

# کاهش ریسک سدها بوسیله روشهای غیر سازه ای

## مطالعه موردی: آبگیری زود هنگام سد کرخه

کامران امامی<sup>۱</sup>

### چکیده :

این مقاله به منافع و هزینه های روشهای غیر سازه ای در کاهش خطرات ناشی از احداث و بهره برداری از سدها میپردازد. در نتیجه تاکید مهندسی بر ظرفیت هیدرولیکی و قابلیت باربری سازه های هیدرولیکی، تاکنون روشهای سازه ای عمدتاً برای افزایش ایمنی سدها بکار گرفته شده اند.

با توجه به اهمیت ایمنی عمومی، کلیه راهکارهای کارآ در رابطه با کاهش خطر پذیری بایستی مورد توجه قرار گیرند. عواقب تخریب سد بسیار فاجعه بار است بنابراین مسئولین بایستی بطور پیوسته بدنبال حداقل کردن ریسک باشند. از طرف دیگر احداث و بهره برداری از سد بایستی مقرون به صرفه باشد. تجربه جهانی نشان می دهد که اعمال اقدامات غیرسازه ای در بسیاری از پروژه ها می تواند دستیابی به ایمنی مطلوب را با هزینه ای بسیار کمتر امکان پذیر نماید.

بکارگیری و موفقیت روشهای غیر سازه ای در بسیاری از پروژه ها نشان می دهند که برای کاهش خطر پذیری سد میبایستی کلیه تدابیر غیرسازه ای را در نظر گرفت. در این راستا بکارگیری تحلیل ریسک می تواند مقایسه منافع و هزینه های روشهای غیرسازه ای را ممکن سازد. قسمت عمده هزینه های روشهای غیرسازه ای مربوط به هزینه های پرسنلی است که در کشورهای جهان سوم بطور نسبی کمتر از کشورهای پیشرفته می باشد. در این رابطه برنامه های جامع آموزشی نقش کلیدی دارند و برای مثال در ژاپن آموزش مدیران سدها بوسیله شبیه گرایی مشابه آنچه برای تعلیم خلبانها بکار گرفته می شود، انجام میگردد. با توجه به اهمیت روزافزون روشهای غیر سازه ای کمیته بین المللی سدهای بزرگ آخرین بولتن خود را به این موضوع اختصاص داده است.

### کلمات کلیدی:

ایمنی سدها - روشهای غیره سازه ای - تحلیل ریسک - مدیریت جامع

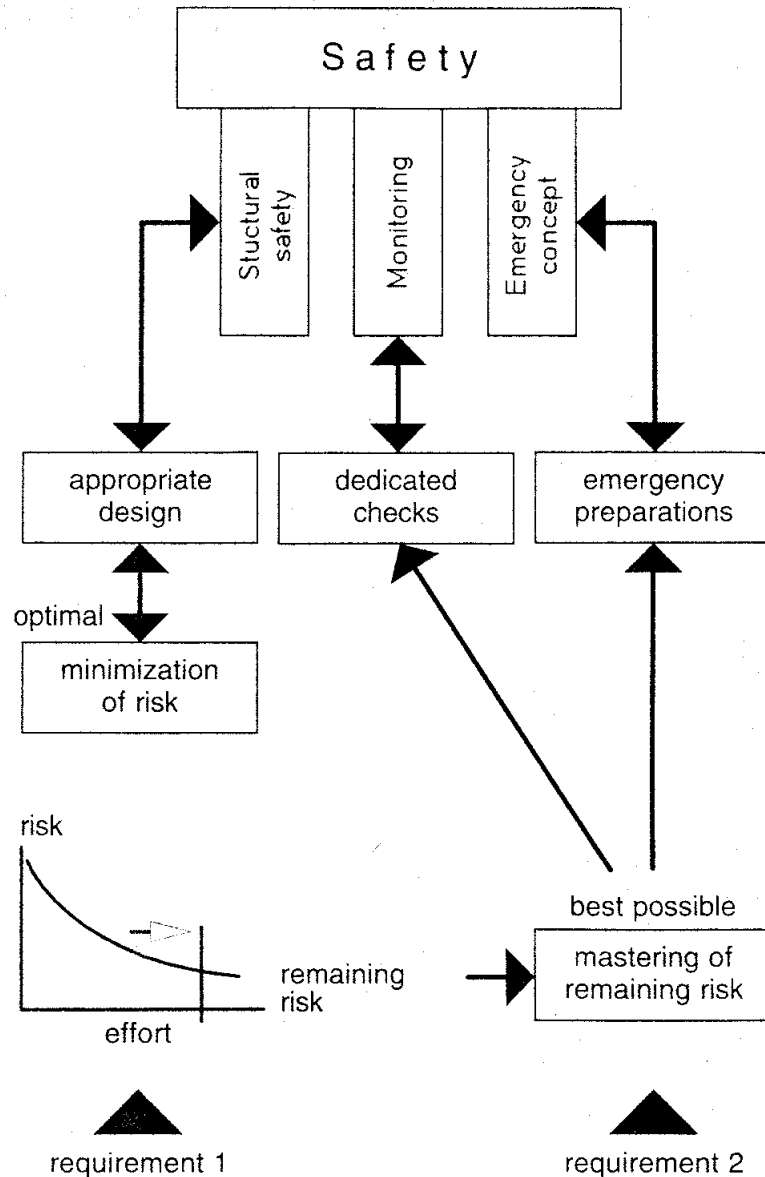
## مقدمه

تاکنون بیشترین تاکید در رابطه با ظرفیتهای هیدرولیکی سدها بر محورهای سازه ای استوار بوده است. با این وجود کاهش ریسک بوسیله روشهای غیر سازه ای در بسیاری موارد ممکن میباشد. در این راستا گروه کاری هزینه های کمیته بین المللی سدهای بزرگ (ICOLD) مقاله ای در این زمینه در همایش پکن در سال ۲۰۰۰ ارائه نموده است و در حال تهیه بولتن کاهش ریسک سدها بوسیله روشهای غیر سازه ای میباشد. در مقاله فوق بیشتر بر اقداماتی که در حوزه مدیریت مخزن میباشد تاکید شده است تا مدیریت سیلابدشتها در پایین دست. با توجه به این مقاله در بسیاری موارد کاهش ریسک تخریب سدها بوسیله اقدامات غیر سازه ای کم هزینه بعنوان جایگزین روشهای سازه ای امکان پذیر میباشد {۷}.

## ریسکهای سدها

در مقایسه با دیگر خطرهای سدها ریسک قابل ملاحظه ای را به جامعه تحمیل نمی کنند. در اغلب موارد، کاهش ریسک سیلابهای طبیعی بسیار بیشتر از ریسکی است که در اثر احداث سد بوجود می آید. با وجود اتخاذ کلیه تدابیر لازم، همیشه ریسک تخریب (هر چند اندک) وجود دارد (شکل (۱)). با این وجود همیشه حدودی برای محافظه کاری در طراحی و احداث سدها اعمال می گردد. یکی از این محدودیتها، بطور مشخص ملاحظات اقتصادی است. محافظه کاری افراطی می تواند اجرای پروژه را غیر ممکن ساخته و جامعه را از منافع پروژه محروم کند. حتی در سدهایی که کاملاً ایمن بنظر میرسند، نیز ریسک وجود دارد. درصد تخریب سدها تا قبل از ۱۹۵۰، ۲/۲ درصد بوده است که این ریسک برای سدهایی که از سال ۱۹۵۰ تاکنون احداث شده اند به ۰/۵ درصد کاهش یافته است. بیشتر سدهای تخریب شده کوتاهتر از ۳۰ متر میباشد و ۷۰ درصد خرابیها در ۱۰ سال اول بهره برداری روی داده اند. با توجه به این آمار می توان به نتایج زیر دست یافت:

- حتی برای سدهایی که بعد از ۱۹۵۰ احداث شده اند، احتمال تخریب وجود دارد. بنابر این کاهش ریسک یکی از وظایف مهم کارفرما و مدیریت سد میباشد.
- کاهش ریسک بایستی در تمامی ابعاد و برای کلیه خطرات محتمل صورت پذیرد. در بررسی خطرات بایستی امکان هشدار و تخلیه مردم در پایین دست در نظر گرفته شود. بنابر این کاهش ریسک می تواند با برخورد جامع گرایانه، متعادل و بنابر این کم هزینه ممکن گردد. در این راستا مسائلی که مسقیماً به سد مربوط نمی باشد مانند آبگرفتگی در پایین دست بایستی بدقت مورد مطالعه قرار گیرد. توجه دقیق بایستی به عواملی مانند سرعت تخریب سد، عمق و سرعت جریان، فاصله سد به مراکز جمعیت، کارآئی سیستم هشدار سیلاب و وضعیت اقلیمی در شرایط سیلابهای نادر معطوف شود. این عوامل بعلاوه پارامترهای دیگر عواقب تخریب سد را معین می کنند {۷}.

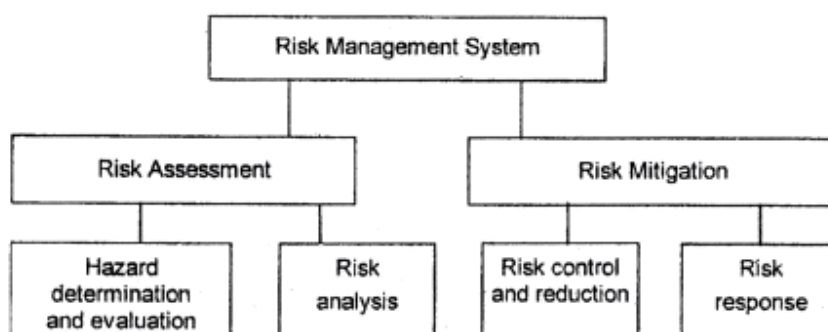


شکل (۱) فلسفه ایمنی و ریسک سد‌ها در سوئیس

### برآورد ریسک

برآورد ریسک می‌تواند بعنوان راهنمایی برای انتخاب اقدامات مناسب کاهش ریسک صورت پذیرد (شکل (۲)). برآورد ریسک دربرگیرنده کلیه روشهای کاهش ریسک از جمله روشهای غیر سازه ای می‌باشد. استفاده از این روشها در سالهای اخیر در رابطه با سد‌هایی که در استرالیا، کانادا، فرانسه، نروژ، آفریقای جنوبی و آمریکا ساخته شده‌اند، روند افزایشی داشته است. کمی کردن ریسک عموماً نتیجه برآورد و احتمال سالانه یک واقعه است که تلفات انسانی یا خسارات مالی بدنبال داشته باشد. این احتمال در عواقب حاصله ضرب شده و ریسک حاصل می‌گردد. تکنیکهای مورد استفاده، بررسی سناریوی کامل حوادث محتمل را ممکن می‌سازد. هزینه برآورد ریسک از چند نفر-روز تا چند صد نفر-روز برای یک سد خاص تغییر می‌کند. ایجاد دیدگاه عمیق در رابطه با کاهش ریسک اغلب با حداقل هزینه حاصل می‌گردد. تجربه جهانی نشان میدهد که ریسک سد‌ها در مناطق جغرافیایی مختلف متفاوت است. برای مثال در کشورهای در حال توسعه، ریسک اصلی تخریب سد در اثر سیلاب میباشد. این موضوع بخصوص در آسیا که ۵۰ درصد سد‌ها در مناطق پر جمعیت احداث میشوند، صدق می‌کند. در ۳۰ سال گذشته بیشتر تخریب سد‌ها در کشورهای در حال توسعه در اثر سیلاب بوده است. از طرف دیگر سیلابها ریسک اصلی تخریب سد در کشورهای صنعتی نبوده‌اند. دربرآورد

خسارات و تعداد تلفات انسانی، تغییرات پایین دست بایستی در نظر گرفته شود زیرا عموماً "احداث سدها باعث توسعه پایین دست می گردد" {۲}.



شکل (۲) مدیریت جامع ریسک

### ایمنی هیدرولوژیکی سد Wahleach در کانادا

ظرفیت سرریز این سد از نقطه نظر ضوابط کارفرما (BC-Hydro) ناکافی برآورد گردید. با وجودیکه امکان افزایش ظرفیت سرریز وجود داشت ولی پتانسیل شستگی در پایین دست سرریز و بدنال آن تخریب سرریز هنوز موجود بود. مطالعات بعدی نشان داد حتی اگر تدابیر لازم برای جلوگیری از شستگی بعمل آید، عبور سیلاب PMF از سرریز، پایین دست را با خطر بزرگی مواجه خواهد کرد و خطرات مرحله ای تخریب سد نسبت به عواقب نهایی ناچیز خواهد بود. بعلاوه مطالعات BC-Hydro نشان داد که دو رودخانه مجاور خطرات بسیار بزرگتری را متوجه مردم خواهند کرد. در حقیقت توجه به سیلابهای طبیعی، قبول ریسک بزرگتر از آنچه در ضوابط آورده شده را ممکن کرد. علاوه بر اصلاحات سرریز، کارفرمای پروژه با مشورت با مقامات وقایع غیر مترقبه منطقه و مقامات محلی، برنامه ریزی برای ایجاد سیستم هشدار سیلاب را به انجام رسانید. هزینه این سیستم هشدار سیلاب سالانه ۵۰۰۰ دلار برآورد شده است {۷}.

### نروژ

سد Dravladalen به ارتفاع ۲۹ متر یک سد سنگریزه ای با هسته رسی است. این سد در سال ۱۹۷۲ تکمیل گردید. این سد در محلی دور افتاده قرار دارد و هر زمستان تنها با چرخبال می توان به سد دسترسی داشت. تحلیل ریسک عوامل مختلف در ایمنی این سد، احتمالات سالانه زیر را به دست داده است {۸}.

بارگذاری هیدرولیکی  $4 \times 10^{-4}$

بارگذاری زلزله  $1/5 \times 10^{-6}$

بارگذاری معمولی  $5 \times 10^{-5}$

ریسک کلی  $4/5 \times 10^{-4}$

از نقطه نظر هیدرولوژیکی، این سد با ضوابط تطبیق دارد. علت بالا بودن ریسک هیدرولیکی، پتانسیل کاهش ظرفیت سرریز بعلت گرفتگی آن بوسیله قطعات بزرگ یخ میباشد. تحلیل ریسک جهت و تمرکز مطالعات بعدی در رابطه با کاهش ریسک را معین نمود.

### آمریکا

درسد Salmon Lake در آمریکا، یک مطالعه ۵۰۰،۰۰۰ دلاری تحلیل ریسک موجب کاهش هزینه های ایمن سازی سد به میزان ۱۳ میلیون (یا بیش از ۷۵ درصد هزینه کل) گردید {۷}.

## آموزش

پرسنل کارآ جزء لاینفک نظارت موثر، ارزیابی ایمنی و اقدامات اضطراری میباشند. آموزش برای کلیه دست اندرکاران مدیریت سد مفید و ضروری است. آموزش های لازم می تواند در دوره ها و کارگاههای آموزشی ارائه گردد. همچنین آموزش در حین انجام وظیفه توسط پرسنل با تجربه تر ممکن میشود. کاهش ریسک بوسیله آموزش موثر پرسنل در تمامی مراحل مختلف ایمنی سدها ممکن است. پرسنلی که از آموزشهای مناسب برخوردار باشند می توانند ریسک وقوع اشتباهات در بهره برداری را کاهش دهند. در این راستا در کشورهای مختلف برنامه ریزی مناسب در جهت ارتقاء آموزش مدیریت سدها صورت گرفته است {۷}:

### ◀ فرانسه

در سال ۱۹۹۸ کمیته ملی سدهای بزرگ فرانسه یک کتاب راهنما در زمینه ایمنی سدها در سیلاب چاپ کرد. در این کتاب تجارب جهانی از حوادث مختلف در کشورهای مختلف بعلاوه تجارب بهره برداری از ۵۰۰ سد فرانسه ارائه شده است.

### ◀ ژاپن

تراکم جمعیت در سیلابدشتهها و شرایط جغرافیایی ژاپن، اهمیت مدیریت موثر مخازن سدها را بسیار افزایش داده است. کارفرمایان سدها برنامه های آموزشی متنوعی برای بهره برداران از سدها تدوین نموده اند که از این جمله به برنامه های آموزشی وزارت احداث، شرکت برق توکیو و شرکت توسعه شبکه های برق می توان اشاره نمود. در شرکت توسعه شبکه های برق از برنامه های شبیه ساز (Simulator) ۵ میلیون دلاری برای آموزش مدیران و بهره برداران از سدها استفاده قابل ملاحظه ای شده است. هزینه آموزشهای این شرکت حدود ۵۰۰،۰۰۰ دلار در سال برآورد گردید.

### ◀ نروژ

در نروژ آموزشهای بهره برداران از سدها به صورت گسترده ای صورت می گیرد. سه برنامه مختلف برای سه سطح مختلف وجود دارد. این دوره ها از سال ۱۹۹۲ آغاز گردیده است.

### ◀ آمریکا

برنامه های آموزشی گروه مهندسی ارتش آمریکا برای پرسنل هر سد هر چهارسال یکبار و همزمان با بازدید یک تیم کارشناسی از سد به منظور بررسی فنی آن صورت می گیرد. موارد مورد بحث طراحی و عملکرد سد، تاریخچه بهره برداری، نگرانیهای موجود و احتمال وقوع و عواقب حوادث مخرب میباشد. از مقامات محلی برای شرکت در جلسات و بحث در مورد شرایط اضطراری دعوت بعمل می آید. هزینه این آموزشهای دوره ای ۷۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ دلار برآورد شده است.

اداره عمران آمریکا که مسئولیت و مدیریت ۲۵۰ مخزن و ۳۵۰ سد و سیل بند را عهده دار است نیز وجود پرسنل کارآ را برای بهره برداری و نگهداری از سدها بسیار مهم ارزیابی مینماید. دوره های آموزشی U.S.B.R. شامل موارد ذیل میباشد:

- دوره های آموزشی در محل سد (تئوری و عملی) (۱ تا ۳ روزه)
- کارگاههای مدیریت منابع آب (۵ روزه)
- سمینارهای ارزیابی ایمنی سدهای موجود (۵ روزه)
- سمینارهای مدیریت شرایط اضطراری (۱ تا ۳ روزه)

پرسنل بهره بردار ملزم به تکمیل دوره های آموزشی مربوطه هر ۳ سال یکبار میباشند. سالانه ۱۰ دوره آموزشی با شرکت ۱۲۰ بهره بردار برگزار می شود. هزینه این دوره ها سالانه ۱۶۰۰۰۰ دلار میباشد.

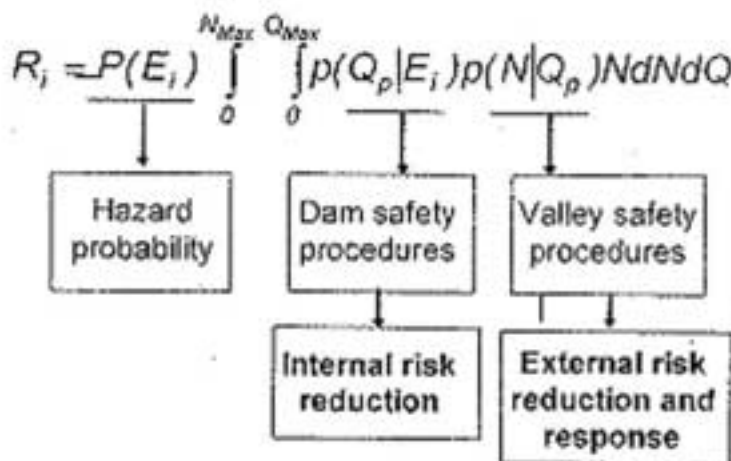
در کارگاههای مدیریت منابع آب جدیدترین اطلاعات در مورد مدیریت و نگهداری کارآی مخازن سدها در اختیار شرکت کنندگان قرار می گیرد. هزینه سالانه این کارگاه ۵۰۰۰۰ دلار و تعداد شرکت کنندگان ۱۲۰ نفر می باشد.

هر کدام از کارکنان اداره عمران آمریکا یکبار در طول دوره خدمت خود بایستی در سمینار ارزیابی ایمنی سدهای موجود شرکت نمایند. هزینه سالانه این سمینار ۳۰۰۰۰ دلار و تعداد شرکت کنندگان ۸۰ نفر می باشد.

سمینارهای مدیریت شرایط اضطراری ۴ بار در سال در سدهای اداره عمران آمریکا برگزار میشود هزینه سالانه هر سمینار ۴۰۰۰ دلار و تعداد شرکت کنندگان ۲۰ نفر میباشد.

### برنامه ریزی شرایط اضطراری:

برنامه ریزی شرایط اضطراری حاصل کار مشترک کارفرما - مدیریت سد و مسئولین وقایع غیر مترقبه میباشد. این برنامه ریزی شامل برنامه های ارتباطی، اطلاع رسانی عمومی و تخلیه جمعیت میباشد. یک عنصر مهم این برنامه ریزی، تمرینات و مانورهای آزمایشی موعدی میباشد. برنامه ریزی شرایط اضطراری با افزایش جمعیت در پایین دست از اهمیت روز افزونی برخوردار می باشد. تلفات انسانی مشاهده ای کمتر از ۰/۱ تا ۵۰ درصد جمعیت منطقه خطر متفاوت بوده است. حتی اگر درصد خرابیهای سدها ثابت بماند، بعلت افزایش جمعیت در پایین دست برنامه ریزی شرایط اضطراری نقش عمده ای در حفظ جان مردم در معرض خطر ایفا خواهد نمود. سیلابهای ناشی از شکست سد حتی برای سدهای کوچک میتواند بسیار بزرگتر از سیلابهای طبیعی رودخانه باشند. برنامه ریزی اضطراری مناسب می تواند یک شکست سد فاجعه بار از نقطه نظر تلفات انسانی را به حادثه ای با حداقل تلفات انسانی تبدیل کند (شکل (۳)) {۱۲} {۷}:



شکل (۳) فلسفه مدیریت جامع ریسک سدها

- در جریان شکست سد Oros در برزیل در سال ۱۹۸۱، شکست سد از چند روز قبل پیش بینی شده بود و هشدار به موقع، تخلیه ایمن ۱۰۰،۰۰۰ نفری که در معرض خطر بودند را ممکن نمود.
- هشدار به موقع مردم در جریان تخریب سدهای Teton, Baldwin Hills در آمریکا موجب حداقل شدن تلفات جانی گردید.
- در تخریب سد Nanaksager در هند در سال ۱۹۶۷، ۱۰۰ نفر کشته شده ولی جان عده زیادی توسط دوندگان نجات یافت.

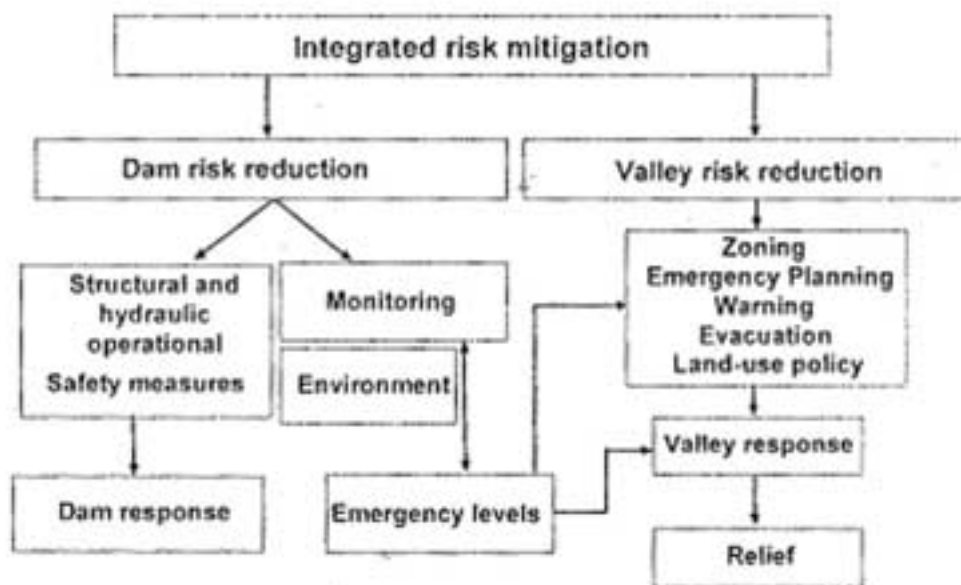
- در صورتی که سیستم های هشدار امروزی در زمان تخریب سدهای South Fork در آمریکا (۱۸۸۹)، Machhu در هند (۱۹۷۹)، Vaiont در ایتالیا (۱۹۶۳) و Guhuo در چین در سال (۱۹۹۳) موجود بود، تلفات جانی این تخریبها بسیار کاهش می یافت.
- سد Fergong در الجزایر ۲ بار در سیلابهای ۱۸۸۱ و ۱۹۲۷ تخریب گردید. در سال ۱۸۸۱، دویست نفر کشته شدند ولی در سال ۱۹۲۷ سیستم هشدار از وقوع تلفات انسانی جلوگیری نمود.

### نروژ

از سال ۱۹۹۵ کلیه کارفرمایان سدها ملزم به برنامه ریزی برای شرایط اضطراری شدند. در این رابطه بایستی مانورهای آزمایشی هر سه سال یکبار انجام شود. شرکت Statkraft که کارفرمای ۷۱ سد در نروژ میباشد هزینه ایجاد، به روز کردن سالانه و مانورهای آزمایشی سیستمهای مدیریت اضطراری را برای هر سد به ترتیب ۳۷۵۰۰، ۳۷۵۰ و ۱۸۷۵۰ دلار برآورد کرده است.

### سیستم های هشدار سیلاب

همانطوریکه قبلاً اشاره شد، هشدار به موقع یک عامل بسیار مهم در نجات جان انسانهای در معرض خطر میباشد. در سالهای اخیر استفاده روز افزون از سیستم هایی که زمان پیش هشدار را افزایش دهند، صورت گرفته است. استفاده از اطلاعات به هنگام هواشناسی و هیدرولوژیکی می تواند در افزایش زمان پیش هشدار نقش مهمی را ایفا نماید. بایستی در نظر داشت که بسیاری از سیستم های مورد استفاده در هشدار سیلاب می توانند بوسیله سیلابی که سد را تهدید می کند، از کار بیافتند. برای مثال سیلاب می تواند سیستم های ارتباطی و راهها را مختل نماید. محیط تنش آور که حاصل میشود نیز می تواند از کارآیی پرسنل بکاهد {۱۲} {۹} {۳}:



شکل (۴) مدیریت جامع ریسک در سد و پایین دست

- درسد بتنی وزنی Aberferdie در کانادا ورود رسوب بیش از میزان پیش بینی شده در طراحی (بعلا سه سال بسیار پرآب ۱۹۹۵-۱۹۹۷)، می تواند پایداری سد را با خطر مواجه کند. بنابراین برنامه ریزی شرایط اضطراری در دستور کار قرار گرفت و با نظارت پیوسته حوزه آبریز ایمنی مردم در سیلاب سال ۱۹۹۹ تضمین گردید. کل پرسنل لازم برای برنامه ریزی شرایط اضطراری

۹۰ نفر - روز برآورد گردیده است. اکنون برنامه هایی در دست اجرا است که اقدامات سازه ای برای افزایش پایداری سد صورت پذیرد {۷}.

- شش سد بزرگ و ۸ نیروگاه با ظرفیت کلی ۱۶۰۰ مگاوات بر روی رودخانه Saint Maurice احداث شده است. این سدها که از سال ۱۹۱۱ تا ۱۹۵۸ احداث گردیدند، قادر به عبور سیلابهای ۱۰۰۰۰ ساله یا PMF نمی باشند. مطالعات ایمنی سازی که در اوایل دهه ۱۹۹۰ انجام گرفت، هزینه ایمن سازی را ۴۰۰ میلیون دلار برآورد نمود. با توجه به قابل ملاحظه بودن هزینه ایمن سازی، تحلیل‌های اقتصادی ریسک صورت پذیرفت و تنها در یکی از سدها ایمن سازی سازه ای اعمال گردید. در بقیه سدها، ایمن سازی مردم پایین دست از طریق روشهای غیر سازه ای در دستور کار قرار گرفت و در نتیجه حدود ۴۰۰ میلیون دلار صرفه جویی حاصل گردید {۷}.
- در نروژ اولین سیستم های هشدار در پایین دست سدها در جریان جنگ جهانی دوم بکار گرفته شد. اکنون نیز سیستم های هشدار الکترونیکی که می تواند آذیرهای خطر را فعال کند بکار گرفته میشوند.

### اسپانیا

سیستم اطلاعات هیدرولوژیکی خودکار در حوزه Segara اطلاعات به هنگام در نقاط حساس حوزه را در اختیار قرار میدهد. این سیستم شامل اجزاء زیر میباشد (ICOLD, 2000):

- ۸۹ نقطه کنترل در حوزه بطوریکه شرایط کلی حوزه قابل نظارت میباشد.
- ۷ ایستگاه پردازش که اطلاعات مربوط به هر منطقه از حوزه ذخیره و پردازش میشود.
- یک سیستم ارتباطی دیجیتالی که شامل ۱۶ ایستگاه تکرارگر و گیرنده در تمام نقاط کنترلی میباشد، انتقال اطلاعات به مرکز در Murcia را ممکن میسازد.
- یک مرکز پردازش با دریافت اطلاعات، ذخیره، پردازش و ارائه آنها را انجام می دهد.

پرسنل مورد نیاز برای نگهداری سالانه سیستم و تغییر اطلاعات بشرح زیر میباشد:

- مهندس ارشد ۰/۱ نفر - سال
- مهندس فنی ۰/۲ نفر - سال
- کارشناس هیدرولوژی ۰/۱ نفر - سال
- دستیار فنی ۰/۶ نفر - سال

### سد Olympus در آمریکا

سد خاکی Olympus در سال ۱۹۴۹ احداث گردید. آخرین مطالعات نشان میدهد که این سد در سیلاب های بزرگتر از ۱۲ درصد PMF دچار روگذری سیلاب میشود. گزینه سازه ای ایمن سازی مناسب تشخیص داده نشدند زیرا اثر مرحله ای تخریب سد موجب افزایش تلفات و خسارات در پایین دست نمی گردید. سیستم هشدار سیلاب برای تخلیه مردم هم در زمان عبور سیلابهای بزرگ از سرریز و هم در صورت شکست سد مناسب تشخیص داده شد. هزینه این سیستم بسیار کمتر از افزایش ایمنی بوسیله روشهای سازه ای برآورد گردیده است .

### اصلاح مدیریت بهره برداری از سد

ریسک تخریب یک سد وابسته به ارتفاع آب و حجم مخزن میباشد. بنابراین می توان با کاهش ارتفاع و حجم مخزن بوسیله مدیریت بهره برداری ریسک را کاهش داد. کاهش حجم مخزن موجب کاهش بیشتر سیلابها در مخزن می گردد. هزینه این گونه مدیریت بهره برداری شامل آب و انرژی از دست رفته، کاهش پتانسیل کاربردهای تفریحی و احتمالاً کاهش کیفیت آب میباشد. در مواردی اصلاح مدیریت بهره برداری مخزن بمنظور مدیریت سیلاب در پایین دست، موجب کاهش حجم سرریز شده از مخزن و افزایش انرژی برقی تولید شده گردیده است. در ذیل نمونه هایی از اصلاح مدیریت بهره برداری ارائه می گردد {۷}:



### ◀ سد Madawaska در کانادا

شرکت تولید برق Ontario کارفرمای ۱۴ سد بر روی رودخانه Madawaska می باشد. مطالعات انجام شده نشان داد که PMF موجب روگذری در ۹ سد شده و پتانسیل خرابی ۶ سد وجود خواهد داشت. اصلاح مدیریت بهره برداری احتمال روگذری ۷ سد را منتفی نمود و ارتفاع یکی از این دو سد افزایش داده شد و پتانسیل خطر سد دیگر پایین ارزیابی گردید. مدیریت بهره برداری موجب کاهش هزینه های ایمن سازی این سدها به میزان ۱۰ میلیون دلار گردید.

### ◀ کره - رودخانه Guem

سد Dxecheong که در سال ۱۹۸۰ احداث گردید بر روی رودخانه Geum قرار گرفته است. هدف اصلی سد کنترل سیل و ذخیره سازی آب برای کشاورزی میباشد. حدود ۶۷ درصد بارندگی سالانه از ماه ژوئن تا اوت رخ میدهد. بهینه سازی منحنی فرمان سد در سال ۱۹۹۲ در دستور کار قرار گرفت. اهداف بهینه یابی، کمینه کردن حجم مخزن در فصل سیلاب، بیشینه کردن انرژی تولید شده، بیشینه آب تامین شده برای کشاورزی بود. منحنی فرمان حاصله ریسک سیلاب را کاهش داد بدون آنکه اثرات منفی در تولید انرژی ایجاد نماید. شبیه سازی منحنی فرمان برای دوره آماری افزایش قابل ملاحظه انرژی تولید شده، حجم آب تنظیمی و انرژی اولیه را نشان داد. در عمل نیز اعمال مدیریت بهره برداری جدید سیلاب و خالی نگهداشتن مخزن در سال ۱۹۹۵، پیک سیلاب از ۵۸۰۰ متر مکعب بر ثانیه به ۱۷۰۰ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافت. خسارات سیلابی که با اعمال منحنی فرمان قبلی بوجود می آمد ۳۴ میلیون دلار برآورد شده است.

### ◀ روسیه - رودخانه ولگا

احداث سیستم سدهای رودخانه ولگا شامل ۱۱ سد، توسعه گسترده دشتهای پایین دست را بدنبال داشته است. در نتیجه سیلاب بزرگتر از ۳۰۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه می تواند خسارات مهمی به مناطق مسکونی و مزارع کشاورزی وارد نماید. این در حالی است که سیلاب متوسط سالانه ولگا ۳۳۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه میباشد. به منظور افزایش ایمنی، اعمال روشهای غیر سازه ای در دستور کار قرار گرفته است و مدیریت بهره برداری سدهای ولگا اصلاح گردیده است. به منظور کاهش سیلاب در پایین دست، حجم لازم برای کنترل سیلاب ۷۰ تا ۱۱۰ میلیارد متر مکعب میباشد. این حجم را بدو طریق میتوان فراهم نمود:

۱. خالی کردن سد در ابتدای بهار.
  ۲. افزایش تراز بیشینه آب در مخزن که موجب غرقاب شدن مناطق مسکونی و کشاورزی حاشیه مخزن میشود.
- در مورد تخلیه مخزن در صورتیکه پیش بینی حجم سیلاب دقیق نباشد، عمق لازم برای کشتیرانی در پایین دست در بعد از فصل سیلاب بدست نخواهد آمد. در برخی سالها خطای ۴۰ درصد در پیش بینی حجم سیلاب مشاهده شده است. اکنون مطالعات لازم در زمینه مدیریت بهینه مخازن ولگا در دست انجام میباشد.

### ◀ آمریکا - سد Foss

سد خاکی Foss در سال ۱۹۶۱ احداث گردید. مطالعات سال ۱۹۸۱ نشان داد که سیلابی با حجم ۶۳ درصد PMF میتواند موجب روگذری سد شود. در سال ۱۹۷۷ تراوش در تکیه گاه چپ موجب مشکلاتی گردید و در نتیجه تراز نرمال ۳ متر کاهش داده شد. در رابطه با ایمنی هیدرولوژیکی چند گزینه سازه ای مورد بررسی قرار گرفت. کمترین هزینه گزینه سازی مربوط به احداث فیوز پلاگ بود (۸ میلیون دلار) ولی در سیلاب PMF، ۳۳۰۰ نفر در پایین دست در معرض خطر قرار می گرفتند. هزینه افزایش ارتفاع نیز ۸ میلیون دلار برآورد شد و تعداد افراد در منطقه خطر ۷۵ نفر برآورد گردید.

اصلاح مدیریت بهره برداری از مخزن در رابطه با ایمن سازی سد در نظر گرفته شد. بعد از کاهش تراز نرمال در سال ۱۹۷۷ مخزن سد بندرت به بالای تراز نرمال کاهش یافته رسیده بود. مطالعات انجام شده نشان میدهد که مخزن با تراز نرمال کاهش یافته میتواند حجم تنظیمی مورد نیاز را تامین نماید. در نتیجه حجم میان تراز نرمال اولیه و کاهش یافته به کنترل سیلاب اختصاص داده شد.

ارتفاع آزاد سد Foss در طراحی اولیه ۲ متر بود. این ارتفاع آزاد با روشهای محاسباتی سال های ۱۹۵۰ حاصل گردیده بود. اکنون روشهای جدیدتر ارتفاع آزاد را برابر ۱ متر بدست میدهند. با اعمال تراز نرمال و ارتفاع آزاد کاهش یافته، ریسک روگذری سد ۵۰ درصد کاهش می یابد. بنابراین اداره عمران آمریکا تصمیم گرفت گزینه غیر سازه ای را که بدون هزینه اضافی میباشد و ریسک را بنحو قابل ملاحظه ای کاهش میدهد، انتخاب کند.

### طراحی جامع گرایانه سازه های هیدرولیکی

مطالعات موردی ارائه شده در مورد کاهش ریسک سدها بوسیله روشهای غیر سازه ای عمدتاً مربوط به ۸ کشور آمریکا، نروژ، فرانسه، ژاپن، کانادا، اسپانیا، کره و روسیه می باشند. در عمل بنیاد تئوریک این راهبرد در ایران در قالب یک رساله دکتری تحت عنوان روش جامع گرایانه در طراحی تطبیقی سازه های هیدرولیکی در سالهای ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۸ پی ریزی گردید. در این رساله ابتدا بحران آب، مدیریت سیلاب و تضمین توسعه پایدار به عنوان مهمترین چالشهای بشر در قرن بیستم مطرح گردیده اند و سپس به عدم قطعیت‌های پارامترهای طراحی سازه های هیدرولیکی در اثر تغییرات هیدرو سیستم ها اشاره شده و نتیجه گیری شده است که موفقیت بشر در مقابله با این بحرانها، در گرو تبیین دیدگاهها و راهبردهای جدید در طراحی سازه های هیدرولیکی میباشد. محور اصلی این رساله، اعمال روش جامع گرایانه می باشد. در این روش، روابط متقابل میان اجزا و کلیت سیستم از اهمیت ویژه ای برخوردار می شوند {۴}.

سیستم سازه های هیدرولیکی شامل سخت افزار (سازه های ذخیره ای، انتقالی و کنترلی) و نرم افزار می باشد. قسمت نرم افزاری که مشتمل بر مدیریت، شناخت و اطلاعات می باشد، عموماً به صورت کامل در طراحی در نظر گرفته نمی شود. این در حالی است که تغییر مرز میان نرم افزار و سخت افزار می تواند ابعاد سازه های هیدرولیکی را بطور قابل ملاحظه ای تغییر دهد. در این راستا، تطبیق طراحی با نیاز، محدودیتها و اهداف می تواند ابعاد بهینه نرم افزاری و سخت افزاری سیستم را بدست دهد. از طرف دیگر با تغییر ابعاد قسمت نرم افزاری، تطبیق در زمان و مکان با یک هیدروسیستم متغیر و غیر قابل پیش بینی امکان پذیر می گردد. با استفاده از تحقیقات مختلف و تجارب جهانی و بر اساس دیدگاه جامع گرایانه و با ایجاد روابط متقابل میان نرم افزار و سخت افزار و تخصصهای مختلف، اصول بنیادین طراحی جامع گرایانه سازه های هیدرولیکی تبیین گردید. این راهبرد بر مدیریت پیوسته و فراگیر و طراحی انعطاف پذیر استوار گردیده است. بنابراین طراحی مدیریت در دستور کار قرار می گیرد. مدیریت پیوسته مستلزم نظارت و طراحی پیوسته می باشد و در نتیجه نظارت پیوسته هیدروسیستم، استفاده از خصوصیات فصلی و پیش بینی های دراز مدت و کوتاه مدت در طراحی ممکن می گردد. با توجه به عدم قطعیت پارامترهای طراحی، عواقب فاجعه بار تخریب و محدودیت‌های اقتصادی، بایستی ایمنی در سازه نهادینه گردد. از طرف دیگر با مدیریت بحران در قبل و به هنگام بحران می توان ایمنی سازه را افزایش داد. در نهایت و در بدترین شرایط، تخلیه ایمن مردم بایستی تضمین شده باشد. با اعمال این راهبرد از یک طرف میتوان ریسک بیشتری را در طراحی اعمال نمود و از طرف دیگر ایمنی را افزایش داد. تجارب جهانی بوضوح نشان می دهند که قسمت عمده خرابیها و مشکلات سازه های هیدرولیکی بعلت عدم رعایت این اصول بنیادی بوقوع پیوسته اند.

به منظور اعمال اصول بنیادی جامع گرایانه در طراحی سدها، مدل خبره KURIT با استفاده از اصول فوق تهیه گردید. این مدل براساس طراحی پیوسته پی ریزی شده است و برای طراحی، احداث و بهره برداری سدها می تواند مورد استفاده قرار گیرد. مهم ترین کاربردهای KURIT، انتخاب سیلاب طراحی و تراز اولیه مخزن، افزایش ایمنی، تعیین حجم بهینه مخزن بر اساس دیدگاه جامع گرایانه، کاهش تضاد اهداف مختلف در بهره برداری و آبرگیری زود هنگام می باشند.

راهکارهای پیشنهادی KURIT در رابطه با آبرگیری زود هنگام سدها به شرح زیر می باشند:

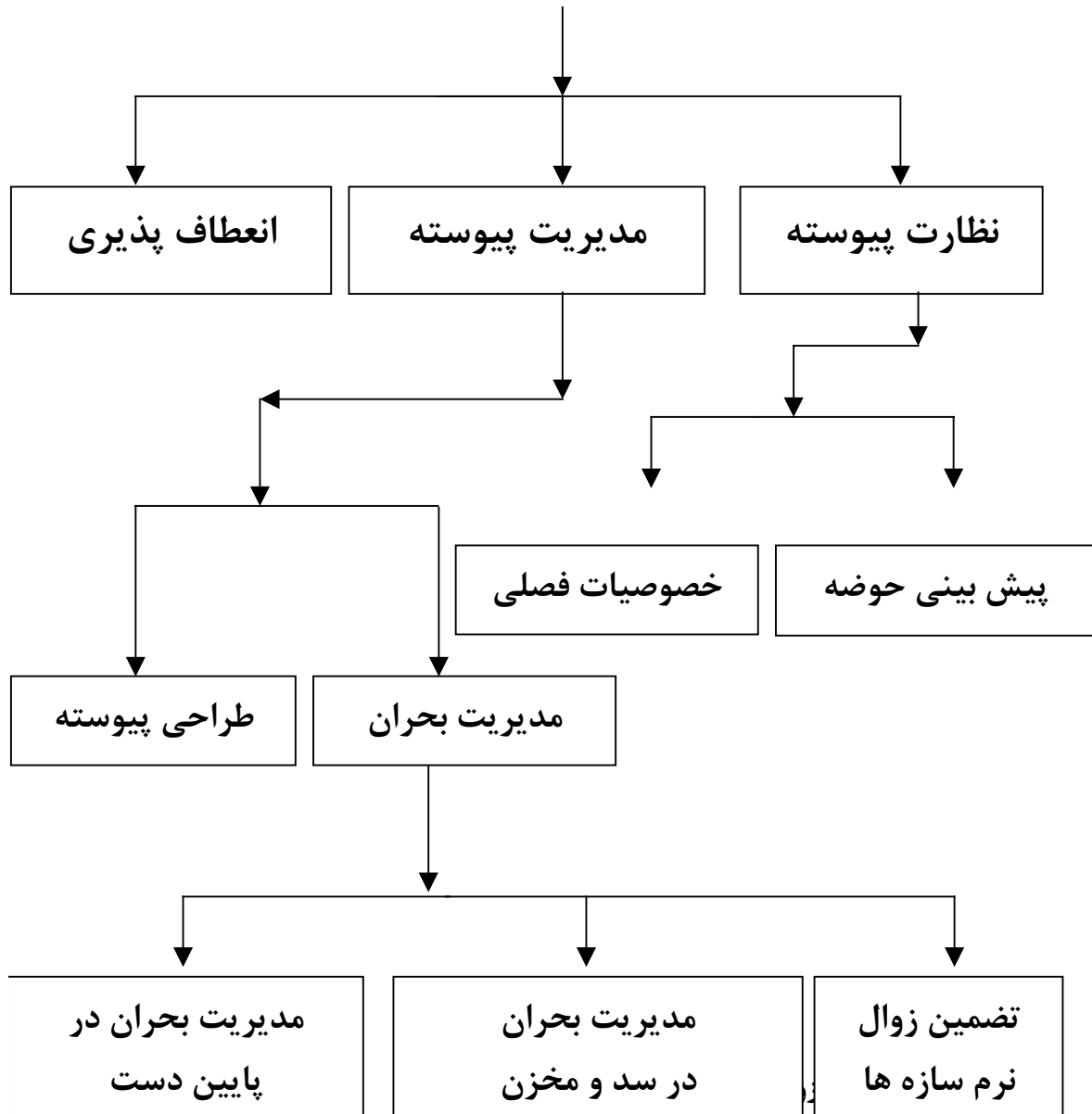
۱. انعطاف پذیری
۲. استفاده از خصوصیات فصلی
۳. مدیریت بحران
۴. تضمین زوال نرم

۵. استفاده از پیش بینی های درازمدت و کوتاه مدت

۶. نظارت پیوسته

اعمال این راهکارها در آبگیری سد مارون با موفقیت همراه بود و منجر به یک ابداع جدید بنام فیوز پیوسته ای در مهندسی سد گردید. در صورتیکه به نتایج مدل پیش بینی در بهمن ماه ۱۳۷۵ توجه شده بود و از فیوز پیوسته ای برای پلاگ کردن تونل انحراف ۲ استفاده گردیده بود، بحران نشت از مخزن این سد که ۶ ماه بطول انجامید و خطرات بسیار مهمی را متوجه سد نمود، در مرحله اول قابل اجتناب بود و در مرحله بعد در روزهای اول آبگیری با انفجار فیوز پیوسته به پایان می رسید {۵}.

## طراحی جامع گرایانه سازه های هیدرولیکی



شکل (۵) راهبردهای طراحی جامع گرایانه سازه های هیدرولیکی

آبگیری زود هنگام سد کرخه در بهمن ماه ۱۳۷۸ نمونه ای بارزی از منافع روشهای غیرسازه ای در مهندسی سد می باشد. این سد با حجم مخزن ۵/۵ میلیارد متر مکعب، بزرگترین سد ایران از نقطه نظر حجم بدنه سد و حجم مخزن می باشد. بعلت پیچیدگی شرایط لازم برای انسداد نهایی کالورتها و اصرار کارفرما برای آبگیری زود هنگام به منظور استحصال هر چه سریعتر منافع پروژه، شروع آبگیری این سد در سال آبی ۷۹-۱۳۷۸ با مشکلات مهمی مواجه بود. در این راستا با توجه به محدودیتهای موجود، استفاده از روشهای غیرسازه ای از جمله پیش بینی های هیدرولوژیکی ضروری تشخیص داده شد و مطالعات لازم از بهمن ماه ۱۳۷۷ آغاز گردید. این مطالعات از قسمتهای مختلفی بشرح زیر تشکیل گردیده بود:

### پیش بینی های هیدرولوژیکی

در این راستا مدل شبکه عصبی مصنوعی بر اساس آمار ماهانه بارندگی و آورد رودخانه ایجاد گردید. مشابه دیگر مدلهای هیدرولوژیکی رودخانه های ایران، نتایج این مدل از اواخر بهمن ماه قابل اتکا می باشد.

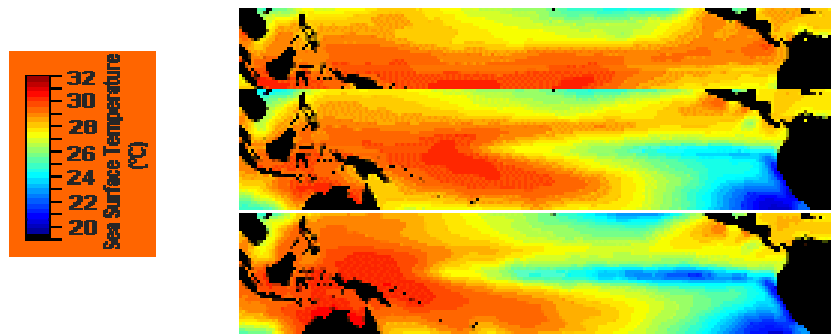
### خصوصیات فصلی

استفاده از خصوصیات فصلی رودخانه کرخه نقش بسیار مهمی در عملی شدن اولین آبگیری سد کرخه در زمستان ۱۳۷۸ ایفا نمود. مطالعات انجام شده این خصوصیات را بشرح زیر ارائه می دهد:

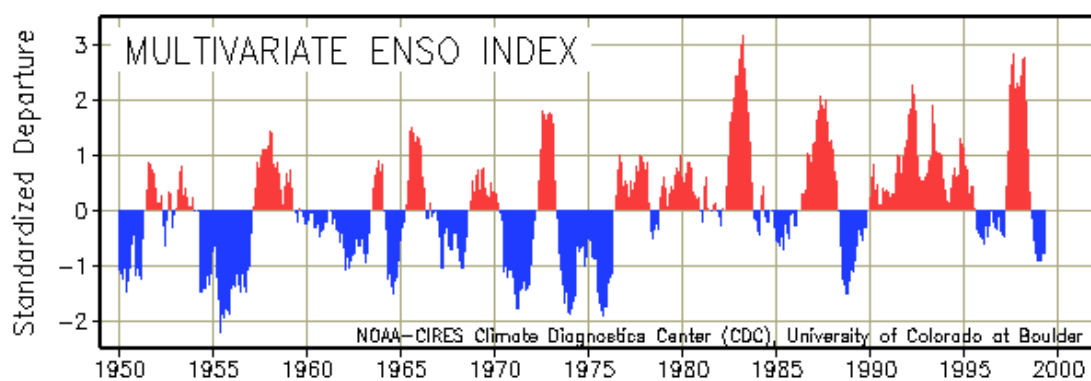
۱. از اوایل اریبشت تا اواسط آبان پتانسیل سیلاب بشدت کاهش می یابد و این دوره را میتوان با توجه به شرایط پروژه، از نقطه نظر خطر سیلاب کاملا ایمن محسوب نمود.
۲. پتانسیل سیلابهای پاییزه از اواسط آبان تا اواسط آذر وجود دارد. زمان هیدروگراف و حجم این سیلابها نسبت به سیلابهای بهاره کمتر می باشد.
۳. از اواخر آذر تا اواسط اسفند، پتانسیل سیلاب به علت یخبندان از سیلابهای بهاره و پاییزه کمتر می باشد. این دوره نیز با توجه به حجم قابل ملاحظه سد در حال احداث، ایمن محسوب می شود.
۴. از اواخر اسفند تا اوایل اردیبهشت، پتانسیل سیلابهای بهاره وجود دارد که هم از نقطه نظر سد در حال احداث و هم از نظر ایمنی سد در دوره بهره برداری، بحرانی ترین سیلاب محسوب می شود.

### پیش بینی های اقلیمی

با توجه به تراز سد در حال احداث و در سرویس نبودن سرریز در پاییز ۱۳۷۸، پیش بینی آورد رودخانه در پاییز ۱۳۷۸ در رابطه با ایمنی سد مورد نیاز بود. در این راستا همانطوریکه قبلا اشاره شد، پیش بینی های هیدرولوژیکی قبل از اسفند ماه فاقد کارایی لازم می باشند و ناچار استفاده از پیش بینی های اقلیمی بوسیله (ENSO) در دستور کار قرار گرفت. بر اساس تحقیقات دامنه دار انجام شده در جهان، شرایط اقلیمی در فصل بعدی به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهمترین آنها دمای سطح اقیانوس آرام (SST) می باشد و بر اساس این پارامترها، پدیده های ال نینو و لانینا تعریف می شوند (شکل ۵). با استفاده از این روش برای اولین بار در تاریخ بشر، دانشمندان در سال ۱۹۹۷ بدرستی سیلابهای بزرگ کالیفرنیا و فلوریدا را از ۶ ماه قبل پیش بینی نمودند و در نتیجه با وجودیکه بیشترین بارندگی مشاهده ای در این ایالتها در آن سال بوقوع پیوست، تلفات و خسارات این سیلابها بسیار کمتر از سیلابها سالهای قبل گزارش شده است.. به منظور کمی کردن پدیده های ال نینو و لانینا، پارامترهای SOI و MEI تعریف شده اند (شکل ۶). پارامتر SOI نمادی از اختلاف فشار هوا در دو سوی اقیانوس آرام میباشد و پارامتر MEI حاصل از درجه حرارت سطح اقیانوس، فشار هوا و ملفه های سرعت باد می باشند. این پارامترها از سال ۱۸۵۴ تاکنون بصورت ماهانه موجود میباشند و با استفاده از این پارامترها و آمار هیدرولوژیکی برای ۴۵ سال، مدل شبکه عصبی مصنوعی بمنظور انجام پیش بینی های اقلیمی ایجاد گردید {۱۱}.



شکل (۶) سالهای ال نینو (ژانویه ۱۹۹۸)، عادی (ژانویه ۱۹۹۴) و لانینا (ژانویه ۱۹۹۹) در اقیانوس آرام



شکل (۷) پارامتر MEI مورد استفاده در پیش بینی های اقلیمی

#### ◀ مدیریت شرایط اضطراری

با توجه به ریسک بالای روگذری سد در حال احداث، پیش بینی های کوتاه مدت و انجام اقدامات لازم در شرایط اضطراری مانند احداث خاکریز اضطراری، در مراحل اولیه سیلاب می توانست نقش مهمی در افزایش ایمنی سد ایفا نماید.

#### ◀ نظارت پیوسته حوزه

با توجه به مشکلات مربوط به برچیدن جرثقیل ۱۲۰ تن بالای برج آبرگیر بلافاصله بعد از شروع آبرگیری و در سرویس نبودن سرریز، نظارت پیوسته بر حوزه الزامی بود. در این راستا از پیش بینی های کوتاه مدت و میان مدت هواشناسی و بازدید از حوزه استفاده گردید.

#### اعمال روشهای غیرسازه ای در اولین آبرگیری سد کرخه

نتایج اعمال و کارایی روشهای غیرسازه ای در آبرگیری سد کرخه از بهمن ۱۳۷۷ تا فروردین ۱۳۷۹ شرح ذیل میباشد:

#### ◀ اسفند ۱۳۷۷

به منظور حفاظت تونلهای آب بر و نیروگاه در حال احداث کرخه از خطر سیلاب ۵۰ ساله، برنامه ریزی برای احداث خاکریزی در جلوی این تونلها (شکل (۷)) انجام گرفته بود. در همان زمان مدلهای پیش بینی هیدرولوژیکی و اقلیمی، آورد زیر متوسط را برای فروردین پیش بینی نمودند. بازدید از حوزه نیز این مسئله را مورد تایید قرار داد. با توجه به این نتایج وقوع سیلاب ۵۰ ساله در فروردین غیر محتمل پیش بینی گردید و عدم نیاز به خاکریز حفاظتی مطرح گردید. در این راستا پیشنهاد شد که بعلا حجم قابل ملاحظه مخزن تا تراز تونلها، با استفاده از پیش بینی های کوتاه مدت، در صورت وقوع سیلاب در بهار، خاکریز حفاظتی قبل از آنکه سیلاب به تراز تونلهای آب بر نیروگاه برسد، احداث شود. به این ترتیب همپوشانی پیش بینی های دراز مدت

هیدرولوژیکی و اقلیمی، مدیریت شرایط اضطراری و نظارت پیوسته حوزه، آنچنان قابل اتکا بود که احداث خاکریز حفاظتی لغو گردید. این اولین بار در ایران بود که در مهندسی سد روشهای غیرسازه ای بطور کامل جایگزین یک سازه شدند.

#### فروردین ۱۳۷۸

با توجه به خصوصیات فصلی و آورد کم رودخانه کرخه در فروردین، کالورت‌های ۲ و ۳ در ۳۰ فروردینماه مسدود شده و عملیات تبدیل این کالورتها به تخلیه کننده های تحتانی آغاز گردید.

#### تیرماه ۱۳۷۸

با استفاده از پیش بینی هایی که حاکی از ادامه پدیده لائینا در پاییز ۱۳۷۸ بود، کاهش پتانسیل سیلابهای پاییزه مطرح گردید.



شکل (۸) ورودی تونلهای آب بر نیروگاه سد کرخه

#### شهریور ۱۳۷۸

با استفاده از مدل پیش بینی اقلیمی همخوانی بسیار نزدیک پدیده های ال نینو و لائینا با پر آبی و کم آبی کرخه در آبان و آذر مشاهده گردید. در ۴۵ سال اخیر همبستگی آورد رودخانه کرخه در آبان و آذر با ENSO در جدول (۱) ارائه شده است:

پدیده حاکم	تعداد سالها	آورد متوسط رودخانه کرخه در آبان و آذر
ال نینو قوی	۷	در ۷ سال آورد بالای متوسط در آبان یا آذر یا هر دو
لائینای قوی	۶	در ۶ سال آورد زیر متوسط در آبان و آذر
ال نینو ضعیف	۱۰	در ۸ سال آورد بالای متوسط در آبان یا آذر یا هر دو
لائینای ضعیف	۷	در ۵ سال آورد زیر متوسط در آبان و آذر

جدول (۱) همبستگی آورد کرخه در آبان و آذر با پدیده های ال نینو و لائینا در ۴۵ سال گذشته

با توجه به اینکه مدل‌های دینامیکی و آماری ادامه پدیده لائینا را تا اوایل سال ۲۰۰۰ میلادی پیش بینی نموده بودند، آبدهی کرخه در پاییز ۱۳۷۸، زیر متوسط پیش بینی گردید و در نتیجه سیلابهای بزرگ در آبان و آذر ۱۳۷۸ غیر محتمل پیش بینی گردیدند. این پیش بینی کاملاً با واقعیت منطبق بود و با در نظر داشتن خصوصیات فصلی رودخانه کرخه، نتایج مدل پیش بینی اقلیمی و حجم موجود مخزن سد کرخه، دوره ایمن از نقطه نظر سیلاب برای پروژه کرخه از ۶ ماه به ۱۰ ماه افزایش یافت. افزایش دوره ایمن با توجه به در سرویس نبودن سرریز، نقش مهمی در افزایش ایمنی سد ایفا نمود. در این رابطه شایان ذکر است که محاسبات نشان می دهند که ریسک روگذری سد کرخه در سال آخر بیشتر از کل ریسک روگذری در دوره بهره برداری ۱۰۰ ساله می باشد و این مسئله نشان می دهد که با طراحی سرریزها برای PMF، ایمنی همسنگ در دوره احداث و بهره برداری حاصل نمی گردد.

#### ◀ آذر ۱۳۷۸

در آبان و ابتدای آذر ۱۳۷۸، بیشتر مدل‌های دینامیکی پیش بینی ENSO، پایان پدیده لائینا را در زمستان آن سال پیش بینی می کردند. براساس پارامترهای SOI و MEI پیش بینی شده، مدل اقلیمی، آورد متوسط را برای زمستان ۱۳۷۹ پیش بینی نمود. در عمل پدیده لائینا ادامه یافت و در تابستان ۱۳۷۹ به پایان رسید. در نتیجه با توجه به اینکه پارامترهای ناصحیح در مدل بکار گرفته شده بود، نتایج مدل اقلیمی با آورد زیر متوسط منطبق نگردید. ولی دیدگاه جامع حاکم بر مطالعات مانع از آن شد که ضعف یکی از پیش بینی ها بتواند عملکرد کلی سیستم را مخدوش نماید. بعلاوه با توجه به اینکه از یک طرف خطر تخریب سد در سیلاب و از طرف دیگر خطر کم آبی مطرح بود، محافظه کاری پیش بینی فوق در راستای ایمنی در سیلاب منطقی و قابل توجیه بنظر می رسد.

#### ◀ بهمن ۱۳۷۸

معمولاً نتایج مدل‌های هیدرولوژیکی پیش بینی آورد رودخانه های برفی ایران، در اواسط اسفند ماه از دقت قابل قبولی برخوردار می شود. با این وجود بعلت نیاز به پیش بینی آورد کرخه قبل از آنگیری، در ۱۵ بهمن ۱۳۷۸ آبدهی متوسط در سال آبی ۱۳۷۹ - ۱۳۷۸ کاملاً زیر متوسط (۳۰ درصد زیر متوسط) در محدوده ۴۰ درصد زیر متوسط تا متوسط پیش بینی گردید. بطوریکه بدترین سناریو ممکن از نقطه سیلاب و با ملحوظ کردن محافظه کاری بسیار زیاد، آبدهی متوسط بود که با کم آبی مشاهده ای در اواخر زمستان و اوایل بهار منطبق گردید. بر اساس این پیش بینی آنگیری در اواخر بهمن ماه ۱۳۷۸، سد بدون سرریز را با خطر روگذری سیلاب مواجهه نمی نمود. با این وجود توصیه شده بود که بمنظور افزایش دقت و اتکاپذیری مدل پیش بینی، شروع آنگیری در دهه اول اسفند صورت پذیرد. در عمل مدیریت پروژه تصمیم به شروع آنگیری در اواخر بهمن ماه ۱۳۷۸ گرفت. با پایان یافتن اقدامات لازم این مهم در ۲۴ بهمن ماه به انجام رسید. در عمل حجم کل قابل ذخیره در آنگیری اواخر بهمن و اوایل اسفند، چندان متفاوت نبود. در هر صورت اتکا بر روشهای غیر سازه ای در اولین آنگیری، امکان استفاده بهینه از مخزن سد در حال احداث کرخه برای تنظیم آب کرخه در خشکسالی ۷۹-۱۳۷۸ را فراهم نمود در حالیکه با روشهای سازه ای به تنهایی این امر به هیچوجه ممکن نمی گردید.

#### ◀ اسفند ۱۳۷۸

در ۲۵ اسفند ۱۳۷۸ با استفاده از مدل مختلط هیدرولوژیکی - اقلیمی با بیش از ۲۵۰۰ پارامتر، دبی متوسط رودخانه کرخه در سال آبی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ با دقت قابل قبولی (خطای حدود ۲۰ درصد) پیش بینی گردید. این پیش بینی نیز سیمای سال خشک و ایمنی سد در مقابل سیلابهای بهاره که قبلاً در ۱۵ بهمن پیش بینی شده بود را با تاکید بیشتری مورد تایید قرارداد. در جریان انجام پیش بینی های اسفندماه، کاهش دقت پیش بینی ها بعلت نبود ایستگاه برف سنجی و تعداد ایستگاههای بارانسنجی با آمار بلند مدت در حوزه (۳) ایستگاه برای بیش از ۴۰ هزار کیلومتر) مشاهده گردید. با این وجود حتی مدل‌های پیش بینی با دقت مدل‌های استفاده شده در آنگیری سد کرخه میتواند استفاده از درصد مهمی از حجم مخزن سدها را برای مدیریت سیلابها در مخزن و کاهش قابل ملاحظه ابعاد سرریز



(بدون ایجاد خللی در اهداف کشاورزی و برقایی) را امکان پذیر نمایند. امید است در سالهای آینده شاهد کاربرد روزافزون روشهای غیر سازه ای برای افزایش ایمنی و کاهش هزینه ها در پروژه های سدسازی کشورمان باشیم.

### نتیجه گیری

با توجه به مطالعات موردی ارائه شده، گستره وسیعی از گزینه های غیر سازه ای هم اکنون توسط کارفرمایان و بهره برداران از سدها برای کاهش ریسک بکار گرفته میشود. استفاده از تحلیلهای ریسک می تواند کمی کردن منافع این اقدامات را ممکن سازد. در این راستا منافع اقتصادی روشهای غیر سازه ای می تواند مستقیماً با گزینه های سازه ای مقایسه شود. برخی از مطالعات موردی نشانگر کاهش قابل ملاحظه هزینه ها بعلت استفاده از گزینه های غیر سازه ای میباشد. استفاده و موفقیت اقدامات غیر سازه ای بوضوح نشان میدهد که در تحلیلهای ریسک بایستی کلیه اقدامات غیر سازه ای بطور کامل مورد بررسی قرار گیرند. هزینه نسبتاً کم روشهای غیر سازه ای نشان میدهد که حتی اگر گزینه های سازه ای مطرح نباشند، بایستی گزینه های غیر سازه ای بدقت مورد بررسی قرار گیرند.

یک سد حتی اگر به بهترین نحو طراحی، احداث و بهره برداری گردد، باز هم ذخیره آب با ریسک همراه است. استفاده از گستره وسیعی از اقداماتی که موجب کاهش ریسک می شوند، منطقی و منطبق با دور اندیشی میباشد. تحلیل ریسک ابزار مفیدی در این راستا می باشد. تجارب اخیر نشان می دهد که برای کارفرمایانی که با محدودیت منابع مالی مواجه بودند نیز امکان انجام تحلیلهای ریسک با هزینه ای معقول وجود دارد.

قسمت عمده هزینه روشهای غیر سازه ای کاهش ریسک، هزینه پرسنلی است. در این رابطه کارآئی پرسنل بستگی زیاد به آموزشهایی که دریافت کرده اند، دارد. تجارب موجود نشان می دهد که آموزشهای لازم با هزینه های کم ممکن گردیده است. مطالعات موردی نشان می دهد که بسیاری از کارفرمایان ارزش فوق العاده ای برای آموزش پرسنل قائل هستند. استفاده از شبیه سازها در آموزش پرسنل سدها در ژاپن نشان دهنده سرمایه گذاری کلان در این زمینه میباشد. نظارت پیوسته سد از اقدامات موثر شناسایی مشکلات در مراحل اولیه می باشد. منافع شناسایی زود هنگام مشکلات واضح است. برای مثال اگر احتمال تخریب سد پیش بینی شود، می توان از آن جلوگیری کرد و یا اقدام به تخلیه مردم نمود. نظارت پیوسته بوسیله بازدید مستقیم مهندسين با تجربه یکی از روشهای بسیار کم هزینه کاهش ریسک میباشد.

هشدار موثر جمعیت پایین دست در زمانی که تخریب سد غیر قابل اجتناب بنظر برسد، یک عامل عمده در حداقل کردن تلفات انسانی تخریب سد میباشد. برنامه ریزی شرایط اضطراری و برنامه ریزی سیستم های هشدار بنحوی که موجب افزایش زمان پیش هشدار شود می تواند هشدار موثر جمعیت پایین دست را ممکن سازد. این اقدامات با هزینه ای منطقی قابل انجام میباشند بخصوص زمانی که با روشهای دیگر شرایط اضطراری ادغام شوند. بایستی این نکته را هم در نظر داشت که برنامه ریزی شرایط اضطراری نه تنها در صورت تخریب سد و بلکه در صورت وقوع سیلابهای بزرگ منافع قابل ملاحظه ای در برخواهد داشت. با افزایش جمعیت در پایین دست سدها، اهمیت کاهش خطرپذیری مقرون به صرفه نیز افزایش می یابد. بسیار مهم است که تلفیقی از روشهای سازه ای و غیر سازه ای در نظر گرفته شوند تا بتوان مدیریت ریسک را بنحو اقتصادی به انجام رسانید.

### سپاسگزاری

از همکاری صمیمانه جناب آقای مهندس تابش مجری طرح عظیم کرخه، جناب آقای مهندس دادگسترینیا مدیر بخش عمران و کلیه همکاران طرح کرخه در انجام مطالعات اولین آبگیری سد کرخه قدردانی می گردد.



## مراجع و مآخذ

- 1- Amdal, (1997), "The Norwegian approach to and guidelines for risk assesment for dams", SNCOLD, ICOLD European Club Symposium, Barcelona.
- 2- Bowles, D. S., L. R. Anderson, T. F. Glover, and S. S. Chauhan, (1999) "Underestanding and Managing Risks of Aging Dams: Principles and Case Studies," Ninteenth Annual USCOLD Lecture Series, Dealing With Aging Dams.
- 3- Corso, R. A., (1997) "Testing Emergency Action Plans for Large Dams," Transactions, Nineteenth Congress on large Dams, International Commission on Large Dams.
- 4- Emami,K. (1998) " Holistic design of adaptive hydraulic structures " , Ph.D. Dissertation, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
- 5- Emami,K.(1998) " Fuseshell : An innovation in dam safety " , proceeding of the international symposium on new trends and Guidelines on Dam safety, Barcelona, Spain, 17-19 June 1998, P 1437-1443.
- 6- ICOLD (1998), "Dam-Break Flood Analysis", Bulletin Number 111, International Commission on Large Dams.
- 7- ICOLD (2000), "Nonstructural risk reduction measures; Benefits and costs for Dams", Draft, ICOLD.
- 8- Johansen, P. M., S. G. Vick, C. Rikardsen, (1997),"Risk analysis of three Norwegian rockfill dams, International Center for Hydropower, Hydropower 97. Trondheim.
- 9- Martinsen, J. G. (1995), "Dam failure warning systems", Hydropower and Dams, May, Volume 2, Issue Three, p 38.
- 10- Nebdal S.V., K. Molkersrod, and E. Toebelaa, (1996), "Emergency Action Planning for Major Accidents within River Basins in Norway", ICOLD 19th Congress, Florence, Q 75, R 21.
- 11- Obasi, G.O.P., (1997). "Climate change and freshwater management" Hyropower and Dams, Issue four, P33-38.
- 12- Polglase, L., (2000) "Meadowbank dam early evacuation plan – Interim non-structural solution to low spill capacity", Proc. 20<sup>th</sup> ICOLD congress, Vol.1 , Q76, P303-312.