

# پیش بینی و کنترل زمان واقعی سیل

علی حیدری<sup>۱</sup>

## چکیده:

وقوع سیلابهای خسارت زا در اکثر حوزه های آبریز کشور و گسترش طرحهای توسعه منابع آب در آنها، ضرورت ایجاد سیستم های پیش بینی و کنترل زمان واقعی سیل و بهینه سازی کنترل سیل را در این حوزه ها بیش از پیش مطرح کرده است. در این راستا، استفاده بهینه از منابع آب و همچنین بکارگیری پتانسیلهای ایجاد شده در این زمینه، سبب شده که مسئله بهره برداری اصولی و بهینه سازی بهره برداری این طرحها مورد توجه جدی قرار گیرد. با توجه به کاهش راندمان بهره برداری مخازن به علت پتانسیل سیل خیزی حوزه های آبریز و همچنین افزایش هزینه های احداث سیستمهای تخلیه اضطراری آنها بخصوص در حوزه های در حال توسعه، ایجاد سیستم های پیش بینی و کنترل زمان واقعی سیل به عنوان یکی از شاخص ترین راه کارهای عملی در این زمینه جهت کاهش خسارات و هزینه ها اجتناب ناپذیر شده است. پیش بینی سیل به عنوان ابزار مدیریت سیلاب بیش از ۴۰ سال است که در کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته و تنها در کشور آمریکا بیش از ۴۰۰ سیستم پیش بینی سیل راه اندازی شده است [3]. حتی کشورهای در حال توسعه نظیر کشورهای جنوب شرقی آسیا نیز در این زمینه پیشرفت قابل ملاحظه ای داشته اند. در این مقاله سعی شده که اهمیت پیش بینی سیل در کنترل سیلاب مخازن و همچنین راه کارهای عملی برای راه اندازی این سیستم ها در حوزه های آبریز کشور با توجه به امکانات و بودجه موجود مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

## کلمات اصلی و مهم:

پیش بینی سیل ، کنترل سیل ، بهره برداری مخزن، Flood forecasting ، Flood control ، Reservoir Operation

---

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری دانشکده عمران ، دانشگاه صنعتی امیر کبیر Email: h7624923@cic.aku.ac.ir

## مقدمه

اقلیم مدیترانه ای کشور و تراکم زمانی و مکانی بارشها در اکثر حوزه های آبریز سبب شده که سیلابهای عظیمی در این حوزه ها بوقوع پیوسته و خسارات فراوان جانی و مالی بار آید. در این راستا سایر کشورها نیز گریبانگیر این بلا طبیعی بوده و هستند. بسته به سیاستهای اعمال شده توسط دولتها، نحوه برخورد با این بلاهای طبیعی متفاوت بوده است. به عنوان مثال در کشور ژاپن سیاستهای اعمال شده شامل ذخیره هرچه بیشتر سیلاب جهت استفاده در مصارف آبی بوده است. این سیاست مبتنی بر دیدگاه استفاده هرچه بیشتر از منابع آب، به علت کمبود آن نسبت به مصارف بوده است. در برخی کشورها که منابع آب بیش از حد نیاز موجود می باشد، کاهش خسارت سیل و تخلیه آن در حدی که خسارتی بار نیارورد جزو سیاستهای سیل زدایی قرار گرفته است. در ایران با وجود منابع محدود آب در اکثر حوزه های آبریز کشور، سیاست سیل زدایی با هدف طراحی و بهره برداری از سازه های هیدرولیکی جهت تخلیه سیلاب بدون بروز خسارت در پایین دست آنها اعمال می گردد. این امر سبب شده که سیلاب طراحی سازه های هیدرولیکی افزایش یابد و هزینه های هنگفتی برای سیستم های تخلیه آنها صرف گردد. با توجه به سرمایه گذاریهای عظیم ملی در توسعه طرحهای منابع آب در اکثر حوزه های کشور و هزینه های سرسام آور سیستم های تخلیه اضطراری سدها، کاهش ظرفیت تخلیه این سیستم ها در کاهش هزینه ها در سطح ملی بسیار چشمگیر خواهد بود. علاوه بر این کاهش هزینه با توجه به حساس شدن بهره برداری کنترل سیل سدها با ظرفیت تخلیه کم اصلاح بهره برداری این مخازن بیشتر مورد توجه قرار گرفته و این امر سبب بهبود هرچه بیشتر بهره برداری خواهد شد. چرا که در سطح دنیا نیز به اصلاح بهره برداریهای سنتی بیشتر از توسعه طرح های منابع آب بها داده شده و موفقیت این دیدگاه در سطح کلان به اثبات رسیده است.

کاهش ظرفیت سیستم های تخلیه اضطراری سدها در عین حال که سبب کاهش هزینه های طرحهای توسعه منابع آب می گردد، سبب افزایش ریسک خطر پذیری این طرحها نیز می گردد. این امر عمدتاً به علت عدم قطعیت پدیده هیدرولوژیکی بخصوص سیلابهای بوقوع پیوسته در حوزه می باشد. هرچند که ظرفیت سیستم های تخلیه سدها علاوه بر مسئله پایداری سد باید با در نظر گرفتن تاسیسات و ظرفیت ایمن رودخانه در پائین دست طراحی گردد، ولی کاهش سیلاب طراحی و تکیه بر اصول بهره برداری بدون شناخت کافی از حوزه آبریز و استفاده از فن آوری کامپیوتری میسر نخواهد بود. با توجه به پیشرفتهای چشمگیر فن آوری کامپیوتری و توسعه نرم افزار و با به خدمت گرفتن آن در شبیه سازی حوزه و مخزن، می توان به اصلاح اصول طراحی و بهره برداری اطمینان حاصل کرد. در این راستا پیش بینی سیل و کنترل زمان واقعی آن در اصلاح بهره برداری از مخازن و کاهش سیلابهای طراحی از یک طرف و استفاده بهینه از پتانسیل سیل در جهت ذخیره و تامین مصارف آب موثر بوده است. پیش بینی و کنترل زمان واقعی آن، تعیین نحوه بهره برداری از سازه های کنترل سیل و نحوه مقابله با سیل در کاهش خسارت آن حائز اهمیت بوده و در حال حاضر یکی از پیش نیازهای طرحهای توسعه حوزه های آبریز به شمار می رود. امروزه با بکارگیری آخرین فن آوریهای کامپیوتری در جهت پیش بینی سیل، بازدهی و کارآیی مدیریت سیل به مراتب بیشتر از روشهای سازه ای کنترل سیل به تنهایی شده است.

یکی از پایه های مدیریت سیل در حوزه، پیش بینی سیل قبل از وقوع آن می باشد. پیش بینی سیل به عنوان ابزاری جهت کاهش خسارات سیل بیش از ۴۰ سال است در اکثر حوزه های آبریز کشورهای پیشرفته مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا، پس از طی سالهای متمادی از نصب اولین نسخه این سیستم ها در این کشورها، امروزه این سیستم ها به سیستم های پیچیده و قابل اعتمادی تبدیل شده اند. در کشورهای در حال توسعه نظیر کشورهای جنوب شرقی آسیا، نیز گامهای اولیه برای این منظور برداشته شده و در حال حاضر با سرعت قابل توجهی سیستم های ایجاد شده روبه رشد است. با توجه به وضعیت سیلخیزی حوزه های آبریز کشور و همچنین گسترش طرحهای توسعه، ایجاد سیستم های پیش بینی سیل در اکثر حوزه ها ضروری بوده و دیر یا زود باید گامهای اولیه در این زمینه برداشته شود. متصدی اجرای طرحهای پیش بینی سیل در کشور، سازمان تحقیقات منابع آب بوده و در چند سال گذشته فعالیتهایی در زمینه مطالعات این سیستمها انجام داده است. ولی تاکنون نتایج این مطالعات به صورت عملی پیاده نشده و کارآیی مطالعات انجام شده آزمایش نشده است. یکی از چالشهای موثر در این زمینه، تکمیل و اصلاح مطالعات اولیه انجام شده در حوزه های آبریز مهم و نصب و راه اندازی مدلهای تهیه شده است. چرا که با نصب و بهره برداری از این سیستمها، نقاط

ضعف و نیاز سیستم مدیریتی و اجرایی کشور در این زمینه بیشتر محسوس شده و کارشناسان و متخصصین داخلی را بیشتر به چالش وادار می‌کند. در نظر گرفتن واقعیتهای مربوط به نواقص اطلاعاتی و دانش موجود در زمینه سیستمهای پیشرفته پیش بینی سیل در توسعه این سیستم اجتناب ناپذیر بوده و انتخاب راه کار عملی و موثر در شرایط کنونی بسیار موفقیت آمیز خواهد بود.

## پیش بینی و کنترل زمان واقعی سیل

پیش بینی سیلاب قبل از وقوع آن یکی از موثرترین راههای کاهش خسارات سیل است. پیش بینی به عنوان ابزاری برای مدیریت سیل در دهه های اخیر از اهمیت زیادی برخوردار شده است. با وجود اثبات کارآیی این روش نسبت به سایر روشهای سازه ای کنترل سیل، تاکنون در کشور، راه کار عملی برای اجرای سیستم های پیش بینی سیل ارائه نشده و معدود مطالعات انجام شده در این زمینه در حد مطالعات اولیه باقی مانده است. بسیاری از بهره برداریهای نامناسب کنترل سیل در مخازن بزرگ کشور به علت عدم آگاهی بهره برداران از وضعیت سیلاب حوزه صورت گرفته و در مقایسه با وضعیت ایده آل بهره برداری، کار آیی کنترل سیل مخازن و سود حاصل از بهره برداری کاهش یافته است. مسئله مدیریت بهره برداری مخازن در حال حاضر، به حدى اهمیت پیدا کرده است که اصلاح بهره برداریهای سنتی مقدم بر طرحهای توسعه منابع آب تشخیص داده شده است. با وجود سعی مسئولین امر در چند سال اخیر جهت ایجاد سیستم های پیش بینی در حوزه های آبریز بزرگ کشور به علت عدم انطباق و همچنین عدم اعتماد مسئولین به مطالعات انجام شده از اجرای این طرحها خودداری شده است.

در کنترل زمانی واقعی سیل، با استفاده از نتایج پیش بینی زمان واقعی سیل، عملکرد سیستم رودخانه ای طوری تعیین می گردد که حداقل خسارت به مناطق سیل گیر وارد گردد. بنابراین کنترل زمان واقعی سیل، مستلزم ایجاد سیستم های پیش بینی براساس اطلاعات هیدروکلیماتولوژی ثبت شده در زمان واقعی می باشد. بدین معنی که با تجهیز حوزه به سیستم تله متری و اندازه گیری در ایستگاههای سنجش از دور، اطلاعات به صورت خودکار به مرکز دیسپاچینگ مخابره شده و براساس این اطلاعات و استفاده از آن در سیستم پیش بینی، بزرگی سیلاب در حال وقوع در نقاط مختلف حوزه پیش بینی می شود. سپس براساس نتایج پیش بینی بهترین عملکرد مخازن و سازه های مربوطه، قبل از وقوع سیل و در زمان وقوع آن تعیین می گردد. با توجه به موارد فوق الذکر، اجزاء سیستم های کنترل زمان واقعی سیل را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- زیرسیستم تله متری جهت اندازه گیری و مخابره اطلاعات

۲- زیرسیستم پیش بینی سیل

۳- زیرسیستم بهره برداری زمان واقعی برای تعیین عملکرد بهینه سیستم رودخانه ای

۴- زیرسیستم پخش سیل برای تعیین محدوده سیل گیر

## اهمیت پیش بینی سیل در بهره برداری از مخازن

با توجه به تمرکز بارش در فصولی از سال در اکثر حوزه های آبریز و وجود سیلابهای خسارت زا در این فصول، یکی از مهمترین اهداف سدهای مخزنی موجود در کشور کنترل سیلابهای ورودی به این مخازن و کاهش خسارت سیل در پایاب آنها می باشد. در این راستا، یکی از مشکلات بهره برداران از مخازن در مواقع سیلابی، عدم وجود الگوی مشخص بهره برداری با توجه به مشخصات مخزن و شدت سیلاب ورودی به مخزن و همچنین عدم آگاهی آنها از وضعیت سیلاب سرشاخه حوزه می باشد. این موضوع سبب شده است که همواره نحوه کنترل سیل و حتی تراز نرمال بهره برداری در فصول سیلابی به صورت کاملاً محافظه کارانه تعیین شده و از حجم ذخیره مخزن در این فصول به صورت بهینه استفاده نگردد. این موضوع نه تنها در مورد مخازن بلکه در سایر طرحهای منابع آب از قبیل تونلهای انحراف و سیستم های انحراف موقتی نیز تاثیر گذاشته است. تونلهای انحراف که عمدتاً جهت انحراف آب رودخانه در زمان ساخت سدها طراحی می گردند، بسته به درجه خـطر وقوع سیل، ظرفیت آبگذری آنها تعیین می گردد. در اکثر این طرحها به علت احتمال وقوع سیل در دوران ساخت سد و خسارات فراوان ناشی از وقوع آن، سیلاب طراحی این

طرحها با ضریب اطمینان بالایی در نظر گرفته می شود. در این مورد تنها به این نکته اشاره می شود که با مدیریت کنترل سیل نه تنها در نحوه بهره برداری از سازه های آبی بلکه در تعیین سیلاب طراحی سیستم های آبی نیز می توان تحول قابل توجهی ایجاد کرد. ایجاد سیستم های پیش بینی سیل به عنوان ابزاری برای مدیریت کنترل سیل مخازن در افزایش کارایی مخازن موجود و کاهش هزینه های اجرائی سدهای در دست مطالعه بسیار حائز اهمیت می باشد. جهت مقایسه درجه بهبود بهره برداری در صورت وجود سیستم های پیش بینی سیل، به صورت موردی مطالعه کنترل سیل مخازن دز و کارون ۱ به شرح زیر انجام شده است.

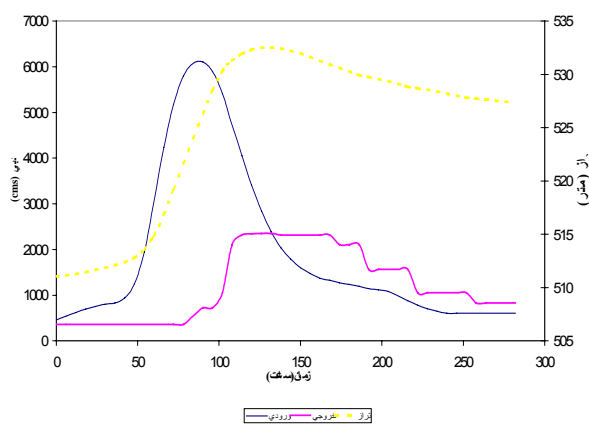
## مخازن دز و کارون ۱

سیستم رودخانه های دز و کارون با دو مخزن در دست بهره برداری و چهار سد در دست ساخت، از غنی ترین منابع آبی کشور به شمار می رود. بهره برداری از مخازن موجود این سیستم رودخانه ای برعهده شرکتهای بهره برداری دز و کارون بوده که الگوریتم بهره برداری از آنها توسط دفتر بهره برداری سازمان آب و برق خوزستان دیکته می شود. بهره برداری کنترل سیل این مخازن عمدتاً براساس افزایش تراز و وضعیت سیلابی حوزه های پائین دست مخازن بوده و در بعضی مواقع سیلاب ایستگاههای بالا دست مخازن در تعیین عملکرد آنها در نظر گرفته شده است. آنچه مسلم است اینست که حتی در صورت پیش بینی سیل براساس ایستگاههای بالادست مخزن، به علت فاصله زمانی کم بین این ایستگاهها و مخزن، زمان پیش بینی به حدی نیست که در بهره برداری کنترل سیل مخزن تاثیر زیادی بگذارد. در این رابطه ایستگاههای هیدرومتری واقع در سرشاخه های حوزه ها که اختلاف زمانی وقوع سیل در آنها نسبت به مخازن قابل توجه می باشد، در بهره برداری کنترل سیل مخازن در نظر گرفته نمی شوند. بنابراین به جرات می توان گفت که بهره برداری کنونی کنترل سیل مخزن صرفاً براساس شدت سیلاب ورودی به مخزن و بدون در نظر گرفتن وضعیت سیلاب سرشاخه ها می باشد. جهت مقایسه وضعیت کنترل سیل مخازن دز و کارون ۱ در دو حالت بهره برداری براساس پیش بینی سیل و بهره برداری براساس تراز مخزن، کنترل سیلاب ۱۰۰ ساله حوزه شبیه سازی شده است. در این راستا بهره برداری مخزن یا به عبارت دیگر مانور دریچه های سرریز یکبار براساس افزایش تراز مخزن و یکبار براساس سیلاب ورودی پیش بینی شده به مخزن تعیین شده است. بهره برداری براساس سیلاب ورودی مستلزم آگاهی از کمیت سیلاب ورودی به مخزن در یک گام زمانی آتی (بسته به گام زمانی محاسباتی) می باشد. در این مقاله، گام زمانی محاسبات ۶ ساعت در نظر گرفته شده است. با وجود اینکه ۶ ساعت پیش بینی سیل قبل از وقوع آن در حوزه های آبریز دز و کارون با زمان تمرکز بالای ۳۰ ساعت، مقدار کمی می باشد ولی از آنجا که با افزایش زمان پیش بینی (Lead time)، دقت پیش بینی کاهش یافته و برعکس با کاهش زمان پیش بینی دقت افزایش می یابد. لذا تاثیر پیش بینی سیل با اطمینان پذیری و دقت بالا بررسی شده تا خطای پیش بینی به حداقل رسیده و تاثیر این خطا در بهره برداری کاهش یابد. برای تعیین نحوه مانور دریچه ها براساس افزایش تراز مخزن، مسئله انطباق شبیه سازی کنترل سیل با شرایط واقعی بهره برداری و استفاده از حداکثر حجم مخزن برای کنترل سیلاب ورودی مدنظر قرار گرفته است. حداکثر ظرفیت پایاب سد در هر دو حالت بهره برداری برای مخازن کارون ۱ و دز به ترتیب ۲۳۵۰ و ۱۹۸۰ متر مکعب در ثانیه در نظر گرفته شده است. در این حالت حداکثر گشودگی دریچه های سرریز، برای سد کارون ۱، ۱۵٪ و برای سد دز ۳۰٪ می باشد. نحوه مانور دریچه های سرریز و نیروگاه براساس افزایش تراز مخزن در جدول (1) نشان داده شده است.

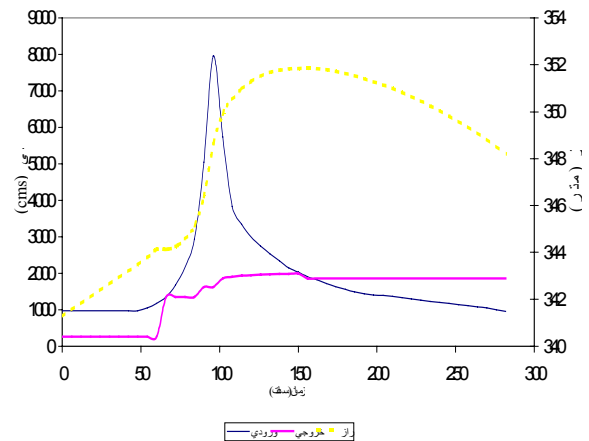
سد کارون ۱			سد دز		
تراز مخزن	دستورالعمل بهره برداری	دبی خروجی از سد	تراز مخزن	دستورالعمل بهره برداری	دبی خروجی از سد
518	دو واحد نیروگاه	360	335	چهار واحد نیروگاه	260
520	سه واحد نیروگاه	540	339	چهار واحد نیروگاه	260
522	چهار واحد نیروگاه	720	340	چهار واحد نیروگاه	260
527	۵٪ گشودگی دریاچه اول و چهار واحد نیروگاه	825	341	چهار واحد نیروگاه	260
528	۱۰٪ گشودگی دریاچه اول و چهار واحد نیروگاه	1049	342	چهار واحد نیروگاه	260
529	۱۵٪ گشودگی دریاچه اول و ۱۰٪ دریاچه دوم و چهار واحد نیروگاه	1563	343	چهار واحد نیروگاه	260
530	۱۵٪ گشودگی دریاچه اول و ۱۵٪ دریاچه دوم و چهار واحد نیروگاه	2107	344	۲۰٪ گشودگی دو دریاچه اول و ۳۰٪ گشودگی سایر دریاچه ها و چهار واحد نیروگاه	1349
531	۱۵٪ گشودگی سه دریاچه و چهار واحد نیروگاه	2319	345	۳۰٪ گشودگی تمام دریاچه ها و چهار واحد نیروگاه	1626
533	۱۵٪ گشودگی سه دریاچه و چهار واحد نیروگاه	2403	348	۳۰٪ گشودگی تمام دریاچه ها و چهار واحد نیروگاه	1860

**جدول (۱):** نحوه بهره برداری از مخازن با حداکثر گشودگی 15% دریاچه های سرریز کارون ۱ و گشودگی ۳۰٪ دریاچه های سرریز دز

همانطور که در این جدول مشخص است، در تراز نرمال بهره برداری، در سد کارون ۱ دو واحد از چهار واحد نیروگاه با دبی خروجی ۳۶۰ و در سد دز چهار واحد از هشت واحد نیروگاه با دبی خروجی ۲۶۰ متر مکعب در ثانیه فعال هستند. با افزایش تراز مخزن، تعداد بیشتری از واحدهای نیروگاه کارون ۱ فعال شده و درمورد دز به علت محدودیت دیسپاچینگ جهت تنظیم فرکانس برق کشور، تعداد واحدهای تولید نیرو ثابت در نظر گرفته شده و از تراز ۳۴۱ متر به بالا دریاچه های سرریز فعال شده اند. درمورد نیروگاه سد دز، با بررسی بهره برداری ثبت شده، چهار واحد تولید نیرو در فصول تر به صورت فعال در نظر گرفته شده است. با افزایش تراز مخزن در سد کارون ۱ ظرفیت تولید نیروگاه، به حداکثر مقدار رسیده و در صورت افزایش تراز مخزن با حداکثر تخلیه نیروگاه، دریاچه های سرریز با گشودگی تدریجی هر یک از دریاچه ها فعال شده اند. حداکثر گشودگی دریاچه های سرریز سد کارون ۱ در تراز ۵۳ متر و در سد دز در تراز ۳۴۵ متر رخ داده است. مانور دریاچه های سرریز به صورت گشودگی تدریجی مشابه بهره برداری واقعی سدها نیز اعمال می گردد. مطمئن ترین راه کار کنترل سیلابهای کوچک و بزرگ که مسئله آبگیری و افزایش حجم ذخیره مخزن را به مخاطره نیندازد، گشودگی تدریجی دریاچه ها است. در صورت نبودن پیش بینی از سیلاب سرشاخه های حوزه این روش بهره برداری، از تخلیه مخزن در سیلابهای کوچک و عدم آبگیری آن در این سیلابها جلوگیری می کند. با استفاده از الگوی بهره برداری فوق، به صورت سعی و خطا، تراز نرمال بهره برداری طوری تعیین شده که از حداکثر حجم مخزن استفاده شده و در عین حال گشودگی دریاچه ها از حداکثر میزان در نظر گرفته شده افزایش نیابد. براین اساس تراز نرمال بهره برداری یا تراز اولیه کنترل سیل برای مخازن کارون ۱ و دز به ترتیب ۵۱۴ و ۳۳۸ متر حاصل شده اند. نحوه عملکرد مخازن کارون ۱ و دز برای کنترل سیلاب ۱۰۰ ساله مطابق اشکال (۱) و (۲) حاصل شده است.



شکل (۱): عملکرد مخزن کارون ۱ در بهره برداری بر اساس تراز مخزن

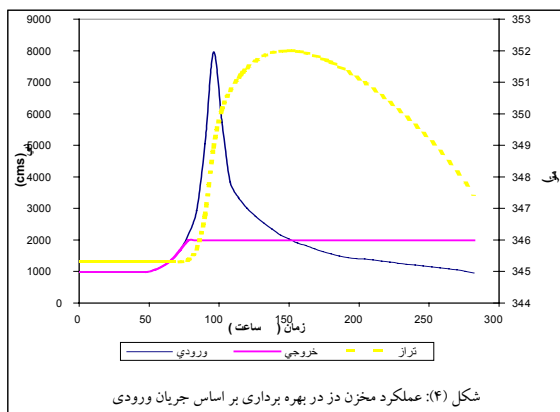


شکل (۲): عملکرد مخزن دز در بهره برداری بر اساس تراز مخزن

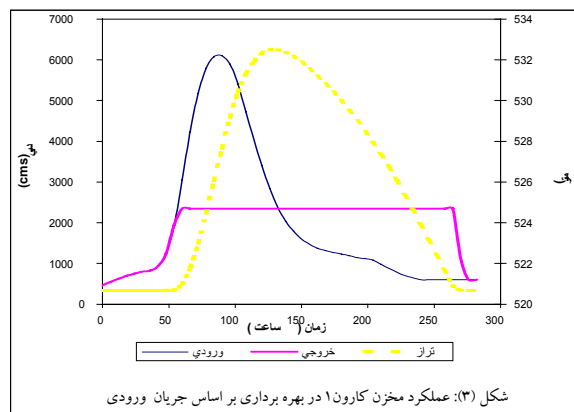
نحوه کنترل سیل مخازن در صورت وجود پیش بینی سیل در ۶ ساعت آینده و استفاده از آن در بهره برداری، به صورت زیر بوده است:

- ۱- هیدروگراف سیلاب ورودی با پیش بینی ۶ ساعته در مخزن روندیابی شده است.
- ۲- دبی خروجی از مخزن در صورتی که کمتر از ظرفیت مجاز پائین دست (حداکثر گشودگی در نظر گرفته شده) باشد منطبق بر هیدروگراف سیلاب ورودی شده است. این نوع بهره برداری به علت پیش بینی یک گام به جلو هیدروگراف ورودی به مخزن در زمان واقعی قابل اجرا می باشد.
- ۳- در صورت افزایش دبی خروجی از سد از ظرفیت پائین دست، دبی خروجی از مخزن منطبق بر ظرفیت پایاب سد شده است.
- ۴- در صورت پر شدن حجم مخزن و وجود ظرفیت بالای تخلیه، سیلاب خروجی از سد بیشتر از ظرفیت مجاز پائین دست شده و به حدی می رسد که تراز مخزن از حداکثر تراز مجاز مخزن تجاوز نکند.

طبق دستورالعمل فوق، تراز نرمال بهره برداری از مخازن (تراز اولیه کنترل سیل) طوری تعیین شده است که ضمن استفاده کامل از حجم کنترل سیل، بند چهارم دستورالعمل فوق اتفاق نیافتد. بدین معنی که از حداکثر ظرفیت مخزن برای تخلیه سیلاب در حد ظرفیت پایاب سد استفاده شده است. با اعمال موارد فـسـوق الذکر، تراز نرمال بهره برداری در مخازن کارون ۱ و دز به ترتیب ۵۲۰/۷ و ۳۴۵/۳ متر حاصل شده است. عملکرد مخازن کارون ۱ و دز در کنترل سیلاب ۱۰۰ ساله به ترتیب در اشکال (۳) و (۴) آمده است

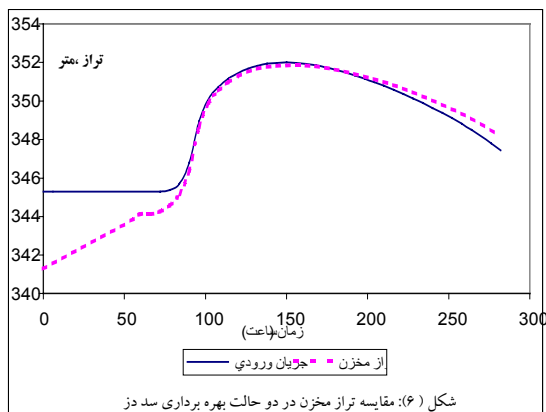


شکل (۳): عملکرد مخزن کارون ۱ در بهره برداری بر اساس جریان ورودی

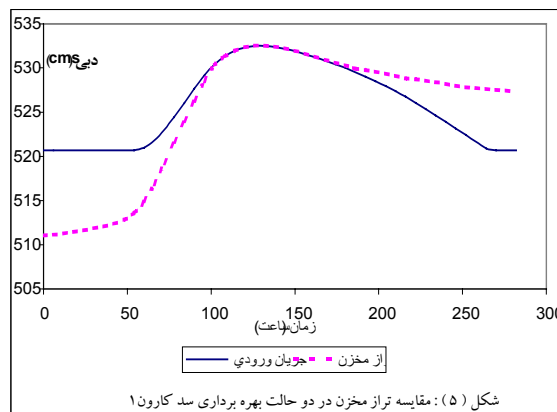


شکل (۴): عملکرد مخزن دز در بهره برداری بر اساس جریان ورودی

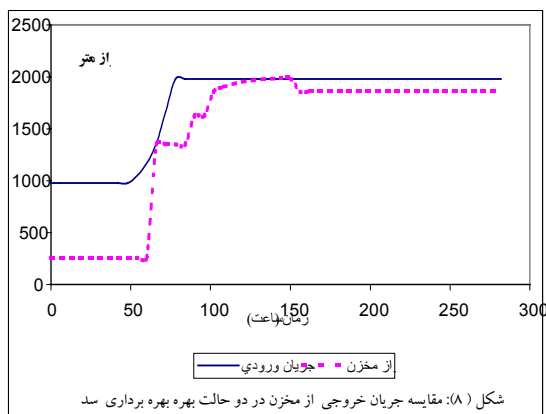
مقایسه تراز مخزن در دو حالت بهره برداری براساس پیش بینی سیل و تراز مخزن، به ترتیب در اشکال (۵) و (۶) و دبی خروجی از مخزن در اشکال (۷) و (۸) آمده است. خلاصه نتایج بهره برداری و مشخصات مخازن در دو حالت بهره برداری در جدول (۲) نشان داده شده است.



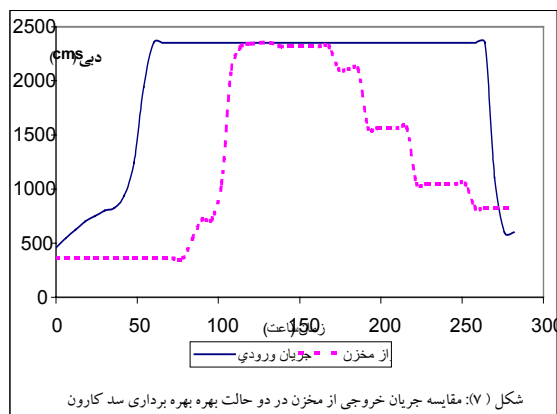
شکل (۶): مقایسه تراز مخزن در دو حالت بهره برداری سد دز



شکل (۵): مقایسه تراز مخزن در دو حالت بهره برداری سد کارون ۱



شکل (۸): مقایسه جریان خروجی از مخزن در دو حالت بهره برداری سد



شکل (۷): مقایسه جریان خروجی از مخزن در دو حالت بهره برداری سد کارون

پارامتر کنترل بهره برداری	مخزن	تراز نرمال (متر)	اختلاف تراز (متر)	حجم کنترل سیل (mcm)	حجم کنترل سیل (%)	حجم مفید ذخیره (mcm)	حداکثر تراز مخزن (متر)	دبی پیک سیلاب ورودی (cms)	دبی پیک سیلاب خروجی (cms)
تراز مخزن	کارون ۱	511	9.7	1016	64.6 (%)	2092.6	532.5	6100	2350
	دز	341	4.3	676.8	56.3 (%)	2747.4	351.85	7950	1980
جریان ورودی	کارون ۱	520.7		617.26		2520.5	532.5	6100	2350
	دز	345.3		433		2991.2	352	7950	1980

جدول (۲): مقایسه عملکرد و مشخصات مخازن در دو حالت بهره برداری

همانطور که در این جدول مشخص است، در حالت اعمال بهره برداری براساس جریان پیش بینی شده در ۶ ساعت آینده نسبت به بهره برداری براساس تراز مخزن، در سد کارون ۱، تراز نرمال بهره برداری به میزان ۹/۷ متر افزایش و حجم کنترل به میزان ۶/۶۴٪ کاهش یافته است. همچنین این مقادیر در سد دز به ترتیب ۴/۳ متر و ۵۶/۳٪ می باشد. مقایسه نحوه عملکرد مخازن در هریک از حالت‌های بهره برداری به این امر منتج شده که در بهره برداری براساس تراز، جریان خروجی از مخزن در اوایل ورود سیل به مخزن کمتر از حالت بهره برداری براساس پیش بینی جریان ورودی، بوده که این امر سبب پرشدن زود هنگام مخزن در این حالت بهره برداری شده است. بنابراین برای کنترل یکسان سیلاب در دو حالت بهره برداری، حجم کنترل سیل لازم در بهره برداری براساس تراز مخزن، به مراتب بیشتر خواهد بود. از آنجاکه در طول فصل سیلابی این بخش از حجم مخزن جهت کنترل سیلاب‌های ورودی به آن خالی نگه داشته می شود، لذا علاوه بر کاهش هد موثر نیروگاه و در نتیجه کاهش تولید انرژی در طول فصول سیلابی، خالی بودن مخزن در سال‌های خشک اطمینان پذیری آنگیری مجدد آن را کاهش می دهد. در اکثر سالها، آنگیری مخزن از اوایل یا اواخر فصل زمستان آغاز می شود. در صورت کاهش حجم مخزن و کاهش پتانسیل آبدهی ورودی، آنگیری مخزن در آن سال به مخاطره خواهد افتاد. بنابراین پیش بینی سیل نه تنها از نظر کنترل بهتر سیل بلکه از لحاظ افزایش تولید انرژی و حجم ذخیره مفید مخزن نیز حائز اهمیت می باشد. جهت مقایسه افزایش تولید نیروگاهی در سدهای دز و کارون ۱ در دو حالت بهره برداری کنترل سیل، با استفاده از ۸۰٪ ظرفیت تولید نیروگاه کارون ۱ و ۶۰٪ ظرفیت تولید نیروگاه دز انرژی تولیدی آنها به صورت جدول (۳) محاسبه شده اند.

پارامتر بهره برداری کنترل سیل مخزن	مخزن	تراز نرمال بهره برداری	تراز پایاب نیروگاه (m)	جریان خروجی از نیروگاه (cms)	ارتفاع موثر توربین	راندمان توربین	انرژی تولیدی (GWH) ماه	انرژی تولیدی در ۵ ماه (GWH)
جریان ورودی	کارون ۱	۷۰۵۲۰	۳۶۷۰۵	۵۷۰	۱۵۳	۰۸	۴۹۳۰۷	۲۴۶۸۰۵
پیش بینی شده	دز	۳۴۵۰۷	۱۷۴۰۳	۳۰۰	۱۷۱۰۴	۰۸	۲۹۱	۱۴۵۵
تراز مخزن	کارون ۱	۵۱۱	۳۶۷۰۵	۵۷۰	۱۴۳۰۵	۰۸	۴۶۳	۲۳۱۵
	دز	۳۴۱	۱۷۴۰۳	۳۰۰	۱۶۶۰۷	۰۸	۲۸۳	۱۴۱۵

جدول (۳): مقایسه انرژی تولیدی در نیروگاه‌های دز و کارون ۱ در دو حالت کنترل سیل

علت در نظر گرفتن ۶۰٪ تولید نیروگاه دز، محدودیت اعمال شده از طرف دیسپاچینگ جهت تنظیم فرکانس شبکه برق کشور بوده است. همانطور که مشاهده می شود انرژی تولیدی در ۵ ماه سیلابی از آذر تا فروردین، در اثر افزایش تراز نرمال مخزن با استفاده از سیستم پیش بینی سیل ۵/۲٪ افزایش نسبت به بهره برداری کنترل سیل براساس تراز مخزن نشان می دهد. البته این درصد افزایش با در نظر گرفتن کارکرد نیروگاهها با درصدی از ظرفیت تولید می باشد، که در شرایط کنونی بهره برداری مخزن به علت محدودیت دیسپاچینگ و نیمه پیک بودن نیروگاهها در ساعات غیر پیک بار برق کشور، به واقعیت نزدیک می باشد. در صورت اعمال سیاست بهره برداری حداکثر از نیروگاههای آبی توسط شرکت توانیر، درصد افزایش تولید انرژی در صورت پیش بینی سیل جهت بهره برداری کنترل سیل بهبود خواهد یافت. لازم به ذکر است که این مقایسه صرفاً در صورت پیش بینی سیل در ۶ ساعت آینده بوده و در صورت تجهیز حوزه به سیستم های پیش بینی سیل این زمان به مراتب افزایش خواهد یافت. از طرف دیگر به علت وجود ظرفیت تخلیه بالای مخزن در ترازهای فوقانی آستانه سرریز (سرریز مجهز به دریچه های کنترل قطاعی) با افزایش زمان پیش بینی امکان کاهش تراز مخزن را تا پایین تر از تراز آستانه سرریز به راحتی امکان پذیر می سازد. این موضوع به خصوص در کنترل سیلابهای بزرگ حوزه و اطمینان از کاهش سیلاب طراحی سازه های پایین دست و کنترل زمان واقعی سیل توسط مخازن بالادست حائز اهمیت می باشد. علاوه بر مسائل فوق، با افزایش تعداد مخازن در سیستم رودخانه ای مسئله کنترل سیلاب آنها پیچیده



تر شده و در این شرایط، بهره برداری یکپارچه مخازن و ایجاد سیستم های کنترل سیل در حداقل کردن خسارت ناشی از وقوع سیل در مناطق سیل گیر بسیار موثر خواهد بود. هماهنگی مخازن جهت کنترل سیلاب حوزه های بالادست و میانی مستلزم ایجاد سیستم های کامپیوتری و استفاده از نرم افزار می باشد. چراکه در چنین شرایطی تعداد حالات ترکیب بهره برداری به حدی زیاد می شود که امکان انتخاب مناسبترین حالت بدون بکارگیری کامپیوتر وجود ندارد. بنابراین با توسعه حوزه آبریز و پیچیده شدن آن، ضرورت ایجاد سیستم های کنترل زمان واقعی بیشتر محسوس شده و بدون آن عملاً بهره برداری بهینه از سیستم غیر ممکن خواهد بود. این موضوع به خصوص در حوزه آبریز کارون با بهره برداری رسیدن مخازن در دست ساخت و همچنین با اجرای سایر طرحهای در دست مطالعه صادق بوده و در اولویت بندیهای حوزه های آبریز کشور برای ایجاد سیستم های مدیریت سیلاب باید مدنظر قرار گیرد. بنابراین فواید ایجاد سیستم پیش بینی سیل را می توان به صورت زیر خلاصه کرد.

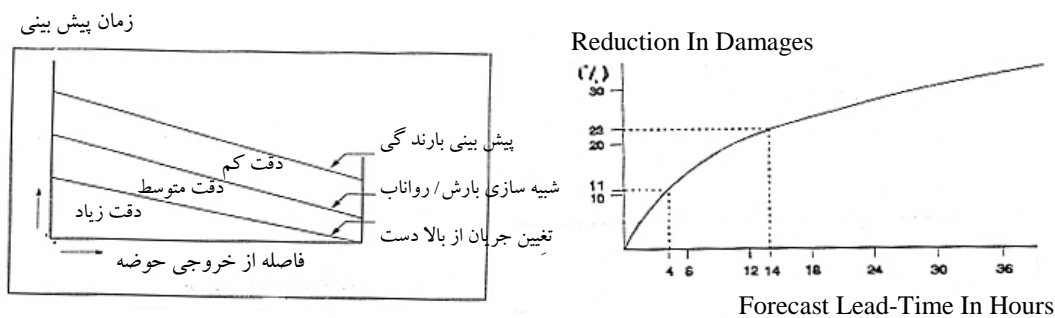
- الف- افزایش راندمان سیستم موجود مخازن در کنترل بهینه سیل و افزایش تراز نرمال بهره برداری
- ب- ایجاد سیستم پویای کنترل سیل با هماهنگی بهره برداری کنترل سیل مخازن
- ج- آگاهی کامل از وضعیت سیلاب سرشاخه ها و مناطق سیلگیر و اخذ تصمیم گیریهای مناسب
- د- کاهش سیلاب طراحی با کنترل بهینه سیلاب با استفاده از مخازن بالادست

### راه کارهای ایجاد سیستم پیش بینی سیل در کشور

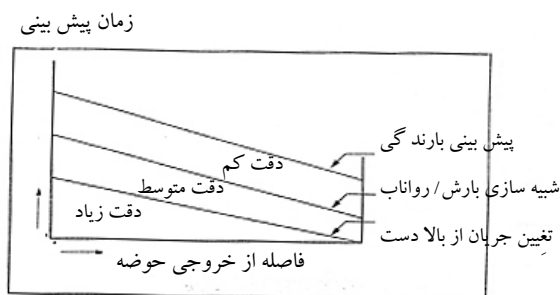
سیستم های پیش بینی سیل با تجربه ای بیش از ۴۰ سال، پس از نصب و راه اندازی و با اصلاح و بهنگام سازی دائم آنها، به سیستم های پیچیده و کارآ تبدیل شده اند. آنچه مسلم است اینست که کشور ما در ابتدای این راه قرار داشته و انتظار ایجاد سیستم های پیش بینی مشابه سیستم های کشورهای توسعه یافته انتظار بیجائی است. در هر صورت دو راهکار کلی را می توان در این زمینه پیشنهاد کرد. اولین راه کار استفاده از تجربیات چندین و چند ساله موجود در این زمینه در خارج از کشور و خرید مدل های مربوطه و دومین راه کار توسعه بنیادی این سیستم ها و توسعه و بهنگام سازی آنها در طی سالهای آتی می باشد. در راه کار اول، امکان توسعه و افزایش قابلیت این سیستم ها توسط متخصصین داخلی وجود نداشته و جهت افزایش کارایی این سیستم ها باید به نیروهای خارجی متکی بود. در روش دوم زمان رسیدن به یک سیستم کارآ و پیشرفته طولانی بوده ولی در مقابل امکان اصلاح و توسعه آنها در داخل کشور میسر می باشد. از بین دو راه کار فوق شاید راه کار بینابینی نیز وجود داشته باشد که آن استفاده از بخشی از تجربیات خارجی و خرید برخی مدلها و توسعه سایر بخشهای سیستم پیش بینی در داخل می باشد. این راه کار در صورت امکان می تواند به عنوان بهترین روش در شرایط کنونی باشد. چرا که در وضعیت کنونی حوزه ها و با توسعه طرحهای منابع آب و ضرورت نصب و راه اندازی سیستم های پیش بینی، صرف زمان طولانی برای ایجاد سیستم پیش بینی کارآ، منطقی و معقول به نظر نمی رسد. از طرف دیگر امکان ایجاد سیستم پیش بینی پیچیده و کارآ با توجه به دانش و اطلاعات موجود در کشور کاری بس مشکل می باشد. در این رابطه استفاده از مدلها و نرم افزارهای مختلف در بخشهای مختلف سیستم پیش بینی نه تنها در سرعت بخشیدن به کار بلکه در حصول اطمینان از نتایج این مدلها و عدم صرف زمان برای تهیه نرم افزارهای پایه بسیار موثر و مفید خواهد بود. در توسعه اکثر سیستم های پیش بینی سیلاب نیز کار به همین منوال بوده و ساختار بسیاری از این سیستم ها را نرم افزارهای مختلف تشکیل می دهد. به نمونه ای از این سیستم ها می توان به مدل پیش بینی و کنترل زمان واقعی (National Weather Service River Forecast System) و Colorado اشاره کرد. بنابراین با تعریف پروژه های مشترک بین متخصصین داخلی و موسسه های معتبر خارجی ضمن صرفه جویی ارزی نسبت به واگذاری کامل آن به این موسسه ها، می توان با سرعت بیشتری به این مهم دست یافت. از طرف دیگر انتقال تکنولوژی و فن آوری مربوطه امکان پذیر خواهد بود.

## روشهای پیش بینی سیل

از مهمترین مشخصه های سیل می توان به دبی سیل و زمان وقوع آن اشاره کرد. در این رابطه پیش بینی دبی سیل و مدت زمان پیش بینی آن قبل از وقوع (Lead time) هر دو حائز اهمیت می باشد. مدت زمان پیش بینی بسته به مشخصات حوزه، نوع اطلاعات مخابره شده در زمان واقعی و روش پیش بینی متفاوت می باشد. هرچه مدت زمان پیش بینی سیل افزایش یابد، زمان کافی برای ایجاد تمهیدات مقابله با سیل بیشتر بوده و کاهش خسارت ناشی از وقوع آن قابل توجه خواهد بود. در مقابل خطای پیش بینی بسته به ماهیت روش افزایش یافته و ریسک تصمیم گیری براساس نتایج پیش بینی های انجام شده زیاد می شود. رابطه بین زمان پیش بینی با خسارات ناشی از وقوع سیل و خطای پیش بینی در اشکال (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۹): رابطه زمان پیش بینی با خسارت



شکل (۱۰): رابطه زمان پیش بینی با خطا

در این رابطه روشهای پیش بینی متعددی برای سیل وجود دارد که دارای زمان پیش بینی مختلفی هستند. روشهای پیش بینی سیل را در حالت کلی به دو دسته میتوان تقسیم کرد.

- ۱- پیش بینی سیل براساس پیش بینی کمیت بارش (QPF)<sup>۱</sup>
- ۲- پیش بینی هیدرولوژیکی سیل

در روش اول مقدار باران پیش بینی شده و از طریق بارش قابل وقوع، سیلاب حوزه پیش بینی می شود. این روش از زمان پیش بینی طولانی و همچنین خطای بالایی نسبت به روش دوم برخوردار بوده و در حوزه هایی که دارای زمان تمرکز کم و سیلاب ناگهانی می باشد کاربرد دارد. روشهای متعددی برای پیش بینی کمیت بارش وجود دارد که از جمله آنها می توان به تحلیل بارشهای ثبت شده در ایستگاههای هواشناسی و استفاده از نقشه های ماهواره ای ابرها اشاره کرد. اصول روش دوم متکی بر اطلاعات ثبت شده در ایستگاههای هیدروکلیماتولوژی می باشد. روشهای موجود در این زمینه براساس تکنیک های آماری و هیدرولوژیکی برای تحلیل داده های تاریخی ثبت شده استوار بوده است. در این رابطه از روابط گرافیکی و معادلات ریاضی نیز استفاده می شود. در این خصوص، روابط و روشهای مورد استفاده در سطح دنیا بسیار متنوع بوده و از معادلات ساده همبستگی گرفته تا معادلات پیچیده هیدرولیکی حوزه متغیر می باشد. روشهای مورد استفاده در سطح دنیا بسته به اهمیت پیش بینی سیل و تجهیزات موجود متفاوت بوده و در اکثر کشورهای پیشرفته امکانات پیشرفته تری نسبت به سایر کشورها در این زمینه استفاده می گردد. با توجه به وضعیت کنونی کشور و فن آوریهای موجود، استفاده از بسیاری از روشهای مورد استفاده در کشورهای پیشرفته ممکن نمی باشد. امکانات بسیاری

از کشورهای در حال توسعه مشابه ایران بوده ولی سیستم های پیش بینی سیل در آنها به صورت قابل ملاحظه ای توسعه یافته و مورد استفاده قرار می گیرند. به عنوان نمونه در این بخش مقاله، سیستم های پیش بینی در کشورهای آسیای جنوب شرقی مورد بررسی قرار گرفته و به صورت خلاصه ارائه شده است.

### الف - کشور هند

در این کشور ۱۵۷ ایستگاه پیش بینی سیل نصب شده که ۱۳۲ ایستگاه آن برای پیش بینی تراز آب در مناطق سیل گیر و ۲۵ ایستگاه برای پیش بینی جریان ورودی به مخازن می باشد. ۱۳۲ ایستگاه پیش بینی تراز رودخانه، ۶۲ حوزه و زیر حوزه را پوشش می دهد. همچنین سازمان هواشناسی، اطلاعات عمومی وضعیت هوا، مقدار بارش در ۲۴ ساعت گذشته و هشدار احتمال وقوع بارش شدید برای ۲۴ ساعت آتی در حوزه های مختلف و همچنین محدوده تغییرات کمیت بارش پیش بینی شده را تعیین می کند. نحوه انتقال اطلاعات در زمان واقعی توسط شبکه ارتباطی مجهز به بی سیم VHF/HF انجام می شود. متغیرهای مهم در رابطه با پیش بینی سیل به صورت زیر خلاصه می شوند:

- دبی و تراز در ایستگاههای هیدرومتری پایه
- دبی و تراز در گامهای زمانی گذشته در ایستگاههای پیش بینی
- تغییرات دبی و تراز آب ایستگاههای پایه
- زمان حرکت سیل بین ایستگاههای پایه و ایستگاههای پیش بینی در مراحل مختلف
- بارش (کمیت، شدت و تداوم) در سطح حوزه آبریز
- توپوگرافی، پوشش گیاهی، نوع خاک، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، سطح ایستابی آبهای زیرزمینی، راندمان رطوبت خاک و سایر اطلاعات حوزه آبریز
- شرایط اقلیمی و اتمسفری
- دبی و تراز آب رودخانه های فرعی مهم بین ایستگاههای پایه و ایستگاههای پیش بینی
- کمیت پیش بینی شده بارش

انواع همبستگی هایی که به صورت گسترده در حوزه ها مورد استفاده قرار می گیرند عبارتند از:

- همبستگی مستقیم بین اشل و دبی در ایستگاههای بالادست و پائین دست
- همبستگی مستقیم بین دبی پیک در ایستگاههای پیش بینی و پایه
- همبستگی بین تغییرات تراز آب ایستگاههای پایه و تغییرات تراز آب ایستگاههای پیش بینی در طی تاخیر زمانی T ساعت (T - زمان حرکت سیل بین ایستگاههای پایه و پیش بینی)
- همبستگی بین ترازهای ساعت N ام و (N+T) ام ایستگاههای پیش بینی با تغییرات تراز در ایستگاههای پایه طی T ساعت گذشته به عنوان متغیر.

پس از ایجاد این روابط همبستگی، گرافهای تیبی برای پیش بینی تراز آب در ایستگاههای پیش بینی حاصل شده است. نحوه افزایش تراز آب در برخی حوزه ها نیز براساس معادلات ریاضی و با بکار بردن ابزار سنجش از دور در سطح حوزه تعیین می شود. در مواقعی که همبستگی بین ایستگاهها به علت سهم زیاد سیلاب رودخانه های فرعی یا تغییرات شرایط اولیه رطوبت خاک نتایج مناسبی حاصل ندهد، پارامترهای اضافی نظیر دبی و تراز رودخانه های فرعی، متوسط بارش، مشخصات حوزه سیل خیز و شاخص پیش بینی بارش (API)<sup>۱</sup> جهت ارائه نتایج بهتر از طریق مخابره زمان واقعی اخذ می گردد. در این رابطه، مدل های مختلف توسعه داده شده و از قابلیت های مدل SSARR, NLC-NLM, HEC-IF، و MIKE11 استفاده شده است.

### 1- Anticipated Precipitation Index

## ب - نپال

در این کشور تا پایان سال ۱۹۹۸، ۴۵ ایستگاه هیدروکلیماتولوژی در شبکه تله متری تجهیز شده است. در ژوئیه ۱۹۹۳ با وقوع بارش با تداوم ۲۴ ساعت حدود ۵۴۰ میلی‌متر در حوزه رودخانه Bagmati سیلابی با دبی بیک ۱۶۰۰۰ m<sup>3</sup>/s بوقوع پیوست. این سیل بیشتر از سیلاب طراحی سازه های آبی احداث شده در این حوزه بود. پس از بروز خسارات فراوان ناشی از وقوع این سیل، بهترین روش کاهش خسارت سیل در حوزه، ایجاد سیستم های پیش بینی و هشدار سیل تشخیص داده شد. براین اساس بررسی و ایجاد تمهیدات لازم برای مخابره اطلاعات زمان واقعی حوزه به مرکز پیش بینی و هشدار شروع شده و امکانات ایستگاههای هواشناسی جهت پیش بینی سیل مورد استفاده قرار گرفتند. مهمترین هدف این سیستم، کاهش خسارات سیل مخصوصاً کاهش تلفات انسانی بود. نصب مقدماتی سیستم پیش بینی و هشدار سیل با استفاده از پشتیبانی شبکه رادار قوی برای مخابره اطلاعات آغاز شد. تجهیزات این سیستم شامل موارد زیر بود:

- ۱- ایستگاههای رادار مجهز به دکلهای رادار ذخیره ای ساده
- ۲- شبکه ایستگاههای ثبت آمار با ۵ ایستگاه ثبت تراز آب و ۱۴ ایستگاه ثبت بارش
- ۳- گرافهای کمیت بارش قابل وقوع حاصل از سیستم رادارهای هواشناسی
- ۴- مرکز پیش بینی و هشدار سیل
- ۵- دفتر پیش بینی و هشدار در وزارتخانه
- ۶- تجهیزات هشدار نظیر آژیر کارخانه در منطقه

هشدار سیل بر اساس نتایج پیش بینی شامل سه مرحله می باشد. در مرحله اول پیش بینی سیل براساس بارش مشاهده ای در سرشاخه ها انجام شده و هشدار به ساکنین و اعلام آماده باش صورت می گیرد. در مرحله دوم که فرسایش سواحل رودخانه ها در اثر عبور سیل شروع می شود، مقابله با سیل و افزایش تراز سواحل و مناطق ورود آب صورت می گیرد. در مرحله سوم تخلیه ساکنین به علت شدت زیاد سیل انجام می شود. مرحله اول ۳ تا ۴ بار در سال، مرحله دوم یک تا دو بار در سال و مرحله سوم یکبار در ۱۰ سال اتفاق می افتاد.

## ج - ژاپن

کشور ژاپن یکی از سیلخیزترین کشورهای آسیای بشماری می رود. با پشتیبانی سیستمهای پیش بینی سیل، سیلاب طراحی سازه های آبی در این کشور تا سیلاب ۲۰۰ ساله تقلیل یافته و به بهبود بهره برداری مخازن کنترل سیل جهت کاهش بیک و خسارات سیل توجه زیادی شده است. پیش بینی سیل در حوزه های آبریز این کشور شامل مراحل زیر بوده است:

- ۱- جمع آوری تغییرات شرایط اقلیمی از طریق ارتباط نزدیک با متصدیان ایستگاهها
- ۲- جمع آوری اطلاعات ثبت شده بارش، تراز آب، دبی ورودی و خروجی از حوزه و بودجه برفی و دمای حوزه در سیلابهای همراه با ذوب برف و بازسازی اطلاعات لازم در صورت عدم ثبت آنها یا ثبت آمار غلط
- ۳- پیش بینی بارش در زمانهای آتی (و درجه حرارت در سیلابهای همراه با ذوب برف)
- ۴- جایگذاری مقادیر ثبت شده و پیش بینی شده در فرمولهای محاسباتی و اشکال و گرافهای مربوطه در هر حوزه و انجام محاسبات پیش بینی سیل (درمورد حوزه های دارای سد، سیلاب ورودی به سد بصورت مشابه پیش بینی می شود).
- ۵- در رابطه با سدها، سیلاب خروجی از سد در گام زمانی آتی براساس منحنی فرمان با استفاده از جریان ورودی پیش بینی شده و تراز مخزن تعیین می شود.

- ۶- جایگذاری دبی سیل حاصل از بند (۴) و سیلاب خروجی از سد (بند ۵) در فرمهای محاسباتی و انجام محاسبات پیش بینی تراز آب یا دبی سیل در طول مسیر رودخانه
- ۷- در صورت لزوم پیش بینی تراز آب در سیلابدشت در طول رودخانه با استفاده از سیلاب پیش بینی شده در بند (۴)
- ۸- انتشار پیام پیش بینی سیل و هشدار براساس فرمت تصمیم گیری اولیه با هماهنگی متصدیان ایستگاههای هواشناسی
- ۹- ارسال و انتشار پیش بینی سیل به سازمانهای دولتی و خصوصی از طریق شبکه انتشار اولیه.

در پیش بینی سیل آوریل 1983 ، ۱۲۵۷ ایستگاه بارانسنجی و ۱۱۰۵ ایستگاه هیدرومتری در شبکه تله متری با استفاده از ایستگاههای مایکروویو رادیویی و باند VHF کار جمع آوری و انتقال اطلاعات هیدرولوژیکی را در زمان واقعی انجام دادند. این اطلاعات هیدرولوژیکی در طی زمان وقوع سیل به صورت موثری برای پیش بینی و مقابله با سیل مورد استفاده قرار گرفتند. در سیستم های پیش بینی نصب شده ، مدلهای بکار رفته برای پیش بینی سیل شامل مدلهای بارش - رواناب ذخیره ای سریال (Tank-I) در سال ۱۹۶۵ ، مدل Kitakami-Game در سال ۱۹۷۰ ، Tank-II در سال ۱۹۷۱ ، مدل تنظیم مخزن و جریان مصنوعی (I SSARR)<sup>۱</sup> ، مدل هیدرولوژیکی خدمات هواشناسی (NWSH)<sup>۲</sup> ، مدل هیدرولوژیکی پیش بینی رودخانه Sacramento و مدل سیستم خطی محدود شده (CLS)<sup>۳</sup> بوده اند.

#### ۵ - بنگلادش

مناطق سیلابدشت و رودخانه های فرعی حدود ۸۰٪ کشور بنگلادش را پوشش می دهند. سیلابهای حاصل از بارش در کشور بنگلادش و سیلابهای ورودی از کشورهای همسایه سبب بروز خسارت فراوان در آن می شود. هشدار و پیش بینی سیل به عنوان راه حل کلیدی برای کاهش خسارات ناشی از وقوع سیل بیش از ۳۰ سال در این کشور مطرح بوده است. در سال ۱۹۷۲ مرکز هشدار و پیش بینی با هدف انتشار هشدار سیل و سرویس دهی به سازمان غیر مترقبه و کاهش اثرات ناشی از سیل ایجاد شد. از سال ۱۹۷۲ تلاش زیادی برای به روز کردن تکنولوژی لازم جهت تامین نیازهای بشری در هر دوره زمانی انجام شده است. این تلاش توسط سازمانهای محلی و بین المللی و افراد با ملیت های مختلف صورت گرفته است. با بروز کردن تکنولوژی و پیش بینی ، سیستم پیش بینی و هشدار سیل فعلی نصب شده از چهار المان اصلی تشکیل شده است.

۱- جمع آوری بارش و تراز آب ثبت شده در زمان واقعی

۲- پیش بینی های هواشناسی

۳- پیش بینی سیل

۴- انتشار هشدار سیل

۱- Streamflow synthesis and Reservoir Regulation

۲- National Wether Service Hydrologic

۳- Constrained Linear System

پروسه پیش بینی و هشدار سیل در شکل (11) نشان داده شده که اولین جزء این سیستم جمع آوری و پردازش اطلاعات می باشد .

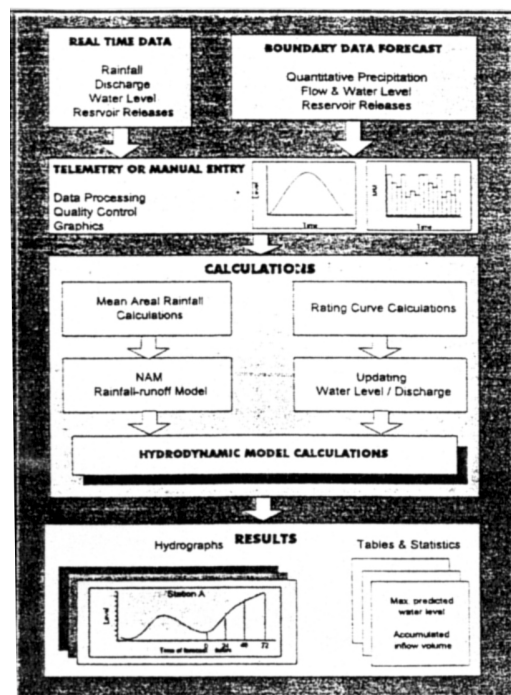
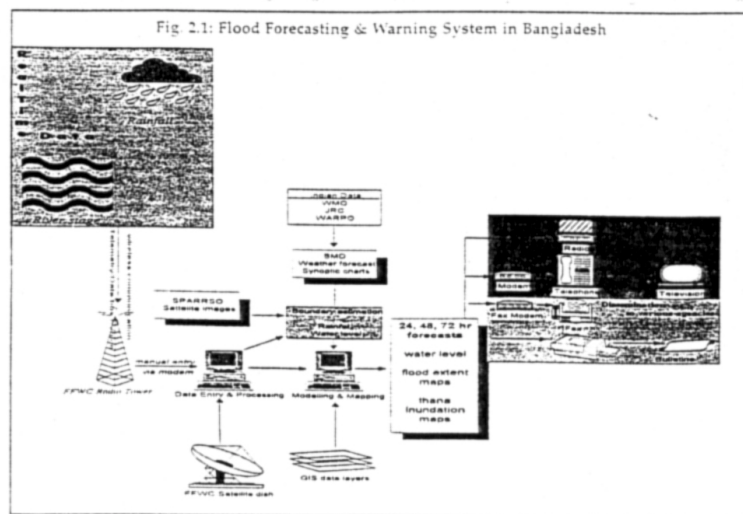


Fig. 2.1: Flood Forecasting & Warning System in Bangladesh



شکل (11): سیستم و روش پیش بینی و هشدار سیل در بنگلادش

شبکه اطلاعات زمان واقعی در بنگلادش شامل ۴۸ ایستگاه تراز آب در رودخانه های اصلی و ۴۹ ایستگاه بارانسنجی روزانه در سطح حوزه ها می باشد. علاوه بر اینکه ۱۴ ایستگاه تله متری در رودخانه های اصلی در نقاط مرزی کشور نصب شده اند، از ۵ ایستگاه در داخل کشور هند نیز اطلاعات تراز آب دریافت می گردد. اطلاعات روز قبل و اطلاعات روز جاری تا هر مقطع زمانی از طریق بی سیم، رادیو یا شبکه کابل انتقال می یابد. اطلاعات زمان واقعی توسط بی سیم ارتباطاتی صدا با کارت پانجهای ثبت داده های الکترونیکی

که می تواند به یک گیرنده و فرستنده UHF وصل گردد به مرکز پیش بینی انتقال می یابد. این اطلاعات در فرمت عددی (Digital) دریافت شده و به فرمت مدنظر تبدیل می گردند.

دبی و تراز سیلاب در مرزهای کشور در ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت آتی براساس تجربیات متصدیان ایستگاهها پیش بینی می شود. پیش بینی کمیت بارش (QPF) و تراز آب جریان ورودی پیش بینی شده در مرز کشور، پایه محاسباتی سیستم پیش بینی را تشکیل می دهند. باید خاطر نشان کرد که اطلاعات تراز آب ایستگاههای داخل کشور هند در اصلاح پیش بینی ها و افزایش زمان پیش بینی (Lead time) بسیار موثر بوده اند. پیش بینی زمان واقعی سیل نیازمند مشخص بودن پروسه بارش-رواناب و جریان در رودخانه ها و همچنین اطلاعات زمان واقعی بارش و شرایط اولیه حوزه و رودخانه می باشد. برای تعیین روابط حاکم در حوزه آبریز، ماجول پیش بینی سیل MIKE11 متعلق به DHI (MIKE11-FF) بکار برده شده است. این ماجول برای انجام محاسبات لازم جهت پیش بینی تغییرات دبی و تراز آب در سیستم رودخانه ای در نتیجه بارش در سطح حوزه و جریان ورودی و خروجی از حوزه طراحی شده است. نرم افزار پیش بینی سیل شامل سه ماجول می باشد که عبارتند از: الف- ماجول بارش - رواناب (NAM)، ب- ماجول یک بعدی هیدرو دینامیک، ج- ماجول بهنگام کردن.

ماجول بارش - رواناب (NAM) یک مدل مفهومی متمرکز بوده که با محاسبه رطوبت خاک به صورت پیوسته با استفاده از منطق محاسباتی چهار مخزن مرتبط، خصوصیات حوزه را شبیه سازی می کند. این ماجول برای شبیه سازی فرآیند بارش - رواناب در حوزه بکار برده می شود. مدل یک بعدی هیدرو دینامیکی، مدل محاسبه جریان غیر دائم به روش حل تفاضلات محدود با منطق محاسباتی ضمنی در شبکه رودخانه ای است. محاسبات این مدل براساس حل معادلات St. Venant در شرایط جریان یکنواخت در محور عمودی و شبیه سازی جریان شبه دو بعدی در سیلابدشت استوار است. ماجول بهنگام سازی، تحلیل کننده تراز و دبی آب شبیه سازی شده و اندازه گیری شده تا زمان پیش بینی جهت کاهش دامنه خطا می باشد. ماجول بهنگام سازی دقت نتایج پیش بینی را به صورت قابل توجهی افزایش می دهد. اصلاح پیش بینی در این ماجول از طریق حداقل سازی تابع هدف در روشهای بهینه سازی مربوطه انجام می شود. بهنگام سازی برای یک نقطه از رودخانه یا یک بازه میتواند اعمال گردد. برای بهبود نتیجه این ماجول لازم است که مدلهای قبلاً خوب کالیبره شده باشند. جهت افزایش کارایی بهنگام سازی مدل تا زمان پیش بینی، لازم است که تعداد بهنگام سازی در بهره برداری زمان واقعی کاهش یابد.

پس از پیش بینی تراز آب، سیل گیری مناطق با بکارگیری مفاهیم GIS تعیین می گردد. هدف از این کار تعیین تغییرات خطی (بالارفتن و پائین افتادن) تراز آب در مناطق سیلابدشت می باشد. برای این منظور با استفاده از مدل رقومی دیجیتالی (DEM) عمق و وسعت منطقه سیل گیر تعیین می گردد. نتایج پیش بینی بخصوص برای پیش بینی ۲۴ ساعت آینده از دقت کافی برخوردار می باشد. در حال حاضر قابلیت سیستم پیش بینی در بنگلادش با استفاده از ایجاد شبکه های عصبی برای مدلسازی هیدرولوژیکی، استفاده از عکس های ماهواره ای و عکسهای رادارهای هواشناسی در حال افزایش است. برای توسعه آتی، یک مدل الحاقی برای سیستم پیش بینی و هشدار سیل جامع در حال تهیه می باشد. تهیه این مدل به خاطر افزایش صحت انتشار هشدار و پیش بینی ضروری تشخیص داده شده است. در چنین مدلی تجهیزات و موارد زیر بهره برداری زمان واقعی از مدل پیش بینی شده است.

۱- شبکه تله متری online اصلاح شده با قابلیت کالیبراسیون زمان واقعی برای بهبود اطلاعات تراز آب

۲- داده های رادار و اطلاعات ماهواره ای online

۳- تخمین وضعیت سیلاب در مرز کشور با استفاده از شبکه عصبی و بکاربردن داده های رادار و ماهواره به عنوان ورودی

۴- مدلسازی ریاضی با افزایش تعداد نقاط بهنگام سازی پیش بینی در شبکه تله متری توسعه یافته

۵- کالیبراسیون مکرر مدل براساس داده های ماهواره ای که تعیین کننده مناطق سیل گیر هستند.

۶- تهیه DEM اصلاح شده حاصل از عکسهای ماهواره ای

- ۷- تهیه نقشه های اصلاح شده پخش سیلاب حاصل از مناطق سیل گیر و عمق آب در این مناطق
- ۸- الگوریتم های اصلاح شده برای پیش بینی سیل
- ۹- گسترش مدل در سرشاخه های حوزه ها

### وضعیت پیش بینی سیل در ایران

تواتر وقوع سیلاب و شدت سیلاب در کشور ما در مقایسه با کشورهای نظیر بنگلادش، ژاپن و حتی کشورهای توسعه یافته نظیر آمریکا، نامحسوس تر می باشد، در مقابل خسارات ناشی از وقوع سیل در مقایسه با این کشورها قابل توجه می باشد. در این رابطه حوزه های جنوبی کشور به علت اقلیم خشک و وجود بارانهای موسمی گریبانگیر سیلابهای ناگهانی (Flash flood) دبی پیک بالا و حوزه های جنوب غربی و شمال غربی کشور گریبانگیر سیلابهای حاصل از اقلیم مدیترانه ای هستند. بنابراین وضعیت سیل خیزی حوزه های جنوبی کشور با درجه شدت کمتری مشابه کشورهای نظیر بنگلادش بوده و کنترل سیلابهای این مناطق از طریق سازه ای بسیار مشکل و در برخی مناطق غیر ممکن می باشد. از جمله این حوزه ها می توان به حوزه آبریز پیشین و میناب اشاره کرد. سیلابهای بوقوع پیوسته در این حوزه ها از نظر حجم و دبی پیک طوری است که سدهای موجود حتی در صورت خالی بودن نیز تعدیل قابل توجهی در دبی پیک سیل ایجاد نمی کند. در حوزه های آبریز کوهستانی کشور نظیر حوزه های دز، کارون و کرخه امکان ایجاد سدهای ذخیره بزرگ فراهم بوده و کنترل سیلابهای ورودی به این مخازن امکان پذیر می باشد. بنابراین پیش بینی سیل در حوزه های جنوبی کشور جهت هشدار و تخلیه مناطق سیل گیر و در حوزه های کوهستانی عمدتاً در جهت افزایش کارایی کنترل سیل مخازن و آگاهی بهره برداران از سدها و ساکنین باید صورت گیرد. در این رابطه عمده ترین مشکل وقوع سیل در حوزه های با سیلابهای ناگهانی، تلفات جانی و مالی فراوان این سیلها و در حوزه های کوهستانی مسئله بهره برداری و کنترل سیل سدهای موجود و همچنین سیلاب طراحی طرحهای در حال توسعه می باشد. علیرغم این واقعیت، در حوزه های آبریز کشور پیش بینی سیل حتی در ساده ترین شکل آن به ندرت انجام شده و حتی از تجربیات کشورهای در حال توسعه نیز در این زمینه بهره گیری نشده است.

در سالهای اخیر به مسئله پیش بینی در حوزه های آبریز بزرگ کشور توجه شده و پروژه های تحقیقاتی محدودی در این زمینه تعریف شده است. اولین پروژه ای که در زمینه سیستم پیش بینی سیل در کشور انجام شده پروژه هشدار سیل حوزه های خوزستان بوده است. پروژه های دیگر نظیر پیش بینی سیل رودخانه کر در سازمان تحقیقات منابع آب در دست انجام می باشد. آنچه مسلم است اینست که توسعه این سیستم ها پس از نصب اولیه و آزمایش و کالیبراسیون مدلها طی سالهای مختلف در شرایط واقعی سیستم عملی بوده و کمالاتی در سایر کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه نیز به همین ترتیب بوده است. بنابراین برای رسیدن به یک سیستم پیش بینی قابل اعتماد، نصب و راه اندازی مدلها موجود و توسعه و اصلاح آنها با توجه به امکانات و اطلاعات موجود در هر زمان ضروری می باشد. هرچند که در ابتدای نصب هر سیستم پیش بینی از سیستم های سنتی گرفته تا پیشرفته، مشکلات عمده ای وجود دارد ولی با سعی کارشناسان و متخصصین امر و همچنین بهره گیری از تجربیات ارزنده کارشنان محلی می توان به این مهم دست یافت. بنابراین جهت توسعه عملی سیستم های پیش بینی سیل مراحل زیر را می توان پیشنهاد نمود:

الف: به عنوان اولین گام عملی و سریع جهت تجهیز حوزه ها به سیستم پیش بینی اولیه، میتوان به تعیین و استفاده از روابط همبستگی بین ایستگاههای پیش بینی و ایستگاههای واقع در سرشاخه های حوزه اشاره کرد. این روش در کشورهای آسیایی جنوب شرقی کاربرد فراوان داشته است. هرچند که این روش از خطای پیش بینی قابل ملاحظه ای نسبت به سیستم های خبره برخوردار است، ولی توسعه، کاربرد و بهره برداری از آن در شرایط کنونی حوزه ها امکان پذیر بوده و جهت شناخت هرچه بهتر حوزه در این زمینه، روش مفیدی می باشد.



ب - مرحله دوم در توسعه سیستم های پیش بینی، ایجاد سیستم تله متری و پایش حوزه با توجه به امکانات، اطلاعات و بودجه ریالی موجود می باشد. در این راستا شناسایی حداقل ایستگاههای هیدروکلیماتولوژی و موقعیت آنها جهت تجهیز در سیستم تله متری و همچنین تعیین نحوه اندازه گیری و انتقال اطلاعات از ایستگاههای سنجش از راه دور به مرکز پیش بینی سیل ضروری خواهد بود. در این زمینه شرکت متسن (مرکز تحقیقات نیرو) مطالعات اولیه ای را برای حوزه های استان خوزستان انجام داده است.

ج - مرحله سوم ایجاد سیستم پیش بینی سیل پیشرفته با توجه به نوع اطلاعات مخابره شده و همچنین کمیت و کیفیت این اطلاعات می باشد. در توسعه این سیستم ها استفاده از تجربیات بین المللی و همچنین بکارگیری نرم افزارهای موجود در این زمینه در پیشبرد هرچه سریعتر اهداف چشم گیر خواهد بود. با این حال توجه به بودجه لازم برای بکارگیری این مدلها و همچنین در نظر گرفتن کمبود اطلاعاتی کشور در این زمینه ضروری خواهد بود .

### خلاصه و نتیجه گیری

سیل خیز بودن اکثر حوزه های آبریز کشور، گسترش طرحهای توسعه منابع آب در حوزه ها و پیشرفت فن آوری کامپیوتری ضرورت مدیریت سیلاب از طریق مدلسازی و نرم افزار را دو چندان کرده است. بخصوص که هزینه های روشهای مدیریتی با بکارگیری کامپیوتر در مقایسه با روشهای غیر مدیریتی و سازه ای بسیار ناچیز بوده و ترکیب روشهای مدیریتی و سازه ای چه از لحاظ کاهش هزینه ها و چه از لحاظ افزایش کارایی سیستم در جهت کاهش هرچه بیشتر خسارت ناشی از وقوع سیل ضرورت پیدا کرده است. در این راستا در اکثر حوزه های آبریز کشور به مسئله مدیریت سیل و توسعه نرم افزار کمتر از طرحهای توسعه منابع آب بها داده شده و این موضوع سبب شده که در زمینه بکارگیری تکنولوژیهای مربوطه نسبت به کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه پیشرفت کمتری حاصل گردد. بنابراین شناسایی نقاط حساس و بکارگیری روشهای مدیریتی ساده و کاربردی بخصوص جهت پیش بینی سیل می تواند به عنوان اولین گام در توسعه سیستم های پیچیده مدیریت سیلاب تلقی گردد. امید است با توجه مسئولین امر در جهت ایجاد مقدمات و تسهیلات لازم برای توسعه و بهبود مدیریت حوزه های آبریز، در آینده ای نزدیک به این مهم دست یابیم .

### سپاسگزاری و تشکر

لازم می دانم از زحمات سرکار خانم مهدیقلی در تایپ این مقاله تشکر و قدردانی نمایم.

### مراجع

1- Bangladesh National Committee of ICID, 1997, " Proceedings of Seminar on Evolution of a scientific system of flood forecasting and warning in the Ganges, Brahmaputra and Meghna River Basins held at dhaka, Bangladesh" , International Commission on Irrigation and Drainage.

۲- شرکت مهندسی برق مشانیر، آذر ۱۳۷۹، " طرح بهره برداری بهینه از سیستم رودخانه های دز و کارون - گزارش بهینه سازی حجم کنترل سیل (جلد ۷-۲ - حجم کنترل سیل مخازن)".

3- Office Of Hydrology ,1997, "Flood Warning Handbook", National Weather Service , NOAA