Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۵
Volume 2, No. 2, Fall 2006 (IR-WRR)
۱۵-۳۰

تحلیل اقتصادی انتخاب طرح‌های کنترل سیلاب در زمان ساخت سدهای انحرافی: مطالعه موردی

محمد کارآموز[۱]، امیر پورتویسرکانی[۲]، آزاده احمدی[۳]

چکیده

سیلاب‌ها هرساله خسارات قابل توجهی را به تاسیسات و اراضی واقع در سیلابدشت‌ها وارد می‌نمایند. بخش قابل توجهی از این خسارات به کارگاه‌های ساخت تاسیسات بر روی رودخانه‌ها، از جمله کارگاه‌های ساخت سدها و بندهای انحرافی، وارد می‌گردد. در تدوین برنامه‌های کنترل سیلاب بایستی روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای مورد ملاحظه و توجه قرار گیرد. هرچند که تجربه نشان داده که روش‌های غیرسازه‌ای علاوه بر هزینه‌های کمتر، با اثرپذیری بیشتری نیز توام می‌باشد.

در این مقاله سعی شده تا ضمن بررسی روش‌های مدیریتی مهار سیلاب، الگوریتمی برای یافتن بهترین راه‌کار مدیریتی تدوین گردد. در گزینش این روش‌ها ضمن توجه به محدودیت‌های اطلاعاتی و جزئیات تحلیلی مدل‌ها، تحلیل‌های اقتصادی، برای انتخاب بهترین راه کار مدیریتی مهار سیلاب در نظر گرفته شده‌اند. مطالعه موردی این مقاله بر روی سد انحرافی شیرگواز در استان سیستان و بلوچستان که در ۴۴ کیلومتری پایین دست سد خاکی پیشین واقع گردیده، انجام شده است. بررسی‌های انجام شده نشانگر تأثیر قابل توجه روش‌های مدیریتی مهار سیلاب درکاهش خسارات سیل می‌باشد که این روش‌ها می‌توانند پس از اتمام عملیات کارگاهی نیز مورد استفاده قرار گیرند. همچنین ایجاد سیستم هشدار سیل به همراه مدیریت مناسب در بهره‌برداری از سد پیشین در کاهش خسارت سیل به سد انحرافی شیرگواز موثر بوده است. در انتهای مقاله یک سیستم هشدار سیل مقدماتی توام با بهره‌برداری از مخزن با توجه به اطلاعات مشاهده شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری بالادست ارائه شده است.

کلمات کلیدی: کنترل سیلاب، سیستم هشدار سیل، تحلیل اقتصادی، مدیریت سیلاب

۱- استاد دانشکده عمران، دانشگاه تهران
۲- کارشناس ارشد مهندسی سازه های هیدرولیکی، شرکت PIDEC، شیراز
۳- دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه تهران

Economic Analysis and Comparison of Flood Control Projects During the Construction of Diversion Dams: A Case Study

M. Karamouz[1], A. Poortoiserkani[2], A. Ahmadi[3]

Abstract

Floods have caused extensive damages in the floodplain every year. An important issue in regions with construction sites of diversion dams is how to protect the project during the construction. In implementating flood management schemes, both non-structural and structural flood control options should be considered. The experiences show that nonstructural options are more effective than structural methods in reducing the damages of flood at a lower cost. In this paper, an algorithm is developed to define the best management scheme for flood protection. An economic analysis is undertaken which combines the analysis of probable floods and expected damages for different flood control options as well as a flood warning system. The case study is Shirgovaz diversion dam which is located 44 kilometers downstream of the Pishin Dam in South Baloochestan in southeast of Iran. The results show that considering a flood warning system for the Pishin Dam is an effective method to reduce the flood damages. This system could provide early warning to the Pishin Dam and the rest of the area. A simple flood warning system has been designed and could utilize the information obtained from upstream synoptic and hydrometric stations. This study shows the significant value of planning flood control schemes for flood damage reduction.

Keywords: Flood Control, Flood Warning System, Economic Analysis, Flood Management

1- Professor, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran- Karamouz@ut.ac.ir
2- M. Sc. in Hydraulic Structure, PIDEC Company, Shiraz, Iran- Poortouiserkani.amir@pidec.com
3- Ph.D. Candidate, School of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran- AzadehAhmadi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

معمولاً سیستم‌های انحراف سیل کارگاهی قدرت تحمل عبور سیلابهای بیش از ظرفیت طراحی خود (معمولاً با دوره بازگشت کمتر از ۲۵ سال) را ندارند. سوال قابل توجه این است که با توجه به طراحی این سیستم‌ها برای سیلاب‌های مشخص آیا در اثر وقوع سیلی با دوره بازگشت بیش ازظرفیت طراحی نمی‌توان از ایجاد خسارت جلوگیری بعمل آورد و یا آن را کاهش داد؟

در این مقاله ضمن بررسی روش‌های مدیریتی مهار سیلاب، چارچوب مدل‌سازی ریاضی عملکرد حوزه‌های آبریز در زمان وقوع سیل مورد بررسی قرار گرفته است. ضمن بررسی روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها و سیلابدشت‌ها، نتایج تحلیل‌های آماری برای بررسی احتمال وقوع سیلاب‌های با احجام مختلف تشریح شده است. تلفیق این تحلیل‌ها و نتایج مدل‌های ریاضی، امکان انجام تحلیل‌های اقتصادی برای یافتن بهترین راه کار مدیریتی مهار سیلاب را فراهم می‌کند. بررسی خسارات سیلاب در هر کارگاه به ازاء سیلاب‌های مختلف، امکان محاسبه احتمال وقوع خسارت‌ها را فراهم می‌کند. انجام تحلیل‌های اقتصادی با توجه به این احتمالات وقوع و نیز با عنایت به دوره ساخت سدها یا بندهای انحرافی می‌تواند معیار انتخاب بهترین روش مهار سیلاب بوده و تأثیر این روش‌ها را در کاهش خسارات مشخص نماید. مطالعه موردی این مقاله، بند انحرافی شیرگواز در استان سیستان و بلوچستان و در پایین دست سد خاکی پیشین می‌باشد.

۲- بررسی سوابق

در ارتباط با بررسی روش‌های مختلف مهار سیلاب و تاثیر هر یک در کاهش خسارات، اغلب پژوهشگران یک روند کلی ارائه نداده، بلکه آن را وابسته به شرایط ویژه و خصوصیات فیزیکی هر حوزه دانسته‌اند. درمورد ترکیب مناسب این روشها نیز تاکید غالب آنها بر استفاده از چند روش و مدیریت مناسب فعالیت‌ها می‌باشد.

James & Lee (1971) به استفاده از ضوابط و معیارهای علم اقتصاد درانتخاب بهترین گروه از فنون مختلف طراحی مهندسی، اهمیت دادن به خطاهای مهم درمطالعات امکان سنجی معتقد می‌باشند.

Loucks (1981) با روندیابی سیل، تاثیر مخازن را درمهار سیلاب و تابع خسارت، همچنین ترکیب چند مخزن درحوزه را جهت کاهش خسارات سیل از لحاظ اقتصادی مطالعه نموده است. معمولترین چارچوب اقتصادی موجود، حداقل نمودن خسارت سالانه مورد انتظار و هزینه‌های مدیریت سیلاب شامل گزینه‌های کنترل سیل سازه‌ای و غیر سازه‌ای می‌باشد.

WRC (1983), Goodman (1984) از طریق حداقل نمودن خسارت سالانه مورد انتظار و هزینه‌های مدیریت سیلاب، مسئله را مورد بررسی قرار داده‌اند. USACE (1996) مقاله‌ای فنی در زمینه مهندسی و طراحی برنامه‌های آماده سازی سیستم هشدار سیلاب و نیز آنالیز هزینه از یک سیستم هشدار سیلاب ارائه داد. وزارت نیرو در بولتن دستورالعمل بررسی‌های اقتصادی منابع آب درمرحله شناسایی، علاوه بر استفاده از روش‌های مختلف ارزیابی اقتصادی جهت انتخاب اقتصادی‌ترین طرح، تجزیه و تحلیل افزایشی را در جهت اطمینان در تصمیم‌گیری و تحلیل حساسیت گزینه‌های قابل بررسی را مورد تاکید قرار می‌دهد. به عبارت دیگر طرح‌هایی که از حساسیت کمتری برخوردارند، اطمینان بالاتری درتصمیم گیری ایجاد می‌نمایند (وزارت نیرو ، ۱۳۷۲). USACE (1997) ساختاری برای محاسبه و برآورد عدم قطعیت و ریسک در مطالعات کاهش خسارت سیلاب ارائه نموده است. در این تحقیق سود مورد انتظار طرح‌های کاهش خسارت سیلاب با استفاده از تحلیل ریسک و عدم قطعیت برآورد می‌گردد. غواصیه (۱۳۷۶) مروری بر روشهای مدیریت سیلاب انجام داده است و در نهایت با بررسی روشهای گوناگون مدیریت سیلاب و تأثیر هر یک در کاهش خسارت، روشی خاص در مدیریت سیلاب با توجه به تحلیل اقتصادی و با در نظر گرفتن ملاحظات منطقه‌ای و محدودیت زمانی تدوین نموده است. در این روش خسارت به نحوی مؤثر کاهش داده می‌شود تا معیارهای مدیریتی تأمین گردد. کارآموز و حیدری (۱۳۷۷) با تدوین سیستم کامپیوتری هشدار سیل رودخانه کارون به بررسی تأثیر این روش پرداخته‌اند. از دیگر دیدگاههای مشابه، برنامه ریزی سیلابدشت بصورت دینامیک (پویا) در دراز مدت می‌باشد. Olsen et al.(2000) از یک برنامه‌ریزی دراز مدت دینامیک (پویا) برای مدیریت سیلابدشت استفاده نمود. Lund (2002) ترکیب بهینه‌ای از گزینه‌های کنترل سیلابدشت را در یک ساختار احتمالاتی مورد ارزیابی قرار داده است. در این تحقیق وی یک برنامه‌ریزی خطی دو مرحله‌ای به منظور یافتن حداقل هزینه امید ریاضی متناظر با یک توزیع فراوانی جریان یا تراز سیلاب معین توسعه داده است.

Singh & Zhang (2005) تحقیقی در زمینه تحلیل فراوانی خسارت سیل انجام داده‌اند. آنها بیان داشتند که تعیین فراوانی‌های خسارت سیلاب، یکی از اجزا اصلی در هر متدولوژی ریسک–سیلاب می‌باشد. یک سری زمانی از خسارات سیلاب می‌تواند دارای مقادیر صفر هم باشد. بنابراین توزیع احتمال خسارت با در نظر گرفتن این مقادیر صفر باید تعیین شود. این توزیع با استفاده از تئوری احتمال

www.SID.ir

Archive of SID

کل (در کنار توزیع‌های گاما، لوگ–نرمال و ویبول)، آمار مرتبه‌ای، مدل پخش‌شدگی سینماتیک و تبدیل Box-Cox به دست آمده است.

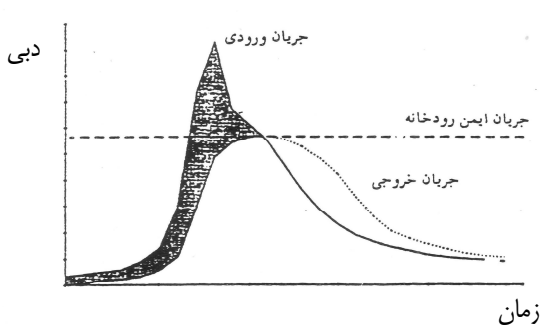
۳- روش‌های کنترل سیلاب

روش‌های کنترل سیلاب به دو دسته سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم می‌شوند. روش‌های سازه‌ای کنترل سیلاب عمدتاً شامل اجرای سدهای مخزنی و تاخیری، احداث کانال‌های فرعی و انحرافی، ساماندهی رودخانه و بهسازی و اصلاح آن، انحراف آب برای تغذیه مصنوعی، ایمنی تاسیسات در مقابل سیلاب‌ها، مهار آب با اقدامات آبخیزداری و احیاء مراتع می‌باشد. عمده‌ی روش‌های غیرسازه‌ای، کنترل و کاهش خسارت سیلاب شامل مدیریت بهره‌برداری از سد، مدیریت سیلاب‌دشت، ایجاد سیستم هشدار سیل، بیمه سیل و تدوین آئین‌نامه‌های اجرائی حفاظت در برابر سیل می‌باشد. در این مقاله سعی گردیده از روش‌های مدیریتی استفاده شود، لذا بحث‌ها بر دو روش مدیریتی بهره‌برداری از سد و تدوین سیستم هشدار سیل متمرکز می‌گردد.

۳-۱- نقش سدهای مخزنی و تاخیری درکاهش خسارات سازه‌های درحال اجرا در پائین دست

مخزن سد به طور مستقیم، خسارات را در پائین دست با کاهش دبی اوج سیل تخفیف و رواناب را با ایمنی بالاتری عبور می‌دهد. با مدیریت مناسب سدهای مخزنی، خروجی سد درهنگام وقوع سیل نباید از ظرفیت ایمن رودخانه و یا حتی الامکان ظرفیت سیستم انحراف سیل سازه‌های در دست اجرا در پائین دست (با توجه به دوره بازگشت سیلاب طراحی آنها) تجاوز نماید. شکل ۱ تاثیر مخزن در مهار سیلاب را با کاهش دبی اوج سیلاب نشان می‌دهد.

با توجه به مطالعات انجام گرفته دراین زمینه، مخازن موجود به تنهایی نتوانسته‌اند، خسارات سیل را تقلیل دهند. سیستم سرریز این مخازن غالباً قادر به حفاظت از سد می‌باشد ولی به طور مطمئن قادر به حفاظت از سیستم رودخانه در پائین‌دست نمی‌باشند. در طراحی سدها غالباً به ظرفیت سالم رودخانه پائین دست توجه نمی‌شود و ظرفیت تخلیه از سد در برخی مواقع چندین برابر و بعضاً چند صد برابر ظرفیت سالم رودخانه است. با آگاهی صحیح و به موقع از شرایط هواشناسی و مدیریت صحیح و هوشمند سد، می‌توان چند ساعت یا چند روز قبل از وقوع سیل، مدیریت سد را با خبر نمود و با تخلیه به هنگام بخشی از حجم، مخزن را برای کاهش اثرات سیل آماده کرد.



شکل ۱- تاثیر مخزن در مهار سیلاب (MAYS,1996)

۳-۲- نقش سیستم‌های هشدار سیل

اقدامات سریع و فوری قبل از وقوع سیل، شامل تخلیه ساکنین و اموال با ارزش از منطقه، حفاظت ساختمان‌ها با کیسه‌های شن، خاک‌ریزی موضعی، تلاش برای برقراری امنیت و آرامش، تمیز کردن و بازنگه داشتن خیابان‌ها، تهیه غذا و ذخیره کافی، آب و پوشاک مناسب، درخواست کمک‌های به موقع همگی از مزایای برقراری یک سیستم دقیق و هشدار سیل در زمان واقعی[1] است. امروزه پیش‌بینی به عنوان ابزار مهمی برای مهار سیلاب مطرح بوده و به عنوان یکی از روش‌های شاخص مدیریت، راه‌گشای مشکلات سیلاب و یا کاهش خسارات تا حد ممکن می‌تواند باشد. سیستم هشدار سیل درحالت ساده، تنها با استفاده از یک خط ارتباطی مطمئن می‌تواند اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری را به واحد مدیریت سیل منتقل نماید.

سیستم‌های هشدار سیلاب به عنوان یکی از روش‌های شاخص مدیریت سیلاب با استفاده از ابزار پیش‌بینی، زمان واقعی سیل[2] نقش چشم‌گیری درکاهش خسارات سیل دارند. فناوری جمع‌آوری، انتقال و پردازش داده‌های هیدرولوژیکی و پیش‌بینی در زمان واقعی از طریق مدل‌سازی به صورت قابل توجهی پیشرفت نموده و امکان بیشتری را برای استفاده از سیستم‌های پیشرفته هشدار و پیش‌بینی سیل مطرح می‌سازد. (کارآموز و حیدری، ۱۳۷۷).

٤- دستورالعمل مهار سیلاب در زمان ساخت سدها

الگوریتم پیشنهادی برای مهار سیلاب در زمان ساخت سدها در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که انجام مطالعات پایه و تحلیل سیلاب و خسارت آن از اهمیت خاصی برای تهیه رابطه دبی– احتمال وقوع برخوردار می‌باشد. رابطه دبی – احتمال وقوع تابعی از خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی حوزه آبریز و مشخصات سیلاب‌ها (تداوم و پیک) می‌باشد. رابطه دبی– خسارت براساس آمار مربوط به خسارت سیلاب‌های بوقوع

www.SID.ir

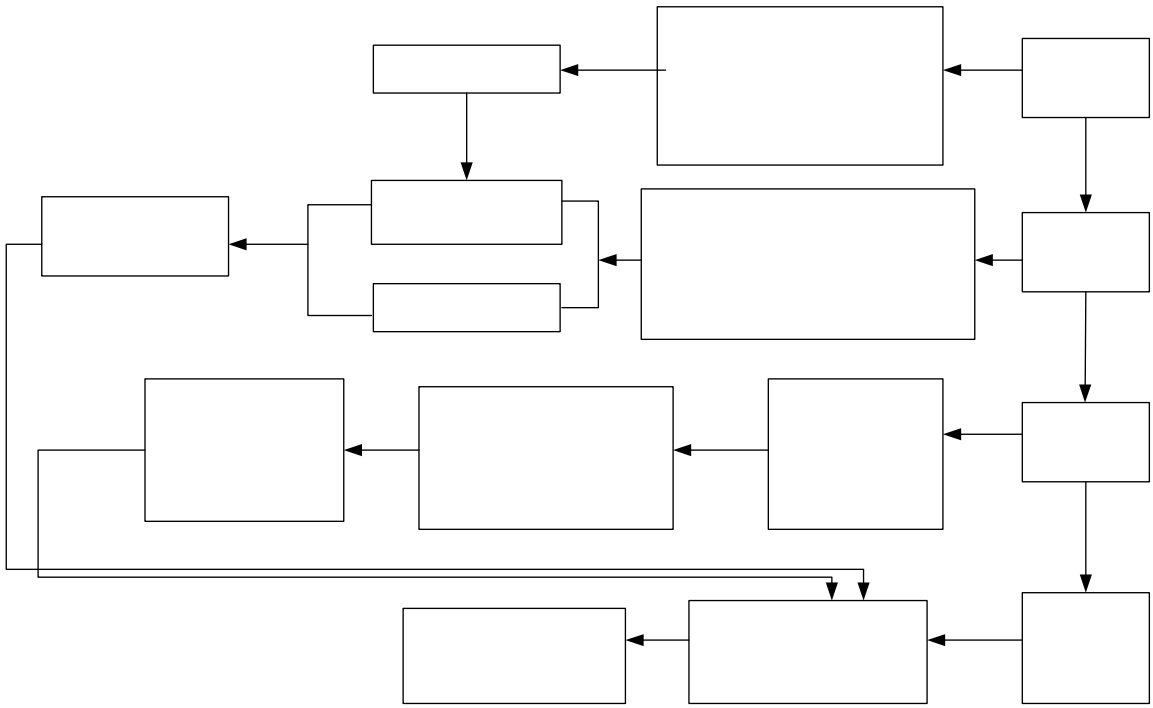
Archive of SID

پیوسته در زمان ساخت سدها حاصل می‌گردد. اساس تحلیل اقتصادی طرح‌های کنترل سیلاب در زمان ساخت، منحنی خسارت- احتمال وقوع خواهد بود.

سطح زیر منحنی خسارت- احتمال وقوع با و بدون اجرای طرح کنترل مبنای انجام تحلیل اقتصادی خواهد بود. شاخص هزینه در تحلیل اقتصادی، هزینه‌های مربوط به طرح‌های کنترل سیلاب در زمان ساخت می‌باشد. در طرح‌های کنترل سیلاب، سود حاصل از اجرای طرح در واقع کاهش خسارات ناشی از سیل می‌باشد. در هر طرح نسبت سود به هزینه (B/C) باید بزرگتر از یک باشد؛ تا چنین طرحی از نظر اقتصادی جذاب باشد. آنالیز سود به هزینه علاوه بر سایر اهداف، هدف حداکثر نمودن بازگشت سرمایه‌گذاری را نیز درنظر می‌گیرد. زمان ساخت، هزینه‌های اجرایی، درجه اهمیت سازه درحال ساخت و مهارت دراجرای سیستم انحراف سیل کارگاهی از عوامل تعیین کننده در اتخاذ روش مدیریتی سیلاب خواهند بود. جهت انتخاب طرح بهینه کنترل سیلاب در زمان ساخت سد، لازم است گزینه‌های ترکیبی مورد تجزیه و تحلیل افزایشی قرار گرفته و جهت بالا بردن میزان اطمینان در تصمیم‌گیری، تحلیل حساسیت نیز صورت گیرد.

۵- مطالعه موردی

سد انحرافی شیرگواز پائین دست سد پیشین به عنوان مطالعه موردی درنظر گرفته شده است. بند انحرافی شیرگواز به منظور بالاآوردن سطح آب رها شده از سد پیشین و انحراف و انتقال جریان آب به کانال آبرسانی شبکه آبیاری باهو کلات در ۴۴ کیلومتری پایین‌دست سد پیشین، قرار دارد. محل انتخاب شده برای بند انحرافی مناسبترین نقطه در رودخانه باهو کلات پس از سد پیشین است که آب بطور ثقلی بر شبکه آبیاری جریان می‌یابد. کارگاه بند شیرگواز از سال ۱۳۷۳ تجهیز شد و وقوع چندین سیل بخصوص سیل‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۷۶ خسارت قابل توجهی به آن وارد نمود. پس از احداث بند شیرگواز، مجموع سرریز اوجی، دریچه‌های تخلیه رسوب و تراس ساحل راست دبی حدود ۵۰۰۰ مترمکعب در ثانیه در تراز ۸۷/۲ متر از سطح دریا عبور می‌دهد که شامل ۳۰۰ مترمکعب در ثانیه از دریچه‌های تخلیه رسوب (با احتساب استغراق دریچه‌ها توسط پایاب)، ۱۵۵۰ مترمکعب در ثانیه از روی خاکریز ساحل راست، حدود ۱۰۰۰ مترمکعب در ثانیه از سرریز طبیعی است. در نتیجه سرریز اضطراری شامل سرریز طبیعی و سرریزی از ساحل راست، در مجموع سیلابی در حدود ۲۵۵۰ مترمکعب در ثانیه را عبور می‌دهد. همچنین ۲۱۸۰ مترمکعب در ثانیه نیز تخلیه از سرریز اوجی با احتساب پر شدن رسوب در بند انحرافی (حداقل تخلیه) در نظر گرفته شده است.



شکل ۲- الگوریتم پیشنهادی برای طرح مهار سیلاب در زمان ساخت سدها

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۱- بررسی سیلاب‌های رودخانه باهو کلات و سرباز

بررسی سیلاب‌های رودخانه باهوکلات مبنای اولیه را به منظور انجام مطالعات موردنظر فراهم خواهد نمود. طغیان‌های لحظه‌ای در محدوده حوزه آبریز پیشین و باهو کلات که منجر به سیل در این منطقه می‌گردد، غالباً در فصل زمستان و تابستان که متأثر از اوج جریانات فصلی اقیانوس هند (مانسون) می‌باشد، رخ می‌دهد. نزولات جوی منطقه کلاً به صورت باران بوده است که حدود ۸۰ درصد از آن در ماه‌های بین آذر تا فروردین و بقیه در ماه‌های خرداد تا شهریور نازل می‌شود. ۹۵٪ جریانات سالانه در عرض ۲۰ روز از سال تولید می‌شود. طبیعت سیلاب‌های منطقه بصورت ناگهانی[۳] می‌باشد. بنابراین قسمت عمده‌ای از جریان‌های رودخانه باهو سیلابی می‌باشد. با توجه به اهمیت و بررسی توانایی سد پیشین در استهلاک سیلاب‌ها، بررسی جامعی روی سیلاب‌های ثبت شده در حوزه انجام شده و بزرگترین سیل‌های ورودی از نظر پیک و حجم انتخاب شده‌اند. در جدول ۱ حجم و پیک سیلاب‌های مذکور در مقایسه با هم نشان داده شده‌اند.

خلاءهای آماری با استفاده از همبستگی بین اطلاعات دو ایستگاه هیدرومتری با نام‌های پیشین و باهوکلات موجود در حد امکان تکمیل گردیدند. پس از تکمیل اطلاعات دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه پیشین، سری زمانی به دست آمده به منظور تعیین دبی با دوره بازگشت‌های متفاوت ورودی به سد پیشین با توزیع‌های آماری مختلف، تحلیل و نتایج آن در جدول ۲ آمده است. بهترین توزیع با توجه به آزمون‌های آماری کلوموگراف اسمیرنوف، کای اسکور و حداقل مربعات، توزیع پیرسون نوع سوم بوده است.

جدول ۱- مقایسه بین حجم و پیک بزرگترین سیلاب‌های ورودی به سد پیشین

تاریخ سیل	حجم سیلاب *(MCM)*	پیک سیلاب *(CMS)*	دوره بازگشت سیل (سال)	زمان تداوم (روز)
مرداد ۱۳۵۴	۱۴۷	۱۹۰۵	۳	۴
فروردین ۱۳۶۱	۳۷۲	۳۶۸۰	۱۰	۳/۵
بهمن ۱۳۶۸	۱۸۱	۴۶۸۰	۱۵	۳
اسفند ۱۳۷۶	۳۴۰	۵۸۳۰	۲۰	۳

جدول ۲- دبی با دوره بازگشت‌های مختلف سد پیشین با توجه به توزیع‌های مختلف (m^3/s)

توزیع	۲	۵	۱۰	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۱۰۰۰	*LS*[3]	X^2	*KO- SM*[1]
نرمال	۱۸۰۹	۳۱۸۴	۳۹۰۳	۴۴۹۷	۴۶۷۰	۵۶۲	۵۶۱۱	۶۸۶۰	۶۵۷/۹	۵/۰	۰/۲۹
لوگ نرمال ۲	۱۲۱۲	۲۷۱۹	۴۱۴۷	۵۸۷۶	۶۵۰۴	۸۶۹۹	۱۱۳۰۰	۲۳۵۸۱	۳۳۳/۱	۳/۲۹۴	۰/۰۹۴
لوگ نرمال ۳	۱۱۳	۲۷۶۰	۴۴۸۳	۶۷۶۲۶/۶	۷۵۷۶	۱۰۶۶۱	۱۴۵۱۳	۳۴۵۷۷	۳۲۸/۳	۳/۲۹۴	۰/۱۰۶
پیرسون ۳	۱۳۳۵	۲۸۰۹	۳۹۱۵	۵۰۲۹	۵۳۹۰	۶۵۲۲	۷۶۶۸	۱۱۵۹۲	۴۳۴/۳	۱/۵۲۹	۰/۰۷۱
لوگ پیرسون ۳	۱۲۲۹	۲۷۲۹	۴۱۰۹	۵۷۳۹	۶۳۲۲	۸۳۲۵	۱۰۶۴۱	۲۰۹۵۰	۳۵۲/۵	۳/۲۹۴	۰/۰۹۴

۱: آزمون کا- اس *(Kolmogrov- Smirnov)*

۲: آزمون مربع کای *(Chi Square)*،

۳: آزمون حداقل مربعات *(Least Square)*

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۲- تحلیل خسارت سیل وارده به کارگاه سد انحرافی شیرگواز

تحلیل خسارت سیل از ارکان مهم انجام تحلیل‌های اقتصادی طرح‌های کنترل سیلاب می‌باشد. به منظور تعیین سود حاصل از اجرای طرح های مختلف، لازم است تاثیر طرح‌های گوناگون را در کاهش خسارت و یا به عبارت دیگر پائین‌افتادگی منحنی خسارت– احتمال وقوع بررسی نموده و سطح بین دو منحنی خسارت – احتمال وقوع درحالت بدون اجرای طرح و با اجرای طرح کنترل سیلاب را محاسبه نمود. در این بخش بازه‌ای که از آن بعنوان بازه خسارت نام برده می‌شود، محدوده ۵ کیلومتری سد انحرافی شیرگواز در زمان ساخت می‌باشد. کلیه خسارات وارده در این بازه که در ارتباط با پروژه سد انحرافی شیرگواز می‌باشند، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. عمده خسارات وارده شامل موارد زیر می‌باشند.

- خسارت وارده به دایک های ساحل چپ و راست
- خسارت وارده به سیستم انحراف سیل کارگاهی (کافردم و کانال انحراف)
- خسارت وارده به جاده های دسترسی به سد و کانال انتقال آب
- خسارت وارده به ساختمان سد انحرافی و تاسیسات وابسته جنبی مانند کانال انتقال آب و دریچه‌های رسوب‌گیر
- خسارت وارده به تجهیزات کارگاهی

علل اصلی ایجاد خسارت سیل شامل عدم کفایت کارآیی کافردم و کانال انحراف و عدم وجود یک سیستم هشدار سیل مناسب در منطقه به منظور ایجاد فرصت کافی جهت تخلیه کارگاه از تجهیزات می‌باشد.

به منظور برآورد خسارت سیل، بر اساس آمار مربوط به خسارت سیلاب‌های گذشته و تحلیل‌های آماری سیلاب، منحنی‌های دبی – احتمال وقوع، دبی – خسارت و خسارت – احتمال وقوع حاصل می‌شوند. سپس خسارت مورد انتظار سالیانه[۴] (EAD) که یک شاخص مهم جهت انجام تحلیل اقتصادی طرحهای کنترل سیلاب می‌باشد، محاسبه می‌شود. مقایسه این شاخص درحالت بدون وجود طرح و پس از اجرای طرح، معیاری برای اجرا و میزان سرمایه گذاری لازم در آن طرح خواهد بود. متداول‌ترین روش محاسبه خسارات مورد انتظار سالیانه، استفاده از روش فرکانس است. سطح زیر منحنی خسارت– احتمال وقوع، خسارت مورد انتظار سالیانه می‌باشد. خسارت مورد انتظار سالیانه برمبنای متدولوژی ذکر شده، در محل کارگاه سد انحرافی شیرگواز، ۶۸۹/۴۱۵ میلیون ریال براساس قیمت‌های سال ۱۳۷۶ محاسبه شده است.

۵-۳-تحلیل اقتصادی روش‌های مدیریت سیلاب

تحلیل اقتصادی با روش‌های مختلف وجود سد پیشین، وجود سیستم هشدار سیل و ترکیب هر دو گزینه انجام می‌شود.

۵-۳-۱-نقش سد مخزنی پیشین درکاهش خسارات وارده به کارگاه سد انحرافی شیرگواز

جهت انجام تحلیل اقتصادی نسبت سود به هزینه یکنواخت سالیانه محاسبه شده است. جهت محاسبه هزینه‌ها ابتدا با روش ارزش فعلی[۵]، هزینه‌های مختلف در دوره ساخت سدپیشین به شروع سال ساخت سد تبدیل شده و براساس رابطه ارزش آینده[۶]، هزینه‌ها در ابتدای سال بهره برداری محاسبه شده است. در نهایت براساس روابط یکنواخت سالیانه[۷]، هزینه سالیانه بهره برداری محاسبه گردیده و از روش سود به هزینه جهت تحلیل نهایی استفاده شده است.

جهت محاسبه سود نیز بر اساس تبدیل آمار خسارت به ابتدای سال ۱۳۷۷ کاهش خسارت از منحنی خسارت– احتمال وقوع (شکل ۴) استفاده شده و نهایتاً سود در ابتدای سال ۱۳۷۷ محاسبه شده است. رابطه خسارت– احتمال وقوع براساس تلفیق رابطهٔ دبی– خسارت (شکل ۵) و دبی– احتمال وقوع (شکل ۶) حاصل شده است.

روندیابی سیل در مخزن سد پیشین با استفاده از روش روندیابی ذخیره و روندیابی در رودخانه با هوکلات درحد فاصل سد پیشین تا سد انحرافی شیرگواز با استفاده از روش موج سینماتیک انجام شده است. با توجه به تاثیر مخزن پیشین (پتانسیل کلی مخزن) درکاهش خسارت که درشکل۶ آورده شده است و همچنین براساس هزینه‌های نگهداری و بهره برداری ازمخزن شاخص سود به هزینه ۱/۳۲ بدست آمده است. این نتیجه نشان می‌دهد که طرح اقتصادی است و توجیه لازم برای هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری را نیز دارد.

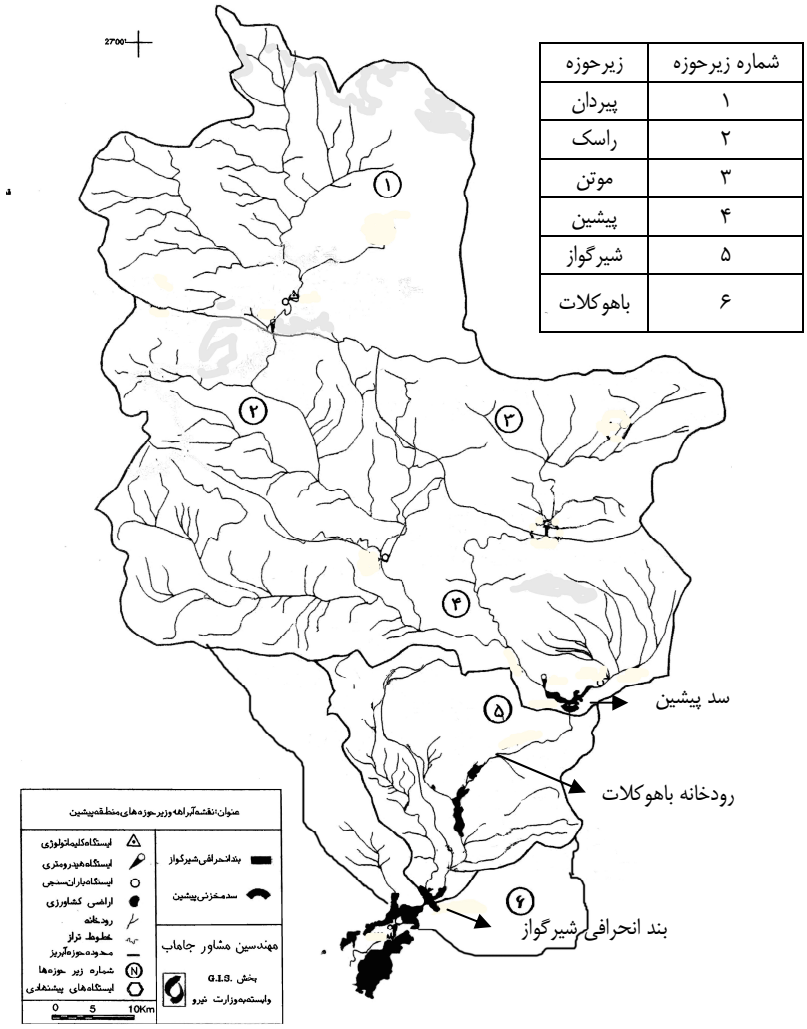
۵-۳-۲- سیستم هشدار سیل

جهت محاسبه هزینه‌ها، ابتدا هزینه‌ها به ابتدای سال ۱۳۷۳ تبدیل شده (ارزش فعلی) و براساس روش یکنواخت سالیانه، هزینه سالیانه ایجاد سیستم هشدار سیل دربرگیرنده دوره ساخت، محاسبه شده است. سود در نظر گرفته شده نیز کاهش خسارت درابتدای سال ۱۳۷۷ می‌باشد. براساس منحنی‌های تحلیل خسارت (شکل ۷) شاخص سود به هزینه ۰/۳۸ می‌باشد دراین گزینه گرچه معیار سود به هزینه غیر اقتصادی بودن ایجاد سیستم هشدار سیل به منظور کاهش خسارات درمحل کارگاه سد انحرافی شیر گواز را نشان می‌دهد، اما به دلیل امکان ایجاد یک سیستم پایش و ایجاد امنیت جهت تشویق سرمایه‌گذاری در بخش‌های مختلف توسعه اقتصادی و کاهش سایر خسارات وارده به تاسیسات و اراضی دشت سیلابی در

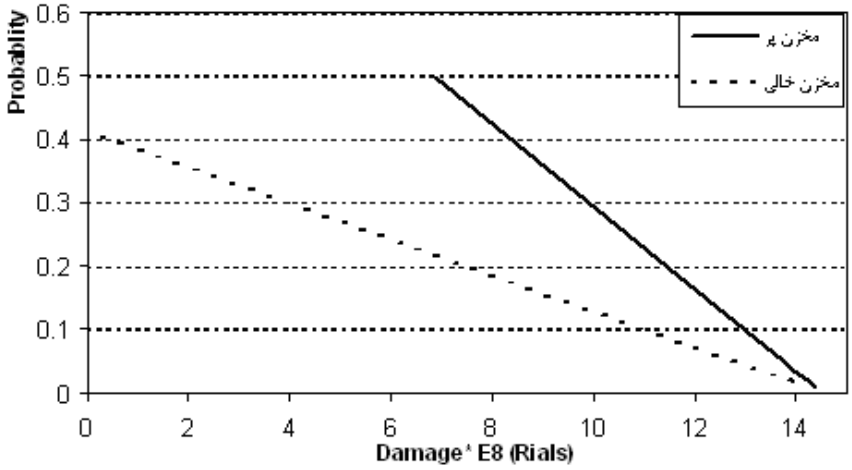
www.SID.ir

Archive of SID

پائین‌دست سد پیشین، ایجاد این سیستم را می‌توان برای حوزه آبریز پیشین توصیه نمود. همچنین سیستم هشدار سیل تنها محدود به زمان عملیات کارگاهی نخواهد بود.



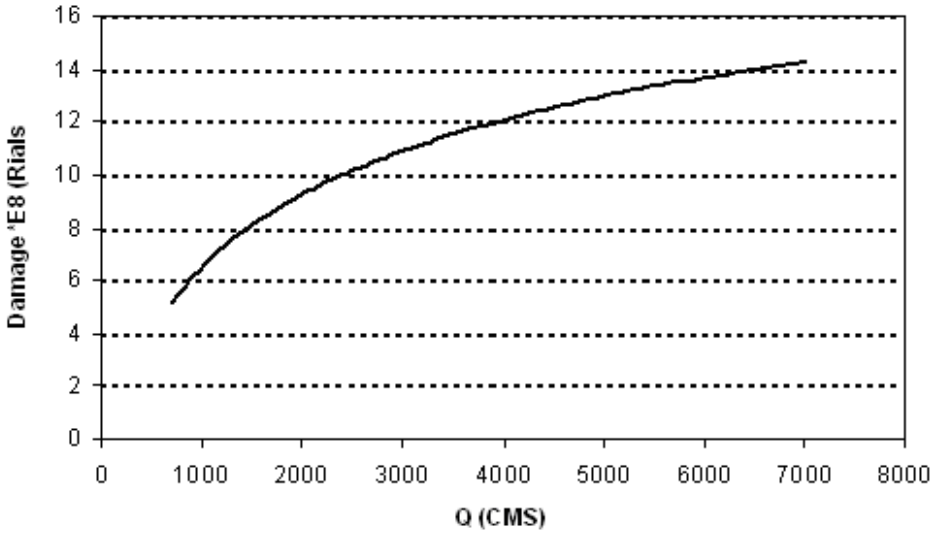
شکل ۳- نقشه محدوده حوزه آبریز پیشین و باهو کلات و موقعیت ایستگاههای هیدرومتری



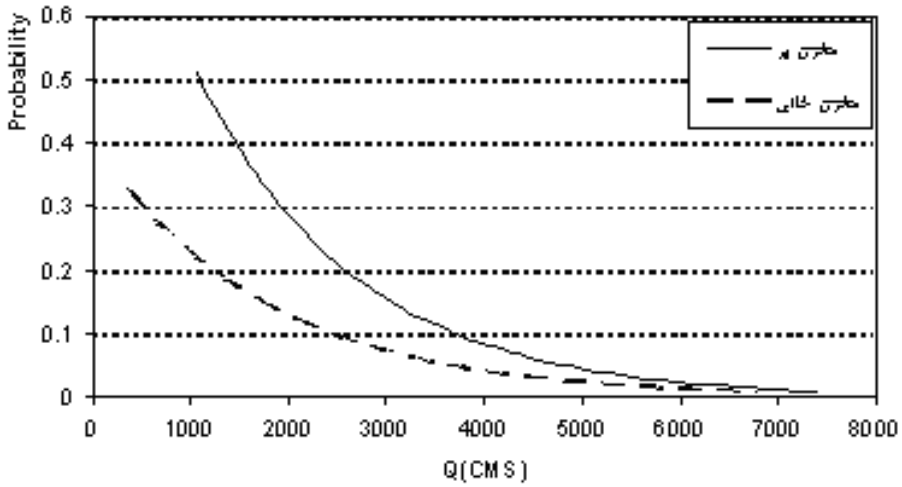
شکل ٤- تغییر رابطه خسارت - احتمال وقوع با در نظرگرفتن نقش مخزن پیشین در حالت پر و خالی بودن مخزن

www.SID.ir

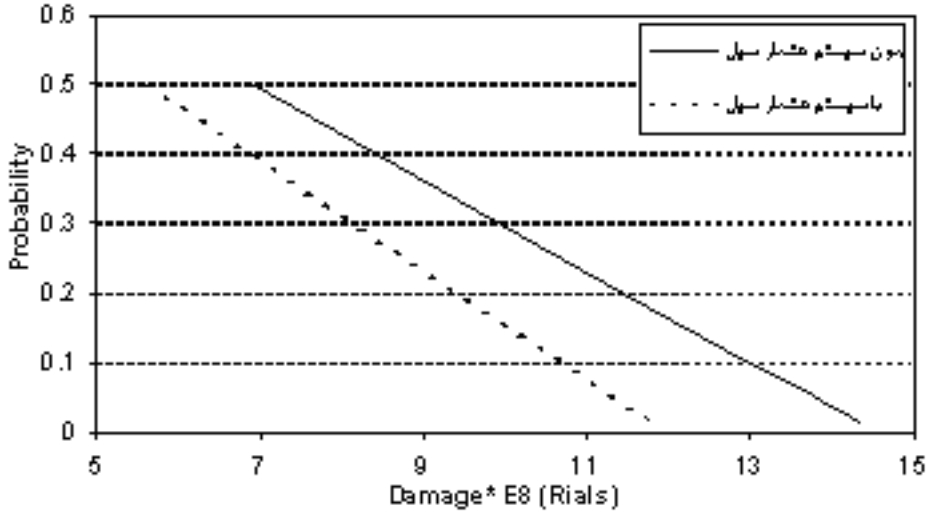
Archive of SID



شکل ۵- رابطه خسارت - دبی درمحل کارگاه سد انحرافی شیرگواز



شکل ٦- تغییر رابطه دبی - احتمال وقوع با درنظرگرفتن نقش مخزن پیشین



شکل ۷- تغییر رابطه خسارت- احتمال وقوع با ایجاد سیستم هشدار سیل

www.SID.ir

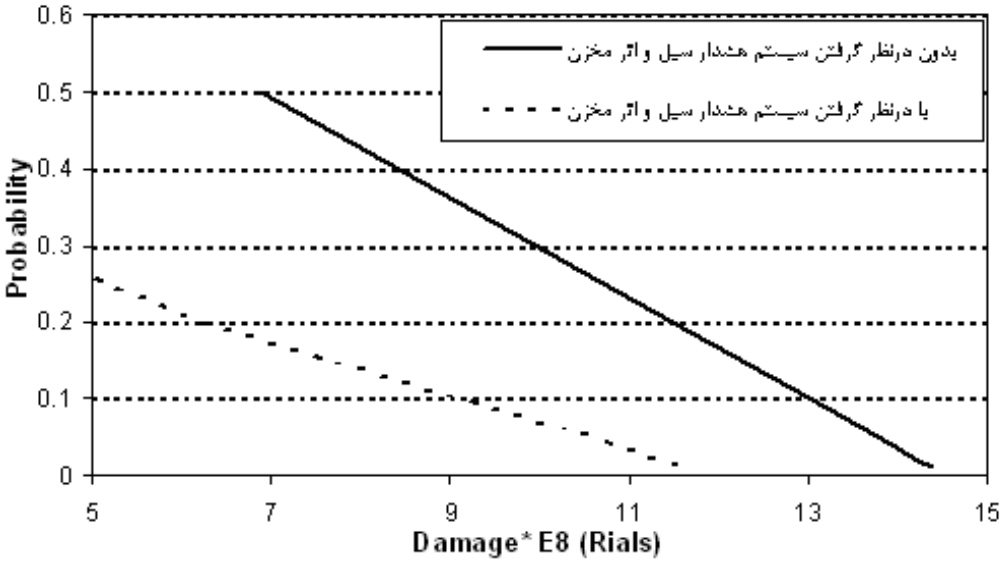
Archive of SID

۵-۳-۳- تاثیر مخزن سد پیشین و سیستم هشدار سیل بطور توام

بر اساس منحنی‌های تحلیل خسارت، شکل ۸ تغییر رابطه خسارت – احتمال وقوع با درنظرگرفتن نقش مخزن و ایجاد سیستم هشدار سیل را نشان می‌دهد. با انجام تحلیل اقتصادی شاخص B/C=0.71 محاسبه شده است.

۵-٤-تحلیل حساسیت بر روی نرخ بهره

با توجه به ضرورت انجام تحلیل حساسیت جهت اطمینان درتصمیم‌گیری، گزینه‌های موجود بر اساس تغییرات نرخ بهره (i) مورد بررسی قرار گرفته و نسبت سود به هزینه با مقادیر مختلف نرخ بهره حاصل شده است (جداول ۳، ۴ و۵).



شکل ۸- تغییر رابطه خسارت – احتمال وقوع با درنظرگرفتن نقش مخزن و ایجاد سیستم هشدار سیل

جدول ۳- تغییرات نسبت سود به هزینه نسبت به نرخ بهره (گزینه مخزن)

نرخ بهره i (٪)	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
سود *(B)* (میلیون ریال)	۳۸۷/۱۴	۳۸۷/۱۴	۳۸۷/۱۴	۳۸۷/۱۴	۳۸۷/۱۴	۳۸۷/۱۴	۳۸۷/۱۴
هزینه *(C)* (میلیون ریال)	۶۸/۴	۱۲۲/۵	۱۹۵/۱۲	۲۹۲/۸	۴۲۴/۱	۵۹۷/۵	۸۲۹/۸
سود به هزینه *(B/C)*	۵/۶۵	۳/۱۶	۱/۹۸	۱/۳۲	۰/۹۱	۰/۶۴	۰/۴۷

جدول ٤- تغییرات نسبت سود به هزینه نسبت به نرخ بهره (گزینه سیستم هشدار سیل)

نرخ بهره i (٪)	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
سود *(B)* (میلیون ریال)	۱۲۲/۹۲	۱۲۲/۹۲	۱۲۲/۹۲	۱۲۲/۹۲	۱۲۲/۹۲	۱۲۲/۹۲	۱۲۲/۹۲
هزینه *(C)* (میلیون ریال)	۲۸۷/۶۹	۲۹۹/۶۱	۳۱۱/۷۴	۳۲۳/۶۵	۳۳۶/۵۹	۳۴۹/۳۱	۳۶۲/۲۱
سود به هزینه *(B/C)*	۰/۴۳	۰/۴۱	۰/۳۹	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۳۴

جدول ۵- تغییرات نسبت سود به هزینه نسبت به نرخ بهره (گزینه سیستم هشدار سیل و مخزن)

نرخ بهره i (٪)	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶
سود *(B)* (میلیون ریال)	۴۴۰/۶۷	۴۴۰/۶۷	۴۴۰/۶۷	۴۴۰/۶۷	۴۴۰/۶۷	۴۴۰/۶۷	۴۴۰/۶۷
هزینه *(C)* (میلیون ریال)	۳۵۶/۱	۴۲۲/۱۱	۵۰۶/۸۶	۶۱۶/۴۵	۷۶۰/۶۹	۹۴۶/۸۱	۱۱۹۲/۰۱
سود به هزینه *(B/C)*	۱/۲۳	۱/۰۴	۰/۸۷	۰/۷۱	۰/۵۸	۰/۴۷	۰/۳۷

www.SID.ir

Archive of SID

براساس جدول ۳ تغییرات شاخص سود به هزینه برای مقادیر کوچک نرخ بهره قابل توجه بوده وگزینه مخزن برای نرخ بهره کمتر از ۱۱٪ اقتصادی است. درجدول ۴ تغییرات شاخص سود به هزینه نسبت به نرخ بهره ناچیز است. درجدول ۴ تغییرات سود به هزینه نسبت به نرخ بهره بین دو گزینه قبل می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده، میزان اطمینان در تصمیم‌گیری در گزینه‌هایی که شامل سیستم هشدار سیلاب می‌باشد، بیشتر است، هر چند که نسبت سود به هزینه در این گزینه‌ها کمتر است.

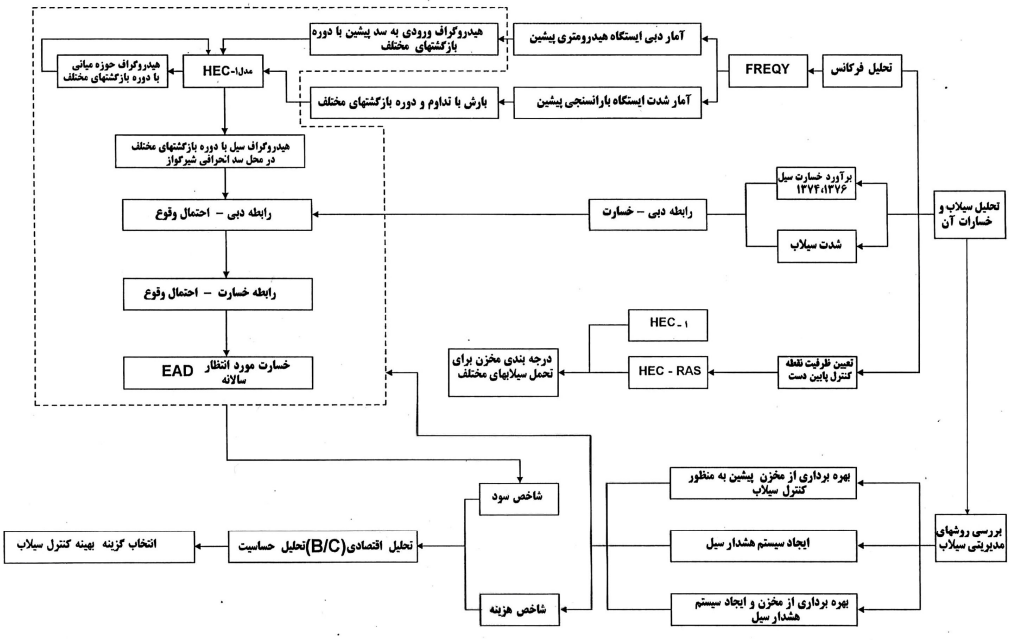
در انتها در شکل ۹ الگوریتم نهایی جهت انتخاب گزینه بهینه طرح کنترل سیلاب در زمان ساخت سد انحرافی شیرگواز نشان داده شده است. در مطالعه حاضر از آنجایی‌که هدف، کاهش خسارت سیل در محل بند شیرگواز در زمان ساخت این بند می‌باشد، راه‌کارهای مدیریتی شامل بررسی امکان پیش‌بینی سیلاب به همراه تدوین سیاست‌های تامین حجم کنترل سیل در ماه‌های مختلف مخزن سد پیشین مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت گزینه ایجاد سیستم هشدار سیل به همراه مدیریت مناسب در بهره‌برداری از سد پیشین در کاهش خسارت سیل به سد انحرافی شیرگواز انتخاب می‌شود. شایان ذکر است که این طرح عملاً اجرا و خاتمه یافته و انجام محاسبات فوق صرفاً برای ارائه لحاظ نمودن شیوه‌های مدیریت سیل در احداث سازه‌های پائین دست می‌باشد.

٦- طراحی سیستم هشدار سیل با مدیریت مخزن

٦-١- شبیه‌سازی بارش- رواناب در حوزه آبریز باهوکلات

به منظور برآورد و شناسایی ماهیت هیدروگراف حاصل از زیر حوزه‌های مختلف و بررسی تأثیر و نقش حوزه میانی در سیلاب‌های ورودی به بند شیرگواز، شبیه‌سازی بارش- رواناب انجام شده است. در محدوده مورد مطالعه سه ایستگاه هیدرومتری (پیردان، پیشین و باهو کلات) وجود دارد. در این بخش از مطالعات پس از حوزه‌بندی محدوده مورد مطالعه با توجه به ایستگاه‌های هیدرومتری، پارامترهای هیدرولوژیکی و نفوذ حوزه کالیبره گردیده است. شکل ۳ محدوده زیر حوزه‌های مذکور را نشان می‌دهد. بررسی خروجی هر یک از زیرحوزه‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری امکان مقایسه هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی در نقطه خروجی زیر حوزه‌ها و در نتیجه واسنجی عوامل زیر حوزه‌ها را فراهم می‌نماید.

در این بررسی‌ها از قابلیت واسنجی مدل بارش- رواناب، جهت تعیین مقادیر پارامترهای هیدرولوژیکی و نفوذ استفاده شده است. واسنجی به نحوی انجام گرفته است که اختلاف پیک و حجم هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسبه‌ای حداقل گردد. واسنجی زیرحوزه‌ها با استفاده از دبی دو ساعته و دبی روزانه موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری و آمار بارندگی روزانه و شدت‌های بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی و به صورت همزمان با آمار دبی ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری، در چند سیل منتخب آماری انجام گرفته است. سیلاب‌های منتخب سیل‌هایی می‌باشند که آمار همزمان شدت بارندگی یا بارندگی روزانه و دبی دو ساعته در آنها موجود باشد.



شکل ۹- الگوریتم انتخاب گزینه بهینه طرح کنترل سیلاب در زمان ساخت سد انحرافی شیرگواز

www.SID.ir

Archive of SID

در تعیین سهم زیرحوزه‌ها دو پارامتر مهم عامل زمانی ذخیره[8] (R) و زمان تمرکز[9] (TC) زیرحوزه‌ها درنظر گرفته شده است. عامل زمانی ذخیره حوزه نمایانگر زمان ماند سیلاب در حوزه بوده و نشانگر تراکم شبکه آبراهه و پوشش گیاهی در حوزه می‌باشد. زمان تمرکز مدت زمانی است که دورترین قطره آب به نقطه خروجی حوزه می‌رسد. به دلیل آنی بودن سیلاب و همچنین شیب بالای منطقه و پوشش گیاهی ضعیف آن، فاکتور زمانی ذخیره و زمان تمرکز نسبتاً کم می‌باشد. نتایج برای زیرحوزه‌های مختلف در جدول ۶ آمده است.

جدول ٦- نتایج نهایی واسنجی با عوامل هیدرولوژیکی زیرحوزه پیردان، پیشین و باهو کلات

زیرحوزه	*TC (hr)*	*R (hr)*
پیردان	۶/۵	۸/۵
سد پیشین	۱۱/۹	۷/۶
باهوکلات	۱۷/۵	۶/۶

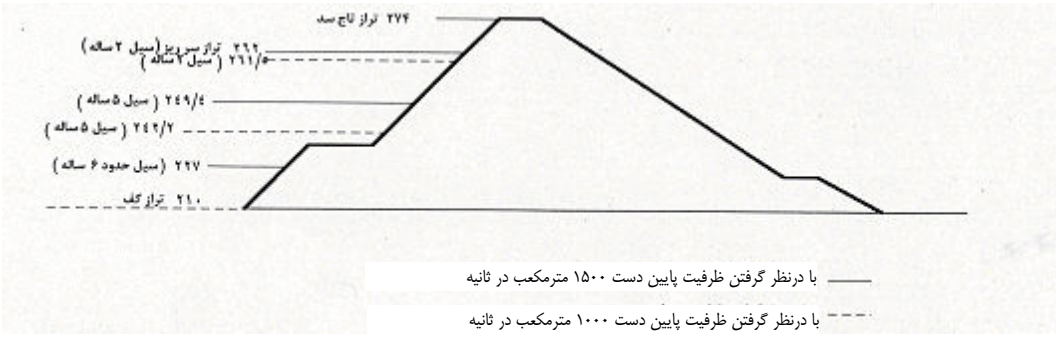
لازم به ذکر است که زمان لازم برای هشدار سیل متناسب با زمان تمرکز هر یک از زیرحوزه‌ها می‌باشد. با توجه به بررسی مراکز طوفان در باران‌های گذشته، ایستگاه باران‌سنجی سرباز بعنوان ایستگاه کنترل اصلی انتخاب گردید و با در نظر گرفتن اطلاعات زمان تمرکز حوزه‌ها، مشخص شد که در صورت مشاهده وضعیت بحرانی و باران‌های شدید در ایستگاه سرباز، حدود ۸ ساعت وقت جهت اعلام وقوع سیلاب محتمل به محل سد پیشین و حدود ۱۳ ساعت برای هشدار به محل بند شیرگواز فرصت وجود دارد.

٦-٢-سیاست‌های عملکرد مخزن

به منظور تعیین نحوه عملکرد مخزن در ماه‌های مختلف با توجه به بهره‌برداری صحیح در زمان وقوع سیلاب، سیلاب‌های ورودی به سد در ماه‌های مختلف بررسی شده و بزرگترین آنها از نظر پیک و حجم انتخاب شده‌اند. به منظور تدوین دستورالعمل بهره‌برداری از سد پیشین در زمان سیلاب، ظرفیت رودخانه در پایین‌دست پیشین و در محل بند شیرگواز تعیین گردیده است. به منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی در محدوده بند از مدل HEC-RAS استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد، علیرغم استفاده از مصالح با ابعاد بالا بر روی کافردم، سیل‌های بیش از ۱۰۰۰ مترمکعب در ثانیه، بدلیل سرعت قابل توجه جریان، باعث ایجاد فرسایش در جداره کافردم به موازات کانال انحراف می‌گردند. همچنین در صورت پذیرفتن خسارت سیل قابل جبران در محل بند شیرگواز ظرفیت ۱۵۰۰ مترمکعب در ثانیه نیز در گزینه دیگر در نظر گرفته شده است. بدین ترتیب برای ظرفیت پائین دست دو گزینه ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ مترمکعب در ثانیه درنظر گرفته شده است. از آنجایی که سد شیرگواز ساخته شده و مورد بهره‌برداری قرار دارد، در واقع فرضیات مذکور به منظور حفظ سازه در شرایط وقوع طغیان‌ها و همچنین سایر مستحدثات پائین دست می‌باشد.

در مطالعات انجام شده برای تعیین سیل‌های قابل کنترل توسط مخزن و درجه‌بندی آن، ابتدا هیدروگراف سیل با دوره بازگشت‌های مختلف در محل سد پیشین با استفاده از هیدروگراف سیل فروردین سال ۱۳۶۱ بدست آمده است. سپس ترکیب آن سیل با دوره بازگشت‌های مختلف در محل بند شیرگواز، روندیابی سیل با دوره بازگشت‌های مختلف با درنظر گرفتن نقش مخزن انجام شده است. نتایج حاصل از روندیابی دبی با دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد که مخزن سد پیشین در هر دو گزینه ظرفیت، قادر به کنترل سیل با دوره بازگشت ۱۰ سال و بیشتر نمی‌باشد. هر چه دوره بازگشت سیل افزایش می‌یابد، نقش مخزن در کاهش پیک سیلاب خروجی از سد کمتر است. براساس روندیابی سیل در مخزن (HEC-1) و ظرفیت نقطه کنترل پائین دست (HEC-RAS) می‌توان مخزن را برای سیلابهای مختلف برای ظرفیت مشخص پائین‌دست درجه بندی نمود (شکل ۱۰).

به منظور تعیین منحنی فرمان سد پیشین در ماه‌های مختلف، بزرگترین سیل‌های ثبت شده ماهانه در طول دوره تاریخی انتخاب



شکل ۱۰- درجه بندی مخزن سد پیشین

www.SID.ir

Archive of SID

شده‌اند. سپس هر یک از این سیل‌ها روندیابی گردید و تراز سد پیشین برای کنترل سیلاب در ماه‌های مختلف تعیین شد. به منظور تهیه دستورالعملی برای تخلیه سد در سیلاب‌های با پیک و حجم بالا، حساسیت توانایی کنترل سیلاب توسط مخزن سد پیشین نسبت به ترازهای مختلف در زمان شروع سیلاب، تحلیل گردیده است. نتایج حاصل از روندیابی سیلاب‌های مختلف با در نظر گرفتن نقش مخزن، نشان می‌دهد که در ماه‌های بهمن، اسفند، و فروردین سیل ورودی در محل بند شیرگواز بالاتر از ظرفیت رودخانه می‌باشد. در ماه‌های فروردین، مرداد، بهمن و اسفند رقوم مخزن باید در ترازهای ذکر شده و مطابق با منحنی کنترل سیل قرار گیرد و در بقیه ماه‌ها، منحنی فرمان کنترل سیل در شرایط عادی و منطبق با بررسی‌های انجام شده بوده و به عبارتی مخزن قادر به کنترل سیل در رقوم منحنی فرمان عادی خواهد بود.

همانطور که مشاهده شد، علیرغم پائین بودن ظرفیت ذخیره مخزن درمقایسه با حجم سیلاب‌های ورودی، این سیستم تأثیر نسبتاً قابل توجهی را درکاهش خسارات پائین‌دست بدنبال خواهد داشت. تراز سطح آب مخزن سد پیشین در حالت عادی و کنترل سیل در جدول ۷ و منحنی فرمان مخزن سد پیشین برای حالت‌های عادی و کنترل سیلاب در شکل ۱۱ آمده است.

۶-۳- تعیین نقاط بحرانی، آستانه بارندگی و دبی بحرانی دراین‌نقاط به منظور پیش‌بینی سیلاب، نقاط کنترل در حوزه شناسایی و پیش‌بینی بر اساس این نقاط و تعیین آستانه‌ها صورت گرفته است. این نقاط کنترل بر اساس اطلاعات دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری بالادست و اطلاعات بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی انتخاب می‌شوند. در صورت استفاده از اطلاعات بارندگی به عنوان نقاط کنترل، زمان هشدار حداکثر محدود به زمان تمرکز حوزه می‌باشد.

برای مشخص نمودن مکان‌های نقاط کنترل در حوزه برای هشدار سیلاب، از مراکز طوفان حوزه و سهم سیلاب سرشاخه‌های بالادست در سیلاب حوزه استفاده شده است. با توجه به پراکندگی ایستگاه‌های

جدول ۷ - تراز سطح آب مخزن سد پیشین در حالت عادی و کنترل سیل

	ماه	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین
حالت	حجم مخزن	۱۷۰	۱۵۸	۱۴۱	۱۴۰	۱۴۴	۱۳۹	۱۲۷	۱۱۷	۱۱۳	۱۲۹	۱۴۶	۱۶۱
عادی	تراز سطح آب	۲۶۲	۲۶۱	۲۵۹	۲۵۹	۲۵۹	۲۵۹	۲۵۸	۱۵۷	۲۵۷	۲۵۶	۹۵۹	۲۶۱
کنترل	حجم مخزن	۱۷۰	۱۵۸	۱۴۱	۱۲۶	۱۴۴	۱۳۹	۱۲۷	۱۱۷	۱۱۳	۹۷	۴۴	۹۷
سیل	تراز سطح آب	۲۶۲	۱۶۱	۲۵۹	۲۵۸	۷۵۹	/۲۵۹	۲۵۸	۲۵۷	۲۵۶	۲۵۵	۲۴۸	۲۵۵

شکل ۱۱- منحنی فرمان مخزن سد پیشین برای حالت‌های عادی و کنترل سیلاب

www.SID.ir

Archive of SID

باران‌سنجی، مراکز طوفان با استفاده از توزیع مکانی بارندگی تجمعی در هر طوفان، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مرکز طوفان در شمال محدوده مورد مطالعه بوده که ایستگاه هیدرومتری پیردان و باران‌سنجی سرباز در نزدیکی محل مورد نظر بعنوان نقاط کنترل در حوزه آبریز انتخاب شده است. نکته قابل توجه در انتخاب نقاط کنترل این است که با توجه به افزایش زمان تمرکز حوزه در جهت حرکت به سمت سرشاخه‌ها، زمان هشدار سیلاب افزایش می‌یابد. بنابراین در انتخاب نقاط کنترل، سعی شده است با توجه به امکانات و تجهیزات اندازه‌گیری موجود، حتی المقدور نقاطی در سرشاخه‌ها مورد استفاده قرار گیرد و بر اساس ایستگاه‌های باران‌سنجی سرباز و پیشین به عنوان نقاط کنترل حوزه برای تعیین آستانه بارندگی بحرانی، انتخاب شده‌اند.

به منظور تخمین بارندگی در زمان‌های مختلف از شروع بارندگی در منطقه، توزیع زمانی بی‌بعد بارندگی تجمعی در ایستگاه‌های ثبات پیشین و سرباز بررسی شده و الگویی که نشان‌دهنده متوسط توزیع زمانی بارش در طوفان‌های مختلف می‌باشد، تعیین گردیده است. توزیع زمانی بارندگی عبارت از مقدار بارندگی در گام‌های زمانی مختلف بعد از شروع بارش می‌باشد. از این منحنی برای پیش‌بینی تقریبی میزان بارندگی در زمان‌های آینده می‌توان استفاده نمود. با بررسی آمار بارندگی‌ها، طول متوسط بارندگی در ایستگاه پیشین در طوفان‌های بزرگ حدود ۴ ساعت و در ایستگاه سرباز حدود ۷ ساعت است.

به منظور هشدار سیلاب و تخمین شرایط سیلابی پس از شروع بارندگی، مقادیر بدست آمده از این منحنی‌ها با آستانه بارندگی کنترل می‌گردد. آستانه بارندگی، میزان بارندگی بحرانی و آستانه سیلاب میزان دبی بحرانی است که باعث ایجاد سیلابی مازاد بر ظرفیت سالم رودخانه در پایین‌دست سد خواهد شد. جهت تعیین مقادیر بحرانی بارندگی تجمعی در ایستگاه‌های باران‌سنجی، درصدهای مختلف از بارندگی تغییر داده می‌شود، درصدی از بارندگی که سیلابی با دبی پیک ۱۰۰۰ مترمکعب در ثانیه (در حد ظرفیت رودخانه) در پیشین ایجاد کند، به عنوان بارندگی بحرانی انتخاب می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده در ایستگاه‌های بارندگی سرباز و پیشین آستانه بارندگی تجمعی به ترتیب ۳۰ و ۲۶ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در این شرایط دبی آستانه سیلابی به میزان زیر خواهد بود:

- در محل ایستگاه پیردان حدود ۴۰۰ مترمکعب در ثانیه
- در محل محدوده روستای موتن حدود ۳۰۰ مترمکعب در ثانیه
- در محل ایستگاه باران‌سنجی راسک حدود ۶۰۰ مترمکعب در ثانیه

توصیه می‌شود که هشدار سیل بر اساس ایستگاه‌های باران‌سنجی انجام گیرد و به منظور دقیق‌تر کردن پیش‌بینی سیل، کنترل شرایط سیلابی بر اساس ایستگاه‌های هیدرومتری ذکر شده صورت گیرد.

٦-٤- ارائه راهکارهایی جهت کنترل سیل یا هشدار

به منظور تدوین سیستم پیش‌بینی و هشدار سیل می‌توان از سیاست‌هایی که در ادامه توضیح داده می‌شوند، استفاده شود.

- به منظور پیش‌بینی سیلاب در نقاط کنترل که بر ایستگاه‌های موجود متمرکز می‌باشد، ایستگاه هیدرومتری پیردان فعال گردد و ایستگاه هیدرومتری راسک در مجاورت ایستگاه باران‌سنجی راسک تجهیز گردد. در خروجی زیر حوزه موتن، ایستگاه هیدرومتری جدید در طول جغرافیایی $61^0\ 39'$ و $26^0\ 17'$ عرض جغرافیایی تاسیس و تجهیز گردد. ایستگاه‌های پیردان، سرباز، راسک، موتن و پیشین به وسایل ارتباطی تجهیز شوند. همچنین اقدامات لازم جهت حفاظت از حریم رودخانه و جلوگیری از تغییر بیشتر تراس ساحل راست توسط مردم انجام گیرد. این تاسیسات و تجهیزات در ایستگاه‌ها در طول مدت بهره‌برداری باید پایش و کنترل شوند و اگر نقص فنی در هر ایستگاه مشاهده شد، باید درصدد رفع آن برآمد.
- از دیگر اقدامات هشدار و کنترل سیل، کنترل تراز مخزن در سد پیشین است. با توجه به اینکه احتمال وقوع سیل در ماه‌های دارای وضعیت بحرانی فروردین، مرداد، بهمن و اسفند و یا دیگر ماه‌ها باشد، باید در مورد کنترل تراز آب در مخزن با توجه به منحنی فرمان سد پیشین تصمیم گرفت.
- به منظور پیش‌بینی سیل و هشدار آن به پایین‌دست سد، ابتدا از نقاط بحرانی تعیین شده شامل ایستگاه باران‌سنجی پیشین و ایستگاه باران‌سنجی سرباز استفاده می‌شود. همانطور که قبلا ذکر شد متوسط طول زمانی بارندگی و آستانه بارندگی تجمعی در ایستگاه سرباز در طوفان‌های بزرگ به ترتیب حدود ۴ ساعت و ۲۶ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. با توجه به میزان و زمان متوسط بارندگی، اگر بارندگی تجمعی ۲ ساعت پس از شروع بارش از ۱۰ میلی‌متر بیشتر شود، آماده باش به پرسنل آب منطقه‌ای اعلام می‌شود. اگر بارندگی تجمعی ۴ ساعت پس از شروع بارش از ۲۰ میلی‌متر بیشتر شود، اعلام هشدار به محل سد پیشین و سپس هشدار به محدوده سد پیشین و در نهایت باز شدن دریچه‌های سد پیشین انجام می‌گیرد.
- در صورتی‌که در ایستگاه باران‌سنجی پیشین پس از گذشت یک ساعت، بارندگی تجمعی حدود ۱۱ میلی‌متر و یا با گذشت ۲ ساعت بارندگی تجمعی حدود ۲۰ میلی‌متر باشد و همچنین در این حالت

www.SID.ir

Archive of SID

میزان دبی در ایستگاه پیردان از حدود ۴۰۰ مترمکعب در ثانیه و یا در ایستگاه راسک از حدود ۶۰۰ مترمکعب در ثانیه و یا در ایستگاه موتن از حدود ۳۵۰ مترمکعب در ثانیه تجاوز کند، اعلام هشدار عمومی به محل بند شیرگواز انجام می‌گیرد.
در صورت وقوع هر یک از موارد فوق، بایستی وقوع سیل محتمل به دفتر سازمان آب منطقه‌ای در چابهار و محل سد پیشین اعلام گردد. یک سیستم آژیر بایستی در محل سد و در فواصل مناسب تا بند انحراف نصب شود و به مقامات محلی در محدوده سد پیشین تا بند انحرافی باید به طور رسمی اعلام شود که در صورت شنیدن آژیر اطراف رودخانه و محل سد انحرافی را تخلیه و به محل‌های ایمن هدایت شوند. نحوه حضور افراد نیروی انتظامی و داوطلب و تمرکز آن‌ها در یک ستاد کنترل سیل بایستی مشخص گردد. استفاده ازکیسه‌های شنی و شناسایی نقاط آسیب‌پذیر در طول مسیر بایستی از قبل مشخص شود تا با ایجاد سیل بندها و خاکریزهای مناسب، از خسارات احتمالی سیل به باغات و مناطق مسکونی جلوگیری به عمل آید.

اقدامات لازم جهت هشدار به موقع به محل بند شیرگواز با توجه به بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی و دبی در ایستگاه‌های هیدرومتری و رقوم مخزن سد در شکل ۱۲ با جزئیات بیشتری آورده شده است. در این شکل با توجه به مطالعات و بررسی‌های انجام شده، دستورالعمل و الگوریتم کنترل سیل ارائه گردیده است. در این الگوریتم کلیه تمهیدات لازم به منظور کنترل سیلاب به طور مشخص در نظر گرفته شده است که در کنترل و یا کاهش دبی سیلاب در پایین دست سد پیشین به نحو موثری می‌تواند مورد استفاده واقع شود. با اعمال این سیاست‌ها در عین حال که ظرفیت قابل توجهی برای کنترل سیل ایجاد می‌شود، سد به طور کامل تخلیه شده و عواقب جانبی خالی شدن مخزن که شامل اثرات سازه‌ای، تامین آب پایین دست و غیره می‌باشد، نامحسوس‌تر خواهد بود.

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

زمان کوتاه ساخت تاسیسات و هزینه‌های قابل توجه روش‌های سازه‌ای برای مهار سیلاب‌ها، موجب می‌شود که روش‌های مدیریتی به راهکارهای معتدل‌تر برای کاهش این خسارات تبدیل شوند. این روش‌ها عمدتاً در مناطقی که تاسیسات مهار سیلاب نظیر سدهای مخزنی، در بالادست کارگاه موجود باشد به تدوین دستورالعمل‌های خاص برای بهره‌برداری در شرایط سیلابی و در جهت بالا بردن توانایی این تاسیسات در استهلاک سیلابها، محدود می‌گردد. در این شرایط بهره‌گیری از سیستم‌های ساده هشدار سیلاب نیز می‌تواند نقش بسزائی در آماده‌سازی مخازن و تاسیسات مهار سیلاب داشته باشد. در شرایطی که تاسیسات مهار سیلاب دربالا دست کارگاه موجود نباشد، سیستم‌های هشدار سیلاب راه کار موثر برای کاهش بخشی از خسارت کارگاه‌های ساختمانی هستند.

این سیستم‌ها که در ساده‌ترین شکل می‌توانند شامل یک خط تلفن از مراکز طوفان (نقاط بحرانی ذکر شده در ۶-۳) باشند، با توجه به زمان پیش هشدار می‌توانند حداقل خسارت وارده به تجهیزات کارگاه را موجب شدند. ماهیت وقوع طوفان‌های حوزه‌های آبریز در میزان کارائی این سیستم‌ها نقش بسزائی دارد. درحوزه‌هایی که محل وقوع طوفان‌ها درنقاط دور دست و در مرز حوزه آبریز باشد، زمانی نزدیک به زمان تمرکز حوزه برای پیش‌هشدار وجود خواهد داشت. این زمان در بسیاری از حوزه‌های آبریز که مراکز طوفان‌ها در محل‌های مختلف و با فواصل زمانی مختلف تا محل کارگاه به وقوع می‌پیوندد، کوتاه‌تر شده و از عدم‌قطعیت بیشتری نیز برخوردار می‌شود. دراین حوزه‌ها ایجاد سیستم‌های هشدار سیلاب مستلزم هزینه‌های بیشتر نیز می‌باشد.

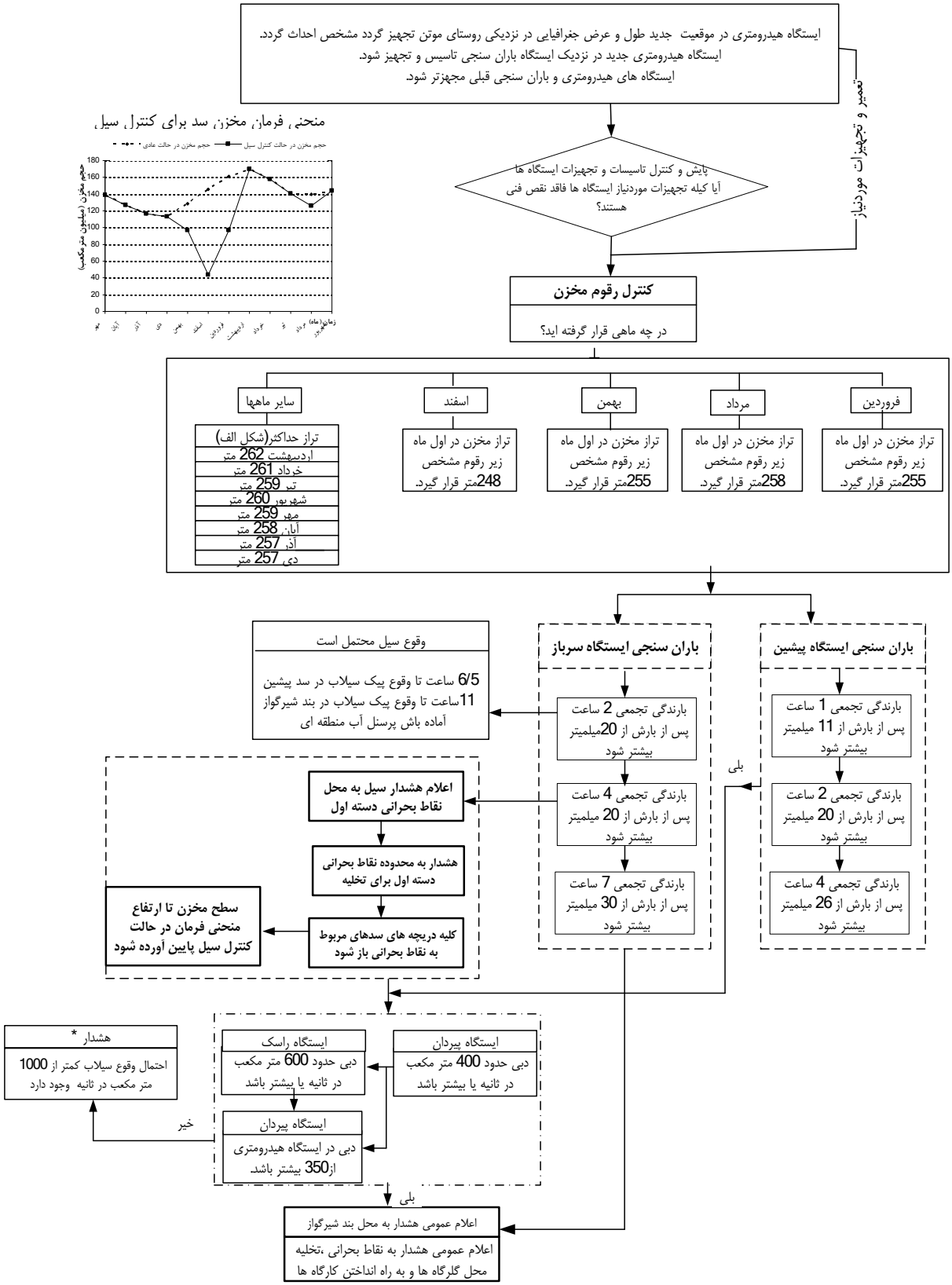
با توجه به مطالب ذکر شده، چنین استنباط می‌شود که در حوزه آبریز مورد مطالعه، بهره‌برداری و مدیریت کارای سد پیشین می‌توانست تاثیر بسزایی درکاهش خسارات وارده به کارگاه سد انحرافی شیرگواز در مقایسه با روش‌های دیگر داشته باشد. بنابراین با ایجاد یک مدیریت مداوم، پویا و آگاه از مخزن موجود و تخصیص حداکثر حجم مخزن به کنترل سیلاب می‌توان خسارات وارده به سازه‌های در دست اجرا در پائین دست را برای سیلاب‌هایی با دبی بزرگتر از سیلاب طراحی (سیل کارگاهی) به میزان قابل توجهی کاهش داد. ایجاد سیستم هشدار سیل به همراه مدیریت مناسب در بهره‌برداری از سد پیشین، با تأثیراتی از قبیل ایجاد آرامش و امنیت و تشویق برای سرمایه‌گذاری درمنطقه، از اهمیت بسزایی برخوردار است.

۸- تشکر

قسمتی از نتایج این مقاله در قالب طرح "منحنی فرمان سد پیشین در زمان ساخت بند انحرافی" در شرکت مهندسین مشاور جاماب بدست آمده است. اطلاعات سیلاب ورودی به سد پیشین فقط تا سال ۱۳۷۶ در دسترس قرار گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲- الگوریتم کنترل سیلاب در محدوده حوزه آبریز سد پیشین و بند انحرافی شیرگواز

www.SID.ir

Archive of SID

پی‌نوشت‌ها

1. Online
2. Real time
3. Flash Flood
4. Expected value of Annual Damage
5. Present worth
6. Future Worth
7. Uniform Annual
8. Storage Factor in hours
9. Time of Concentration in Hours

۹- مراجع

پورتویسرکانی، ا.، (۱۳۷۷)، تحلیل اقتصادی و مقایسه طرح‌های کنترل سیلاب در زمان ساخت سدهای (با کاربرد بر سدانحرافی شیر گواز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

غواصیه، ا.ر.، (۱۳۷۶)، *تدوین روشهای مدیریت سیلاب*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

کارآموز، م. و حیدری، ع.، (۱۳۷۷)، "*ساختار سیستم‌های هشدار سیلاب*"، کارگاه آموزشی- تخصصی سیستم‌های هشدار سیل و مدیریت سیلاب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

کارآموز، م.، (۱۳۷۷)، گزارش تهیه منحنی فرمان سد پیشین در زمان ساخت بند انحرافی شیرگواز، مهندسین مشاور جاماب وزارت نیرو.

وزارت نیرو، دفتر فنی امور آب (۱۳۷۲)، دستورالعمل بررسی‌های اقتصادی طرحهای منابع آب مرحله شناسایی، نشریه استاندارد مهندسی آب کشور شماره ۷۶- الف.

Goodman, A. S. (1984). *Principles of water resources planning*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.

James, L. D. (1967). ''Economic analysis of alternative flood control measures.'' *Water Resources Research*, 3(2), pp. 333–343.

James, L. D. and R. R, Lee, (1971), *Economic of Water Resources Planning*, McGraw- Hill.

Leo R.Beard, Honorary Member, ASCE (1997), "Estimating Flood Frequency and Average Annual Damage" *Journal of water Resourees Planning and Management*, vol. 123, NO 2.

Linsley, R. K. and J. B. Franzini and D. L. Frebreg, (1992), *Water Resources Engineering*, 4th Edition, McGraw- Hill

Lund, J. R. (2002). ''Floodplain Planning with Risk-Based Optimization'', *Water Resources Resaerch*, 128(3), pp. 202–207.

Mays L.W. (1996), *Water Resources Hand Book,* McGraw Hill. New york NY.

Olsen, J. R., Beling, P. A., and Lambert, J. H. (2000). ''Dynamic models for floodplain management.'' *Journal of Water Resourees Planning and Management*, 126(3), pp. 167–175.

United States Army Corps of Engineers (USACE). (1996). ''Risk-based analysis for flood damage reduction studies.'' *Engineer Manual EM 1110-2-1619*, Washington, D.C.

U.S. Water Resources Council (WRC). (1983). Economic and environmental principles and guidelines for water and related land resources implementation studies.

Zhang, L. and Singnh, V. P. (2005) "Frequency analysis of flood damage", *Journal of Hydrology Engineering* 10(2), pp. 100-109.

تاریخ دریافت مقاله: ۳۰ خرداد ۱۳۸۵
تاریخ اصلاح مقاله: ۲۸ مهر ۱۳۸۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۸ آبان ۱۳۸۵

www.SID.ir