhang H, "Study on piping failure of natural dam", *Journal of Hydrologic Engineering*, 2011, 539-547.
- Chaiyuth C, Somboon J, Somchai W, "Embankment dam breach and its outflow characteristics", *Civil Engineering and Environmental Systems*, 2004, 1-18.
- Fread lee VM, Tsivoglou AJ, "Modeling of gradual dam-breaches", *Journal of Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*, 1981, 107 (HY6), 829-838.
- Goodarzi E, shui LT, Ziaei M, "Risk and uncertainty analysis for dam overtopping", *Journal of Hydro-Environment Research*, 2013, 1016-1028.
- Hooshyaripor F, Tahershamsi A, "Comparing the performance of neural networks for predicting peak outflow from breached embankments when back propagation algorithms meet evolutionary algorithms", *International Journal of Hydraulic Engineering*, 2012, 1 (6), 55-67.
- Hooshyaripor F, Tahershamsi A, Razi S, "Dam break flood wave under different reservoir's capacities and lengths", *Indian Academy of Sciences*, 2017, 1557-1569.

EXTENDED ABSTRACT

Investigating the Effect of Geometrical Changes of Earth Dam Dimensional Parameters on the Assessment of Piping Failure Discharge with Considering Uncertainty in the Mechanical Properties of Materials

Farhoud Kalateh*, Reza Ahadifar

Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran

Received: 03 June 2019; Accepted: 21 April 2021

Keywords:

Earth dam, Uncertainty, Monte Carlo method, Piping failure, Output hydrograph.

1. Introduction

The aim of this paper is to study the uncertainty in piping failure of the Teton earth Dam with considering geometrical parameters and material uncertainty using the BREACH-GUI model. Piping phenomenon in the body of the dam is one of the two common factors in the dam failure, which is a small intubation in the early hours with low diameter and low flow rate, due to erosion of the tunnel walls, the erosion of the tunnel walls increases the diameter of the tunnel and the flow of water passing through It will be tunnel that, if this amount of flow exceeds a limit, it will break the body of the dam and ultimately lead to the complete destruction of the body of the dam. Predicting the main breach characteristics (size, shape, time of formation) and the break outflow hydrograph with Monte Carlo uncertainty simulation are presented in this paper. The model is physically based on the principles of hydraulics, sediment transport, soil mechanics, geometric and material properties of the dam, and the reservoir properties (storage volume, spillway characteristics, and time-dependent reservoir inflow rate). Obtained results show that, the critical uncertainty parameters that produce the shortest time and maximum discharge flow arising from dam failure are φ (frictional angle) and D50 (efficient diameter of soil). Obtained results show that earth dams with smaller shape factor fails faster and also with increasing in the level of water in the reservoir earth dam piping failure of dam intensify and also with increasing height of dam with constant shape factor the possibility of piping failure of dam is increased.

2. Methodology

2.1. Breach Model

This paper presents a mathematical model (BREACH) for predicting the breach characteristics (size, shape, time of formation) and the break outflow hydrograph. The model is physically based on the principles of hydraulics, sediment transport, soil mechanics, geometric and material properties of the dam, and the reservoir properties (storage volume, spillway characteristics, and time-dependent reservoir inflow rate). The dam may be either man-made or naturally formed as a consequence of a landslide. In either, the mechanics of breach formation are very similar, the main difference being one of the scales.

* Corresponding Author

E-mail addresses: fkalateh@tabrizu.ac.ir (Farhoud Kalateh), reza.ahadifar1372@gmail.com (Reza Ahadifar).

2.2. Monte Carlo Method

Monte Carlo simulations are used to determine the equilibrium phase behavior of surfactant-inorganic oxide-solvent systems, in which the hydrophobic/hydrophilic nature of the inorganic precursor is modified to study how this change affects the final structure of the hybrid material. Lattice Monte Carlo simulations in the canonical ensemble are used to model the aggregation behavior of the hybrid materials and to obtain the ordered porous structure in a system where phase separation occurs. The model used depicts the general behavior of the system such as the self-assembly of surfactants in complex aggregates, phase separation and the formation of ordered lyotropic liquid crystal phases. Hexagonal, lamellar, and perforated lamellar liquid crystal phases are observed at high surfactant concentrations. Ternary phase diagrams for partial and complete miscibility between the inorganic precursor and the solvent are reported.

3. Results and discussion

3.1. Impact in terms of uncertainty

According to Table 1, the results indicate that the two parameters ϕ , D50 are considered as uncertainty parameters in two cases, taking into account the minimum failure time of the dam with a time 1.902 hour and the maximum discharge flow at the moment of dam failure With 82486.9 cubic meters per second, the most critical condition is created. As a continuation of this paper, all computations are considered taking into account the mechanical parameters of soil ϕ , D50 as uncertainty parameters.

Table 1. Types of failure scenarios

ID	Tpmin hrs	QpCorresponding (m^3/s)	QpMAX (m^3/s)	TpCorresponding hrs
certain	2.207739	60585.65	60585.65	2.207739
C	2.191748	58110.73	61268.01	2.196458
Phi	2.18862	59088.41	79170.21	2.232687
Gama	2.196155	61162.02	61173.13	2.196155
D50	1.913725	62827.52	62827.52	1.913725
C,phi	2.187682	64135.3	79170.21	2.232687
C,gama	2.191746	58110.73	61351.73	2.192313
C,D50	1.911417	54294.16	63197.66	1.933407
Phi,gama	2.189802	63086.5	80731.91	2.237497
Phi,D50	1.902005	66710.57	82486.90	2.141016
Gama,D50	1.912905	63148.89	63148.89	1.912905
C,P,G	2.190925	63397.29	80731.91	2.337497
C,P,D50	1.911867	54484.41	81926.27	2.145301
C,G,D50	1.910693	62882.24	63204.59	1.938530
P,G,D50	1.902100	66704.17	81926.27	2.145301
C,P,G,D50	1.911867	54484.41	81926.27	2.145301

3.2. Parametric design equations

If the failure caused by the piping is simulated, the reservoir's water surface should be greater than the height of the center of the pipeline channel line, which will be rectangular. The tunnel volume will increase due to erosion and the tunnels will collapse and become trapezoidal. The flow of water flowing through the erosion tunnel will be calculated by the relationship 1:

$$Q_b = A \left[\frac{2g(H-H_p)}{1 + \frac{fL}{D}} \right]^{0.5} \quad (1)$$

4. Conclusions

According to the research on changes in the dimensions of the body of the dam, changes in the surface water and changes in the height of the pipeline can be found in the dam, which is briefly summarized as below:

The uncertainty parameters that produce the shortest time and maximum critical flow are ϕ and D50 simultaneously. With increasing HU/B , the amount of flow and the lowest critical time are increased and reduced, respectively, which create the most critical situation among the geometric changes of the body of the dam. With increasing HI, the amount of flow and the minimum critical time will increase and decrease respectively. With increasing HU, the amount of flow and the least critical time will increase. With increasing HPI, the amount of flow and the lowest critical time oscillate respectively increase and decrease. The core core thickness with ZC change will not have much effect on the flow rate and critical time.

5. References

- Amini A, Nourani V, Hakimzadeh H, "Implementation of artificial neural network technique in the simulation of dam breach hydrograph", *Journal of Hydroinformatics*, 2012, 14 (2), 478-496.
- Amini A, Nourani V, Hakimzadeh H, "Genetic programming simulation of dam breach hydrograph and peak outflow discharge", *Journal of Hydrologic Engineering*, 2014, 19, 757-768.
- Awal R, Nakagava H, Fujita M, Kawaike K, Baba Y, Zhang H, "Study on piping failure of natural dam", *Journal of Hydrologic Engineering*, 2011, 539-547.