

جمهوری اسلامی ایران

وزارت نیرو

شرکت آب منطقه‌ای اردبیل
کمیته تحقیقات
(طرح تحقیقات کاربردی)

گزارش نهایی

بررسی شکست سد و پهنه بندی سیلاب ناشی از آن
(مطالعه موردی: سد بفراءجرد)

سازمان مجری: دانشگاه تبریز

پژوهشگران: دکتر یوسف حسن‌زاده، دکتر امین عبدی کردانی،
دکتر مهران حسن‌زاده، مهندس مریم شفیعی‌نجد

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بسمه تعالیٰ

این پروژه تحقیقاتی با حمایت مالی کمیته تحقیقات شرکت آب منطقه‌ای اردبیل تحت قرارداد شماره ۹۵/۲/۸۲۰۵/۹۰۰ مورخ ۹۵/۰۸/۰۵ با کد ۱۳۷۴۸-۱۳۲۴۶۵ به انجام رسیده است.

چکیده

سازه سد که به منظور ایجاد مخزن ذخیره آب مازاد در فصول مرطوب، کنترل سیل‌های ویرانگر، تأمین آب شرب و آب مورد نیاز کشاورزی، تولید برق و ... ساخته می‌شود، علاوه بر مزایای عمدۀ آن، ممکن است که مشکلات جبران ناپذیری را برای جامعه بشری و محیط زیست ایجاد نماید. شکست سد یکی از این مشکلات می‌باشد که با رهاسازی حجم بسیاری از آب مخزن سد، می‌تواند خسارت‌های جانی و مالی بسیاری را نیز بر جای گذارد.

با توجه به اهمیت بررسی شکست سدها، در این تحقیق، شکست سد خاکی بفراجرد تحت سناریوی روگذری جریان، به عنوان مهمترین و پرآسیب‌ترین عامل ایجاد پدیده شکست سد مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای انجام این منظور، جهت تعیین مشخصات شکست همچون ابعاد شکاف و هیدروگراف خروجی از مقطع شکسته شده، از مدل BREACH استفاده گردید. در ادامه جهت روندیابی و شبیه‌سازی جریان حاصله در پایین دست، از مدل دوبعدی نرم‌افزار HEC-RAS، بهره گرفته شد و در نهایت جهت پهنگبندی سیلاب و استخراج نقشه مناطق سیل‌گیر پایاب از نرم‌افزار ArcGIS استفاده گردید.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر، نشان داد که سد بفراجرد در مدت زمان ۸۰ دقیقه پس از فرسایش وجه بالادست و با دبی حداکثر در حدود ۴۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه به‌طور کامل می‌شکند. در منطقه مورد مطالعه، شامل ساختگاه سد بفراجرد تا انتهای بازه رودخانه هیروچای (حدود ۲۶ کیلومتر)، روستای خانقاہ بفراجرد، منطقه گردشگری ازنا و شهر خلخال به ترتیب با درصدهای استغراق در حدود ۳۵، ۱۰ و ۲۰ درصد تحت تاثیر سیلاب قرار می‌گیرند. همچنین زمان رسیدن پیشانی سیل به مناطق ذکر شده، به ترتیب حدود ۱۰، ۳۰ و ۴۰ دقیقه می‌باشد، که در صورت رخداد شکست سد بفراجرد، فرصت بسیار اندکی برای اقدامات پیشگیرانه مختلف وجود خواهد داشت. در نهایت، بر اساس شاخص مخاطره، بیشتر نقاطی که در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر سیلاب ناشی از شکست سد بفراجرد واقع شده‌اند، جزو مناطق پر خطر محسوب می‌شوند.

کلمات کلیدی: شکست سد، روندیابی سیلاب، پهنگبندی سیلاب، شاخص مخاطره، سد بفراجرد

فهرست

۱.....	فصل اول
۲.....	۱-۱- مقدمه
۲.....	۲-۱- بیان مسأله
۴.....	۳-۱- سئوالات تحقیق
۴.....	۴-۱- فرضیات تحقیق
۴.....	۵-۱- اهداف تحقیق
۵.....	۶-۱- روش تحقیق
۷.....	فصل دوم
۸.....	۱-۲- تجزیه و تحلیل حوادث شکستگی سدها
۱۴.....	۲-۲- مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه مدلسازی شکست سد
۲۲.....	فصل سوم
۲۳.....	۱-۳- مقدمه
۲۳.....	۲-۳- مدلسازی مکانیسم شکست سد
۳۴.....	۳-۳- روشهای تحلیل معادلات حاکم بر جریان‌های غیردائمی
۳۵.....	۳-۳-۱- هیدرودینامیک جریان غیردائمی تک بعدی
۴۶.....	۳-۳-۲- هیدرودینامیک جریان غیردائمی دو بعدی
۵۵.....	۴-۳- تحلیل خطر سیل ناشی از شکست سد
۵۶.....	۵-۳- پهنگبندی سیلاب
۵۸.....	۶-۳- منطقه مورد مطالعه
۵۸.....	۶-۳-۱- موقعیت جغرافیایی
۶۳.....	۶-۳-۲- اهداف کمی و کیفی طرح
۶۳.....	۶-۳-۳- منابع آب
۶۳.....	۶-۳-۴- هواشناسی-هیدرولوژی
۶۴.....	۶-۳-۵- گنجایش مخزن

۶۵.....	۳-۶-۶-مشخصات سد
۶۶.....	۳-۶-۷-سیستم انحراف
۶۸.....	۳-۶-۸-سیستم آبگیر و تخلیه کننده تحتانی
۶۸.....	۳-۶-۹-سیستم تخلیه سیلاب
۶۹.....	۳-۶-۱۰-آبیندی محور و مخزن سد
۶۹.....	۳-۶-۱۱-خلاصه اطلاعات سد و تاسیسات وابسته
۷۳.....	فصل چهارم
۷۴.....	۴-۱-مقدمه
۷۴.....	۴-۲-شکافت سد بفراجرد
۸۰.....	۴-۳-رونديابي و پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد بفراجرد
۸۴.....	۴-۴-تعیین مناطق پر مخاطره در اثر شکست سد بفراجرد
۱۱۳.....	فصل پنجم
۱۱۶.....	مراجع

جدول (۱-۲) ظرفیت مخازن سدهای خاکی شکسته شده.....	۸
جدول (۲-۲) ارتفاع سدهای خاکی شکسته شده.....	۸
جدول (۳-۲) زمان ساخت سدهای خاکی شکسته شده.....	۹
جدول (۴-۲) عمر سدهای خاکی در زمان شکست	۱۰
جدول (۵-۲) طبقه‌بندی نوع سدهای خاکی شکسته شده.....	۱۲
جدول (۶-۲) علل شکست برای چهار نوع سد خاکی	۱۲
جدول (۱-۳) تعریف شاخص مخاطره بر اساس دسته‌بندی انجام شده.....	۵۷
جدول (۲-۳) دسته‌بندی شاخص مخاطره.....	۵۸
جدول (۳-۳) تغییرات سطح و حجم مخزن نسبت به ارتفاع سد.....	۶۵
جدول (۱-۴) مشخصات مصالح بدن سد	۷۵
جدول (۲-۴) نتایج حاصل از مدل‌سازی شکست سد بفراجرد	۷۹
جدول (۳-۴) مقادیر ضریب زبری مانینگ اختصاص یافته به مناطق مختلف	۸۲

شکل (۱-۲) درصد علل شکستگی سدهای خاکی.....	۱۱
شکل (۱-۳) نمای جانبی سد در گسترش مقطع شکست سدناشی از روگذری جریان.....	۲۴
شکل (۲-۳) نمای روبرو از توالی تشکیل شکاف در سد.....	۲۷
شکل (۳-۳) نمای روبرو از شکاف سد.....	۲۸
شکل (۴-۳) نمای جانبی سد.....	۳۱
شکل (۴-۵) توصیف جریان غیردائمی.....	۳۶
شکل (۳-۶) نمایش تغییرات دبی نسبت به عمق و عمق نسبت به زمان در یک جریان غیردائمی و غیریکنواخت.....	۴۰
شکل (۷-۳) وضعیت موج دینامیکی و سینماتیکی از دید ناظر ثابت.....	۴۱
شکل (۸-۳) خطوط مشخصه در صفحه مختصات.....	۴۶
شکل (۹-۳) نمایی از شبکه ریز و شبکه محاسباتی.....	۴۹
شکل (۱۰-۳) نمایی از وجه سلول و مشخصات مربوط به آن.....	۵۰
شکل (۱۱-۳) موقعیت طرح و راههای ارتباطی روستای خانقاہ بفراجرد.....	۵۹
شکل (۱۲-۳) موقعیت جغرافیایی سد بفراجرد.....	۶۰
شکل (۱۳-۳) نمایی کلی سد بفراجرد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای.....	۶۰
شکل (۱۴-۳) نمایی از تاج سد بفراجرد.....	۶۱
شکل (۱۵-۳) نمایی از مخزن سد بفراجرد.....	۶۱
شکل (۱۶-۳) نمایی از پاییندست سد بفراجرد.....	۶۲
شکل (۱۷-۳) نمایی از سربریز سد بفراجرد.....	۶۲
شکل (۱۸-۳) هیدروگراف سیل PMF.....	۶۴
شکل (۱۹-۳) مقطع تیپ سد بفراجرد.....	۶۶
شکل (۲۰-۳) پلان عمومی و تاسیسات وابسته سد بفراجرد.....	۶۷
شکل (۲۱-۳) منحنی دبی- اشل سربریز.....	۶۹
شکل (۱-۴) نمایش دو بعدی مراحل شکست سد بفراجرد در زمان‌های مختلف.....	۷۵

شکل (۲-۴) وضعیت سد بفراجرد در تراز نرمال و قبل از رسیدن سیلاب (زمان + ساعت)	۷۶
شکل (۳-۴) فرسایش وجه پایین دست سد بفراجرد (زمان ۱۰/۵۱۶۱ ساعت)	۷۶
شکل (۴-۴) فرسایش وجه بالا دست سد بفراجرد (زمان ۱۳/۷۷۵۲ ساعت)	۷۷
شکل (۴-۵) تخلیه مخزن سد بفراجرد با حداقل دبی و بعد شکست (زمان ۱۳/۸۶۱۵ ساعت)	۷۷
شکل (۴-۶) فرسایش کامل مصالح سد بفراجرد (زمان ۱۴/۸۹۰۷ ساعت)	۷۸
شکل (۷-۴) پایان مدل‌سازی شکست سد بفراجرد (زمان ۱۵/۰۹۶۹ ساعت)	۷۸
شکل (۸-۴) هیدروگراف خروجی ناشی از شکست سد بفراجرد	۸۰

فصل اول

کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

با توسعه‌ی شهرها و روستاهای پایین‌دست سدها، مطالعات این‌می‌سدها اهمیت روز افزونی پیدا کرده و منجر به توسعه برنامه‌های رایانه‌ای پیشرفت‌جهت ارزیابی خطرات ناشی از شکست سدها گردیده است. دقیقت این برنامه عمده‌تاً به داده‌های ورودی در زمینه مشخصات شکستگی بستگی دارد. از با اهمیت‌ترین این داده‌ها در شکستگی‌های از نوع فرسایشی سدهای خاکی، می‌توان به ابعاد نهایی شکستگی، شکل مقطع شکست، زمان موردنیاز جهت توسعه شکستگی و رقوم سطح آب مخزن به هنگام شکستگی اشاره نمود. شکست فرسایشی در سدهای خاکی ممکن است ناشی از روگذری جریان از سد، نشت آب و یا پدیده رگاب باشد. شکست سدهای خاکی تدریجی بوده و در آنالیز مربوطه باید پارامتر زمان و عوامل موثر در مدت زمان شکستگی نظیر جنس مصالح، دانه‌بندی، تراکم، چسبندگی و ابعاد خاکریز مدنظر قرار گیرند. با در دست‌داشتن مشخصات سیلاب ناشی از شکست سد، می‌توان اقدامات این‌می‌سدها را به منظور کاهش و یا از بین بردن خسارات جانی و مالی ناشی از آن قبل از وقوع حادثه در پایاب سد انجام داد.

۱-۲- بیان مسئله

علت شکست سدهای خاکی را می‌توان علاوه بر ناکافی بودن ابعاد سرریز جهت تخلیه سیلاب‌های طغیانی، نشست سد، شکست فونداسیون، ایجاد ترک، لغزش بدنه سد و لغزش کوهپایه‌ها به داخل سد را نام برد که وقوع بسیاری از این حوادث را می‌توان ناشی از وقوع زلزله به همراه اثرات امواج آب مخزن دانست. شکستگی سدهای خاکی، خواه ناشی از روگذری^۱ و یا از داخل بدنه سد آنجام بگیرد، جریان از داخل سد ابتدا به صورت نشت آغاز و با ایجاد لوله جریان در داخل سد و گسترش تدریجی ابعاد آن

¹ Overtopping

² Piping

باعث ریزش سقف و دیواره‌های مجرأ شده و بالاخره به جریان روگذر از سد منجر می‌شود (حسن زاده ۱۳۸۳).

مشاهدات شکستگی سدهای خاکی نشان داده است که مقطع شکست سد در ابتدا معمولاً به صورت مثلثی شکل بوده و جریان روگذر به تدریج عرض و ارتفاع آنرا گسترش داده و بالاخره به زمین طبیعی که از خاصیت فرسایش‌پذیری کمتری برخوردار است منتهی می‌شود و توسعه عرضی مقطع شکستگی در نهایت به شکل ذوزنقه در می‌آید. گفتنی است که بر عکس شکست ناگهانی سدهای بتنی ناشی از وقوع زمین لرزه و یا بمباران، شکست فرسایشی سدهای خاکی به طور تدریجی انجام می‌گیرد.

از سوی دیگر، روندیابی جریان‌های غیر دائمی یکی از مسائل مطرح در مبحث مرتبط با جنبه‌های عملی هیدرولیک محاسباتی رودخانه‌ها می‌باشد. این نوع از جریان‌ها، در اثر وقوع پدیده‌هایی نظیر سیلاب‌های حاصل از بارندگی‌های شدید، شکست سدها، امواج ناشی از جزر و مد دریاها و یا باز و بسته شدن سریع دریچه‌ها مطرح می‌گردد که طی آن کمیت‌های هیدرولیکی نظیر عمق، سرعت و دبی جریان به صورت تابعی از مکان و زمان قابل بررسی می‌باشند. به عنوان مثال، علی‌رغم لحاظ نمودن ضرایب اطمینان کافی در طراحی سدهای بزرگ و اعمال دقیق در ساخت آنها، اغلب محتمل است که بر اثر پدیده‌هایی نظیر روگذری جریان، پدیده رگاب، ضعف پی، وقوع زلزله و بمباران، بدنه آنها دچار شکستگی گردد. متعاقباً وقوع جریان‌های ناشی از شکست سدها، می‌تواند تلفات جانی و مالی فراوانی نیز به همراه داشته باشد. بدین منظور برای کاهش صدمات احتمالی، محاسبه و پیش‌بینی سرعت و ارتفاع انتشار امواج سیلابی ایجاد شده، تعیین مختصات مکانی و زمانی پیشروی امواج و تعیین حدود مناطق سیل‌گیر پایاب، ضروری می‌باشد.

در کشور ما با احداث سدهای بزرگ بر روی برخی رودخانه‌ها، به میزان قابل توجهی سیلاب‌ها کنترل و مهار گردیده‌اند، اما تجربه نشان می‌دهد که در اثر شکست این سدها، خسارات جبران‌ناپذیری به نواحی پایین‌دست آنها وارد می‌گردد. لذا مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل شکست سد و روندیابی سیلاب ناشی از آن در پایاب از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. از طرفی تهیه نمودن نمودار اطلاعات شامل عمق جریان،

زمان رسیدن پیشانی موج و نقشه‌های پهن‌بندی در محیط ArcGIS می‌تواند کارساز باشد. این نقشه‌ها که با توجه به ریسک‌پذیری هر منطقه با رنگ‌های مختلف از یکدیگر متمایز خواهند شد، این امکان را به مسؤولین می‌دهد تا نسبت به تهیه برنامه اقدامات اضطراری (EAP) اقدام نمایند.

۱-۳- سوالات تحقیق

- مراحل گسترش شکافت سد بفراجرد به لحاظ ابعاد و مدت زمان شکست چگونه است؟
- هیدروگراف خروجی ناشی از شکست سد بفراجرد از چه ویژگی‌هایی برخوردار می‌باشد؟
- پیشانی سیلاب ناشی از شکست سد، در چه مدت زمانی به مناطق مهم واقع در پایین‌دست سد می‌رسد؟
- درصد استغراق هر یک از مناطق مهم واقع در پایین‌دست سد بفراجرد چقدر است؟
- مکان‌های پر مخاطره واقع در محدوده مورد مطالعه کدام‌ها هستند؟

۱-۴- فرضیات تحقیق

- با استفاده از مدل‌های ریاضی می‌توان هیدروگراف خروجی از مقطع شکست سد را شبیه‌سازی نمود.
- با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه حدود گسترش و پهن‌بندی سیلاب را می‌توان تهیه نمود.
- با استفاده از روابط حاکم می‌توان مختصات مکانی و زمانی رسیدن پیشیانی موج را در پایین‌دست سد محاسبه و ارائه نمود.

۱-۵- اهداف تحقیق

- تخمین ابعاد شکست و همچنین هیدروگراف خروجی ناشی از شکست سد بفراجرد،
- روندیابی سیلاب ناشی از شکست سد بفراجرد از محل شکافت سد تا پایین‌دست،

- پهنه‌بندی سیلاب در مناطق مختلف پایین دست سد بفرارجرد،
- تعیین زمان رسیدن پیشانی سیل به مناطق مهم واقع در محدوده گسترش سیلاب و همچنین محاسبه درصد استغراق آنها، و
- تعیین مکان‌های پرمخاطره واقع در محدوده‌های مورد مطالعه.

۱-۶-روش تحقیق

مرحله اول: بررسی پیشینه تحقیق، جمع‌آوری آمار و اطلاعات در زمینه پژوهش‌ها، و مطالعات کتابخانه‌ای؛

الف) اهمیت مسأله و تجزیه و تحلیل آمار شکستگی سدهای بزرگ جهان،
ب) تهیه آمار، اطلاعات، گزارش‌ها و نقشه‌های مورد نیاز طرح، شامل: مشخصات سازه‌ای سد (ابعاد هسته، پوسته، مشخصات مواد متشکله سد و ...)، مشخصات سازه‌های هیدرولیکی سد (سرریز، تونل‌های انحرافی و ...)، مشخصات مخزن سد (منحنی سطح- حجم- ارتفاع)، اطلاعات هیدرولوژیکی مربوط به سد (منحنی دبی- اشل سریز، دبی ورودی به مخزن با دوره‌های بازگشت مختلف)، نقشه‌های توپوگرافی بزرگ و کوچک مقیاس از منطقه مورد مطالعه، نقشه‌های حریم و بستر رودخانه، و تصاویر ماهواره‌ای مربوط به کل حوضه.

ج) بازدیدهای میدانی به منظور آشنایی از ویژگی‌های مورفولوژیکی منطقه و نمونه‌برداری از مصالح بستر و تعیین ضریب زبری با استفاده از فرمول‌های تجربی موجود.

مرحله دوم: مدل‌سازی و تحلیل مساله شکست سد:

الف) بررسی مکانیسم شکست فرسایشی سدهای خاکی،
ب) استخراج هیدروگراف ناشی از شکست سد با استفاده از مدل BREACH.

مرحله سوم: روندیابی و پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد؛

الف) مبانی هیدرولیکی جریان‌های غیر دائمی،
ب) روندیابی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS