بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت علوم تحقیقات و فناوری

دانشگاه تفرش

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

راهنمای تهیه برنامه واکنش فوری برای شکست سدهای خاکی

اساتید راهنما:

دکتر ناصر عرفاتی

دکتر محمد علی بنی هاشمی

دانشجو:

محمد درختی

1391

تقدیم به خانواده عزیزم

که به اندازه تمام زندگی ام مدیون آنها هستم

با تشکر فراوان از زحمات اساتید گرانقدر

دکتر محمد علی بنی هاشمی

دکتر ناصر عرفاتی

دکتر عبد العظیم امیر شاه کرمی

دکتر محمد رضا صبا

چکیده

سد خاکی را می توان به عنوان یکی از مهمترین بخش های زیر بنایی هر کشور نام برد. تجارب گذشته در داخل و خارج از کشور نشان می دهد که سدهای گوناگونی شکسته شده و سیل ناشی از آن خسارت های بیشماری را به بار آورده است. به همین منظور مطالعه شکست سد و تهیه برنامه واکنش فوری به منظور تشخیص و ارزیابی خطر شکست و همچنین مدیریت بحران و کاهش خسارت های سیل ناشی از آن چند سالی است که مورد توجه قرار گرفته است. برنامه هایی که تا امروز به منظور برنامه واکنش فوری برای برخی از سدهای کشور ارائه شده است، به ارزیابی خطر تنها با استفاده از معیار های هیدرولیکی برای تشخیص احتمال روگذری پرداخته است. این پژوهش راهنمایی برای نحوه ارائه معیارهای ابزاربندی های موجود به منظور تشخیص و ارزیابی خطر می باشد. در این راستا سد مهاباد به عنوان نمونه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفته است. پس از تعیین ناحیه بندی های پی و بدنه سد با توجه به نتایج گمانه های موجود، مدلی دو بعدی در برنامه seep ساخته شده است. با استفاده از نتایج مدل تحلیلی و مقایسه با قرائت های بدست آمده از ابزاربندی موجود بر روی سد، وضعیت فعلی سد مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس با انتخاب سناریوهایی همچون جوشش در پی و یا آبشستگی بازگشتی مصالح پی تا درون هسته معیارهای برای چند پیزومتر نمونه ارائه شده است. نتایج به دست آمده به شرح زیر می باشد:

در بخش ارزیابی و تشخیص خطر می بایست به دلایل شکست سد پرداخت و برای هر یک معیاری به منظور تشخیص آن ارائه نمود. این معیارها بهتر است هم کیفی و هم کمی باشد. عمده ترین دلایل شکست سد خاکی ناشی از روگذری و خرابی سازه ای است.

برای تشخیص احتمال روگذری می بایست وقوع سیل احتمالی در رودخانه هایی که به مخزن می ریزند کنترل گردد (معیار کیفی)همچنین با استفاده از مدل سازی های هیدرولیکی آستانه هایی برای حداکثر سرعت بالا آمدن آب مخزن در حالت باز بودن دریچه ارائه نمود (معیار کمی).

به منظور تشخیص و ارزیابی خطر خرابی سازه ای سد نیز می بایست معیار های کمی و کیفی ارائه نمود. معیار های کیفی مانند گل آلود بودن نشت خروجی، وجود نشست بالای منطقه نشت و ایجاد چشمه های جدید و مواردی از این قبیل و برای معیار های کمی می بایست متناسب با نوع مصالح پی و بدنه سد و با توجه به مکانیسم های شکست به طور مثال مکانیسم شکست ناشی از آبشستگی شامل : نشت متمرکز، جوشش در پاشنه سد، فرسایش بازگشتی و پرشدگی، بررسی گردد که کدام مکانیسم با توجه به خصوصیات سد امکان وقوع دارد. سپس سناریوهای محتمل برای هر سد را تعریف گردد. با اعمال سناریو های محتمل بدست آمده بر روی مدل ساخته شده از سد، می توان برای هر یک از ابزاربندی های موجود در سد معیارهایی کمی به منظور تشخیص و ارزیابی خطر ارائه نمود.

با مطالعه موردی بر روی سد مهاباد به منظور بدست آوردن معیار های کمی، مکانیسم های شکست بر اساس پدیده آبشستگی انتخاب شد و سپس سناریوهای محتمل به شرح زیر تعریف گردید:

1- جوشش در پاشنه سد
2- شسته شدن بخش ریز دانه پی در بخش درشت دانه در بالادست
3- جوشش در پاشنه سد و فرسایش بازگشتی آن به داخل هسته

سپس برای کنترل فشار پیزومتریک به طور نمونه برای 4 پیزومتر منصوبه معیارهای زیر ارائه گردید:

وضعیت خطر	پیزومتر های مورد بررسی			
	D2U	D2D	C2	EP12-2
وضعیت اولیه خطر	1316	1315	1316	1315
وضعیت ثانویه خطر	1317	1317	1318	1318
شروع بحران	1319	1319	1322	1322

همچنین به منظور کنترل نشت از بدنه و پی نیز مقادیر زیر به عنوان معیارهایی ارائه گردید:

وضعیت خطر	معیار کنترل نشت
وضعیت اولیه خطر	افزایش میزان نشت به میزان 2 برابر
وضعیت ثانویه خطر	افزایش میزان نشت به میزان20 برابر
شروع بحران	افزایش میزان نشت به میزان 100 برابر

کلمات کلیدی: برنامه واکنش فوری، شکست سد خاکی، تشخیص و ارزیابی خطر شکست

پیش گفتار

سدهای خاکی بخش مهمی از تاسیسات زیربنایی کشورهای مختلف را تشکیل می‌دهند. با توجه به خطرات مختلفی که این سدها را تهدید می‌کند، مقابله با سیل احتمالی ناشی از شکست این سدها نیازمند توجه خاص است. در مراحل مختلف طراحی و اجرای سدهای خاکی نکات ایمنی از جنبه‌های مختلف رعایت می‌گردد و همه هدف مدیران، طراحان، سازندگان و بهره‌برداران سدها این است که احتمال شکست را به حداقل ممکن برسانند. با این وجود به دلیل خطراتی نظیر خطر عمیات تروریستی و حمله دشمن، و با توجه به وسعت خرابی‌های ناشی از شکست سدهای بزرگ، شایسته است برنامه واکنش فوری برای مقابله با سیل ناشی از شکست احتمالی این سدها تهیه شود.

این تحقیق از پنج فصل تشکیل شده است.توضیحات کلی پیرامون برنامه واکنش فوری، اهداف و ضرورت انجام مطالعات در فصل اول آورده شده است. فصل دوم در بردارنده‌ی مکانیسم های شکست بر اساس پدیده آب شستگی یا پایپینگ و تجارب گذشته در زمینه تهیه برنامه واکنش فوری می باشد. در واقع این فصل مروری بر ادبیات فنی جهت شناخت پدیده آب شستگی و برنامه واکنش فوری است. توضیح کلیاتی در مورد سد مهاباد و در نهایت تحلیل شرایط موجود سد با توجه به نتایج ابزاربندی در فصل سوم ارائه می گردد. فصل چهارم نیز به بررسی نشت از بدنه سد و فشار ابزار دقیق ها بر اساس سناریوهایی مطابق با فصل دوم و تحلیل های تراوش می پردازد. سعی شده است که در این فصل و براساس تحلیل ها آستانه هایی جهت اعلان هشدار تعیین شود.در فصل پنجم نیز نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات مطرح شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : برنامه واکنش فوری، ضرورت ارزیابی ژئوتکنیکی 11

1-1-تعریف برنامه واکنش فوری از نظر منابع مختلف 11

1-2- ضرورت و اهداف تحقیق 13

فصل دوم : مرروری بر ادبیات فنی..... 14

2-1- تشخیص و ارزیابی خطر..... 14

2-1-1- سد شماره 23 رودخانه راک آمریکا: ۱۵

2-1-2- سد بوستان در استان گلستان ۱۶

2-2- مکانیسم های شکست سد 18

2-2-1- شکست بر اساس فرسایش داخلی و پایپینگ..... ۱۸

2-2-2- تراوش در سد خاکی و عناصر مقاوم در برابر آن..... ۱۸

2-2-3- مکانسیم فرسایش داخلی و تشکیل پایپینگ..... ۱۹

2-2-4- بررسی فاکتورهای تاثیر گذار در فرسایش داخلی و پایپینگ..... ۲۶

فصل سوم : مدل سازی سد مهاباد..... 34

3-1- معرفی سد مهاباد 34

3-2- مشکلات سد مهاباد 37

3-3- مدل سازی سد..... 38

3-3-1- مدل سازی شرایط هندسی سد ۳۸

3-3-2- مدل سازی عددی تراوش ۴۱

3-3-3- بررسی صحت نتایج مدل تحلیلی..... ۴۳

3-4- تحلیل تراوش 48

فصل چهارم: تعیین معیارهای ابزاربندی سد مهاباد به منظور استفاده در برنامه واکنش فوری 49

4-1- پارامترهای ژئوتکنیکی مورد بررسی 49

4-1-1- نشت از بدنه و پی ۴۹

4-1-2- فشار آب پیزومتری..... ۴۹

4-2- فرضایت در نظر گرفته شده 50
4-3- مکانیسم های محتمل جهت فرسایش داخلی 51
4-4- سناریوهای محتمل جهت آب شستگی در سد مهاباد 53
4-4-1- سناریو 1: جوشش در پنجه سد ۵۳
4-4-2- سناریو2 : شسته شدن لایه 9 در لایه شماره 10 در بالادست ۵۵
4-4-3- سناریو 3: سناریو 1 وگسترش شستگی به داخل مصالح هسته ۵۸
فصل پنجم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات 65
فهرست منابع 68

فصل اول

برنامه واکنش فوری، ضرورت ارزیابی ژئوتکنیکی

برخی از کشورها دستورالعمل هایی به منظور تهیه برنامه واکنش فوری ارائه داده اند. در این فصل به تعریف این برنامه از دیدگاه این کشورها می پردازیم. داشتن یک تعریف و حدود انجام مطالعات و حوزه فعالیت اولین قدم در رسیدن به یک دستورالعمل برای برنامه واکنش فوری است، زیرا افراد مختلف در سطوح مختلف برداشت‌های متفاوتی از برنامه واکنش فوری دارند و لزوم رسیدن به یک تعریف مورد قبول تمامی افراد درگیر اهمیت بسزایی دارد.

1-1-تعریف برنامه واکنش فوری از نظر منابع مختلف

تعریف آژانس مدیریت بحران فدرال آمریکا(FEMA [1]) از برنامه واکنش فوری به صورت زیر است :

برنامه واکنش فوری یک سند رسمی است که مشخص‌کننده پتانسیل شرایط اضطراری است و هم چنین تعیین‌کننده اقدامات از پیش برنامه‌ریزی شده در جهت کاهش خسارات مالی و جانی است.

دستورالعمل کشور هندوستان هم تعریف کاملاً مشابهی دارد : برنامه واکنش فوری یک سند رسمی است که پتانسیل شرایط اضطراری را شناسایی می‌کند و اقدامات از پیش برنامه‌ریزی شده در جهت کاهش خسارات جانی و مالی را مشخص می‌کند.

دستورالعمل ایالت کوئینزلند استرالیا در تعریف خود از برنامه واکنش فوری به سه نکته اشاره می‌کند :

1- برنامه واکنش فوری شامل شرایط اضطراری است که منجر به در خطر افتادن سد می‌شود.
2- برنامه واکنش فوری شامل روش‌هایی است که در هنگام وقوع بحران توسط مالک و پرسنلش باید اتخاذ شود.
3- برنامه واکنش فوری شامل روند هشدار به موقع به مسئولین بحران جهت کاهش خسارات است.

این دستورالعمل صراحتاً یک برنامه اضطراری کامل را در دو سطح می داند:

EAP

CDP (Counter Disaster Plan) این دستورالعمل CDP را شامل اقدامات پایین‌دست و خارج از سد می‌داند که مسئولیت آن با کمیته هماهنگی حوادث منطقه است.

در بولتن ایالت همشایر ایالات متحده آمریکا تعریف برنامه واکنش فوری به این صورت آمده است که برنامه واکنش فوری سندی رسمی است که در آن موارد زیر باید انتشار یابد:

برنامه اطلاع‌رسانی

اطلاعات در مورد پتانسیل خطر پایین‌دست

پیش برنامه‌هایی برای شناسایی شرایط غیرایمن و شکست قریب‌الوقوع سد

در راهنمای ایمنی سد ایالت UTAH آمریکا نیز برنامه واکنش فوری با تعریفی کاملاً مشابه FEMA ارائه شده است مطلب قابل ذکر در اینجا این است که تمام فرمت‌ها و دستورالعمل‌های پیشنهادی بررسی‌شده‌ی ایالت‌های مختلف آمریکا از جمله فرمت ایالت نیویورک، واشنگتن، همشایر، ویرجینیا و آلاسکا تعریف کاملاً یکسان و مشابهی از برنامه واکنش فوری دارند. دستورالعمل های مذکور برنامه واکنش فوری را تا سطح هشدار به مسئولین بحران می دانند. فرمت FEMA که اساس تمام فرمت‌های پیشنهادی آمریکا است به برنامه واکنش فوری با رویکرد تشخیص و اطلاع‌رسانی نگاه می‌کند و مسئولیت‌های هشدار و تخلیه مناطق را بیرون از حوزه مسئولیت‌های EAP و مسئول مستقیم آن یعنی مالک سد می‌داند و این مسئولیت‌ها را در حوزه EOP (Emergency Operation Plan) یا طرح اقدام اضطراری می داند هر چند که EAP باید هماهنگی لازم را با مقامات مربوطه داشته باشد و بدیهی است که اطلاعات موجود در EAP می تواند برای EOP قابل استفاده باشد.

یکی از رویکردهای متفاوت نسبت به EAP رویکردی است که در کشور پرتغال وجود دارد . بر این اساس EAP در دو گروه دیده می شود : که بصورت IEAP (برنامه واکنش فوری داخلی) و EEAP (برنامه واکنش فوری خارجی) نامگذاری شده است و در آن راهنمایی که شامل بازبینی، نظارت و اقدامات پاسخ در مورد ایمنی سد و بهره‌برداری در شرایط اضطراری است برنامه واکنش فوری داخلی نامیده می‌شود و اقداماتی که در پایین‌دست سد انجام می‌شود را EEAP می‌داند. به نوعی EEAP مشابه همان مفهوم EOP در آمریکا و CDP در استرالیا است و جز اقدامات مسئولین بحران محلی است.

یکی دیگر از رویکردهای که اندکی با فرمت‌های آمریکایی تفاوت دارد دستورالعمل مربوط به کشور فنلاند است . بطور کلی این دستورالعمل رویکرد بیرونی‌تری دارد به این معنی که به بحث تشخیص شرایط اضطراری توجه نکرده و در مقابل بیشتر به بحث عملیات اطلاع‌رسانی نجات و تخلیه پرداخته هر چند این توجه کامل و جزئی نگر نیست و تنها در حد توصیه‌های کلی باقی مانده

است. این موارد بطور مشهودی در EAP که برای سد Kyrkosjarvi بر اساس فرمت پیشنهادی انجام شده مشخص است که در ادامه این فصل به‌طور مفصل به آن پرداخته خواهد شد.

همانطور که ملاحظه شد تجارب بین المللی تعریف تقریباً واحدی از برنامه واکنش فوری دارند که براین اساس یک برنامه واکنش فوری را شامل مجموعه اطلاعات و اقدامات در جهت تشخیص به موقع شرایط اضطراری و نحوه مناسب اطلاع‌رسانی به مسئولین مربوطه هم چنین پیش‌بینی برخی اقدامات جهت کمک به مسئولین بحران در جهت بهبود عملکرد آن‌ها مانند تهیه نقشه‌های آبگرفتگی می‌دانند.

1-2- ضرورت و اهداف تحقیق

شاید بتوان گفت که مهمترین و حساس ترین بخش هر برنامه واکنش فوری، تشخیص، ارزیابی و طبقه بندی خطر می باشد. به عبارت دیگر برنامه واکنش فوری می بایست دارای معیارهایی باشد که بهره بردار بتواند در کوتاه ترین زمان تشخیص دهد که سد در چه وضعیتی از لحاظ خطر شکست قرار دارد. نکته قابل توجه این است که دستورالعمل های موجود هیچ یک به چگونگی دسترسی با این معیارها اشاره ای نکرده اند.

تجربه های انجام شده در داخل کشور نیز نشان می دهد که اغلب برنامه های واکنش فوری تهیه شده به بررسی سیل ناشی از شکست سد، ارائه نقشه های آبگرفتگی، پایش سطح آب مخزن و معیارهای هیدرولیکی به منظور تشخیص احتمال روگذری پرداخته است. حال آنکه پایش پارامترهای ابزاربندی شده بدنه و پی سد و بررسی شرایط بدنه سد از لحاظ احتمال وقوع شکست بخش بسیار مهمی است که از قلم افتاده است. در این پژوهش بر آنیم که راهنمایی به منظور چگونگی دستیابی به معیار کنترل ابزاربندی سد جهت بررسی احتمال وقوع شکست برای سدهای خاکی ارائه دهیم. به عنوان نمونه مطالعاتی (Case Study) سدخاکی مهاباد در نظر گرفته شده است .

فصل دوم :

مروری بر ادبیات فنی

در این فصل بررسی ادبیات فنی و مطالعات انجام گرفته در دو بخش اصلی ارائه می گردد. بخش اول مروری بر بخش تشخیص و ارزیابی خطر در برنامه واکنش فوری می باشد و بخش دوم شامل پژوهش هایی است که به منظور مکانیسم های شکست در سد خاکی صورت گرفته است.

2-1- تشخیص و ارزیابی خطر

در ایران دستورالعمل مشخصی برای تهیه برنامه واکنش فوری ارائه نشده است. این بدان معنا نیست که اقدامی در جهت پایش وضعیت موجود سدهای کشور صورت نمی پذیرد. بلکه کمیته ایمنی و پایداری سد و کمیته آبگیری در وزارت نیرو سدها را در وضعیت ساخت، اولین آبگیری و زمان بهره برداری زیر نظر دارد. با این وجود دستورالعملی به منظور تشخیص و ارزیابی خطر وجود ندارد که بتوان با استفاده از آن سند برای هر سد خاص که نیاز باشد به معیارهایی به منظور ارزیابی خطر دست یافت. در حال حاضر برای تعداد محدودی از سدهای کشور برنامه واکنش فوری تهیه شده است. فصل تشخیص و ارزیابی خطر در تمامی این موارد به بررسی سیل ورودی به مخزن سد پرداخته و تنها معیار کمی ارائه شده معیار سرعت بالا آمدن آب مخزن می باشد. به این صورت که اگر سرعت بالا آمدن از حدی بالا تر رود، خطر روگذری سد را تهدید کرده و بهره بردار طبق برنامه و نمودار اطلاع رسانی موظف به انجام برنامه واکنش فوری می باشد. هیچ یک از برنامه های ارائه شده معیارهای کمی برای نحوه ارزیابی ژئوتکنیکی سد ارائه نداده اند. در برنامه ارائه شده در دیگر کشورها نیز جداولی به منظور ارزیابی و تشخیص خطر ارائه شده است لیکن معیارهای کمی به منظور پایش وضعیت سد از لحاظ مسائل سازه ای شد دیده نمی شود. به طور مثال دو نمونه از بخش ارزیابی خطر در برنامه واکنش فوری تهیه شده برای سد شماره 23 رودخانه راک در آمریکا و سد بوستان در استان گلستان در ادامه آورده شده است.

2-1-1- سد شماره 23 رودخانه راک آمریکا[2]:

چدول 2-1- نمونه جدول تشخیص و ارزیابی خطر(Rock Creek Watershed, Dam No. 23,2007)

Event	Situation	Emergency level*
Earth spillway flow	Reservoir water surface elevation at auxiliary spillway crest or spillway is flowing with no active erosion	1
	Spillway flowing with active gully erosion	2
	Spillway flow that could result in flooding of people downstream if the reservoir level continues to rise	2
	Spillway flowing with an advancing headcut that is threatening the control section	3
	Spillway flow that is flooding people downstream	3
Embankment overtopping	Reservoir level is 1 foot below the top of the dam	2
	Water from the reservoir is flowing over the top of the dam	3
Seepage	New seepage areas in or near the dam	1
	New seepage areas with cloudy discharge or increasing flow rate	2
	Seepage with discharge greater than 10 gallons per minute	3
Sinkholes	Observation of new sinkhole in reservoir area or on embankment	2
	Rapidly enlarging sinkhole	3
Embankment cracking	New cracks in the embankment greater than 1/4-inch wide without seepage	1
	Cracks in the embankment with seepage	2
Embankment movement	Visual movement/slippage of the embankment slope	1
	Sudden or rapidly proceeding slides of the embankment slopes	3
Instruments	Instrumentation readings beyond predetermined values	1
Earthquake	Measurable earthquake felt or reported on or within 50 miles of the dam	1
	Earthquake resulting in visible damage to the dam or appurtenances	2
	Earthquake resulting in uncontrolled release of water from the dam	3
Security threat	Verified bomb threat that, if carried out, could result in damage to the dam	2
	Detonated bomb that has resulted in damage to the dam or appurtenances	3
Sabotage/ vandalism	Damage to dam or appurtenances with no impacts to the functioning of the dam	1
	Modification to the dam or appurtenances that could adversely impact the functioning of the dam	1
	Damage to dam or appurtenances that has resulted in seepage flow	2
	Damage to dam or appurtenances that has resulted in uncontrolled water release	3

* Emergency Level 1: Nonemergency, unusual event, slowly developing
* Emergency Level 2: Potential dam failure situation, rapidly developing
* Emergency Level 3: Urgent; dam failure appears imminent or is in progress

همانطور که مشاهده می کنید در این برنامه به منظور تشخیص و ارزیابی خطر شکست سد معیارهایی که توسط ابزاربندی نصب شده بر روی سد قابل اندازه گیری باشند و بهره بردار بتواند با مقایسه اعداد قرائت شده با آن معیارها وضعیت سد از لحاظ خطر شکست را در لحظه تشخیص دهد ارائه نشده است. به طور مثال به منظور پایش سد از لحاظ وقوع پدیده آبشستگی تنها معیار موجود نشت های گل آلود در سد اشاره شده است و معیار کمی به منظور ارزیابی این پدیده ارائه نشده است.

2-1-2- سد بوستان در استان گلستان[3]

می توان گفت کامل ترین برنامه واکنش فوری تهیه شده در داخل برنامه واکنش فوری برای سد بوستان است. در فصل چهارم این برنامه به منظور تشخیص و ارزیابی خطر جدول زیر ارائه گردیده است:

جدول 2-2- تشخیص و ارزیابی خطر در سد بوستان (1388، برنامه واکنش فوری سد بوستان)

خطر	وضعیت	سطح خطر
روگذری	سیلاب بزرگ در ایستگاه تمر (بده اوج بیش از 1720)	قرمز
	سیلاب بزرگ در ایستگاه تمر (بده اوج بیش از 900)	نارنجی
	سرعت بالا آمدن تراز آب مخزن پس از سرریز شدن بیش از 4 میلیمتر در دقیقه	قرمز
	سرعت بالا آمدن تراز آب مخزن پس از سرریز شدن بیش از 2 میلیمتر و کمتر از 4 میلیمتر در دقیقه	نارنجی
	رسیدن تراز آب مخزن به 104.7 متر	قرمز
	رسیدن تراز آب مخزن به 104 متر	نارنجی
	ایجاد امواج قوی در مخزن سد	بررسی بیشتر
خرابی سازه‌ای	ایجاد و یا گسترش ابعاد ترک در سد	بررسی بیشتر
	گشترش ترک به سرعت پیش رونده	قرمز
	ایجاد و یا گسترش ترک همراه با نشت	بررسی بیشتر
	ایجاد و یا گسترش ترک همراه با نشت گل آلود	نارنجی
	ایجاد و گسترش ترک با عرض بیش از 6 میلیمتر	بررسی بیشتر
	گسترش لغزش به سرعت پیش رونده	قرمز
	لغزش و جابجایی در سد	بررسی بیشتر
	نشست غیر معمول	بررسی بیشتر
زلزله	وقوع زلزله بیش از 4 ریشتر در مجاورت سد	بررسی بیشتر

	زلزله‌ای که باعث تخریب قابل مشاهده در سد و یا متعلقات آن شود	نارنجی
	زلزله‌ای که باعث تخلیه غیر قابل کنترل مخزن سد شود	قرمز
زیر شویی، تراوش و نشت غیر معمول	افزایش میزان تراوش	بررسی بیشتر
	کدر شدن آب نشتی	نارنجی
	مشاهده نشست در منطقه بالای تراوش	بررسی بیشتر
	مشاهده حفرات نشتی جدید در حال گسترش در ناحیه مخرن و یا نزدیکی خاکریز بدنه	نارنجی
	مشاهده چشمه‌های جدید ایجادشده چسبیده به بدنه سد	نارنجی
	مشاهده چشمه‌های جدید در مناطق مجاور سد	بررسی بیشتر
	رشد سریع حفرات نشتی	قرمز
	کاهش بی دلیل سطح آب در مخزن	بررسی بیشتر
خطر حمله دشمن و خرابکاری	خرابی سد در سطحی که مانع عملکرد صحیح آن نمی‌شود	عادی
	تغییر در شرایط سد به گونه‌ای که می‌تواند اثرات معکوسی بر عملکرد صحیح آن داشته باشد	بررسی بیشتر
	خرابی سد در سطحی که باعث جریان نشتی می‌شود	نارنجی
	خرابی سد و یا متعلقات آن در سطحی که باعث جریان غیرقابل کنترل از مخزن می‌شود	قرمز
	دریافت تماس تهدید آمیز در خصوص خرابکاری در سد	بررسی بیشتر
	تایید تهدیدی که درصورت وقوع باعث تخریب سد خواهدشد	نارنجی

در این برنامه به منظور تشخیص احتمال وقوع روگذری پارامتر های کمی و قابل اندازه گیری و پایش توسط بهره بردار سد ارائه شده است. به طور مثال هر گاه سرعت بالا آمدن آب دریاچه در مخزن بعد از سر ریز شدن بیش از 4 میلیمتر در دقیقه باشد بهره بردار می بایست اعلام وضعیت قرمز و یا خطر بالای روگذری را گزارش دهد. لیکن در مورد ارزیابی خطر شکست در هنگام وقوع خرابی سازه ای و یا نشت و زیر شویی و دیگر موارد، معیاری کمی و قابل اندازه گیری توسط ابزاربندی موجود بر روی سد ارائه نشده است.

2-2- مکانیسم های شکست سد

شکست سد خاکی می تواند به دلایل گوناگونی رخ دهد. از بین حالت های مختلف شکست سد، دو مورد دارای اهمیت بالاتری هستند که به شرح ذیل می‌باشند:

الف: شکست ناشی از زیر شویی، تراوش و نشت غیر معمول در حالتی که تراز آب در وضعیت نرمال قرار دارد .

ب: شکست ناشی از روگذری

در حالت اول شکست سد یعنی شکست ناشی از زیرشویی، تراوش و نشت غیر متعارف، پارامترهای پایش در حالت کلی عبارتند از: میزان آب نشتی از بدنه سد، مشخصات ترک‌ها در بدنه سد شامل ابعاد ترک و یا احیانا سرعت پیش‌روی و گسترش ابعاد ترک، صاف یا گل آلود بودن آب نشتی از ترک‌ها، لغزش و جابجایی در بدنه سد، نشست غیر معمول در بدنه سد و در حالت وقوع زلزله که می‌تواند کلیه موارد فوق اتفاق بیافتد. در خصوص سد مهاباد باید بررسی بیشتر به عمل آید که کدام یک از این پارامترها قابل پایش هستند که در ادامه این تحقیق به تفصیل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

در حالت دوم شکست سد، یعنی حالت روگذری، پارامترهای مورد پایش عبارتند از: دبی آب در ورودی مخزن سد، تراز سطح آب مخزن و سرعت بالا آمدن تراز سطح آب در مخزن، دبی آب رودخانه بلافاصله بعد از سد ، تراز سطح آب در رودخانه بلافاصله بعد از سد که این ایستگاه‌ها می‌بایست با توجه به سوابق موجود جانمایی و اجرا شود. با توجه به اینکه سیلاب‌های ناشی از عملکرد سرریز سد را نیز در نظر می‌گیرد، یکی از شرایطی که هشدار لازم دارد رها شدن آب از سد بیش از ظرفیت ایمن رودخانه می‌باشد. بدین منظور پارامترهای پایش علاوه بر موارد مربوط به حالت روگذری، میزان باز شدگی دریچه‌های مختلف سد نیز می‌باشد.

با توجه به اهداف این تحقیق که بررسی مسائل ژئوتکنیکی در تهیه طرح واکنش فوری می باشد تنها شکست بر اساس سناریو زیرشویی یا نشت از بدنه مد نظر قرار می گیرد. بر این اساس در این فصل به شناخت بیشتر این نوع شکست خواهیم پرداخت. شکست بر اساس روگذری بر اساس مسائل هیدرولیکی رخ می دهد و در حوزه مسائل این تحقیق نمی گنجد.لازم به ذکر است که مطالب این بخش غالباً از کتاب مهندسی ژئوتکنیک سد نوشته فل و همکارانش برگرفته شده است.[4]

2-2-1- شکست بر اساس فرسایش داخلی و پایپینگ

منظور از فرسایش داخلی و پایپینگ حمل تدریجی ذرات ریز خاک توسط جریان آب از میان ترکها، خلل و فرج و حفرات می باشد. شسته شدن ذرات ریز از میان ذرات درشت تر به تدریج به ایجاد مسیر های آزاد گذر آب منجر می شود. به منظور جلوگیری از این پدیده ناحیه بندی در سد ها و استفاده از فیلتر های مناسب مد نظر قرار می گیرد. در ادامه به انواع فرسایش و مکانیسم تشکیل فرسایش داخلی و پایپینگ اشاره خواهیم کرد.

2-2-2- تراوش در سد خاکی و عناصر مقاوم در برابر آن

یکی از اهداف مهم مطالعات طراحی سدهای خاکی و یا مطالعات ایمنی سدهای خاکی موجود ارزیابی شرایط تراوش و فرسایش داخلی می باشد که این مسئله به دو علت عمده می باشد:

1- فشار آب در بدنه و پی به گونه ای باشد تا پایداری شیب در بدنه سد خاکی به صورت ایمن فراهم شود.
2- از فرسایش داخلی که باعث بروز پدیده آب شستگی و پایپینگ می شود، جلوگیری شود.

راه حل های جلوگیری از بروز این مسائل می تواند استفاده از فیلتر در نواحی مختلف، ناحیه بندی صحیح (zoning) در بدنه سد و اصلاح صحیح در آبگذری پی سد باشد. در شکل 2-1 این موارد مشخص شده است. همانطور که مشاهده می شود بخش B,D به عنوان فیلتر و بخش های F, G به منظور اصلاح مسیر آب در پی و طولانی کردن آن مورد استفاده قرار می گیرد.

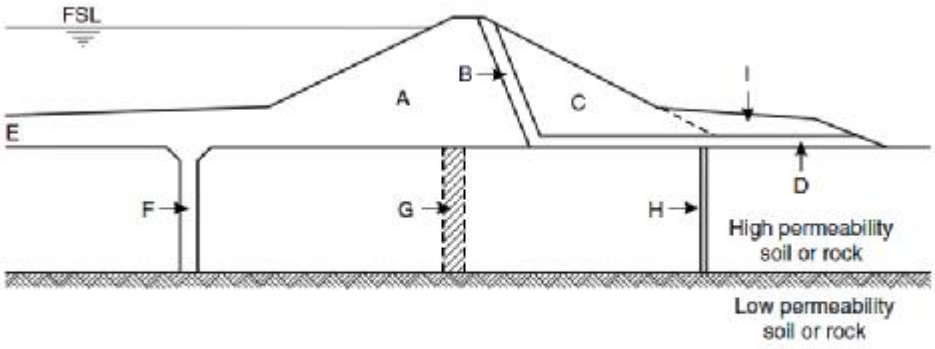


Figure 10.1. Design features for controlling seepage and erosion through and beneath earth dams on highly permeable foundations A, low permeability core; B, chimney filter drain; C, downstream zones; D, horizontal filter drain; E, upstream low permeability blanket; F, slurry trench; G, grouted zone; H, relief wells;I, weighting berm.

شکل2-1- نمایش المان های مختلف موثر در کنترل تراوش و فرسایش از پی وبدنه سد (fell and et al,2005)

2-2-3- مکانسیم فرسایش داخلی و تشکیل پایپینگ

بر اساس تحقیقات Von Thun در سال 1996 فرسایش داخلی در سد خاکی تنها زمانی رخ می دهد که چهار آیتم ذیل همزمان موجود باشد:

1- وجود هد آب به عنوان منبع انرژی و در نتیجه شبکه جریان آب؛
2- وجود مصالح فرسایش پذیر در مسیر جریان آب که قابلیت حمل بوسیله جریان آب را داشته باشد؛
3- وجود یک خروجی محافظت نشده از قبیل فضای باز یا فضای فیلتر نشده که مصالح شسته شده بتوانند از طریق جریان آب خارج شوند؛
4- وجود یک شکاف که حاصل از عملکرد توام مواد شسته شده و مواد دقیقا در مجاورت و بالای این مواد شسته شده می باشند. این شکاف زمانی می تواند پایدار بماند که پوشش سقف این شکاف در هنگام تشکیل و جریان آب ثبات داشته باشد. درنتیجه یکی از المان های مهم در ایجاد فرسایش داخلی ایجاد و استمرار وجود شکاف می باشد.

آب شستگی و پایپینگ در خاکریز، پی و از خاکریز به پی اتفاق می افتد که در ادامه به اختصار و تفکیک به هر کدام از این مسائل خواهیم پرداخت.

2-2-3-1- پایپینگ در خاکریزها

آب شستگی یا پایپینگ در خاکریز سد ها با سه پروسه مشخص ایجاد می شود:

1- فرسایش بازگشتی یا روبه عقب (Backward Erosion)
2- فرسایش نشت متمرکز (Concentrated Leak)
3- پرشدگی (Suffiusion)

فرسایش بازگشتی یا روبه عقب مربوط می شود به حالتی که در آن شستگی در مرحله خروجی تراوش رخ داده و فرسایش روبه عقب مداوم باعث ایجاد شکاف ها ی ممتد خواهد شد.

درحالت نشت متمرکز، پایپینگ شامل تشکیل ترک یا شکاف از منبع فشار آب (در این تحقیق این منبع مخزن سد می باشد) به محل خروج تراوش می باشد که آب شستگی از داخل این شکاف ها انجام می شود.

در شکل 2-2 مدل مفهومی جهت نمایش دو حالت اول فرسایش داخلی نمایش داده شده است. همانطور که دیده می شود مراحل اتفاقات جهت ایجاد شکست در دو روش نسبتاً مشابه است اگرچه مکانیسمی که شامل شروع و توسعه و پیشرفت مراحل است، متفاوت می باشند.

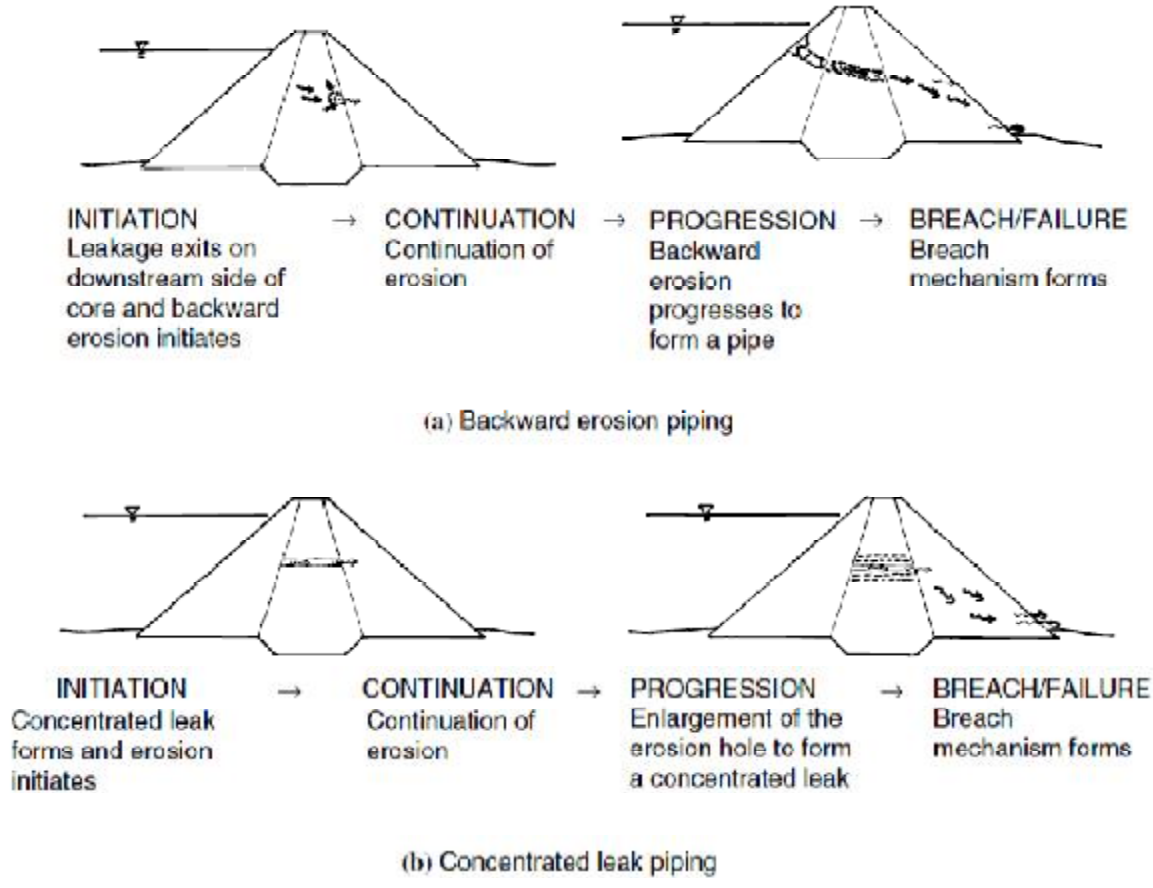
پرشدگی شامل شسته شدن دانه های ریز از داخل خاک های غیر پایدار از جهت داخلی می باشد. خاکهایی که به صورت میان تهی (Gap Graded) می باشند یا مقادیر ریزدانه کمی در مقابل ذرات درشت دانه دارند و این مقادیر کم ریزدانه داخل ماتریس ذرات درشت دانه قرار گرفته اند پتانسیل شدیدی جهت پایپینگ از طریق پرشدگی می باشند.

در نهایت چهار مورد ذیل می تواند پس از ایجاد شکاف سبب تخریب نهایی شود:

1- بزرگ شدگی فاحش سوراخ یا شکاف
2- بازشدگی پنجه
3- نشست تاج و یا ایجاد گودال (Sinkhole) در تاج و در نهایت روگذری (Overtopping)
4- ناپایداری پوسته پایین دست

در شکل 2-3 دیاگرام مسیر شکست بر اساس پایپینگ نشان داده شده است. در این دیاگرام پدیده هایی که باعث ایجاد شکاف و در نهایت تخریب سد می شود به صورت متوالی آورده شده است.

البته لازم به ذکر است که مقدار ناچیزی افزایش در نفوذپذیری هسته می تواند سبب افزایش فشار آب حفره ای در نواحی با نفوذپذیری پایین پوسته پایین دست شود. این مسئله از این جهت مهم می باشد که باقی ماندن شکاف یا بسته شدن آن (Collapse of Pipe) تاثیر زیادی در این نوع تخریب ندارد در حالیکه در تخریب هایی از نوع بزرگ شدن شکاف ها و بازشدگی پنجه، حتما باید منافذ باز بمانند و در صورت تخریب منافذ این نوع تخریب ها متوقف خواهند شد.



شکل 2-2- مدل سازی جهت نمایش شکست از طریق پایپینگ در خاکریزها a) فرسایش بازگشتی b) فرسایش متمرکز

(Foster 1999**)**