بسم الله الرحمن الرحيم

٤٢٥٧

۱۳۸۱ /۹/ ۳۰
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

دانشگاه تبریز
دانشکده فنی- گروه آب

پایان‌نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی

عنوان:

بررسی اثرات زبری بستر در سرعت انتشار امواج ناشی از شکست ناگهانی سد

استاد راهنما:
دکتر یوسف حسن‌زاده

استاد مشاور:
دکتر بهمن فرهمند آذر

پژوهشگر:
عطاءالله رنجینه‌خجسته

۴۳۵۲۷

۱۳۸۱

با تشکر و سپاس از:

با سپاس فراوان و تقدیر از اساتید ارجمندم جناب آقای دکترحسن‌زاده و آقای دکتر فرهمندآذر که استاد اخلاق بنده نیز می‌باشند و این کوشش ناچیز جز با صبر و تحمل ایشان به نتیجه نمی‌رسید، بدینوسیله نسبت به مقام شامخ ایشان ادای احترام می‌نمایم و با سپاس از مسئولین محترم گروه آب دانشکده فنی، انتشارات دانشکده فنی، بخش رفرانس و مجلات و سایر عزیزانی که مرا در این کار یاری نمودند.

نام‌خانوادگی دانشجو: رنجینه خجسته **نام:** عطاالله

عنوان پایان‌نامه: بررسی اثرات زبری بستر در سرعت انتشار امواج ناشی از شکست ناگهانی سدّ

استاد راهنما: جناب آقای دکتر حسن‌زاده **استاد مشاور:** آقای دکتر فرهمندآذر

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** عمران **گرایش:** سازه‌های هیدرولیکی **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: فنی-دانشگاه‌تبریز **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** ترم دوم ۸۱-۸۰ **تعداد صفحه:** ۲۱۶

کلید واژه‌ها: جریان شکست سدّ- روش مشخصه - روش تفاضل محدود- روش حذف انحراف کلی- معادلات سن و نان - ضریب زبری مانینگ- سرعت پیشانی موج- موج مثبت- موج منفی- موج خشک کننده عمق جریان- شیب بستر- بستر زبر- توابع محدود کننده- تصحیح آنتروپی.

چکیده

جریان ناشی از شکست سدّ اغلب تلفات جانی و مالی فراوانی به همراه دارد با وجود منظور داشتن ضرائب اطمینان کافی در طراحی سدّهای بزرگ و کنترل نظارت دقیق بر ساخت آنها و نیز انجام آزمایش بر روی مدلهای ساخته شده، احتمال وقوع شکستگی سدّ وجود دارد که به دلایل مختلفی نظیر طغیان رودخانه‌ها، وقوع سیلاب پیش‌بینی نشده و بیش از ظرفیت سرریز، اشتباه در طراحی سرریز، پدیدهٔ روباه یا پایپینگ، واژگونی، اشتباه در طراحی، اشتباهات اجرایی، ضعف پی، زلزله بیش از میزان تحمل سدّ و بالاخره صدمات ناشی از جنگ نظیر بمباران می‌باشد. جریان سیلاب ناشی از شکست سدّ جریان**غیردائمی**با تغییرات سریع محسوب می‌شود و دارای یک موج مثبت است که بطرف پایین دست به پیش می‌رود و یک موج منفی است که به طرف بالا دست یعنی آب ساکن مخزن عقب‌نشینی می‌کند. همچنین موج سومی بنام موج خشک کننده پس از رسیدن موج منفی به انتهای مخزن به طرف پایین دست منتشر می‌شود. برای مطالعه نحوه انتشار موج حاصل از شکست سدّ از دو معادلهٔ پیوستگی جریان و معادلهٔ دینامیک جریان استفاده می‌شود که به "معادلات سن و نان" مشهور می‌باشند. برای تحلیل معادلات سن و نان روش‌های مختلفی از قبیل تحلیل ریاضی استوکر، روش مشخصه، تئوری تجربی درسلر، روش مطالعه بدون بعد و روش‌های عددی تفاضل محدود و ... وجود دارند که هر یک دارای محاسن و معایب خاص خود هستند؛ با استفاده از روش‌های مختلف انتشار جریان ناشی از شکست سدّ در کانال خشک و مرطوب مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین نمودارهای کاربردی ارتفاع و سرعت موج با تغییر زمان و مکان و برای زبری‌های مختلف بصورت متنوع ارائه گردیده است و اثرات زبری بستر بر روی ارتفاع و سرعت امواج حاصل مورد بررسی قرار گرفته است و بازای زبری‌های مختلف توسط شبیه‌سازی رایانه‌ای با دقت و وضوح بالا، نمودارهای کاربردی ارائه و با هم مقایسه گردیده‌اند. در پایان از یک مدل رایانه‌ای سه بعدی دره طبیعی به منظور بررسی میزان بالا آمدگی آب و تراز احتمالی آب گرفتگی استفاده شده است و ناحیه خطر بصورت تصاویر رایانه‌ای رنگی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که افزایش زبری بستر باعث افزایش عمق جریان و در نتیجه افزایش ناحیه خطر آب گرفتگی و از طرفی باعث کاهش سرعت جریان و سرعت پیشانی موج می‌گردد. بررسی نتایج بعمل آمده نشان می‌دهد که پیشانی موج مثبت و موج منفی خشک کننده نسبت به زبری دارای حساسیت می‌باشند و افزایش زبری سبب افت سرعت پیشانی موج مثبت و پیشانی موج منفی خشک کننده خواهد شد.

فهرست مطالب

عنوان .....صفحه

فصل اول - بررسی آماری پدیده شکست سد

۱-۱- تعریف سد ۱
۱-۲- اهمیت پدیده شکست سد..... ۱
۱-۳- نگاهی به آمار سدهای دنیا..... ۱
۱-۴- خطرات شکستگی سدها..... ۲
۱-۵- بررسی آماری علل شکست سدها..... ۳
۱-۶- نتیجه گیری از خطرات شکستگی‌ها ۴
۱-۷- خسارتهای ناشی از شکست سد ۷

فصل دوم - جریان غیر دائمی در کانال باز

۲-۱- ارتباط موضوع با مسأله شکست سد ۱۴
۲-۲- معادلات حرکت ۱۴
۲-۳- روش‌های تحلیل معادلات حرکت ۱۷
۲-۴- روش مشخصه..... ۱۸
۲-۴-۱- موج ساده و روش تحلیل مشخصه ۲۱
۲-۴-۲- روابط موج ساده ۲۴
۲-۵- روش تحلیل عددی ۲۶
۲-۵-۱- مدل ریاضی جریان ۲۶
۲-۵-۲- روش شبکه بندی عددی ۲۹

فصل سوم - تحلیل موج حاصل از شکست سد

۳-۱- تحلیل موج حاصل از شکست سد با استفاده از روش کلاسیک فرنچ ۳۰
۳-۲- تحلیل با روش مشخصه ۳۴
۳-۳- تحلیل با روش ریتر ۳۵
۳-۴- روش تحلیل استوکر ۳۸

عنوان.....صفحه

۳-۴-۱- معادلات حـاکـم ۳۹

۳-۴-۲- تبـدیل معادلات حاکم ۴۱

۳-۴-۳- مدل جدید در شکل انتگرالی ۴۲

۳-۴-۴- حل تئوریک موج برای کانال مستطیلی ۴۵

۳-۴-۵- تحلیل بدون بعد سیلاب شکست سد ۴۸

۳-۴-۶- مقایسه روشهای این بخش ۵۲

۳-۵- شبیه سازی سیلاب حاصل از شکست سد بوسیله روشهای تفاضل محدود ۵۳

۳-۵-۱- معرفی روش TVD - مک کورمک ۵۳

۳-۵-۲- تاریخچه روش TVD - مک کورمک ۵۳

۳-۵-۳- معادلات حاکـم ۵۴

۳-۵-۴- ژاکوبین تقریبـی ۵۶

۳-۵-۵- رابطـه رایمن ۵۸

۳-۵-۶- تحلیل برای کانال مستطیلی با سطح مقطع ثابت ۵۹

۳-۵-۷- روش پیشگو – تصحیح گـــر ۶۰

۳-۵-۸- توابع محدود کننـده ۶۲

۳-۵-۹- شـرایط پایداری ۶۳

۳-۵-۱۰- مطالعه مقایسه‌ای بیـن توابع محدود کننـده مختلف ۶۴

فصل چهارم - بررسی اثرات زبری بستر بر انتشار امواج حاصل از شکست سد

۴-۱ تئوری درسلر و ایتهام ۶۷

۴-۲- تئوری آشفتگـی درسلر ۷۱

۴-۳- مقایسه داده‌های تجربی و تئوریک ۷۲

۴-۴- برآورد زبری کانال (ضریب مانینگ n) ۷۴

۴-۵ زبری متغیر و شکل دره نامشخص ۷۵

۴-۶ مزایای تعریف زبری متغیر ۸۰

۴-۷- یک سؤال اساسی ۸۲

۴-۸- تحلیل رایانـــه‌ای شکست سـد در حالت کلـی ۸۳

۴-۸-۱- روش مشخصـه عـددی ۸۴

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

عنوان .....صفحه

۴-۸-۲- اعمال شرایط مـرزی ۸۶
۴-۸-۳- تعریف نقاط فرعی بین نقاط اصلی شبکه ۸۷
۴-۸-۴- برنامـه‌های رایانـه‌ای ۸۸
۴-۸-۵- مشخصات مثال عملـی مورد تحلیـل ۹۰
۴-۹- نتایج تحلیل رایانه‌ای ۹۰
٤-۱۰- تعیین ناحیه خطر با استفاده از مدل رایانـه‌ای ۹۱
۴-۱۱- بررسـی سـرعت در پیشانی موج ۹۳
۴-۱۲- پیشروی موج منفی به انتهای مخـزن و بازگشت آن ۹۷
۴-۱۳- موج خشک کننده ۹۸
۴-۱۴- بررسی اثرات شیب و زبری بستر بر سرعت امواج ۹۹

فصل پنجم - تجزیه و تحلیل نتایج

۵-۱- نتایج حاصل از ترسیم نمودار سرعت نسبت به زمان ۱۰۳
۵-۲- تجزیه و تحلیل نمودارها ۱۰۷
نمودارها .....
خلاصـه نتایج ۱۱۷
منابـع و مأخذ ۱۱۸

ضمائم

ضمیمه (۱) - آمار ۱۲۱
ضمیمه (۲) - تعیین مقاومت زبری بستر ۱۲۴
برنامه‌های رایانه‌ای ۱۲۷

پیشگفتار

با وجود تدابیر و مطالعات فراوان در زمینه محاسبه، طراحی و ساخت سدّ نارسایی‌هایی از قبیل محدود بودن آمار سیلاب‌های رودخانه و هیدرولوژی منطقه، پیچیدگی‌های زمین شناسی و معضلات ساخت پی و آب‌بندی زیر سدّ همواره درستی این مطالعات را با خطر مواجه می‌سازد بعنوان مثال آمار سیلاب‌های رودخانه‌های کشورمان بیش از چند دهه قدمت ندارد که در نتیجه امکان وقوع یک سیلاب بسیار سهمناکتر از پیش‌بینی‌های انجام شده وجود دارد.

از طرفی نمی‌توان به بهانه نبود آمار و مطالعات محاسبات را خیلی دست بالا گرفت و هزینه‌ها را بدون دلیل کافی افزایش داد. در نتیجه بروز شکست سد را نباید از نظر دور داشت و به فراموشی سپرد. از طرف دیگر طبیعت همواره تمایل به حرکت در جهت افزایش بی‌نظمی و حداقل تراز انرژی دارد و ما با احداث سد ایندو اصل را به مبارزه می‌طلبیم در نتیجه آبی که دارای انرژی حرکتی بوده و ما با احداث سد متوقف کرده‌ایم و تراز آن رفته رفته زیاد می‌شود و انرژی پتانسیل پیدا می‌کند، نهایت سعی خود را مبذول خواهد داشت تا راهی برای عبور از این مانع پیدا کند لذا امکان بروز پدیده پایپینگ (عمل روباه)، جریان نشتی، فرار آب از مخزن و ... وجود دارد.

همچنین طبیعت هرگز خود را ملزم به تبعیت از مطالعات و آمارها نمی‌کند در نتیجه سیلاب‌های پیش‌بینی نشده در راه است. از طرفی فرض‌های ساده کننده ما برای طبیعت ناشناخته است و در نتیجه با پیچیدگی خاص خود در آنها خلل وارد می‌آورد. گاهی نیز ما در محاسبات، مطالعات، فرض‌ها و یا اجرا دچار اشتباهاتی می‌شویم که فاجعه بار است به تمام موارد مذکور باید اثرات ناشی از جنگ و بمباران و را اضافه نمود. لذا با مطالعه آثار و عواقب آن باید خطرات احتمالی را در نظر بگیریم و تدابیر لازم را بعمل آوریم

از جمله فرض‌های ساده کننده‌ای که اغلب در تحلیل شکست سد اعمال می‌شود نادیده گرفتن **اثر شیب بستر** و **زبری بستر** می‌باشد که قطعاً در نتایج تأثیر گذار خواهد بود. لذا با توجه به اینکه **زبری بستر** یک پارامتر تعیین کننده است و آزمایش‌های بعمل آمده از تحت تأثیر قرار گرفتن سرعت و ارتفاع موج در اثر **زبری بستر** حکایت می‌کند بنابراین بررسی اثرات زبری بستر بر امواج حاصل از شکست سدّ شیب ترک فرصت و کاملتری از این پدیده و خطرات احتمالی خواهد گردید که بوسیله شبیه سازی رایانه‌ای و شبکه‌بندی با دقت و وضوح بالا به این مهم پرداخته شده است در پایان نیز با مدلسازی رایانه‌ای اثرات زبری در افزایش وسعت ناحیه خطر و آب گرفتگی در یک دره با توپوگرافی مشخص و تراز پخش سیلاب مورد بررسی قرار گرفته است.

امید است این تلاش کوچک گامی دیگر بسوی تحقق اهداف محققین این رشته باشد.

فصل یک

بررسی آماری پدیدهٔ شکست سد

۱-۱- تعریف سدّ

در واقع سدها به منظور تامین احتیاجات کشاورزی و یا تامین آب شرب مردم از سال‌ها قبل ساخته شده‌اند. پیشینه سد سازی به ۵۰۰۰ سال قبل [۱] یعنی حدوداً ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح بر می‌گردد. زمانیکه مصریان باستان برای آبیاری زمینهای خود سد احداث کردند.

امروز، هدف از احداث سد علاوه بر تأمین آب شرب و کشاورزی، تولید الکتریسیته، ایجاد کانال‌های کشتیرانی، انشعاب و انحراف آب، تنظیم جریان رودخانه و بالاخره گردشگری و جاذبه‌های توریستی می‌باشد.

۱-۲- اهمیت پدیده شکست سدّ

با توجه به عظمت بنا، حجم بالای مصالح بکار رفته و هزینه‌های سنگین احداث سدّ، کارکرد اقتصادی و جنبه‌های تأمین نیرو و آب و ایجاد اشتغال، سدّ یک بنای استراتژیک محسوب می‌گردد که فروپاشی و انهدام آن سبب از بین رفتن سرمایه ملی و تلفات جانی و ضربه‌های سنگین اجتماعی و روانی است. بنابراین تمامی تلاش محققین و دانشمندان به بررسی همه جانبه و محدود ساختن ابعاد خسارات ناشی از شکست سد می‌باشد.

سدهای بزرگ و نیز بعضی از سدهای کوچکتر برای ساکنین پایین دست خطراتی در بر دارند که نادیده گرفتن آن تأسف‌آور است. بنابراین تخمین خطرات شدید با احتمال کم بهتر از اتخاذ تصمیمات خوش بینانه بر پایه کم بودن احتمال شکست سد خواهد بود.

۱-۳- نگاهی به آمار سدهای دنیا

ثبت جهانی تا آخر سال ۱۹۷۷ تعداد سدهای جهان را ۱۵۶۲۸ سد به استثنای سدهای چین نشان می‌دهد. به منظور انجام مقایسه بهتر کشورهای جهان به چهار گروه امریکا، ژاپن، اروپای غربی و سایر تقسیم شده‌اند که در جدول زیر مشاهده می‌کنید [۱].

البته مسلم است که اطلاعات این جدول چه در آن سال و چه اکنون کامل نبوده و نیست ولی توجه به آن خالی از لطف نیست.

جدول ۱-۱- مقایسه و طبقه‌بندی آمار سدّهای جهان

کل	متر ۱۵ <	ارتفاع نامعین	متر ۱۵ >	
۵۶۱۸	۳۷۱۴	۷۱۷	۱۱۸۷	امریکا
۲۰۰۳	۲۰۰۳	صفر	صفر	ژاپن
۲۹۰۹	۲۵۶۶	۳۳	۳۱۰	اروپای غربی
۵۰۹۸	۴۴۰۳	۴۴	۶۵۱	سایر کشورهای جهان (بغیر از چین)
۱۵۲۶۸	۱۲۶۸۶	۷۹۴	۲۰۴۸	کل

۱-۴- خطرات شکستگی سدها

بطور کلی از تعداد ذکر شده فوق سالیانه ۱/۵ شکستگی ثبت شده است که در اینصورت احتمال خطر شکستگی در سال برابر 10^{-4} خواهد بود. که عمده دلایل آن ناشی از طغیان رودخانه‌ها، پدیده روباه، ضعف پی، زلزله و یا بمباران می‌باشند. [۳] با وجودیکه روز به روز سدها با ابعاد بزرگتری ساخته می‌شوند ولی بعلت پیشرفت فن‌آوری فرکانس خطر شکستگی‌ها در خلال ده سالهٔ اول عمر سدّ از مقدار ۱/۶٪ قبل از سال ۱۹۰۰ به ۱٪ در خلال سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۵۰ و ۰/۲٪ از سال ۱۹۵۰ به بعد رسیده است. خطرات شکستگی در پنج سال اول تقریباً برابر مقدار آن در بقیه طول عمر سدّ می‌باشد.

این بدین معناست که اشتباهات ناشی از طراحی یا اجرا در زمان آبگیری سال یا چند سالهٔ اول نمایان می‌شود بیش از $\frac{1}{4}$ شکستگی‌ها در اثر "فرو رفتن در آب" و $\frac{1}{2}$ سایر شکستگی‌ها در پنج سال اول بوقوع پیوسته‌اند.

پر شدن سدّ تنها چند سال بعد از شروع بهره‌برداری آن تأثیر می‌گذارد. از ۴۲ شکستگی حاصل از اولین پر شدن سد، چهار تای آنها بترتیب در ۱۲، ۱۱، ۷ و ۵ سال بعد

از شروع بهره‌برداری بوقوع پیوسته‌اند. (سدهای بوزی[1] و مالپاسه[2] در فرانسه، یوونتس[3] در اسپانیا و بیل‌بری[4] در انگلستان) "به نقل از منبع شماره [٤]".

۱-۵- بررسی آماری علل شکست سدّها

۱-۵-الف- شکستگی در حین ساختمان

خطر فرو رفتن سد در آب در حین ساختمان راحت‌تر پذیرفته می‌شود زیرا عواقب آن کمتر از شکستگی مخزن پر است. اما آمار نشان می‌دهد که حتی در این مورد نیز احتیاط‌های انجام گرفته افزایش یافته است و در سال‌های قبل از ۱۹۰۰ از هر ۳۰۰ سد و در فاصله ۱۹۵۹ - ۱۹۰۰ از هر ٦۰۰ سد و از سال ۱۹۵۰ به بعد از هر ۱٦۰۰ سد فقط یک سد قبل از بهره‌برداری شکسته شده است [۱].

۱-۵-ب- شکستگی در اولین بار پر شدن

آمار نشان می‌دهد که $\frac{2}{3}$ شکستگی‌ها قبل از سال ۱۹۳۰ اتفاق افتاده است که آمار مربوط به ۳۰۰۰ سد است در حالیکه در سال‌های بعد از ۱۹۳۰ $\frac{1}{3}$ باقیمانده بوقوع پیوسته که مربوط به ۱۰۰۰۰ سد است یعنی ۱٪ قبل از سال ۱۹۳۰ و $\frac{1}{10}$ ٪ از آن تاریخ به بعد "به نقل ازمنبع شماره [٤]".

۱-۵-ج- شکستگی ناشی از فرو رفتن در آب

آمار نشان می‌دهد که از ٤۳ سد شکسته شده ۲۱ سد قبل از سال ۱۹۳۰ و ۲۲ سد بعد از سال ۱۹۳۰ شکسته شده‌اند این آمار برای کشور امریکا ۱٤ سد قبل از سال ۱۹۳۰ و ٦ سد بعد از آن سال است [۲] که نمایانگر بهبود طراحی سر ریز و تخلیه کننده سیلاب در آن کشور می‌باشد.

1- Bouzey
2- Malpasset
3- Puentes
4- Bilberry

اگر چه درصد شکستگی بعد از سال ۱۹۳۰ کاهش یافته است یعنی از $\frac{7}{10}$٪ به $\frac{2}{10}$٪ کاهش یافته است اما با توجه به پیشرفت فن‌آوری در زمینه محاسبه و ساخت سر ریزها و تخلیه کننده‌ها این میزان کاهش قانع کننده نیست و به نظر می‌رسد که پارامترهای دیگر نظیر ناقص بودن آمار و اطلاعات سیلاب‌ها و بی‌نظمی‌های هیدرولوژیک طبیعت و نیز تغییر آب و هوای کره زمین در ۵۰ سال اخیر دخیل باشند "به نقل از منبع شماره [٤]".

۱-۵-د- شکستگی در حین بهره‌برداری

این شکستگی‌ها معلول عوامل فراوانی می‌باشد نظیر تحول نامساعد بعضی از قسمت‌های تأسیسات سد یا تکیه‌گاه‌ها، فرسودگی، نگهداری بد و ... که در این نوع شکستگی عمر سدً عامل تعیین کننده نیست بلکه نحوه نگهداری و فرسایش و ... اغلب تعیین کننده‌تر می‌باشند.

۱-۶- نتیجه‌گیری از خطرات شکستگی‌ها

ملاحظه شد که خطرات از بین رفتن سدها در مدت یک قرن اخیر بطور محسوسی کاهش یافته است. در سدهای ساخته شده و یا مورد بهره‌براری در حال حاضر در ژاپن و اروپای غربی می‌توان خطرات را بطور خیلی کلی بشرح زیر تخمین زد.

الف) در حین ساختمان: خطر در حدود ۰/۵ در ۱۰۰۰ می‌باشد؛ در مواردی که امکان پرشدن کامل مخزن موجود نبوده و یا اعلام خطر در مدت زمان خیلی کوتاهی انجام گیرد. این نوع خطر اهمیت کمتری خواهد داشت. با وجود این، دو شکستگی بر قوع پیوسته در اندونزی و فیلیپین قربانیان زیاد را به جا گذاشتند.

ب) در حین اولین بار پر شدن: پیشرفت‌های جالب توجهی از آغاز قرن اخیر حاصل شده‌اند. با تنها ١٤ شکستگی مشاهده شده از کل ۵۰ سد به اتمام رسیده دنیا در ۵۰ سال

اخیر، می‌توان نتیجه گرفت که اولین بار پر شدن سد، نمی‌تواند عامل اصلی شکستگی‌ها باشد (قبل از سال ۱۹۳۰، این نسبت ۳۰ به ٦٤ بود). در ۵۰ سال اخیر یک سد از ۱۰۰۰ تا در اولین بار پر شدن، شکسته شده است. در ژاپن و یا اروپای غربی، خطر مزبور بسیار کم بوده و در حدود ۰/۵ در ۱۰۰۰ می‌باشد.

ج) خطر حاصل از فرو رفتن در آب: در این مورد نیز در مقیاس جهانی اختلاف فاحشی بین ۵۰ سال اخیر و دوره قبلی، مخصوصاً به سبب بزرگی سهم امریکا، مشاهده می‌شود. این تحول در کشورهای با تاریخ تمدن کهن مثل ژاپن و اروپای غربی چندان روشن نیست. در این کشورها از مجموع ۸۰۵ سد موجود در اول قرن اخیر و ٤٥٦٩ سد در سال ۱۹۷۷؛ ۵ فرو رفتگی در آب مشاهده گردیده‌اند. با وجود این، با توجه به بهتر شدن تخلیه کننده‌های سیلاب تعدادی از سدهای موجود که شرط لازم در تأسیسات جدید است؛ خطر فعلی بدون شک، کمتر خواهد بود.

د) خطرات شکستگی درحین بهره‌برداری: بنظر می‌رسد در مقیاس جهانی اهمیت نسبی این نوع شکستگی در نتیجه کاهش دو شکستگی پیشین افزایش یافته است؛ ١٤ شکستگی از بین ۵۰ سد در پنجاه سال اخیر در برابر ۱۳ شکستگی از بین ٦٤ سد قبل از سال ۱۹۳۰ [۱].

جدول ۱-۲- شکستگی سدهای بزرگ جهان بعد از ژانویه ۱۹۶۶ [۱].

ردیف	نام سد	نام کشور	تاریخ اتمام	ارتفاع	نوع سدّ	تاریخ شکستگی	علت شکستگی
۱	پاردو	آرژانتین	۱۹۴۰	۱۵	سنگی	۱۹۶۹/۱۲	سیلاب-نقص در نگهداری
۲	آرماندوسالده	برزیل	۱۹۵۸	۳۲	خاکی	۱۹۷۷/۱/۲۰	فرو رفتن در آب
۳	اکلیده ده‌کونا	برزیل	۱۹۶۰	۶۳	خاکی	۱۹۷۷	فرو رفتن در آب
۴	دل مونته	کلمبیا	-	-	-	۱۹۷۶	شکستگی یکی از دریچه‌ها
۵	اودیل	اسپانیا	۱۹۷۰	۳۵	سنگی	۱۹۷۰	شکستگی حین ساختمان
۶	ناناسگر	هندوستان	۱۹۶۲	۱۵/۶	خاکی	۱۹۶۷	عمل روباه
۷	چیتا اونی	هندوستان	-	-	سنگی	۱۹۶۸	-
۸	دانی بارا	هندوستان	۱۹۷۵	۲۰/۷	خاکی	۱۹۷۶	فرو رفتن در آب
۹	ماک‌چو	هندوستان	۱۹۷۳	۲۶	خاکی	۱۹۷۹	فرو رفتن در آب
۱۰	سمپور	اندونزی	۱۹۷۰	۵۳/۶	سنگی	۱۹۶۷	شکستگی حین اجرا
۱۱	وادی گاتارا	لیبی	۱۹۷۵	۳۹	خاکی	۱۹۷۵	عمل روباه-اولین آبگیری
۱۲	لالاگون	مکزیک	۱۹۱۲	۱۷	خاکی	۱۹۶۹	عمل روباه-فرسایش
۱۳	بولان	پاکستان	۱۹۶۱	۱۹	خاکی	۱۹۷۶	فرو رفتن در آب
۱۴	سانتوتوماس	فلیپین	۱۹۷۹	-	خاکی	۱۹۷۶	طوفان در کارگاه سد
۱۵	امه‌ری	امریکا	۱۸۵۰	۱۵/۳	خاکی	۱۹۶۶	عمل روباه
۱۶	وایت‌واتربروک	امریکا	۱۹۴۳	۱۸/۶	خاکی	۱۹۷۲	نفوذآب در امتداد کانال سرریز
۱۷	شیپ کریک	امریکا	۱۹۶۹	۱۸	خاکی	۱۹۷۰	عمل روباه در امتداد مجرای تخلیه کننده
۱۸	لیک بن شب	امریکا	۱۹۱۳	۲۱	بزرگ خاکی	۱۹۷۲	ترک در قسمت خاکی
۱۹	وشینگتن	امریکا	۱۹۶۷	۵۰	خاکی	۱۹۷۵	لغزش دامنه بالادست
۲۰	تیتون	امریکا	۱۹۱۶	۱۲۰	خاکی	۱۹۷۶	عمل روباه
۲۱	مانی والی	هندوستان	۱۹۷۶	۱۸/۴	خاکی	۱۹۷۶	اولین آبگیری