

تحلیل پدیده شکست در سدهای خاکی با توجه به مشخصات شکاف

محمد رضا پایا**

ابوالفضل شمسایی*

(دریافت ۸۲/۸/۷ پذیرش ۸۳/۲/۱۰)

چکیده

مطالعه شکست سد مستلزم تعریف پارامترهای متغیری مانند علت شکست، نوع شکست، ابعاد شکاف ایجاد شده و زمان توسعه شکاف می باشد. پیش بینی دقیق مشخصات شکاف یکی از مهم ترین مباحث برای تحلیل مسأله شکست در سدهای خاکی می باشد. پارامترهای شکاف و تعیین میزان حساسیت هر کدام از آنها بیشترین تأثیر را بر امواج حاصل از شکست دارند. با بررسی های انجام شده، مشخصات پارامترهای شکاف در سد خاکی سیلوه به کمک مناسب ترین مدل تعیین گردیده است. در سد خاکی سیلوه، شکاف از نوع ذوزنقه ای با شیب جانبی $z = 0.01$ (m) و قاعده $b = 80$ (m) محاسبه شده است. زمان توسعه شکاف در این سد معادل ۱/۹۰ ساعت می باشد. با استفاده از نتایج فوق و به کمک نرم افزار DAM BREAK عواقب حاصل از شکست احتمالی سد سیلوه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. تحلیل نتایج، حاکی از آب گرفتگی شهر پیرانشهر واقع در ۱۲ کیلومتری پایین دست سد، بعد از گذشت ۳ ساعت و تا رقوم ۱۴۲۵ متر می باشد. واژه های کلیدی: شکست سد، شکاف یا گسیختگی، پدیده ایجاد لوله در سد خاکی.

Dam Break Analysis of Embankment Dams Considering Breach Characteristics

Shamsaei, A. (Ph.D), Dept. of Civil Eng., Sharif Univ. of Technology
Paya, M.R. (M.Sc.), Abgeer Consulting Engineers

Abstract

The study of dam's break, needs the definition of various parameters such as the break cause, its type, its dimension and the duration of breach development. The precise forecast for different aspects of the breach is one of the most important factors for analyzing it in embankment dam. The characteristics of the breach and determination of their vulnerability has the most effect on the waves resulting from dam break. Investigating, about the parameters of the breach in "Silveh" earth dam have been determined using the suitable model. In Silve dam a trapezoid breach with side slope $z=0.01$ m and the average base line $b=80$ m was computed. The duration of the breaches development is 1.9 hour. Regarding the above results and the application of DAM Break software the consequences of the probable break of the dam was determined. The analysis of the results of water covering of the city of Piranshahr located 12km from silve dam confirms that in 3 hours the water will reach the height (level) of 1425 meters.

* استاد دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف

** کارشناس ارشد شرکت مهندسان مشاور آبگیر

شکل شکاف انتهایی (شکل ۱)، به وسیله (z) که معرف شیب جانبی شکاف می باشد (۱ عمودی به z افقی)، و پارامتر (b) که عرض انتهایی کف آن است، مشخص می گردد.

پارامتر شیب جانبی (z)، بین صفر تا ۲ قرار دارد و مقدار آن، به زاویه پایداری مواد متراکم و مرطوبی بستگی دارد که شکاف در میان آن ایجاد می شود. به این طریق با استفاده از ترکیبات مختلف مقادیر z و b، می توان شکل های مختلف مستطیلی، مثلثی و یا دوزنقه ای را مشخص کرد. برای مثال $z=0$ و $b>0$ بیانگر یک شکاف مستطیلی شکل می باشد. به همین ترتیب $z>0$ و $b=0$ نشان دهنده یک شکاف مثلث شکل است.

عرض شکاف انتهایی (b) به عرض متوسط شکاف (\bar{b})، عمق شکاف (h_d)، و شیب جانبی شکاف (z) بستگی دارد و از رابطه زیر به دست می آید:

(۱)

$$b = \bar{b} - zh_d$$

همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می شود، مدل مورد نظر، عرض کف شکاف را در یک نقطه فرض می کند و سپس آن را با توجه به فواصل زمانی گسیختگی و در طول زمان، به صورت خطی یا غیرخطی تا رسیدن به عرض انتهایی (b) بزرگ می کند. عرض انتهایی نیز، معمولاً در جایی است که کف شکاف تا رقوم ارتفاعی h_{bm} ، با پدیده فرسایش مواجه می گردد. h_{bm} ، معمولاً ولی نه الزاماً، عبارت از ارتفاع کف نهایی مخزن یا مجرا است. اگر t کمتر از یک دقیقه باشد، عرض کف شکاف به جای این که از صفر شروع شود، از مقدار b آغاز می گردد. چنین حالتی معمولاً به جای گسیختگی فرسایشی عنوان گسیختگی واژگونی تلقی می گردد [۱ و ۱۰].

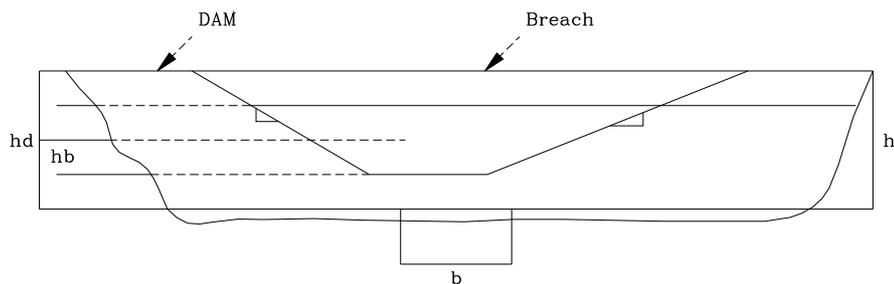
شکاف، نوعی بازشدگی در سد است که در هنگام شکست سد ایجاد می شود. مکانیک واقعی شکست در مورد سدهای خاکی و یا بتنی، هنوز به خوبی استنباط نگردیده است. در تلاش های قبلی، برای پیش بینی سیلاب پایین دست ناشی از شکست سدها، معمولاً فرض بر این بوده است که سد به طور کل و در یک لحظه شکسته می شود. محققین امواج سیلابی شکست سد، فرض کرده اند که شکاف ایجاد شده در جسم سد تمام سد را در بر می گیرد و در یک لحظه به وقوع می پیوندد [۱، ۲، ۳، ۶ و ۱۰]. برخی دیگر، بر این باورند که شکاف به طور جزئی در قسمتی از سد به وقوع می پیوندد و پس از مدت زمان (Δt) کامل می شود [۹ و ۱۰]. ولی به هر حال آن ها نیز وقوع شکاف را لحظه ای فرض کرده اند [۵ و ۸]. فرضیات شکاف لحظه ای و کامل و تحلیل امواج شکست سد به خاطر راحتی در به کارگیری روش های ریاضی تدوین شده اند. این فرضیات تا حدودی برای سدهای نوع بتنی قوسی مناسب هستند ولی برای سدهای خاکی و بتنی وزنی مناسب نمی باشند.

انواع گسیختگی (شکاف)

گسیختگی سرریز شونده^۱

شکست یا گسیختگی سرریز شونده، به صورت یک شکاف مستطیل، مثلث و یا دوزنقه ای شکل شبیه سازی می شود که در اثر گذشت زمان به تدریج، از تاج سد به سمت پایین دست، ادامه می یابد (شکل ۱). جریان در میان شکاف، در هر لحظه، با استفاده از معادله سرریز لبه پهن، محاسبه می شود.

^۱ Overtopping breach



شکل ۱- نمای سد از جلو به منظور نشان دادن تشکیل شکاف سرریز شونده

سدی را که هنوز شکاف در آن ایجاد نشده است، شبیه‌سازی نمود.

ارتفاع کف شکاف طبق رابطه زیر به عنوان تابعی از زمان (t) شبیه‌سازی می‌شود:

$$(۲) \quad 0 < t_b \leq t$$

$$h_b = h_d - (h_d - h_{bm}) \left(\frac{t_b}{t} \right) \rho$$

در این رابطه :

h_{bm} = ارتفاع نهایی کف شکاف؛ t_b = زمان سپری شده از ابتدای شروع شکاف به بعد؛ و ρ = نمای شکل غیر خطی شکاف، می‌باشد.

باید توجه داشت که نمای شکل غیر خطی بین ۱ تا ۴ تغییر می‌نماید. مقدار یک، مقدار مربوط به درجه خطی بودن و عدد دو، مربوط به درجه ربعی شکاف غیر خطی می‌باشد. ضمناً ذکر این نکته لازم است که درجه تشکیل شکاف معمولاً به صورت خطی فرض می‌شود.

عرض کف لحظه‌ای شکاف (b_i) با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(۳) \quad 0 < t_b \leq t$$

$$b_i = b \left(\frac{t_b}{t} \right) \rho$$

در حین شبیه‌سازی شکست سد، تشکیل واقعی شکاف از زمانی آغاز می‌گردد که ارتفاع سد آب مخزن (h) بیش از مقدار مشخص h_f می‌گردد. این ویژگی موجب می‌شود که بتوان سرریز شدن آب از روی

شکست ناشی از پدیده ایجاد لوله^۱ در جسم سد

شکست از نوع ایجاد لوله، یک شکاف روزنه‌ای مستطیلی است که در طول زمان توسعه می‌یابد و می‌توان در هر ارتفاع از جسم سد ایجاد گردد. با فرض فوق، می‌توان این نوع گسیختگی را شبیه‌سازی نمود. جریان لحظه‌ای در میان شکاف، با توجه به رابطه بین ارتفاع استخر و بالای روزنه، محاسبه می‌گردد.

مشخصات شکاف در سدها

سدهای وزنی بتنی نیز، نظیر یک یا چند مقطع یکپارچه که در حین ساخت سد الزاماً در اثر فرار آب از هم جدا می‌شوند، تمایل به ایجاد شکاف جزئی (قسمتی) دارند. زمان تشکیل شکاف فقط در حد چند دقیقه است.

پیش‌بینی تعداد قطعات یکپارچه، که ممکن است در اثر شکست سد وزنی بتنی جابه‌جا شده، و یا از بین بروند، مشکل است. در هر حال با استفاده از DAMBRK و کاربرد متعدد و جداگانه آن در شرایطی که عرض شکاف (b) بیانگر طول‌های مرکب و متناوب

¹ Piping

شکست‌های ناشی از رگابزایی یا ایجاد لوله در جسم سد، وقتی به وقوع می‌پیوندد که، شکاف اولیه در نقطه‌ای زیر قسمت بالای سد، به علت فرسایش و ایجاد مجرای داخلی (لوله) در میان سد، در اثر فرار آب، به وجود می‌آید. زمان شکست در اثر رگابزایی، در مقایسه با شکست ناشی از سرریز شدن، معمولاً خیلی طولانی‌تر است، زیرا سطح بالادست، در مراحل اولیه توسعه رگابزایی، به کندی شسته می‌شود. روزنه در حین پیشرفت گسیختگی در سد هر چه بیشتر و بیشتر باز می‌شود و در نهایت با سرعت به حفره‌ای در بالادست سد منجر می‌گردد. سدهای خاکی با تراکم ضعیف، و یا با مصالح ضایعات معادن، دارای عرض متوسط شکاف بزرگ‌تر از محدوده عرض شکاف در سدهای خاکی معمولی مورد بحث در قسمت فوق، می‌باشند.

اخيراً برخی از پیش‌بینی‌کنندگان توانسته‌اند با روش‌های آماری مقادیری را برای \bar{b} و t ارائه دهند. معادلات زیر با استفاده از خصوصیات شکاف‌های ۴۳ سد شکسته شده و تحقیقات محققین حاصل گردیده‌اند. محدوده ارتفاعی سدهای مذکور بین ۱۵ تا ۲۸۵ فوت قرار داشته است و فقط ارتفاع ۶ سد آن‌ها بین ۱۵ تا ۱۰۰ فوت بوده است [۴، ۷ و ۱۰].

(۴)

$$\bar{b} = 9.5K_0 [(V_r h_d)]^{0.25}$$

(۵)

$$t = 0.8 \left[\frac{V_r}{h_d^2} \right]^{0.50}$$

در این روابط :

\bar{b} = عرض متوسط شکاف (فوت) و t = زمان شکست (ساعت)

k_0 = برای رگابزایی برابر با ۱ و برای سرریز شدن

برابر با

۱/۴

V_r = حجم مخزن (ایکر فوت)

قطعات یکپارچه مفروض باشد، ارتفاعات سطح آب حاصله و سرعت‌های شکاف‌برداری را می‌توان برای نشان دادن کاهش فشار بار روی سد نشان داد. با توجه به این که فشار بار در اثر افزایش عرض (b) کاهش می‌یابد، لذا بدین وسیله می‌توان شرایط حد ایمنی بارگذاری را که موجب گسیختگی بیشتر نمی‌گردد، برآورد نمود.

سدهای قوسی بتنی، تمایل دارند که به طور کامل شکسته شوند و زمان مورد نیاز برای تشکیل شکاف در آنها فقط در حد چند دقیقه است. پارامتر شیب جانبی فشار (z) برای سدهای بتنی معمولاً صفر فرض می‌شود. (شکاف مستطیلی).

سدهای خاکی، که بیش از انواع دیگر سدها به وفور یافت می‌شوند، نه تنها به طور کامل بلکه لحظه‌ای نیز از هم گسیخته نمی‌شوند. عرض متوسط شکاف کامل سدهای خاکی معمولاً در محدوده بین $(3h_d < \bar{b}) < h_d$ قرار دارند. در اینجا، h_d عبارت از ارتفاع سد می‌باشد. بنابراین عرض شکاف در سدهای خاکی، معمولاً کمتر از طول سد در عرض دره، است. هم‌چنین، برای تشکیل شکاف در میان مواد فرسایش یافته ناشی از فرار آب، به یک فاصله زمانی محدود، نیاز هست. زمان کل شکست با توجه به ارتفاع سد، نوع مصالح به کار رفته در سد، شرایط تراکم مصالح و تداوم (اندازه و مدت) سرریز شدن جریان فرار آب، ممکن است در محدوده بین چند دقیقه تا چند ساعت باشد.

زمان شکست، به گونه‌ای که در DAMBRK به کار می‌رود، عبارت از فاصله زمانی بین اولین شکاف در سطح بالادست سد تا تشکیل کامل شکاف است. تشکیل شکاف در مورد شکست‌های ناشی از سرریز شدن، از شست و شوی سطح پایین دست سد، آغاز می‌گردد. پیشرفت شکاف و عمیق شدن آن به سمت عقب عرض تاج، نهایتاً به سطح بالادست، می‌رسد و به شکست نهایی منجر می‌گردد.

h_0 = ارتفاع (فوت) آب روی کف انشعاب (معمولاً حدود ارتفاع سد)

هدف دیگر از مشخص کردن خصوصیات شکاف، استفاده از مشخصات فیزیکی و نحوه فرسایش شکاف ایجاد شده توسط مدل، می باشد. این تحقیق، نیازمند فرض حالت بحرانی و تشخیص مشخصات مخزن و جریان در بیشترین حالت است [۱ و ۹]. این روش نیازمند تشخیص دقیق شکل و اندازه شکاف است. در این روش شکل و اندازه شکاف دو عامل مهم و بحرانی برای نحوه حرکت و توسعه شکاف است [۷ و ۱۰].

دانشمندان، با ارائه یک روش محاسبات عددی سریع از مدل فرسایش، که از به هم پیوست معادلات مایر-پتیر و مولر در حرکت رسوبات حاصل شده بود، به کمک روش های عددی تفاضل های محدود در جریانات متغیر همراه رسوبات، پدیده تشکیل شکاف و شسته شدن جسم سد را شبیه سازی کردند. نتایج حاصله، با مشاهدات عملی توسعه یک شکاف در سدی روی رودخانه مانتارو در پرو مقایسه شد. در نهایت، با تطابق مدل محاسباتی با مشاهدات عملی، مشخص شد که توسعه شکاف به طور قابل ملاحظه ای به مقدار n مانینگ، وسعت جریان از داخل شکاف (شکل فیزیکی و نحوه توسعه شکاف) و یک ضریب از مقدار رسوب موجود در جریان بستگی دارد [۸].

مدل ریاضی شکاف

اخیراً، فرید^۱، مدل گسترش شکاف در سدهای خاکی را توسعه بخشید [۱۰]. مدل ارائه شده توسط فرید، اساساً با مدل های قبلی تفاوت دارد. مدل فرید، یک مدل ریاضی بر پایه فیزیک شکاف می باشد، که می تواند پارامترهای متغیر شکاف را پیش بینی نماید (سایز، ابعاد، زمان توسعه) و در نهایت، هیدروگراف دبی حاصل از شکاف را تحلیل می کند. این مدل، با استفاده از بهم پیوستن قسمت عمده جریان ورودی به

مخزن، حجم آب ذخیره شده در مخزن، جریان خروجی از سرریز سد، جریان خروجی از شکاف با در نظر گرفتن مقدار رسوبات حمل شده و میزان تغییرات جریان در هر شکلی از فرسایش شکاف، توسعه پیدا کرد.

رشد و توسعه شکاف، بستگی به مصالح به کار رفته (دانه بندی خاک، وزن واحد حجم، زاویه اصطکاک و قدرت چسبندگی مواد) در سد دارد. حالات زیر می تواند در حمل ذرات خاک، نحوه ایجاد شکاف و زمان توسعه آن مؤثر واقع شوند.

- ماهیت مصالح می تواند دارای خواصی باشد که در قسمت خاصی از سد ایجاد شکاف نماید.

- احتمال ایجاد پدیده لوله در جسم سد نسبت به حالت عبور آب از روی تاج سد^۲ بیشتر می باشد.

- می توان با ایجاد پوشش گیاهی (مثلاً چمن) در ضلع پایین دست و یا استفاده از موادی با دانه بندی درشت و مناسب در قسمت های پایین دست به صورت پوششی، از ایجاد شکاف و توسعه آن جلوگیری کرد.

- مکانیسم توسعه شکاف، هنگام ایجاد یک یا چند فروریختگی در بخش های یک سد، به فشار هیدرواستاتیکی خیلی زیاد و نیروی چسبندگی مواد تشکیل دهنده سد، بستگی دارد.

- توسعه پهنای شکاف، در اثر فرو ریختن دو طرف شکاف سد، مطابق قانون پایداری شیب انجام می شود. مقایسه پیش بینی های مدل، با موارد مشاهداتی در شکست از نوع رگابزدگی یا ایجاد لوله، در سد تیون در آیداهو و شکست رگابزدگی در سد دریاچه لون در کلرادو، و شکست از نوع سرریز شدن از تاج سد و ایجاد لغزش در بدنه سد در سد پرو، مطلوب و قابل قبول بوده است.

حساسیت این مدل به پارامترهای عمومی، حداقل است. این مدل حتی به زاویه اصطکاک داخلی مواد تشکیل دهنده سد و پوشش گیاهی خارجی بدنه سد و

² Over topping

¹ Fread, 1984-87

با انتخاب دو مقدار فرضی با توجه به مختصات و شرایط فیزیکی سد برای \bar{b} و t می‌توان در معادله ۷ مقدار Q_p را محاسبه نمود، سپس با مقدار Q_p^* که از معادله ۶ به دست آمده، مقایسه کرد. اگر $Q_p \gg Q_p^*$ بود، یا \bar{b} خیلی بزرگ انتخاب شده است، و یا t خیلی کوچک می‌باشد. اگر $Q_p \ll Q_p^*$ ، آنگاه یا \bar{b} خیلی کوچک انتخاب شده، و یا t خیلی بزرگ است. با ایجاد تغییراتی در \bar{b} و t و انجام مقایسه فوق، می‌توان مقدار واقعی \bar{b} و t را در هنگام ایجاد شکاف واقعی در حالت بحرانی، پیش‌بینی نمود.

در این تحقیق، با استفاده از معادله ۶ و محاسبه میزان دبی پیک در ۲۱ سد شکسته شده و مقایسه نتایج با مقادیر مشاهداتی، مشخصات شکاف با خطایی کمتر از $\pm 20\%$ درصد به دست آمد.

حساسیت پارامترها

انتخاب پارامترهای شکاف، قبل از شکافتن سد، یا در غیاب نتایج مشاهداتی مشابه، نتایج غیر مشخص و بعضاً غیر قابل اطمینان، از سیلاب شکست در پایین دست را، موجب می‌شود. با این حال، خطاهای پارامترهای شکاف و تأثیر آن در میزان جریان خروجی پیک و نتایج حاصل از مدل، در موج پیشرو سیلاب شکست در پایین دست، مستهلک می‌شود. میزان استهلاک، به وسعت دشت سیلابی پایین دست بستگی دارد. دشت‌های وسیع‌تر، میزان استهلاک بیشتری خواهند داشت و هرچه از مقطع سد به سمت پایین دست پیش می‌رویم، درصد خطا کاهش خواهد یافت.

مقادیر b و z ، باید با توجه به نوع خاص سد و با توجه به مقدار متوسط \bar{b} شکاف در بیشترین حالت ممکن، انتخاب شوند. زمان شکست (t)، باید در کمترین میزان ممکن انتخاب شود، تا بیشترین حجم جریان خروجی در بحرانی‌ترین حالت را نشان دهد. مقادیر تخمینی برای \bar{b} و t ، باید قابلیت تطابق با شرایط موجود در سد را داشته باشند تا بتوان زمان

قدرت چسبندگی مواد تشکیل دهنده سد، حساس می‌باشد.

تعیین پارامترهای شکاف در سدهای خاکی

با بررسی کلیه مدل‌ها و انجام تحقیقات آزمایشگاهی برای تعیین پارامترهای شکاف (t و b) استفاده از معادلات زیر پیشنهاد می‌شود:

(۶)

$$Q_p^* = 370 (V_r h_d)^{0.5}$$

(۷)

$$Q_p = 3/\bar{b} \left[\frac{C}{t + \frac{c}{(h_d)^{1/5}}} \right]^2$$

(۸)

$$C = 23/4 \frac{A_s}{b}$$

Q_p^* = دبی پیک مورد انتظار در هنگام شکاف برداشتن

Q_p = دبی پیک مورد انتظار در هنگام شکاف برداشتن

V_r = حجم مخزن

A_s = سطح مخزن در بالاترین رقوم آب در پشت سد

معادله ۶ برای ۱۴ سد که در گذشته شکسته شده بودند، آزمایش شد و حداکثر تطابق بین نتایج مشاهداتی و دبی عبوری مشاهده گردید. روابط ۷ و ۸ توسط فرید در سال ۱۹۸۱ ارائه شده‌اند و مورد تأیید و استفاده سرویس هواشناسی و هیدرولوژی ایالت متحده^۱، در مدل کردن شکست و شکاف برداشتن سدها، می‌باشند [۱۰].

¹ Nws

برای تعریف این پارامتر متغیر و استخراج نتیجه با کمترین درصد خطا موارد زیر در نظر گرفته شد.

- ۱- هدف نهایی از بررسی فاجعه شکستن یک سد
- ۲- استفاده از آمار سدهای شکسته شده و مقایسه مشخصات سد سیلوه با موارد مشابه آن که در گذشته شکسته شده‌اند.

هدف نهایی این تحقیقات، به حداقل رساندن خسارت جانی و مالی در پایین دست سد است و این هدف مستلزم تصور شکست سد در بدترین حالت ممکن می‌باشد. از این رو، علت شکست سد پر شدن مخزن و سرریز شدن آب از تاج سد انتخاب شد.

تعیین پارامترهای شکاف سد سیلوه

برای تعیین پارامترهای شکاف مثل نوع شکاف، ابعاد شکاف و زمان ایجاد و توسعه شکاف از آمار سدهای مشابه که در گذشته شکسته شده‌اند، و هم‌چنین روش‌ها و مدل‌های مختلف که توسط دانشمندان پیشنهاد شده و توضیح آن در قسمت‌های گذشته آمده است، استفاده شد. در نهایت با مقایسه نتایج به دست آمده از روش‌های گوناگون و کالیبره کردن آن‌ها با شرایط مشاهداتی، مقادیر زیر برای پارامترهای شکاف پیش‌بینی شد.

نوع شکاف دوزنقه‌ای با شیب جانبی $z=0/01m$ و قاعده متوسط $b=8.0m$ و قاعده ابتدایی تشکیل شکاف $(m) b=0/30$ فرض شد.

بعد از انتخاب مشخصات شکاف، برای تعیین مدت زمان توسعه شکاف به حداکثر مقدار زمان آن، از فرمول تجربی زیر استفاده شد. این فرمول با توجه به مشخصات شکاف‌ها در سدهایی که در گذشته شکسته شده و با در نظر داشتن فاکتورهای سطح مخزن در حجم حداکثر، قاعده متوسط شکاف، حجم کل مخزن، حداکثر ارتفاع آب در پشت سد و دبی پیک سیلاب شکست به صورت تجربی توسط مهندسین ارتش آمریکا پیشنهاد شده است^[۱].

رسیدن سیلاب به مسافت‌های دور پایین دست سد را با دقت بیشتری پیش‌بینی نمود.

نرخ متوسط حرکت موج سیلاب (سرعت متوسط) در دره پایین دست، اغلب بین ۲ تا ۱۰ مایل بر ساعت می‌باشد. در ادامه با معرفی سد مخزنی سیلوه، مسأله شکست در این سد، با توجه به مشخصات فیزیکی و موقعیت استراتژیک آن در بحرانی‌ترین حالت تحلیل می‌شود.

مطالعه موردی

سد مخزنی سیلوه، به صورت خاکی با هسته رسی و به حجم مخزن ۲۲۵ میلیون مترمکعب، می‌باشد. این سد بر روی رودخانه لاورین چای و در بالادست شهر پیرانشهر واقع شده است. وجود شهر پیرانشهر در فاصله ۱۲ کیلومتری پایین دست این سد، اهمیت بررسی نتایج حاصل از شکست این سد را دو چندان می‌کند. مقادیر و پارامترهای زیر، براساس داده‌های سازه‌ای و زمین‌شناسی مهندسی، هیدرولوژی حوضه آبریز رودخانه و نقشه‌های توپوگرافی منطقه و با کمک مهندسین طراح و مشاور سد استخراج شد. این سد در رقوم پایه (بستر رودخانه) ۱۵۰۰ متر واقع شده و با ارتفاع ۸۷ متر قدرت آبیگری حداکثر ۲۲۵۴۶۳۸۳۲ مترمکعب را دارد. طول تاج ۳۶۰ متر و عرض تاج سد ۱۲ متر می‌باشد. تاج سد در رقوم ۱۵۸۹ و تاج سرریز در رقوم ۱۵۸۴ واقع شده. حداکثر ارتفاع آب در هنگام سیلاب PMF بر روی سرریز ۱/۸ متر است که با توجه به طول ۸۰ متری سرریز مقدار ۴۴۳ مترمکعب بر ثانیه آب را از خود عبور می‌دهد. سطح مخزن سد در حجم حداکثر برابر با ۱۰۴۲۲۶۸۸ مترمربع می‌باشد. تخلیه مخزن سد در حجم حداکثر توسط خروجی‌های سد (سرریز و دریچه خروجی آب کشاورزی) ۱۵/۱۲ روز به طول می‌انجامد.

شکست آزمایشی و تحقیقاتی سد مستلزم تعریف پارامترهای متغیری مانند علت شکست، نوع شکست، ابعاد شکاف، زمان ایجاد و توسعه شکاف می‌باشد.

¹ US Army Corps of Engineers, Breach Model, 1987

(m) $z=0/01$ می باشد. (در حالت عبور آب از روی تاج سد). قاعده متوسط شکاف ایجاد شده در بدنه سد سیلوه (m) $\bar{b}=80$ و قاعده شکاف تشکیل شده در تاج سد در ابتدای گسیختگی (m) $b=0/30$ می باشد. زمان توسعه شکاف از ابتدای ایجاد در تاج سد تا تکمیل شکاف، معادل یک ساعت و پنجاه و چهار دقیقه محاسبه شده است.

- مقدار پیک سیلاب شکست برابر با $76114/22$ مترمکعب بر ثانیه می باشد و جریان خروجی حائز اهمیت که تقریباً بیش از ۹۰ درصد حجم مخزن را شامل می شود، در مدت ۸ ساعت از محل تشکیل شکاف به پایین دست جریان می یابد (شکل ۱).

- ۶۰ درصد حجم مخزن در طی تقریباً دو ساعت و نیم بین ساعت های $1/2$ الی $3/6$ بعد از شکاف برداشتن سد، تخلیه می شود. مقدار پیک جریان شکست تقریباً دو ساعت بعد از عمل شکاف برداشتن سد به وقوع می پیوندد (شکل ۲).

- به دلیل خاکی بودن سد و زمان نسبتاً طولانی ایجاد شکاف در سد (حدود دو ساعت)، از توسعه موج منفی در مخزن سد صرف نظر گردیده است و از آنجا که جریان های ورودی به مخزن حائز اهمیت نمی باشد، سطح مخزن در حین تخلیه با روند ثابتی افت می کند.

- نمودار پروفیل ارتفاع سیلاب در شکست سد سیلوه، بیانگر رقوم مختلف سیلاب شکست در فواصل پایین دست سد می باشد (شکل ۳). با استفاده از این نمودار نقشه پهنه خیس شدگی در اثر سیلاب شکست در پایین دست سد ترسیم گردیده است. براساس محاسبات انجام شده، شهر پیرانشهر که در فاصله ۱۲ کیلومتری پایین دست سد واقع است، تا رقوم ۱۴۲۵ متر به زیر آب خواهد رفت.

(۹)

$$t = C \left[\left(3.1 \frac{\bar{b}}{Q_p} \right)^{\frac{1}{3}} - \frac{1}{\sqrt{h_d}} \right]$$

در این فرمول :

t = زمان شکست (hr) و Q_p : دبی پیک سیلاب شکست (cfs) که توسط فرمول ۶ محاسبه می شود

$$\bar{b} = \text{عرض متوسط شکاف (ft)}$$

$$h_d = \text{ارتفاع سد (ft)}$$

با استفاده از مدل ریاضی BREACH پارامترهای شکاف به شرح زیر برای سد مخزنی سیلوه به دست آمده است:

$$b=0.30(m)$$

$$t=1.90(hr)$$

$$h_d=88(m)$$

$$z=0.01(m)$$

$$h_{bm}=0$$

$$b=80(m)$$

$$Q_p=76114.22(m^3/s)$$

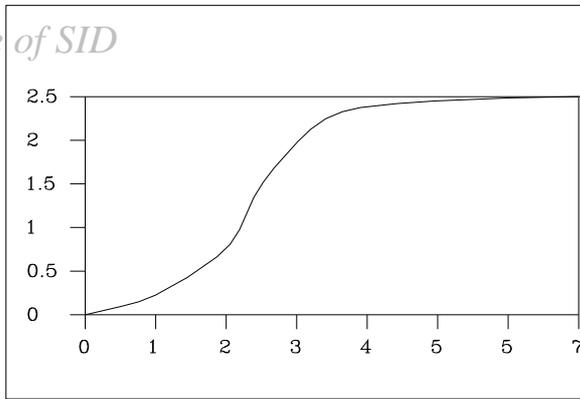
لازم به یادآوری است که با توجه به توضیحات هیدرولیکی در قسمت های قبل جریان در میان شکاف در هر لحظه با استفاده از معادله سرریز لبه پهن محاسبه می شود. برای توصیف مشخصات رودخانه در پایین دست سد از ۲۲ مقطع عرضی استفاده به عمل آمده است.

نتایج

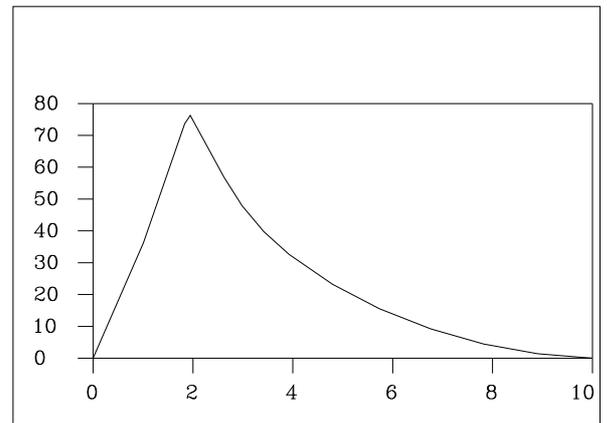
نتایج به دست آمده در این تحقیق عبارتند از:

- ایجاد شکاف در سدها به دو صورت طبقه بندی می شوند؛ شکاف های ایجاد شده ناشی از سرریز شدن آب از تاج لوله که معمولاً به شکل های مستطیلی، مثلثی و دوزنقه ای ایجاد می شوند و شکاف های ایجاد شده به علت پدیده ایجاد لوله در جسم سد.

- با توجه به خصوصیات فیزیکی سد سیلوه، شکاف در این سد به صورت دوزنقه ای با شیب جانبی



شکل ۲- حجم جریان خروجی شکست

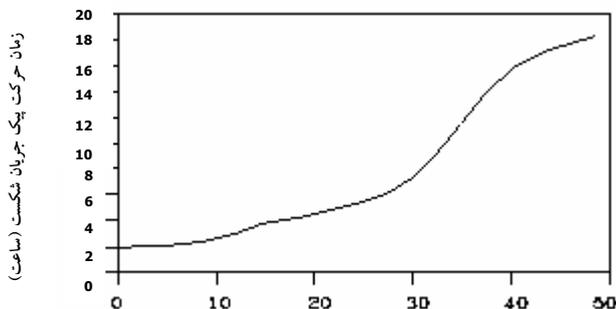


زمان (ساعت)

زمان (ساعت)

شکل ۱- هیدروگراف جریان خروجی شکاف

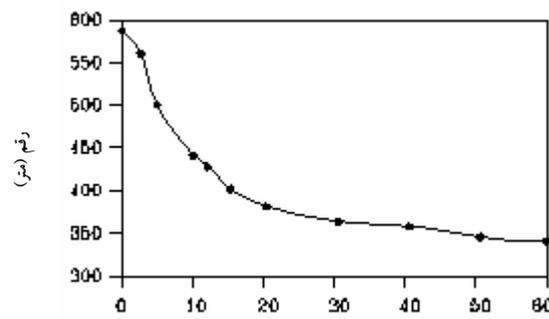
نسبت به زمان



زمان حرکت پیک جریان شکست (ساعت)

فاصله

شکل ۴- حرکت پیک جریان شکست در دشت پایین



ارتفاع (متر)

فاصله پایین دست سد (کیلومتر)

پایین دست سد (کیلومتر)

شکل ۳- پروفیل رقوم پیک جریان شکست در پایین دست سد سیلوه دست سد سیلوه

پیک سیلاب دارد که به عنوان خطای جزئی قابل صرفنظر کردن است.

- مدت زمان سیلاب به نقاط مختلف پایین دست سد، در شکل ۴ مشخص شده است. به این ترتیب نزدیک به ۳ ساعت طول خواهد کشید تا موج سیلاب شکست به شهر پیرانشهر برسد و این زمان برای انجام اقدامات و عملیات هشدار و امداد رسانی مناسب است.

- با در نظر گرفتن ضریب زبری مانینگ متوسط در پایین دست سد و با توجه به نوع پوشش منطقه (مقدار متوسط ۰/۰۴۵) نتایج به دست آمده، حاکی از اختلاف نیم تا یک درصد برای زمان حرکت پیک سیلاب می باشد. این امر تأثیر بسیار کمی بر ارتفاع

- 1- DE SAINT – VENANT B. "Theorie du mouvement non permanent des eaux. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences". 187;73:147.
- 2- RITTER, A., (1961). "Die Fortpflanzung der Wässer Wellen. Z. des Ver. Deutsch Ing", 36(33): 947.
- 3- DRESSLER R.F. (1972). "Hydraulic Resistance Effects upon the Dam Break Function", Journal of Research of the National Bureau of Standards, 49(3) 217.
- 4- WHITHAM, G.B., (1974). "The Effects of Hydraulic Resistance in Dam Break Function", Journal of Research of the Royal Society of London, A(227):399.
- 5- SU, S. and BARNES, A.H., (1970). "Geometric and Frictional Effect on Sudden Releases", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 96, 2185.
- 6- SAKKAS, J.G., and STREKOFF, R., (1983). "Dam Break Flood in a Prismatic Dry Channel", Journal of the Hydraulic Division, ASCE, 99:2195.
- 7- SMITH, P.C.A., (1973). "Similarity Solution for Slow Viscous Flow Down an Inclined Plane", Journal of Fluid Mechanics, 58(2): 275.
- 8- WILSON, S., (1998) "Dam BURGESS S.L. The Steady Spreading Flow of a Rivulet of Mud", Journal of Non Newtonian Fluid Mechanics, 79:77.
- 9- SCHWARTZ, L.W., (1989). "Viscous Flows Down an Inclined Plane: Instability and Finger Formation Physics of Fluids", A(1) : 443
- 10- Manual of Dam BREAK Software, (1998). [Boss dbk. Com] internet.