

جمهوری اسلامی ایران
ریاست جمهوری
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی

راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل

نشریه شماره ۵۸۳

وزارت نیرو
دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا
<http://seso.moe.org.ir>

معاونت نظارت راهبردی
امور نظام فنی
nezamfanni.ir

۱۳۹۱

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر

گزارش فرمایید:

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی

Email: info@nezamfanni.ir

web: nezamfanni.ir



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

شماره : ۲۰/۲۰۵۸۳	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ : ۱۳۹۱/۳/۲۱	
موضوع : راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل	

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۶) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ.، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۸۳ امور نظام فنی، با عنوان «راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه برای دستگاه‌های اجرایی، مشاوران، پیمانکاران و سایر عوامل ذی‌نفع نظام فنی و اجرایی، در صورت نداشتن ضوابط معتبر بهتر، از تاریخ ۱۳۹۱/۶/۱ اجباری است.

محمد مهدی رحمتی
معاون نظارت راهبردی

بسمه تعالی

پیشگفتار

بر اساس آمار بلایای طبیعی در جهان، سیلاب در ابعاد مختلف از جمله تعداد وقوع سیل، جمعیت افراد تحت تاثیر صدمات ناشی از سیل، خسارات حاصل شده و غیره، از مهم‌ترین بلایای طبیعی در جهان محسوب می‌شود. مهم‌تر این که در سال‌های اخیر با توجه به افزایش جمعیت ساکن در سیلابدشت‌ها، بلایای طبیعی ناشی از سیلاب‌ها روند افزایشی داشته‌اند و پیش‌بینی می‌شود که این روند در دهه‌های اخیر نیز ادامه یابد. در این چارچوب با توجه به تجارب جهانی و محدودیت شدید منابع، روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب می‌توانند نقش کلیدی در کاهش اثرهای مخرب سیلاب‌ها ایفا نمایند.

با توجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه نشریه «راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل» را با هماهنگی امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور در دستور کار قرارداد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی اجرایی کشور به این معاونت ارسال نمود که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

بدین وسیله معاونت نظارت راهبردی از تلاش و جدیت رییس امور نظام فنی جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد ابراهیم نیا و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران را آرزومند می‌باشد.

امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

معاون نظارت راهبردی

بهار ۱۳۹۱

تهیه و کنترل

مجری: دانشگاه زابل

مؤلف اصلی: کامران امامی

اعضای گروه تهیه کننده:

دکترای مهندسی عمران - آب	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	کامران امامی
دکترای مهندسی عمران - آب	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	حمیدرضا اسلامی
لیسانس مهندسی برق و الکترونیک	شرکت پایش گر تدبیرافزار	علی بختیاری
فوق لیسانس مدیریت سوانح طبیعی	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	فرهاد بنی زمان
فوق لیسانس مدیریت سوانح طبیعی	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	هانیه خدایی
فوق لیسانس مهندسی رودخانه	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	محمد کبارفرد
فوق لیسانس مدیریت سوانح طبیعی	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	علی کبیری
لیسانس مهندسی سد و شبکه	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	زینب کراری
فوق لیسانس مدیریت منابع آب	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	سارا مکی
لیسانس مهندسی سد و شبکه	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	
لیسانس مهندسی عمران	شرکت مهندسان مشاور کریت کارآ	

اعضای گروه نظارت:

دکترای هیدرولیک	دانشگاه تهران	محمدعلی بنی هاشمی
فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک	موسسه تحقیقات آب	حسام فولادفر
لیسانس مهندسی راه و ساختمان	کارشناس آزاد	کیاندخت کباری

اعضای گروه تایید کننده (کمیته تخصصی مهندسی رودخانه و سواحل طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک	شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران	محمود افسوس
دکترای عمران - آب	دانشگاه تهران	محمدابراهیم بنی حبیب
فوق لیسانس مهندسی سازه های آبی	شرکت مهندسین مشاور ساز آب پردازان	محمدحسن چیتی
فوق لیسانس مهندسی راه و ساختمان	انجمن شرکت های ساختمانی	فریدون خزاعی
لیسانس مهندسی آبیاری	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	نرگس دشتی
دکترای مهندسی آب	شرکت مدیریت منابع آب	شکور سلطانی
دکترای مکانیک سیالات	دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور	حسن سید سراجی
فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک	موسسه تحقیقات آب	حسام فولادفر
لیسانس مهندسی کشاورزی	وزارت کشور	سید کمال الدین نوری
فوق لیسانس مهندسی سازه های هیدرولیکی	وزارت نیرو	جبار وطن فدا

اعضای گروه هدایت و راهبردی پروژه:

رئیس گروه امور نظام فنی	خشایار اسفندیاری
رئیس گروه امور نظام فنی	فرزانه آقارمضانعلی
کارشناس منابع آب امور نظام فنی	ساناز سرافراز

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۵	فصل اول- رهیافت‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب
۷	۱-۱- کلیات
۸	۲-۱- رهیافت‌های غیرسازه‌ای در مدیریت سیل
۱۰	۳-۱- اهمیت روش‌های غیرسازه‌ای
۱۳	فصل دوم - کلیات سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب
۱۵	۱-۲- کلیات
۱۵	۲-۲- مشخصه‌های پیش‌بینی‌ها
۱۷	۳-۲- کاربردهای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی
۱۷	۲-۳-۱- دقت و به‌هنگام بودن
۱۸	۲-۳-۲- هزینه‌ها و منافع پیش‌بینی‌های هیدرولوژی
۲۰	۴-۲- خدمات مرکز پیش‌بینی هیدرولوژی
۲۰	۲-۴-۱- سازماندهی
۲۱	۲-۴-۲- فعالیت‌ها
۲۱	۵-۲- انتشار نتایج پیش‌بینی و هشدار
۲۲	۶-۲- مشارکت مردم
۲۳	۱-۶-۲- سامانه‌ی پیش‌بینی سیل غیررسمی
۲۳	۷-۲- تضمین پایداری و خلل‌ناپذیری سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل
۲۴	۸-۲- اجزای یک سامانه‌ی کارای هشدار سیلاب
۲۵	۹-۲- تعریف سطوح مختلف توسعه‌یافتگی سامانه جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب
۲۶	۱-۹-۲- سامانه جامع هشدار سیلاب
۲۶	۲-۹-۲- انواع سامانه‌های هشدار سیل
۲۷	۳-۹-۲- تعریف سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل محلی
۲۹	فصل سوم - بررسی‌ها و مطالعات پایه
۳۱	۱-۳- کلیات
۳۲	۲-۳- مطالعات سیلاب (هواشناسی - هیدرولوژی)
۳۲	۱-۲-۳- تحلیل فراوانی سیلاب
۳۴	۲-۲-۳- مدل‌های بارش - رواناب

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۵	۳-۲-۳- منابع اطلاعاتی
۳۶	۳-۲-۴- مطالعه‌ی سیلاب‌های تاریخی در طراحی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب
۳۶	۳-۲-۵- کاربردهای سیلاب‌های تاریخی در پروژه‌های هشدار سیلاب
۳۷	۳-۲-۶- دسته‌بندی سیلاب‌ها با استفاده از آمار سیلاب‌های تاریخی
۳۸	۳-۳- پارامترها و جوانب زیست‌محیطی، اثرهای زیست‌محیطی حاصل از سیلاب
۳۹	۳-۳-۱- ارزیابی محیط زیستی
۴۰	۳-۳-۲- تأثیرات اجتماعی سیلاب
۴۱	۳-۳-۳- ابعاد اقتصادی خسارات زیست‌محیطی سیلاب
۴۲	۳-۴- مطالعات اجتماعی - اقتصادی
۴۵	فصل چهارم - سامانه پایش داده‌ها در زمان واقعی
۴۷	۴-۱- کلیات
۴۷	۴-۲- انواع پایش
۴۷	۴-۳- پایش قبل از وقوع سیلاب
۴۸	۴-۴- پایش در زمان واقعی
۴۸	۴-۴-۱- پایش پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرومتری در زمان واقعی
۴۸	۴-۴-۵- پایش سازه‌های سیل‌بند در طول سیلاب
۴۹	۴-۴-۶- پارامترها و تجهیزات جمع‌آوری داده‌های لازم برای سامانه‌ی پیش‌بینی سیلاب
۴۹	۴-۴-۶-۱- دما
۴۹	۴-۴-۶-۲- باد
۵۰	۴-۴-۶-۳- بارش
۵۰	۴-۴-۶-۴- شدت جریان
۵۲	۴-۴-۷- تراکم ایستگاه‌های هواشناسی
۵۳	۴-۴-۷-۱- نواحی مسطح معتدل، نواحی با آب و هوای مدیترانه‌ای و نواحی استوایی
۵۴	۴-۴-۷-۲- نواحی کوهستانی معتدل، آب و هوای مدیترانه‌ای و نواحی استوایی
۵۴	۴-۴-۷-۳- نواحی خشک و مناطق قطبی
۵۴	۴-۴-۸- مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی
۵۵	۴-۴-۹- روندهای نوین در رابطه با ایستگاه‌های خودکار هواشناسی
۵۶	۴-۴-۱۰- دقت مطلوب مشاهدات و تناوب اندازه‌گیری اطلاعات برای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۸	۴-۱۱- روش‌های جمع‌آوری و مخابره‌ی اطلاعات
۵۸	۴-۱۱-۱- جمع‌آوری اطلاعات از ایستگاه‌های زمینی
۵۹	۴-۱۲- روش‌های مخابره داده‌های ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی
۵۹	۴-۱۲-۱- سامانه‌های مخابراتی زمینی
۶۳	۴-۱۲-۲- سامانه‌های مخابراتی ماهواره‌ای
۶۸	۴-۱۳- ماهواره هواشناسی در ایران
۶۸	۴-۱۴- انتخاب سامانه‌ی مخابراتی
۷۰	۴-۱۵- روند پایش
۷۰	۴-۱۶- فن‌آوری‌های پیشرفته پایش
۷۱	فصل پنجم - سامانه‌ی پیش‌بینی در زمان واقعی
۷۳	۵-۱- کلیات
۷۳	۵-۲- نقش پیش‌بینی و هشدار سیلاب در پایداری سازه‌های آبی
۷۴	۵-۲-۱- نقش پیش‌بینی و هشدار سیلاب در مدیریت سدهای چند منظوره
۷۴	۵-۳- پیش‌بینی سیلاب
۷۴	۵-۳-۱- کیفیت پیش‌بینی
۷۵	۵-۳-۲- عناصر پیش‌بینی سیلاب
۷۵	۵-۳-۳- مدل‌های پیش‌بینی
۷۷	۵-۳-۴- روش‌های پیش‌بینی
۷۷	۵-۳-۵- همبستگی و رگرسیون
۸۰	۵-۳-۶- تحلیل سری زمانی
۸۰	۵-۳-۷- پیش‌بینی احتمالاتی
۸۱	۵-۴- روش‌ها و فن‌آوری‌های موجود و نوین برای انجام پیش‌بینی
۸۱	۵-۴-۱- نرم‌افزارهای مربوط به پیش‌بینی
۸۱	۵-۴-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی
۸۳	۵-۴-۳- نقش فن‌آوری
۸۳	۵-۵- زمان پیش‌هشدار
۸۴	۵-۶- شاخص‌های مورد استفاده در پیش‌بینی سیلاب
۸۴	۵-۶-۱- شاخص رطوبت خاک

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۴	۵-۶-۲- حداکثر تراز سیلاب
۸۶	۵-۶-۳- حجم ذخیره
۸۷	۵-۷- مدل‌های مفهومی جریان رودخانه
۸۷	۵-۸- روش‌های اصلاح پیش‌بینی
۸۹	۵-۹- سامانه‌های پیش‌بینی محلی
۸۹	۵-۹-۱- ایجاد سامانه‌های پیش‌بینی محلی
۸۹	۵-۱۰- تفسیر پیش‌بینی سیلاب
۸۹	۵-۱۰-۱- اهمیت تفسیر پیش‌بینی‌ها
۹۱	فصل ششم - سامانه‌ی پهنه‌بندی سیلابدشت
۹۳	۶-۱- کلیات
۹۳	۶-۲- تعریف نقشه خطر سیلاب
۹۶	۶-۳- استفاده از مدل‌های ریاضی هیدرودینامیک برای پهنه‌بندی سیلابدشت و تهیه نقشه‌های خطر
۹۷	۶-۳-۱- مدل‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی سیلاب
۹۸	۶-۳-۲- ملاحظات کلیدی در کاربرد مدل‌های هیدرولیکی
۱۰۱	۶-۴- کاربرد سامانه اطلاعاتی جغرافیایی
۱۰۳	فصل هفتم - سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری در زمان واقعی
۱۰۵	۷-۱- کلیات
۱۰۵	۷-۲- تصمیم‌گیری و نقش اطلاعات در فرآیند تصمیم‌گیری
۱۰۷	۷-۲-۱- معرفی سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۰۸	۷-۲-۲- توسعه سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۰۸	۷-۲-۳- سطوح مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۱۰	۷-۲-۴- چارچوب سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۱۰	۷-۲-۵- ایجاد تحول در وظایف مرتبط با سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۱۱	۷-۲-۶- طراحی مجدد در ایجاد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۱۱	۷-۲-۷- نحوه عملکرد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری به صورت یک سامانه تطبیقی
۱۱۳	۷-۳- استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در هشدار سیل
۱۱۵	۷-۳-۱- طراحی سامانه هشدار سیل - سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۱۷	۷-۳-۲- شرح مختصر عملکرد اجزای مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری - هشدار سیل

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۱۷	۷-۳-۳- آستانه‌های درجه‌ی سیلاب
۱۲۰	۷-۳-۴- آسیب‌شناسی سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۲۰	۷-۳-۵- دیدگاه‌های اجتماعی
۱۲۱	فصل هشتم - سامانه‌ی ترکیبی پایش تا پشتیبانی تصمیم‌گیری در زمان واقعی
۱۲۳	۸-۱- کلیات
۱۲۴	۸-۲- نقش پیش‌بینی هیدرولوژیکی در تصمیم‌گیری و مدیریت حوضه
۱۲۴	۸-۲-۱- شرح اجزای عمومی سامانه مدیریت حوضه
۱۲۵	۸-۲-۲- نقش مدیریت دانش در سامانه‌ی مدیریت منابع آب حوضه
۱۲۶	۸-۳- نقش پایش و پیش‌بینی سیل در هشدار زودهنگام
۱۲۷	۸-۳-۱- ارتباط دقت پایش با پیش‌بینی و زمان پایش‌هشدار
۱۲۸	۸-۳-۲- روند توسعه سامانه‌های پایش و پیش‌بینی سیلاب
۱۲۹	۸-۴- طراحی سامانه‌های پایش سیل-پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۲۹	۸-۵- طرح سامانه عملیاتی پیش‌بینی سیل - سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۳۰	۸-۵-۱- زیرسامانه جمع‌آوری داده
۱۳۰	۸-۵-۲- مدل‌های حوضه
۱۳۱	۸-۵-۳- سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۳۱	۸-۶- عملکرد سامانه اطلاعاتی در استفاده موثر از داده‌های حاصل از پایش و پیش‌بینی
۱۳۲	۸-۶-۱- کمک به فرآیند تصمیم‌گیری
۱۳۳	۸-۶-۲- پایگاه داده هیدرولوژیکی و امکانات پردازش اطلاعات
۱۳۴	۸-۶-۳- ارتباط با کاربر
۱۳۴	۸-۶-۴- استفاده از فیلتر کالمن برای همسان‌سازی نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها و نتایج حاصل از مدل
۱۳۵	فصل نهم - سامانه گسترش و انتشار هشدار در زمان واقعی
۱۳۷	۹-۱- کلیات
۱۳۷	۹-۲- معیارهای تدوین پیام هشدار سیل
۱۳۹	۹-۳- مثالی از نحوه و ساختار یک پیام هشدار
۱۴۰	۹-۴- فاکتورهای اجتماعی در رابطه با درک و دریافت مردم از پیام‌های هشدار سیلاب
۱۴۲	۹-۵- نحوه‌ی اعلان هشدار سیلاب
۱۴۳	۹-۵-۱- استفاده از تلفن، دورنما، پست الکترونیک و بی‌سیم

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۴۳	۹-۵-۲- اطلاع رسانی خانه به خانه
۱۴۴	۹-۵-۳- هشدار رایانه‌ای
۱۴۴	۹-۵-۴- استفاده از رسانه‌ها
۱۴۷	فصل دهم - سامانه عکس‌العمل اضطراری
۱۴۹	۱۰-۱- کلیات
۱۴۹	۱۰-۲- انواع مدیریت عملیاتی
۱۴۹	۱۰-۲-۱- مدیریت عملیاتی به‌وسیله سازمان مقابله با سیل
۱۴۹	۱۰-۲-۲- مدیریت عملیاتی به‌وسیله ساختار مدیریت شرایط اضطرار
۱۵۰	۱۰-۲-۳- مدیریت عملیات به‌وسیله ترکیبی از موارد فوق
۱۵۰	۱۰-۳- عملیات مقابله با سیل
۱۵۰	۱۰-۴- تعریف سطوح مختلف توسعه‌یافتگی سامانه جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب
۱۵۱	۱۰-۵- ملاحظات مهم
۱۵۱	۱۰-۵-۱- فعالیت‌های مقابله
۱۵۲	۱۰-۵-۲- خدمات مورد نیاز
۱۵۲	۱۰-۵-۳- آغاز عملیات واکنش به سیلاب
۱۵۲	۱۰-۶- برنامه طرح عمل در شرایط اضطراری
۱۵۴	۱۰-۶-۱- ساختار یک برنامه طرح عمل در شرایط اضطراری
۱۵۶	۱۰-۷- نقش آموزش عمومی در عملیات اضطراری
۱۵۹	فصل یازدهم - سامانه بازیافت (بازتوانی) بعد از سیل
۱۶۱	۱۱-۱- کلیات
۱۶۱	۱۱-۱-۱- ساماندهی
۱۶۱	۱۱-۱-۲- بازسازی
۱۶۲	۱۱-۲- برنامه‌ریزی برای ساماندهی و بازسازی
۱۶۲	۱۱-۲-۱- راهکارهای پیشنهادی برای برنامه‌ریزی صحیح برای بازتوانی
۱۶۳	۱۱-۲-۲- جنبه‌های مختلف خسارات ناشی از سیل
۱۶۴	۱۱-۲-۳- بخش‌های آسیب‌پذیر
۱۶۴	۱۱-۳- ارزیابی نیازها در فعالیت‌های بازتوانی
۱۶۵	۱۱-۳-۱- نقش منابع موجود در انجام فعالیت‌های بازتوانی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۶۵	۱۱-۴- بازسازی
۱۶۶	۱۱-۴-۱- مدیران و دست‌اندرکاران بازسازی
۱۶۷	۱۱-۴-۲- تخفیف خطر در بازسازی
۱۶۷	۱۱-۴-۳- پادسیل سازی (ضد سیلاب کردن)
۱۶۸	۱۱-۴-۴- بازسازی و برنامه‌های آمادگی
۱۶۹	۱۱-۵- مرحله بعد از فروکش شدن سیلاب
۱۷۰	۱۱-۵-۱- جزییات فعالیت‌های بازتوانی بعد از وقوع سیل
۱۷۰	۱۱-۶- بازتوانی سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب
۱۷۳	فصل دوازدهم - سامانه مدیریت پیوسته، ارزیابی، بهره‌برداری، نگهداری و توسعه
۱۷۵	۱۲-۱- کلیات
۱۷۵	۱۲-۲- مرور و بازنگری سامانه‌ی هشدار سیل
۱۷۵	۱۲-۲-۱- ملاحظات عمومی در بازنگری سامانه‌های هشدار سیل
۱۷۶	۱۲-۲-۲- سطوح مختلف مرور و بازنگری سامانه
۱۷۶	۱۲-۲-۳- ملاحظات قابل توجه در فرآیند بازنگری
۱۷۷	۱۲-۲-۴- بازنگری مضمون هشدار و صدور آن
۱۷۷	۱۲-۲-۵- بازنگری تغییرات فنی، محیطی و سازمانی و تاثیرات آنها بر سامانه هشدار سیل
۱۷۸	۱۲-۲-۶- فواصل انجام بازنگری
۱۷۸	۱۲-۲-۷- اشکال انجام بازنگری
۱۷۸	۱۲-۲-۸- دلایل عدم موفقیت عملیات بازنگری در نیل به اهداف مورد نظر
۱۷۹	۱۲-۲-۹- نقش سازمان‌ها در بازنگری سامانه‌های هشدار سیل
۱۸۰	۱۲-۳- اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی در یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۸۱	۱۲-۴- برنامه‌ها و مانورهای سازمان‌ها برای مرور و بازنگری سامانه
۱۸۱	۱۲-۴-۱- آمادگی و نگهداری طرح
۱۸۳	۱۲-۵- بهره‌برداری، برنامه‌ریزی و نگهداری
۱۸۳	۱۲-۵-۱- نگهداری
۱۸۸	۱۲-۵-۲- بهره‌برداری
۱۸۸	۱۲-۶- توسعه سامانه جامع هشدار سیل
۱۹۱	فصل سیزدهم- سرفصل مطالب مورد نیاز در تهیه فهرست خدمات مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری ...

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۹۳	۱-۱۳- کلیات
۱۹۳	۲-۱۳- شرح خدمات مطالعات طراحی ایستگاه‌های اندازه‌گیری و سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل و شبکه‌ی رادیویی و مخابراتی طرح آجی‌چای
۱۹۴	۱-۲-۱۳- مطالعات مرحله اول
۱۹۶	۲-۲-۱۳- مطالعات فیزیوگرافی و موقعیت جغرافیایی
۱۹۷	۳-۲-۱۳- مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی
۱۹۸	۴-۲-۱۳- تعیین مقاطع کنترل هیدرومتری
۱۹۹	۵-۲-۱۳- تهیه بانک اطلاعات جامع سیل حوضه آجی‌چای
۲۰۰	۶-۲-۱۳- مدل‌های پیش‌بینی سیلاب
۲۰۱	۷-۲-۱۳- روندیابی سیلاب در مخازن
۲۰۱	۸-۲-۱۳- روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها
۲۰۱	۹-۲-۱۳- بررسی نیاز و ضرورت انجام روش‌های مهار سیلاب
۲۰۲	۱۰-۲-۱۳- سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS)
۲۰۳	۱۱-۲-۱۳- طراحی سامانه هشدار سیل
۲۰۵	۱۲-۲-۱۳- مطالعه ریخت‌شناسی و فرسایش و رسوب رودخانه
۲۰۶	۱۳-۲-۱۳- ساختار تشکیلاتی و مدیریت سامانه‌ی هشداردهنده سیلاب
۲۰۶	۱۴-۲-۱۳- لحاظ نمودن نتایج مطالعات شکست سد شهیدمدنی بر سامانه‌ی هشدار سیل
۲۰۹	پیوست ۱- کاربرد سیلاب‌های تاریخی در طراحی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب
۲۱۹	پیوست ۲- سامانه ارت
۲۲۵	پیوست ۳- روش مقایسه دو دویی برای وزن‌دهی معیارها (AHP)
۲۳۳	پیوست ۴- کاربرد GIS در مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی
۲۴۷	منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها و نمودارها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۸	نمودار ۱-۲- رابطه تراز- خسارت اولیه
۱۹	نمودار ۲-۲- رابطه تراز - احتمال وقوع سیل
۱۹	نمودار ۳-۲- رابطه سود خالص - احتمال
۳۸	شکل ۱-۳- ثبت تراز سیلاب‌های تاریخی در انگلستان
۴۰	شکل ۲-۳- ابعاد خسارت زیست محیطی سیلاب‌های شهری
۴۷	شکل ۱-۴- سامانه جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب
۵۶	شکل ۲-۴- ایستگاه‌های خودکار هواشناسی به صورت یک واحد کامل و خودکفا
۵۹	شکل ۳-۴- طرح شماتیک اجزای یک سامانه تله‌متری
۶۲	شکل ۴-۴- طرح شماتیک سامانه نقطه به نقطه انتقال داده با استفاده از رادیو مودم
۶۳	شکل ۵-۴- نمونه‌ای از تصاویر تکرار کننده‌های رادیویی SST در حوضه آبریز رودخانه Sevier در ایالت یوتا آمریکا
۸۲	شکل ۱-۵- ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی
۸۵	نمودار ۱-۵- حداکثر تراز سیلاب و زمانی که موج مسیر دو ایستگاه را طی می‌کند، برای رودخانه ولگا
۸۶	نمودار ۲-۵- روابط تیب تراز ایستگاه‌ها با متغیرها برای جریان ورودی محلی
۹۵	نمودار ۱-۶- مقایسه کمی و زمانی تخلیه منطقه سیل دیده با توجه به رجوع یا عدم رجوع به نقشه خطر
۱۰۶	شکل ۱-۷- انواع سامانه‌های اطلاعاتی و رایانه‌ای و سطوح مختلف مدیریت و عملیات [۷]
۱۰۹	شکل ۲-۷- نمایش ارتباط بین سطوح مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۱۰	شکل ۳-۷- نمایش سطوح مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در ارتباط با نقش‌های مختلف مدیران و کاربران
۱۱۲	نمودار ۱-۷- نمایش مراحل مختلف تصمیم‌گیری
۱۱۳	شکل ۴-۷- اجزای مختلف یک سامانه هشدار سیل
۱۱۶	شکل ۵-۷- نمایش عملیاتی سامانه هشدار سیل - پشتیبانی تصمیم‌گیری
۱۱۹	شکل ۶-۷- فرآیند عملیاتی سامانه مدیریت سیلاب
۱۲۳	شکل ۱-۸- نمایش مرحله جمع‌آوری داده به‌عنوان شروع‌کننده عملیات هشدار سیلاب
۱۲۵	شکل ۲-۸- نمایش سامانه مدیریت پیش‌بینی در مدیریت حوضه
۱۲۶	شکل ۳-۸- نمایش شماتیک حلقه مدیریت ریسک طبیعی حوضه رودخانه‌ای
۱۲۸	شکل ۴-۸- نمایش ارتباط بین زمان پیش‌هشدار و نوع پایش
۱۳۲	شکل ۵-۸- نمایش عملکرد مدل‌ها در سامانه اطلاعاتی
۱۳۳	شکل ۶-۸- نمایش ساختار بانک اطلاعاتی نمونه
۱۴۲	شکل ۱-۹- الزامات انتشار پیام هشدار و عکس‌العمل مناسب
۱۴۵	شکل ۲-۹- هم‌افزایی در میان اقدامات مختلف مدیریت سیلاب
۱۶۶	شکل ۱-۱۱- مراحل بازتوانی از دیدگاه زمان‌بندی و برنامه‌ریزی
۱۶۸	شکل ۲-۱۱- نمایش تصویری مبانی پادسیل‌سازی
۱۸۹	شکل ۱-۱۲- ارتباط بین اجزای مختلف سامانه جامع هشدار سیل
۲۳۸	شکل پ.۴-۱- سه روش به‌کارگیری GIS در مدل‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی

فهرست شکل‌ها و نمودارها

صفحه	عنوان
۲۴۰	شکل پ.۴-۲- تخمین شماره منحنی رواناب
۲۴۲	شکل پ.۴-۳- مدل حوضه آبریز گلاب‌دره-دربند در نرم‌افزار WMS
۲۴۴	شکل پ.۴-۴- نمایی از نرم‌افزار MIKE BASIN

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۹	جدول ۱-۱- روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب
۱۱	جدول ۲-۱- کاربرد رهیافت‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب در کشورهای مختلف
۲۴	جدول ۱-۲- فعالیت‌ها، سازمان‌های مسوول و عوامل کلیدی سامانه‌ی پیش‌هشدار سیلاب
۲۵	جدول ۲-۲- نمایش سطوح مختلف توسعه سامانه هشدار سیلاب از جنبه‌های مختلف
۴۱	جدول ۱-۳- ماتریس کیفی ارزیابی اثرهای سیلاب بر محیط زیست
۵۳	جدول ۱-۴- حداقل تراکم ایستگاه باران‌سنجی برحسب کیلومتر مربع
۵۳	جدول ۲-۴- حداقل تراکم ایستگاه‌های هواشناسی
۵۴	جدول ۳-۴- معیارهای کیفی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی
۵۷	جدول ۴-۴- نمایش میزان دقت مورد نیاز در اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولوژیکی
۵۸	جدول ۵-۴- حسگرهای مورد نیاز در ایستگاه‌های زمینی
۵۸	جدول ۶-۴- مقدار حجم اطلاعات جمع‌آوری شده هر حسگر در سامانه هشدار سیلاب دربند- گلاب‌دره (بسته)
۶۸	جدول ۷-۴- فهرست ماهواره‌های زمین‌آهنگ
۶۹	جدول ۸-۴- معیارهای کیفی انتخاب سامانه‌ی مخابراتی
۷۷	جدول ۱-۵- مقایسه‌ی مدل‌های پیش‌بینی آماری و ریاضی
۷۹	جدول ۲-۵- پیش‌بینی تراز آب رودخانه و جریان ورودی مخازن در کشور هند
۹۳	جدول ۱-۶- جمع‌بندی تاثیرات و موارد استفاده نقشه‌ی خطر سیلاب در شرایط مختلف
۹۴	جدول ۲-۶- موارد کلیدی در نقشه‌های خطر
۹۴	جدول ۳-۶- اطلاعات لازم در رابطه با تهیه نقشه‌های خطر سیلاب
۱۳۹	جدول ۱-۹- نمونه‌ای از فرم استاندارد پیش‌بینی‌های تندسیلاب

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۵۰	جدول ۱-۱۰- مشخصات چهار بخش سامانه مدیریت شرایط اضطرار در استرالیا
۱۶۶	جدول ۱-۱۱- دست‌اندرکاران شاخص در بازتوانی پس از سانحه

۱۷۹	جدول ۱-۱۲- چارچوب کلی برای ارزیابی اجرای سامانه‌ی هشدار سیلاب
۲۱۴	جدول پ.۱-۱- جدول علامت‌گذاری
۲۱۵	جدول پ.۱-۲- جعبه طرح نمادها
۲۲۲	جدول پ.۲-۱- محدوده‌ی مقاومت مخصوص چند نوع خاک
۲۲۲	جدول پ.۲-۲- تاثیر کاهش درجه حرارت بر افزایش مقاومت سامانه زمین
۲۲۸	جدول پ.۳-۱- جدول AHP
۲۴۴	جدول پ.۴-۱- مقایسه روش‌های اتصال مدل و GIS
۲۴۵	جدول پ.۴-۱- مقایسه روش‌های اتصال مدل و GIS

مقدمه

در سال ۱۳۸۹ سیل پاکستان میلیون‌ها نفر را تحت تاثیر مستقیم قرار داد و موجب خسارات چند ده میلیارد دلاری گردید. در استرالیا سیلاب ژانویه ۲۰۱۱ نیز مساحتی معادل سطح کشورهای فرانسه و انگلستان را زیر آب برد و در همین زمان نزدیک به ۱۰۰۰ نفر قربانی تندسیلاب‌های برزیل شدند و یک میلیون نفر نیز آوارهی سیلاب‌های سریلانکا گردیدند. این وقایع نمادی از روند افزایشی تلفات و خسارات سیلاب در جهان هستند و بدون شک نیاز مبرم و فوری به کاربرد روش‌های کارا تر و موثرتر برای همزیستی هارمونیک و تطبیق با سیلاب‌ها وجود دارد. برای مثال به دنبال سیلاب پاکستان، در اولین بررسی‌های کارشناسی توصیه شد که زمان پیش‌هشدار از سه روز به ده روز افزایش یابد.

در صورت وجود سامانه‌های کارا و موثر پیش‌بینی و هشدار سیلاب، تلفات جانی سیلاب‌های مهم کشور از جمله سیلاب‌های استان گلستان در سال‌های اول دهه‌ی ۱۳۸۰ و سیلاب گلاب‌دره و دربند تهران در سال ۱۳۶۶ به نحو چشمگیری کاهش می‌یافت. با افزایش جمعیت در مناطق پرخطر و اثرهای تغییر اقلیم، ریسک تلفات جانی ناشی از سیلاب می‌تواند بسیار بیش‌تر از آمار سال‌های اخیر باشد. در تحقیقی که کشورهای اروپایی در مورد اثرهای تغییر اقلیم در افزایش پتانسیل سیلاب در قرن بیست و یک میلادی انجام داده‌اند هشدار سیلاب به‌عنوان یکی از موثرترین و عملی‌ترین راهکارها توصیه شده است. به‌علاوه با احداث نزدیک به ۲۰۰ سد بزرگ در کشور عزیزمان، تدوین طرح‌های عملیاتی سیلاب برای مناطق پایین دست این سدها الزامی خواهد بود و بدیهی است سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب در این طرح‌ها نقش محوری خواهند داشت. از طرف دیگر براساس بولتن کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ^۱ [۵۶]، با اتکا به این سامانه‌ها و دیگر روش‌های غیرسازه‌ای، افزایش ایمنی سدها و کاهش ابعاد و هزینه‌های سازه‌های هیدرولیکی امکان‌پذیر است. در این چارچوب و با توجه به اثربخشی چشمگیر و هزینه‌ی کم این سامانه‌ها باید در ده سال آینده، سدها سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار در سراسر کشور طراحی و راه‌اندازی شوند. نشریه راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب به‌منظور تسهیل طراحی، راه‌اندازی و بهره‌برداری این سامانه‌ها توسط طرح تهیه‌ی ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور تدوین گردیده است.

برای طراحی، راه‌اندازی و بهره‌برداری این سامانه‌ها نیاز به تیم‌های ماهر چندرشته‌ای وجود دارد و مخاطبان اصلی این کتاب این تیم‌ها هستند. البته تاکید بیش‌تر بر تیم طراحی و مهندسان مشاور قرار گرفته به‌نحوی که این راهنما بتواند با توجه به مشخصات و مختصات پروژه، در انتخاب راهبردهای اصلی مطالعات هشدار سیل مورد استفاده قرار گیرد. کارکرد اصلی این راهنما آموزش مبانی و ارائه یک هندبوک نیست. هدف عمده این راهنما نشان‌دادن راه صحیح مطالعات هشدار سیل برای یک مهندس مشاور با درک درستی از سیلاب و مسلط بر مبانی نظری آن است. البته با توجه به بدیع بودن این‌گونه مطالعات در کشور، ذکر مبانی نظری به‌صورت بسیار خلاصه و کوتاه و ارائه مراجع مفید دور از نظر نبوده است. از طرف دیگر با توجه به نیاز به تیم طراحی چندرشته‌ای، ایجاد زبان مشترک برای کارشناسان مختلف از اهداف اصلی این کتاب بوده است.

ظرف ۱۵ سال گذشته، سیلاب‌های بزرگ شدید رودخانه‌ای در تمام قاره‌ها روی داده و موجب تلفات انسانی و خسارات مالی در کشورهای مختلف گردیده است. تجارب آموخته شده در اینترنت برای استفاده کارشناسان قابل دسترسی است. با این وجود بیش‌تر این تجارب در رابطه با امور فنی بوده و جنبه‌های سازمانی فقط به‌طور کلی مطرح می‌گردد. با مطالعه مجموعه مقالات و مستندات

سمینارها، کارگاه‌ها و کنفرانس‌هایی که اخیراً در زمینه سیلاب برگزار شده، نشان داده می‌شود که به‌جای توجه به جنبه‌های فنی و سازه‌ای، رهیافت‌های غیرسازه‌ای و جنبه‌های سازمانی مدیریت سیلاب نقش محوری داشته است. به‌طور کلی، پاسخ‌های روزآمد در مورد سوال‌های مرتبط به جنبه‌های فنی و ملموس‌تر، در اینترنت و کتاب‌ها و گزارش‌های مستند قابل دسترسی است. از طرف دیگر، پاسخ مستقیم به سوال‌ها در مورد مطالب اساسی غیرسازه‌ای و اصلاحات سازمانی (از قبیل مدیریت، قانون‌گذاری، برنامه‌ریزی مالی، نظارت، اجرا، اطلاع‌رسانی عمومی و غیره) ممکن است به این سادگی‌ها هم امکان‌پذیر نباشد. زیرا برای هر مورد ویژه‌ی یک کشور یا یک حوضه‌ی آبریز، یک راه‌حل خاص لازم است و یک ایده موفق در یک نقطه جهان، برای الگوبرداری در نقاط دیگر کافی نیست. بنابراین در تدوین این راهنما، تمرکز ویژه‌ای بر الزامات سازمانی مدیریت سیلاب بوده است.

در نهایت جنبه‌های مختلف مدیریت سیلاب یا همزیستی هارمونیک با سیلاب مورد نظر بوده است زیرا امروزه مدیریت سیلاب در حوضه‌های رودخانه‌ای و مناطق ساحلی، برحسب تعریف به جنبه‌های چندگانه می‌پردازد. راه‌حل موثر در مورد معیارها به‌منظور حفظ جان و مال در مناطق سیل‌خیز (و در سیلابدشت‌ها)، باید با سایر جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی، فرهنگی و محیط زیستی ادغام گردد. راه‌حل‌های پایدار باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که هم مدیریت یکپارچه آب و هم برنامه‌ریزی مکانی مناطق سیل‌خیز و سیلابدشت‌ها، در تعادل باشند. این حالت تنها زمانی ممکن است که تغییرات اساسی و حتی اصلاح قوانین، مسوولیت‌ها و مدیریت زیرساخت‌های مرتبط به حفاظت سیلاب، جایگزین اندیشه‌های سنتی و مرسوم گردد. استانداردهای جدید ایمنی و خطرپذیری باید توسعه یابد و در نهایت به تصویب بالاترین سطوح سیاسی برسد. بخشی از بودجه خطرپذیری و خسارت احتمالی در مناطق سیل‌خیز باید از طریق بیمه‌های منطقی مبتنی بر نرخ‌های ترجیحی متداول قابل قبول، تامین گردد. با توجه به موارد فوق، در تدوین این راهنما تلاش شده جایگاه خاص سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار در راهبردهای نوین مدیریت سیلاب شناسایی شده و تجارب ارزشمند جهانی که با صرف زمان طولانی و هزینه‌ای هنگفت حاصل شده به نحو مناسبی انعکاس یابد.

- هدف

در دو دهه‌ی اخیر کاربرد روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب و به‌خصوص پیش‌بینی و هشدار سیل برای کاهش ریسک سیلاب‌ها روندی افزایشی داشته است (به‌خصوص در کشورهای توسعه یافته). در این چارچوب با توجه به تجارب کم کشور ما در این زمینه، تدوین این راهنما در دستور کار قرار گرفته است.

هدف از تهیه راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب، ارائه‌ی رهنمودها و دستورالعمل‌های لازم برای تسهیل طراحی و بهره‌برداری این سامانه‌ها است. با توجه به این که طراحی این سامانه به‌وسیله‌ی تیم‌های چندرشته‌ای صورت می‌گیرد، مخاطبان اصلی راهنمای حاضر، این تیم‌ها هستند.

- دامنه‌ی کاربرد

این راهنما برای هدایت مهندسان طراح و بهره‌بردار سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب و همچنین کارفرمایان این طرح‌ها با دیدگاه انتقال فن‌آوری تهیه شده است. در تدوین این راهنما فرض شده است که کاربران آن مهندسان و کارشناسان حرفه‌ای با سابقه‌ی حداقل ۵ سال هستند که آموزش‌های دانشگاهی و حرفه‌ای را فرا گرفته و در صورت لزوم توانایی لازم برای فراگیری فن‌آوری‌های مربوط را دارا هستند. در این چارچوب، موارد کلیدی در رابطه با طراحی، بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های پیش‌بینی و

هشدار سیلاب مطرح می‌شوند و فرض بر این است که کاربران می‌توانند با استفاده از مراجع ارائه شده، مسایل خاص طرح خود را مورد موشکافی بیش‌تر قرار دهند. به‌علاوه با توجه به ماهیت تیمی طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب، تلاش شده است که مباحث مختلف سامانه به نحوی ارائه شوند که کارشناسان با تخصص‌های مختلف در حداقل فرصت بتوانند چارچوب اساسی مطالعات و تعاملات با متخصصان دیگر را درک نمایند. بدیهی است که فن‌آوری‌های مرتبط به سرعت در حال تغییر هستند و کاربران این راهنما باید تلاش کنند که فن‌آوری‌های به‌روز شده را مورد استفاده قرار دهند.

- مخاطبین

با توجه به دامنه‌ی کاربرد، مخاطبین این راهنما عبارتند از:

- تیم طراحی

تیم طراحی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب متشکل از کارشناسانی با تخصص‌های مختلف از جمله هواشناسی، هیدرولوژی، سنجش از دور، سامانه‌ی اطلاعاتی جغرافیایی، کاربری اراضی، هیدرولیک، مخابرات، رایانه، سوانح طبیعی و ... است. بنابراین مدیریت این تیم نیازمند دید سیستماتیک و همه‌جانبه است. مدیران تیم‌های طراحی از مهم‌ترین مخاطبین این نشریه محسوب می‌شوند. از طرف دیگر در یک کار تیمی چند رشته‌ای موفق، متخصصان مختلف باید درک مناسبی از کلیات طرح و فعالیت‌های دیگر اعضای تیم داشته باشند. به‌علاوه روند مطالعات مرسوم که در پروژه‌هایی غیر از پیش‌بینی و هشدار سیلاب صورت می‌گیرد ممکن است برای این مطالعات مناسب نباشد. در این چارچوب راهنمای حاضر می‌تواند در تطبیق مطالعات لازم با ویژگی‌های خاص این سامانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

- تیم کارفرمایی

تعیین لزوم راه‌اندازی، راهبردها و چارچوب‌های سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب و انتخاب مشاورین ذی‌صلاح، از مهم‌ترین چالش‌های تیم‌های کارفرمایی است. شایان ذکر است که شرایط بسیار مختلف طبیعی و غیرطبیعی موجب اختلاف بسیار چشمگیر در کارکرد این سامانه‌ها می‌شود و چه بسا در بسیاری از رودخانه‌ها، سامانه‌های بسیار کم‌هزینه که در زمان کوتاهی قابل راه‌اندازی هستند بتوانند کارکردهای اصلی را با کیفیت مطلوب به‌دست دهند. بنابراین تصمیم‌های کلیدی کارفرما در مراحل اولیه‌ی تعریف پروژه و انتخاب مشاور می‌تواند موجب کاهش قابل ملاحظه‌ی هزینه‌ها و دوره‌ی احداث گردد. با توجه به تجارب کم‌راه‌اندازی و بهره‌برداری از این سامانه‌ها در کشور، این راهنما می‌تواند تیم کارفرمایی را در این جهت یاری نماید. همانطوری که در مقدمه اشاره شد جنبه‌های سازمانی، مهم‌ترین عامل در کارآیی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب است، بنابراین امید است این راهنما بتواند در تطبیق شرایط سازمانی با نیازهای راه‌اندازی و بهره‌برداری این سامانه‌ها، به تیم‌های کارفرمایی کمک جدی نماید.

- تیم بهره‌برداری و مسوولین حوادث غیرمترقبه

بهره‌برداری کارآ و موثر از نیازهای اصلی برای موفقیت سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب محسوب می‌شود. به‌علاوه این سامانه‌ها باید به صورت پیوسته مورد ارزیابی قرار گرفته و به‌روز شوند. در این چارچوب لازم است تیم بهره‌برداری علاوه بر توانمندی‌های بهره‌برداری، از توانمندی‌هایی مشابه تیم طراحی برخوردار باشد تا ارتقای سامانه و افزایش اتکاپذیری آن امکان‌پذیر

شود. بنابراین با وجودی که فصل‌های هشتم تا دوازدهم با محوریت بهره‌برداری تهیه شده، لازم است تیم‌های بهره‌برداری درک جامعی از تمامی فصول داشته باشند. از طرف دیگر همان‌طوری که در فصل دوم ارائه شده، موفقیت بسیاری از روش‌های غیرسازه‌ای مانند تخلیه، مقابله با سیلاب و ... در گرو کارکرد مناسب سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب است، بنابراین افزایش درک مسوولین حوادث غیرمترقبه از این سامانه‌ها از اهداف اصلی این راهنما محسوب می‌شود.

- چارچوب‌های این راهنما

شرح خدمات این پروژه و عناوین فصل‌های راهنمای حاضر توسط کارفرمای طرح و ناظران پروژه از ابتدا مشخص شده بود. در طول انجام این مطالعه، ناظران بر خلاصه و کاربردی بودن مطالب برای مخاطبین حرفه‌ای تاکید ویژه داشته‌اند. در این چارچوب، مطالبی که ضروری ارزیابی شده ولی در فصل‌های کتاب قابل ارائه نبود در پیوست‌ها ارائه شده‌اند. محورهای اصلی فصل‌های این راهنما عبارتند از:

فصل اول: هدف و دامنه کاربرد

فصل دوم: براساس تجارب جهانی، اهمیت روش‌های غیرسازه‌ای و نقش کلیدی پیش‌بینی و هشدار سیلاب در این فصل ارائه شده و در پایان بر پتانسیل هم‌افزایانه این روش‌ها تاکید شده است.

فصل سوم: کلیات سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب، مشخصه‌های پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی و سطوح توسعه یافتگی این سامانه‌ها در این فصل ارائه شده است.

فصل چهارم: مطالعات پایه‌ای که معمولاً در رابطه با طراحی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب صورت می‌گیرد و توصیه‌های کلیدی در این رابطه در این فصل ارائه شده است. بدیهی است مطالعات انجام شده در این بخش در کلیه ابعاد یک سامانه جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب (پایش، پیش‌بینی، تصمیم‌گیری در زمان واقعی و هشدار) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

از دیدگاه کلان، یک سامانه‌ی جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب شامل سامانه‌های زیر است:

۱- سامانه‌ی پایش و انتقال اطلاعات

۲- سامانه‌ی پیش‌بینی

۳- سامانه‌ی تصمیم‌گیری در زمان واقعی

۴- سامانه‌ی هشدار

در این چارچوب، در فصل‌های پنجم تا یازدهم موارد مختلف این سامانه‌ها تشریح می‌شود. فصل‌های دوازدهم و سیزدهم به سامانه‌ی بازیافت و مدیریت پیوسته، ارزیابی، بهره‌برداری، نگهداری و توسعه اختصاص یافته است. در فصل چهاردهم نیز شرح خدمات نمونه برای طراحی یک سامانه‌ی جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب ارائه شده است. بنابراین تمرکز اصلی این راهنما بر جنبه‌های مختلف راهبردی، طراحی و بهره‌برداری این سامانه‌ها قرار گرفته است.

فصل ۱

رهیافت‌های غیرسازهای مدیریت

سیلاب

۱-۱- کلیات

در سال‌های اخیر مصداق‌های بارزی در مورد اهمیت حیاتی و کارآیی روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب و به‌خصوص سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب مطرح شده‌اند. البته برخی از این مصداق‌ها مانند فاجعه سونامی ۲۰۰۴ در اقیانوس آرام هزینه‌ی سنگین تلفات چند صد هزار نفری به‌همراه داشت. مصداق دیگر به تلفات جانی ۳ توفان دریایی در بنگلادش اشاره دارد:

- توفان دریایی نوامبر ۱۹۷۰: ۳۰۰.۰۰۰ کشته

- توفان دریایی آوریل ۱۹۹۱: ۱۴۰.۰۰۰ کشته

- توفان دریایی نوامبر ۲۰۰۷: ۳.۵۰۰ کشته

این واقعیت که کشور فقیری همچون بنگلادش موفق شده است علی‌رغم افزایش جمعیت، تلفات توفان ۲۰۰۷ را به یک صدم تلفات توفان ۱۹۷۰ برساند به‌وضوح هیچ‌شکی در مورد نیاز به سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب در مناطق پرخطر باقی نمی‌گذارد. در چین تلفات جانی سه سیلاب مشابه در قرن بیستم شاهدهی دیگر بر این مدعا است:

- سیلاب ۱۹۳۱: یک میلیون کشته

- سیلاب ۱۹۵۴: ۳۰۰.۰۰۰ کشته

- سیلاب ۱۹۹۸: ۲۰.۰۰۰ کشته

در همین کشور در جریان سیلاب‌های تابستان ۱۹۹۸ در رودخانه یانگ‌تسه، مقامات مسوول در موقعیت دشواری برای تصمیم‌گیری قرار گرفته بودند. یکی از شهرهای مهم این کشور با جمعیت ۵ میلیون نفر در معرض خطر جدی آب‌گرفتگی قرار داشت و براساس دیدگاه مدیران حوادث غیرمترقبه، تنها گزینه‌ی نجات این شهر، انفجار سیل‌بندها و انحراف سیلاب به منطقه جین‌گینگ^۱ با جمعیت نیم میلیون نفر بود. به‌علت تبعات سنگین این امر، گزینه‌ی انحراف سیلاب توسط بالاترین ارگان تصمیم‌گیری اجرایی یعنی هیات وزیران چین تصویب شد و مقدمات انفجار سیل‌بندها فراهم گردید. با توجه به این‌که تخریب یا عدم تخریب سیل‌بندها معمولاً وابسته به افزایش تراز اوج به میزان چند سانتی‌متر است، تصمیم‌گیری‌های حیاتی در هنگام وقوع سیلاب باید براساس پیش‌بینی‌های دقیق صورت پذیرد. در اوج بحران، سامانه‌های پیش‌بینی سیلاب نشان دادند که بدون تخریب سیل‌بندها و انحراف سیلاب نیز سیل‌بندها می‌توانند شهرهای پایین‌دست را از خطر سیلاب حفظ کنند. براساس این پیش‌بینی‌ها بود که انفجار سیل‌بندها عملی نگردید و هر دو شهر از خطر آب‌گرفتگی مصون ماندند. این تجربه نشان داد که پیش‌بینی دقیق و به‌هنگام می‌تواند مانع آب‌گرفتگی یک شهر ۵۰۰.۰۰۰ نفری شود.

موارد فراوانی مشابه آنچه گفته شد، می‌تواند به‌عنوان مصداق‌های بارز کارآیی، اهمیت فوق‌العاده و ضرورت حیاتی سامانه‌های هشدار سیلاب ارائه شود. در سال‌های اخیر تغییر گرایش از مدیریت بحران به مدیریت ریسک و تأکید بر مدیریت دانایی‌محور، موجب ارتقای قابل ملاحظه‌ی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار گردیده است، زیرا موفقیت مدیریت ریسک بستگی مستقیم به دقت برآورد شرایط آینده دارد. در این رابطه باید توجه داشت که راه‌اندازی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار، کم‌هزینه بوده و نیاز به زمان زیادی ندارد. علاوه بر این درصد قابل ملاحظه‌ای از هزینه‌های این سامانه‌ها مربوط به نیروی انسانی است که در کشورهای در حال توسعه با هزینه‌ی بسیار

کم‌تری نسبت به کشورهای توسعه یافته قابل تامین است. افزون بر این، انقلاب اطلاعاتی و توسعه اینترنت، فرصت‌ها و امکاناتی را که پیش از این، کارشناسان سیلاب در رویا هم نمی‌دیدند برای ارتقای کارایی سامانه‌های پیش‌بینی فراهم آورده است. از طرف دیگر تعداد سیلاب‌های فاجعه‌بار در جهان رو به افزایش بوده و تغییر اقلیم و توسعه عمرانی در سیلابدشت‌ها موجب رشد خطرات سیلاب گردیده است. این روند نگران‌کننده نیز توجه بیش‌تر به روش‌های غیرسازه‌ای و به‌ویژه سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب را موجب گردیده است. برای مثال در تحقیقی که تحت عنوان EuroFlood توسط کشورهای اروپایی به انجام رسید، به‌کارگیری سامانه هشدار سیلاب به‌عنوان مهم‌ترین راهکار در تطبیق با تغییر اقلیم و افزایش تراز آب اقیانوس‌ها در قرن ۲۱ توصیه شده است.

۱-۲- رهیافت‌های غیرسازه‌ای در مدیریت سیل

با وجود آن‌که بشر در طول تاریخ با سیلاب‌ها زندگی کرده است، هیچ‌گاه اثرهای مخرب سیلاب‌ها در گذشته مانند امروز نبوده است. زیرا افراد بسیار کم‌تری در سیلابدشت‌ها زندگی می‌کردند و فعالیت‌های انسانی در گذشته این چنین موجب افزایش پتانسیل سیلاب نمی‌گردید. امروزه مشخص شده است که مهار همه سیلاب‌ها امکان‌پذیر نیست. تنها می‌توان با مدیریت آنها، خسارات را حداقل نمود. روش‌های مختلفی برای مدیریت سیلاب به کار گرفته می‌شوند. این روش‌ها را می‌توان در چهار دسته زیر طبقه‌بندی نمود:

– تلاش در جهت کاهش سیلاب

– تلاش در جهت کاهش آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب

– تلاش در جهت کاهش خسارات

– ایجاد آمادگی برای تحمل خسارات

اولین دسته بر مبنای حفاظت فیزیکی به‌وسیله سازه‌ها است و روش‌های سازه‌ای نامیده می‌شود. سه دسته دیگر در گروه روش‌های غیرسازه‌ای طبقه‌بندی می‌شوند.

به عبارت دیگر روش‌های سازه‌ای:

– قبل از وقوع سیلاب اعمال می‌شوند.

– ماهیت عمدتاً سازه‌ای دارند.

– به منظور دور کردن سیلاب از مردم به کار گرفته می‌شوند.

کلیه روش‌هایی که در برگزیده توامان سه مشخصه فوق‌نشانند، روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب محسوب می‌شوند. برای مثال مقابله به‌هنگام با سیلاب، دارای ماهیت سازه‌ای است و به‌منظور دور کردن سیلاب از مردم و در هنگام سیلاب انجام می‌شود یا مدیریت حوضه آبریز که قبل از وقوع سیل و به‌منظور دور کردن سیلاب از مردم صورت می‌گیرد، ماهیت غیرسازه‌ای دارد. روش‌های دیگر مانند هشدار سیلاب و تخلیه ساکنین «به‌هنگام سیلاب» و به‌منظور «دور کردن مردم از سیلاب» انجام می‌شوند و دارای ماهیت «غیرسازه‌ای» هستند.

با وجود آن‌که برخی روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب مانند پیش‌بینی سیلاب، مقاوم‌سازی سیل‌بندها در جریان سیلاب، پهنه‌بندی و مقاوم‌سازی در مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی از ۲۰۰۰ سال پیش در برخی کشورهای جنوب شرقی آسیا مانند چین، ویتنام و بنگلادش به کار گرفته می‌شده است، در اواخر دهه ۱۹۸۰، روش‌های غیرسازه‌ای در بسیاری از کشورها یا ناشناخته بودند و یا مورد توجه قرار نمی‌گرفتند. از آن زمان بسیاری از کشورهایی که تصور داشتند با روش‌های سازه‌ای موفق به مهار سیلاب

شده‌اند، مجددا خسارت‌های عمده‌ای را در اثر سیلاب‌ها متحمل شدند و اکنون به‌طور جدی در حال تفکر مجدد در مورد کارآیی روش‌های سازه‌ای در شرایطی که به تنهایی به کار گرفته شوند، هستند. در بسیاری از این کشورها این تصور وجود داشت که روش‌های غیرسازه‌ای برای کشورهای فقیر مناسب است و با احداث سدها، سیل‌بندها و کانال‌های سیل‌بر می‌توان به‌طور کامل سیلاب‌ها را مهار نمود و از آب‌گرفتگی جلوگیری کرد. تجربیات جهانی نشان داده است که این راهبرد غیرعقلانی و غیرعملی است. اکنون در بسیاری از کشورهای ثروتمند غربی و ژاپن، کارشناسان سیلاب اعتقاد دارند که ترکیب و هم‌افزایی روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای، راه‌حل بهینه برای حداقل نمودن خسارات سیلاب است. در عین حال ترکیب روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای کم‌هزینه‌تر از روش‌های سازه‌ای به تنهایی است.

رهیافت‌های غیرسازه‌ای در مدیریت سیل در برگیرنده آن بخش از فعالیت‌هایی است که برای رفع یا کاهش اثرهای تخریبی سیلاب، سازه‌های فیزیکی احداث نمی‌شوند. رهیافت‌های سازه‌ای در مدیریت سیلاب عبارتند از: احداث سدها، خاکریزها، سیل‌بندها، منحرف‌نمودن سیلاب، کانال‌های سیلاب‌بر و غیره که به‌وسیله ذخیره، محدودسازی یا تعدیل جریان و یا انحراف سیلاب، مهار سیلاب را تا حدی ممکن می‌سازند.

ممکن است سازه‌ای به‌صورت ترکیبی از رهیافت‌های سازه‌ای یا غیرسازه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. به هر حال همیشه روش‌های غیرسازه‌ای باید در کنار طراحی‌های سازه‌ای مورد توجه قرار گیرند. زیرا استفاده از آنها موجب افزایش اثربخشی و هم‌افزایی می‌شود. در شرایط حاکم بر بسیاری از حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها، ممکن است روش‌های غیرسازه‌ای از روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب کم‌هزینه‌تر باشند. رهیافت‌های غیرسازه‌ای مهار سیلاب در دو گروه اساسی در جدول (۱-۱) نشان داده شده‌اند. نکته کلیدی در مورد رهیافت‌های مختلف غیرسازه‌ای، پتانسیل هم‌افزایی این رهیافت‌ها است. زیرا کاربرد موثر و کارآیی این روش‌ها حاصل کاربرد توأمان آنها است. بدیهی است اقدامات واکنشی بدون تمهیدات برنامه‌ریزی فاقد کارآیی لازم خواهد بود. در این چارچوب، هم‌افزایی بهینه روش‌های غیرسازه‌ای و سازه‌ای نیاز به توجه خاص دارد.

جدول ۱-۱- روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب

هدف	زمان	ماهیت	روش	
دور کردن مردم از سیلاب	هنگام وقوع سیلاب	غیرسازه‌ای	پیش‌بینی سیلاب	تمهیدات برنامه‌ریزی
دور کردن مردم از سیلاب	هنگام وقوع سیلاب	غیرسازه‌ای	پیش‌بینی سیلاب‌های دریایی	
دور کردن مردم از سیلاب	قبل از وقوع سیلاب	غیرسازه‌ای	کنترل گسترش سیلابدشت	
می‌تواند در دور کردن مردم از سیلاب موثر باشد	قبل از وقوع سیلاب	غیرسازه‌ای	بیمه سیلاب	
دور کردن مردم از سیلاب	قبل از وقوع سیلاب	سازه‌ای و غیرسازه‌ای	مقاوم‌سازی در مقابل سیلاب	
دور کردن سیلاب از مردم	قبل از وقوع سیلاب	سازه‌ای و غیرسازه‌ای	مدیریت حوضه آبریز	
هر دو	قبل از وقوع سیلاب	غیرسازه‌ای	تصمیم‌گیری	
دور کردن سیلاب از مردم	قبل از وقوع سیلاب	غیرسازه‌ای	مدیریت سیلاب فصلی در مخازن	
هر دو	قبل از وقوع سیلاب	غیرسازه‌ای	برنامه‌ریزی جهت مقابله با سیل	تمهیدات واکنشی
دور کردن سیلاب از مردم	به هنگام سیلاب			
عمدتاً دور کردن مردم از سیلاب	به هنگام سیلاب	غیرسازه‌ای	هشدار سیل	
دور کردن مردم از سیلاب	به هنگام سیلاب	غیرسازه‌ای	تخلیه	
هر دو	به هنگام سیلاب	غیرسازه‌ای	مدیریت به‌هنگام سیلاب در مخزن	
دور کردن مردم از سیلاب	به هنگام سیلاب	غیرسازه‌ای	کمک‌های اضطراری	

۱-۳- اهمیت روش‌های غیرسازه‌ای

مناطق وسیعی از جهان، اعم از کشورهای صنعتی یا در حال توسعه در معرض خطر سیل قرار دارند. حتی در کشورهای ثروتمند و پیشرفته‌ی صنعتی علی‌رغم تمام تلاش‌هایی که در طول تاریخ به‌وسیله مردم یا دولت‌ها صورت گرفته است، هیچ کشوری نتوانسته است نواحی سیل‌گیر خود را کاملاً و برای همیشه از خطر سیل محفوظ بدارد.

دلایل بسیار ساده‌اند:

در تمام دنیا، رودخانه‌ها تامین‌کننده‌ی نیازهای اولیه زندگی نظیر سامانه‌های آب شرب، آبیاری، انرژی، کشتیرانی، ماهیگیری (به‌خصوص برای کسانی که در سواحل آنها زندگی خود را بنا نهاده‌اند) و منبع درآمد هستند. بنابراین تمرکز جمعیت در طول رودخانه‌ها موجب افزایش ریسک سیلاب در این مناطق شده است.

دره‌هایی که از بقایای آبرفتی تشکیل شده‌اند، غنی‌ترین اراضی از نظر کشاورزی و سایر نیازهای زندگی و از زیرساخت‌های مهم توسعه‌ی کشورها محسوب می‌شوند.

برای تضمین کامل در برابر خطرپذیری سیل نیاز به سرمایه‌گذاری بسیار زیاد و ایجاد سازه‌های پرهزینه و گرانی است که از عهده هر کشوری، حتی کشورهای بسیار ثروتمند خارج است. به‌علاوه، ایجاد چنین تمهیداتی ممکن است باعث از بین رفتن و حذف جاده‌ها، خطوط ارتباطی و بسیاری از تاسیساتی شود که برای شکل‌گیری تمدن در طول رودخانه‌ها و در دشت‌های آبرفتی آنها ایجاد شده‌اند. بنابراین سطوح ایجاد حفاظت در برابر سیل محدود است و در بسیاری از حالات دوره برگشت سیل ۱۰ تا ۱۰۰ سال منظور می‌شود. پیش‌بینی سیل و همراه با آن اطلاع‌رسانی وقوع سیل، ابزاری منطقی برای کاهش خطرات سیل نسبت به جان انسان‌ها و مایملک آنها در نقاط سیل‌گیر است.

به‌طور بسیار خلاصه دلایل اهمیت تکمیل روش‌های سازه‌ای به‌وسیله روش‌های غیرسازه‌ای عبارتند از:

- عدم قطعیت‌های هیدرولیکی، هیدرولوژیکی، ژئوتکنیکی و همچنین کاستی‌های اجرا مانع از آن می‌شوند که اطمینان کامل از عملکرد سازه‌ها وجود داشته باشد.
- در دهه‌های اخیر، فعالیت‌های انسانی تغییرات شدیدی در هیدروسیستم‌ها ایجاد نموده و روند کند تغییرات طبیعی را بسیار افزایش داده است. از جمله این تغییرات می‌توان به تغییر اقلیم، تغییرات ناشی از احداث سازه‌های هیدرولیکی، تغییرات ناشی از کاربری اراضی، تغییرات ریخت‌شناسی، تغییرات زیست‌محیطی و اثرهای اندرکنشی اشاره نمود.
- روش‌های غیرسازه‌ای بهتر می‌توانند با پیشرفت فن‌آوری تطبیق کنند و این مساله می‌تواند ابزاری برای مقابله با آثار زیان‌بار تغییرات هیدروسیستم‌ها و استفاده از منافع آنها باشند.
- در بسیاری از موارد به‌علت محدودیت منابع مالی امکان اعمال محافظه‌کاری در پروژه‌های مدیریت سیلاب وجود ندارد. انتخاب دوره‌های بازگشت طولانی در مواردی که محدودیت منابع مالی وجود ندارد نیز ممکن است توجیه اقتصادی نداشته باشد.
- هزینه‌های روش‌های غیرسازه‌ای عموماً کم‌تر از روش‌های سازه‌ای بوده، به‌علاوه این هزینه در زمان پخش می‌شود.
- در حین احداث سازه‌ها، اعمال روش‌های غیرسازه‌ای تنها گزینه ممکن است. این دوره در طرح‌های بسیار بزرگ می‌تواند طولانی باشد و از نظر اقتصادی کاهش خسارات در سال‌های اول بسیار بااهمیت‌تر از سال‌های بعدی است.
- افزایش دوره بازگشت سیلاب طراحی و افزایش ابعاد سازه‌ها در طولانی‌مدت می‌تواند خطرات ناشی از سیلاب را بیش‌تر کند. زیرا تخریب سازه‌های بزرگ معمولاً عواقب بسیار فاجعه‌بارتری از زمانی که اصلاً سازه‌ای احداث نشده باشد، به دنبال دارد.

- در موارد زیادی محدود کردن مسیر رودخانه عواقب زیست‌محیطی نامطلوبی به دنبال داشته است. در این راستا حداقل کردن ابعاد سازه‌ها به وسیله تلفیق روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای مطلوب است.
 - یک اصل بنیادی مهندسی رودخانه، اصلاح تدریجی رودخانه با توجه به پاسخ رودخانه و عمدتاً با استفاده از انرژی جریان است که با احداث سریع سازه‌های مدیریت سیلاب تطبیق و هم‌خوانی ندارد. روش‌های غیرسازه‌ای با کاهش ابعاد سازه‌ها می‌توانند هم‌خوانی بیش‌تری میان مهندسی رودخانه و مدیریت سیلاب ایجاد نمایند.
 - در بسیاری موارد روش‌های غیرسازه‌ای تنها گزینه ممکن هستند. مانند هشدار و تخلیه مردم در موج‌های عظیم ناشی از سونامی در سواحل یا توفان‌های دریایی و یا شکست سدها (به‌عنوان یک مصداق بارز می‌توان به سونامی ۲۰۰۴ جنوب شرقی آسیا اشاره نمود). اکنون در بسیاری از کشورها برقراری سامانه‌ی اضطراری در پایین‌دست سدها الزامی است.
 - روش‌های غیرسازه‌ای موجب ایجاد شناخت بهتر از هیدروسیستم و تغییرات آن می‌شوند و در نتیجه این تغییرات را می‌توان بهتر هدایت کرد و با آن تطبیق نمود.
- گروه کاری رهیافت‌های فراگیر سیلاب^۱ در کمیته بین‌المللی آبیاری و زهکشی^۲ جدول (۱-۲) را در رابطه با فعالیت‌های کشورهای مختلف در زمینه‌ی رهیافت‌های غیرسازه‌ای ارائه نموده است. همان‌طوری که جدول نشان می‌دهد، پیش‌بینی و هشدار سیلاب مهم‌ترین و فراگیرترین رهیافت‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب محسوب می‌شوند.

جدول ۱-۲- کاربرد رهیافت‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب در کشورهای مختلف^۳

نیازهای پژوهشی	اقدامات واکنشی						اقدامات برنامه‌ریزی								
	تخلیه سیل	امداد و کمک‌های اضطراری	بازسازی و تجدید اسکان	تخلیه	هشدار سیل	مدیریت منابع آب	مقابله با سیلاب	تصمیم‌گیری	برنامه‌ریزی اقدامات واکنشی	مدیریت حوضه آبریز	ضد سیل کردن ساختمان‌ها	بیمه سیل	کنترل توسعه سیلابدشت	پیش‌بینی سیل	تحلیل‌های هیدرولیکی
+	+				+			+	+	+		+	+	++	آرژانتین
			+		+	+		+		+	+	++	+		استرالیا
	+		++		++	+		+	+	++		+	++	+	بنگلادش
	+				+					++	+	++	+	+	کانادا
	+		+		+	+		++	+	+	++	++	+	++	فرانسه
++					+	+	+	+	+	+	++	++	+	+	آلمان
			+		++		++		+	+	+	+	++		هند
	+											+	+	+	ایتالیا
		+	+	+	++	+	++	+	+	+			++	+	ژاپن

1- Working Group of Comprehensive Approaches to Flood Management

2- International Committee on Irrigation and Drainage

۳- منبع گروه رهیافت‌های فراگیر مدیریت سیلاب در کمیته‌ی بین‌المللی آبیاری و زهکشی

ادامه جدول ۱-۲- کاربرد رهیافت‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب در کشورهای مختلف

نیازهای پژوهشی	اقدامات واکنشی							اقدامات برنامه‌ریزی							
	تخلیه سیل	امداد و کمک‌های اضطراری	بازسازی و تجدید اسکان	تخلیه	هشدار سیل	مدیریت منابع آب	مقابله با سیلاب	تصمیم‌گیری	برنامه‌ریزی اقدامات	مدیریت حوضه آبریز	ضد سیل کردن ساختمان‌ها	بیمه سیل	کنترل توسعه سیلاب‌دشت	پیش‌بینی سیل	
		+	++	++	++		+	++	+				+	+	مراکش
				+	++	+			+	+	+	++	+	+	هلند
					+	+							+	+	پاکستان
+	+				+			+	+			+	+	+	پرتغال
	+				+		+		+	++		+	+	+	جنوب شرقی آسیا
	++			+	+	+	+	+	++	+	+	+	+	++	اسپانیا
		+	+		+			+		+	++	++	+	+	انگلستان
++	++	+	+		+		+		++	+	++	++	+	+	آمریکا

فصل ۲

کلیات سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار

سیلاب

۲-۱- کلیات

پیش‌بینی هیدرولوژیکی، برآورد وضعیت آینده یک پدیده هیدرولوژیکی است. پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی برای کاهش اثرهای بلایای طبیعی مثل سیلاب‌ها یا خشکسالی‌ها، در همه سطوح توسعه ملی ضروری محسوب می‌شوند. هدف از این بخش ارائه اطلاعات در موارد زیر است:

- انواع پیش‌بینی‌ها و هشدارهایی که صادر می‌شوند.
- مراکزی که خدمات لازم برای تهیه‌ی پیش‌بینی‌ها را ارائه می‌دهند.

۲-۲- مشخصه‌های پیش‌بینی‌ها

سابقه اولین پیش‌بینی سیل مبتنی بر فن‌آوری‌های ارتباطی به سال ۱۸۵۴ در فرانسه برمی‌گردد. در آن سال هیدرولوژیست‌ها با استفاده از تلگراف، وقوع سیل را در یکی از رودخانه‌های بزرگ فرانسه از سه روز قبل پیش‌بینی کردند که این پیش‌بینی منجر به کاهش تلفات جانی و مالی گردید.

سامانه‌های پیشرفته پیش‌بینی سیل به‌عنوان یکی از روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب، بیش از نیم قرن است که در اکثر کشورها مورد توجه قرار گرفته است. در زمینه‌ی ایجاد سامانه‌های پیشرفته پیش‌بینی سیل، چه از لحاظ سخت‌افزاری و چه از لحاظ نرم‌افزاری، تجربیات مفیدی در سطح بین‌المللی وجود دارد.

مولفه‌های سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب عبارتند از:

- اندازه‌گیری، پایش و ارسال داده‌ها
- بخش نرم‌افزاری و مدل‌های ریاضی پیش‌بینی
- بخش مدیریت و اطلاع‌رسانی

مهم‌ترین اجزای بخش نرم‌افزاری سامانه، شامل شبیه‌سازی بارش - رواناب و فرموله‌کردن روابط حاکم در فرآیند تبدیل بارش به رواناب، روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها و مخازن، واسنجی^۱ و اصلاح سامانه در زمان واقعی و برنامه‌ی ارتباط با کاربر است. بررسی‌های انجام شده در سطح دنیا نشان می‌دهد که سامانه‌های پیش‌بینی سیل در کشورهای مختلف بسیار متفاوتند. این موضوع نمایانگر این است که بسته به شرایط حوضه‌ی آبریز، پیچیدگی هیدرولوژیکی آن و اهداف روش‌های مختلف، می‌توانند کارآیی متفاوتی داشته باشند.

پیش‌بینی‌ها و هشدارهای هیدرولوژیکی برای اهدافی از جمله پیش‌بینی وقایع کوتاه‌مدت از تندسیلاب‌ها^۲ گرفته تا پیش‌بینی‌های فصلی برای تامین منابع آب، آبیاری، تولید انرژی یا کشتیرانی در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های پیش‌بینی از روابط ساده تجربی و روابط همبستگی تا استفاده از مدل‌های پیچیده ریاضی که شامل تمامی مراحل بیلان آبی در حوضه‌ی رودخانه است، متغیر هستند.

محاسبه شدت و بزرگی سیلاب، از نظر آبدهی و حجم در یک زمان مشخص در آینده، مهم‌ترین تمایز بین پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی و محاسبات آماری است. در محاسبات آماری، هیدرولوژیست‌ها فقط عناصر مورد انتظار را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. برای مثال احتمال وقوع یک سیلاب ده ساله در یک سال آبی، تنها احتمال متوسط مبتنی بر آمار را به دست می‌دهد. در حالی که پیش‌بینی هیدرولوژیکی با استفاده از اطلاعات مشاهده‌ای، مقدار عددی یک پارامتر که هنوز به وقوع نپیوسته را به دست می‌آورد که این مقدار می‌تواند تفاوت زیادی با متوسط درازمدت آن پارامتر داشته باشد. تاخیر زمانی میان فرآیندهای هواشناسی سریع و فرآیندهای هیدرولوژیکی امکان پیش‌بینی برخی از عناصر در چرخه هیدرولوژیکی را فراهم می‌سازد.

مشخصات اصلی که بر رواناب و دیگر فرآیندهای هیدرولوژیکی حاکم است را می‌توان به دو گروه زیر تقسیم نمود:

۱- عوامل اولیه حوضه آبریز که در زمان پیش‌بینی سیل حاکم است و می‌تواند براساس مشاهدات یا اندازه‌گیری‌های موجود محاسبه و برآورد شود.

۲- عوامل آینده که بر فرآیندهای هیدرولوژیکی پس از پیش‌بینی تاثیر دارد. مهم‌ترین عامل شرایط آبی، آب و هوا است که تنها در صورتی که پیش‌بینی‌های هواشناسی مورد اتکا موجود باشد، می‌تواند صریحا در نظر گرفته شود. اما تاکنون روشی که بتواند شرایط اقلیمی را در درازمدت با اتکاپذیری بالا پیش‌بینی کند، توسعه نیافته است.

عناصر هیدرولوژیکی اصلی که پیش‌بینی آنها عملا مورد نظر است عبارتند از:

- حجم رواناب در دوره‌های زمانی مختلف (دوره‌های جریان زیاد و کم یا دوره‌ها برحسب ماه، فصل و سال)
- هیدروگراف آبدهی یا تراز آب
- تراز و آبدهی حداکثر سیلاب و زمان وقوع آن
- در زیر معانی واژه‌های استاندارد که برای تعیین طیف پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی به کار می‌رود، ارائه می‌گردد:
- پیش‌بینی هیدرولوژیکی کوتاه‌مدت: پیش‌بینی مقدار آبی یک پدیده هیدرولوژیکی برای یک دوره کوتاه‌تر از ۲ روز
- پیش‌بینی هیدرولوژیکی میان‌مدت: پیش‌بینی مقدار آبی یک پدیده هیدرولوژیکی برای یک دوره ۲ الی ۱۰ روز
- پیش‌بینی هیدرولوژیکی بلندمدت: پیش‌بینی مقدار آبی یک پدیده هیدرولوژیکی برای یک دوره بلند بیش از ۱۰ روز
- پیش‌بینی هیدرولوژیکی فصلی: پیش‌بینی مقدار آبی یک عامل هیدرولوژیکی برای یک فصل (که معمولا دوره‌ای چند ماهه را پوشش می‌دهد).
- هشدار هیدرولوژیکی: اطلاعات اضطراری برای یک پدیده هیدرولوژیکی مورد انتظار که خطرناک تلقی می‌شود.

پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی شش مشخصه اصلی دارند:

- متغیر پیش‌بینی پدیده‌ای است هیدرولوژیکی که لازم است پیش‌بینی شود.
- زمان پیش‌هشدار که همچنین به‌عنوان دوره پیش‌بینی یا دوره پیش‌هشدار شناخته می‌شود.
- روش‌های محاسباتی
- هدف پیش‌بینی
- شکل ارائه، به‌عنوان مثال مقدار عددی، هیدروگراف، توزیع احتمالاتی و...
- اطلاع‌رسانی همگانی

۲-۳- کاربردهای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی

پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی برای تنظیم آورد رودخانه، استفاده از انرژی رودخانه، کشتیرانی در رودخانه‌ها، آبیاری (مخصوصاً در مناطق خشک) و مدیریت کمی و کیفی منابع آب با ارزش محسوب می‌شوند. پیش‌بینی‌ها همچنین در مواجهه و تطبیق با پدیده‌های خطرناک در رودخانه‌ها نقش مهمی دارند. در نتیجه ارائه هشدار قبل از سیلاب، موجب می‌شود اقداماتی برای جلوگیری از تلفات جانی و خسارات مالی صورت پذیرد، به طوری که خسارات و خرابی‌های ناشی از این بالای طبیعی حداقل شود.

پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی در طراحی و طی ساخت و بهره‌برداری از سازه‌های هیدرولیکی مهم هستند. به‌عنوان مثال مدل‌های قابل اعتماد پیش‌بینی رواناب فصلی و آبدهی اوج رودخانه می‌تواند در طراحی سدها و سرریزها در نظر گرفته شود و این امر منجر به صرفه‌جویی اجرایی و مدیریت بهره‌برداری کارا می‌گردد. در این رابطه کمیته‌ی بین‌المللی سدهای بزرگ، بولتن روش‌های غیرسازه‌ای کاهش ریسک سدها را منتشر نموده است.

۲-۳-۱- دقت و به‌هنگام بودن

ارزش یک پیش‌بینی تا حد زیادی بستگی به دقت پیش‌بینی دارد. دقت مورد نیاز باید متناسب با کاربرد پیش‌بینی باشد. در ضوابط ارزیابی یک پیش‌بینی به‌طور ایده‌آل، دقت و به‌هنگام بودن باید توأمان مورد نظر قرار گیرد. دقت و به‌هنگام بودن پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی به عوامل زیر وابسته‌اند:

- قابل اعتماد بودن و حجم اطلاعات هیدرولوژیکی و هواشناسی
- سرعت ارسال اطلاعات به مرکز پیش‌بینی
- زمان تاخیر حوضه رودخانه
- مدل پیش‌بینی مورد استفاده
- زمانی که طول می‌کشد تا خبر پیش‌بینی به کاربران ارسال شود.

از عوامل عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی، می‌توان به مواردی مانند خطاهای اندازه‌گیری، محدودیت‌های مدل و تغییرپذیری طبیعی ورودی‌های هواشناسی به سامانه‌های هیدرولوژیکی اشاره کرد. روش‌هایی برای تعیین دقت وجود دارند:

بر پایه اطلاعات لازم، پیش‌بینی‌کننده باید کل خطاها را برآورد کرده و این اطلاعات را در اختیار کاربر قرار دهد. اگرچه منفعت اصلی این ارزیابی به پیش‌بینی‌کننده برای بهبود روش‌های پیش‌بینی می‌رسد. همچنین پیش‌بینی‌های احتمالی، برای کاربران خاص برای ارزیابی ریسک و تصمیم‌سازی برای پدیده خاص هیدرولوژیکی مفید هستند. پیش‌بینی‌های کمی بارش (QPF)، از جمله مورد استفاده در پیش‌بینی‌های احتمالی است.

عدم قطعیت پارامترهای شرایط آبی، مخصوصاً بارش، منبع اصلی عدم قطعیت در پیش‌بینی هیدرولوژیکی محسوب می‌شود. به‌منظور استفاده بیشینه از اطلاعات تمامی منابع مانند رادار، ماهواره، مشاهدات و پیش‌بینی‌های هواشناسی و اندازه‌گیری‌های سطحی، روش‌های نوین در حال توسعه و تکمیل هستند.

۲-۳-۲- هزینه‌ها و منافع پیش‌بینی‌های هیدرولوژی

تعیین منافع و هزینه‌ها برای کاربردهای پیش‌بینی، مشابه مراحل برنامه‌ریزی و طراحی است. مولفه‌هایی که در ارزیابی منافع در نظر گرفته می‌شوند عبارتند از:

- میزان خسارات قابل اجتناب در یک مجموعه از نوع خانگی، تجاری، صنعتی و کشاورزی در صورت وجود پیش‌بینی سیل
- ابعاد صرفه‌جویی‌ها در ابعاد کشاورزی، صنعتی یا بازرگانی در صورت استفاده از پیش‌بینی هیدرولوژیکی
- تعیین کل منافع تجمعی در منطقه که شامل منافع ملموس و غیرملموس است

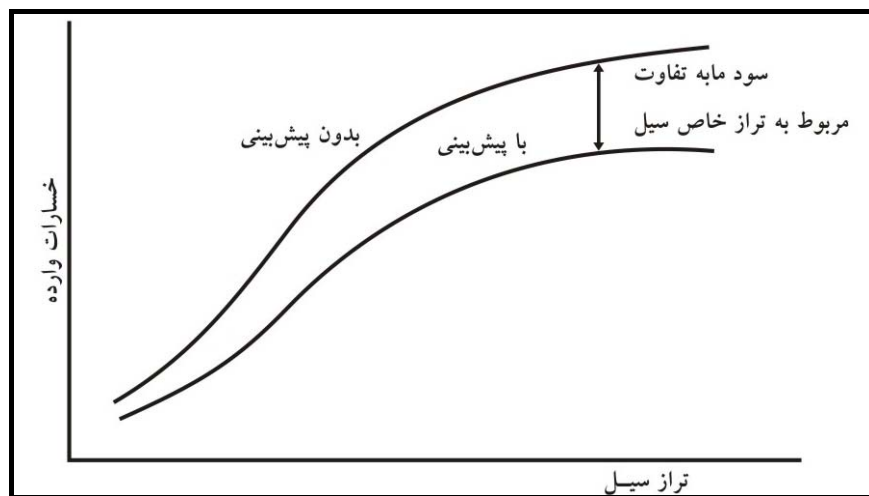
مساله‌ی مهمی که باید در پیش‌بینی در نظر گرفته شود، تاثیر بی‌دقتی پیش‌بینی‌ها بر عکس‌العمل و اعتماد مردم در بلندمدت است.

این نوع ارزیابی، به‌تنهایی یک پروژه جامع محسوب می‌شود و به‌علت این‌که پیش‌بینی هیدرولوژیکی نسبتاً کم‌هزینه است، به‌ندرت مواردی پیش می‌آید که هزینه‌ها از منافع تجاوز کند. هیدرولوژیست‌ها و اقتصاددان‌های مجرب در یک تیم پروژه می‌باید منافع احتمالی برای بخش‌های متفاوت فعالیت‌ها مثل صنعت و کشاورزی را در نظر بگیرند. قبل از هر تصمیمی به‌علت پیچیدگی برآورد هزینه - سود برای یک سامانه پیش‌بینی هیدرولوژیکی، باید مطالعه دقیقی صورت گیرد. اگر تصمیمی برای انجام چنین مطالعاتی گرفته شود، ارزیابی منافع مالی سامانه‌ی پیش‌بینی سیلاب می‌تواند با استفاده از روابط گرافیکی زیر به‌دست آید:

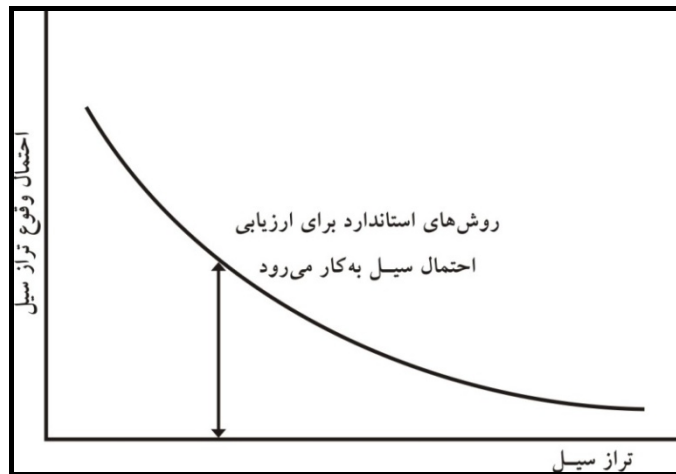
رابطه تراز - خسارت (نمودار ۱-۲). با استفاده از این نمودار می‌توان سود سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب را برای ترازهای مختلف به دست آورد.

رابطه تراز - احتمال (نمودار ۲-۲). این نمودار در مطالعات سیلاب تهیه می‌شود و احتمال وقوع ترازهای مختلف سیلاب را به‌دست می‌دهد.

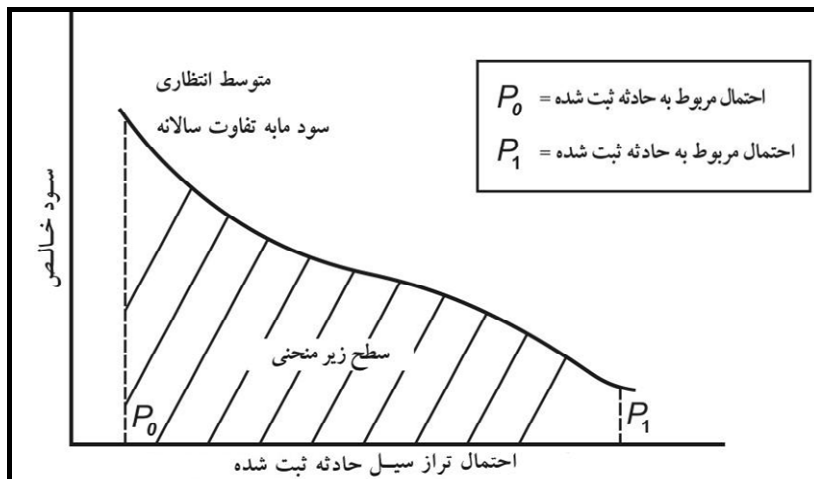
رابطه سود خالص - احتمال (نمودار ۳-۲). با ترکیب دو نمودار قبلی می‌توان سود خالص سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب را برای ترازهای مختلف به‌دست آورد. سطح زیر منحنی سود خالص سامانه در محدوده‌ی احتمالات مختلف سیلاب را به‌دست می‌دهد.



نمودار ۱-۲- رابطه تراز- خسارت اولیه



نمودار ۲-۲- رابطه تراز - احتمال وقوع سیل



$$\text{سود خالص سالانه} = \int_{P_0}^{P_1} b dp \quad \text{و} \quad \text{احتمال} = p \quad \text{و} \quad \text{سود} = b$$

نمودار ۲-۳- رابطه سود خالص - احتمال

منافع ناشی از پیش‌بینی عموماً کم‌تر از منافع اقدامات سازه‌ای حفاظت از سیلاب است. از طرفی هزینه‌های مربوط به سرویس پیش‌بینی سیلاب نیز به‌طور قابل ملاحظه‌ای کم‌تر است و این موجب می‌گردد تا در مقایسه با روش‌های سازه‌ای نسبت سود به هزینه پیش‌بینی‌ها بسیار بالا باشد. در مطالعاتی که ۵۰ سال پیش در آمریکا صورت گرفت، نسبت سود به هزینه چند سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب، بیش از ۳۰ گزارش شده است. بدیهی است با پیشرفت فن‌آوری‌ها در دهه‌های اخیر می‌توان نسبت سود به هزینه بیش‌تری را برای بسیاری از سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب متصور بود.

منافعی که باید با هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری سرویس هشدار سیلاب مقایسه شوند، می‌تواند تبدیل به ارزش مالی سالیانه مورد انتظار شود. اگر پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی بر پایه داده‌ها و تسهیلات دایر برای عرضه سایر خدمات استفاده شوند، باید میان خدمات مختلف تقسیم شوند. سه اصلی که باید در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- هزینه‌های پرسنلی برای بهره‌برداری یک سرویس پیش‌بینی هیدرولوژیکی که می‌تواند در مقایسه با سایر سامانه‌های مشابه برآورد شود.

- هزینه پشتیبانی برای یک سرویس پیش‌بینی که احتمالاً تنها به صورت نظری به عنوان درصدی واقع‌بینانه از هزینه کل سرویس ارزیابی می‌شود.
- هزینه شبکه اطلاعاتی زمان واقعی که علی‌رغم استفاده احتمالی از آن به عنوان قسمتی از شبکه سنجش استاندارد، باید تمامی هزینه‌های آن برای سامانه‌ی پیش‌بینی محسوب شده و کاربرد جایگزین آن به عنوان منفعت غیرملموس محسوب شود.
- یک جنبه مهم در رابطه با توجیه‌پذیری اقتصادی سامانه‌های پیش‌بینی هیدرولوژیکی، این حقیقت است که قائل شدن ارزش اقتصادی برای جان انسان‌ها معمولاً عملی نیست. روش‌های مورد استفاده برای چنین کاری، از اطلاعات بیمه یا ارزش درآمد در طول یک زندگی حرفه‌ای استفاده می‌کند. ولی باید این هزینه‌ها به صورت واقعی در نظر گرفته شوند تا شاخص‌های اقتصادی پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی تقویت گردد.
- اگر رابطه سود-هزینه برای سامانه موجود رضایت‌بخش باشد، تنها چیزی که باید در نظر گرفته شود هزینه‌ها و منافع اضافی است. با وجود این باید تاکید شود که وجود یک سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار ممکن است مردم بیش‌تری را برای اقامت در مناطق خطرناک تشویق نماید. در اثر بروز خطا در پیش‌بینی‌ها، اطمینان‌پذیری این نوع سامانه‌ها کاهش می‌یابد.

۲-۴- خدمات مرکز پیش‌بینی هیدرولوژی

۲-۴-۱- سازماندهی

- سازماندهی سرویس پیش‌بینی هیدرولوژیکی موضوع داخلی هر کشور محسوب می‌شود که الگوی سازمانی آن در کشورهای مختلف متفاوت است. الزامات اصلی برای بهره‌برداری کارآمد یک سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب عبارتند از:
- ایجاد یک شبکه مناسب ایستگاه‌های بالای جو و زمینی شامل ایستگاه‌های هیدرومتری، هواشناسی و رادار
 - نصب و راه‌اندازی تسهیلاتی برای ارتباطات سریع و قابل اعتماد برای جمع‌آوری و انتشار اطلاعات هیدرومتری و هواشناسی
 - تهیه‌ی بانک اطلاعاتی آمار هیدرولوژیکی و هواشناسی ثبت شده با تسهیلاتی برای پردازش اطلاعات، ذخیره و بازیابی سریع
 - پرسنل مجرب و آموزش‌دیده در زمینه‌های مختلف پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی
 - ایجاد سامانه‌ی جمع‌آوری اطلاعات مربوط به بهره‌برداری مدیریت منابع آب و مدیریت سیلاب مانند مخازن، نیروگاه برقابی و شبکه‌های آبیاری - زهکشی
- باید بر قابلیت اتکای سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب تحت شرایط بحرانی مانند سیلاب، توفان و تندباد که امکان خرابی خطوط ارتباط و اختلال در تبادل اطلاعات و تولید انرژی را فراهم می‌آورد، تاکید شود. کارکنان مرکز پیش‌بینی باید قادر باشند که وظایفشان را تحت چنین شرایط خطیری به‌نحو موثر و کارآمد انجام دهند. در زمان بحران وجود سامانه‌ی پشتیبان مانند سامانه‌های ارتباطی رادیو، منبع انرژی اضطراری و تسهیلاتی برای رفت و آمد پرسنل ضروری است.

همچنین ارتباط نزدیک با هواشناسان برای دسترسی سریع به اطلاعات مشاهده‌ای، پیش‌بینی‌ها و مشورت با آنها برای هیدرولوژیست مطلوب است. این امر با ترکیب سرویس‌ها تحقق می‌یابد، در صورتی که این سرویس‌ها مجزا باشند ایجاد کانال‌های ارتباطی مناسب اداری و عملیاتی ضروری است.

۲-۴-۲- فعالیت‌ها

پنج زمینه اصلی فعالیت مرکز پیش‌بینی عبارتند از:

- جمع‌آوری و پردازش اطلاعات ورودی هیدرولوژیکی در وضعیت موجود، عناصر بهره‌برداری، مشاهدات و پیش‌بینی‌های هواشناسی
 - صدور یک بولتن دوره‌ای که مربوط به وضعیت حاضر یا هر پیش‌بینی یا هشدار جاری باشد
 - انتشار و ارائه اطلاعات، تحلیل‌ها، پیش‌بینی‌ها و هشدارها برای کاربران مسوول
 - ارزیابی کارایی و دقت پیش‌بینی
 - تحلیل نیازهای کاربران و پیشرفت‌های حاصل شده در سامانه‌های پیش‌بینی موجود
- مورد آخر بدین معناست که سامانه‌ی پیش‌بینی هیدرولوژیکی باید به‌طور دائم در حال پیشرفت و توسعه باشد. در نتیجه‌ی تغییرات هیدروسستم‌ها و افزایش خطرپذیری ناشی از توسعه سیلابدشت، بهبود اتکاپذیری سامانه، افزایش زمان پیش‌هشدار و افزودن پارامترهای جدید به مدل‌های پیش‌بینی الزامی خواهد بود.

۲-۵- انتشار نتایج پیش‌بینی و هشدار

روش انتشار اطلاعات درباره موقعیت رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن و تحلیل‌های پیش‌بینی و هشدارهای هیدرولوژیکی، به نیاز کاربران، میزان ضرورت، کانال‌های ارتباطی و تسهیلاتی که مرکز پیش‌بینی هیدرولوژیکی در اختیار دارد، وابسته است. به‌طور کلی انتقال اطلاعات در شرایط اضطراری در فواصل کوتاه‌تر صورت می‌گیرد، مثلاً یک تا دو ساعت به‌جای ۲۴ ساعت. هشدار تندسیلاب‌ها یک نمونه حدی است که در آن مهم‌ترین الزام، هشدار به کاربران در کوتاه‌ترین زمان ممکن است. اطلاعات پردازش شده به شکل بولتن، تحلیل، پیش‌بینی و هشدار توسط مراکز پیش‌بینی منطقه‌ای و مرکزی پخش می‌شود. به‌علاوه می‌توان اطلاعات منتخب مشاهده‌ای ایستگاه‌ها را برای کاربران واجد شرایط مستقیماً ارسال نمود. با این وجود عاقلانه است که به‌سازمان مسوول تنها یک مجموعه اطلاعات که منشا و اطمینان‌پذیری^۱ آن کاملاً مشخص شده باشد، ارسال شود. کاربران سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب عبارتند از:

- ستادهای حوادث غیرمترقبه
- سازمان هلال احمر
- وزارتخانه‌های ذی‌ربط
- سازمان‌های دولتی دست‌اندرکار مانند بخش‌های حمل و نقل

- بهره‌برداران سازه‌های آبی
- شهرداری‌ها
- مدیران پروژه‌های در حال ساخت (مانند سدها و شبکه‌های آبیاری زهکشی)
- سازمان‌های بهداشتی مانند بیمارستان‌ها و ...

۶-۲- مشارکت مردم

توسعه یک سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب نیاز به مشارکت هوشیارانه مردم و سازمان‌های مختلف دارد و برای کارایی مناسب سامانه، کلیه‌ی اجزا باید به‌نحو موثری کارکرد خود را به انجام برسانند. به‌منظور دستیابی به هشدار موثر، سازمان‌های درگیر در فعالیت‌های واکنشی باید از روابط میان فرآیندهای هشدار سیلاب و وظایف خود آگاه باشند. به‌علاوه آگاهی جوامع در معرض خطر پیش‌نیاز موفقیت این سامانه‌ها خواهد بود. بهترین روش، درگیر کردن مردم در برنامه‌ریزی و بازنگری سامانه‌های هشدار است.

روش‌های مختلفی برای مشارکت‌دادن و آموزش مردم در پیش‌بینی و هشدار سیلاب وجود دارد:

- توزیع اطلاعات مربوط به سیلاب از طریق جزوه‌ها، بروشورها و ...
- تعامل چهره به چهره و خانه به خانه با مردم
- بازدید مسوولین هشدار سیلاب از کارخانه‌ها و صنایع واقع در سیلابدشت نیز احتمال وقوع سیل‌گرفتگی را به صاحبان و پرسنل مربوط یادآوری می‌کند.
- نشانگرهای سیلاب‌های مشاهده‌ای وقایع
- انتشار مقالات در روزنامه‌ها
- مصاحبه با مسوولین مدیریت سیلاب
- تبلیغات آگاهی‌بخش در رادیو
- ارائه دستورالعمل‌های سیلاب به‌شکل کتابچه‌ها و بروشورها به مردم و کتابخانه‌ها (اطلاعات محلی نیز باید در قالب موارد فوق ارائه شود).
- برگزاری جلسات با مردم ساکن در سیلابدشت
- نصب تابلوهای نشانگر پتانسیل سیلاب بر روی ساختمان‌های عمومی
- مانورهای آزمایشی

بدیهی است که می‌توان ترکیبی از راهکارهای فوق را در شرایط مختلف به‌کار گرفت.

مناسب است اقدامات فوق را در ابتدای محل سیلاب و یا در حوالی سالگرد سیلاب‌های بزرگ و تاریخی ارائه نمود. باید تلاش شود سازمان‌های مختلف در فعالیت‌های آموزشی و فرهنگ‌پروری دخیل شوند تا انرژی و هزینه‌های لازم توزیع شود.

فعالیت‌های فوق را نباید به‌صورت مرتب اجرا نمود، به‌خصوص پس از وقوع یک سیلاب شدید زیرا ممکن است خاطرات بدی را

در ذهن برخی زنده کند.

در پایین دست که اعتقاد کاذب به حذف کامل خطر سیلاب وجود دارد، فعالیت‌های آموزشی می‌تواند بسیار مهم تلقی شود. برنامه‌ها باید به اندازه کافی انعطاف‌پذیر باشند به نحوی که بتوان آنها را با شرایط جدید تطبیق داد.

۲-۶-۱- سامانه‌ی پیش‌بینی سیل غیررسمی

وجود یک سامانه‌ی پیش‌بینی سیل غیررسمی در کنار سامانه‌ی پیش‌بینی سیل رسمی، مهم تلقی می‌شود. این سامانه بر دیدگاه‌های ساکنین سیلابدشت از روند ادامه سیلاب متکی است. نظرخواهی از این افراد مهم است و باید در دستور کار قرار گیرد. در این چارچوب آنها باید شناسایی شده و تشویق شوند که اطلاعات خود را در اختیار پرسنل سامانه‌ی پیش‌بینی قرار دهند. استفاده از این افراد برای قرائت تراز رودخانه در هنگام سیلاب می‌تواند مناسب باشد، البته به شرطی که این افراد هم‌زمان دغدغه حفاظت از خانه و دارایی‌های خود را نداشته باشند. روش دیگر آن است که این افراد را تشویق نمود که پیش‌بینی‌هایی را که فکر می‌کنند اشتباه است، به مرکز پیش‌بینی ارائه دهند. اگر مسوولین شرایط اضطراری محلی نیز اصلاح پیش‌بینی‌ها را از مرکز درخواست کنند یک پیش‌بینی منحصر به فرد ارائه خواهد شد. این راهبرد می‌تواند موجب تلفیق سامانه‌ی پیش‌بینی غیررسمی با سامانه‌ی پیش‌بینی رسمی شود و در نتیجه نتایج رقابت‌های نامطلوب دو نوع پیش‌بینی در جریان سیلاب حداقل خواهد شد و پیش‌بینی‌های مستقل به رسانه‌ها منتقل نخواهد شد. با کمک‌گرفتن از اطلاعات مردم محلی، آنها خود را در سامانه‌ی پیش‌بینی سهیم خواهند دانست و اعتماد عمومی به آن افزایش می‌یابد.

مسوولین محلی می‌توانند خود را برای شرایط بدتری از پیش‌بینی‌ها مهیا نمایند، به شرطی که با اعمال نظم لازم از سردرگمی مردم اجتناب شود.

در بسیاری از موارد ایجاد یک سامانه‌ی پیش‌بینی غیررسمی الزامی است. این سامانه می‌تواند با انتقال اطلاعات از کشاورز بالادست به کشاورز پایین دست ممکن باشد که در مناطق زیادی سابقه طولانی دارد.

۲-۷- تضمین پایداری و خلل‌ناپذیری سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل

تضمین پایداری و خلل‌ناپذیری سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل در شرایط جدی و در سیلاب‌هایی که بزرگ‌تر از سیلاب‌های مشاهده‌ای و تاریخی هستند، بسیار مهم است. محدودیت‌ها و کاستی‌های روش‌های هواشناسی و هیدرولوژی باید شناسایی شده و در نظر گرفته شوند. این مساله به خصوص در مورد پیش‌بینی دقیق شدت و مدت پایش که با علم امروز ممکن نیست، صدق می‌کند. سازمان‌ها و مردم باید احتمال وقوع سیلاب‌های مخرب‌تر از سیلاب‌های تاریخی را بپذیرند. برای مثال در یک رودخانه، سیلابی به وقوع پیوست که نقطه اوج آن چهار برابر بزرگ‌تر از بزرگ‌ترین اوج مشاهده‌ای در یک دوره‌ی صدساله بود. در غرب استرالیا در سال ۱۹۷۰ بارش ۲۴ ساعته‌ای بیش از بارش بیشینه محتمل محاسبه شده آن حوضه، بارید. در ایران نیز، سیلاب مشاهده‌ای مردادماه ۱۳۸۰ در محل سد گلستان، ۲۵ درصد بیش از سیلاب بیشینه محتمل محاسبه شده در محل سد بود.

۲-۸- اجزای یک سامانه‌ی کارای هشدار سیلاب

در جدول (۱-۲) اجزایی که همانند زنجیر از کشف تا واکنش به سیل به‌منظور موثر بودن یک سامانه‌ی هشدار سیل لازم هستند،

ارائه شده‌اند:

جدول ۱-۲- فعالیت‌ها، سازمان‌های مسوول و عوامل کلیدی سامانه‌ی پیش‌هشدار سیلاب

مراحل	موسسات و سازمان‌های مسوول	عوامل کلیدی	فعالیت‌ها
شناسایی	- جمع‌آوری داده‌های هواشناسی و پیش‌بینی‌های آب و هوا - جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژی و هیدرومتریک	سازمان مرکزی هواشناسی یا سازمان ایالتی مدیریت منابع آب به همراه واحدهای محلی / منطقه‌ای	- جمع‌آوری و انتقال داده‌های اندازه‌گیری شده از دور و اتوماتیک - تراکم شبکه ایستگاه جمع‌آوری داده - رادار آب و هوا
پیش‌بینی	- دریافت و تفسیر داده‌ها - مدل‌سازی سیل - پیش‌بینی سیل - انتشار هشدار	- سازمان پیش‌بینی سیل - سازمان مدیریتی ایالتی یا مرکزی به همراه واحدهای محلی / منطقه‌ای	- سامانه پیش‌بینی عملیات سیلاب به‌وسیله مدل‌های ریاضی - سامانه کارای ارتباطی درون‌سازمانی و بین‌سازمانی
هشدار	- دریافت هشدارها و پیش‌بینی‌های سیل - تفسیر و تصمیم‌گیری در مورد داده‌ها - انتشار هشدارها - ایجاد اطلاعات - همکاری با گروه‌های درگیر با سیل و رسانه‌ها - فعالیت‌ها	- تصمیم‌گیرندگان محلی و منطقه‌ای - کمیته سیل و پیشگیری از حوادث - نهادهای حفاظت از حوادث - حفاظت غیرنظامی (سرویس‌های نجات، پلیس، آتش‌نشانی و ...) - رسانه‌ها - سازمان‌ها، موسسات و سازمان‌های مسوول	- مسؤلیت‌های مشخص - کارمندان ۲۴ ساعته - ارتباط سریع و موثر - زمان پیش‌هشدار - هشدارهای دقیق - هشدارهای هدفمند - همکاری موثر درون‌سازمانی و بین‌سازمانی - فاکتورهای کلیدی
مقابله	- هماهنگی فعالیت‌ها/ ابزارها و شرکت‌کنندگان - اطلاع‌رسانی به عموم	- کمیته سیل و واحدهای محلی پیشگیری از سوانح - سازمان پشتیبانی شهری	- سامانه اطلاعات مناسب برای مردم با بازخورد آموزشی
واکنش	- کاستن خسارت به‌وسیله ابزارهای پیش‌آگاهانه - دفاع در برابر سیل و تخلیه	- شرکت‌های استفاده‌کنندگان از رودخانه - صناعی که در مناطق مستعد سیل قرار دارند - جمعیت در خطر سیل‌گرفتگی	- پاسخ به اطلاعات و هشدارها - دسترسی به کمک‌ها - آگاهی از موقعیت - تجارب سیل‌های قبلی

موارد زیر برای تضمین کارایی و اثربخشی یک سامانه‌ی هشدار سیلاب ضروری است:

- همکاری و هم‌افزایی سازمان‌های مختلف درگیر در هشدار سیلاب نقش بسیار کلیدی در بهبود کارایی سامانه دارد و در این راستا لازم است پرسنل کلیدی این سازمان‌ها به‌صورت ادواری با یکدیگر جلساتی برای بررسی اجزای سامانه و بهبود آنها داشته باشند. در این چارچوب اینترنت نیز می‌تواند نقش بسیار موثری ایفا نماید. زیرا اینترنت تعامل موثر میان سازمان‌ها را بسیار تسهیل نموده و می‌تواند اطلاعات را در اختیار کاربران و مردم عادی نیز قرار دهد. به‌علاوه انتخاب نقشه‌ها و دیگر اطلاعات از طریق اینترنت به‌سرعت و با هزینه‌ی بسیار کم امکان‌پذیر می‌شود.
- سازمان‌های درگیر در پیش‌بینی، تفسیر، انتشار و واکنش‌ها باید در توسعه و بازنگری سامانه مشارکت داشته باشند. وظایف و نقش سازمان‌های مختلف باید در مورد اجزای مختلف به‌وضوح شناسایی شود.
- سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل را باید به‌عنوان بخشی از مدیریت سیلاب در نظر گرفت و شناسایی اندرکنش آن با دیگر روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب باید در دستور کار قرار گیرد.

- سازماندهی، تامین منابع، آموزش، مانورهای آزمایشی لازم برای حصول اطمینان از کارایی سامانه باید در دستور کار قرار گیرند.
- برنامه‌ریزی و پایداری سامانه‌های هشدار سیلاب نیاز به زمان زیادی دارد. به‌علاوه تامین منابع مالی لازم باید تضمین شود. نکته مهم آن است که تمامی اجزا تکنیکی و هزینه‌بر نیست. بسیاری از اجزا را می‌توان با هزینه‌ی کم ایجاد نمود زیرا برقراری آن بر پایه‌ی تغییر چیدمان‌ها استوار است و سخت‌افزارهای هزینه‌بر مورد نیاز نخواهند بود. در حقیقت بسیاری از مشکلات سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل، نبود تعاریف مناسب از چیدمان‌هاست.
- پاسخ‌گویی سازمان‌ها در مورد عملکرد خود در سیلاب‌ها با توجه به درگیری چندین سازمان در پیش‌بینی و هشدار سیلاب چالش‌آور است.

۲-۹- تعریف سطوح مختلف توسعه‌یافتگی سامانه جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب

تعیین خصوصیات ساختاری و جزئیات فنی و عملکردی یک سامانه هشدار سیل مناسب برای یک منطقه مستلزم انجام بررسی‌های جامع و فراگیر است. طیف گسترده این بررسی‌ها جوانب مختلف اقتصادی و فنی اطلاعات مربوط به خصوصیات هیدرولوژی (حوضه و زیرحوضه، پوشش گیاهی، شبکه آبراهه‌ها، توپوگرافی)، هیدرولیک رودخانه (شیب، مقاطع، مصالح، بستر)، داده‌های هواشناسی (آمار بارندگی و اطلاعات برف‌سنجی، ذوب برف)، اطلاعات هیدرومتری (آمار آبدهی رودخانه در مقاطع مختلف و سیلاب‌های پیشین) و روابط عمومی و اطلاعات اجتماعی-سیاسی را در بر می‌گیرد. در امکان‌سنجی یک سامانه هشدار سیل در منطقه اولین مرحله پاسخ به این سوال است که آیا یک سامانه هشدار سیل می‌تواند جوابگوی نیازهای کنترل خسارات سیل به میزان لازم در منطقه باشد و آیا در میان دیگر ابزارهای مدیریت سیلاب بهترین انتخاب است؟ در صورت نیاز به سامانه، چه نوع سامانه هشدار سیل یا به‌عبارت دیگر چه سطحی از سامانه هشدار سیلاب قادر به انجام این مهم است؟ آیا تحلیل ریسک منطقه لزوم سامانه هشدار سیلاب را تایید می‌کند؟ آیا نسبت سود به هزینه قابل قبول است؟ پاسخ صحیح به این سوالات بنیادی و کلیدی از طریق انجام یک سری مطالعات و بررسی‌های خاص امکان‌پذیر است. در جدول (۲-۲) سطوح مختلف سامانه‌ی هشدار سیلاب نشان داده شده است.

جدول ۲-۲- نمایش سطوح مختلف توسعه سامانه هشدار سیلاب از جنبه‌های مختلف

معیار	مراحل توسعه		
	۳	۲	۱
۱- فلسفه هشدار سیلاب	پیشرفته	متوسط	ابتدایی
۲- دامنه هشدار و پیش‌بینی سیلاب	پیش‌بینی و هشدار در یک سطح بوده و دقت بالایی داشته باشد	پیش‌بینی و هشدار در سطح هم در نظر گرفته شود	پیش‌بینی غالب باشد
۳- کاربرد فن‌آوری برای سامانه‌های هشدار سیلاب	کاملاً خودکار	ترکیبی	مدل‌سازی دستی
۴- پوشش جغرافیایی	>۵۰٪	>۱۰٪ و <۵۰٪	<۱۰٪
۵- قوانین مربوط به سامانه‌های هشدار سیلاب	قوانین با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها	قوانین	بدون قانون/ مجوز
۶- محتوای پیام‌های هشدار برای مردم	هدف: شدت/ مکان و زمان‌بندی	ترکیبی: مکان/ زمان	جایگاه عمومی
۷- روش‌های انتشار هشدار سیلاب	تلفن شخصی/ دورنما	آزیرها/ سازمان‌ها و پلیس	اعلان کلی

ادامه جدول ۲-۲- نمایش سطوح مختلف توسعه سامانه هشدار سیلاب از جنبه‌های مختلف

مراحل توسعه			معیار
۳	۲	۱	
حدود دارایی‌های شخصی منطقه	محدود به پهنه سیلاب	کم / در حد نیاز	۸- اطلاعات راجع به ریسک/ خطر
کاملاً مشخص	رنگ‌بندی	حداقل	۹- آموزش عموم در رابطه با طریقه هشدارها
بررسی تحقیقات	شناخت محدودیت‌ها	شکست‌ها	۱۰- شناخت راجع به کارایی سامانه‌های هشدار سیلاب
کاملاً	تأحذی	کم	۱۱- توزیع دامنه کار درس‌های آموخته
دقت/ زمان‌بندی/ قابل اعتماد	شاخص‌های کلیدی	خیر	۱۲- اجرا و مشاهده
ملی/ بین‌المللی	متغیرهای ملی/ منطقه‌ای	محلی	۱۳- استانداردهای ملی
سطح توافق با سازمان‌ها	ارتباط سازمانی	مستقل	۱۴- فرهنگ سازماندهی

۲-۹-۱- سامانه جامع هشدار سیلاب

اجزای سامانه‌ی هشدار سیلاب جامع عبارتند از:

- زیرسامانه شناسایی و پیش‌بینی سیل
- زیرسامانه‌ی تفسیر پیش‌بینی
- سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری
- زیرسامانه‌ی هشدار سیل
- زیرسامانه‌ی عکس‌العمل اضطراری
- زیرسامانه‌ی بازتوانی بعد از سیل
- زیرسامانه‌ی مدیریت پیوسته، مرور و بازنگری سامانه

برای آن که یک سامانه هشدار سیل عملکرد موثری داشته باشد تمامی این اجزا باید حضور داشته و به‌جای آن که مستقل و مجزا از هم باشند باید بیش‌تر به‌صورت یکپارچه و همراه با هم عمل کنند. این مساله بسیار مهم است و پیش‌نیاز یک سامانه هشدار سیل کارا و موثر است که نیاز به همکاری نزدیک تمامی سطوح پیش‌برنده و اجرایی سامانه دارد.

۲-۹-۲- انواع سامانه‌های هشدار سیل

سامانه‌های هشدار سیل با توجه به نوع و قابلیت فن‌آوری به‌کار گرفته شده در اجزای مختلف آن در مراحل سنجش داده‌های پایه، مخابره داده‌ها، پردازش و چگونگی پیش‌بینی سیل به دو نوع کلی دستی و خودکار طبقه‌بندی می‌شوند.

۲-۹-۲-۱- سامانه هشدار سیل دستی^۱

ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین سامانه‌های منطقه‌ای هشدار سیل از نوع دستی هستند که در نوع ابتدایی خود با استفاده از خدمات داوطلبان و به‌کارگیری باران‌سنج‌های ساده (پلاستیکی) و اشل (سنجه رقوم) در نقاط حساس، مشاهدات خود را به مسوول هماهنگ‌کننده سامانه گزارش می‌دهند.

۲-۹-۲-۲- سامانه هشدار سیل خودکار^۱

یک سامانه‌ی هشدار سیل منطقه‌ای خودکار، متشکل است از یک شبکه از سنجشگرهای مختلف که شرایط جوی و محیطی را به یک رایانه مرکزی گزارش (مخابره) می‌نمایند. این رایانه قادر است که اطلاعات پایه (دریافتی) و پردازش شده خود را با دیگر سامانه‌های رایانه‌ای مبادله نماید. معمولاً یک سامانه‌ی هشدار سیل منطقه‌ای خودکار قادر است که یا به‌صورت یک سامانه منفرد^۲ و یا در قالب یک شبکه عمل نماید و متشکل از تجهیزات زیر می‌باشد:

- سنجشگرهای مخابره‌گر تمام اتوماتیک
- یک سامانه‌ی مخابراتی و ارتباطی مطمئن
- سامانه‌ی خودکار جمع‌آوری و پردازش اطلاعات
- سخت‌افزار رایانه‌ای مناسب
- مدل هیدرولوژیک (پیش‌بینی و هشدار سیل) رایانه‌ای

یک سامانه‌ی هشدار سیل منطقه‌ای خودکار به‌صورت یکپارچه و در قالب یک سامانه‌ی هماهنگ، طراحی و پیاده‌سازی می‌گردد و نمی‌توان اجزای آن را به‌صورت منفک و مجزا و یا بدون هماهنگی لازم طراحی و پیاده‌سازی نمود. این مهم یکی از ملزومات پایه در تجهیز منطقه مدنظر به سامانه‌ی هشدار سیل خودکار است.

سامانه‌های هشدار سیل جامع و یکپارچه از طریق تلفیق و یکپارچه‌سازی سامانه‌های هشدار سیل منطقه‌ای از طریق ایجاد ارتباط و محاوره بین آنها (تبادل اطلاعات دوطرفه) به‌وجود می‌آیند و در سطح کشوری و یا حتی بین‌المللی کارآمد هستند. این ارتباط از یک مرکز هشدار سیل کشوری توسط یک سامانه‌ی رایانه‌ای مجهز، هماهنگ و مدیریت می‌گردد.

۲-۹-۳- تعریف سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل محلی

سامانه‌ی هشدار سیل محلی، سامانه‌ای است برای آگاه کردن مردم از خطر سیل و هشدار دادن به مناطق تحت پوشش و مواردی چون اندازه‌گیری بارش و شدت جریان، مدل‌های هیدرولوژیکی، سامانه‌ی ارتباطی و داوطلبانی توانمند و علاقه‌مند را شامل می‌شود. هدف اولیه‌ی این سامانه، انجام خدمات اضطراری و ارائه‌ی پیش‌بینی سیل است، به‌طوری که به سرعت و سهولت بتوان پس از دریافت این اطلاعات، واکنش مناسب را به انجام رساند. دومین هدف مهم سامانه‌ی هشدار سیل محلی، فراهم‌آوردن اطلاعات برای مدیریت منابع آب است. بنابراین، اطلاعات سامانه‌ی هشدار سیل محلی می‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های روزانه در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب مورد استفاده واقع شود.

۲-۹-۳-۱- اهداف سامانه‌ی هشدار سیل محلی

هدف‌های اولیه‌ی سامانه‌ی هشدار سیل محلی عبارتند از:

- کاهش خسارت وارد آمده به جان و اموال مردم از طریق سیل
- کاهش اختلال در فعالیت‌های تجاری و انسانی

برای رسیدن به اهداف بالا، اقدامات زیر باید انجام شود:

- بهبود بخشیدن و نگهداری از یک سامانه‌ی ارتباطی موثر بین سازمان‌ها و افراد
- مشارکت عمومی و برنامه‌ریزی عکس‌العمل و پاسخ به خطر
- آموزش همگانی برای عکس‌العمل در برابر پیش‌بینی و هشدار سیل‌های ناگهانی
- موثرتر و بهتر کردن مدیریت سیلابدشت
- به حداقل رساندن زمان عکس‌العمل پس از پخش هشدار سیل ناگهانی

در جوامع مجهز به سامانه‌های هشدار سیل محلی، می‌توان مشاهدات محلی را به سرعت به یک واحد هشدار سیل انتقال داد. واحد هشدار سیل، اطلاعات مربوط به بارندگی‌های شدید و آبراهه‌هایی را که در معرض خطر سیل هستند هماهنگ می‌کند و به سازمان ملی هواشناسی گزارش می‌دهد. ارزیابی سریع پتانسیل سیل در مراحل اولیه‌ی وقوع سیل، کاری دشوار و حساس است. وقتی داده‌های کافی در دسترس باشند، سازمان هواشناسی (با مشارکت واحد هشدار سیل) می‌تواند هشدار تندسیلاب را که ممکن است باعث نجات جان مردم و جلوگیری از وارد آمدن خسارات زیاد به اموال مردم شود، به سرعت و به هنگام پخش کند.

فراوانی وقوع یک تندسیلاب که در یک جامعه اتفاق می‌افتد بسیار متفاوت است و بستگی به موقعیت و نوع رودخانه دارد. ممکن است فاصله‌ی زمانی بین وقوع سیل‌ها زیاد باشد، از این رو سازمان‌های مسوول همواره باید بازدیدهای فردی از سامانه‌های هشدار سیل، برگزاری جلسات گروهی و انجام مانورهای لازم را در برنامه خود پیش‌بینی و پی‌گیری نمایند.

تحلیل‌های آماری سیلاب‌ها نشان می‌دهد که اگر سامانه‌ی هشدار سیل محلی حداقل ۳۰ دقیقه زودتر از وقوع سیل هشدار آبدهید، زندگی افراد نجات پیدا می‌کند و در نتیجه سامانه‌ی هشدار سیل محلی از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر خواهد بود.

سامانه‌ی خودکار هشدار سیل محلی می‌تواند موجب افزایش دقت و زمان پیش‌هشدار شود، هرچند ممکن است در کاهش

خسارات سیل موثر واقع نگردد. عوامل موثر در انتخاب یک سامانه‌ی خودکار هشدار سیل محلی شامل موارد زیر است:

- مشخصات هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز مورد نظر
- فراوانی وقوع سیل
- پتانسیل کاهش تلفات و خسارات سیل
- زمان هشدار و رابطه‌ی آن با منافع حاصل شده

فصل ۳

بررسی‌ها و مطالعات پایه

۳-۱- کلیات

در این فصل مطالعات لازم برای طراحی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب به صورت راهبردی ارائه می‌شود. با توجه به این که در بیش تر موارد هزینه‌های سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب بسیار کم‌تر از منافع آنهاست، توصیه می‌شود مطالعات توجیهی (امکان‌سنجی) این سامانه‌ها توسط کارشناسان کارفرما انجام شود. در همین چارچوب و نیز با توجه به اینکه طولانی شدن پروسه‌ی طراحی می‌تواند موجب افزایش ریسک تلفات جانی و خسارات مالی شود (در صورتی که سیلاب بزرگی در دوره‌ی طراحی و قبل از راه‌اندازی سامانه روی دهد)، توصیه می‌شود مطالعات مراحل طراحی پایه و طراحی تفصیلی در یک مرحله صورت پذیرد. در این چارچوب لازم است در شرح خدمات بخش‌های طراحی پایه و تفصیلی به صورت مجزا ارائه شوند و انجام هر مرحله منوط به تصویب مرحله قبل شود. به علاوه به منظور راه‌اندازی هرچه سریع‌تر سامانه، به کارفرمایان توصیه می‌شود روش دو عاملی با عنوان طرح و اجرا را برای راه‌اندازی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب به صورت جدی مورد بررسی قرار دهند. در سال‌های میانی دهه ۸۰ و دهه ۹۰ میلادی، روش طرح و اجرا کاربرد بیش‌تر پیدا کرد. پروژه‌های دو عاملی از دو عامل کارفرما و پیمانکار تشکیل شده‌اند که پیمانکار کار طراحی و اجرا را یک‌جا انجام می‌دهد. این نوع پیمان‌ها از ویژگی‌های خاصی، از قبیل سرعت انجام پروژه، ورود علم تجربه و اجرا در بخش طراحی پروژه، صرفه‌جویی در هزینه‌های پروژه و به طور کلی قطعیت در زمان و هزینه برخوردار هستند. در روش اجرای متعارف، مهندس مشاور پس از انجام طراحی تفصیلی، اسناد مناقصه را آماده نموده و پیمانکاران تنها برای اجرای طرح، براساس طراحی تفصیلی یاد شده، مشخصات فنی و مقادیر مشخص کار، در مناقصه شرکت می‌کنند. در روش‌های طرح و اجرا، مسؤولیت طراحی و اجرای طرح در چارچوب خواسته‌های کارفرما و ضوابط مقرر، با یک پیمان به پیمانکار واگذار می‌شود. این روش سابقه بسیار طولانی‌تر از روش سه عاملی دارد، به طوری که در منشور حمورابی، مسؤولیت مطلق معمار ارشد یا سازنده اصلی، مطرح شده است. منافع پروژه‌های «طرح و اجرا» عبارتند از:

- زمان اجرای کوتاه‌تر با هم‌پوشانی طراحی و اجرا
- انتقال برخی ریسک‌ها و مسؤولیت‌ها از دستگاه اجرایی به پیمانکار
- قطعیت‌دادن به تاریخ تکمیل طرح و مبلغ پیمان
- حساسیت بیش‌تر بخش طراحی نسبت به دغدغه‌ها و مشکلات اجرایی
- حمایت مالی بخش اجرایی از بخش طراحی
- هم‌افزایی بخش‌های طراحی، خرید و اجرا
- ایجاد انگیزه برای کارشناسان طراحی، اجرا و خرید برای شناسایی و حذف هزینه‌های غیرضروری پروژه
- زمینه‌سازی برای استفاده از فن‌آوری‌های نوین
- تقلیل عوامل دست‌اندرکار طرح و به تبع آن کاهش مکاتبات و مسایل اداری

در روش‌های سازه‌ای مدیریت سیلاب، هزینه‌های طراحی درصد کمی از هزینه‌های اجرایی است. از طرف دیگر، در بیش‌تر موارد هزینه‌های اجرایی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب چندان بیش‌تر از هزینه‌های طراحی نیست و بنابراین هم‌پوشانی طراحی و اجرا می‌تواند از نظر کاهش ریسک تلفات جانی و خسارات مالی کاملاً توجیه‌پذیری اقتصادی داشته باشد.

۲-۳- مطالعات سیلاب (هواشناسی - هیدرولوژی)

در مقایسه با مطالعات سدسازی، برآورد مشخصه‌های مختلف سیلاب، محور اصلی مطالعات هواشناسی - هیدرولوژیکی در پروژه‌های مدیریت سیلاب محسوب می‌شود و مباحثی مانند آبدهی و کیفیت در محدوده‌ی مطالعه نیستند. اهداف مطالعات هواشناسی - هیدرولوژیکی در پروژه‌های سیلاب عبارتند از:

- تعیین مشخصه‌ها و رفتار رگبارهای حادث شده

- تعیین مشخصه‌های سیلاب‌های محتمل (بزرگی، حجم، هیدروگراف و...)

- ایجاد زیرساختار لازم برای تهیه مدل پیش‌بینی سیل

دو رهیافت اصلی تحلیل فراوانی^۱ (آماري) و مدل‌های بارندگی - رواناب^۲ در تعیین سیلاب‌های بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش مناسب بستگی به پروژه و الزامات کارفرمایی دارد. برای مثال در آمریکا و کانادا از سیل ۱۰۰ ساله برای تعیین خطرپذیری مناطق سیل‌گیر استفاده می‌شود. در چنین حالتی مناسب‌ترین روش، تحلیل فراوانی است. از طرف دیگر ممکن است ارزیابی راهبردی مدیریت سیل برای حالت خاص از یک حادثه تاریخی یا فرضی در نظر گرفته شود. در این حالت رهیافت مدل‌های بارندگی - رواناب کارآیی بیش‌تر دارد. در عمل برای پروژه‌های پیش‌بینی که خطرپذیری از دیدگاه تلفات جانی و مالی زیاد باشد به‌کارگیری تمامی روش‌ها از جمله سیلاب‌های تاریخی و دیرینه سیلاب^۳، نیز توصیه می‌شود.

۳-۲-۱- تحلیل فراوانی سیلاب

هدف اصلی تحلیل فراوانی سیلاب پاسخ‌گویی به دو پرسش زیر است:

- بزرگی سیلاب چقدر است؟

- دوره برگشت آبدهی یا تراز اندازه‌گیری شده یا فرضی در نقطه‌ای معین چقدر است؟

در کتاب هیدرولوژی تخصصی سیلاب در کانادا (۱۹۸۹) ذکر شده است که: «هدف از تحلیل فراوانی هیدرولوژی، تفسیر یک واقعه هیدرولوژی در گذشته برای تعیین احتمال وقوع آن در آینده است». این روش شامل انتخاب نمونه‌ای از مجموعه‌ی داده‌های در دسترس، برازش توزیع احتمالاتی به نمونه انتخابی و سپس استناد درباره‌ی کل داده‌ها (سری نامحدود فرضی) بر مبنای توزیع منتخب داده است.

بسیاری از کارشناسان برجسته جهان، محاسبه سیلاب‌های بزرگ را مشکل‌ترین و بغرنج‌ترین مرحله در مطالعات مدیریت سیلاب محسوب می‌کنند. حتی در شرایطی که تغییرات هیدروسیستم‌ها مانند تغییر اقلیم در نظر گرفته نشود، محاسبه سیلاب با دوره‌ی بازگشت بیش از ۱۰۰ سال با عدم قطعیت همراه است. با توجه به مورد اخیر لازم است که مطالعات برآورد سیلاب توسط کارشناسان خبره، باتجربه و آشنا به منطقه صورت پذیرد.

تحلیل فراوانی شامل روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان با استفاده از آبدهی رودخانه به‌عنوان یک متغیر مستقل از زمان و با استفاده از قوانین احتمالاتی، دوره‌ی بازگشت سیلاب‌های بزرگ را به‌دست آورد. این زمانی ممکن است که دوره بازگشت سیلاب از

1- Flood Frequency Analysis

2- Rainfall-Runoff Modeling

3- Paleo Flood

طول آمار چندان بزرگ‌تر نباشد. در غیر این صورت عدم قطعیت‌های برون‌یابی، مانع از برآورد دقیق سیلاب‌های بزرگ می‌گردد (برای مثال برآورد سیلاب ۱۰۰۰ ساله با ۵۰ سال آمار می‌تواند با خطاهای بزرگی همراه باشد). در همین راستا بسیاری از برنامه‌های رایانه‌ای تحلیل فراوانی را حداکثر تا دوره بازگشت ۱۰۰ یا ۲۰۰ ساله محاسبه می‌نمایند. برای نمونه در کتاب تحلیل فراوانی سیلاب که یکی از مراجع کلیدی در این زمینه است در هیچ یک از مثال‌هایش حتی با داشتن آمار بلندمدت (۵۰ تا ۱۰۰ ساله)، سیلاب بیش از ۲۰۰ ساله برآورد نشده است [۱۸]. برای حل این مشکل در بسیاری از کشورها ابتدا سیلاب ۱۰۰ ساله را با استفاده از تحلیل فراوانی محاسبه می‌کنند و سپس با استفاده از ضرایب منطقه‌ای یا کشوری سیلاب‌های نادر محاسبه می‌گردد. روش درون‌یابی میان سیلاب ۱۰۰ ساله و PMF نیز در سال‌های اخیر مطرح شده است. در رابطه با سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب، در بیش‌تر موارد نیاز به برآورد سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۲۰ تا ۱۰۰ سال است و در نتیجه می‌توان در این مطالعات تحلیل‌های فراوانی را با سهولت بیش‌تر نسبت به مدل‌های بارندگی رواناب به کار گرفت. به عبارت دیگر کاربرد تحلیل‌های فراوانی سیلاب در مطالعات مهندسی رودخانه و پروژه‌ها پیش‌بینی و هشدار گسترده‌تر از پروژه‌های سدسازی است.

عدم قطعیت‌های مهم در تحلیل فراوانی سیلاب عبارتند از:

- خطاهای سیستماتیک در اندازه‌گیری آبدهی
 - ناهمگونی داده‌ها در اثر تغییر حوضه آبریز
 - داده‌های نامتجانس (مانند سیلاب ناشی از باران یا ذوب برف)
 - نامناسب بودن مدل احتمالی مورد استفاده
 - خطای مربوط به برآورد پارامترها
 - مشکلات مربوط به تحلیل فراوانی تراز سیلاب (در شرایط تغییرات بالادست و بستر)
- توصیه‌های گروه مهندسی ارتش آمریکا در مورد تحلیل فراوانی به شرح زیر است:
- دو یا چند نوع سیلاب که کاملاً از یکدیگر متمایز هستند و به صورت ترکیبی روی نمی‌دهند، نباید در یک دسته تحلیل فراوانی به کار روند (مانند سیلاب‌های پاییزه و بهاره). به عبارت دیگر تحلیل فراوانی سیلاب‌های متمایز باید به صورت جداگانه صورت پذیرد.
 - در صورتی که خلا آماری در اثر تخریب ایستگاه در جریان یک سیلاب بزرگ حاصل شده باشد، عدم برآورد آن سیلاب می‌تواند لطمه مهمی به دقت تحلیل فراوانی وارد کند و باید از این امر اجتناب نمود.
 - آمار ثبت شده در شرایط مصنوعی باید به شرایط طبیعی تبدیل شوند.
 - در صورتی که بزرگ‌ترین سیلاب سالانه، بیش‌تر مورد نیاز و توجه باشد و یا دومین سیلاب بزرگ چندان مورد توجه نباشد باید از سری سیلاب‌های حداکثر سالانه استفاده نمود.
 - برخی سازمان‌ها به خصوص در آمریکا استفاده از توزیع‌های آماری خاصی را توصیه کرده‌اند. در این رابطه باید توجه داشت که «عوامل موثر طبیعی» در شکل‌گیری سیلاب، ملزم به رعایت بخش‌نامه‌های دولتی نیستند. در صورت امکان پذیر بودن، استفاده از تحلیل‌های منطقه‌ای سیلاب توصیه می‌شود.

۳-۲-۲- مدل‌های بارش - رواناب

مدل‌های بارش - رواناب از روش‌های مهم در برآورد سیلاب و همچنین سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب محسوب می‌گردند. مدل‌سازی بارش - رواناب در ۵ مرحله به شرح زیر به انجام می‌رسد:

- مدل‌سازی ادراکی^۱
- مدل‌سازی مفهومی^۲
- مدل‌سازی فرآیندی^۳
- واسنجی مدل^۴
- اعتبارسنجی مدل^۵

یکی از کاربردهای مهم مدل‌های بارش - رواناب، برآورد سیلاب بیشینه محتمل (PMF) است. مهم‌ترین مزیت سیلاب بیشینه محتمل، مطابقت با واقعیت‌های فیزیکی برای وجود سقف بارندگی است. در روش‌های دیگر مانند روش‌های آماری این سقف وجود ندارد و سیلاب‌های بزرگ می‌توانند بسیار دست بالا برآورد شوند. از طرف دیگر فرضیات اصلی مورد استفاده در مطالعات بارش بیشینه محتمل هنوز مورد اثبات قرار نگرفته و عدم قطعیت‌ها می‌توانند دقت محاسبات را بسیار کاهش دهند.

۳-۲-۲-۱- منافع و معایب مدل‌های بارندگی رواناب عبارتند از:

- منافع:

- خصوصیات مختلف حوضه را می‌توان در نظر گرفت.
- دارای قابلیت انعطاف‌پذیری برای در نظر گرفتن تغییرات احتمالی حوضه هستند.
- اثرهای احداث سدهای دیگر در حوضه را می‌توان برآورد نمود.
- در به‌دست آوردن رواناب چند توفان پیاپی استفاده از این مدل‌ها غیرقابل اجتناب است.
- با گذشت زمان و با استفاده از روش‌های پیشرفته دقت مدل‌های بارندگی - رواناب افزایش می‌یابد.
- در نبود اطلاعات آمار بارش و رواناب، استفاده از مدل‌های بارش رواناب اجتناب‌ناپذیر است.

- معایب:

- مشکلات برآورد شرایط حوضه در شروع توفان
- مشکلات کالیبره کردن مدل
- کالیبره کردن مدل ممکن است تنها در طولانی‌مدت ممکن شود.
- مشکلات برون‌یابی دقیق پارامترهای حوضه برای سیلاب‌های بزرگ

1- The Perceptual Model
 2- The Conceptual Model
 3- The Procedural Model
 4- Model Calibration
 5- Model Validation

• برای حوضه‌های بزرگ، به دست آوردن پارامترهای حوضه در بیش تر موارد فاقد دقت لازم است. در صورتی که شرایط حوضه دچار تغییرات پیوسته مانند تغییرات کاربری اراضی، احداث سد یا سیل‌بند و غیره باشد، روش‌های بارندگی - رواناب از انعطاف‌پذیری بیش تری نسبت به تحلیل‌های فراوانی برخوردار است. در بهره‌برداری از سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل در زمان واقعی با استفاده از مدل‌های بارندگی - رواناب پیوسته می‌توان شرایط اولیه و مشاهده‌ای حوضه در شروع توفان را مورد استفاده قرار داد و این امر موجب افزایش دقت مدل می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS موجب افزایش دقت مدل‌های بارندگی - رواناب گردیده است.

اگر مقادیر حاصل از تحلیل‌های فراوانی در مدل‌های بارندگی رواناب برای برون‌یابی منحنی‌های آبدهی - فراوانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید در انتخاب مشخصات حوضه‌ی آبریز مانند رطوبت اولیه دقت نمود. برای مثال به احتمال زیاد مدل بارش - رواناب نمی‌تواند با بارش ۱۰۰ ساله، سیل ۱۰۰ ساله را مدل کند. در رابطه با مدل‌های بارش - رواناب، مطالعات کلان زمین‌شناسی، خاک‌شناسی و کاربری اراضی برای تعیین ضرایب نفوذپذیری حوضه مورد نیاز است. نمونه‌ای از شرح خدمات لازم برای این مطالعات در فصل ۱۳ ارائه شده است.

۳-۲-۳- منابع اطلاعاتی

برای مناطق مشخص، برخی از اطلاعات سیلاب از مطالعات سیلاب‌های گذشته به دست می‌آیند. نکته‌ی قابل توجه این است که در طول سیلاب و یا بلافاصله بعد از آن باید شکاف‌های اطلاعاتی پر شوند. اطلاعات جمع‌آوری شده در طول سیلاب باید به مراکز عملیات اضطراری گزارش شوند تا سیلاب رخ داده بلافاصله مورد ارزیابی قرار گیرد.

معمولاً جدولی برای نمایش تراز و سطح (پهنه) آن تهیه می‌شود و در کنار جداول اطلاعاتی نقشه‌های هوایی به‌طور موثری به‌عنوان بخشی از سامانه‌ی سیلاب هوشمند به کار می‌رود. چنین نقشه‌هایی عمق سیلاب را در مناطق مختلف نشان می‌دهند. به‌طور ایده‌آل، نقشه‌ها باید وقایع سیلاب با احتمال بیش از ۱٪ را ارائه دهند.

در فاصله زمانی تا سیلاب بعدی، خصوصیات مرتبط با سیلاب نیز باید ثبت شوند. از جمله:

- رطوبت اولیه حوضه
- شرایط آب و هوایی حوضه
- زمان سیلاب بین ایستگاه‌ها و دیگر مکان‌ها
- سرعت جریان
- زیرحوضه‌ها برای سیلاب
- حجم سیلاب و رابطه آن با ارتفاع
- پارامترهای هیدرولوژیکی

داشتن این گونه اطلاعات سطح ادراک عمومی را ارتقا داده و به انجام عکس‌العمل مناسب در هنگام وقوع سیل کمک می‌نماید.

۳-۲-۴- مطالعه‌ی سیلاب‌های تاریخی در طراحی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب

اطلاعات مربوط به یک سیلاب بزرگ و فاجعه‌بار، غالباً باعث بهبود عملکرد سازه‌های حفاظتی موجود و پروژه‌ی مدیریت سیلاب در دست مطالعه می‌شود. بدین ترتیب بزرگ‌ترین سیلاب ثبت شده به‌عنوان یک معیار طراحی تلقی می‌شود. برای مثال می‌توان به سیلاب‌های تاریخی زیر اشاره نمود:

- سیلاب بهار ۱۳۴۸ در خوزستان

- سیلاب آذر ۱۳۶۵ در استان‌های فارس و بوشهر

- سیلاب مرداد ۱۳۶۶ در تهران (تجربیش)

- سیلاب بهمن ۱۳۶۹ و فروردین ۱۳۷۰ رودخانه‌های هیرمند و سیستان

در حوضه‌هایی که کاربری اراضی تغییر کرده و در بالادست منطقه‌ی مورد مطالعه، سد یا سیل‌بند احداث شده، باید از سیلاب تاریخی با احتیاط و پس از مطالعات دقیق و جامع استفاده نمود. (مانند سیلاب در اهواز) از طرف دیگر می‌توان از سیلاب‌های تاریخی در تدقیق برآورد سیلاب‌های طراحی استفاده نمود. کلیه‌ی مطالعات سیلاب نیاز به برآورد آبدهی اوج برای یک دوره بازگشت مشخص دارند که به‌نحو قابل ملاحظه‌ای طولانی‌تر از طول آمار اندازه‌گیری شده موجود است.

اطلاعات تاریخی می‌تواند برای بهبود تحلیل فراوانی سیلاب با ارائه اطلاعاتی در مورد سیلاب‌هایی قبل از دوره اندازه‌گیری سیستماتیک، مورد استفاده قرار گیرد. بازنگری اطلاعات تاریخی می‌تواند منجر به درک بهتری از عواملی شود که در نتیجه آنها سیلاب‌های نادر به‌وقوع می‌پیوندد. همچنین تحلیل اطلاعات سیلاب‌های تاریخی می‌تواند دید بهتری نسبت به خصوصیات فصلی سیلاب رودخانه‌ها و اثرهای تغییر کاربری اراضی در رژیم سیلاب‌های رودخانه به‌دست دهد. در رابطه با کاربرد سیلاب‌های تاریخی در پروژه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب، به‌علت ماهیت این پروژه‌ها، دوره بازگشت سیلاب‌هایی که در این مطالعات «تاریخی» نامیده می‌شوند، نسبت به دیگر مطالعات سیلاب به‌نحو قابل ملاحظه‌ای کم‌تر است.

شکل و قابلیت اعتماد اطلاعات سیلاب‌های تاریخی به‌دست‌آمده برای رودخانه‌ها به اندازه تمایز منابع مورد استفاده متفاوت است. اگر قرار است اطلاعات منظم و بازنگری شده، منتج به بهبود در برآوردهای تحلیل فراوانی (با آمار کوتاه‌مدت) شود، باید یک ارزیابی بسیار دقیق از این اطلاعات انجام شود. بدون این بازنگری احتمال دارد که اطلاعات نادرست (جعلی) بسیاری در این برآوردها وارد شده که این امر می‌تواند موجب خطاهای قابل ملاحظه در برآوردها گردد.

۳-۲-۵- کاربردهای سیلاب‌های تاریخی در پروژه‌های هشدار سیلاب

اطلاعاتی که سیلاب‌های تاریخی ارائه می‌دهند می‌تواند در موارد زیر در طراحی و بهره‌برداری سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب مورد استفاده قرار گیرد:

- اولویت‌بندی طرح‌های مختلف هشدار سیلاب با توجه به عواقب سیلاب تاریخی

- توجیه‌پذیری اقتصادی (اولیه)

- کالیبره کردن مدل پیش‌بینی سیل با استفاده از سیلاب تاریخی (مدل هیدرولوژیکی و مدل هیدرولیکی)

- برآورد ابعاد سیلاب در زمان واقعی با مقایسه پارامترهای آن با پارامترهای سیلاب‌های تاریخی (این کاربرد هنگامی تحقق می‌یابد که مدل مناسبی برای پیش‌بینی سیستماتیک سیلاب در دسترس نباشد. با این وجود براساس قانون ۲۰-۸۰ پاراتو^۱، در برخی موارد حتی مقایسه‌های ابتدایی در زمان واقعی می‌تواند نتایج مهمی به‌دست دهد).
- تدقیق برآورد سیلاب‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف
- تعیین خطرپذیری مناطق مختلف در مدل رودخانه با توجه به گزارش‌های مربوط به سیلاب‌های تاریخی
- ایجاد آگاهی عمومی در مورد خطرات سیلاب با انتشار آمار تلفات و خسارات سیلاب‌های تاریخی و بررسی واکنش مردم در شرایط اضطراری ناشی از سیلاب
- برآورد ریسک تخریب سدها و لزوم اجرای سامانه‌ی هشدار برای مدیریت سد و مدیریت شرایط اضطراری پایین‌دست
- استفاده از سیلاب تاریخی در مطالعات پهنه‌بندی سیلاب
- استفاده از سیلاب تاریخی برای تهیه طرح عمل شرایط اضطراری
- تهیه نقشه‌های آب‌گرفتگی ناشی از سیلاب‌های تاریخی (این نقشه‌ها به‌عنوان یک روش غیرسازه‌ای برای هشدار به مردم که در مناطق پر خطر زندگی می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرند).
- برآورد روند افزایش یا کاهش سیلاب در یک دوره‌ی آماری بر اثر تغییر هیدروسیستم (تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم) برای مثال در یک پروژه تحقیقاتی در آلمان با استفاده از سیلاب‌های تاریخی، نتیجه‌گیری شده که پتانسیل سیلاب (اوج، شیب منحنی افزایش سیلاب و حجم سیلاب) به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است.
- برآورد بارش‌های آستانه‌ای برای تعیین سطح و وضعیت سیلاب در زمان واقعی
- برآورد پارامترهای مدل

۳-۲-۶- دسته‌بندی سیلاب‌ها با استفاده از آمار سیلاب‌های تاریخی

مرجع ۵۳ این راهنما، دستورالعمل‌هایی در مورد شناسایی سیلاب‌های تاریخی و ارزیابی اطلاعات مربوط، را ارائه می‌دهد. در این گزارش روش‌های به‌کارگیری اطلاعات تاریخی در مورد برآوردهای تحلیل فراوانی سیلاب بازنگری می‌شود. به‌علاوه یک مطالعه موردی نیز برای نشان‌دادن کاربرد روش‌های مطرح شده ارائه می‌گردد.

تصور جستجوی اطلاعات در مورد وقایع سیلابی که قبل از اندازه‌گیری ساختاریافته و منظم جریان رودخانه روی داده، ممکن است دلهره‌آور باشد. در این‌جا، اطلاعات مفیدی در این زمینه ارائه می‌شود.

شکل و قابلیت اعتماد اطلاعات سیلاب‌های تاریخی، بسیار متفاوت هستند. مرجع ۵۳ این کتاب راهنما، ارزیابی سیستماتیک و بسیار دقیق تمامی اطلاعات تاریخی جمع‌آوری شده را مورد تأکید قرار می‌دهد. این ارزیابی براساس کامل بودن و صحت اطلاعات به‌وسیله علامت‌گذاری در جدول به انجام می‌رسد.

مرور بر شیوه‌هایی به‌منظور به‌کارگیری اطلاعات تاریخی برای برآورد تحلیل فراوانی سیلاب در مرجع ۵۳ محدوده نسبتاً گسترده‌ای را در بر می‌گیرد. این بازنگری، استفاده از اطلاعات سیلاب‌های تاریخی و همچنین اطلاعات دیرینه سیلاب‌ها^۲ را

۱- بر اساس این قاعده سر انگشتی، ۲۰ درصد فعالیت‌ها ۸۰ درصد نتیجه را به‌دست می‌دهند.

دربر گرفته و نیز اشاره‌ای به چندین روش رسمی و غیررسمی دارد که به منظور به‌کارگیری اطلاعات تاریخی برای برآورد تحلیل فراوانی سیلاب پیشنهاد شده‌اند. خلاصه‌ای از این مرجع در پیوست ۱ این راهنما ارائه شده است.



شکل ۳-۱- ثبت تراز سیلاب‌های تاریخی در انگلستان

۳-۳- پارامترها و جوانب زیست‌محیطی، اثرهای زیست‌محیطی حاصل از سیلاب

مطالعه اثرهای مخرب سیلاب بر محیط زیست می‌تواند ابعاد جدیدی به توجیه‌پذیری سامانه پیش‌بینی و هشدار سیلاب دهد. در بسیاری از سیلاب‌های تاریخی تعداد کشته‌شدگان در اثر بیماری‌ها و یا قحطی حاصل از سیلاب بسیار بیش‌تر از تلفات مستقیم سیلاب بوده است (مانند سیلاب‌های ۱۸۷۱ و ۱۹۳۱ چین). تغییر در زهکشی رواناب ناشی از بارش و سیلاب سبب ایجاد اختلال قابل توجهی در محیط زیست سیلابدشت‌های شهری و روستایی می‌شود. وقوع این اثرها بر روی محیط زیست می‌تواند عناصر مختلف محیطی سیلابدشت را به‌صورت کوتاه‌مدت و یا بلند مدت تغییر دهد که ممکن است در مواردی منفعت و در موارد دیگر مضراتی را به‌همراه داشته باشد. یکی از اثرهای مهم زیست‌محیطی، تخریب کیفیت آب در مقایسه با استاندارد آب‌های سطحی و زیرزمینی و از بین رفتن تعادل ارگانسیم‌ها برای استفاده از آب به‌عنوان محیط زندگیشان است. آلودگی آب رودخانه و آبراهه‌های سطحی می‌تواند ناشی از مسایل زیر باشد:

- سرریز شدن جریانات حاوی ذرات خاک و زباله به داخل آب
- فعالیت‌های حیوانی و گیاهی و ایجاد نخاله
- شستگی سطوح جاده‌ها، جمع‌شدن جامدات معدنی، شن، مواد نمکی جاده و دیگر ضدیخ‌ها و جریان یافتن به درون رودخانه

- جاری‌شدن مواد سوختی مانند: نفت، گاز، بنزین و دیگر ذرات و بقایای لاستیکی

فعالیت‌های بشری و در نتیجه آن جریان یافتن پساب کارخانه‌ها، منابع گازها و زباله‌ها، شوینده‌ها، کودهای شیمیایی باغ‌ها و مزارع، حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و پسماندهای آلی به داخل رودخانه‌ها و انتشار به سطح منطقه سیلاب‌دیده در هنگام وقوع سیلاب واقع شدن مکان‌های ساخت و ساز در مسیر سیلاب که سبب تخریب و فرسایش بافت خاک و ایجاد نخاله شده‌اند.

تقریباً نیمی از بار آلودگی رواناب مربوط به شسته‌شدن سطح حوضه و نیمه دیگر مربوط به فاضلاب‌های شهری است. معیارهای محیط زیستی با پارامترهای میزان اکسیژن حل شده (DO)^۱ دما و شمار باکتری‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. به هر حال، ارزیابی معمولاً مستقیماً از طریق آزمایش بیوشیمیایی اکسیژن مورد نیاز (BOD)^۲، صورت می‌گیرد که میزان مواد آلی که تحت شرایط استاندارد از بین می‌رود را نشان می‌دهد. آزمایش (COD)^۳ برای ارزیابی کل میزان مواد آلی به کار می‌رود. دیگر معیار جهانی برای کیفیت آب، میزان مواد جامد، به‌عنوان شاخص مواد جامد محلول (DS)^۴ و شاخص مواد جامد معلق (SS)^۵ محسوب می‌شود. مواد جامد معلق، هیدروکربن‌ها را به‌وجود می‌آورند. بنابراین SS، می‌تواند به‌عنوان شاخصی از وجود دیگر ترکیبات باشد.

۳-۳-۱- ارزیابی محیط زیستی

مدیریت مهار سیلاب بخشی از سیاست حفاظت از محیط زیست در سطح دنیا به‌شمار می‌رود. واژه کلیدی که در رابطه با کاهش اثرهای منفی محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد، کاهش خطر است. واژه کاهش خطر که توسط متخصصین محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد به معنی اجرای هدفمند تصمیم‌های اخذ شده و فعالیت‌های مرتبط با کاهش اثرهای نامطلوب زیست‌محیطی است. کاهش خطر شامل جلوگیری از اثرها، کاهش اثرها، اعمال اصلاحی و نهایتاً جبران اثرها است. زمانی که اثرهای سیلاب مورد بررسی هستند، موارد زیر باید مورد ملاحظه قرار گیرند:

- توپوگرافی

- خاک

- منابع آب سطحی و زیرزمینی

- جمعیت آبیان

- مناطق حساس محیط زیستی (سیلابدشت‌ها، تالاب‌ها)

- کاربری اراضی

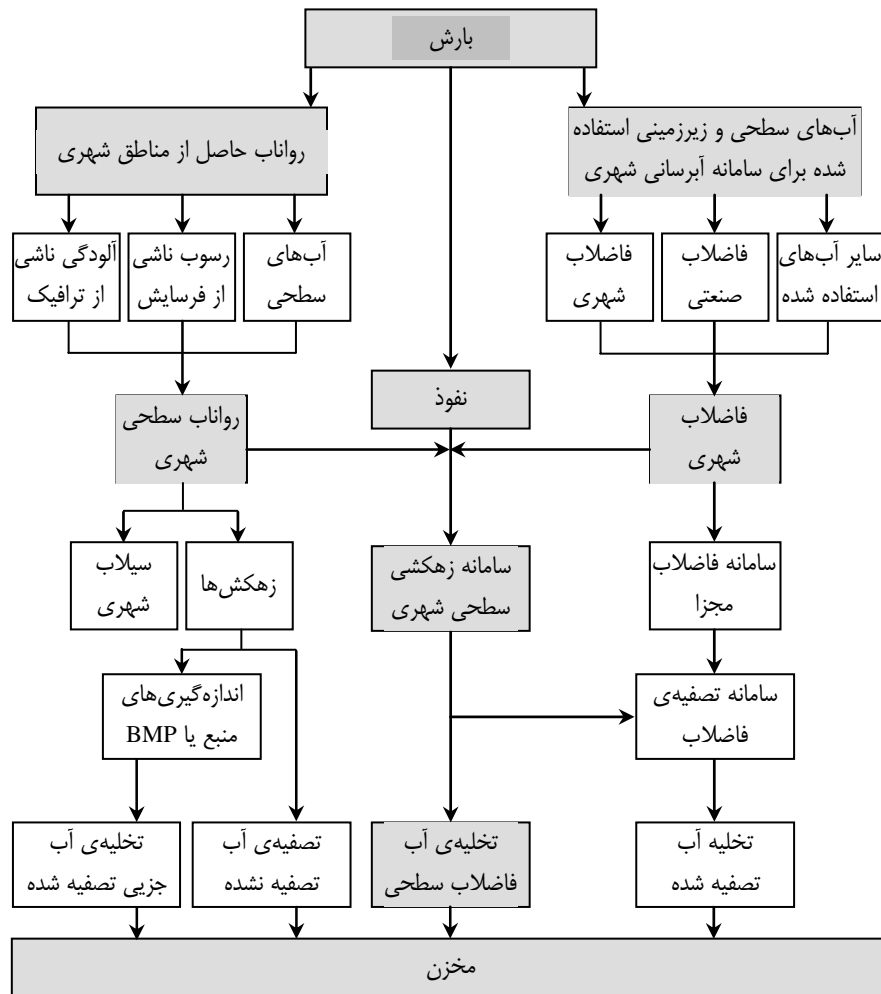
- خدمات تاسیساتی

- معادن و سدهای باطله

ابعاد خسارات زیست محیطی و آلودگی ناشی از سیلاب در مناطق شهری و صنعتی می‌تواند بسیار بزرگ‌تر از سیلاب‌های مناطق

دیگر باشد.

-
- 1- Dissolved Oxygen
 - 2- Biochemical Oxygen Demand
 - 3- Chemical Oxygen Demand
 - 4- Dissolved Solids
 - 5- Suspended Solids



شکل ۳-۲- ابعاد خسارت زیست محیطی سیلاب‌های شهری

۳-۳-۲- تاثیرات اجتماعی سیلاب

اختلالات اجتماعی ناشی از سیلاب یکی از مهم‌ترین تاثیراتی است که باید مدنظر قرار گیرد. مشکلات اجتماعی را می‌توان از جمله عواقب زیست‌محیطی در نظر گرفت. این مشکلات عبارتند از:

- تغییر مکان و اختلال در حمل و نقل، خدمات تجاری و عمومی، تامین غذا و خدمات پزشکی
- تهدید سلامت عموم و اسکان تخلیه‌کنندگان در شرایط غیر بهداشتی
- آمادگی اضطراری برای فعال کردن غذا و تامین نیرو (برق)، خدمات پزشکی و حمل و نقل
- نیاز به مراقبت ویژه از گروه‌های اجتماعی خاصی مانند سالمندان و معلولین
- از دست دادن شغل (بیکاری)
- اسکان موقت
- تاثیرات جابجایی اجباری افراد سیل دیده
- ملاحظات امنیتی

۳-۳-۳- ابعاد اقتصادی خسارات زیست‌محیطی سیلاب

برای برنامه‌ریزی و کنترل مناسب محیط زیست، باید ارزش‌های اصولی و محیطی جامعه در نظر گرفته شوند که خود شامل زیستگاه‌های حیات وحش، چشم‌اندازهای طبیعی و خوش‌منظر، کیفیت آب و مراکز تاریخی است. ارزیابی‌های زیست‌محیطی، فعالیت‌های مهار سیلاب و زهکشی، رواناب ناشی از بارش، ارزیابی تأثیرات بالقوه چندجانبه اجرای سازه‌ها و عملکردهای اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، زیستی و فیزیکی منطقه جغرافیایی مورد نظر را در بر می‌گیرد. انجام ارزیابی محیط زیستی در زمره فعالیت‌های پیشگیرانه محسوب گردیده و به واسطه آن پتانسیل ریسک‌های موجود محیط زیستی و زندگی در محیط طبیعی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مباحث فراوانی در رابطه با ارزیابی محیط زیستی سیلاب وجود دارد که برخی از آنها بدین شرح است:

- اثرهای متقابل کشاورزی و سیلاب
- اختلال در مهاجرت ماهی‌ها به مناطق تخم‌ریزی
- حفاظت از مناطق تاریخی
- حفظ چشم‌اندازها و پوشش گیاهی
- توسعه و بهبود زمین‌های پست
- جلوگیری از آلودگی‌های فاضلاب و محدود کردن سرریزها
- جلوگیری از صدمه‌زدن به زیستگاه‌های طبیعی در رودخانه‌های شهری
- ایجاد زیستگاه‌های جدید برای حیات وحش
- ایجاد مناطق کمربند سبز در سیلابدشت‌ها
- توسعه غیر قانونی و غیرمجاز در سیلابدشت
- جنگل کاری و حفاظت از چشم‌اندازهای رودخانه‌ها و سیلابدشت‌ها
- کاهش ریسک زمین لغزش و جریان‌ات گلی

سوانح طبیعی نه تنها باعث مرگ و میر فراوان می‌شوند بلکه باعث شیوع اختلالات اجتماعی، بیماری‌های واگیردار و کشنده می‌شوند که زنده ماندن را به عملیات امداد و نجات وابسته می‌کنند. در سال‌های اخیر، متخصصین سلامت و بهداشت اهداف و استراتژی‌های جدیدی را در جهت مدیریت سلامت سانحه یا معالجه سانحه اتخاذ کرده‌اند. بدیهی است که پیش‌بینی دقیق و هشدار به‌موقع سیلاب نقش کلیدی در موفقیت استراتژی فوق دارد. ماتریس کیفی ارزیابی اثرهای سیلاب که توسط یونسکو در مرجع شماره ۱۸ این نشریه ارائه شده، در جدول (۳-۱) آورده شده است. برای کسانی که مایل‌اند اطلاعات بیشتری در مورد خسارات زیست محیطی سیلاب‌ها به‌دست آورند مطالعه دقیق مرجع ۱۸ توصیه می‌شود.

جدول ۳-۱- ماتریس کیفی ارزیابی اثرهای سیلاب بر محیط زیست

درجه ارزیابی شده	نوع خسارت وارده	بخش تأثیرگذار
● ● ● ● ●	خسارت به سازه‌های مهندسی عمران شکستگی‌های اصلی قطع برق آلودگی (زیستی یا شیمیایی) اختلالات در حمل و نقل مشکلات پرسنلی بعد از سیلاب	تامین آب و دفع مواد زاید

ادامه جدول ۳-۱- ماتریس کیفی ارزیابی اثرهای سیلاب بر محیط زیست

درجه ارزیابی شده	نوع خسارت وارده	بخش تاثیرگذار
● ● ● ● ●	خسارت به سازه‌های مهندسی اختلالات در حمل و نقل نقص‌های ابزاری مشکلات پرسنلی آلودگی آب، خاک و هوا	کنترل پسماندهای جامد
● ● ● ● ●	خسارت به تاسیسات پیشگیری از سیلاب اختلالات حمل و نقل قطع برق سیل‌گرفتنی تاسیسات آلودگی / تخریب	کنترل سیلاب
● ●	آسیب به زیرساخت‌های حمل و نقل اختلال در برنامه‌های کنترل خطوط حامل بیماری	کنترل مسیر
● ● ● ○	معیوب شدن یا تخریب سازه‌ها آلودگی غذا و آب اختلال در برق، گرما و سوخت آسیب به سرویس‌های تامین آب	تصفیه‌خانه‌ها

● اثرهای شدیدتر ، اثرهای با شدت کم‌تر ● ، اثرهای غیرممکن یا حداقل ○

۳-۴- مطالعات اجتماعی - اقتصادی

هشدارهای سیلاب به‌منظور مدیریت اثرهای سیلاب‌ها صادر می‌شوند. اثربخشی آنها منوط به موفقیت در متقاعد کردن سازمان‌ها و مردم ساکن در منطقه خطرپذیر است و انجام اقداماتی که خطرات و اثرهای سیلاب را کاهش دهد. در شرایط ایده‌آل، مشورت با مردم منطقه‌ی تحت خطر باید از طریق یک حامی محلی که مورد احترام باشد، صورت گیرد. این فرد ارتباط میان تیم طراحی سامانه هشدار سیلاب و مردم را ارتقا می‌دهد.

تعامل مثبت با جامعه در معرض خطر می‌تواند به‌صورت زیر موثر باشد:

- شناسایی ذی‌نفعان سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل
- اثرهای سیلاب در ترازهای مختلف
- تغییر واکنش‌های مردم با توجه به الزامات
- شناسایی روش‌های مناسب انتشار هشدار

بدون همکاری همه‌جانبه جوامع در معرض خطر در طراحی و توسعه سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل، بسیاری از مردم اهمیت پیام‌های سیلاب را نخواهند یافت.

به‌علاوه آموزش مردم در استفاده موثر از سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل بدون همکاری اولیه در طراحی و توسعه این سامانه مشکل‌تر خواهد بود. با جلب مشارکت مردم در کلیه‌ی مراحل توسعه سامانه، جوامع خود را صاحب سامانه خواهند دانست، پس از نگاه مخاطره‌آمیز مردم به سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب جلوگیری می‌شود.

در این چارچوب لازم است به منظور اطمینان از مشارکت مردم در توسعه، راه‌اندازی، حفاظت و بهره‌برداری سامانه، ابتدا مطالعات اجتماعی - اقتصادی صورت گیرد. این مطالعات مشابه مطالعاتی است که در پروژه‌های آبیاری - زهکشی صورت می‌گیرد. بدیهی است در مطالعات اجتماعی - اقتصادی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب تاکید بیش‌تر بر شناسایی مشخصه‌هایی است که در هنگام بحران نقش مهمی ایفا خواهند کرد مانند ارتباطات، تحصیلات، وضعیت اقتصادی خانوارها، زبان، تعاملات اجتماعی و غیره. به‌علاوه محور اصلی این مطالعات جمعیت در خطر است.

اهداف اصلی مطالعات اجتماعی - اقتصادی سیلاب عبارتند از:

- شناسایی افراد و سازمان‌های مرتبط
- بررسی اثرهای اقتصادی ناشی از خسارات سیلاب
- وضعیت اقتصادی خانوارها
- پیش‌بینی روند توسعه‌ی اجتماعی - اقتصادی منطقه‌ی مورد مطالعه
- مباحث مرتبط با مشارکت مردم در مدیریت سیلاب
- توسعه اقتصادی سیلاب‌دشت
- وضعیت بیمه سیلاب
- ملاحظات مربوط به حافظه‌ی تاریخی سیلاب و واکنش و آمادگی جامعه در مقابل سیلاب‌های بزرگ
- ملاحظات مربوط به ارتباطات
- ملاحظات مربوط به شرایط اضطراری
- برنامه‌ی آمادگی جامعه
- ملاحظات مربوط به آموزش مردم
- ملاحظات مربوط به میراث فرهنگی

فصل ۴

سامانه پایش داده‌ها در زمان واقعی

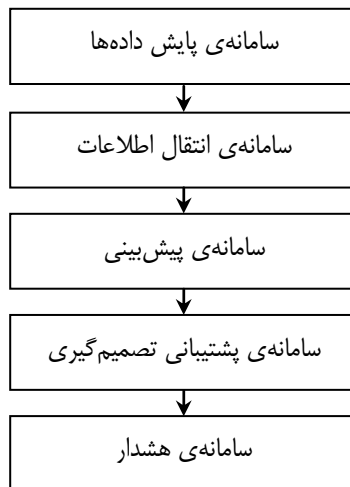
۴-۱- کلیات

پایش حوضه به‌منظور آگاهی از شرایط بارندگی که منجر به سیلاب می‌شود به‌کار می‌رود. این کار از طریق پایش پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی از قبیل بارش که به پیش‌بینی تراز رودخانه و رواناب می‌انجامد صورت می‌گیرد.

۴-۲- انواع پایش

جایگاه سامانه‌ی پایش در سامانه جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب در شکل (۴-۱) ارائه شده است. به‌منظور انجام یک پایش موثر، اطلاعات مربوط به خصوصیات هیدرولوژیکی (حوضه و زیرحوضه‌ها، پوشش گیاهی، شبکه آبراهه‌ها، توپوگرافی)، هیدرولیک رودخانه (شیب، مقاطع عرضی، مصالح بستر)، داده‌های هواشناسی (آمار بارندگی و اطلاعات برف‌سنجی، ذوب برف) و اطلاعات هیدرومتری (آمار آبدهی مقاطع مختلف رودخانه و سیلاب‌های پیشین) مورد نیاز است.

به‌طور کلی پایش را می‌توان به دو نوع پایش قبل از سیلاب و در طول سیلاب تقسیم کرد که پایش قبل از سیلاب در رابطه با شرایط اقلیمی و ارزیابی پارامترهای هواشناسی صورت می‌گیرد و پایش در طول سیلاب شامل اندازه‌گیری پارامترهای هیدرومتری و پایداری سازه‌های مهار سیلاب است.



شکل ۴-۱- سامانه جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب

۴-۳- پایش قبل از وقوع سیلاب

کارشناسان هواشناسی توانسته‌اند الگویی دقیق از رفتار توده‌های هوا را فراهم آورند. آنها داده‌هایی نسبتاً کامل در اختیار دارند که با مقیاس‌های مختلف از تمام سطح کره زمین تهیه شده است. در اثر پیشرفت‌های اخیر دقت پیش‌بینی‌های ۵ روزه در دهه ۱۹۹۰ مشابه دقت پیش‌بینی‌های ۱ روز در دهه ۱۹۵۰ برآورد می‌شود. ماهواره‌های هواشناسی به‌طور دایم از جابجایی توده‌های ابر بر فراز قاره‌ها و اقیانوس‌ها عکس می‌گیرند و شبکه‌ای بزرگ از ایستگاه‌های زمینی و دریایی، به‌طور مستمر اطلاعات مربوط به دما، رطوبت هوا، جهت و سرعت باد در سطح زمین و در لایه‌های پایین جو (تروپوسفر) را گردآوری می‌کنند. با وجود شبکه‌های پیشرفته ارتباط از راه دور و با گردآوری مشاهدات زمینی و فضایی مربوط به نقاط مختلف جهان در شبکه‌ای واحد، امکان پیش‌بینی به‌موقع

دگرگونی‌های شدید آب و هوایی و در نتیجه اتخاذ تدبیرهای پیشگیرانه فراهم شده است. پیش‌بینی هوا به‌ویژه امکان آگاهی پیشاپیش از وقوع باران‌های را فراهم می‌کند که با توجه به تمرکز ابرها و وضعیت حوضه آبریز، گاهی ممکن است منجر به وقوع سیل شود. رادارهای هواشناسی برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت در این زمینه کاربرد بسیار دارند. تعیین مرکز و میزان باران‌های شدید با استفاده از رادار و سنجش میزان تاثیر این باران‌ها بر میزان آبدی رودخانه‌ها امکان هشدار به‌موقع برای کاهش اثرهای وقوع سیل یا محدود ساختن شدت طغیان را فراهم می‌کند.

۴-۴- پایش در زمان واقعی

۴-۴-۱- پایش پارامترهای هیدرولوژیکی و هیدرومتری در زمان واقعی

از مهم‌ترین پارامترها که در نقاط از قبل تعیین شده مورد پایش قرار می‌گیرند تراز سطح آب است. شبکه ایستگاه‌های مشاهده پارامترهای هیدرولوژیکی از مهم‌ترین بخش‌های شبکه پایش محسوب می‌گردد. نکته مهم این است که بتوان یک رابطه رگرسیونی بین پارامترهای ایستگاه‌های شبکه اصلی مورد استفاده برای پیش‌بینی سیلاب و پارامترهای مشاهداتی ایستگاه‌های محلی مورد استفاده برای تفسیر بهتر پیش‌بینی برقرار نمود. در کنار ایستگاه‌های اندازه‌گیری، رکوردهای سطح آب و داده‌های سنجش از راه دور می‌توانند برای احداث سیل‌بندهای زنجیره‌ای مورد استفاده قرار گیرند. در موارد خاص برآورد به‌هنگام سرعت باد بسیار کلیدی است.

۴-۴-۵- پایش سازه‌های سیل‌بند در طول سیلاب

طرح عملیات شامل پایش سیلاب و رفتار آن برای اجرایی نمودن عملیات پیشگیری و محافظت و جمع‌آوری اطلاعات در رابطه با ساختار هیدرولیکی منطقه است. پروژه‌های مدیریت سیلاب براساس داده‌های محاسبه شده طراحی می‌شوند و در عمل با موضوعاتی همچون عدم قطعیت در شرایط مرزی، بارها، ضرایب اطمینان (همچون ارتفاع آزاد) و ظرفیت‌های تحمل بار سروکار دارند. اگر در طراحی سازه‌های مهار سیلاب، این عدم قطعیت‌ها در نظر گرفته شوند عملاً ضریب ایمنی بالا می‌رود. بنابراین پایش مداوم در زمان سیلاب به‌منظور جمع‌آوری داده‌های مربوط و بررسی روندهای پیشرفت و در نهایت هشدار برای مقابله با سیلاب انجام می‌گیرد. پدیده‌هایی که در طی سیلاب مشاهده می‌شوند باید با دقت زیادی ثبت گردند. عکس نقاط ثبت شده در نقاط امکان‌پذیر به‌وسیله تصاویر فتوگرافیکی گرفته می‌شوند و بعد از سیلاب دلایل پدیده‌های رخ داده مورد بررسی قرار می‌گیرند. لازم است نتایج تجزیه و تحلیل و مشاهده واقعی پدیده‌های ثبت شده با یکدیگر در طول سیلاب مقایسه گردند. بعد از انجام بررسی، گزارش‌هایی از سازه‌های مذکور تهیه و طی آن نتایج بررسی‌های صورت گرفته به سرعت اعلان شوند. بازرسی مرتب سیل‌بندها برای کسب اطمینان از پایداری طرح ضروری است که این خود بیش‌تر به شرایط نشست، اشباع و رفتار مصالح خاکی در بدنه خاکریز مربوط می‌شوند. برای تحلیل سازه‌های سیل‌بند از دیدگاه مکانیک خاک، مشاهدات صورت گرفته باید موارد زیر را دربرگیرد:

- شرایط اشباع‌شدگی سیل‌بندها
- گرادیان هیدرولیکی
- اثرهای موج و باد

- تعیین مناطقی که دچار آب‌گرفتگی می‌شوند

در کنار روش‌های معمول مشاهده، ابزارها و تجهیزات مختلفی برای انجام مشاهدات به کار گرفته می‌شوند. به‌منظور جلوگیری از شسته شدن سیل‌بندها و برای سرعت بخشیدن به انجام مشاهدات، اخیراً تلاش‌هایی بر مبنای استفاده از روش‌های ژئوالکتریک شکل گرفته است. از آن‌جا که اشباع شدن بر روی پارامترهای ژئوالکتریک سیل‌بندها تاثیرگذار است، انجام تحقیقات اولیه برای تعیین پارامترهای مشابه در زمانی که سیل‌بندها خشک هستند امری ضروری است. با ترکیب داده‌های حاصل از انجام مشاهدات در طی سیلاب و اطلاعات موجود میزان اشباع خاک به دست می‌آید. در این راستا، مقاومت الکتریکی خاک نیز از معیارهای مهم برای اندازه‌گیری محسوب می‌گردد. فشار بالا برنده^۱ در شالوده سیل‌بندها از طریق نصب پیزومترها در لایه‌های قابل نفوذ اندازه‌گیری می‌شود. با نصب ردیفی از چاه‌ها در عمق‌های مشخص، مشاهده گرادیان هیدرولیکی در طول سیل‌بند به سهولت ممکن می‌گردد. پیزومترها باید به شکل مناسبی بیرون از خاک قرار گیرند.

۴-۶- پارامترها و تجهیزات جمع‌آوری داده‌های لازم برای سامانه‌ی پایش بینی سیلاب

در این بخش به‌صورت خلاصه پارامترها و تجهیزات جمع‌آوری داده‌های لازم برای سامانه‌ی پایش بینی سیلاب ارائه می‌شود. بدیهی است اطلاعات تفصیلی را می‌توان از منابع متعدد به‌خصوص کتاب‌های راهنمای سازمان هواشناسی جهانی به دست آورد.

۴-۶-۱- دما

دما به‌عنوان نمایه‌ای از شدت گرما، یکی از عناصر اساسی است. با توجه به دریافت نامنظم انرژی خورشیدی توسط زمین، دمای هوا در سطح زمین دارای تغییرات زیادی است. دمای هوا توسط دماسنج اندازه‌گیری می‌شود. اغلب نیاز است که حداکثر و حداقل دما در طول یک دوره‌ی معین مثلاً یک شبانه‌روز اندازه‌گیری شود. برای این کار از دماسنج‌های حداکثر و حداقل استفاده می‌شود. برای ثبت پیوسته تغییرات دما از وسیله‌ای به نام دمانگار (ترموگراف) استفاده می‌شود. خطوط افقی روی کاغذ دمانگار به روزها و ساعت‌ها تقسیم شده است و تقسیم‌بندی دما به‌صورت عمودی روی کاغذ دمانگار مشخص می‌شود.

۴-۶-۲- باد

اتم‌سفر زمین به دلیل وزنی که دارا است، فشاری را بر سطح زمین اعمال می‌کند. به دلیل وجود کمربندهای فشاری در سطح کره زمین الگویی از حرکت هوا به‌صورت باد به وجود می‌آید که باعث جریان هوا یا باد از مراکز پرفشار به سمت مراکز کم‌فشار می‌شود. باد یک کمیت برداری است که دارای ۲ مشخصه جهت و سرعت است. جهت باد، توسط وسیله‌ی ساده‌ای به نام بادنما^۲ و سرعت باد با وسیله‌ای به نام بادسنج^۳ اندازه‌گیری می‌شود. معمول‌ترین نوع بادسنجی که در ایستگاه‌های هواشناسی به کار می‌رود بادسنج فنجان‌ی است.

1- Uplifting Force

2- Wind Vane

3- Anemometer

۴-۶-۳- بارش

انواع مختلف ایستگاه‌های باران‌سنجی در سامانه‌های پیش‌بینی سیل به کار می‌رود که می‌توان آنها را به دو دسته باران‌سنج‌های معمولی و ثبات تقسیم‌بندی نمود:

۴-۶-۳-۱- باران‌سنج‌های معمولی

باران‌سنج‌های معمولی یا غیرثبات به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. باران‌سنج روزانه و ذخیره‌ای که در سامانه‌های هشدار سیل عمدتاً باران روزانه را اندازه‌گیری می‌کنند. باران‌سنج‌های ذخیره‌ای برای استفاده در نقاط دوردست که امکان اندازه‌گیری روزانه باران در آنها وجود ندارد، به کار برده می‌شود.

۴-۶-۳-۲- باران‌سنج‌های ثبات یا باران‌نگار

باران‌سنج ثبات یا باران‌نگار، وسیله‌ای است که مقدار بارندگی را به صورت پیوسته ثبت می‌کند. سه نوع معمول باران‌نگارهایی که در ایستگاه‌های هواشناسی به کار برده می‌شوند عبارتند از باران‌نگار وزنی، باران‌نگار سیفونی با جسم شناور و باران‌نگار با سامانه ترازویی.

۴-۶-۳-۳- محل نصب باران‌سنج‌ها

انتخاب محل نصب ایستگاه‌های باران‌سنج بستگی به عوامل متعددی دارد. مقدار بارانی که توسط باران‌سنج اندازه‌گیری می‌شود باید نمایانگر بارندگی در سطح وسیعی از حوضه باشد. مثلاً اگر باران‌سنجی که سطح دهانه قیف آن ۱۵۰ سانتی‌متر مربع است و در حوضه‌ای به وسعت ۱۵ کیلومتر مربع نصب شود، این محل باید نمایانگر ۱۰۹٪ از حوضه خود باشد. از این‌رو هرچه در انتخاب این محل دقت شود، نتایج حاصل آمده بیش‌تر به واقعیت نزدیک خواهد بود. در این رابطه دوربودن محل باران‌سنج از ساختمان‌ها و یا درخت‌های بلند، چه در زمان نصب و چه پیش‌بینی آن برای توسعه‌های آینده مهم است. محل باران‌سنج باید طوری باشد که چنانچه از دهانه خطی به بلندترین نقطه ساختمان یا دیوارهای مجاور وصل شود، زاویه‌ای کوچک‌تر از ۳۰ درجه را تشکیل دهد. هرگونه تغییری که در اطراف محل باران‌سنج در طول دوره آمارگیری به عمل آید بر نتایج حاصل شده موثر بوده و لازم است داده‌ها بر مبنای آن اصلاح شود.

در رابطه با سامانه‌های پایش در مناطق کوهستانی توصیه می‌شود از باران‌سنج‌های هیت‌ردار به جهت جلوگیری از یخ‌زدگی و تجمع برف و افزایش دقت استفاده گردد.

۴-۶-۴- شدت جریان

اندازه‌گیری جریان، اطلاعات لازم درباره وضعیت جریان رودخانه را فراهم می‌کند. در حوضه‌های کوچک، داده‌های مشاهداتی جریان آب در پیش‌بینی و هشدار سیل محلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین این داده‌ها برای واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی موجود در سامانه‌ی پیش‌بینی در مرحله راه‌اندازی و در زمان وقوع سیل به کار برده می‌شوند. محل ایستگاه‌های هیدرومتری در یک سامانه هشدار سیل محلی توسط یک یا هر دو عامل زیر مشخص می‌شوند:

- هشدار سیل با استفاده از جریان مشاهده‌ای در بالادست

- داده‌های تراز و آبدهی مورد نیاز برای مدل پیش‌بینی

زمان پیش‌هشدار سیل را باید از طریق اندازه‌گیری تراز و آبدهی در نقاط بالادست مناطق آسیب‌پذیر به‌دست آورد. اندازه‌گیری تراز و آبدهی در نقاط بالادست مناطق آسیب‌پذیر زمان پیش‌هشدار کافی را باید به‌دست دهد. داده‌هایی که در ایستگاه‌های هیدرومتری یا آب‌سنجی اندازه‌گیری می‌شود و در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژی از آنها استفاده می‌شود عبارتند از:

- اندازه‌گیری سطح آب

- اندازه‌گیری سرعت جریان

- اندازه‌گیری عمق آب

- اندازه‌گیری آبدهی جریان

۴-۶-۴-۱- اندازه‌گیری سطح آب

یکی از ساده‌ترین روش‌های اندازه‌گیری سطح آب نصب اشل در حاشیه رودخانه است. در صورتی که شرایط محلی ایجاب کند نصب یک اشل در حاشیه رودخانه کفایت خواهد کرد، در غیر این صورت تعدادی اشل در ارتفاعات مختلف نصب می‌شود. معمولاً روزانه دو بار اشل قرائت می‌شود. در هنگام وقوع سیل فاصله اندازه‌گیری‌ها کوتاه‌تر می‌شود (برای مثال هر دو ساعت). در مواردی که اندازه‌گیری روزانه سطح آب به دلیل کمبود نیروی انسانی ممکن نباشد، از دستگاه‌های اندازه‌گیری سطح آب یا لیمنوگراف^۱ استفاده می‌شود.

۴-۶-۴-۲- اندازه‌گیری سرعت جریان

اندازه‌گیری سرعت با جسم شناور، منظور از اندازه‌گیری با جسم شناور این است که جسمی در داخل آب قرار می‌گیرد و سرعت حرکت آن بین دو نقطه مشخص از مسیر آب، اندازه‌گیری می‌شود. این روش ساده‌ترین و البته نزدیک‌ترین روش اندازه‌گیری واقعی سرعت است.

۴-۶-۴-۳- اندازه‌گیری عمق آب

ساده‌ترین وسیله برای اندازه‌گیری عمق آب، استفاده از میله‌های مدرج است. استفاده از میله محدود به شرایطی است که عمق آب کم باشد. در هنگام سیلابی بودن رودخانه و یا در مواردی که عمق آب زیاد باشد از کابل‌هایی که وزنه سنگینی به آن متصل شده است استفاده می‌شود.

روش دیگر در اندازه‌گیری عمق آب رودخانه‌ها استفاده از ابزارهای صوتی است. نوع معمول آن در هیدرولوژی، اکوساندر^۲ است. طرز کار اکوساندر بر این اساس است که فاصله زمانی از ایجاد یک صدا تا زمان برگشت انعکاس آن از کف رودخانه اندازه‌گیری می‌شود.

1- Limnograph
2- Echo Sounder

اندازه‌گیری سرعت با سرعت‌سنج (مولینه یا پروانه آبی نامیده می‌شود) از معمول‌ترین وسیله‌های اندازه‌گیری سرعت آب در ایستگاه هیدرومتری است. اساس کار سرعت‌سنج‌های پروانه‌ای این است که در مقابل جریان آب قرار می‌گیرند و در اثر سرعت آب به چرخش درمی‌آیند. تعداد دور پروانه از روی روشن و خاموش شدن چراغ یا بوق‌هایی که زده می‌شود، اندازه‌گیری می‌گردد. بعضی سرعت‌سنج‌ها به کنتور یا شمارشگری مجهز هستند که تعداد دور را اندازه‌گیری می‌کند.

از مواد شیمیایی هم در اندازه‌گیری سرعت و آبدی استفاده می‌شود. ولی به علت آلودگی محیط از آن کم‌تر استفاده می‌شود. ضمناً استفاده از این روش در زمان سیلاب مشکل است.

۴-۶-۴- اندازه‌گیری آبدی جریان

بر اساس توصیه‌ی سازمان هواشناسی جهانی، فاصله‌ی ایستگاه‌های هواشناسی باید به‌نحوی انتخاب شود که بتوان با درون‌یابی آبدی اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های مختلف بتوان آبدی‌هایی را در نقاط بین ایستگاه‌ها برآورد نمود. در ضمن عموماً نمی‌توان آبدی یک سرشاخه‌ی کوچک را با کسرکردن آبدی ایستگاه‌های شاخه‌ی اصلی در قبل و بعد محل اتصال به‌دست آورد. اگر آبدی سرشاخه مورد توجه خاص است باید یک ایستگاه جداگانه بر روی آن احداث شود.

در حالت ایده‌آل ایستگاه هیدرومتری باید بر روی سرشاخه‌هایی احداث شود که دارای رژیم طبیعی هستند. در صورت عملی نبودن این امر، باید با احداث ایستگاه‌های کمکی بر روی کانال‌ها و مخازن، بتوان آبدی اندازه‌گیری شده را به حالت طبیعی تبدیل نمود. در مناطق توسعه یافته، عدم احداث ایستگاه هیدرومتری حتی برای حوضه‌های کوچک ۱۰ کیلومتر مربعی می‌تواند یک کاستی مهم باشد.

ایستگاه‌های هیدرومتری باید به‌نحوی احداث شوند که بتوان رواناب نواحی مختلف با زمین‌شناسی و توپوگرافی متفاوت را اندازه‌گیری نمود. این مساله به‌خصوص در مناطق کوهستانی مهم است که رواناب در ترازهای مختلف متفاوت است. به‌علاوه وجود دریاچه‌ها در انتخاب محل ایستگاه‌ها در نظر گرفته شود.

نکته‌ی مهم این است که در رابطه با جانمایی ایستگاه‌های هیدرومتری انجام مطالعات ریخت‌شناسی برای اطمینان از پایداری بستر رودخانه در درازمدت، الزامی است.

۴-۷- تراکم ایستگاه‌های هواشناسی

ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی، رسوب‌سنجی و... در زمره ایستگاه‌های هواشناسی محسوب می‌شوند که با توجه به فیزیوگرافی منطقه تراکم این ایستگاه‌ها متفاوت است. هر قدر تعداد باران‌سنج‌های موجود در یک حوضه بیش‌تر باشد، اطلاعات به دست آمده دقیق‌تر است. ولی حداقل باران‌سنج‌های لازم براساس مساحت حوضه رودخانه در جدول (۴-۱) ارائه شده است. بدیهی است به مرور زمان با استفاده از بازخورد سامانه باید شبکه‌ی ایستگاه‌های هواشناسی را تکمیل نمود.

در رابطه با ایستگاه‌های باران‌سنجی باید جانمایی این ایستگاه‌ها به‌صورتی انجام شود که بتوان برای هر ایستگاه هیدرومتری بارش، حوضه مربوط را اندازه‌گیری نمود. در بسیاری از حوضه‌ها (به‌خصوص حوضه‌های کوهستانی) این معیار موجب افزایش قابل ملاحظه تراکم ایستگاه‌ها در مقایسه با جدول (۴-۲) می‌گردد.

جدول ۴-۱- حداقل تراکم ایستگاه باران‌سنجی بر حسب کیلومتر مربع

مساحت بر حسب کیلومتر مربع برای یک ایستگاه		فیزیوگرافی منطقه
ایستگاه غیر ثابت	ایستگاه ثابت	
۹۰۰	۹۰۰۰	ساحلی
۲۵۰	۲۵۰۰	کوهستانی
۵۷۵	۵۷۵۰	دشت
۵۷۵	۵۷۵۰	مختلط
۲۵	۲۵۰	جزیره (مساحت کم‌تر از ۲۰۰۰ کیلومتر مربع)
۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	بایر
-	۱۰-۲۰	مناطق شهری

جدول ۴-۲- حداقل تراکم ایستگاه‌های هواشناسی

ایستگاه کیفیت آب	ایستگاه رسوب‌سنجی	ایستگاه اندازه‌گیری آبدهی جریان	مساحت بر حسب کیلومتر مربع برای یک ایستگاه		فیزیوگرافی منطقه
			ایستگاه تبخیرسنجی	ایستگاه	
۵۵۰۰۰	۱۸۳۰۰	۲۷۵۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	ساحلی
۲۰۰۰۰	۶۷۰۰	۱۰۰۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	کوهستانی
۳۷۵۰۰	۱۲۵۰۰	۱۸۷۵	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	دشت
۴۷۵۰۰	۱۲۵۰۰	۱۸۷۵	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	مختلط
۲۰۰۰	۲۰۰۰	۳۰۰	۲۰۰۰	۲۰۰۰	جزیره (مساحت کم‌تر از ۲۰۰۰ کیلومتر مربع)
۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	بایر

هدف اصلی در تاسیس شبکه‌های اندازه‌گیری عوامل آب و هوایی، برداشت نمونه‌هایی است که معرف وضع کلی منطقه باشد. تقریباً تمامی کشورهای جهان، مقررات مربوط به ایجاد ایستگاه‌ها یا شبکه‌های اندازه‌گیری عوامل آب و هوایی را که توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) وضع شده، قبول نموده‌اند. این مقررات شامل دستورالعمل‌هایی است که در مورد نحوه ایجاد شبکه‌ها و تراکم ایستگاه‌ها در آن، طرز اندازه‌گیری و وسایل اندازه‌گیری بیان شده است. بنابر مقررات سازمان هواشناسی، مناسب‌ترین تراکم ایستگاه‌های اندازه‌گیری عوامل آب و هوایی، بسته به نوع مناطق، به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۴-۷-۱- نواحی مسطح معتدله، نواحی با آب و هوای مدیترانه‌ای و نواحی استوایی

سازمان جهانی هواشناسی تراکم ایستگاه‌ها را در نواحی فوق برای هر ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع سطح حوضه آبریز، ۱۷-۱۱ ایستگاه و یا به عبارت دیگر، به‌طور متوسط برای هر ۹۰۰-۶۰۰ کیلومتر مربع یک ایستگاه را توصیه می‌نماید.

۴-۷-۲- نواحی کوهستانی معتدل، آب و هوای مدیترانه‌ای و نواحی استوایی

در نواحی کوهستانی، مناسب‌ترین نحوه توزیع ایستگاه‌های هواشناسی بدین ترتیب توصیه شده که ارتفاع ایستگاه‌ها از یکدیگر در حدود ۵۰۰ متر و تعداد ۱۰۰-۴۰ ایستگاه برای هر ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع، یا یک ایستگاه برای هر ۲۵۰-۱۰۰ کیلومترمربع از سطح حوضه آبریز، در نظر گرفته شده است.

۴-۷-۳- نواحی خشک و مناطق قطبی

به علت کمی بارندگی در این نواحی، تعداد ایستگاه‌های لازم را در حدود ۷-۱ ایستگاه برای هر ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع توصیه می‌نمایند، که در واقع برای هر ۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰ کیلومترمربع، یک ایستگاه در نظر گرفته شده است.

در صورتی که نواحی مورد توجه در یکی از تقسیم‌بندی‌های فوق قرار نگیرد، می‌توان آب و هوا و وضعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر را در بین دو حالت از سه حالت فوق پیدا نمود و از ارقام متوسط حالت‌های فوق استفاده کرد.

در پایان، پیشنهاد موسسه استاندارد هند^۱ در مورد تراکم ایستگاه‌های هواشناسی ارائه می‌شود:

- باران سنج برای هر ۵۲۰ کیلومترمربع در نواحی مسطح که در مسیر سامانه کم فشار قرار دارند
- باران سنج برای هر ۲۶۰ تا ۳۹۰ کیلومترمربع در نواحی‌ای که ارتفاع متوسط ۱۰۰۰ متر از سطح دریا دارند
- باران سنج برای هر ۱۳۰ کیلومترمربع در نواحی ناهموار و شیب‌دار با بارش سنگین

نکته مهم این است که در رابطه با سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار تندسیلاب‌ها، در صورتی که خطرپذیری تلفات جانی قابل ملاحظه باشد، با توجه به این که حوضه آبریز این نوع سیلاب‌ها معمولاً بسیار کوچک هستند، توصیه می‌شود با توجه به هزینه‌ی کم، ایستگاه‌های جایگزین برای شرایط اضطراری مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال در حوضه‌ی گلاب‌دره - دربند با مساحت کل ۳۰ کیلومتر مربع دو ایستگاه سینوپتیکی و دو ایستگاه هیدرومتری و یک ایستگاه برف‌سنجی برای سامانه‌ی پایش پیش‌بینی شده است.

۴-۸- مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی

برای مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی، عوامل کیفی زیر را باید در نظر گرفت:

جدول ۴-۳- معیارهای کیفی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی

ردیف	موضوع معیار
۱	ایمنی راه‌های ارتباطی و دسترسی آسان به‌ویژه در مواقع بحران
۲	ایمنی در مقابل پدیده‌های طبیعی مانند زمین لغزش
۳	برخورداری از امکانات مخابراتی (مانند پوشش تلفن همراه، خطوط تلفن، بی‌سیم و غیره)
۴	آسیب‌پذیری کم در مقابل سرقت و خراب‌کاری
۵	سهولت احداث چاه ارت ^۲

ادامه جدول ۴-۳- معیارهای کیفی برای مکان‌یابی ایستگاه‌های هواشناسی

موضوع معیار	ردیف
رعایت الزامات تراز ایستگاه‌ها در مناطق کوهستانی (اختلاف ۵۰۰ متری)	۶
صعوبت دسترسی عمومی به ایستگاه	۷
حضور پیوسته‌ی نیروی انسانی	۸
نزدیکی به مرکز حوضه	۹

۴-۹- روندهای نوین در رابطه با ایستگاه‌های خودکار هواشناسی

در روش‌های متداول حدود ۷۰ درصد تجهیزات یک ایستگاه‌های خودکار هواشناسی توسط یک کارخانه تامین می‌شود و بقیه‌ی تجهیزات (عموماً باتری خورشیدی، دکل و مودم) از منابع دیگر تامین می‌شوند. در سال‌های اخیر کاربرد ایستگاه‌های خودکار هواشناسی به صورت یک واحد کامل و خودکفا رو به افزایش بوده است.

منافع اصلی این ایستگاه‌ها عبارتند از:

- سهولت سفارش به عنوان یک بسته کامل
- جامع و کامل بودن سامانه
- طراحی بخشی^۱ و انعطاف‌پذیری
- مصرف کم برق
- عدم نیاز به چاه ارت
- امکان خرید و انبار بخش‌های حساس برای افزایش اتکاپذیری ایستگاه

این ایستگاه‌ها متشکل از اجزای سبک و مقاومی است که به‌سادگی قابل نصب است. ایستگاه روی کابینتی قرار می‌گیرد که بر روی زمین نصب و تثبیت می‌گردد. ارتفاع دکل مزبور قابل تنظیم است. حسگرها و تجهیزات مخابراتی نصب شده در بالای دکل و همچنین باتری خورشیدی توسط یک کابل به دیتالاگر مستقر در داخل کابینت متصل می‌گردند. داده‌های خام جمع‌آوری شده، پس از پردازش اولیه در دیتالاگر ذخیره می‌گردد.

انتقال داده‌های ذخیره‌شده هم از طریق خط تلفن، مودم و همچنین با استفاده از سامانه رادیویی، تلفن همراه GSM (پیام کوتاه)، ماهواره و نیز باگیری مستقیم داده‌ها به نوت بوک از طریق اتصال مستقیم نوت بوک به دیتالاگر امکان‌پذیر است. امکان افزایش حجم و زمان ذخیره داده‌ها، با استفاده از دستگاه ذخیره داده‌ها (DSU) که ضد آب بوده و قابل پاک کردن و ذخیره مجدد داده‌هاست، نیز فراهم می‌گردد.

این دستگاه برای نصب در مناطق دورافتاده و صعب‌العبور بسیار مناسب است زیرا نیروی مورد نیاز کل تجهیزات ایستگاه می‌تواند توسط یک واحد باتری خورشیدی تامین گردد، که در دکل نصب می‌شود.



شکل ۴-۲- ایستگاه‌های خودکار هواشناسی به صورت یک واحد کامل و خودکفا

۴-۱۰- دقت مطلوب مشاهدات و تناوب اندازه‌گیری اطلاعات برای پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی

با توجه به مشاهدات واقعی و ضوابط فنی سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، از عبارت دقت مشاهدات یا قرائت استفاده می‌شود. این عبارت به صورت کوچک‌ترین واحد ممکن می‌تواند به صورت مستقیم یا با برآورد به وسیله قرائت ارائه شود. در این رابطه تعیین نوع بارش به لحاظ جامد یا مایع بودن مورد نیاز است.

بسته به زمان واکنش رودخانه، زمان گزارش‌دهی از یک ساعت تا یک روز متغیر است. به لحاظ دقت در پیش‌بینی تندسیلاب‌ها، گزارش‌دهی وقایع بعد از ریزش به دقت دو میلی‌متر بارش نیاز دارد.

بسته به میزان حساسیت، ممکن است رابطه آبدهی- اشل نیاز به دقتی در حدود ± 1 میلی‌متر داشته باشد. در صورت امکان دقتی معادل $\pm 5\%$ در انحراف معیار مد نظر است.

گزارش‌دهی وقایع، امری مهم در پیش‌بینی‌های تندسیلاب‌ها محسوب می‌گردد. برای مثال برای پیش‌بینی ذوب یخ، گزارش‌دهی ساعتی با دقت $\pm 0/3$ سانتی‌گراد مورد نیاز است.

سنجش از دور می‌تواند ورودی‌های مستقیم برای فرآیندهای پیش‌بینی را به شرح زیر فراهم کند:

- بارش منطقه‌ای
- شاخص‌های کیفی و کمی
- حدود مناطقی از سیلابدشت‌ها که دچار آب‌گرفتگی شده‌اند
- تصاویر ابرها جهت تعیین شاخص باد تروپوسفریک به عنوان ورودی مدل پیش‌بینی هواشناسی و هیدرولوژیکی
- اطلاعات کسب شده از طریق رادار داپلر نیز می‌تواند برای نشان دادن بادهای تروپوسفریک مورد استفاده قرار گیرد
- حرکات توفان‌های مناطق حاره و تندبادها
- مناطق پوشیده شده از برف و آب معادل پوشش برفی
- کیفیت آب به خصوص میزان کدورت آن

در ادامه میزان دقت مورد نیاز در اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی ارائه می‌گردد.

جدول ۴-۴- نمایش میزان دقت مورد نیاز در اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولوژیکی

عامل	میزان دقت ^۱	فواصل زمانی گزارش	اندازه‌گیری به‌وسیله ایستگاه زمینی
میزان کل باران و نوع آن ^۱	برای بارش‌های کم‌تر از ۴۰ میلی‌متر ± 2 میلی‌متر برای بارش‌های بیش‌تر از ۴۰ میلی‌متر ± 5 میلی‌متر	۶ ساعته ^۲	بله
تراز رودخانه ^۳	± 0.1 متر	۶ ساعته ^۵	بله
تراز دریاچه	± 0.1 متر	روزانه	بله
رطوبت خاک	$\pm 10\%$ ظرفیت سایت	هفتگی	بله
ارتفاع یخ‌زدگی	برای ارتفاع یخ‌زدگی کم‌تر از ۱۰ میلی‌متر $\pm 2\%$ برای ارتفاع یخ‌زدگی بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر $\pm 20\%$	روزانه	بله
آب معادل برف بر روی زمین	برای ارتفاع کم‌تر از ۲۰ میلی‌متر ± 2 میلی‌متر برای ارتفاع بیش‌تر از ۲۰ میلی‌متر $\pm 10\%$	روزانه	بله
ارتفاع پوشش برفی	برای ارتفاع پوشش کم‌تر از ۲۰ میلی‌متر ۲ سانتی‌متر برای ارتفاع پوشش بالای ۲۰ میلی‌متر $\pm 10\%$	روزانه	بله
تراکم پوشش برفی	$\pm 10\%$	روزانه	—
درجه حرارت آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها ^۴	برای محدوده ۰ تا ۴ سانتی‌گراد ± 0.1 در غیر این صورت ± 1 سانتی‌گراد	روزانه	بله
درجه حرارت برف سطحی	± 1 درجه سانتی‌گراد	روزانه	بله
نیمرخ درجه حرارت (برف و دریاچه‌ها)	± 1 درجه سانتی‌گراد	روزانه	بله
ضخامت یخ بر روی رودخانه‌ها و دریاچه‌ها	برای ضخامت پوشش یخ کم‌تر از ۰/۲ متر ± 0.2 متر برای ضخامت پوشش یخ بیش‌تر از ۰/۲ متر $\pm 10\%$	روزانه	—
تراز آب در چاه‌ها	± 0.2 متر	هفتگی	بله
تشمع خالص	$0.4 \text{ MJm}^2/\text{day}$ برای کم‌تر از $8 \text{ MJm}^2/\text{day}$ ± 5 درصد برای مقادیر بیش‌تر	روزانه	بله
دمای هوا	± 0.1 درجه سانتی‌گراد	۶ ساعته	بله
درجه حرارت	± 0.1 درجه سانتی‌گراد	۶ ساعته	بله
سرعت باد	$\pm 10\%$	۶ ساعته	بله
تبخیر از تشتک	± 0.5 میلی‌متر	روزانه	بله

۱- با توجه به مشاهدات واقعی، ضوابط فنی سازمان جهانی هواشناسی WMO، از عبارت دقت مشاهدات با قرائت استفاده می‌کند. عبارت فوق به‌صورت کوچک‌ترین واحد ممکن می‌تواند یا به صورت مستقیم یا با برآورد به‌وسیله قرائت ارائه شود.

۲- ممکن است که تعیین نوع بارش (برف یا باران) مورد نیاز باشد.

۳- بسته به واکنش رودخانه، از یک ساعت تا یک روز متغیر است. گزارش‌دهی وقایع برای مثال بعد از دو میلی‌متر بارندگی در پیش‌بینی تندسیلاب‌ها مورد لزوم است.

۴- بسته به حساسیت، رابطه تراز-آبدهی نسبت به تغییرات تراز بوده و ممکن است نیاز به دقت ± 1 میلی‌متر باشد. در صورت امکان یک دقت معادل $\pm 5\%$ انحراف معیار باید به‌دست آید.

۵- به بند ۳ توجه شود. گزارش‌دهی وقایع ممکن است برای پیش‌بینی‌های تندسیلاب‌ها مناسب باشد.

۶- گزارش‌دهی ساعتی با دقت ± 0.3 درجه سانتی‌گراد برای پیش‌بینی یخ.

۴-۱۱- روش‌های جمع‌آوری و مخابره‌ی اطلاعات

۴-۱۱-۱- جمع‌آوری اطلاعات از ایستگاه‌های زمینی

بارش، تراز آب رودخانه و آبدهی رودخانه در زمره مهم‌ترین اطلاعات پایه برای پیش‌بینی سیلاب محسوب می‌گردند و تجهیزاتی که برای اندازه‌گیری و جمع‌آوری اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرند همواره اطلاعات به‌روز شده‌ای را فراهم می‌کنند. در حوضه‌های با زمان تمرکز کوتاه (کم‌تر از ۶ ساعت) افزایش زمان پیش‌هشدار^۱ و اطلاع‌رسانی به‌موقع در کاهش خسارت سیل بسیار مفید است بنابراین استفاده از روش‌های خودکار اندازه‌گیری و ارسال اطلاعات برای سامانه‌های مختلف پیش‌بینی سیل امری ضروری است. با توجه به وسعت حوضه و زمان تمرکز تعداد مراکز پیش‌بینی مشخص می‌شود. مراجع تصمیم‌گیری می‌توانند نتایج پیش‌بینی‌ها را از این مراکز دریافت کنند. سامانه‌ی ارتباطی بین مراکز تصمیم‌گیری با توجه به شرایط تعیین می‌شود. پس از تعیین تنوع حسگرهای مورد نیاز در بخش مطالعات هیدرولوژی برای هر ایستگاه، حجم اطلاعات گردآوری شده تعیین می‌گردد. حسگرهای متداول در سامانه‌های پیش‌بینی سیل در جدول (۴-۵) ارائه شده است.

جدول ۴-۵- حسگرهای مورد نیاز در ایستگاه‌های زمینی

نام محل	بارش	دما	رطوبت	باد	سطح آب	وزن آب معادل برف	دیتا لاگر
ایستگاه -----	×	×	×	×		×	×

با توجه به اهمیت هر یک از پارامترهای اندازه‌گیری شده برای تهیه مدل بارش- رواناب فاصله‌ی زمانی متفاوتی برای ثبت اطلاعات هر حسگر مورد نیاز است. با توجه به تجارب کارکرد فصلی سامانه‌های هشدار سیل توصیه می‌شود که دستگاه‌های مرکزی هر ایستگاه توسط کانال ارتباطی قابل برنامه‌ریزی باشند و بتوان فاصله زمانی قرائت اطلاعات را در فصول مختلف تنظیم کرد. برای هر حسگر در هر نوبت قرائت با ذکر کد ایستگاه، کد حسگر، تاریخ، زمان قرائت و مقدار مشاهده‌ای، حجم ۲۰ بایت اطلاعاتی مورد نیاز است. این حجم با توجه به نوع ایستگاه مرکزی جمع‌آوری اطلاعات در ایستگاه راه دور^۲ و نحوه ارتباط ممکن است در یک بازه ± 25 درصدی متغیر باشد. پرپود قرائت اطلاعات مورد نیاز در مواقع سیلابی با توجه به زمان تمرکز حوضه برای هر حسگر متفاوت است. در پیوست (ج) سامانه‌ی پیش‌بینی سیل دربند و گلاب‌دره ارائه شده است. در جدول (۴-۶) حجم اطلاعات جمع‌آوری شده در این سامانه ارائه شده است.

جدول ۴-۶- مقدار حجم اطلاعات جمع‌آوری شده هر حسگر در سامانه هشدار سیلاب دربند- گلاب‌دره (بسته)*

نام حسگر	فصل گرم ۹۵ روز	فصل سرد و بارش ۲۱۰ روز	فصل سیلابی ۶۰ روز	جمع سالانه
بارش	۲	۹۶	۱۴۴۰	۱۰۶۷۵۰
دما	۲	۲۴	۱۴۴	۱۳۸۷۰
رطوبت	۲	۲۴	۴۸	۸۱۱۰
باد	۲	۲۴	۴۸	۸۱۱۰
تراز آب	۲	۹۶	۱۴۴۰	۱۰۶۷۵۰

* هر بسته معادل ۲۰ بایت محسوب می‌شود.

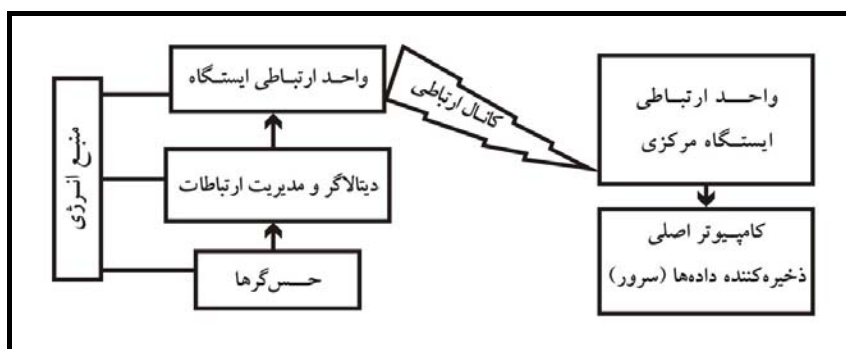
1- Lead Time

2- Remote Telemetry Unit (RTU)

در رابطه با طراحی سامانه پایش، بازدید صحرایی از حوضه برای مطالعه در مورد زیرساخت‌های موجود مخابراتی، برقی، مراکز مناسب برای استقرار ایستگاه و تعامل با سازمان‌های ذی‌ربط در مورد طرح‌های آینده ضروری است.

۴-۱۲- روش‌های مخابره داده‌های ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی

داده‌های برداشت شده توسط حسگرهای اندازه‌گیری در داخل دیتالاگرها ذخیره می‌شوند. در حال حاضر بعضی از وظایف مقدماتی پردازش داده‌ها نیز داخل دیتالاگرها انجام می‌گیرد و اطلاعات نهایی در تماس‌های مخابراتی که ایستگاه مبدأ با ایستگاه مرکزی برقرار می‌کند برای ایستگاه مرکزی ارسال می‌شود. در این‌جا لازم است اشاره شود که تعریف به‌هنگام بودن^۱ اطلاعات نیز بسته به خواسته‌های کاربر متفاوت است. به‌طور مثال در حوضه‌های بسیار بزرگ اگر هر داده هواشناسی و هیدرومتری برداشت شده از محل حسگر در زمان کمتر از یک ساعت به ایستگاه مرکزی مخابره شود، به‌هنگام محسوب می‌شود. این تعریف سامانه به شرایط حوضه و شرایط آب و هوایی و سامانه‌های مخابراتی بستگی دارد.



شکل ۴-۳- طرح شماتیک اجزای یک سامانه تله‌متری

در شکل (۳-۴) سه قسمت از یک سامانه تله‌متری یک ایستگاه هیدروکلیماتولوژی ارائه شده است:

- دستگاه‌های مخابراتی در ایستگاه فرعی یا راه دور
- کانال ارتباطی
- دستگاه‌های مخابراتی و ذخیره اطلاعات در ایستگاه مرکزی

این سه قسمت مجموعاً وظیفه انتقال داده‌ها از دیتالاگر ایستگاه فرعی به پایگاه اطلاعاتی ایستگاه مرکزی را به عهده دارند. برای انتقال داده‌ها روش‌های مختلفی وجود دارد که هر یک دارای خصوصیات ویژه‌ای هستند. این روش‌ها را می‌توان به دو گروه سامانه مخابرات زمینی و سامانه مخابرات ماهواره‌ای تقسیم کرد:

۴-۱۲-۱- سامانه‌های مخابراتی زمینی

در این بخش سامانه‌های مخابراتی بین ایستگاه فرعی و ایستگاه مرکزی با استفاده از کانال ارتباطی بدون واسطه ماهواره‌ای تشریح می‌شود. در این گروه ارتباطی روش‌های مختلفی وجود دارد که در ادامه روش‌های مرسوم در تله‌متری ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی معرفی می‌شوند. این سامانه‌ها، به‌جز سامانه‌ی تلفن سیمی، عموماً برپایه انتقال امواج رادیویی روی زمین بنا نهاده شده‌اند.

۴-۱۲-۱-۱- مودم تلفن سیمی

این روش عموماً برای مکان‌های نزدیک شهر و یا روستاهای مجهز به سامانه تلفن سیمی و یا در نزدیک خطوط انتقال تلفن مناسب است. این روش سامانه انتقال شامل دو مودم و یک خط تلفن است.

پروتکل‌های بسیاری بین یک مودم و دستگاه‌های دیتالاگر تعریف شده‌اند که استفاده از مودم در کنار یک دیتالاگر را بسیار آسان می‌کند. در طرف دیگر کانال ارتباطی یک دستگاه رایانه متصل به یک دستگاه مودم قرار دارد. دستگاه مودم متصل به رایانه می‌تواند برای کاربری‌های دیگر نیز استفاده شود. در یک سامانه شامل چند ایستگاه فرعی اندازه‌گیری، یک خط تلفن و یک دستگاه مودم در ایستگاه مرکزی کافی است. از خصوصیات این روش می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

- خط ارتباطی دو طرفه است (ارسال و دریافت). ترافیک خط مبتنی بر نیاز است. در صورت عدم نیاز می‌توان داده‌های یک هفته را در دیتالاگرهای ایستگاه ذخیره نمود و در اولین تماس داده‌ها بین ایستگاه فرعی و ایستگاه مرکزی داد و ستد شود. همین امر برعکس نیز صادق است به‌طور مثال هر گاه در محل یک ایستگاه باران‌سنجی باران شروع به بارش کرد و میزان بارش از مرز تعریف شده بالاتر بود، دستگاه مودم به فرمان دیتالاگر شروع به شماره‌گیری ایستگاه مرکزی کرده و پس از برقراری ارتباط، داده‌های مورد نیاز را داد و ستد می‌کند. ارتباط صوتی را نیز می‌توان بین دو نقطه برقرار کرد.
- سرعت انتقال بسته به خطوط تلفنی نصب شده در کشور بین ۴۸۰۰ تا ۳۳۶۰۰ بیت در ثانیه متغیر است. هزینه نگهداری شامل آبونمان تلفن است که شرکت مخابرات برای مدت یک سال دریافت می‌کند. مدت زمان مورد نیاز برای برقراری ارتباط بسته به مکان دو نقطه تماس بین ۱۰ تا ۹۰ ثانیه متغیر است. امکان ارتباط با ایستگاه اندازه‌گیری در صورت داشتن کد رمز ورود به سامانه از هر نقطه‌ای که امکان برقراری یک ارتباط تلفنی مهیا باشد، امکان‌پذیر است.
- این روش در حال حاضر نیز در بسیاری از کشورها به‌عنوان تنها روش ارتباطی و یا روش ارتباطی پشتیبان برای مواقعی که کانال ارتباطی اصلی قطع می‌گردد مورد استفاده قرار می‌گیرد. با پیشرفت فن‌آوری و ساخت قطعات کم‌مصرف الکترونیکی مودم‌هایی ساخته می‌شوند که تنها توسط یک باتری خشک ۲۴ آمپر ساعت، ماه‌ها برای ارسال داده‌ها به‌کار خود ادامه می‌دهد.
- این روش تقریباً تمام پروتکل‌های ارتباطی سامانه‌های تله‌متری و کنترل از راه دور را پشتیبانی می‌کند. این روش در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی آب منطقه‌ای مازندران، تهران و آذربایجان شرقی به‌طور آزمایشی در حال کار است. سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی نیز به‌صورت عملیاتی در حال نصب این سامانه در تعدادی از ایستگاه‌های هیدرومتری است.

۴-۱۲-۱-۲- مخابرات کابلی

- در این قسمت اشاره کوتاهی به مخابرات کابلی شامل مخابره با استفاده از زوج سیم، کابل هم‌محور و فیبر نوری می‌شود:
- استفاده از زوج سیم به هم تاییده: این روشی است که برای ارتباط یک مشترک تلفن به مرکز تلفن مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ارتباط عرض باند محدودی دارد و افت آن در فواصل طولانی زیاد است بنابراین برای فواصل محدود مناسب‌تر است.
 - استفاده از کابل هم‌محور: این کابل عرض باند زیادتری دارد و اثر اغتشاشات ۱ روی آن کم‌تر است اما به دلیل تضعیف

زیاد در مسیرهای طولانی و هزینه‌گران، برای فواصل نزدیک و ظرفیت‌های بالا مناسب است.

- **فیبر نوری:** این روش انتقال دارای عرض باند بسیار زیادی است و افت قابل قبولی دارد و در فواصل نسبتاً زیاد هم به کار می‌رود.

۴-۱۲-۱-۳- مودم تلفن همراه

این روش با اندکی تفاوت در خصوصیات و هزینه‌های ارتباط شبیه روش مودم تلفن سیمی است. در کشورهایی که از سامانه‌ی سلولی برای تلفن همراه استفاده می‌کنند تقریباً تمام نقاط کشور تحت پوشش تلفن همراه قرار دارد. به‌طور مثال کشورهای اروپایی از سامانه GSM^۱ در بسیاری از ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی خود استفاده می‌کنند. شبکه تلفن همراه ایران براساس استاندارد GSM بنا شده است و باند فرکانس مورد استفاده در آن ۹۰۰ مگاهرتز است.

خصوصیات این روش عبارت است از:

- در این روش امکان ارتباط فقط در مناطق نزدیک مراکز تقویت‌کننده امواج تلفن موبایل امکان‌پذیر است.
- ایستگاه به هیچ ارتباط سیمی احتیاج ندارد.
- تاخیر برقراری ارتباط ممکن است قابل ملاحظه باشد.
- سرعت انتقال اطلاعات بین ۲۴۰۰ و ۹۶۰۰ بیت در ثانیه متغیر است.
- هزینه اجاره خط و هزینه برقراری مکالمه از روش سیمی بالاتر است.

۴-۱۲-۱-۴- استفاده از شبکه PLC

این تکنیک که از خطوط فشار قوی برای مخابره استفاده می‌کند می‌تواند برای ارسال داده به کار گرفته شود. ترمینال‌های PLC می‌توانند دارای کانال‌های مخصوص ارسال داده باشند. برای استفاده از این کانال‌های اطلاعات باید به فرم مورد نیاز این کانال‌ها درآید یا این که به‌وسیله مودم‌های تلفنی از طریق کانال مکالمه‌ی ترمینال‌های PLC ارسال شود. موضوع قابل توجه این است که سامانه برای بهترین حالت یعنی وقتی که تمام پست‌های مورد نظر دارای ترمینال PLC باشند طراحی شده است.

۴-۱۲-۱-۵- مخابرات رادیویی

این روش از امواج الکترومغناطیسی که در فضای آزاد منتشر می‌شوند، برای ارسال اطلاعات استفاده می‌کند و برای فواصل دور و نقاطی که دور از شهرها و امکانات مخابرات شهری هستند می‌تواند بهترین روش باشد. این روش برحسب فرکانس‌های مورد استفاده تقسیم‌بندی می‌شود.

- فرکانس‌های VHF و UHF (از ۳۰ تا ۳۰۰ مگاهرتز)

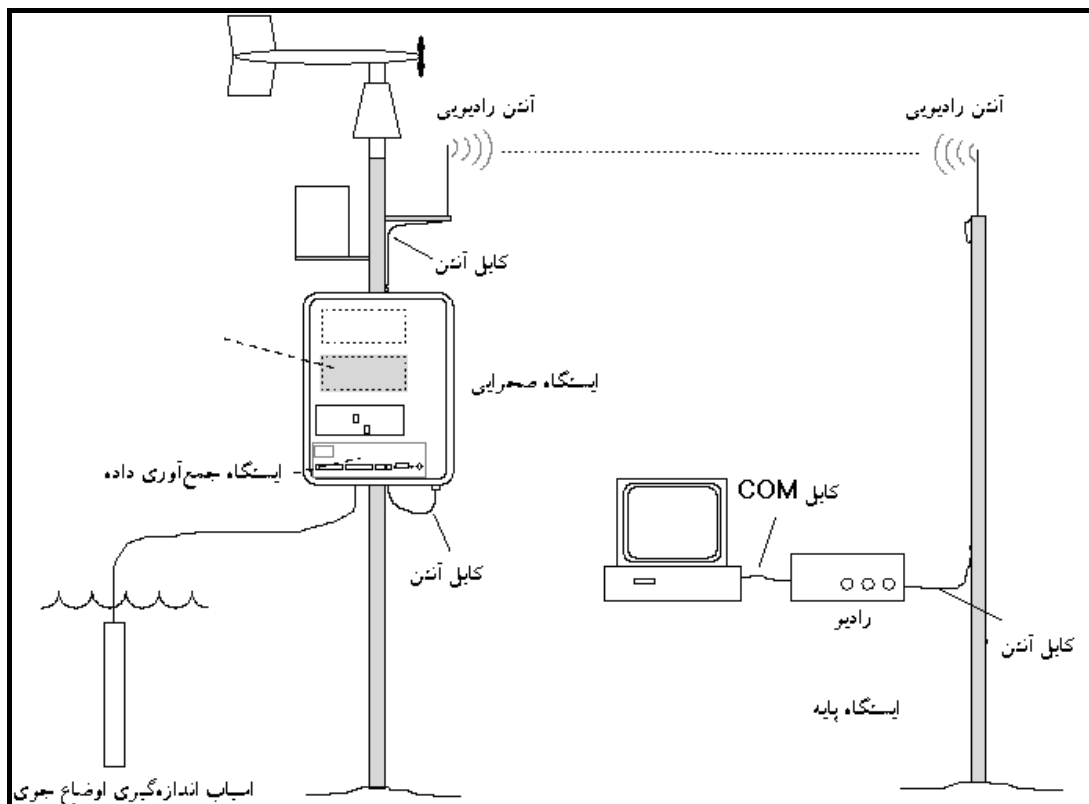
این فرکانس‌ها معمول‌ترین فرکانس‌های مورد استفاده در مخابرات رادیویی‌اند. در ناوبری هوایی، رادیوی FM، پخش تلویزیونی، مخابرات بی‌سیم و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. در باندهای بالای VHF و باند UHF نیاز به دید مستقیم بین گیرنده و فرستنده

وجود دارد. با افزایش فرکانس، ابعاد آنتن‌ها کوچک می‌شود و اثر عوامل جوی در حدی است که با ملاحظات می‌توان قابلیت اطمینان خوبی در تمام مواقع داشت.

۴-۱۲-۱-۶- رادیو مودم‌های VHF

همان طوری که قبلاً اشاره شد در باند VHF می‌باید دید مستقیم بین گیرنده و فرستنده وجود داشته باشد بنابراین اولین سوالی که به ذهن خریدار این نوع تجهیزات می‌رسد، برد مسافت و یا فاصله حداکثر بین فرستنده و گیرنده است. جواب به این سوال چندان ساده نیست. این پارامتر به عواملی از جمله فاصله بین فرستنده و گیرنده، ارتفاع آنتن در ایستگاه‌های فرستنده و گیرنده، قدرت انتشار امواج، حساسیت گیرنده، فرکانس حامل اطلاعات، عوارض منطقه و ناحیه، افق زمین در منطقه، سامانه تصحیح خطا بستگی دارد. در کاربری‌های مختلف، بعضی از این عوامل اهمیت بیش‌تری دارند. غالباً فرکانس حامل، ارتفاع آنتن و قدرت انتشار امواج بیش‌تر از بقیه عوامل اهمیت دارند.

این نکته قابل توجه است که این روش در حال حاضر در بسیاری از کشورها برای مخابره‌ی داده‌های سامانه‌های تله‌متری آب و هواشناسی استفاده می‌شود. به‌طور مثال در حدود ۶۰ درصد ایستگاه‌های تله‌متری آب و هواشناسی در آمریکا برای روش جانشین^۱ ارسال اطلاعات، از این روش استفاده می‌کنند. این روش برای طراحی سامانه‌های ارتباطی چند نقطه به یک نقطه و یک نقطه به یک نقطه کارایی خوبی داشته است.



شکل ۴-۴- طرح شماتیک سامانه نقطه به نقطه انتقال داده با استفاده از رادیو مودم

۴-۱۲-۱-۷- رادیو مودم Spread Spectrum

این روش مخابراتی نیز از فرکانس‌های رادیویی معمولاً بالای ۹۰۰ مگاهرتز در سه محدوده فرکانس با کاربری‌ها و پهنای باند مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۴-۵). این روش از نظر فن‌آوری جدیدتر از رادیو مودم‌های VHF می‌باشد و به‌علت افزایش ترافیک فرکانس در باند VHF برای نیازهای عمومی و سامانه‌های تله‌متری به‌وجود آمده است. خصوصیت بارز این روش احتیاج نداشتن به مجوز فرکانس از اداره مخابرات است.



شکل ۴-۵ - نمونه‌ای از تصاویر تکرار کننده‌های رادیویی SST در حوضه آبریز رودخانه Sevier در ایالت یوتا آمریکا

۴-۱۲-۲- سامانه‌های مخابراتی ماهواره‌ای

بیش از سه دهه از آغاز عصر ماهواره می‌گذرد. با شروعی آرام و تلاش‌های فراوان، فن‌آوری ماهواره جای خود را در جهان امروز باز کرده و پاسخ‌گوی بسیاری از مشکلات و احتیاجات ارتباطی، تحقیقاتی، نظامی، هواشناسی و مانند آنها در دنیای امروز شده است. در حال حاضر بیش از دو هزار ماهواره در مدارهای مختلف و برای مقاصد متفاوت در اطراف زمین در حال چرخش هستند. در میان آنها، شاید ماهواره‌های ارتباطی (مخابراتی) از بقیه شناخته شده‌تر باشند و کار آنها در سطح بین‌المللی بیش‌تر ملموس باشد. به‌طور کلی خصوصیات زیر، مخابرات ماهواره‌ای را از دیگر سامانه‌های مخابراتی زمینی تفکیک می‌کند:

- **پهنای باند وسیع:** ارسال برنامه‌های تلویزیونی با کیفیت بالا، کانال‌های تلفنی متعدد، اطلاعات دیجیتالی شبکه‌های اینترنتی و غیره میسر بوده و ارائه این سرویس‌ها به‌طور هم‌زمان امکان‌پذیر است.
- **پوشش وسیع:** ارتباط بین نقاط مختلفی که در پوشش یک ماهواره قرار دارد به آسانی امکان‌پذیر است.
- **انعطاف‌پذیری:** در هر جا که پایانه‌های لینک ماهواره وجود داشته باشد، مثلاً بر روی کشتی، هواپیما و حتی واحدهای روی زمین مانند تلفن‌های موبایل، امکان ارتباط از طریق ماهواره وجود دارد.

- هزینه کم: اگر قرار باشد تمام سرویس‌های ارتباطاتی ماهواره‌ای از طریق لینک زمینی صورت گیرد به مراتب گران‌تر خواهد بود. در ضمن مخارج مخابرات ماهواره‌ای تابع فاصله بین نقاط در حال ارتباط روی زمین نیست.
 - سطح اطمینان بالا: در مقایسه با ارتباطات زمینی، دارای اطمینان بیشتر و یا حداقل مساوی است.
- سامانه‌های ماهواره‌ای مشکلاتی نیز مخصوصاً برای کشورهای غیرصنعتی و در حال توسعه به همراه دارند، از جمله می‌توان از وابستگی مالی و سیاسی به کشورهای پیشرفته تولیدکننده و احتیاج به کارآموزی در سطح بالا نام برد. همچنین شرایط باید به نحوی باشد تا تغییرات سریعی را که در مورد این فن‌آوری پیشرفته پیش می‌آید، برای کشور استفاده‌کننده قابل اجرا سازد. هر یک از ماهواره‌ها مشخصاتی دارند. تعدادی از آنها عمومی و تعدادی نیز اختصاصی هستند. برای استفاده کاربران لازم است تا مشخصات عمومی شامل مدار، پوشش، نوع ماهواره و سرویس و نوع کار آنها مشخص گردد.
- اگر صفحه مدار ماهواره استوایی و ارتفاع ماهواره برابر ۳۵۶۷۸ کیلومتر باشد، مدت زمان گردش ماهواره برابر طول یک روز نجومی (۲۳ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۴ ثانیه) خواهد بود و گردش ماهواره در روی این مدار بر گردش زمین منطبق می‌شود. این مدار را مدار ثابت زمین^۱ گویند. برای ثابت نگه داشتن ماهواره در نقطه معین نسبت به زمین از این مدار استفاده می‌شود. به همین دلیل این مدار مورد توجه خاص قرار گرفته است. این مدار دارای مزایا و معایبی است.
- مزایای ماهواره‌های زمین‌آهنگ عبارتند از:
- ماهواره نسبت به آنتن ایستگاه ثابت به نظر می‌رسد. در نتیجه آنتن ایستگاه زمین ثابت به طرف ماهواره است و برای ردیابی ماهواره احتیاج به سامانه پیچیده نیست.
 - پوشش زمینی ماهواره‌های این مدار بزرگ‌تر و وسیع‌تر از ماهواره‌های مدارهای دیگر است. بنابراین تعداد بیش‌تری از ایستگاه‌های زمینی می‌توانند با یکدیگر در یک زمان در ارتباط باشند.
 - حتی فقط با ۳ عدد از این ماهواره‌ها می‌توان به‌طور تقریبی تمام سطح زمین را پوشاند.
 - ولی با وجود این مزایا، از طرف دیگر ماهواره‌های زمین‌آهنگ دارای معایبی از قرار زیر هستند:
 - به‌علت مسافت طولانی بین ماهواره و ایستگاه زمینی، افت مسیر بسیار زیاد است.
 - پرتاب ماهواره‌های زمین‌آهنگ بسیار پرهزینه است.
 - ماهواره‌های زمین‌آهنگ، مناطق قطبی را تحت پوشش ندارند.
 - تاخیر در ارسال یک پیغام در یک مسیر برابر ۰/۳ ثانیه است.
- بعضی اوقات مدارها بر طبق ارتفاع ماهواره از سطح زمین طبقه‌بندی می‌شوند. اگر ارتفاع ماهواره از سطح زمین تا ۱۰۰۰ کیلومتر باشد، مدار را مدار پایین می‌گویند. مدار متوسط وقتی است که ارتفاع بالاتر تا حدود ۲۰۰۰۰ کیلومتر باشد و بالاخره ماهواره‌های با ارتفاع بالا آنهایی هستند که بیش‌تر از ۲۰۰۰۰ کیلومتر از سطح زمین فاصله دارند. ماهواره زمین‌آهنگ زمین مثالی از نوع آخر است.

۴-۱۲-۱- مساحت تحت پوشش

یکی از مهم‌ترین مسایل طراحی سامانه‌های ماهواره‌ای مساحت تحت پوشش ماهواره در روی زمین است. برای طراحی بخش‌های مختلف سامانه ماهواره‌ای، نظیر تعداد ماهواره‌هایی که باید مورد استفاده قرار گیرد، انتخاب مدار و فرکانس و همچنین

دانستن مساحت زیر پوشش در روی زمین از نظر اقتصادی ضروری است. وسعت و پوشش ماهواره اصولاً با ارتفاع آن، حداقل زاویه ارتفاع مجاز برای دیدن ماهواره توسط آنتن ایستگاه و همچنین پهناى پرتو تشعشع آنتن ماهواره، ارتباط دارد.

۴-۱۲-۲-۲- تجهیزیات رادار

منبع ایجاد تندسیلاب، وقوع بارش شدید همراه با رعدوبرق است، بنابراین پیش‌بینی بارش منطقه‌ای یکی از راه‌های مهم پیش‌بینی سیل ناگهانی است. با توجه به این که اکثر حوضه‌های آبریز کشور در مناطق کوهستانی، حوضه‌هایی کوچک هستند، شرایط اقلیمی باعث افزایش مقدار بارش در منطقه می‌شود. رادار می‌تواند در سنجش بارش منطقه‌ای ابزاری مفید واقع گردد. چرا که رادار وضعیت منطقه را به خوبی ارائه می‌دهد و با امکانات موجود، بارش منطقه‌ای را سریعاً تخمین می‌زند.

کاربردهای اصلی رادار در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی عبارتند از:

- تعیین موقعیت و حرکت سامانه‌های باران‌زا
 - برآورد بارش منطقه‌ای
 - پیش‌بینی بارندگی سنگین و در نتیجه آبدهی سیلاب، خصوصاً در حوضه‌های آبریز کوچک
- یک رادار با توان خروجی حداکثر ۵۰۰ کیلووات برای برآورد شدت و انتشار بارش منطقه‌ای مناسب است. وسعت محدوده داده‌های هیدرولوژیکی که با چنین رادارهایی می‌تواند برداشت شوند در شرایط معمولی ۱۵۰ کیلومتر و در زمان‌های بارندگی شدید فقط ۱۰۰ کیلومتر است. یک رادار با محدوده توان خروجی ۷۵۰ کیلووات، وسعتی تا حدود ۲۳۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد. دقیق‌ترین رادار برای اندازه‌گیری شدت بارش رادار S-band می‌باشد.
- اگر واسنجی الکترونیکی علایم رادار براساس روابط منطقه‌ای بین رادار و شدت‌های بارش در فصل‌های مختلف و انواع توفان‌ها به دست آید، پیشرفت قابل توجهی در دقت انجام برآوردهای کمی بارندگی می‌تواند حاصل شود. با استفاده از یک یا چند باران‌سنج خودکار انجام واسنجی در زمان واقعی امکان‌پذیر می‌شود.
- بعضی پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی نیاز به اطلاعات بارش‌های زمان‌های گذشته دارند. در صورت وجود یک بانک اطلاعاتی، این امر می‌تواند با استفاده از سامانه رادار تحقق یابد. این اطلاعات وقتی با مشخصات حوضه آبریز ترکیب شوند، می‌تواند احتمال آب‌گرفتگی منطقه و موقعیت وقوع آن را به دست دهد.

پیشرفت‌های مدرن در فن‌آوری رادار شامل موارد زیر است:

- پردازش اطلاعات دیجیتالی برای برآورد نمودن بارش منطقه‌ای زیرحوضه‌ها
- جمع‌آوری اطلاعات با استفاده از تعدادی رادار و مخابره‌نمودن به وسیله یک خط تلفن به یک رایانه مرکزی برای گسترش منطقه تحت پوشش
- واسنجی خودکار اطلاعات رادار با واقعیت زمینی^۱ (اطلاعات باران‌سنج‌ها) با وارد نمودن مستقیم اطلاعات به مدل پیش‌بینی

استفاده از رادار داپلر برای پیش‌بینی توفان‌های میانی^۱ که قبل از رعد و برق‌ها و گردبادها می‌آیند. این مساله نیازمند اندازه‌گیری میزان انعکاس امواج و سرعت ذرات بارندگی است

علی‌رغم وجود مشکلات فنی در برآورد میزان بارش، روش‌های راداری برآورد بارش می‌توانند فوایدی متمایز از دیگر روش‌ها داشته باشند، به‌ویژه در برآورد بارش‌های منطقه‌ای در تندسیلاب‌ها. بزرگ‌ترین مزیت این روش، توانایی در به‌دست آوردن حجم زیادی از اطلاعات با مقیاس کوچک براساس زمان واقعی^۲ است. با این وجود برای نیل به این فواید، نگهداری فنی و صحیح رادار و تجهیزات کمکی آن و همچنین استفاده از بهره‌برداران و متخصصین کارآزموده پیش‌بینی نیز امری ضروری است. خروجی بیش‌تر عمده رادارها عبارتند از:

- خروجی‌های استاندارد و پیشرفته هواشناسی
- خروجی‌های پیشرفته هواشناسی
- خروجی‌های هیدرولوژیکی مانند شدت بارش، مقدار بارش در ساعت، روز و...
- خروجی‌های چینش باد و هوانوردی مانند چینش باد در راستاهای مختلف
- خروجی‌های تشخیص پدیده‌ها نظیر توفان میانی، توفان خاک، گردباد
- خروجی‌های اخطار و پیش‌بینی مانند اخطار تگرگ و ردیابی توفان

در حال حاضر سه رادار داپلر در مرحله نصب در تبریز، تهران و اهواز هستند. تعداد رادار موجود در حال حاضر با توجه به توپوگرافی کشور کافی نبوده و براساس نظر کارشناسان برای پوشش کل کشور نیاز به بیش از ۲۰ رادار است.

۴-۱۲-۲-۳- سنجش از دور^۳

سنجش از دور که با استفاده از ماهواره‌ها و یا هواپیماها صورت می‌گیرد مزایای بسیار متمایزی را نسبت به روش زمینی برای انواع پیش‌بینی‌ها ارائه می‌دهد. سنجش از دور امکان مشاهده مستقیم پارامترهای مورد نیاز در منطقه‌ای گسترده را فراهم می‌نماید. در صورت عدم استفاده از سنجش از دور، تنها با نمونه‌گیری نقطه‌ای مکانی می‌توان پارامترهای مورد نیاز را جمع‌آوری نمود، به‌علاوه این روش می‌تواند مشاهده پارامترها در مناطق غیرقابل دسترس و دریا را امکان‌پذیر نماید.

می‌توان برای تخمین مقدار بارش از داده‌های ماهواره‌ای استفاده نمود. تصاویر ماهواره‌ای روند تغییرات ابرهای کومولوس و میزان خشکی هوا در هنگام حرکت رو به بالای هوا را با تغییر ارتفاع و ضخامت ابر نشان می‌دهند. هرچه میزان خشکی شدیدتر باشد ورود رطوبت به ابرها بیش‌تر خواهد شد و همین مساله منجر به تشکیل ابر با ضخامت بیش‌تر و ابعاد بزرگ‌تر می‌گردد و در نتیجه تولید بارش با شدت بیش‌تری صورت می‌گردد.

اطلاعات ماهواره‌ای مورد استفاده به‌منظور پیش‌بینی هیدرولوژیکی عمدتاً توسط دو نوع ماهواره، زمین‌آهنگ و ماهواره یا فضایی که مدارش دور خط استوا بوده و سرعتش مساوی با سرعت حرکت زمین به دور خود است تامین می‌گردد. ماهواره زمین‌آهنگ در بالای محل خاصی به‌طور ثابت مستقر می‌شود. ماهواره زمین‌آهنگ یک دوره مداری به‌طور دقیق یک روزه دارد و بنابراین حدوداً در نقطه ۳۶۰۰۰ کیلومتری بالای خط استوا ثابت می‌ماند. ماهواره‌های مدارقطبی در یک مدار قطبی مستقر بوده و از

1- Mesocyclones
2- Real Time
3- Remote Sensing (RS)

یک دوره مداری بین یک تا دو ساعت برخوردارند. مزایای ماهواره‌های مدارقوسی در پیش‌بینی مربوط می‌شود به تعداد عبور آنها از روی منطقه مورد نظر، دقت و طبیعت تجهیزات سنجنده و حساسیت آنها به ابرهایی که تصاویر را تار و مبهم می‌کنند. با توجه به موارد استفاده ذکر شده در مورد تصاویر ماهواره‌ای، تصاویر ماهواره‌ای برای انجام پیش‌بینی‌های بلندمدت مورد استفاده واقع می‌شوند که این پیش‌بینی‌ها بر مبنای تفسیرهای هواشناسی صورت می‌گیرند. همچنین روش‌های سنجش از دور، امکاناتی برای مشاهده کاربری و پوشش اراضی در حال تغییر در اختیار کارشناسان می‌گذارند که این اطلاعات در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی مورد ملاحظه قرار می‌گیرند.

توزیع و حرکت خطوط پوشش برف در حوضه‌های کوهستانی را می‌توان با استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای با جزئیات بیشتری نسبت به ایستگاه‌های زمینی موجود تهیه نمود. نقاط ضعف استفاده از عکس‌های ماهواره‌ای شامل برداشت‌های اشتباه، مزاحمت ابرها، پوشش جنگلی و دقت اطلاعات ماهواره‌ای است. انجام تحلیل کمی عمق برف فقط با انجام مشاهدات ماهواره‌ای که همراه با مشاهدات زمینی صورت می‌گیرند امکان‌پذیر است. مشخص گردیده است که سامانه فعلی انتقال عکس ماهواره‌ای (APT) می‌تواند در تعیین مدل شکست یخ برای دریاچه‌ها و مخازن با سطحی بزرگ‌تر از ۵۰۰ کیلومتر مربع مفید واقع گردد.

مقایسه بین اطلاعات ماهواره‌ای و اطلاعات روش‌های سنتی برف‌سنجی نشان می‌دهد خطوط برف می‌توانند با استفاده از ماهواره با دقت حدود ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر مشخص شوند که دقت آن بستگی به مقیاس عکس دارد.

دیگر عناصر هواشناسی و هیدرولوژیکی که ممکن است به وسیله ماهواره‌ای مشاهده شوند عبارتند از آب مایع معادل ابرها^۱، الگوی ابرها، مناطق و شدت بارش، آب‌گرفتگی سیلابدشت، بادهای زیست توده^۲ و رطوبت خاک.

سنجنده‌های ماکروویو برای اندازه‌گیری وجود رطوبت در ابرها، باران در حال بارش و منطقه آب گرفته استفاده می‌شوند. سامانه‌های منفعل^۳ که انرژی‌های منتشر شده به‌طور طبیعی را اندازه می‌گیرند، می‌توانند برآوردی از حجم آب قابل بارش را به دست دهند و نیز می‌توانند جریان یافتن امواج یک سیلاب بزرگ از طریق پوشش ابر را ردیابی کنند. وسایل مورد استفاده عموماً شامل دستگاه اندازه‌گیری امواج الکترونیکی، ردیاب ماکروویو (ESMR) و دستگاه اندازه‌گیری طیف‌های ماکروویو (NEMS) است.

پیش‌بینی‌های هواشناسی به‌وسیله اطلاعات ماهواره‌ای زمین‌آهنگ ارزیابی می‌شوند که به‌وسیله مقایسه بین تصاویر گرفته شده به فاصله ۳۰ دقیقه، داده‌هایی برای مدل‌های عددی و اطلاعات بصری درباره سامانه‌های هوا و گردبادها ارائه می‌دهند. دمای تابش یکی از داده‌های موثر برای انجام محاسبات تعادل گرما برای پیش‌بینی ذوب یخ و محاسبات تبخیر و تعرق^۴ به شمار می‌آید.

تصاویر ماهواره‌ای اطلاعات بسیار با ارزشی به‌ویژه در مناطقی که فاقد ایستگاه‌های زمینی هستند برای زیرحوضه‌ها در هنگام ایجاد سامانه‌های پیش‌بینی فراهم می‌کنند. فهرست ماهواره‌های زمین‌آهنگ که در ادامه می‌آید برای جمع‌آوری و تقویت اطلاعات به‌وسیله سکویهای میدانی مجهز شده یا در حال تجهیز هستند.

1- Liquid Water Content of Clouds

2- Biomass

3- Passive

4- Evapotranspiration

جدول ۴-۷- فهرست ماهواره‌های زمین‌آهنگ

GOES NEXT,GOE-7	به‌وسیله ایالت متحده آمریکا بهره‌برداری می‌شود
5.GMS-4	به‌وسیله ژاپن بهره‌برداری می‌شود
6.5.METEOSAT-4	به‌وسیله سازمان فضایی اروپا بهره‌برداری می‌شود (ESA)
GOMS	به‌وسیله کشورهای متحدالمنافع بهره‌برداری می‌شود
INSAT	به‌وسیله هند بهره‌برداری می‌شود

هر فضاپیما می‌تواند اطلاعات را از ۱۰۰۰۰ ایستگاه جداگانه یا بیش‌تر در گستره تحت پوشش خود دریافت و پردازش نماید و این گستره از ۷۰ درجه طول شرقی و غربی نقطه متناظر آن در زمین و از شمال و جنوب به قطب شمال و جنوب پراکنده شده است. ماهواره مورد بهره‌برداری زمین‌آهنگ (GOES) سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و نیز ماهواره هواشناسی ایالت متحده (NOAA) مثال‌هایی از ماهواره‌هایی هستند که هم‌اکنون در حال بهره‌برداری هستند. جزییات هرکدام از سامانه‌های ماهواره‌ای در کتاب راهنمایی که سازمان هواشناسی جهانی در مورد ماهواره‌های هواشناسی و زیست‌محیطی منتشر نموده، ارائه گردیده است.

۴-۱۳- ماهواره هواشناسی در ایران

اطلاعات حدود ۹۰ درصد از عملیات گردآوری اطلاعات سنجش از دور از طریق ماهواره‌ها انجام می‌شود. در ایران از ماهواره ثابت زمینی متئوست واقع در طول و عرض صفر درجه و برخی ماهواره‌های دیگر استفاده می‌شود. ماهواره متئوست^۱ در ارتفاع ۳۶۰۰۰ کیلومتری از زمین قرار گرفته است، در صورتی که ماهواره در ۸۰۰ کیلومتری از زمین واقع شده است. نظر به این‌که ماهواره‌های زمین‌آهنگ در ارتفاع بالاتری قرار دارند، در نتیجه از قدرت تفکیک کم‌تری برخوردارند. ماهواره متئوست دارای ۳ باند ارسال اطلاعات است که عبارتند از:

- مریی^۲
- مادون قرمز^۳
- بخار آب^۴

ماهواره NOAA از ۵ باند شامل ۳ باند مریی و ۲ باند مادون قرمز برخوردار است. در حال حاضر سازمان هواشناسی ایران از ماهواره متئوست شماره ۷ استفاده می‌کند. این ماهواره هر نیم ساعت یک‌بار و در مجموع در شبانه‌روز با ۴۸ تصویر می‌تواند رشد و مسیر حرکت ابرها را بر روی کشور نشان دهد.

۴-۱۴- انتخاب سامانه‌ی مخابراتی

روش‌های مختلف مخابره داده‌های ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی اشاره شده در این کتاب راهنما در کشور قابل دسترس بوده ولی انتخاب یکی از این روش‌ها و یا استفاده ترکیب آنها به معیارهای مختلفی بستگی دارد. تعدادی از این معیارها و امتیاز هر یک در جدول (۴-۴) نشان داده شده است و با ضرب هر امتیاز در وزن معیار مربوط و جمع امتیازات هر یک از راه‌حل‌های مخابراتی امتیاز

- 1- Meteoset
- 2- Visible
- 3- Infrared
- 4- Water Vapor

کل آن روش ارتباطی مشخص می‌شود. برخی از معیارهای جدول (۴-۴) مربوط به هزینه‌های اولیه و طول عمر است و برخی دیگر شاخص‌های کیفی سامانه هستند. برای مقایسه دو یا چند سامانه‌ی مخابراتی می‌توان از روش شاخص ارزش نیز که در مطالعات مهندسی ارزش به کار گرفته می‌شود استفاده نمود:

$$V_i = \frac{\text{کارکرد} + \text{کیفیت}}{\text{هزینه‌ی کل}} \quad (1-4)$$

برای کمی کردن کیفیت یک سامانه‌ی مخابراتی، ابتدا (معیارهای ارزیابی انتخاب شود و توسط روش AHP (مقایسه دودویی) وزن‌دهی معیارها صورت می‌گیرد. سپس امتیازدهی معیارهای ارزیابی توسط تیم طراحی صورت می‌پذیرد. با مشخص شدن وزن و امتیازها سامانه، پارامتر کیفی آن سامانه حاصل می‌شود. روش AHP در پیوست ۳ این کتاب راهنما ارائه شده است.

$$Q = \sum_{i=1}^n w_i p_i \quad (2-4)$$

که در این رابطه:

Q: شاخص کیفی سامانه

Wi: وزن معیارها براساس روش AHP

Pi: امتیاز متوسط هر معیار براساس نظر تیم کارشناسی

لازم به ذکر است که هزینه کل شامل هزینه کل اولیه به‌علاوه هزینه بهره‌برداری و نگهداری است:

- هزینه اولیه تاسیس ایستگاه مرکزی
- هزینه اولیه تاسیس یک ایستگاه راه دور (سامانه مخابراتی)
- هزینه اولیه تاسیس یک ایستگاه راه دور (متعلقات جانبی و ساختمانی)
- هزینه جاری بهره‌برداری سامانه (شارژ ترافیک مخابراتی)
- هزینه نگهداری یک ایستگاه راه دور

جدول ۴-۸- معیارهای کیفی انتخاب سامانه‌ی مخابراتی

ردیف	موضوع معیار
۱	کارایی متناسب با سامانه تله‌متری هشدار سیل
۲	استقلال شبکه از سازمان‌ها و شرکت‌ها
۳	انعطاف‌پذیری در انتخاب موقعیت ایستگاه راه دور
۴	آماده‌سازی سایت موردنیاز ایستگاه راه دور
۵	آماده‌سازی سایت موردنیاز ایستگاه مرکزی
۶	قابلیت توسعه شبکه
۷	پیچیدگی و فن‌آوری‌های سطح بالا
۸	سادگی برپایی ایستگاه راه دور و اتصال محل آن به شبکه
۹	سرعت برپایی ایستگاه راه دور
۱۰	سرعت برپا شدن شبکه از لحظه تصمیم و خرید تجهیزات تا برپایی (هماهنگی با ارگان‌ها و سازمان‌ها)
۱۱	یکنواختی خصوصیات موقعیت ایستگاه راه دور
۱۲	قابلیت اعتماد به تداوم کارکرد و صحت مخابراتی
۱۳	حفظ امنیت تجهیزات ایستگاه راه دور

۴-۱۵- روند پایش

علاوه بر پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی، سازه‌های مهار سیلاب را نیز در هنگام سیلاب باید پایش نمود. روند پایش می‌تواند به صورت زیر انجام گیرد:

- طراحی و برنامه‌ریزی سامانه پایش
- انتخاب و نصب ساختارهای مشاهده‌ای شبکه و اندازه‌گیری
- مطالعه میدانی و اندازه‌گیری به خصوص در طول سیلاب به طور پیوسته، تدریجاً یا به طور تصادفی
- ارزیابی آنی داده‌های مشاهده شده و توزیع نتایج در زمان لازم
- ارزیابی جزئی داده‌های جمع‌آوری شده پس از سیلاب در جهت توسعه سامانه مهار سیلاب به کار گرفته شده
- مباحث مورد نیاز برای مشاهده شامل موارد زیر است:
- پدیده‌های هیدرولوژیکی، در رابطه با بارهای معمولی وارد بر سازه
- پایداری سازه‌های مهار سیلاب، برای مثال بارهای خارجی، حرکت‌ها و تغییر شکل سازه‌ها، کرنش‌ها و مقاومت‌ها، نیروهای برهم‌کنش فشار آب، خط نشست (تراز پیزومتر) و آزمایش مواد (مخرب و غیرمخرب)

۴-۱۶- فن‌آوری‌های پیشرفته پایش

روش‌های زیر، روش‌های مورد استفاده به همراه ابزار و تجهیزات لازم برای مشاهده و پایش بخش‌های مختلف سیل‌بندها را بیان می‌کنند. به علاوه آزمایش‌ها و نمونه‌برداری‌هایی به منظور تعیین نفوذپذیری خاک صورت می‌گیرد. شماری از آزمایش‌های صورت گرفته در زیر آمده‌اند:

- آزمایشات ژئوتکنیکی برای تعیین ترکیب ساختار خاک و مصالح سیل‌بندها، همچنین تعیین گسترش عمودی و افقی لایه‌های قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ
- تهیه عکس‌های هوایی از سیل‌بندها، برای این امر، عکس‌ها باید در یک باند طیفی مناسب از سیل‌بندها در دوره‌های زمانی خشک و سیلابی تهیه شوند. براساس رابطه نزدیک بین میزان رطوبت و ظرفیت گرمایی، اطلاعات در این زمینه به راحتی از طریق مقایسه عکس‌های هوایی حاصل می‌گردد.
- روش قطبی برای بررسی لایه‌های رسی که می‌تواند نقش مهمی را در بررسی رفتار سیل‌بندها از خود نشان دهد.
- بررسی تراکم سیل‌بندها (نمونه‌ها می‌توانند در عمق بین ۵ تا ۱۰ متر یا بیش‌تر به دست آورده شوند).

فصل ۵

سامانه‌ی پیش‌بینی در زمان واقعی

۵-۱- کلیات

سامانه‌ی پیش‌بینی سیل با استفاده از اطلاعات زمان واقعی سامانه‌ی پایش، وضعیت و تغییرات مشخصه‌های سیل در زمان‌های آتی را برآورد می‌کند. پیش‌بینی سیل از طریق پایش آب و هوا، رودخانه و شرایط حوضه که منجر به سیلاب می‌شود و مدل‌های عددی انجام می‌شود. سابقه اولین پیش‌بینی سیل در دنیا به سال ۱۸۵۴ در فرانسه برمی‌گردد. در آن سال بلگراند^۱، احتمال وقوع سیل در رودخانه سن را از سه روز قبل به‌وسیله تلگراف و روابط ساده میان افزایش تراز در سرشاخه‌ها و در پاریس پیش‌بینی کرد. سامانه‌های پیشرفته پیش‌بینی سیل به‌عنوان یکی از روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب، بیش از ۴۰ سال است که در اکثر کشورها مورد توجه قرار گرفته‌اند. در زمینه ایجاد سامانه‌های پیشرفته پیش‌بینی سیل چه از لحاظ سخت‌افزاری و چه از لحاظ نرم‌افزاری، تجارب ارزنده‌ای در سطح بین‌المللی وجود دارد. مهم‌ترین اجزای بخش نرم‌افزاری سامانه، شبیه‌سازی بارش - رواناب، فرموله کردن روابط حاکم در فرآیند تبدیل بارش به رواناب، روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها و مخازن، واسنجی و اصلاح سامانه در زمان واقعی و برنامه رابط کاربر است که تجربیات موجود در این رابطه در فصل حاضر تشریح می‌گردد. سامانه‌های ساده‌ای نیز در برخی کشورها به خدمت گرفته شده‌اند که تنها از چندین رابطه همبستگی تشکیل یافته‌اند. تعریف درجه پیچیدگی و پیشرفته بودن سامانه پیش‌بینی بستگی به اقلیم، ریخت‌شناسی حوضه آبریز، امکانات و تجهیزات اندازه‌گیری و ارسال داده‌ها در سطح حوضه و همچنین درجه دقت پیش‌بینی و اهداف پیش‌بینی سیل دارد. به‌عنوان مثال در حوضه‌هایی که هدف صرفاً پیش‌بینی سیل و تخلیه مناطق است پیش‌بینی آبدی اوج هیدروگراف سیل به‌همراه زمان وقوع آن کافی است، درحالی‌که در حوضه‌هایی که مساله مدیریت مهار سیل در مخازن مطرح می‌گردد، پیش‌بینی هیدروگراف سیل امری ضروری است.

بررسی‌های انجام شده در سطح دنیا نشان می‌دهد که سامانه‌های پیش‌بینی سیل در کشورهای مختلف بسیار متفاوت‌اند. این موضوع نمایانگر این است که بسته به شرایط حوضه آبریز و پیچیدگی هیدرولوژیکی آن و اهداف، روش‌های مختلف می‌توانند کارآیی متفاوتی داشته باشند. تقسیم‌بندی این ساختار براساس اجزای مهم بخش نرم‌افزاری سامانه پیش‌بینی سیل صورت گرفته است.

۵-۲- نقش پیش‌بینی و هشدار سیلاب در پایداری سازه‌های آبی

طراحی اکثر سازه‌های آبی براساس سیلاب‌های بزرگ که هزینه هنگفتی را به‌همراه دارند انجام می‌شود. با پیش‌بینی و هشدار به‌موقع و در زمان واقعی سیلاب می‌توان سطح آبدی سیل طراحی سازه‌ها را پایین آورد تا بتوان هم پایداری سازه‌های آبی را تامین کرد و هم هزینه‌های اضافی را کاهش داد. اطمینان به سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل در کشورهایی چون ژاپن به حدی است که سیلاب طراحی سدهای بتنی را با سیل ۲۰۰ ساله یا بیش‌ترین سیل مشاهده شده طراحی می‌کنند.

در بسیاری از کشورهای دنیا، تدوین طرح عملیاتی شرایط اضطراری و وجود سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار در پایین دست سدها اجباری است، از طرف دیگر وجود سد عامل بسیار مهمی در کاهش سیلاب محسوب می‌شود. وجود سد می‌تواند هم موجب کاهش قابل ملاحظه‌ی سیلاب و افزایش زمان پیش‌هشدار گردد و هم ممکن است در اثر مدیریت نادرست یا شکست، عواقب شدیدی در پایین دست ایجاد نماید. تمامی این موارد به‌علاوه منحنی فرمان سد لازم است در مدل پیش‌بینی و هشدار سیلاب لحاظ شوند.

۵-۲-۱- نقش پیش‌بینی و هشدار سیلاب در مدیریت سدهای چند منظوره

یکی از اهداف سدهای چند منظوره، تولید برق آبی است. برای این منظور باید تراز آب مخزن در حداکثر مقدار خود باشد، ولی چنین عملی سبب کاهش مهار سیل مخزن می‌شود و اطمینان‌پذیری مهار سیل مخزن را کاهش می‌دهد. ایجاد سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب در زمان واقعی، اطمینان‌پذیری از بالا نگاه داشتن تراز مخزن بیش‌تر کرده و بهره‌برداری از حجم مخزن را برای تولید حداکثر برق آبی ممکن می‌سازد.

در مخازن ذخیره‌ای که آب برای مدت زیادی در مخزن باقی می‌ماند، به مرور زمان آب کیفیت مطلوب خود را از دست می‌دهد. تخلیه سریع مخزن سبب بهبود کیفیت آب برداشتی از مخزن می‌گردد. بنابراین با پیش‌بینی زمان تخلیه سریع مخزن قبل از وقوع سیل می‌توان کیفیت آب را نیز ارتقا داد.

۵-۳- پیش‌بینی سیلاب

پیش‌بینی سیلاب و تخمین ارتفاع آب در رودخانه در یک مکان و زمان مشخص در آینده می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

- میزان دقیق، برای مثال ۱۲/۳ متر
 - متغیر بین ۱۲ تا ۱۲/۵ متر
 - بیش از یک مقدار بحرانی، برای مثال بیش از ۱۲ متر
 - کلاس سیلاب (کم، متوسط یا حداکثر)
- پیش‌بینی از طریق پایش آب و هوا، رودخانه و شرایط حوضه که منجر به سیلاب می‌شود و مدل‌های عددی انجام می‌شود. مسایل کلیدی موجود در این رابطه عبارتند از:
- درک این که کجا نیاز به پیش‌بینی دارد و هدف از پیش‌بینی چیست
 - اطمینان از این که نتایج سامانه‌ی پیش‌بینی، افراد در معرض خطر را شناسایی می‌کند
 - درک این مساله که پیش‌بینی همیشه قطعی نیست
 - ایجاد ارتباطات مناسب بین بخش‌های پیش‌بینی، بخش‌های مقابله و جوامع در معرض اثرهای سیلاب
 - در اختیار داشتن ضوابط و دستورالعمل‌ها لازم در رابطه با دریافت و استفاده از پیش‌بینی‌ها
 - در نظر گرفتن این مساله که گروه‌های خاصی از جامعه هشدارهای سازمان‌های مسوول پیش‌بینی را جدی نمی‌گیرند
 - توجه خاص در رابطه با پیش‌بینی‌های حوادث شدید

۵-۳-۱- کیفیت پیش‌بینی

پیش‌بینی‌ها اغلب از طریق پیش‌بینی بارش صورت می‌گیرند. به دلیل عدم قطعیت پیش‌بینی‌های بارش، چنین پیش‌بینی‌هایی معمولاً دقیق نیستند. پیش‌بینی سیلاب می‌تواند در زمان ارزیابی اولیه که شرایط اقلیمی پتانسیل ایجاد سیلاب را دارند انجام گیرد. چنین پیش‌بینی‌هایی برخی اوقات به‌عنوان هشدارهای اولیه یا توصیه سیلاب برای سازمان‌ها و جوامع به‌کار می‌روند.

۵-۳-۲- عناصر پیش‌بینی سیلاب

در طی سیلاب، مهم‌ترین نیاز، پیش‌بینی تراز مورد انتظار رودخانه در مکان‌های خاصی از رودخانه است. پیش‌بینی‌ها می‌تواند برای حداکثر تراز سیلاب یا ارتفاع سطوح خاص صورت پذیرد. پیش‌بینی تراز رودخانه در زمان عقب‌رفت رودخانه، برای هدایت فعالیت‌های بازتوانی بعد از سیلاب مفید است.

پیش‌بینی‌ها اغلب برای زمان و مکان خاص برای یک تراز خاص رودخانه و در یک ایستگاه خاص انجام می‌گیرد که نیازمند دسترسی به داده‌ها و روش‌های پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی حوضه و رودخانه برای مدل است. در جایی که این امر امکان‌پذیر نباشد پیش‌بینی ممکن است تنها کلاس سیلاب (کم، متوسط یا شدید) را به دست دهد. عناصر هیدرولوژیکی اصلی که پیش‌بینی آنها عملاً مورد نظر است عبارتند از:

- هیدروگراف آبدهی یا تراز آب
- تراز و آبدهی حداکثر سیلاب و زمان وقوع آن
- حداکثر تراز آب در دریاچه‌ها و زمانی که به این تراز می‌رسد
- ارتفاع امواج ایجاد شده توسط باد در دریاچه‌ها و مخزن‌های بزرگ
- بالا آمدن آب ناشی از باد در دریاچه‌ها، آب‌های ساحلی و خورها

۵-۳-۳- مدل‌های پیش‌بینی

مدل‌های عددی هیدرولوژیکی، اساس سامانه‌ی پیش‌بینی هیدرولوژیکی کوتاه‌مدت را تشکیل می‌دهند. گرچه روش‌های پیش‌بینی مهم‌ترین بخش‌های سامانه پیش‌بینی هستند، اما این روش‌ها حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد کل سامانه پیش‌بینی را تشکیل می‌دهند. پیش‌بینی موفقیت‌آمیز بستگی به روابط ساده‌ای دارد که به صورت تجربی بین متغیرهای مشاهده‌ای برقرار می‌شود. برای مثال، براساس تراز بالادست می‌توان تراز پایین‌دست را کمی بعد از آن پیش‌بینی کرد. روند مدل پیش‌بینی مانند مدل‌های ریاضی بارش-رواناب و روش‌های روندیابی کانال براساس توصیف فیزیکی روند هیدرولیکی و هیدرولوژیکی است. دو نوع مدل شبیه‌سازی وجود دارد:

مدل‌های شبیه‌سازی پاسخ حوضه؛ این مدل‌ها توانایی شبیه‌سازی اثرهای انسانی در رابطه با حوضه را ندارند.

مدل‌های شبیه‌سازی پاسخ سامانه رودخانه‌ها شامل تداخل انسانی؛ این مدل‌ها توانایی شبیه‌سازی اثرهای کوتاه‌مدت انسانی در رابطه با رفتار حوضه را دارند. این مدل‌ها شامل موارد زیر هستند:

- مدل‌هایی که حجم رواناب را محاسبه می‌کنند.
- مدل‌هایی که زمان توزیع رواناب را برآورد می‌کنند.
- مدل‌هایی که روندیابی جریان رودخانه را انجام می‌دهند.

Nemec در سال ۱۹۸۳ مدل‌های پیش‌بینی را به‌صورت زیر تعریف کرد:

۵-۳-۳-۱- مدل‌های پیش‌بینی کاملاً قطعی

- مدل‌هایی که از داده‌های هیدرومتری رودخانه استفاده می‌کنند:
- روش‌های تخمین تراز، آبدهی و حجم (روش‌های همبستگی)

- مدل‌های ورودی / خروجی (با در نظر گرفتن هیدروگراف واحد)
- روندیابی هیدرولیکی با استفاده از موج دینامیکی، کینماتیکی یا مدل‌های ذخیره
- مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی - هواشناسی شامل روندهای جریان و بارش - رواناب:
 - روابط همبستگی با استفاده از پارامترها و متغیرهای فیزیکی
 - مدل‌های ورودی / خروجی برای حوضه در رابطه با بارندگی
 - مدل‌های توزیعی
 - محاسبه رطوبت با استفاده از شاخص رطوبت خاک

۳-۳-۳-۵-۲- مدل‌های پیش‌بینی تصادفی^۱ (S) (استوکاستیک)

- مدل‌های اتورگرسیون (AR)
- مدل‌های (MA)
- مدل‌های آرما (ARMA)
- مدل‌های سری زمانی غیرخطی

۳-۳-۳-۵-۳- مدل‌های پیش‌بینی قطعی - تصادفی

کاربرد ترکیبی روندیابی هیدرولیکی با مدل تصادفی، برای پیش‌بینی جریان رودخانه روش‌های پیش‌بینی باید نیازهایی به شرح زیر را برآورده کنند:

- فیزیک روند پیش‌بینی را ساده کنند.
 - اندازه، نوع و روند انتشار عدم قطعیت‌ها را در هر پیش‌بینی محاسبه کنند.
 - با تغییرات طبیعی یا انسان‌ساز انطباق پیدا کنند.
 - پیش‌بینی مطلوب را برطبق معیارهای اجرایی کنونی دریافت کنند.
 - برای دریافت اطلاعات بیش‌تر بدون تغییر ساختار روش پیش‌بینی مناسب باشند.
 - برای پرکردن داده‌های گم شده مناسب باشند.
 - معیارهای پایداری عددی را رعایت کنند.
 - در ریزپردازنده‌ها به راحتی قابل اجرا و برای اهداف پیش‌بینی مناسب باشند.
 - بدون تغییرات اساسی به مدل‌های اجرایی سامانه‌های منابع آب متصل شوند.
- عدم قطعیت مدل‌های پیش‌بینی ناشی از موارد زیر است:
- محدودیت در انتخاب تعداد وقوع مدل‌ها
 - ساختار نامناسب مدل
 - خطاهای مشاهدات

- تقریبی از متغیرهای توزیعی به‌وسیله متغیرهای متمرکز^۱
- خطا در تخمین پارامتر
- ساده‌کردن متغیرها و فاکتورهای مشابه

پیش‌بینی‌های آینده در دسته مدل‌های قطعی - تصادفی قرار می‌گیرند. به‌گونه‌ای که ساختار (فیزیکی) آن روندهای هیدرودینامیکی سامانه را راحت‌تر و بخش تصادفی آن خصوصیات تصادفی مدل را بررسی می‌کند. حتی زمانی که مدل‌های پیش‌بینی قطعی - تصادفی اجرا می‌شوند، نیازمند یک سامانه پشتیبان هستند که در این حالت مدل‌های سری زمانی تصادفی به‌عنوان سامانه‌ی پشتیبان عمل می‌کنند.

۵-۳-۴- روش‌های پیش‌بینی

این قسمت به روش‌های پایه عددی و هیدرولوژیکی که اجزای اساسی هر سامانه پیش‌بینی محسوب می‌شوند و نیز به ضوابطی برای انتخاب روش‌ها و تعیین پارامترها می‌پردازد.

بسیاری از مدل‌های موفق پیش‌بینی براساس یک رابطه بسیار ساده که به‌صورت تجربی میان متغیر مشاهده‌ای و متغیر هدف پیش‌بینی وجود دارد، عمل می‌کنند. برای مثال رابطه تجربی تراز در بالادست با تراز در پایین‌دست در یک فاصله زمانی خاص برقرار می‌شود. به‌طور روزافزون، پیش‌بینی‌ها براساس توصیف فیزیکی کامل‌تر فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی صورت می‌گیرد (به‌عنوان مثال مدل‌های مفهومی بارش - رواناب یا فرآیندهای ذوب یخ و مدل‌های روندیابی رودخانه). تضمینی برای افزایش دقت پیش‌بینی‌ها با استفاده از مدل‌های جامع‌تر وجود ندارد. اگرچه آنها در تهیه اطلاعات بیشتر تر و اجازه به کارگیری اطلاعات و تجربیات جدید بسیار انعطاف‌پذیرتر هستند. در جدول زیر مقایسه‌ی مدل‌های آماری و فیزیکی ارائه شده است.

جدول ۵-۱- مقایسه‌ی مدل‌های پیش‌بینی آماری و ریاضی

موضوع	مدل‌های آماری	مدل‌های فیزیکی
دامنه‌ی کاربرد	موردی	وسیع
اطلاعات مورد نیاز مدل	کم	زیاد
اهمیت طول دوره‌ی آماری	زیاد	متوسط
نیاز به مدل‌های پیشرفته و گران	در موارد خاص	در بیش‌تر موارد
امکان در نظر گرفتن تغییرات حوضه	خیر	بلی
ضرورت شناخت فرآیندهای فیزیکی حاکم	خیر	بلی

۵-۳-۵- همبستگی و رگرسیون

ضریب همبستگی، ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار عددی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های هیدرولوژیکی بسیاری کاربرد داشته و دارد. رگرسیون یک نوع همبستگی است که رابطه‌ای را برای به‌دست آوردن یک متغیر مورد نظر به‌دست می‌دهد.

فقدان همبستگی الزاما به معنی نبود وابستگی نیست. به علت این که ضریب رگرسیون فقط ارتباط خطی را ارائه می‌دهد، یک رابطه کاملا غیرخطی الزاما موجب افزایش در r نمی‌شود. برعکس همبستگی بین دو متغیر ضامن ارتباط سببی و علی آنها نیست. نمودار پراکنش میان دو متغیر به یک همبستگی گرافیکی منتهی می‌شود و پایه روش پیش‌بینی تراز پایین‌دست از تراز بالادست است.

اگر x یا y یک سری زمانی باشد، گام‌هایی باید در جهت حذف روند سری قبل از ایجاد همبستگی برداشته شود. از روش‌های سری زمانی می‌توان برای پیش‌بینی مقادیر بعدی استفاده نمود. جزییات در مرجع ۸۵ آورده شده است.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \text{etc} \quad (1-5)$$

X شامل متغیرهایی است که تاکنون مشاهده شده‌اند و Y مقدار متغیرها در آینده است که هدف پیش‌بینی هستند. B ضریب رگرسیون برآورد شده از مقادیر X و Y مشاهده شده است. متغیر X ممکن است تراز بالادست یا آبدی، بارش، شرایط حوضه آبریز، دما یا بارش فصلی باشد. متغیر Y ممکن است حداکثر یا حداقل یک تابع باشد.

ضریب همبستگی چندگانه بیان کننده درجه همبستگی در رابطه است. این پارامتر انحراف استاندارد از خط رگرسیون را در سری کالیبره شده بیان می‌کند. مباحث تئوریک مربوط در همه کتب عمومی آمار توضیح داده شده است.

ترکیبات خطی متغیرها بعضی اوقات رضایت‌بخش نیستند و لازم است X یا Y نرمال‌سازی شوند. یک روش قدرتمند انتقال که توسط Box و Cox ارائه شده است، Y را به Y_T به وسیله رابطه زیر انتقال می‌دهد:

$$\begin{aligned} Y_T &= (Y - 1)/T; & T &\neq 0 \\ Y_T &= \ln(Y); & T &= 0 \end{aligned} \quad (2-5)$$

این روش انتقال توانی، لگاریتمی و هارمونیکی را در یک مقیاس زمانی پیوسته در برمی‌گیرد. مقدار مناسب T می‌تواند به وسیله سعی و خطا (با کاهش چولگی) یا با روش نمودار برآورد شود.

روابط غیرخطی همچنین می‌توانند با استفاده از چند جمله‌ای‌ها، در رگرسیون در نظر گرفته شوند. به‌طور جایگزین، رگرسیون غیرخطی با استفاده از روش‌های عادی کمینه‌سازی تابع، یک روش کاربردی ساده را برای تطبیق پارامترها را با یک معادله کاملا غیرخطی ممکن می‌سازد. انتخاب یک زیرمجموعه مناسب از میان مجموعه عظیم داده‌های مشاهده‌ای نیاز به قضاوت مناسب و به‌خصوص بررسی دقیق اختلافات دارد. این اختلافات تفاوت میان مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده در مجموعه اطلاعات کالیبره شده هستند. شرایطی که منجر به ایجاد مانده‌های بزرگ شود، نشان‌دهنده نیاز به تطبیق است. از برنامه‌های رایانه‌ای و نمودارهای گرافیکی در زمینه‌ها مانده‌ها در شناسایی ترکیبات جایگزین می‌توان سود برد.

۵-۳-۱- موفقیت چشمگیر مدل‌های همبستگی در هند

در این کشور ۱۵۸ ایستگاه پیش‌بینی سیل نصب شده است که ۱۳۳ ایستگاه آن برای پیش‌بینی تراز آب رودخانه در مناطق سیل‌گیر و ۲۵ ایستگاه برای پیش‌بینی جریان ورودی به مخازن سدها هستند. ۱۵۷ ایستگاه موجود، ۶۲ حوضه و زیر حوضه را در سطح کشور می‌پوشاند. همچنین سازمان هواشناسی هند، اطلاعات عمومی وضعیت هوا، مقدار بارش در ۲۴ ساعت گذشته و هشدار و احتمال وقوع بارش شدید برای ۲۴ ساعت آتی در حوضه‌های مختلف و همچنین محدوده تغییرات کمیت بارش پیش‌بینی شده را اعلان می‌کند. نحوه انتقال اطلاعات در زمان واقعی توسط شبکه ارتباطی مجهز به بی‌سیم VHF/UHF انجام می‌شود. انواع همبستگی‌هایی که به صورت گسترده در حوضه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از:

- همبستگی مستقیم بین اشل و آبدهی در ایستگاه‌های بالادست و پایین‌دست
- همبستگی مستقیم بین آبدهی اوج در ایستگاه‌های پیش‌بینی و پایه
- همبستگی بین تغییرات تراز آب ایستگاه‌های پایه و تغییرات تراز آب ایستگاه‌های پیش‌بینی با در نظر گرفتن تاخیر زمانی T ساعت (T - زمان حرکت سیل بین ایستگاه‌های پایه و پیش‌بینی)
- همبستگی بین ترازهای ساعت N ام و (N+T) ام ایستگاه‌های پیش‌بینی با تغییرات تراز در ایستگاه‌های پایه طی T ساعت گذشته به عنوان متغیر.

پس از تعیین این روابط همبستگی، نمودارهای شاخصی برای پیش‌بینی تراز آب در ایستگاه‌های پیش‌بینی استفاده می‌شوند. در صورتی که همبستگی بین ایستگاه‌ها به علت سهم زیاد سیلاب رودخانه‌های فرعی (حوضه‌ی میانی) یا تغییرات شرایط اولیه رطوبت خاک نتایج مناسبی حاصل ندهد، پیش‌بینی سیلاب براساس معادلات ریاضی و با استفاده از سنجش از دور در سطح حوضه انجام می‌شود. پارامترهای اضافی نظیر آبدهی و تراز رودخانه‌های فرعی، متوسط بارش، مشخصات حوضه سیل‌خیز و شاخص پیش‌بینی بارش (API)^۱ برای ارائه نتایج بهتر از طریق مخابره زمان واقعی اطلاعات اخذ می‌گردد. پیش‌بینی جریان ورودی به سدها با به کارگیری روابط همبستگی بارش - رواناب برای حوضه‌های خاص انجام می‌گیرد. با استفاده از سامانه‌های پیش‌بینی سیل، به‌طور متوسط حدود ۶۰۰۰ پیش‌بینی سیل در هر سال منتشر می‌شود. متوسط دقت پیش‌بینی تراز رودخانه طی سال‌های نصب سامانه حدود ۹۵ درصد بوده است. پیش‌بینی سیلاب‌های رودخانه‌ای و ورودی به مخازن سدها در این کشور در جدول (۵-۲) ارائه شده است. با تکیه بر تجارب کشور هند، استفاده از مدل‌های ساده در سطح وسیع و کاربرد فن‌آوری پیشرفته در مواردی که دقت مدل‌ها مطلوب نباشد در بسیاری از کشورها، راهبرد بهینه برای کاربرد اثربخش و کارا سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب خواهد بود.

جدول ۵-۲- پیش‌بینی تراز آب رودخانه و جریان ورودی مخازن در کشور هند

پیش‌بینی تراز آب رودخانه					پیش‌بینی جریان ورودی به سدها				
دقت پیش‌بینی		تعداد پیش‌بینی‌های منتشره	سال	ردیف	دقت پیش‌بینی جریان ورودی		تعداد پیش‌بینی منتشره	سال	ردیف
% دقت پیش‌بینی	تعداد پیش‌بینی در $\pm 15\text{cm}$				% دقت پیش‌بینی	تعداد پیش‌بینی در $\pm 20\%$ تغییرات			
۹۳/۴	۴۸۹۰	۵۲۳۴	۱۹۹۱	۱	۹۷/۵	۱۳۳۵	۱۳۶۹	۱۹۹۱	۱
۹۵/۳	۳۴۱۸	۳۵۸۸	۱۹۹۲	۲	۹۷/۷	۱۱۴۹	۱۱۷۶	۱۹۹۲	۲
۹۶/۹	۵۰۶۶	۵۲۲۶	۱۹۹۳	۳	۹۶/۸	۱۳۷۲	۱۴۱۷	۱۹۹۳	۳
۹۴/۳	۵۱۵۹	۵۴۷۲	۱۹۹۴	۴	۹۶/۳	۱۹۳۰	۲۰۰۴	۱۹۹۴	۴
۹۶/۵	۵۲۰۳	۵۳۹۴	۱۹۹۵	۵	۹۶/۵	۹۸۸	۱۰۲۴	۱۹۹۵	۵
۹۶/۸	۴۸۲۶	۴۹۸۳	۱۹۹۶	۶	۹۷/۰	۱۳۱۰	۱۳۵۰	۱۹۹۶	۶

۵-۳-۶- تحلیل سری زمانی

از آنجایی که رواناب، نشان‌دهنده وضعیت زهکشی حوضه است، تحلیل سری‌های زمانی یک‌متغیره ممکن است برای برقراری روابط پیش‌بینی مورد استفاده قرار گیرند. یکی از این روش‌ها استفاده از مدل ARMA است که بسیار مناسب استفاده در حوضه‌هایی با اطلاعات بارش محدود است زیرا فقط آبدهی قبلی برای انجام یک پیش‌بینی از نوع چندجمله‌ای مورد نیاز است:

$$Q_{t+1} = a_0 Q_t + a_1 Q_{t-1} + a_2 Q_{t-2} + \dots + b \quad (۳-۵)$$

در این مدل Q_{t+1} پیش‌بینی با زمان پیش‌آگهی واحد است و Q_{t-i} ها مقادیر اندازه‌گیری شده در فواصل زمانی i مرحله قبل هستند. ضریب a_i ها در تحلیل سری‌های زمانی تخمین زده می‌شوند. علاوه بر پیش‌بینی مقدار Q_{t+1} ، یک مدل سری‌های زمانی می‌تواند توزیع خطاهای احتمالی پیش‌بینی را آبدهد. به طوری که یک برآورد خطای پیش‌بینی به راحتی در دسترس باشد. زمانی پیش‌بینی سری‌های زمانی جریان ماهانه قابل اعتماد است که همبستگی مناسبی در سری‌های زمانی ماهانه مشاهده شود. این مساله در مورد رودخانه‌های بزرگ و نه‌رهایی که زهکشی سفره‌ها و دریاچه‌های بزرگ را انجام می‌دهند، صدق می‌کند. اگرچه پیش‌بینی‌ها معمولاً برای فقط یک تا ۴ ماه بعد عملی هستند.

یک مدل سری زمانی می‌تواند شامل متغیرهای هواشناسی نیز باشد. اما اگر چنین اطلاعاتی در دسترس نباشد، غالباً ارجح است که پیش‌بینی‌ها با استفاده از رگرسیون یا مدل مفهومی انجام شود. از مدل‌های سری‌های زمانی برای تطبیق سری خطاها می‌توان استفاده نمود. در رابطه با جزییات فنی سری‌های زمانی مرجع ۸۵ این کتاب راهنما ارائه می‌شود.

۵-۳-۷- پیش‌بینی احتمالاتی

پیش‌بینی‌های بلندمدت، مخصوصاً رواناب فصلی غالباً به صورت احتمالاتی بیان می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان به توزیع آماری حجم رواناب محتمل براساس بارش که قبل از زمان پیش‌بینی مشاهده شده است، اشاره نمود. یکی از منابع مهم عدم قطعیت شرایط اقلیمی آبی میان زمان پیش‌بینی و زمان وقوع پدیده است. برای مثال یک پیش‌بینی رگرسیونی فرمول زیر را به دست می‌دهد:

$$Q_{\text{summer}} = b_0 + b_1 R_{\text{autumn}} + b_2 R_{\text{winter}} + b_3 R_{\text{spring}} + b_4 R_{\text{summer}} \quad (۴-۵)$$

به وسیله رابطه می‌توان یک پیش‌بینی احتمالاتی با پارامترهای کم‌تر بعد از اخذ اطلاعات بارش پاییز و زمستان قبل صادر نمود. مولفه احتمالاتی باید با استفاده از توزیع بارش‌های احتمالی بهاری و تابستانی که ممکن است رخ دهد، منظور گردد. به جز در مورد مدل‌های ساده که برای شبیه‌سازی لازم است، می‌توان از نمونه‌گیری تکراری توزیع یا از کاربرد تکراری مدل با اطلاعات تاریخی استفاده نمود. اگر روش نمونه‌گیری به کار رود در نظر گرفتن همبستگی که ممکن است میان متغیرهای مستقل وجود داشته باشد، ضروری خواهد بود. اگر روش تاریخی مورد استفاده قرار گیرد، داده‌های حداقل ۳۰ سال آماری برای انجام دامنه‌ای از پیش‌بینی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاربرد این روش به مدل رگرسیونی محدود نمی‌شود. هر مدل پیش‌بینی هیدرولوژیکی می‌تواند با توجه به گذشته به وسیله اطلاعات واقعی یا مصنوعی دچار تغییرات شود. با لحاظ نمودن خطا در سامانه یک توصیف واقع‌گرایانه‌تر از مقادیر واقعی توزیع به دست می‌آید. این مساله با اضافه کردن یک عدد تصادفی که انحراف استاندارد آن برابر با خطای استاندارد مدل برآورد است، انجام می‌شود.

پیش‌بینی احتمالاتی نباید با خطای پیش‌بینی اشتباه گرفته شود. خطای پیش‌بینی از خود مدل نشات می‌گیرد و خطای ایجاد شده نامناسب بودن مدل و خطای اطلاعات را نشان می‌دهد. شاید بهترین روش تمایز میان آنها تعریف پیش‌بینی احتمالاتی به عنوان

بیانی از طیف خروجی‌ها (با آگاهی از شرایطی که ممکن است قبل از زمان پیش‌بینی رخ دهد) است. درحالی‌که خطای پیش‌بینی یک مشخصه نامطلوب از کمبودهای علم پیش‌بینی است. در حال حاضر تحقیق در مورد روش‌های آماری در دست انجام است. این روش‌ها اجازه خواهند داد که تمامی منابع عدم قطعیت (خطای داده‌ها، خطای مدل، شرایط اقلیمی آتی و...) در بیان پیش‌بینی به صورت احتمالاتی در نظر گرفته شوند.

۵-۴- روش‌ها و فن‌آوری‌های موجود و نوین برای انجام پیش‌بینی

۵-۴-۱- نرم‌افزارهای مربوط به پیش‌بینی

از سری نرم‌افزارهایی که رشته مهندسی آمریکا جهت شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و انجام عملیات مختلف در تحلیل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی تدوین کرده است می‌توان به سری نرم‌افزارهای HEC و WMS اشاره کرد:

نرم‌افزار HEC-1 که جهت مدل‌سازی بارش- رواناب، شبیه‌سازی سیلاب ناشی از بارش، روندیابی سیل در مخزن و رودخانه در حوضه‌های مختلف مورد استفاده واقع می‌گردد. نرم‌افزار HEC-HMS که نسخه‌ی ارتقایافته و تحت ویندوز HEC-1 است. نرم‌افزار HEC-RAS که جهت انجام محاسبات هیدرولیکی و رسم نیمرخ سطح آب در جریان‌های ماندگار و غیرماندگار و پهنه‌بندی سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نرم‌افزار WMS سامانه مدل‌سازی حوضه آبریز است که در انگلستان توسعه پیدا کرده و توسط شرکت Boss Intel در اختیار کاربران قرار گرفته است. از جمله قابلیت‌های این نرم‌افزار استفاده از اطلاعات رقومی ارتفاع و بانک اطلاعاتی داده‌های GIS به منظور ایجاد ساختار مدل حوضه آبریز، شبیه‌سازی سه‌بعدی آن، انجام محاسبات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز، ترسیم هیدروگراف سیل و روندیابی و پهنه‌بندی سیل است. از آنجایی که دیگر نرم‌افزارها در ارائه داده‌های ورودی و خروجی با یک سری مشکلات همراه هستند، ابعاد گرافیکی WMS قابلیت انجام تمامی عملیات مدنظر در نرم‌افزارهای HEC و سایر مدل‌ها را داراست و همچنین قابلیت شبیه‌سازی سه‌بعدی و گرافیکی بالا و استفاده از اطلاعات GIS از جمله مزیت‌های این نرم‌افزار است.

۵-۴-۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ یکی از دستاوردهایی هستند که با الگوبرداری از شبکه عصبی مغز انسان، قادرند پدیده‌های پیچیده و ناشناخته را به‌خوبی بررسی نمایند. دیدگاه جدید شبکه عصبی با ارائه عمل شرط‌گذاری^۲ به‌عنوان قانون آموزش مطرح شد که با پیدایش شبکه پرسپترون تک‌لایه^۳ و قانون یادگیری به همین نام توسعه یافت. سپس با طرح الگوریتم پس‌انتشار^۴ و گسترش ریزپردازنده‌ها^۵ تحول شگرفی در آن پدید آمد.

1- Artificial Neural Networks (ANN)
 2- Conditioning
 3- Single Layer Perceptron (SLP)
 4- Back-Propagation Algorithm (BP)
 5- Microprocessors

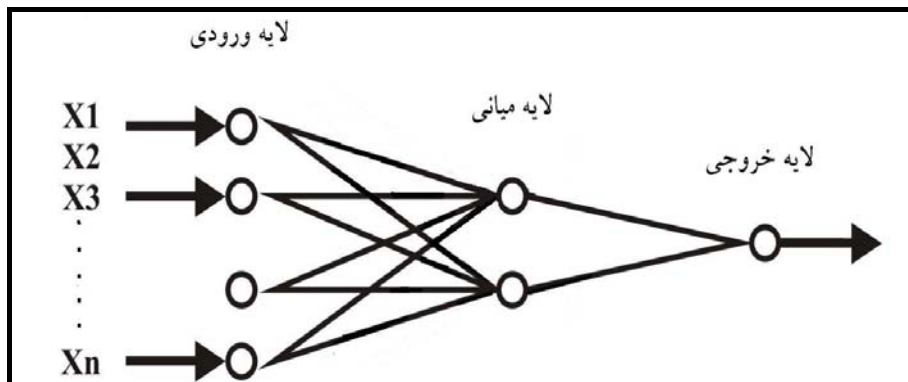
شبکه عصبی مصنوعی به تقلید از شبکه عصبی انسان دارای یک ساختار لایه لایه است که از روی تاریخچه عملکرد یک سامانه می‌تواند به صورت یک جعبه سیاه^۱ نحوه کارکرد آن سامانه را یاد بگیرد. با وجود عمر کوتاهی که از تولد شبکه‌های عصبی می‌گذرد کارکرد آن در شاخه‌های مختلف علوم و مهندسی گسترش فزاینده‌ای داشته است. از کاربردهای مهم شبکه‌های عصبی یادگیری و تعمیم‌دهی، رگرسیون، خوشه‌یابی، بهینه‌سازی و پیش‌بینی را می‌توان نام برد.

شبکه‌های عصبی ساختاری ارگانیک دارند که از تعدادی سلول عصبی (گره) و تعدادی رابط (وزن) بین سلول‌ها تشکیل شده‌اند. شبکه‌های عصبی مصنوعی این قابلیت را دارند که از روی تاریخچه عملکرد سامانه مورد مطالعه ارتباط بین اجزای آن را پیدا کرده و با تنظیم خودکار وزن‌ها عملکرد سامانه را شبیه‌سازی نمایند. در واقع این ساختارها قابلیت خودساماندهی دارند.

به این ترتیب در سامانه‌هایی که قابلیت روابط دقیق عددی بین اجزای آنها پیچیده باشد، شبکه‌های عصبی عملکرد سامانه را آموزش دیده و آن را شبیه‌سازی می‌کنند.

به باور بیش‌تر پژوهشگران شبکه‌های عصبی مصنوعی به دو دلیل عمده در تحلیل مسایل ناشناخته و پیچیده عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. اول این که با برخورداری از قابلیت تشخیص الگو، رابطه خوبی بین ورودی و خروجی داده‌ها برقرار می‌کنند. همچنین در قیاس با دیگر الگوها، حساسیت کم‌تری نسبت به وجود خطا در اطلاعات ورودی از خود نشان می‌دهند. علت این امر پردازش توزیعی^۲ اطلاعات در آن، است. به طوری که عمل پردازش کاملاً موازی صورت می‌گیرد و به‌جای این که تمام بار محاسبه به یک واحد پردازشگر تحمیل شود، تعداد زیادی از واحدهای پردازشگر هم‌زمان وارد عمل شده و در نتیجه با کم‌شدن سهم هریک از آنها، تاثیر منفی بسیاری در عملکرد شبکه و خروجی آن نمی‌گذارند.

ساختار کلی ANN از سه لایه با وظایف مجزا تشکیل شده است شکل (۵-۱) لایه ورودی^۳ با نقش توزیع داده‌ها در شبکه، لایه میانی (پنهان)^۴ که عمل پردازش اطلاعات را بر عهده دارد و لایه خروجی^۵ که علاوه بر پردازش، به ازای بردار ورودی شبکه، نتایج و خروجی آن را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱- ساختار کلی شبکه عصبی مصنوعی

- 1- Black Box
- 2- Distributed Processing
- 3- Input Layer
- 4- Middle (Hidden) Layer
- 5- Output Layer

۵-۴-۳- نقش فن‌آوری

کیفیت فنی پیش‌بینی سیلاب (دقت، زمان و اعتماد) بسته به نوع فن‌آوری به کار رفته متفاوت است. اندازه‌گیری داده‌های ورودی پایه برای سامانه پیش‌بینی (جریان / سطح بارش و رودخانه) می‌تواند با استفاده از روش‌های دستی پایش انجام گیرد، اما استفاده از ابزارهای خودکار و نیمه‌خودکار می‌تواند منجر به پیشرفت‌هایی در کیفیت پیش‌بینی شود. ابزارها می‌توانند شامل یا فشارسنج^۱ برای تراز رودخانه یا باران‌سنج‌های خاص یا روش‌های پرهزینه اولتراسونیک (فراصوتی) برای سنجش جریان یا سامانه‌های رادار برای اندازه‌گیری بارش باشند.

۵-۵- زمان پیش‌هشدار

کیفیت پیش‌بینی سیلاب از طریق دقت پیش‌بینی و میزان زمان پیش‌هشدار تعیین می‌شود. زمان پیش‌هشدار، زمان بین پیش‌بینی و رسیدن به سطح پیش‌بینی است. برخی عملیات باید قبل از رسیدن به تراز پیش‌بینی انجام گیرد. در چنین مواردی، زمان لازم برای انجام عملیات کم‌تر از کل زمان پیش‌هشدار است. زمان پیش‌هشدار تابعی از نوع سیلاب است و ممکن است از یک مقدار خیلی کم در رابطه با تندسیلاب، تا هفته‌ها برای رودخانه‌ها با شیب کم متغیر باشد. زمان پیش‌هشدار مورد نیاز و دقت پیش‌بینی، از طریق اجزای فنی سامانه پیش‌بینی انجام می‌گیرد. این اجزا عبارتند از:

- شبکه جمع‌آوری داده‌ها

- پیش‌بینی اقلیمی

- مدل‌های پیش‌بینی سیلاب (هیدرولوژیکی و هیدرولیکی)

دقت و کارایی مدل‌های پیش‌بینی بهینه از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت بوده و بیانگر سرعت روند تشکیل سیلاب است. در زمین‌های مسطح‌تر و رودخانه‌های طولانی، که در آن سیلاب، مساحت زیادی را طی می‌کند، پیش‌بینی‌ها نسبت به مناطق با شیب تند نیاز به بازنگری و به‌هنگام‌سازی کم‌تری دارند. در بیش‌تر موارد، پیش‌بینی دقیق لازم نیست بلکه اغلب تخمین آن (تا حدود ۰/۳ متر برای تراز رودخانه) برای مدیریت کارا و موثر سیلاب کافی است. البته شرایط خاصی نیز وجود دارد که نیازمند پیش‌بینی با دقت بالاست. (برای مثال شرایطی که در آن خاکریزهای محافظ، شهر را احاطه کرده است. مانند سیل‌بندهای شهر نیواورلئان در آمریکا) موارد مورد نیاز برای پیش‌بینی باید با درک اثرهای سیلاب در سطوح مختلف رودخانه و انواع مقابله‌ها در شرایط مناسب همراه باشد. بنابراین لازم است که موارد زیر مشخص شود:

- ترازهای بحرانی رودخانه (برای مثال، در چه ترازهای زمین‌های کشاورزی زیر آب خواهند رفت، جاده‌ها تخریب می‌شوند،

خانه‌ها سیل‌گیری یا مسیرهای تخلیه بسته می‌شوند.)

- زمان لازم برای مقابله (برای مثال زمان لازم برای تخلیه‌ی شمار مشخصی از خانه‌ها یا ایجاد کیسه‌های شنی در پشته‌ها)

در پیش‌بینی تندسیلاب‌ها، در بیش‌تر موارد باید پیش‌بینی‌هایی براساس بارش پیش‌بینی‌شده ارائه نمود. در پیش‌بینی تندسیلاب، روش موسوم به راهبرد قیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این راهبرد، در مراحل اولیه، پیش‌بینی‌های کلی با دقت کم و در مرحله‌ی بعد با افزایش دقت پیش‌بینی بارش، با زمان پیش‌هشدار (۰ تا ۳ ساعت) می‌توان پیش‌بینی کمی تندسیلاب را ارائه نمود. شناسایی تغییرات دقت پیش‌بینی و زمان پیش‌هشدار در توسعه راهبردهای واکنشی سامانه‌های هشدار سیلاب بسیار مهم است.

۶-۵- شاخص‌های مورد استفاده در پیش‌بینی سیلاب

۶-۵-۱- شاخص رطوبت خاک

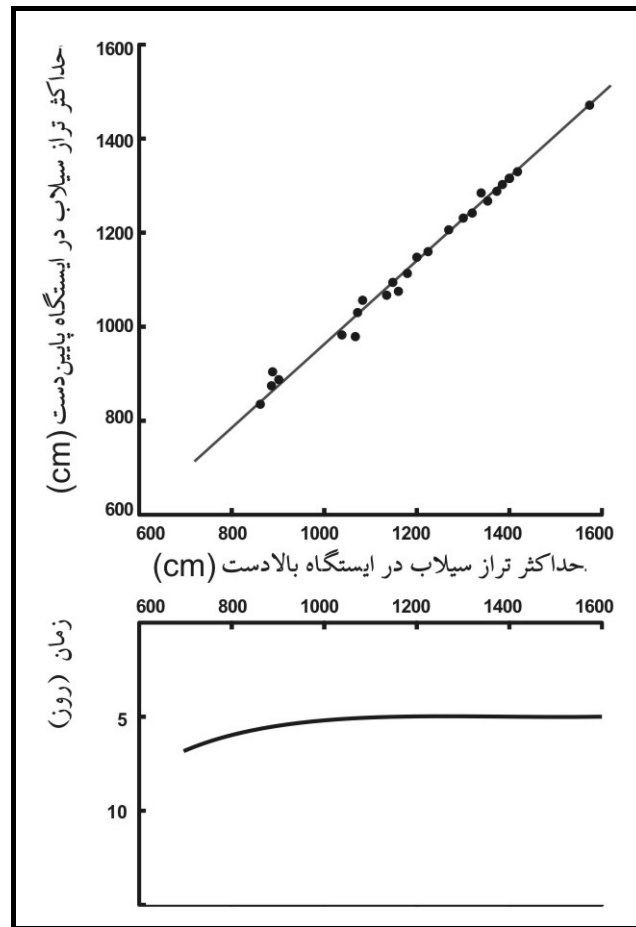
بارش پیش‌بینی شده، ابزار پایه برای عملیاتی نمودن پیش‌بینی سیل در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار گرفته است. به‌عنوان یک معیار بررسی تاثیر بارندگی که قبل از زمان پیش‌بینی رخ می‌دهد، شاخص رطوبت خاک به‌عنوان معیاری مهم مورد استفاده قرار می‌گیرد. غالب‌ترین شاخص‌هایی که بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌یبرند، شاخص بارندگی پیش‌بینی شده^۱ و شاخص رطوبت پیش‌بینی شده^۲ است.

روش‌های تعیین شاخص رطوبت با توجه به کاربردشان در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی دو مشخصه اصلی دارند. مشخصه اول این است که به‌علت این که شاخص مذکور به‌طور روزانه به‌هنگام می‌شود، برای مدل‌سازی پیوسته مناسب‌تر است. بنابراین برای کاربرد بیش‌تر این شاخص باید دوره‌های زمانی طولانی شامل بارندگی، دوره‌های کم‌بارش یا بدون بارش به‌کار گرفته شوند. دوره‌های طولانی بارندگی که با دوره‌های کوتاه کم‌بارش یا بدون بارش منقطع می‌گردند، تصمیم‌گیری در مورد این که آیا یک یا چندین توفان مورد تحلیل قرار گیرند را مشکل می‌سازد.

مشخصه دوم این است که حجم رواناب سطحی محاسبه شده زمانی که در یک هیدروگراف واحد به‌کار می‌رود، فقط یک هیدروگراف رواناب سطحی را تولید می‌کند. به منظور ترکیب کل هیدروگراف رواناب، جریان پایه باید به‌وسیله روش دیگر مشخص شود. استفاده از شاخص AMI که توسط سازمان حفاظت خاک در ایالات متحده ارائه شده در کتاب راهنمای طراحی سدهای کوچک اداره عمران آمریکا آورده شده است.

۶-۵-۲- حداکثر تراز سیلاب

یک الزام بسیار معمول برای پیش‌بینی‌ها، مربوط به برآورد تراز حداکثر سیلاب است. به این منظور در رودخانه‌های متوسط یک روش عملی، استفاده از نمودار همبستگی تراز حداکثر در محل مورد نظر با تراز حداکثر در ایستگاه بالادست است. در نتیجه زمان پیش‌هشدار این پیش‌بینی‌ها برابر با زمانی است که موج، مسیر دو ایستگاه را طی می‌کند. نمودار (۵-۱) این روش را نشان می‌دهد.



نمودار ۵-۱- حداکثر تراز سیلاب و زمانی که موج مسیر دو ایستگاه را طی می‌کند، برای رودخانه ولگا

زنجیروار کردن این پیش‌بینی‌ها معمولاً برای برآورد حداکثر تراز سیلاب انجام می‌شود، به طوری که خروجی از یک پیش‌بینی بالادست، ورودی به یک پیش‌بینی پایین‌دست را ارائه می‌دهد. چنین نمودارهایی در بسیاری موارد می‌توانند در پیش‌بینی هیدروگراف‌ها مورد استفاده قرار گیرند و در این صورت باید تفاوت در زمان تاخیر بازوهای صعودی و نزولی هیدروگراف را در محاسبات منظور نمود.

رابطه همبستگی زیر وقتی روابط ساده ایستگاه به ایستگاه موفقیت‌آمیز نیستند، مفید است:

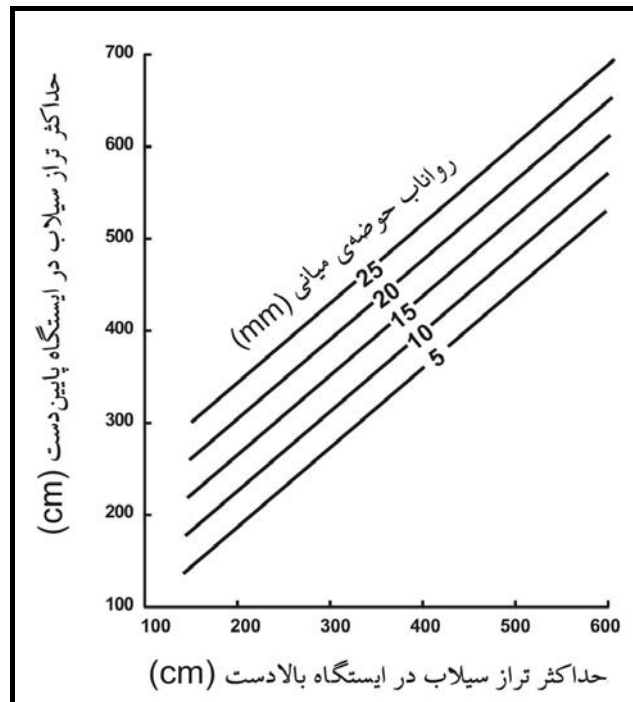
$$(h_2)_{t+\Delta t} = f((h_1)_t, I_{loc}) \quad (5-5)$$

که در این رابطه:

h_1 و h_2 : به ترتیب ترازهای حداکثر در یک ایستگاه بالا و پایین‌دست را مشخص می‌کنند، I_{loc} : ورودی بین حوضه‌ای بین ایستگاه‌ها است و Δt زمان تاخیر است. شکل X مثالی از این نوع رابطه را ارائه می‌دهد. مجموع آبدهی‌ها در دو ایستگاه یا بیش‌تر با زمان‌های تاخیر مناسب، به عنوان یک متغیر ترکیبی به جای ترازهای جداگانه سرشاخه‌ها می‌تواند تعداد متغیرها در معادله همبستگی را کاهش دهد.

می‌توان تغییراتی در این روش‌های بنیادی برای تطبیق با شرایط مختلف زمان حرکت رواناب و ورودی سرشاخه‌ها ایجاد نمود. روش گرافیکی می‌تواند به‌وسیله یک روش کاملاً عددی با استفاده از رگرسیون چندگانه جانشین شود. معادله رگرسیون ممکن است چنین شکلی بگیرد:

$$h_{\max} = b_0 + b_1 Q_1 + b_2 Q_2 + \text{etc.} \quad (5-6)$$



نمودار ۵-۲- روابط تیب تراز ایستگاه‌ها با متغیرها برای جریان ورودی محلی

Q_1, Q_2 و ... آبدی‌های ایستگاه‌های بالادست در یک زمان خاص هستند. دیگر متغیرها مانند بارش و شرایط قبل از باران حوضه آبریز ممکن است متغیرهای آبدی را تکمیل کرده یا جایگزین آنها شوند.

۵-۶-۳- حجم ذخیره

کل حجم آب تمامی رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و باتلاق‌ها تصویری از وضعیت موجود رژیم هیدرولوژیکی را ارائه می‌دهند و به‌خاطر ماهیت فرآیندهای هیدرولوژیکی، این حجم می‌تواند برای پیش‌بینی جریان‌ها در خروجی از چند روز قبل مورد استفاده واقع شوند. روش‌هایی برای مشخص کردن کل ذخیره آبی از یک تحلیل دقیق با استفاده از مقاطع عرضی حجم‌های آبی با استفاده از روابط مشابه زیر ممکن است:

$$W_j = 0.5l_j(c_j A_j + d_j) \quad (5-7)$$

$$A_j = f_j H_j + g_j \quad (5-8)$$

که در این روابط:

l_j : طول بازه زام است H_j و A_j : سطح مقطع و تراز هستند و همین‌طور c_j, d_j و f_j و g_j پارامترهای تجربی هستند. روش‌های رگرسیون می‌توانند برای برقراری رابطه بین کل حجم ذخیره و جریان خروجی t روز بعد مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور جایگزین

می‌توان یک شکل توزیعی حجم ذخیره را تهیه نمود. روش رگرسیون چندگانه برای برقراری روابط بین جریان‌های پیش‌بینی و حجم‌های ذخیره آب در هر یک از حوضه‌های سرشاخه‌های اصلی به کار گرفته می‌شود.

۵-۷- مدل‌های مفهومی جریان رودخانه^۱

بدیهی است که واسنجی موفق و به‌کارگیری موثر یک مدل مفهومی بستگی به مجموعه اطلاعات مشاهداتی دارد. این اطلاعات باید قابل اعتماد، دقیق، باثبات، پیوسته و دارای طول آماری باشند. اطلاعات موجود که واجد تمامی شرایط فوق هستند کمیاب هستند و معمولاً برای به‌کارگیری مدل‌های مفهومی در پیش‌بینی نیاز به افزایش این داده‌ها است. یک هدف بلندمدت در استفاده از این مدل‌ها به دست آوردن یک تعادل میان مدل حوضه و کمیت، کیفیت و به‌هنگام بودن اطلاعات ورودی مورد نیاز است. اطلاعات جمع‌شده در طی عملیات روزمره باید در واسنجی دوباره مدل و بهبود عملکرد آن به کار روند. در سال‌های اخیر چندین کشور از مدل‌های مفهومی در پیش‌بینی هیدرولوژیکی استفاده کرده‌اند. برخی سازمان‌های مسوول پیش‌بینی هیدرولوژیکی، مدل مورد نیاز را توسعه داده‌اند. آنها با مشکلات حصول اطمینان از منافع و کاستی‌های مدل‌های مختلف پیشنهادی مواجه می‌شوند. برای تهیه اطلاعات و ارائه راهنمایی‌های لازم برای استفاده از مدل‌ها در وضعیت‌های مختلف پیش‌بینی، سازمان جهانی هواشناسی WMO در چندین پروژه بین‌المللی مقایسه‌ای را در رابطه با کاربرد مدل‌های مفهومی در پیش‌بینی عملیاتی هیدرولوژیکی انجام داده است. نتایج و توصیه‌های این پروژه‌ها در کتاب‌های این سازمان جهانی هواشناسی WMO آورده شده است.

حصول اطمینان از این‌که پارامترهای مدل و متغیرهای وضعیت دارای مقادیر مربوط به زمان ارائه پیش‌بینی هستند، بسیار مهم است. حتی در این شرایط به علت خطاهای اطلاعات و کاستی‌های مدل شبیه‌سازی شده، رواناب مشاهده شده متفاوت خواهد بود. بنابراین خروجی از مدل باید برای کاهش اختلاف رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به‌روز شود.

مزیت اصلی پیش‌بینی با مدل‌های مفهومی این است که انواع بسیار متفاوت پیش‌بینی‌ها ممکن است با یک مدل انجام شود. به‌عنوان مثال احتمالات شرطی جریان‌های زیاد و کم می‌تواند استخراج شود و مدل هیدرولوژیکی با مدل مدیریت مخزن ترکیب گردد. کاربردهای دیگر ممکن است شامل پیش‌بینی‌های نقصان رطوبت خاک برای هشدارهای آتش‌سوزی جنگل و مدت دوام پوشش برف باشد.

۵-۸- روش‌های اصلاح پیش‌بینی

ایجاد اصلاحات پیش‌بینی باید براساس خروجی مدل و اندازه‌گیری‌های مستقیم متغیرهای وضعیت باشد. روش‌های زیادی برای اصلاح پیش‌بینی وجود دارد. اگر یک مشاهده از خروجی مدل پیش‌بینی ایجاد شود، می‌توان با استفاده از خطای معلوم پیش‌بینی $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ پیش‌بینی‌های بعدی را اصلاح نمود. بیش‌تر اصلاحات در نتیجه قضاوت فردی پیش‌بینی‌کنندگان است. اما روش‌های عددی مختلفی توسعه پیدا کرده است که اجازه می‌دهد این فرآیندها فرموله شوند. اصول اساسی روش مرسوم در زیر توضیح داده می‌شود.

راحت‌ترین روش آن است که برای اصلاح پیش‌بینی، خطای مشاهده‌ای پیش‌بینی را به آخرین پیش‌بینی اضافه نمود. به‌منظور اجتناب از ناپیوستگی‌ها، اصلاحات به‌صورت ترکیبی از اصلاحات کوچک بر روی هیدروگراف اعمال می‌شود. یک روش پیچیده‌تر تحلیل سری زمانی خطاهای مدل برای اصلاح پیش‌بینی‌ها است.

مقادیر مشاهده‌ای Y_i می‌توانند به‌منظور تعریف مجدد متغیرهای وضعیت یک مدل پیش‌بینی مورد استفاده قرار گیرند. این روش برآورد بازگشتی نامیده می‌شود و اگر مدل پیش‌بینی را بتوان به صورت یک فرم ساده ارائه نمود، روش فوق می‌تواند پایه‌ای برای یک راهبرد مرسوم اصلاح خروجی مدل باشد.

فیلتر کالمن^۱ و فیلتر اصلاح شده کالمن روش‌های بازگشتی برآورد هستند که در پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی استفاده شده‌اند. این روش‌ها مهارت عددی و هیدرولوژیکی قابل ملاحظه‌ای نیاز دارند تا اطمینان حاصل شود مدل در حالت مناسبی برای تحلیل است یا خیر. هرچند یک روش مفهومی برای اصلاح خروجی مدل هیدرولوژیکی بیش‌تر ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. در این روش نیازی به تغییرات در ساختار مدل یا در الگوریتم‌های استفاده شده در مدل نیست. این روش در عمل اطلاعات ورودی را به‌نحوی اصلاح می‌کند که جریان پیش‌بینی شده به جریان مشاهده‌ای نزدیک‌تر شود. این مقادیر اصلاح شده برای پیش‌بینی هیدروگراف استفاده می‌شوند.

با افزایش شیب رودخانه نیاز به اصلاح مدل‌های پیش‌بینی، افزایش می‌یابد. در بسیاری از موارد به جز اوج سیلاب باید روند افزایش تراز رودخانه نیز پیش‌بینی و ارائه گردد. در سال‌های اخیر استفاده از فن‌آوری وب‌کم^۲ برای انتقال فیلم سیلاب در محل ایستگاه‌های کلیدی مورد استفاده قرار گرفته است. از این فیلم‌ها برای صحت‌سنجی مدل پیش‌بینی نیز می‌توان استفاده نمود. انتخاب فن‌آوری مناسب براساس ایجاد تعادل میان منافع فن‌آوری و هزینه‌های آن استوار شده است.

اصلاح پیش‌بینی تنها براساس خروجی مدل صورت نمی‌گیرد. همچنین ممکن است با استفاده از اندازه‌گیری متغیرهای وضعیت، مقایسه با مقادیر محاسبه شده توسط مدل انجام شود. (به‌عنوان مثال یک چنین روشی از اندازه‌گیری‌های مشاهده شده از آب معادل پوشش برف به‌عنوان وسیله بهبود پیش‌بینی‌های تامین منابع آب فصلی به‌دست آمده از مدل مفهومی استفاده می‌کند.) جایگزین مستقیم اندازه‌گیری‌های میدانی با مقادیری که به‌صورت عددی تولید شده‌اند برای متغیرهای وضعیت مدل، نادرست خواهد بود. زیرا در عمل ساده‌سازی مدل می‌تواند منتج به مقادیر غیرفیزیکی شود.

انتخاب مناسب یک روش اصلاحی بستگی به شرایط زیر دارد:

- نیازهای کاربر
- مقدار و کمیت اطلاعات در دسترس
- تجهیزات مورد استفاده برای جمع‌آوری انتقال و پردازش اطلاعات
- واجد شرایط بودن پرسنل و تجربه آنها

۹-۵- سامانه‌های پیش‌بینی محلی

سامانه پیش‌بینی محلی در کنار سامانه‌های سازمان‌یافته قرار دارد. سامانه محلی معمولاً به‌وسیله ساکنین محلی ایجاد می‌شود. آنها باید تشویق شوند تا اطلاعات خود را برای فرآیند پیش‌بینی به اشتراک بگذارند. یکی از روش‌های به‌کارگیری چنین افرادی استفاده از آنها به‌عنوان قرائت‌کنندگان ایستگاه‌ها است که البته این خود می‌تواند در زمانی که قرائت‌کنندگان به دور از املاک خود باشند، مشکل‌ساز باشد. یک روش دیگر تشویق آنها برای تماس با سازمان‌های پیش‌بینی است. این سیاست می‌تواند اطلاعات سامانه‌های سازمان‌یافته و محلی را با هم ترکیب کرده و اثرهای منفی پیش‌بینی‌ها را در طول سیلاب کاهش دهد. گروه‌های محلی و سازمان‌ها را باید از روند پیش‌بینی سیلاب آگاه کرد تا بدین ترتیب به آنها اعتماد به نفس بخشید. به طور کلی آژانس رسمی باید با بخش‌های محلی همکاری داشته باشد و سازمان‌های محلی را برای بدترین شرایط ممکن آماده کند.

۹-۵-۱- ایجاد سامانه‌های پیش‌بینی محلی

مواردی وجود دارد که باید اقدام به برقراری سامانه‌های پیش‌بینی غیررسمی کرد. برای بسیاری از رودخانه‌ها و نهرها ممکن است هیچ‌گونه سامانه هشدار سیلاب رسمی و برپایه علمی وجود نداشته باشد. اما امکان توسعه سامانه‌های جانشین در صورتی که مردم و اموال و ابنیه‌هایی در معرض سیلاب باشند وجود دارد. یکی از این سامانه‌های محلی، تبادل اطلاعات سیلاب از مناطق بالادست به مناطق پایین‌دست توسط کشاورزان است. این مساله می‌تواند موضوع جالبی برای سازمان‌های مقابله با سیلاب محلی باشد تا اطلاعات را به صورت گسترده‌تر و به‌هنگام تراز کلیه سامانه‌ها دریافت کنند. این سامانه‌های محلی همکاری نزدیکی را با سازمان‌هایی همچون سازمان هواشناسی و سازمان‌های مسوول خواهند داشت که این همکاری موجب ارتقای جوانب فنی و طراحی بهینه‌تر سامانه خواهد شد.

سامانه‌های پیش‌بینی محلی در مکان‌های مختلفی نصب می‌شوند به طوری که افراد زیادی را مسوول قرائت ایستگاه‌ها کرده و آنها از طریق تلفن با هم در تماس بوده و در نهایت نتایج را به مرکز بحران محلی اعلان می‌کنند. در نتیجه می‌توانند افراد منطقه را برای عملیات اضطراری آماده کنند. این سامانه‌ها می‌توانند به سامانه‌های دیگر برای انتقال سریع داده‌ها که شامل ALERT (سامانه ارزیابی‌های محلی خودکار در زمان واقعی) است و سامانه‌های مشابه به‌خصوص در شرایطی که زمان هشدار کوتاه است، متصل شوند. چنین سامانه‌هایی به‌خصوص در بخش‌های شرقی استرالیا موجود هستند. پیام از راه دور زمانی که شدت بارش طراحی ثبت شود یا در طرح رودخانه به حد بحرانی برسد، برای پرسنل از طریق بلندگوها اعلان می‌شود.

۹-۵-۱۰- تفسیر پیش‌بینی سیلاب

۹-۵-۱۰-۱- اهمیت تفسیر پیش‌بینی‌ها

تفسیر و تجزیه و تحلیل سیلاب عمدتاً به این معنی است که جریان سیلاب به کجا می‌رود و تأثیرات آن چگونه خواهد بود. پیش‌بینی‌ها بیش‌تر در سطوح محلی تفسیر می‌شوند. در این سطح اثرهای سیلاب در ترازهای مختلف بررسی می‌گردد.

به طور کلی اطلاعات مورد نیاز جهت ارزیابی اثرهای سیلاب در پهنه‌های مختلف باید مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین ارتفاعی آب‌گرفتگی که بخش یا مساحت خاصی را تحت پوشش قرار می‌دهد (برای مثال زمین‌های کشاورزی، محدوده‌های مسکونی یا تجاری) و اثرهای موضعی آن (برای مثال مسدود کردن جاده) مشخص می‌گردد.

درک صحیح از مفهوم پیش‌بینی برای ساختن پیام هشدار موثر در منطقه سیل‌زده، بسیار ضروری است.

اطلاعات مورد نیاز برای تعیین رابطه بین پهنه سیلاب در پای ساختمان‌ها (و یا ارتفاع آب‌گرفتگی ساختمان) و ارتفاع آب در ایستگاه شامل موارد زیر است:

- تعیین پهنه آب‌گرفتگی و میزان گسترش آن
- درک درست تیم‌های مقابله با سیلاب از سیلاب در پیش‌رو
- درک صحیح مردم از ارتفاع مشخص بارش در ایستگاه‌ها
- عکس‌العمل صحیح مردم برای مقابله

در مناطقی که تجربه سیلاب‌های شدید گذشته وجود ندارد، معمولاً هم سازمان‌ها و هم مردم پیش‌زمین‌های از تراز سیل در یک ایستگاه مشخص ندارند. سازمان‌های مسوول که پیش‌بینی‌ها را دریافت می‌کنند در قبال درک پیش‌بینی‌ها از طرف جامعه مسوولیت دارند و بنابراین باید پیش‌بینی صورت گرفته به‌طور کامل تفسیر شود. تفسیر پیش‌بینی به این معنا است که ارتفاع آب ایستگاه یا کلاس سیلاب پیش‌بینی شده را در قالب توصیفی بیان کنیم به‌طور کلی پیش‌بینی آنچه که اتفاق خواهد افتاد، کار بسیار مشکلی است. اما سامانه‌های اطلاعات سیلاب می‌توانند شاخص‌های معقولی را در رابطه با ارزیابی سیلاب و اثرهای آن بر روی مردم و دارایی‌ها ارائه کنند.

درک نتایج احتمالی صحیح از سیلاب برای سطح مشخص، ما را در موارد زیر کمک می‌کند:

- راهنمایی و کمک به سازمان‌های مقابله برای به‌کارگیری عملیات و استراتژی‌های موثر برای مقابله با سیلاب (برای مثال مسدود کردن جاده یا تخلیه اولیه)
- ارائه دستورالعمل مقابله با آن. برای مثال برای سیلی کم در ارتفاع پیش‌بینی شده A، B و C اتفاق می‌افتد، باید به گزینه‌های X، Y و Z عمل نمایند.

فصل ۶

سامانه‌ی پهنه‌بندی سیلابدشت

۶-۱- کلیات

با رشد جمعیت، شهرسازی و تمرکز بیش‌تر جمعیت به‌خصوص در مناطق سیل‌خیز، همچنان بسیاری از افراد در رابطه با سیلاب و خطرات ناشی از آن بی‌اطلاع هستند. تهیه نقشه خطر را می‌توان نوعی هشیاری بلندمدت برای مردم دانست تا به‌وسیله آن بتوانند در زمان خطر اقدامات مناسب را اتخاذ کنند. این نقشه‌ها در آگاه ساختن آسیب‌پذیران نقش حیاتی ایفا می‌کند. در نتیجه، خودآگاهی مردم سبب ایفای فعالیت‌های پیشگیرانه می‌شود و در زمان حادثه با عکس‌العمل درست می‌توانند منطقه را تخلیه نمایند. در این فصل کلیات مربوط به نقشه‌های خطر سیلاب و محورهای راهبردی کاربرد مدل‌های هیدرولیکی در تهیه این نقشه‌ها ارائه می‌شود.

۶-۲- تعریف نقشه خطر سیلاب

نقشه خطر سیلاب نقشه‌ای است که اطلاعات آب‌گرفتگی سیلاب (به شکل مناطق آب‌گرفتگی پیش‌بینی شده، عمق آب‌گرفتگی و غیره) و تخلیه (مناطق اسکان، مسیرهای اسکان، مناطق خطرناک برای مسیرهای تخلیه و غیره) را به شکلی ساده و قابل استفاده نشان می‌دهد و هدف آن، تخلیه سریع و به‌موقع مردم به مناطق امن‌تر است. برای تهیه‌ی این نقشه‌ها، گروه‌های متخصص آمادگی و پیشگیری از سوانح طبیعی، سازمان‌های آب‌منطقه‌ای، هیدرولوژیست‌ها، مهندسين رودخانه و کارشناسان شهرداری مشارکت می‌نمایند. اهداف و منافع حاصل از تهیه‌ی نقشه‌های خطر برای ساکنین محل و مسوولین سیلاب عبارتند از:

ساکنین محلی اطلاعات مربوط به پتانسیل خطر سیلاب را دریافت می‌کنند.

در زمان هشدارهای سیلاب، مردم داوطلبانه و خودجوش اقدام به تخلیه می‌کنند.

این نقشه‌ها به ستادهای مدیریت بحران کمک می‌کند تا مانورهای شبیه‌سازی شرایط اضطراری را به نحو بهتری انجام دهند.

در زمان سیلاب، استفاده از نقشه‌های سیلاب، موجب افزایش کارایی و اثربخشی عملیات امداد و نجات و تخلیه می‌شود.

جمع‌بندی تاثیرات و موارد استفاده نقشه خطر سیلاب در شرایط مختلف در جدول (۶-۱)، موارد کلیدی در نقشه‌های خطر در

جدول (۶-۲) و اطلاعات لازم در رابطه با تهیه نقشه‌های خطر سیلاب در جدول (۶-۳) ارائه شده است.

جدول ۶-۱- جمع بندی تاثیرات و موارد استفاده نقشه‌ی خطر سیلاب در شرایط مختلف

دسته‌بندی	مردم عادی	مسوولین حوادث غیرمترقبه
زندگی روزمره	در نظر گرفتن الگوی کاربری مناسب و ساختمان‌های مقاوم در برابر آب، در مناطق آسیب‌پذیر منطقه	- بازنگری نقشه شهری و به‌کارگیری الگوهای کاربری مقاوم در مقابل سیلاب در مناطق پر خطر
	آماده‌ساختن کودکان و افراد آسیب‌پذیر و تهیه غذا برای شرایط اضطراری	- ارتقای برنامه‌های پیشگیری و مقابله با سیلاب - بازنگری مسیرهای تخلیه و به‌روز کردن برنامه‌های امداد و نجات افراد آسیب‌پذیر (افراد مسن، معلول، مریض و غیره)
	- تعیین کانال‌های ارتباطی مناسب و سامانه‌هایی برای اطلاع‌رسانی وضعیت تخلیه - سازماندهی گروه‌های مردمی مدیریت بحران	- ارتقای کانال‌های ارتباطی و سامانه‌ها برای دریافت اطلاعات راجع به تخلیه و مسیرهای آن - توسعه واحدهای پیشگیری و مقابله داوطلب
	- انتقال تجارب سیلاب‌های تاریخی و ریسک آب‌گرفتگی - سازماندهی بخش‌های آموزشی در رابطه با پتانسیل خسارت سیل، آمادگی و تخلیه	- ارتقای آموزش‌های مرتبط با پیشگیری و آمادگی و مانورهای ادواری تخلیه براساس طرح عمل شرایط اضطراری - عمومی کردن اهمیت بخش آمادگی و پیشگیری سانحه

ادامه جدول ۶-۱- جمع بندی تاثیرات و موارد استفاده نقشه‌ی خطر سیلاب در شرایط مختلف

دسته بندی	مردم عادی	مسوولین حوادث غیر مترقبه
شرایط اضطرار	مشخص کردن پناهگاه‌ها، مسیرهای تخلیه و غیره	- تعیین مناطق سیل گیر، عمق آب‌گرفتگی، موقعیت پناهگاه‌ها و مسیرهای تخلیه
	- تخلیه داوطلبانه و خودجوش براساس درک فردی از پیش‌بینی آب و هوا، اطلاعات سیلاب، هشدارهای شرایط اضطرار و غیره و بدون هدایت سازمان‌های امداد و نجات	- برآورد عواقب سیلاب محتمل براساس پیش‌بینی‌های ارائه شده - تهیه طرح عمل شرایط اضطراری
	- همراهی در تخلیه افراد آسیب‌پذیر در سیلاب	- امداد و نجات افراد آسیب‌پذیر در رابطه با سیلاب
	- تخلیه به پناهگاه‌های مناسب از طریق مسیرهای امن بر اساس پیشنهادات و هشدارهای موثر برای تخلیه	- تهیه مداوم اطلاعات سیلاب برای تخلیه - استقرار در پناهگاه‌ها - تخلیه افراد در معرض خطر

جدول ۶-۲- موارد کلیدی در نقشه‌های خطر

اطلاعات مورد نیاز برای تخلیه	اطلاعات مورد نیاز آموزشی
پیش‌بینی مناطق سیل گیر، عمق سیلاب و زمان تمرکز سیلاب ثبت سیل‌های تاریخی مناطق مورد نیاز برای تخلیه مکان پناهگاه‌های تخلیه مسیرهای تخلیه نقاط خطرناک در مسیرهای تخلیه قوانین حاکم در زمان تخلیه سامانه‌ها و کانال‌های ارتباطاتی و گرفتن اطلاعات برای تخلیه معیارهایی برای هشدارهای تخلیه	مکانیسم سیلاب خطر واقعی سیلاب، حد پیش‌بینی دامنه‌ی خسارات اطلاعات هواشناسی رکوردهای سیلاب‌های گذشته (بارش، آب‌گرفتگی و خسارت) قوانین قابل پیروی در مواقع سیلاب توضیحات و مسیرهای قابل استفاده در نقشه‌های خطر سیلاب آمادگی در برابر سیلاب

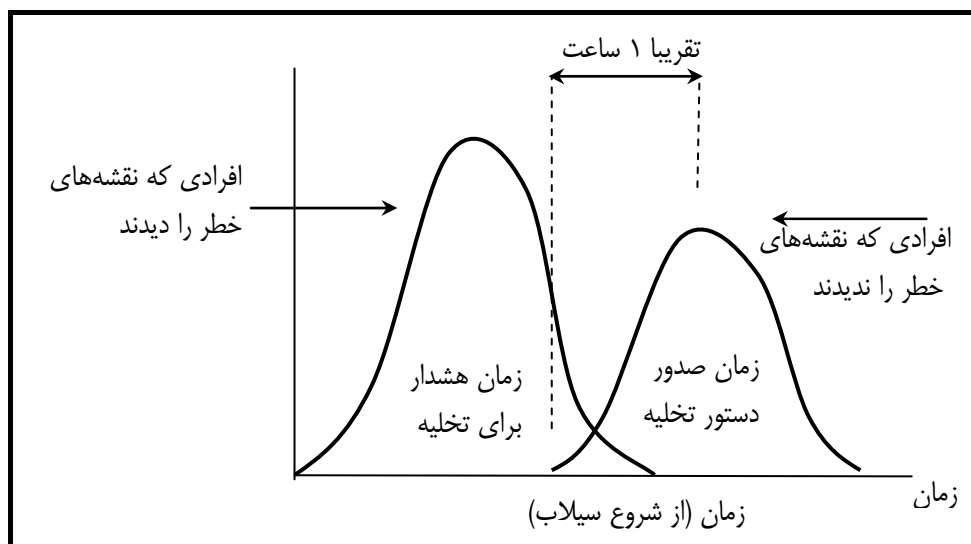
جدول ۶-۳- اطلاعات لازم در رابطه با تهیه نقشه‌های خطر سیلاب

توصیف	طبقه بندی
- نقشه‌های پایه (نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰، ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰) - نقشه‌های عمومی مرتبط	نقشه‌های پایه
- نقاط سرریز و شکست خاکریز، مناطق سیل‌گیری، عمق سیل‌گرفتگی و خسارت - بارش ساعتی و برآورد ساعتی سطح آب در نقاط رودخانه - نتایج تجزیه و تحلیل شبیه‌سازی سیلاب، همچون مناطق مقیاس‌ها، سطح سیل گیر و عمق سیل‌گیری و غیره - روند پخش سیلاب، تغییر عمق سیلاب با تاخیر زمانی، سرعت جریان سیلاب	اطلاعات مرتبط با آب‌گرفتگی سیلاب‌های گذشته تخمین میزان آب‌گرفتگی
پهنه‌بندی مناطق، مناطق آموزشی و مناطق مجاور	مناطق برای تخلیه
- جمعیت هر منطقه - تعداد خانوارهای هر منطقه - پناهگاه‌ها - اماکن عمومی (مهدکودک، پیش‌دبستانی، آبدبستان، دانشکده‌ها، باشگاه‌ها و غیره) - نقاط با پتانسیل شیب بالا، جریان‌های کلی و هجوم اشیای شناور - مسیرهای بسته‌شده در سیلاب‌های قبلی - موقعیت زمین لغزش‌های قبلی - زیرگذرها - پل‌ها	شمار ساکنینی که باید تخلیه شوند پناهگاه‌های تخلیه نقاط خطرناک در مسیرهای تخلیه
کانال‌های ارتباطی و کاربردی برای استفاده در مواقع اضطراری	کانال‌های ارتباطی

ادامه جدول ۶-۳- اطلاعات لازم در رابطه با تهیه نقشه‌های خطر سیلاب

طبقه‌بندی		توصیف
فضاهای زیرزمینی		مکان‌های فضاهای زیرزمینی، سامانه ارتباطی اضطراری
معیارهای تخلیه		- معیار تخلیه - فعالیت‌های بعد از تخلیه (کانال‌های ارتباطی، هشدارهای مربوط به منظور تخلیه، ایجاد پناهگاه‌ها، آمارگیری از پناهندگان)
تسهیلات برای افراد آسیب‌پذیر در مواقع اضطراری		- شمار ساکنین - تسهیلات برای آسیب‌پذیران (بیمارستان اضافه برای افراد معلول و مسن و دیگر امکانات)
دیگر اطلاعات لازم	موارد سازمانی	- امکانات و تجهیزات محلی و شهری - امکانات و تجهیزات استانی - امکانات ملی - امکانات مبارزه با آتش‌سوزی - ایستگاه‌های پلیس
	امکانات پیشگیرانه در سانحه و تجهیزات	- ایستگاه‌های بدون سامانه اداری برای پیشگیری از سانحه، بلندگوها، آژیرها - مراکز پیشگیری از سانحه - ایستگاه‌های کمک‌رسانی، امکانات اطلاع‌رسانی برای خسارت سیلاب
	تسهیلات پزشکی	- بیمارستان‌های اضطراری - مراکز سلامت عمومی - بیمارستان‌ها، درمانگاه‌ها و پزشکان
	شربان‌های حیاتی	- تصفیه‌خانه‌ها و بخش‌های تامین آب - تسهیلات ارتباط از راه دور (مراکز تلفن)
	تسهیلات زندگی اجتماعی	- محل‌های مسکونی برای معلولین و افراد مسن

در نمودار (۶-۱) مقایسه کمی و زمانی تخلیه منطقه سیل دیده با توجه به رجوع یا عدم رجوع به نقشه خطر ارائه شده است. این شکل به وضوح اهمیت نقشه‌های خطر سیلاب را نشان می‌دهد. یک ساعت تسریع در تخلیه مردم در جریان تندسیلاب‌ها می‌تواند به معنای نجات جان افراد زیادی باشد.



نمودار ۶-۱- مقایسه کمی و زمانی تخلیه منطقه سیل دیده با توجه به رجوع یا عدم رجوع به نقشه خطر

۶-۳- استفاده از مدل‌های ریاضی هیدرودینامیک برای پهنه‌بندی سیلابدشت و تهیه نقشه‌های خطر

در این بخش محورهای راهبردی کاربرد مدل‌های ریاضی هیدرولیکی (هیدرودینامیک) در پهنه‌بندی سیلابدشت و تهیه نقشه‌های خطر ارائه می‌شود. بدیهی است ارائه معادلات ریاضی، جزییات مدل‌ها، پردازش اطلاعات، برنامه‌ریزی و ساده‌سازی در چارچوب اهداف این کتاب راهنما نیست و کارشناسان هیدرولیک رودخانه، مراجع متعددی در این زمینه را در اختیار دارند. به‌علاوه با توجه به تغییرات مورد انتظار در مدل‌های هیدرولیکی تجاری در سال‌های آتی به صراحت به مدل خاصی اشاره نشده است. مدل‌های ریاضی در مدیریت سیلاب برای بسیاری از اهداف نظیر آنچه که در زیر ذکر شده مورد استفاده قرار می‌گیرند:

- شبیه‌سازی موج سیل در یک رودخانه و سیلابدشت آن (قبل از سیلاب و در زمان واقعی)
- بررسی تاثیر احداث یک سازه حفاظت در مقابل سیلاب، روی گستره سیلاب‌گیر و خسارات وارد آمده در پایین‌دست و بالادست
- محاسبه خسارات سیلاب
- تهیه نقشه‌های خطر سیلاب
- تجزیه و تحلیل اثر و توسعه‌های زیربنایی و شهری و همچنین تغییر در کاربری اراضی بر روی سیلاب‌ها
- محاسبه اطلاعات لازم برای تعیین سیلاب طراحی به‌عنوان تابع سطح مطلوب حفاظت
- پیش‌بینی سیلاب و اختاردهی
- آموزش در جهت افزایش ارتباطات و آگاهی عمومی

شناخت مناسب از یک رویداد سیلابی پیچیده را تنها می‌توان از طریق مدل‌های هیدرودینامیکی یک‌بعدی یا دوبعدی به‌دست آورد. این مدل‌ها به‌طور کلی، باید حرکت نسبی لایه نازک آب (مثلاً با ضخامت ۱ تا ۴ متر) را بر روی یک منطقه وسیع نسبتاً مسطح (عملاً ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع در مناطق روستایی و ۱۰ تا ۱۰۰ کیلومترمربع در مناطق شهری) شبیه‌سازی نمایند. باید توجه داشت که به محض این‌که ضخامت لایه آب به ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر برسد دقت مدل کاهش می‌یابد.

مدل‌های هیدرولیکی مهندسين را قادر می‌سازد پهنه منطقه سیلاب (که منجر به تهیه نقشه‌های سیل‌گرفتنی یا خطر سیلاب می‌گردد) را برای شدت جریان‌های مختلف ترسیم کنند و اطلاعات ضروری برای اعمال مقررات مدیریت سیلابدشت منطقه‌ای را کسب نمایند. برای مثال در سال‌های اخیر در انگلستان تهیه نقشه‌های خطر سیلاب در گستره وسیعی در دستور کار قرار گرفته است. نتایج مدل هیدرولیکی سامانه پیش‌بینی سیلاب در زمان واقعی می‌تواند نقش بسیار مهمی در افزایش دقت این سامانه داشته باشد. زیرا احتمال کمی وجود دارد که مشخصه‌های سیلاب واقعی مانند هیدروگراف با سیلاب طراحی کاملاً منطبق باشد. در بیش‌تر موارد عدم قطعیت‌های قابل ملاحظه‌ای در نتایج مدل‌های هیدرولیکی وجود دارد. با استفاده از اطلاعات زمان واقعی و واسنجی می‌توان عدم قطعیت‌های سامانه پیش‌بینی و هشدار سیلاب را به‌نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.

استفاده از مدل‌ها برای حفاظت در مقابل سیل و پیش‌بینی وقوع سیل در طول ۲۵ سال اخیر در دنیا فراگیر شده است. مدل‌های بسیاری از طریق موسسات تحقیقاتی، فروشندگان نرم‌افزار و افراد، در دسترس همگان قرار گرفته است. در سال ۱۹۹۰ طبقه‌بندی مدل‌ها در نشریه شماره ۷۴۰ سازمان هواشناسی جهانی (WMO) ارائه گردید. دستورالعمل‌های WMO، مدل‌ها را به دو نوع تصادفی و قطعی تقسیم نموده است. برای ارزیابی نتایج توسعه‌های انسانی، مدل‌های تصادفی محققاً کارآیی کم‌تری برای مدل‌سازی

جریان‌های سطحی دارند. مدل‌های احتمالاتی - تصادفی و مدل‌های تولید تصادفی سری زمانی^۱ نمی‌توانند انعکاس‌دهنده نتایج توسعه‌های انسانی بر روی پارامترهای مستقل از زمان باشند. بدیهی است در این موارد مدل‌های قطعی که مدل‌سازی فیزیکی را براساس پارامترهای تغییر یافته انجام می‌دهند، نتایج واقعی‌تری به دست می‌دهند.

همیشه باید در نظر داشت که به منظور توصیف «دنیای واقعی» با استفاده از ابزار مدل‌سازی، کاربر مجبور به ساده‌سازی شماری از عوامل و فرآیندهای درگیر و ارتباط درونی بین آنها با در نظر گرفتن مهم‌ترینشان است. واضح است که این موضوع بسیار اغواکننده است، اما ساده‌نمودن بیش از حد سامانه بسیار خطرناک است. زیرا باعث می‌شود که مساله بیش‌تر مهارپذیر جلوه نماید. یکی از اشتباهات ویژه مربوط به اعمال ساده‌گرایی بیش از حد، نادیده گرفتن وابستگی زمانی موج سیلاب و در نظر گرفتن جریان رودخانه به صورت دائمی است. تعیین مرز بین واقع‌گرایی و ساده‌گرایی بیش از حد به منظور سنجش میزان خطرات سیلاب مهم می‌باشد. اتخاذ رویکرد جریان غیردائمی در بررسی روند بارش - رواناب در مقیاس منطقه‌ای یا محلی امری اجتناب‌ناپذیر است. روش جریان دائمی را می‌توان برای طراحی سازه‌های آبی و برای لحاظ نمودن تغییراتی که دارای وابستگی زمانی موثر نیستند مورد استفاده قرار داد. با استفاده از مدل‌های یک‌بعدی و دوبعدی هیدرودینامیکی غیردائمی می‌توان به یک تصویر مطلوب از متغیرها و پارامترهای مکانی به منظور کمی کردن مشخصه‌های سیل از نقطه نظر هیدرودینامیکی دست یافت. مدل‌های یک‌بعدی ارزان‌ترین مدل‌ها بوده و به سادگی قابل دسترس هستند، اما کاربرد آنها در بعضی موارد، نتایج حاصله را تا حدودی تقریبی می‌سازد. از آنجایی که بعضی از پارامترها به طور منظم اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل نمی‌گردند، تنظیم نمودن مدل براساس آنها فریبنده است. هزینه اطلاعات سبب کاهش اشتیاق مدل‌سازان برای کاربرد مدل‌های هیدرودینامیکی دوبعدی و سه‌بعدی^۲ می‌گردد.

۶-۳-۱- مدل‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی سیلاب

انواع مدل‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی سیلاب عبارتند از:

- مدل‌های هیدرولوژیکی (مثلا مدل بارش - رواناب) که به صورت گسترده‌ای در برآورد هیدروگراف‌های سیلاب طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مدل‌ها برای پیش‌بینی زمان واقعی وقوع سیل و به‌عنوان داده ورودی مدل‌های هیدرودینامیکی نیز به کار می‌روند.
- مدل‌های هیدرولیکی (هیدرودینامیک) به صورت گسترده برای روندیابی سیلاب‌ها در مسیر رودخانه‌ها و مخازن، در امتداد سیلاب‌دشت‌ها و مناطق سیلابی، جهت محاسبه تراز سطح آب، سرعت جریان سیلاب‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف به صورت محلی استفاده می‌شوند.
- مدل‌های شبیه‌سازی (مفهومی یا جعبه سیاه) که پارامترهای مشخصی از سیلاب انتخابی (به دست آمده از مدل‌های هیدرولیکی ذکر شده) را به پهنه سیلاب منطقه‌ای و خسارات سیلاب مرتبط می‌سازند.
- مدل‌های بارش - رواناب توزیعی^۳ که در شرایط زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:
 - پارامترهای هیدرولوژیکی و اقلیمی به مقدار قابل ملاحظه‌ای در حوضه آبریز تغییر کنند.

1- STSGM: Stochastic Time Series Generation Models

2- 2-D and 3-D Hydrodynamic Models

3- Distributive Rainfall-Runoff Models

- مشخصات توپولوژی و توپوگرافی حوضه آبریز به میزان قابل ملاحظه‌ای تغییر کنند.
- فعالیت انسانی در حوضه آبریز تاثیر محلی داشته باشد.
- فرآیندهای زیرسطحی در نگهداشت و سرعت‌دادن یا کندکردن مولفه‌های رواناب، نقش اصلی داشته باشند.

تعمیق و یا تعریض آبراهه، حذف انحنا، تعریض یا احداث سیلابدشت‌های جانبی، معرفی مناطق ذخیره توسط مقاطع، تغییر مقطع، تغییر زبری و انحرافات را می‌توان توسط مدل‌های قطعی مدل نمود. بدیهی است این مدل‌ها نیاز به واسنجی دارند. ممکن است در مرحله اول، مدل‌سازی به صورت یک‌بعدی صورت گیرد. در مدل‌های هیدرودینامیکی فرض می‌شود که در هر نقطه رودخانه خطوط جریان آب عمود بر سطح مقطع آبراهه هستند. تا زمانی که آب از سیلابدشت سرریز نشود، این مدل‌ها واقعیت را به خوبی نشان می‌دهند، اما زمانی که آب از سواحل رودخانه سرریز می‌شود، چنین نخواهد بود. وقتی رودخانه بر روی دشت سرریز نماید، جریان آب بر روی منطقه غرقابی، دیگر به موازات آبراهه رودخانه نخواهد بود، بنابراین از مدل‌های یک‌بعدی نمی‌توان با اطمینان استفاده کرد و باید مدل‌های دوبعدی به کار گرفت تا بتوان هر دو مولفه جریان شامل جریان موازی و عمود بر آبراهه را مدل نمود.

مدل‌های یک‌بعدی معمولاً طبق معادلات سنت و نانت^۱ براساس مشتقات جزئی درجه ۲^۲ هستند. استفاده از آنها نیاز به فرآیندهای ریاضی دارد که گرچه امروزه کاملاً قابل درک هستند، اما هنوز حاوی پاره‌ای پیچیدگی‌هاست. به همین دلیل در بعضی مواقع معادلات را با حذف موارد کم‌اهمیت‌تر ساده‌سازی می‌کنند. در نتیجه اشتباهاتی روی می‌دهد که موجب اختلاف بین واقعیت و خروجی کسب شده از مدل می‌گردد.

معادله پیوستگی و تئوری معادلات مومنتم، به‌عنوان پایه معادلات سنت و نانت در مدل‌های دوبعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی کاربرد آن در مدل‌سازی مشکلات بزرگ‌تری را به وجود می‌آورد. به این دلیل معمولاً از سامانه‌ای به نام سامانه‌ی سلولی استفاده می‌شود که با استفاده از آن منطقه تحت مطالعه قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر رودخانه و سواحل آن به سلول‌هایی که به صورت هیدرولیکی توسط بند، کالورت یا جریان رودخانه، یا ترکیبی از هر سه نوع به یکدیگر متصل شده‌اند، تفکیک می‌شوند. ارتفاع آب به صورت یکنواخت در کل سطح سلول منظور می‌گردد، گرچه طبیعتاً بین سلول‌ها تفاوت وجود دارد. نتیجه حاصل شده عبارت از به‌دست آمدن سامانه‌ی معادلاتی است که مجهول‌های آن ارتفاع سلول‌ها هستند.

۶-۳-۲- ملاحظات کلیدی در کاربرد مدل‌های هیدرولیکی

در این زیر بخش ملاحظات کلیدی در کاربرد مدل‌های هیدرولیکی برای تهیه نقشه‌های خطر سیلاب به اختصار ارائه می‌گردد.

۶-۳-۱- ضریب زبری (مانینگ)

در مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه‌ها معمولاً بحث برانگیزترین پارامتر، ضریب زبری است. بنابراین در هر فرصتی باید این ضریب با استفاده از مشاهدات رودخانه‌ای برآورد شود. ضریب زبری^۳ ساحل سیلابی برابر ضریب زبری آبراهه نیست و بدتر از همه، ممکن است در اثر افزایش ارتفاع آب این ضریب تغییر کرده و خود تبدیل به یک متغیر وابسته به مقادیر سیل که وارد مدل می‌شود، گردد.

1- Saint Venant

2- Second Order Partial Derivatives

3- Roughness Coefficient

پارامتر دیگر در سیلابدشت که بر روی زبری اثر دارد وضعیت پوشش گیاهی در زمان سیلاب است. مقدار این پارامتر ممکن است در طی فصل‌ها و سال‌های مختلف تغییر کند. بنابراین مناسب است با استفاده از خصوصیات فصلی ضرایب مناسب برای سیلاب‌های مختلف انتخاب شود.

در آبراهه‌های رودخانه، ریخت‌شناسی نقش عمده‌ای در مقدار ضریب زبری دارد درحالی‌که در سیلابدشت‌ها، عامل اصلی پوشش گیاهی است.

۶-۳-۲- فرسایش و رسوب‌گذاری

فرآیند فرسایش یا رسوب‌گذاری در کلیه رودخانه‌ها وجود دارد ولی شدت آن در زمان جاری‌شدن سیلاب افزایش می‌یابد. در آغاز سیل با افزایش شدت جریان، توان فرسایشی نیز افزایش می‌یابد و سبب آبستگی^۱ می‌گردد. زمانی که آبدهی به تدریج فرونشست می‌کند، رسوب‌گذاری اتفاق می‌افتد. تمام این موارد بر روی ضریب زبری و سطح مقطع تاثیرگذار هستند و ممکن است نتایج را به‌طور بحث‌انگیزی تغییر دهند. مدل‌ها احتمالاً براساس این‌که با فرسایش، رسوب‌گذاری و انتقال رسوب تطابق داشته یا نداشته باشند نیز طبقه‌بندی می‌گردند. به‌منظور احتراز از ساخت مدل‌های فیزیکی و استفاده از فرآیندی که به‌خودی‌خود پیچیده و به مقدار زیادی بگرنج است، در کارهای عملی عمدتاً از مدل‌هایی با بستر ثابت استفاده می‌شود.

۶-۳-۳- حداکثر خطای قابل قبول

استفاده از مدل‌های هیدرولیکی به دامنه وسیعی از مسایل گوناگون بستگی دارد و میزان دقت نتایج حاصل شده نیز بستگی به عوامل مختلفی دارد. با این وجود یک قانون مهم قابل پیشنهاد وجود دارد: خطای تعیین ارتفاع آب هیچ وقت نباید بیش‌تر از ۰/۵ متر یا به‌طور عملی، بیش از ضخامت یک کیسه شن گردد.

منابع خطای مدل‌های هیدرولیکی را می‌توان به پنج گروه تقسیم نمود:

- محدودیت دسترسی به اطلاعات پایه
- فرضیات مربوط به ساده‌سازی فرآیند فیزیکی
- استفاده از مدل ساده شده حوضه آبریز
- کمبود اطلاعات طراحی برای پارامترهای مدل
- نداشتن تجربه کافی مهندس محاسب

کارشناسان باسابقه هیدرولیک رودخانه ادعا می‌نمایند که اگر استاندارد طراحی به کار گرفته شده تا حد قابل قبولی از نقطه‌نظر اقتصادی نزدیک به حفاظت بهینه باشد، عدم قطعیت‌های معمول احتمالاً نتایج وخیمی به دنبال ندارد. به هر حال، زمانی که منحنی هزینه از شیب زیادی برخوردار باشد، تصمیمات اتخاذ شده حساسیت بیش‌تری نسبت به اشتباهات در برآورد خطر سیلاب یا بزرگی سیلاب خواهند داشت.

۶-۳-۲-۴- منحنی‌های آبدهی - اشل

منحنی‌های آبدهی - اشل^۱ در یک ایستگاه اندازه‌گیری ابزار فراگیر برای ارزیابی سیلاب محسوب می‌شوند. با این وجود منحنی‌های آبدهی - اشل غالباً از طریق یک روش بسیار ابتدایی به دست می‌آیند و ممکن است داده‌های کاملاً غلطی برای ارزیابی سیلاب در اختیار کاربر قرار دهند. بخش فوقانی منحنی آبدهی - اشل در بسیاری از موارد توسط قضاوت مهندسی برون‌یابی می‌شود. به این دلیل، کاربری مدل‌های هیدرودینامیکی یک‌بعدی یا دوبعدی به منظور استنتاج کامل منحنی آبدهی - اشل هر نوع سطح مقطع پیچیده در شرایط جریان غیردایمی پیشنهاد می‌شود.

۶-۳-۲-۵- مشخصه‌های مدل هیدرولیکی

به‌طور کلی تعیین دقیق داده‌های مورد نیاز مدل مشکل است. تدوین قوانین کلی که تحت کلیه شرایط برای دامنه وسیعی از مدل‌ها و اهداف مختلف معتبر باشند، بسیار سخت است. برخلاف تفکر «هر چه حجم داده‌ها بیشتر باشد بهتر است، باید توجه کرد که از ورودی اطلاعات نامطلوب، خروجی نامطلوب حاصل می‌شود. بنابراین، لازم است کلیه داده‌های ورودی صحیح و قابل استناد باشند حتی اگر منجر به استفاده از داده‌های کم‌تری شود. به علاوه باید سعی شود که داده‌های مورد استفاده در مدل‌ها متناسب با سطح پروژه باشند. لذا بسیار نامعقول است اگر مدل مورد مطالعه برای مدل‌سازی پهنه رودخانه‌ای به طول ۱۰۰ کیلومتر از مقاطع عرضی با فواصل ۲۰ متری استفاده نماید درحالی که مقاطع با فاصله ۱۰۰۰ متری نیز می‌تواند مناسب باشد و دقت مشابه را فراهم کند.

۶-۳-۲-۶- اطلاعات لازم برای مدل‌های هیدرودینامیکی (هیدرولیکی)

اطلاعات لازم برای این‌گونه مدل‌سازی را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود:

۱- توپوگرافی و هیدرولوژیکی

۲- هیدرولیکی

اطلاعات توپوگرافی به نوبه خود، از نظر مفهومی به دو بخش فرعی کیفی و کمی تقسیم می‌شوند. اولی اشاره به تشریح رودخانه و شناخت آن دارد که شامل شاخه‌ها، وجود سیل‌بندها، جاده‌ها، پل روگذر راه‌آهن، اراضی مرتفع و پست، منطقه سیل‌گیر و غیره است. تمام این مسایل سبب درک رودخانه و پایه‌ای برای تعیین سطح تفصیلی اطلاعات توپوگرافی کمی می‌شود. اطلاعات توپوگرافی کمی به مقاطع طولی رودخانه واقع در بین سواحل، خاکریزها و مقاطع عرضی آبراهه و پهنه منطقه سیل‌گیر مرتبط می‌شود. چنین اطلاعاتی را می‌توان از روی نقشه کلی یا نقشه‌های مستقل توپوگرافی به دست آورد. این اطلاعات نه تنها برای رودخانه اصلی، بلکه باید برای کلیه رودخانه‌های موجود در منطقه تهیه گردند.

مقاطع عرضی معمولاً با فاصله‌های کم و بیش برابر در نظر گرفته می‌شوند (به استثنای نقاط خاص یا مناطق معین). فاصله متوسط، بستگی به دقت مورد نظر و شیب دره دارد. مقاطع عرضی سیلابدشت‌ها معمولاً در فواصل ۱ تا ۱۰ کیلومتر انتخاب می‌شوند. در بخش‌هایی از آبراهه که دارای شیب تند هستند فواصل ۲۰۰ تا ۵۰۰ متری برای مقاطع عرضی انتخاب می‌شوند.

به‌طور کلی، برای محاسبه تراز آب با دقت حدود ۵۰ سانتی‌متر خطوط تراز باید حدود یک متر فاصله داشته باشند. این مساله مستلزم (بستگی به شیب منطقه دارد) استفاده از نقشه‌هایی با مقیاس حدود ۱:۱۰۰۰۰ است. تجربه نشان می‌دهد چنانچه نقشه‌هایی با مقیاس کوچک با نقشه‌های توپوگرافی در نقاط خاص همپوشانی داده شوند، دقت نتایج مدل‌ها افزایش می‌یابد. قابلیت دسترسی اطلاعات در حوضه آبریز شدیدترین محدودیت برای کاربرد گسترده مدل‌های ریاضی است، زیرا واکنش حوضه، تحت شرایط سیلابی منعکس‌کننده کلیه تغییرات گذشته در حوضه است. وجود شبکه پایش در حوضه می‌تواند شاهد بسیار مهمی برای این موضوع باشد که عکس‌العمل حوضه نسبت به باران در طول زمان تغییر نموده است. از آنجایی که شدت و سرعت جریان در آبراهه اصلی معمولاً تفاوت چشمگیری نسبت به ارقام سیلابدشت دارد، سازنده مدل نیاز به اطلاعات کسب شده از مشاهدات مکرر آبدهی و جهت جریان دارد.

۶-۴- کاربرد سامانه اطلاعاتی جغرافیایی

امروزه با استفاده از سامانه اطلاعاتی جغرافیایی (GIS)^۱ می‌توان با سرعت و دقت بیشتر و هزینه‌ی کم‌تر محدودی پخش سیل را تعیین کرد. در این روش دقت محاسبات عمدتاً بستگی به دقت نقشه‌های توپوگرافی دارد. در صورت عدم وجود نقشه‌های ریز مقیاس، کاربرد GIS با خطای زیادی همراه خواهد بود.

مدل‌های GIS به دلیل موجود بودن نقشه‌های رقومی رودخانه‌ها در کشورهای پیشرفته، کاربرد فراوان یافته‌اند. به‌کارگیری این روش در ایران در مراحل اولیه قرار دارد که از دلایل عمده آن می‌توان نیاز به نقشه‌های رقومی را عنوان نمود. تهیه این نقشه‌ها ضمن هزینه‌بر بودن به مدت زمان طولانی جهت آماده شدن نیاز دارد. در بازه‌های کوتاه و یا در پروژه‌هایی که نقشه‌های رقومی آن موجود است سرعت تهیه نقشه‌ها به مراتب بیشتر می‌شود و از کارایی بالاتری نسبت به روش دستی برخوردار است. به‌طور خلاصه مزایای استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

- در صورت نیاز به اعمال تغییرات و به‌روزرسانی نقشه‌ها براساس آمار و اطلاعات جدید، این امر به سادگی صورت می‌گیرد.
- عمق آب‌گرفتگی در هر نقطه از سیلابدشت قابل نمایش است.
- تغییرات عوارض جغرافیایی موجود و تاثیر احتمالی آن بر گستره و عمق سیلابدشت، در نظر گرفته می‌شود.
- امکان اتصال به مدل‌های ریاضی و سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل با اطلاعات زمان واقعی فراهم می‌گردد.
- آرشو و نگهداری نقشه‌ها مطمئن‌تر و ساده بوده و بازیابی و انتشار آنها به سهولت میسر است.
- کاربرد GIS در مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در پیوست ت این کتاب راهنما ارائه شده است.

فصل ۷

سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری در

زمان واقعی

۷-۱- کلیات

با رشد فن‌آوری اطلاعات در سال‌های اخیر، سامانه‌های هشدار سیلاب توسعه‌های چشمگیری داشته‌اند. جریان پیوسته اطلاعات پیش‌نیاز بنیادی مدیریت جامع سیلاب محسوب می‌شود. در مدیریت سیلاب برای تخمین فراوانی و شدت سیلاب‌ها و عواقب آنها به‌روزرسانی پیوسته نقش کلیدی دارد. روش‌های طولانی‌مدت و با گستره وسیع برای پیش‌بینی سیل باید ارتقا یابد. اطلاعات مورد نیاز از دو جهت شایان اهمیت است. اول این که در رودخانه‌هایی که به‌وسیله سدهای بالادست تنظیم شده‌اند به دلیل توسعه اراضی در نواحی شهری، حوضه آبریز، احتمال و شدت سیلاب به میزان قابل توجهی تغییر یافته است.

رشد فن‌آوری اطلاعات هم‌زمان با توسعه سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل، فن‌آوری جمع‌آوری، پردازش و ارسال داده و اطلاعات در کشورهای مختلف پیشرفت‌های چشمگیری در کارکرد سامانه به‌وجود آورده است. کارکرد صحیح سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل شدیداً وابسته به تصمیم‌گیری صحیح در زمان مناسب است که این نیز به جریان و منابع اطلاعاتی وابسته می‌باشد. به این مفهوم که هرچه اطلاعات دقیق‌تری در دسترس باشد، دقت تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد.

ابداع سامانه‌های اطلاعاتی زاینده رشد فن‌آوری اطلاعات است و خود پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در ارتقای سامانه‌های مدیریتی و فنی از جمله سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل به‌وجود آورده است. به بیان کلی توسعه سامانه‌های اطلاعاتی کمک شایان توجهی به حل مشکلات ساختارنیافته^۱ محسوب می‌شود.

۷-۲- تصمیم‌گیری و نقش اطلاعات در فرآیند تصمیم‌گیری

در یک تعریف کلی فرآیند تصمیم‌گیری، فرآیندی است که به‌وسیله آن بتوان به اهداف کلان، سیاست‌ها و یا راهبردهایی با مقتضیات مختلف رسید. بسته به این که چه مقدار اطلاعات از این مقتضیات در دست باشد، فرآیند تصمیم‌گیری می‌تواند خیلی پیچیده بوده و شامل عوامل احتمالاتی مربوط به خطرپذیری نتایج و ارزش‌های موضوعی و کیفی مرتبط با عوامل کمی باشد. تصمیم‌گیر مسوول است که مساله‌ی مطرح در تصمیم‌گیری و اهداف کلان آن مساله را شناسایی کند و به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، ارزیابی نهایی را ساماندهی کند تا در طبقه‌بندی گزینه‌ها، راه‌حل مشخصی برای آن معین شود. تجزیه و تحلیل‌کننده، مسوول معرفی مدل تصمیم‌گیری، هدایت فرآیند تصمیم‌گیری و ارائه نتایج به تصمیم‌گیران است.

همکاری‌های بین تحلیل‌گر و تصمیم‌گیران پیش‌نیاز اثربخشی و کارایی این فرآیند محسوب می‌شود. سطح تصمیم‌گیری متأثر از سطح دانش تصمیم‌گیر و علاقه‌مندی وی به شرکت در نوع روش اتخاذ شده برای حل مسایل و ماهیت مسایل تحت بررسی است. داشتن ارتباط مستمر یک مساله کلیدی است. زیرا غالباً تصمیم‌گیران از نظر فنی قوی نیستند. انتخاب بهترین گزینه ممکن است به‌وسیله تحلیل‌گر، تصمیم‌گیر و یا هر دو صورت پذیرد.

بعضی تصمیم‌گیران ممکن است از تحلیل‌گر بخواهند بهترین گزینه را انتخاب نماید. ماهیت گزینه باید طوری باشد که تصمیم‌گیر تشخیص دهد کدام گزینه برای تحقق هدف‌های کلان مناسب‌تر است. در این رابطه مخصوصاً خطرپذیری‌ها به‌خصوص

خطرات جانی باید به‌وضوح مشخص شود. برای کمک به تصمیم‌گیر در تشخیص الگوها و نکات منفی، مسایل طرح شده به‌وسیله دو روش زیر ارائه می‌شود:

- روش‌های نمایش ماتریسی
- روش‌های نمایشی حذفی

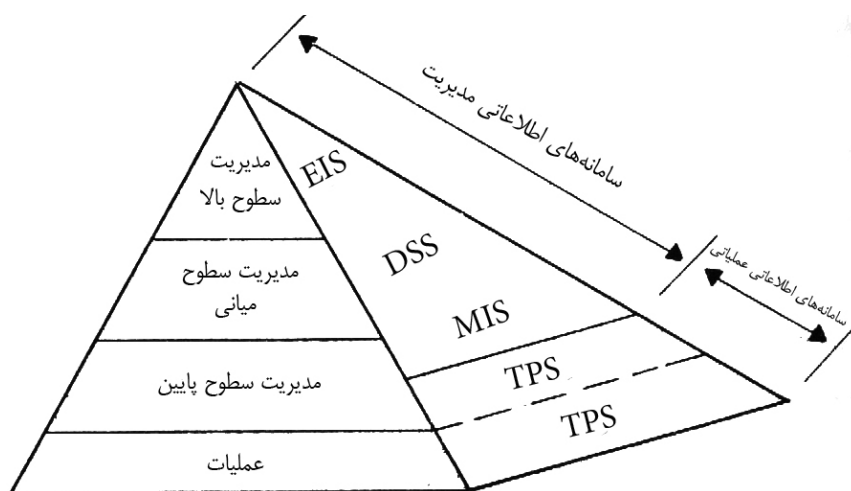
نحوه نمایش باید به‌گونه‌ای باشد که تصمیم‌گیر به‌صورت منطقی هر گزینه‌ای را نسبت به اهداف کلان ارزشیابی کرده و بتواند بهترین را انتخاب کند.

فرآیند تصمیم‌گیری از سه سطح بالا، پایین و میانی برخوردار است

تصمیم‌گیری در سطح پایین به صورت مکرر و روزمره صورت می‌گیرد و دارای ساختاری مشخص^۱ است که از قبل قابل پیش‌بینی و برنامه‌ریزی است. این گونه تصمیمات به‌طور عمده براساس حقایق، داده‌ها و اطلاعات موجود در سازمان صورت می‌گیرد و کم‌تر به قضاوت شخصی نیاز دارد چرا که مساله دارای پارامترها و راه‌حل‌های مشخص است.

تصمیم‌گیری در سطوح بالا غیرمکرر و دارای ساختاری غیرمشخص است که از قبل قابل پیش‌بینی و برنامه‌ریزی نیست. در این سطح تصمیمات به‌طور عمده به قضاوت شخصی مدیریت و تبحر او بستگی دارد چرا که مساله دارای پارامترهای مختلف است و می‌توان راه‌حل‌های مختلفی برای آن در نظر گرفت.

تصمیم‌گیری در سطح میانی بین دو سطح بالا و پایین قرار دارد که بخشی از آن ساختاریافته و بخش دیگر آن غیرساختاریافته است. با توجه به توسعه سامانه اطلاعاتی، برای سطوح مختلف مدیریت سامانه‌های اطلاعاتی وجود دارد که در شکل (۷-۱) نشان داده می‌شود.



شکل ۷-۱- انواع سامانه‌های اطلاعاتی و رایانه‌ای و سطوح مختلف مدیریت و عملیات [۷]

از دیدگاهی دیگر تصمیم‌ها به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌گردند:

- مستقل: تصمیم‌گیرنده دارای اختیار تام و مسوولیت کامل در تصمیم‌گیری و اجرایی نمودن تصمیم اخذ شده است.
- غیرمستقل و متوالی: یک تصمیم‌گیرنده بخشی از یک تصمیم را می‌سازد و بقیه آن به شخص دیگری واگذار می‌شود.
- وابسته: تصمیم اخذ شده حاصل کار مشورت‌ها و تبادلات صورت گرفته در بین تصمیم‌گیرندگان است.

۷-۲-۱- معرفی سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری سامانه‌ای است که تصمیم‌گیرنده (فرد یا گروه کوچک) را در تصمیم‌گیری در مورد یک مشکل با استفاده از منابع موجود یاری می‌کند. براساس تعریفی دیگر، سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی است از یک مجموعه‌ی نرم‌افزاری، یک متدولوژی که گروهی از متخصصان و گروه‌های مختلفی از مردم با منافع گوناگون را در بر دارد و عملکرد کل مجموعه شامل تعیین و انتخاب گزینه مناسب از بین کلیه گزینه‌ها است. دیدگاه دیگر بیان می‌دارد که سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری یک سامانه مبتنی بر رایانه است که برای بالابردن کارایی تصمیم‌گیری در مشکلات غیرساختاری یا نیمه‌ساختاری به کار می‌رود.

در دهه‌های اخیر، پیشرفت‌های حاصل در فن‌آوری رایانه، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و اینترنت، ابعاد گوناگونی به توسعه و کاربرد سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری بخشیده است. از نظر عملیاتی سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری را می‌توان در چهار مرحله مورد بررسی قرار داد:

مرحله اول: جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها را در بر می‌گیرد.

مرحله دوم: راه‌حل‌های مختلف موجود جهت حل مشکلات را شامل می‌گردد.

مرحله سوم: انتخاب گزینه‌ای که به بهترین وجه مشکل را حل نماید.

مرحله چهارم: بازنگری گزینه منتخب از لحاظ تطبیق و مناسبت با مساله را دربرمی‌گیرد.

ایده سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری اولین بار در سال‌های نخست دهه ۷۰ توسط اسکات مورتون^۱ تحت عنوان سامانه‌های مدیریت تصمیم‌گیری بیان شد. اهداف کلی سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری به صورت زیر بیان می‌شوند:

- کمک به مدیران در زمینه امور نیمه‌ساختاری و استثنایی که پیش از این تجزیه و تحلیل نشده‌اند.

- کمک به مدیران در گزینش راه بهینه، بالابردن قدرت تجزیه و تحلیل، کمک به الگوگرایی و عملکرد فعال.

ویژگی‌های مشترک کلیه سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری عبارتند از:

- این سامانه‌ها عموماً به منظور تصمیم‌سازی در حل مشکلات کم‌تر ساختاریافته^۲ مدیران ارشد طراحی می‌گردند.

- این سامانه‌ها از مدل‌ها و روش‌های تحلیلی در ترکیب با روش‌های سنتی جمع‌آوری اطلاعات و توابع بازیابی اطلاعات استفاده می‌نمایند.

- سامانه‌های مورد اشاره به‌ویژه بر روش‌های سهل‌الوصول تاکید دارند به‌گونه‌ای که افرادی که با رایانه آشنایی ندارند نیز قادر به برقراری ارتباط با آنها باشند.

- در طراحی این سامانه‌ها بر روی انعطاف‌پذیری و تطابق‌پذیری با تغییرات مربوط به محیط و روش تصمیم‌گیری تاکید می‌گردد.

طبق تعاریف ارائه شده از طرف صاحب‌نظران، ویژگی‌های کلیدی سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری شامل موارد زیر است:

- سامانه‌ها مبتنی بر رایانه هستند.

1- Michael S. Scott Morton

2- Less Well Structure

- به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌نمایند.
- توانایی رودررویی با مشکلات نامانوس را دارند.
- از داده‌ها و مدل‌های تحلیلی استفاده می‌نمایند.

۷-۲-۲- توسعه سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری از اواخر دهه ۱۹۷۰ تا اوایل دهه ۱۹۸۰ توسعه یافت، عوامل موثری که در این امر دخیل بوده‌اند عبارتند از:

- انقلاب به وجود آمده در رایانه‌های شخصی، تحول سخت‌افزارها و نرم‌افزارها و سهولت در کاربرد آنها با ظهور صفحات گسترده.

- افزایش ظرفیت و قابلیت سامانه‌های اطلاعاتی و کاهش هزینه آنها
 - افزایش دسترسی به پایگاه‌های مردمی و دیگر منابع اطلاعات خارجی
 - رشد روش‌های هوش مصنوعی از قبیل سامانه‌های خبره و پردازشگرها
 - کاربرد روزافزون محاسبات کامپیوتری
- بر طبق این دیدگاه، یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری بر ویژگی‌های زیر تمرکز دارد:
- سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری کلیه مدیران شاغل در سازمان‌ها و تصمیم‌گیران اجرایی را شامل می‌شود.
 - انعطاف‌پذیری، تطابق‌پذیری و ارائه‌ی پاسخ سریع به مشکلات مورد تاکید است.
 - توسط کاربران راه‌اندازی و کنترل می‌گردد.
 - پشتیبانی از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری شخصی مدیران مربوط را بر عهده دارند.

۷-۲-۳- سطوح مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در سه سطح مختلف سخت‌افزاری- نرم‌افزاری توسط افرادی با قابلیت‌های مختلف فنی مورد استفاده قرار می‌گیرند و به لحاظ نوع کارکرد متنوع هستند:

۷-۲-۳-۱- سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری ویژه

سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری ویژه مکمل سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری است که تفاوت آن در پردازشگر آن است. این سامانه شامل بخش نرم‌افزاری و سخت‌افزاری است که به یک فرد یا گروه تصمیم‌گیرنده خاص امکان می‌دهد که در هنگام مواجهه با مشکلات خاص راه‌حل مناسب را ارائه نمایند. در ادامه یک مطالعه موردی برای درک بهتر این مساله ارائه می‌شود.

یک نمونه از پروژه‌های مدیریت اضطرار سیلاب شهری با کاربرد برنامه‌های سنجش از دور زیر نظر گروه محیط زیست در منطقه لیگوری واقع در ایتالیا و آتن بزرگ در یونان اجرا گردید. در مناطق نام‌برده سیلاب‌های ویرانگری در دو دهه اخیر به‌وقوع پیوسته است. اهداف پروژه توسعه یک سامانه‌ی کاربردی جامع برای مدیریت عملیات اضطراری سیلاب شهری است. این سامانه، فن‌آوری سنجش از دور را با پیش‌بینی هواشناسی و هیدرولوژیکی پیشرفته در قالب یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری ترکیب می‌نماید.

اهداف این سامانه مدیریت نمودن اطلاعات دینامیکی مورد نیاز سنجش از دور، وارد نمودن این اطلاعات در یک ماتریس مرکب از ابزار مدل‌سازی و پیش‌بینی‌ها و کمک به مسوولان محلی در تصمیم‌گیری در شرایط اضطراری است.

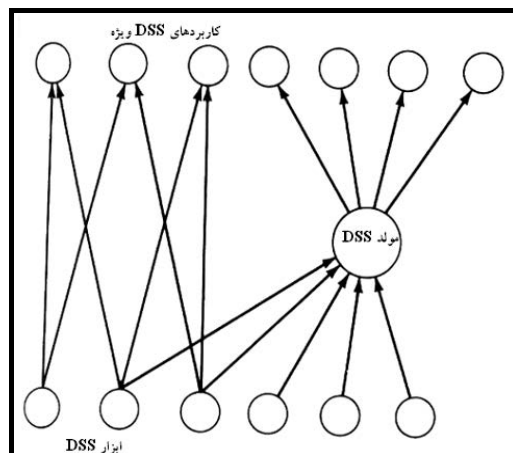
۷-۲-۳-۲- مولد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

این سطح شامل یک مجموعه نرم‌افزاری و سخت‌افزاری است که با سرعت و سهولت پشتیبانی تصمیم‌گیری را انجام می‌دهد. برای مثال، سامانه قسمت قبل، از مدل‌های هواشناسی GCM و LAM جهت شبیه‌سازی بارش استفاده نموده و پیش‌بینی‌های بارش را با استفاده از ابزار و نرم‌افزارهای گرافیکی قابل مشاهده می‌نماید. این سامانه از مدل‌های هیدرولوژیکی جهت شبیه‌سازی بارش - رواناب، هیدروگراف و تراز سطح آب استفاده می‌نماید. این سامانه همچنین با استفاده از ابزار GIS نتایج حاصل را گرافیکی کرده و ترازهای سطح آب را با مقادیر آستانه خطر و حالت بحرانی مقایسه می‌نماید. سپس نتایج مربوط به سیلاب را با فرمت ویژه از طریق HTML در اختیار کاربران قرار می‌گیرد.

۷-۲-۳-۳- ابزار سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

این بخش عناصر سخت‌افزاری یا نرم‌افزاری را در بر می‌گیرد که توسعه یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری به صورت عادی یا ویژه را هموار می‌نماید. این ابزار، زبان‌های برنامه‌نویسی، سامانه‌های عامل توسعه یافته جدید برای تأمین ارتباط با کاربران، نرم‌افزار و سخت‌افزار جهت تصاویر گرافیکی و غیره را در بر می‌گیرد.

شکل (۷-۲) نشان می‌دهد ابزار سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری می‌تواند مستقیماً مورد استفاده سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری ویژه قرار گیرد. در بیش‌تر سامانه‌های کاربردی سنتی با استفاده از یک زبان برنامه‌نویسی عمومی چنین روشی به کار گرفته می‌شود. مشکل موجود در ارتباط با این شیوه، تغییرات یکنواخت و انعطاف‌پذیری سامانه است. سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری نه تنها ویژگی واکنشی که به محیط داده می‌شود را تغییر می‌دهد بلکه شیوه مورد استفاده مدیران برای حل مشکلات را نیز تغییر می‌دهد. بنابراین، عامل جدی که استفاده از ابزار پایه را پیچیده می‌نماید مداخله مستقیم کاربر در ایجاد تغییر و اصلاح نمودن سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری ویژه است.



شکل ۷-۲- نمایش ارتباط بین سطوح مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

۷-۲-۴- چارچوب سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

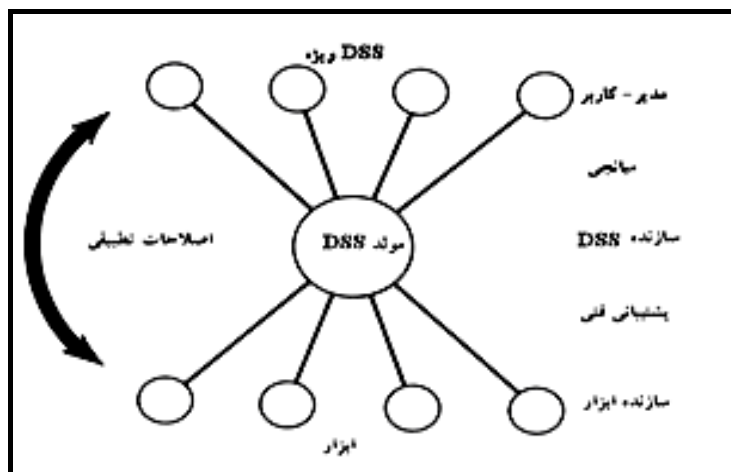
فن‌آوری مورد استفاده برای این سامانه از سه قابلیت^۱ زیر برخوردار است:

- دیالوگ‌ها (مکالمات)
- داده و اطلاعات
- مدل‌سازی

باید تعادل بین سه قابلیت نامبرده سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری را به‌نحوی برقرار نمود که سامانه بتواند ارتباط مناسبی با کاربران غیرفنی برقرار نماید. همچنین به دامنه گسترده و متنوعی از داده‌ها دسترسی داشته و تحلیل و مدل‌سازی را از راه‌های متنوعی به انجام رساند. بسیاری از سامانه‌ها تنها بر یکی از سه قابلیت فوق تکیه دارند، بنابراین نمی‌توان آنها را سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری محسوب نمود.

۷-۲-۵- ایجاد تحول در وظایف مرتبط با سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

هر سه سطح شرح داده شده در توسعه و عملکرد سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیشرفت‌های قابل توجهی در سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری با تعریف وظایف مهم مدیران و کاردان‌ها (عوامل اجرایی)، تحقق یافته است. شکل (۷-۳) سامانه‌ی تکامل یافته شکل (۷-۲) را به نمایش می‌گذارد. در این شکل طیفی از وظایف قابل اجرا توسط سه سطح سامانه به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۷-۳- نمایش سطوح مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در ارتباط با نقش‌های مختلف مدیران و کاربران

در شکل (۷-۳) مدیر یا کاربر شخصی است که با مشکل مواجه می‌شود و لزوماً باید در مورد وضعیت پیش‌آمده تصمیم‌گیری نماید و مسوول عواقب تصمیم‌گیری خود باشد. میانجی شخصی است که کاربر یا مدیر را یاری می‌نماید. میانجی ممکن است کارمند یا عنصری با مسوولیت بالاتری باشد که با ترمینال‌های رایانه‌ای کار می‌کند و با قصد ارائه پیشنهاد در امور مداخله می‌نماید. سازنده یا تسهیل‌کننده سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری قابلیت‌های ضروری را از مولد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری جمع‌آوری نموده و بدین

طریق سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری ویژه که کاربر یا میانجی مستقیماً با آن در تماس است را پیکربندی می‌نماید. این شخص باید با نوع مشکل، مولفه‌های فن‌آوری سامانه اطلاعات و قابلیت‌های آن آشنا باشد.

بخش پشتیبانی فنی، دیگر قابلیت‌های سامانه اطلاعات یا مولفه‌های آن را در موقع لزوم به‌عنوان بخشی از مولد توسعه می‌دهد. پایگاه‌های اطلاعاتی جدید، مدل‌های تحلیلی جدید و دیگر اشکال نمایش اطلاعات جدید توسط این شخص توسعه داده می‌شوند. کلیه این موارد نیازمند آشنایی با فن‌آوری و همچنین اشراف به مشکل است. سازنده ابزار، فن‌آوری، زبان، سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز را توسعه داده و نیز کارایی ارتباط بین زیرسامانه‌ها را بالا می‌برد.

دو نکته در مورد این طیف از وظایف مشاهده می‌شود. اول این‌که وظایف نام‌برده بر مبنای نفر به نفر اجرا نمی‌شوند. یک فرد ممکن است چندین نقش ایفا نماید و یا این‌که چندین فرد برای ایفای یک نقش مشترک مورد نیاز باشند. ایفای نقش مناسب به موارد زیر بستگی دارد:

- ماهیت مشکل؛ به‌ویژه گستردگی یا غیرجزیی بودن آن

- ماهیت شخص؛ به‌ویژه میزان ارتباط شخص با تجهیزات رایانه‌ای و زبان مفاهیم

- نقاط قوت فن‌آوری موجود به‌ویژه هم‌جهتی آن با کاربر

بسیاری از مدیران به میانجی نیازی ندارند. از کامپیوتر شخصی جهت برنامه‌نویسی استفاده می‌کنند و بدین وسیله سه یا چهار نقش از بالا را پیاده می‌نمایند.

۷-۲-۶- طراحی مجدد در ایجاد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

چهار گام مهم در ایجاد یک سامانه شامل فرآیند و تحلیل، طراحی، ساخت و اجرایی نمودن آن با هم ترکیب شده و یک فرآیند واحد را تشکیل می‌دهند که مکرراً تکرار می‌گردد.

طراحی یک سامانه بدین‌صورت است که یک مدیر به‌همراه متخصص مربوط برای مواجهه با یک مشکل خاص سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری را طراحی می‌نماید. این سامانه پس از گذشت مدت‌زمانی از کارکردش مورد ارزیابی قرار گرفته تا این‌که به مرحله‌ای از تکامل برسد که حالتی نسبتاً متعادل داشته باشد و قادر به انجام پشتیبانی گردد.

۷-۲-۷- نحوه عملکرد سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری به صورت یک سامانه تطبیقی

به مفهومی گسترده، سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری یک سامانه تطبیقی از سه سطح مختلف فن‌آوری است و نقش‌ها و وظایف مختلفی را در برمی‌گیرد. به‌علاوه، فن‌آوری موجود در طول زمان با تغییرات تطبیق پیدا می‌نماید. بنابراین ایجاد یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در واقع توسعه و نصب یک سامانه تطبیقی است. براساس یکی از دیدگاه‌های موجود، سامانه نام‌برده با تغییرات حاصل در سه بازه زمانی تطبیق پیدا می‌نماید:

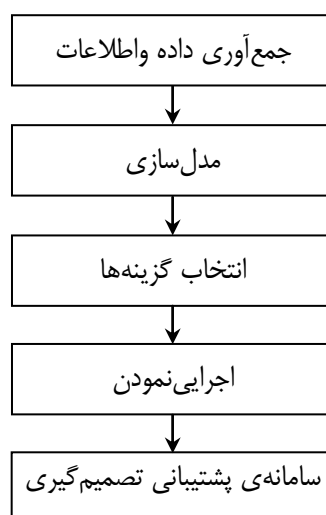
- در کوتاه‌مدت، سامانه جستجو برای پاسخ را با دیدی نسبتاً محدود آغاز می‌نماید.

- در میان‌مدت، سامانه قابلیت‌ها و فعالیت‌های خود را تغییر می‌دهد و بدین ترتیب گستره فعالیت‌ها تغییر می‌یابند.

- در بلندمدت، سامانه به سطحی از تکامل می‌رسد که بتواند از روش‌های رفتاری و قابلیت‌های مختلف استفاده نماید.

سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری باید از تمام مراحل یک فرآیند تصمیم‌گیری پشتیبانی نماید. به‌طور عمومی سه مرحله در تصمیم‌گیری وجود دارد:

- مرحله جمع‌آوری داده‌ها: سامانه محیط را برای شرایطی که منجر به تصمیم‌گیری می‌گردد، جستجو می‌کند. به این صورت داده‌های خام مورد نیاز جمع‌آوری گردیده، پردازش می‌شوند و سپس به‌منظور یافتن سر نخ‌ی که منجر به تشخیص مشکل شود مورد سنجش قرار می‌گیرند.
- مدل‌سازی: این مرحله شامل ایجاد، توسعه و تحلیل عملیات ممکن است. بدین طریق به‌منظور درک مساله، ارائه‌ی راه‌حل و آزمایش توجیه‌پذیری راه‌حل ارائه شده، پردازش‌هایی صورت می‌گیرد.
- انتخاب گزینه: از بین گزینه‌های صحیح، گزینه‌ای انتخاب شده و اجرایی می‌گردد. نمودار (۷-۱) ارتباط بین مراحل مختلف تصمیم‌گیری را نمایش می‌دهد. به دلیل اهمیت اجرایی نمودن تصمیم، این عمل به‌صورت جداگانه در شکل به نمایش گذاشته شده است.



نمودار ۷-۱- نمایش مراحل مختلف تصمیم‌گیری

در نهایت، استفاده از سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری باید آسان باشد. عوامل موثر بر این ویژگی عبارتند از: انعطاف‌پذیری، کاربرپسندی و مهم‌تر از همه آزادی عمل اختیارات کارفرمایی. با این وجود بعضی سامانه‌ها که به حمایت بالای سازمانی یا گروهی نیازمندند این اختیارات را محدود می‌نمایند. کاربر سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری نسبت به کاربر یک سامانه مبادلاتی سنتی و یا سامانه‌ای که بیش‌تر به گزارش‌دهی نیاز دارد اختیار بیش‌تری برای سرپیچی از سامانه دارد. بنابراین، یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری باید با دارا بودن خاصیت سهولت در استفاده، بتواند کاربران وفادار و متعهدی را جذب کند.

پایگاه اطلاعاتی از ارکان مهم یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری محسوب می‌شود. شماری از قابلیت‌های یک پایگاه اطلاعاتی

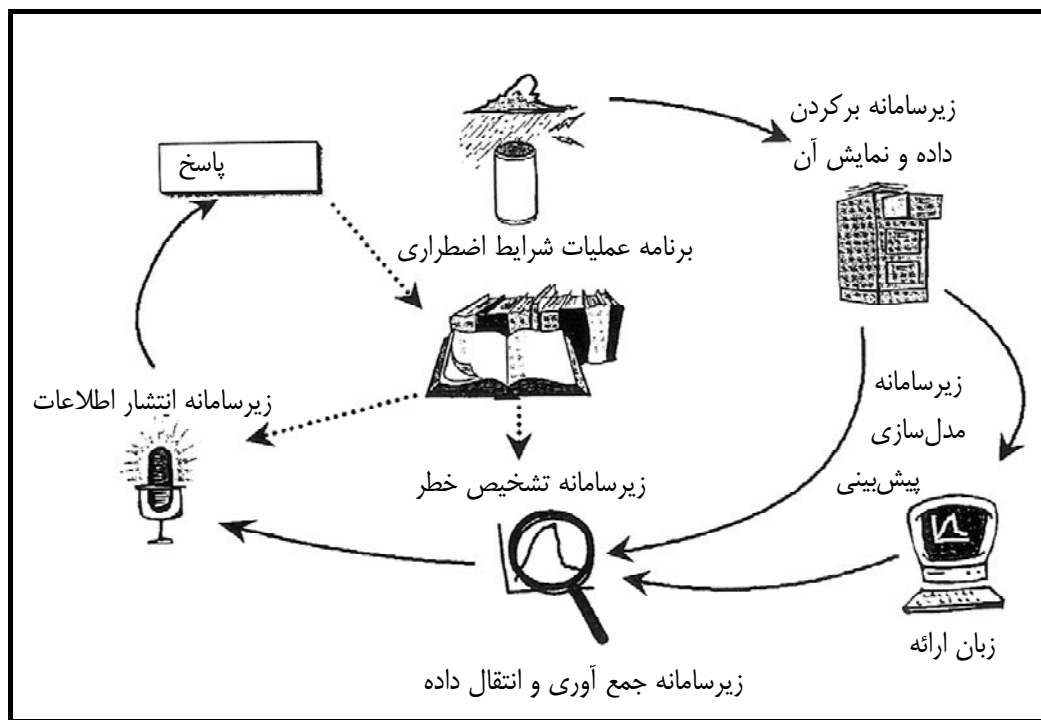
عبارتند از:

- ترکیب نمودن مجموعه متنوعی از منابع اطلاعاتی
- قابلیت اضافه و کم نمودن منابع اطلاعاتی با سرعت بالا

- قابلیت مدیریت نمودن داده‌های شخصی و غیراداری که کاربر را قادر به تجربه نمودن گزینه‌های مبتنی بر قضاوت شخصی نماید.
- قابلیت به تصویرکشیدن ساختارهای منطقی اطلاعات مورد نیاز کاربر که کاربر می‌تواند اضافه شدن و کاستن‌های مورد نیاز در اطلاعات را تعیین نماید.
- قابلیت مدیریت نمودن یک مجموعه وسیع اطلاعات با مجموعه کاملی از توابع مدیریت اطلاعات.

۷-۳- استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در هشدار سیل

یکی از اهداف عمده استفاده از سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری، امکان آزمایش و مقایسه گزینه‌های مختلف است. شکل (۷-۴) مولفه‌های یک سامانه‌ی هشدار سیل را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۴- اجزای مختلف یک سامانه هشدار سیل

هسته مرکزی این سامانه یک طرح عملیات اضطراری (EOP)^۱ است. یکی از مولفه‌های این طرح، تشخیص خطر تهدیدکننده و طرح انتشار اطلاعات است. این طرح مبتنی بر ضوابط شرطی به صورت «اگر» و «بنابراین» است و بدین ترتیب خطر تهدیدکننده، تشخیص داده شده و به مدیران شرایط اضطراری هشدار لازم در مورد آن خطر تهدیدکننده داده می‌شود. یک نمونه از گزینه‌ها به صورت زیر است:

اگر تراز مشاهداتی در ایستگاه تحت پایش از ۸/۵ متر تجاوز نماید و نرخ افزایش تراز ۰/۳ متر بر ساعت باشد، از طریق خط تلفن از قبل تعیین شده به مسوول مربوط مستقر در ایستگاه آتش‌نشانی با استفاده از دستگاه پیج^۱ مخابره شود. برای کاربرد گزینه‌های تشخیص خطر در زمان واقعی، سامانه هشدار سیل باید قادر به تشخیص پتانسیل تهدید خطر در زمان واقعی باشد. بدین منظور، نیاز به مشاهده ارتفاع بارش، تراز رودخانه یا پیش‌بینی کمیت‌های نام‌برده و مقایسه آنها با مقادیر آستانه تهدید است که همه این‌ها در طرح عملیات اضطراری گنجانده شده‌اند. این مراحل در شکل (۷-۴) نشان داده شده‌اند. وقتی سیل از یکی از آستانه‌ها بگذرد یا پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته احتمال تجاوز از یک آستانه را نشان دهد، سامانه هشدار سیل، طرح مورد نظر اطلاعاتی را که باید منتشر شود، فردی که این اطلاعات را باید دریافت کند و چگونگی برقرار نمودن ارتباط را جستجو می‌نماید.

وقتی که هشدارها توسط مدیران اضطراری دریافت می‌گردند، عملیات اضطراری به‌منظور حفاظت از انسان‌ها و کاهش خسارات در زودترین زمان به همان صورت که از طریق فرآیند عملیات استاندارد دیکته شده‌اند، اجرا می‌گردند. این عملیات شامل بستن راه‌ها، تخلیه، تاسیس مراکز عملیاتی امداد، حفاظت از اموال عمومی، مقابله با سیلاب و عملیاتی که منجر به مراقبت از سرویس‌های حیاتی می‌شوند، است. این عملیات پایش سازه‌های مهار سیلاب جهت کسب اطمینان یا توسعه عملکرد آنها را نیز در بر می‌گیرد. پس از رفع خطر، طرح عملیاتی اضطراری به ارائه یک طرح ساماندهی شده شامل بازگرداندن تخلیه‌شدگان، پاکسازی منطقه و... می‌پردازد. در آخر، مجموعه طرح عملیاتی اضطراری، انتشار اطلاعات و تشخیص خطر بر مبنای درس‌های آموخته شده به روز شده، تصحیح شده و توسعه می‌یابند.

در امر مدیریت و مهار سیلاب با استفاده از روش‌های سازه‌ای یا غیرسازه‌ای، وجود سامانه‌ای که مسوولان را در امر پیش‌بینی سیلاب به صورتی مطلوب جهت انجام تخلیه کامل و منظم منطقه و ارائه دستورالعمل برای تسریع بخشیدن به فعالیت‌های ساماندهی یاری نماید، بسیار ضروری و با اهمیت است. هزینه توسعه و اجرایی نمودن یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری جهت هشدار سیلاب و ساماندهی بسیار کم‌تر از خسارت‌های گزارش شده ناشی از سیلاب‌های شدید یا هزینه‌های مربوط به توسعه و ایجاد سازه‌های مقابله با سیلاب است.

یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری در مدیریت سیلاب به‌طور موثری از یک یا چند مدل برای انجام پیش‌بینی سیلاب و از یک سامانه تله‌متری (دورسنجی) برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده می‌نماید. انتخاب مدل‌ها به عواملی از قبیل ویژگی‌های هیدرولوژیکی - هواشناسی منطقه، سطح دقت مورد نظر، زمان پیش‌بینی مورد نظر و عامل وقوع سیلاب بستگی دارد. مثلاً برای سیلاب‌های ناشی از طغیان رودخانه، از یک مدل روندیابی رودخانه که داده‌های بالادست جریان را مورد استفاده قرار می‌دهد استفاده می‌گردد و یا به‌صورت دقیق‌تر از پیش‌بینی‌های مبتنی بر روندیابی خطوط کنتور عمق جریان با استفاده از ایستگاه‌های اشل‌سنجی استفاده می‌شود. اما در صورتی که زمان اوج سیلاب کوتاه باشد و عامل اصلی وقوع سیلاب بارش محلی باشد، آخرین بارش مشاهداتی به همراه یک مدل بارش - رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

یک سامانه‌ی هشدار سیل - سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری، از مولفه‌های سهل‌الوصولی جهت افزایش زمان پیش‌هشدار استفاده می‌نماید و بدین ترتیب به‌طور مطلوب امکان کاهش خسارات ناشی از سیل و نجات جان انسان‌ها حاصل می‌گردد. سخت‌افزار مورد

استفاده برای جمع‌آوری داده و مخابره نمودن آنها با قیمت مناسب و به وفور موجود است. دستگاه رایانه مورد استفاده و نرم‌افزار پایش سیل و بانک اطلاعاتی مورد استفاده همه قابل وصول هستند.

۷-۳-۱- طراحی سامانه هشدار سیل - سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

۷-۳-۱-۱- اجزای مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری - هشدار سیل

سامانه‌های هشدار سیل - پشتیبانی تصمیم‌گیری، به‌عنوان یکی از روش‌های شاخص مدیریت سیلاب، با استفاده از ابزار پیش‌بینی زمان واقعی سیل و مدیریت سیل در حوضه آبریز، نقش چشمگیری در کاهش خسارت سیل دارند. فن‌آوری جمع‌آوری اطلاعات، انتقال و پردازش داده‌های هیدرولوژیکی و پیش‌بینی زمان واقعی از طریق مدل‌سازی به‌صورت قابل توجهی پیشرفت نموده و امکان بیش‌تری را برای استفاده از سامانه‌های پیشرفته هشدار سیل مطرح می‌سازد. سامانه‌ی هشدار سیل - پشتیبانی تصمیم‌گیری دارای زیرسامانه‌های مختلفی به شرح زیر است:

- **زیرسامانه‌ی شناسایی و پیش‌بینی سیل:** جمع‌آوری، انتقال، دریافت، سازماندهی و پردازش اطلاعات، مدل‌سازی، شبیه‌سازی و پیش‌بینی سیل را شامل می‌شود.
- **زیرسامانه‌ی هشدار سیل:** که شامل تعیین مناطق سیل‌گیر و ناحیه‌بندی این مناطق از نظر نوع خطر سیلاب و تهیه و انتشار پیام‌های هشدار به هر یک از این نواحی است. سامانه هشدار سیل جهت بازنگری هشدار سیلاب پس از تحلیل پیش‌بینی‌های انجام‌شده توسط مدل، مورد استفاده قرار می‌گیرد و مبتنی بر نتایج شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی حاصل از ماتریس مدل‌های هواشناسی و یا نتایج حاصل از دیگر سامانه‌های پیش‌بینی از قبیل فن‌آوری رادار است. مورد اخیر قابل مشاهده نمودن هشدار سیل را به‌صورت یک لایه نقشه GIS همراه با علایم توصیف‌کننده امکان‌پذیر می‌نماید.
- **زیرسامانه‌ی عکس‌العمل اضطراری:** تخلیه موقت مناطق سیل‌گیر قبل از وقوع سیل، تعیین زمان واقعی بهره‌برداری از سازه‌های مهار سیل، جستجو و نجات سیل‌زدگان بعد از وقوع سیل، سازماندهی مراکز کمک‌رسانی، مقابله با سیل، حفاظت از سرویس‌های حیاتی، تدارکات برای کمک‌رسانی و غیره را شامل می‌شود.
- **زیرسامانه پایگاه اطلاعات:** در سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری، جمع‌آوری اطلاعات با کمک شبکه دورسنجی که به جمع‌آوری داده‌های زمان واقعی کمک می‌کند و ارتباط با پایگاه داده‌ها را برقرار می‌نماید انجام می‌شود. این زیرسامانه به صورت داخلی در سامانه هشدار سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد و به جهت جمع‌آوری تصمیمات روزانه سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری در یک پایگاه داده استاندارد استفاده می‌شود. اطلاعات ثبت شده مربوط به فعالیت‌های قبلی سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری با دارا بودن برچسب تاریخ ثبت آنها به سهولت قابل دسترسی و بررسی هستند. این امر با استفاده از زبان استاندارد اطلاع‌گیری^۱ و تقویم موجود در مدل امکان‌پذیر است. همچنین قابلیت ذخیره نمودن حوادث سیلاب مشاهداتی به همان صورت که مورد قضاوت متخصصین واقع شده‌اند در پایگاه داده‌ها وجود دارد. (این موضوع عملی

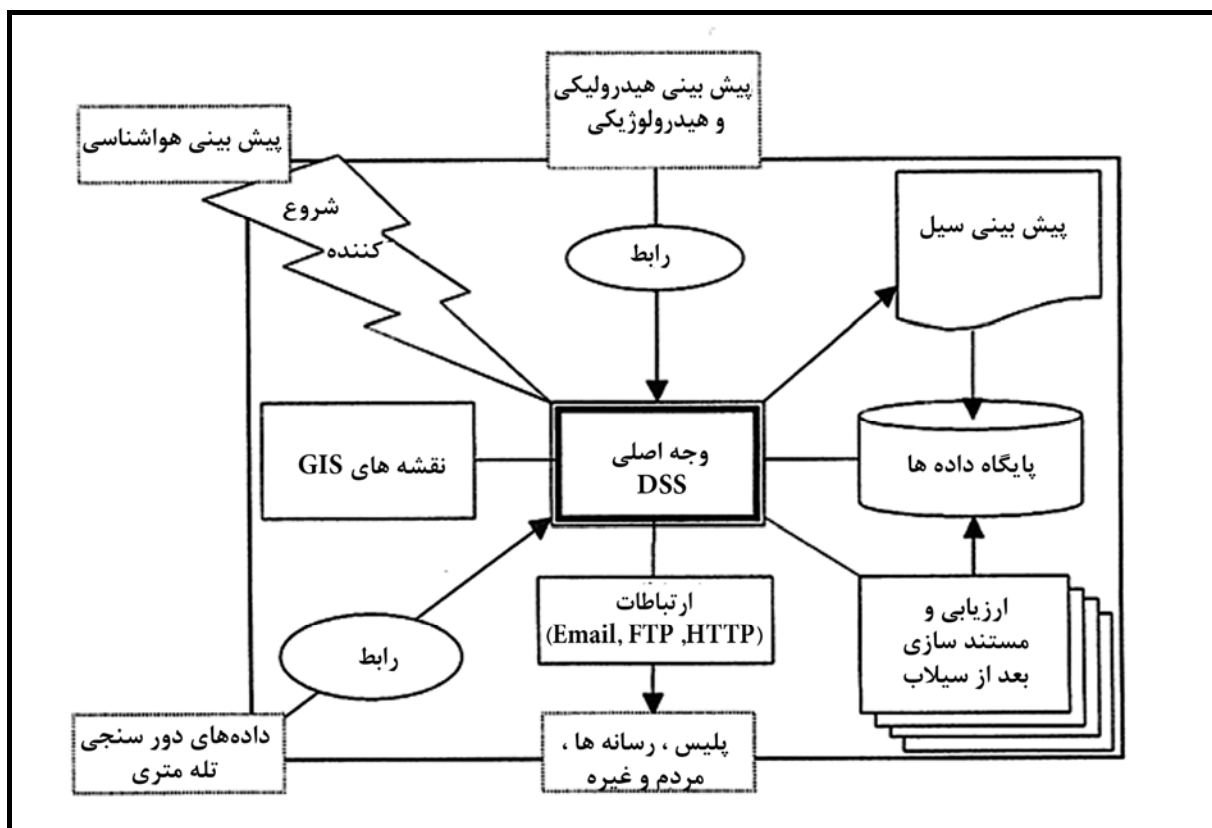
مهم در انجام تحلیل‌های سوابق گذشته جهت ارزیابی عملکرد مدل و ارتقای مدل‌ها و پارامترهای تصمیم‌گیری محسوب می‌گردد. بدین ترتیب ارزیابی‌های صورت گرفته توسط متخصصین از حوادث گذشته و درجه سیلاب در پایگاه داده‌ها ذخیره می‌گردند.

– **زیرسامانه‌های تکمیلی:** روش GIS به‌منظور قابل مشاهده نمودن موقعیت نسبی مسیر آبراهه‌ها، موقعیت مراکز امداد اضطراری و راه‌های خروج و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد و این بستگی به در دسترس بودن نقشه‌های دیجیتالی حاوی اطلاعات مربوطه، دارد.

زیرسامانه مخابراتی به‌منظور تسهیل در صدور هشدار سیل، عبارات سیل و دیگر اطلاعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. این زیرسامانه مخابراتی از ابزارنامه الکترونیکی و پروتکل انتقال فایل (FTP)، استفاده می‌نماید. نامه الکترونیکی برای ارسال عبارات مربوط به سیل از مرکز فرمان استفاده می‌شود.

پروتکل انتقال فایل (FTP) به‌منظور ارسال و دریافت اطلاعات و داده‌ها بین مرکز فرمان و دیگر سرویس‌دهنده‌های FTP مورد استفاده قرار می‌گیرد.

FTP ها می‌توانند با کمک سامانه HTTP جهت تولید صفحات هشدار سیل در اینترنت به‌صورت خودکار و روزانه به کار گرفته شوند. بدیهی است این صفحات می‌توانند از طریق اینترنت در اختیار عموم قرار گیرند. استفاده از سامانه‌های سنتی مخابراتی از قبیل تلفن و دورنما هنوز هم برای مراکز فرمان دارای اهمیت است. شکل (۷-۵) ارتباط بین زیرسامانه‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۵- نمایش عملیاتی سامانه هشدار سیل - پشتیبانی تصمیم‌گیری

در اکثر سامانه‌های هشدار سیل - پشتیبانی تصمیم‌گیری پیشرفته، سامانه پیش‌بینی سیل به‌صورت هوشمند در مقابل سیلاب عمل می‌کند و تمام مراحل پردازش سامانه به محض ایجاد شرایط بحرانی برای وقوع سیلاب فعال می‌شوند. برای رسیدن به این مقصود، زیرسامانه پایش، شرایط آب و هوایی را در زمان واقعی و به‌صورت پیوسته به مرکز جمع‌آوری اطلاعات مخابره می‌کند. در این مرکز هیدروگراف سیل در نقاط مختلف حوضه آبریز تهیه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در صورت پتانسیل وقوع سیل، در مرکز سامانه‌ی پیش‌بینی سایر مولفه‌های موثر از قبیل مدل‌های پیش‌بینی هیدرولوژی - هواشناسی، شبکه سنجش از دور و پایگاه داده‌های مرتبط ایفای نقش می‌نمایند.

۷-۳-۲- شرح مختصر عملکرد اجزای مختلف سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری - هشدار سیل

سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری - هشدار سیل شامل سامانه‌ی هشدار، سامانه‌ی ساماندهی، تشکیل بانک اطلاعاتی مرتبط با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و زیرسامانه‌های ارتباطات است. آستانه‌های تراز سطح آب یا ارتفاع بارش در مقاطع و ایستگاه‌های مشخص تعریف می‌گردند که بدین‌وسیله درجه سیلاب به تراز سطح آب یا ارتفاع بارش مربوط می‌گردد و تعداد آستانه‌های تعیین‌شده به تعداد درجات سیلاب که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود، بستگی دارد.

می‌توان از سه آستانه استفاده نمود که بدین طریق سیلاب به سه درجه طبقه‌بندی می‌شود:

- اگر از آستانه ۱ تجاوز گردد درجه سیلاب ملایم است.
- اگر از آستانه ۲ تجاوز گردد درجه سیلاب مهم است.
- اگر از آستانه ۳ تجاوز گردد درجه سیلاب شدید است.

متناسب با هر درجه از سیلاب، باید فعالیت و عکس‌العمل‌های مرتبط و موثر توسط مسوولان و عامه‌ی مردم صورت گیرد. سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری دارای قابلیت اضافه نمودن، حذف نمودن یا بازنگری در عملیات واکنشی به یک سیلاب با درجه خاص است. فهرست فعالیت‌های مورد نظر به صورت خودکار در صفحات سیلاب تولید شده توسط زیرسامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری لحاظ می‌گردد و در واقع فهرست فعالیت‌ها انعطاف‌پذیر است. بنابراین می‌شود سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری را به مرور و با کسب تجربیات بیش‌تر ارتقا داد. علاوه بر تصمیمات روزانه‌ای که توسط این سامانه با توجه به درجه مورد انتظار سیلاب اتخاذ می‌شود، زیرسامانه پایگاه اطلاعات مدل دارای قابلیت لحاظ نمودن درجه مشاهده‌ای سیلاب نیز است. واضح است که میزان گسترش سیلاب باید توسط یک فرد متخصص برآورد گردد. در این صورت پس از جمع‌آوری داده‌ها به اندازه کافی، متخصصین مربوط قادر خواهند بود مکان و زمان درجه سیلابی که به‌صورت اشتباه پیش‌بینی شده را بازنگری نمایند. در نتیجه می‌توان مولفه‌های مدل‌ها و پارامترهای تصمیم‌گیری سامانه را مورد ارزیابی قرار داد.

۷-۳-۳- آستانه‌های درجه‌ی سیلاب

بنابه تعریف، سیلاب به ناحیه‌ای از هیدروگراف که بالای تراز سیلابی واقع می‌گردد اطلاق می‌شود. این تعریف برای حالت سیلاب رودخانه‌ای مناسب است. در حالت وقوع تندسیلاب شهری، تشخیص دادن مرز جریان مشکل است، به این دلیل که جریان از

مسیر مشخصی تبعیت نمی‌نماید و بنابراین در اختیار داشتن آستانه‌ای که توسط آن بتوان بین حالات سیلابی و غیرسیلابی تفاوت قائل شد امری مشکل است.

مقادیر آستانه سیلاب با استفاده از سرعت یا آبدهی جریان یا تراز سطح آب سیلاب تعیین می‌گردند. ترکیب پارامترهای عمق آب‌گرفتگی و سرعت به صورت وزن‌دار نیز می‌تواند مورد استفاده واقع شود. گزارش‌های اخیر سازمان مطالعات زمین‌شناسی آمریکا (USGS) بیان می‌دارد که املاک و دارایی‌ها توسط آب حاوی رسوب دچار خسارت می‌شوند.

۷-۳-۱- تفاوت ترازهای آستانه سیلاب مورد استفاده برای مرحله هشدار و مرحله ساماندهی

ترازهای آب متناظر با آستانه‌ها از اهمیت یکسانی در زیرسامانه ساماندهی و زیرسامانه هشدار سیل برخوردار هستند. با این حال، بزرگی ترازهای آستانه سیلاب بنا به دلایل زیر لزوماً برای زیرسامانه‌های هشدار و ساماندهی یکسان نیستند:

- مکان نصب تجهیزات پیش‌بینی و هشدار سیل با مکانی که پیش‌بینی و هشدار سیلاب برای آن انجام می‌شود متفاوت است. توضیح این که تجهیزات مربوط بر روی سازه‌هایی از قبیل پل‌ها نصب می‌شوند درحالی که پیش‌بینی مدل برای مکان‌های دیگری صورت می‌گیرند.

- میزان اضطراب برای ایجاد آمادگی در جمعیت ساکن برای سیلاب‌های محتمل با آماده نمودن مردم برای شروع انجام عملیات ساماندهی یکسان نیست.

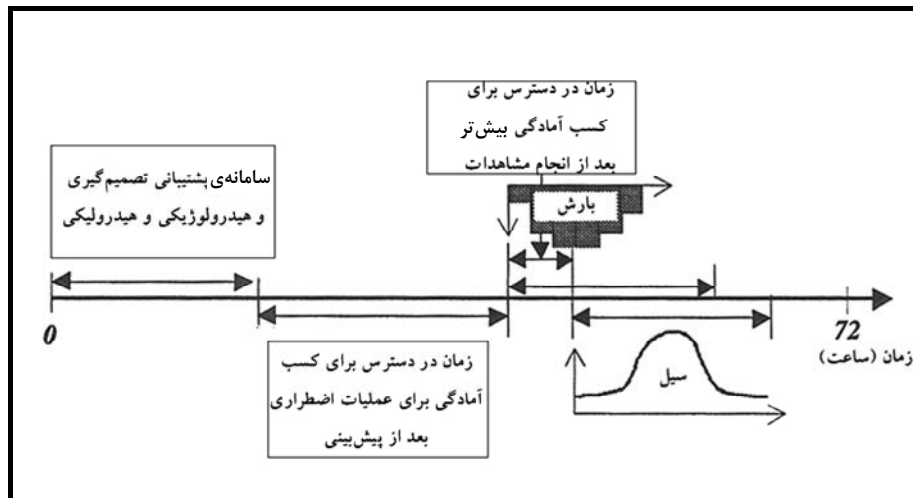
- سطح عدم قطعیت مربوط به سامانه‌های هشدار سیلاب و ساماندهی متفاوت هستند. دلیل این امر این است که زیرسامانه هشدار سیل با داده‌های پیش‌بینی سیلاب کار می‌کند درحالی که زیرسامانه‌های ساماندهی داده‌های مشاهده‌ای را مورد استفاده قرار می‌دهند.

- فیزیک پدیده سیلاب به گونه‌ای است که مشخصه‌های آن در شاخه صعودی هیدروگراف با شاخه نزولی متفاوت است. دلیل این امر آن است که سیلاب فروکش‌کننده دارای آبدهی و سرعت کم‌تر از سیلاب در زمان شروع است درحالی که هر دو می‌توانند دارای تراز مشابهی باشند.

برای پیش‌بینی و هشدار سیل به پارامترهای مشاهده شده در بالادست حوضه نیاز است؛ در حالی که پارامترهای مورد نیاز برای ارزیابی اثرهای سیل جهت ساماندهی و بازسازی (به طور مثال تراز سیل) علاوه بر این که از نقاط پایین دست حوضه برداشت می‌شوند از حساسیت کم‌تری نسبت به پارامترهای قبل برخوردار می‌باشند.

۷-۳-۲- مجموعه مدل‌های عملیاتی و سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

زمان موثر پیش‌بینی موجود عمدتاً به زمان پیش‌هشدار مربوط به پیش‌بینی هواشناسی بستگی دارد. اگر یک پیش‌بینی ۷۲ ساعته انجام شود، همان گونه که در شکل (۶-۷) نمایش داده شده است، زمان موثر پیش‌بینی سیلاب به زمان پیش‌هشدار مدل‌های هواشناسی، زمان مورد نیاز برای انجام پیش‌بینی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی و زمان مورد نیاز برای تصمیم‌گیری بستگی دارد.



شکل ۶-۷- فرآیند عملیاتی سامانه مدیریت سیلاب

- موارد زیر برای عملیاتی نمودن یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری نمونه پیشنهاد می‌گردند:
- تولید بارش با استفاده از مدل‌های هواشناسی که نمونه معمول آنها GCM یا LAM هستند و یا از طریق تصاویر رادارهای هواشناسی
 - گرافیکی نمودن پیش‌بینی‌های بارش برای حوادث محتمل با ابعاد بزرگ (با پیش‌بینی یک بارش با شدت زیاد، فرآیندهای بعدی را آغاز می‌نمایند)
 - شبیه‌سازی برای پیش‌بینی هیدروگراف تراز سطح آب در نقاط مختلف با استفاده از مدل‌های مختلف هیدرولیکی و هیدرولوژیکی
 - مقایسه نمودن تمام ترازهای سطح آب مرتبط با سری‌های زمانی با ترازهای آب آستانه به منظور تحلیل نمودن ریسک سیلاب در بازه زمانی پیش‌بینی
 - تعیین ترازهای اوج سطح آب در دوره زمانی پیش‌بینی و در زمان‌های رسیدن به ترازهای اوج
 - فراهم نمودن نمایش خروجی گرافیکی از طریق ارتباط با کاربر گرافیکی سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری به شکل لایه‌های نقشه GIS
 - تهیه عبارات مربوط به سیلاب با استفاده از یک فرمت اولیه عبارت سیلاب و تهیه کد HTML برای دسترسی عموم مردم به عبارات نام‌برده از طریق اینترنت
 - تحلیل نتایج بررسی شده در مورد نیاز به صدور هشدارها به مسوولین مرتبط (نیروی انتظامی، آتش‌نشانی و بیمارستان)، رسانه‌ها و یا عموم مردم
 - انتقال پیش‌بینی‌ها به داخل سامانه پایگاه داده‌های استاندارد برای مستندسازی
 - صدور هشدار با استفاده از ابزار مخابراتی در دسترس از قبیل تلفن برای عملیات اضطراری، دورنما و ارسال صفحه HTML از طریق یک سرویس‌دهنده اینترنت، ارسال عبارات سیلاب به مسوولین از طریق پست الکترونیکی یا ارسال عبارات سیلاب به یک سایت FTP

- بازنگری سامانه پایش برای تایید موقعیت و نیز به جهت کسب آمادگی برای فعالیت‌های ساماندهی

۷-۳-۴- آسیب‌شناسی سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

دلیل عمده عدم مقبولیت سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری در بین تصمیم‌سازان و سیاست‌گذاران این است که سامانه‌ای که جهت حل‌نمودن مشکلات ویژه طراحی شده است از ارائه راه‌حل مشکلی خاص منحرف شده و مفهوم آن تغییر نموده است. شماری از دلایل عدم موفقیت سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری به‌صورت زیر است:

- وقت‌گیر و پرهزینه بودن سامانه برای کاربران تفصیلی
- پیچیده بودن سامانه به لحاظ عمومی
- عدم قطعیت خروجی مدل
- مشارکت محدود کاربران در مرحله توسعه
- عدم ارائه آموزش‌های لازم به کاربران (این در حالی است که سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری صرفاً در صورت ارائه آموزش صحیح می‌تواند مورد استفاده موثر واقع شود و نتایج حاصل خالی از اشتباه و مفید برای تصمیم‌سازی باشد).
- کاربران همیشه قادر به استفاده از سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری نیستند. به نظر می‌رسد که پتانسیل سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری همیشه به صورت مناسب مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. بعضی از معیارهای موفقیت سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری عبارتند از:
- استفاده مکرر از سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری و موفقیت در ترویج سامانه
- اعتماد سیاست‌گذاران به نتایجی که به استمداد سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری حاصل شده‌اند
- دقت و ظرافت خروجی‌های مدل
- منابع ذخیره شده از قبیل زمان
- توانایی در انجام شبیه‌سازی چند مدله
- توانایی در مخفی نمودن پیچیدگی مدل‌های علمی و افزایش سهولت کاربرد آنها
- آموختن مسایل اجتماعی که در طول توسعه و کاربرد سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری به‌وقوع می‌پیوندد
- توانایی جهت شفاف‌سازی و متناسب‌سازی مراحل تصمیم‌سازی
- ایجاد ساختاری قابل اعتماد در بین مولفه‌های درگیر

۷-۳-۵- دیدگاه‌های اجتماعی

مدیریت سیلاب در نواحی شهری و غیرشهری از آن جهت که با جان و مال مردم درگیر است دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است. از طرف دیگر آثار اجتماعی و اقتصادی ناشی از صدور هشدار غلط دارای اهمیت بیش‌تری است. صدور هشدارهای غلط ممکن است سبب ایجاد بی‌اعتمادی در ساکنین گردد. تصمیم به صدور هشدار به جمعیت باید با آگاهی لازم صورت پذیرد تا بدین طریق از بروز بی‌تفاوتی یا دستپاچگی جلوگیری شود. به این منظور اضافه نمودن یک مولفه آموزشی به سامانه از طرف کارشناسان برجسته جهانی توصیه شده است.

فصل ۸

سامانه‌ی ترکیبی پایش تا پشتیبانی

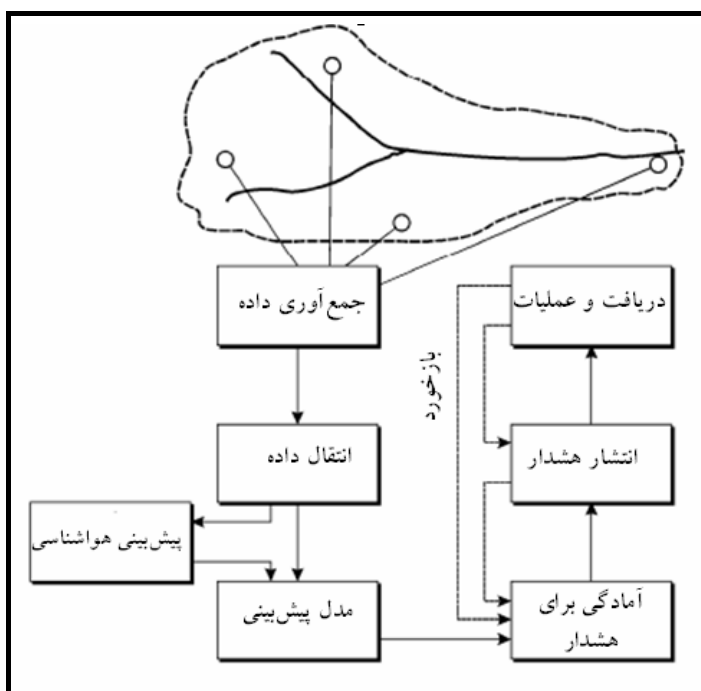
تصمیم‌گیری در زمان واقعی

۸-۱- کلیات

پایش پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی و جمع‌آوری داده‌های مربوط جهت تولید اطلاعات به‌منظور پیش‌بینی مخاطرات هیدرولوژیکی از جمله سیلاب و آمادگی و مقابله با آن مورد استفاده واقع می‌شوند. به‌طور کلی، اندازه‌گیری پارامترها برای توصیف کردن زوایای مختلف یک سیلاب، مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال داده‌های شدت جریان اندازه‌گیری شده رودخانه به خودی خود اطلاعات مربوط به یک مخاطره تلقی نمی‌گردد و بلکه در تهیه اطلاعات یک مخاطره طبیعی (سیلاب) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این رابطه، کتابخانه‌ها و پایگاه داده‌ها ابزارهای مفیدی جهت حفاظت از داده‌ها محسوب می‌گردند. اطلاعات یک مخاطره هیدرولوژیکی با استفاده از تفسیر داده‌های پایش شده براساس چارچوب‌های ویژه تحلیلی و مفاهیم مربوط تولید می‌گردد. تفسیر داده‌ها به‌منظور تولید اطلاعات توسط متخصصین علم هیدرولوژی و دیگر علوم، مهندسين، سياست‌گزاران و عامه‌ی مردم انجام می‌شود. گروه‌های مختلف مصرف‌کننده داده‌ها از قالب‌های مفهومی مختلف جهت تولید اطلاعات مرتبط با یک هدف خاص استفاده می‌نمایند.

پایش پیوسته پارامترهای خطر، اطلاعات کارآمدی از خطر جهت پیش‌بینی و هشدار سیل به‌دست می‌دهد. به‌علاوه، با استفاده از اطلاعات حاصل می‌توان میزان خسارت‌های حاصل از سیل را پیش‌بینی نمود و برای جبران آنها برنامه‌ریزی نمود.

شکل (۸-۱) ارتباط مرحله پایش سیل را با سایر زیر سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱- نمایش مرحله جمع‌آوری داده به‌عنوان شروع‌کننده عملیات هشدار سیلاب

اطلاعات هیدرولوژیکی ممکن است جهت پیش‌بینی و یا درک موارد زیر مفید باشند:

- احتمال وقوع حوادث خطرناک
- عواقب مضر حوادث
- جریان‌های پیچیده اطلاعاتی که بین حوادث و عواقب مخاطره‌آمیز آنها ارتباط برقرار می‌نمایند.

۸-۲- نقش پیش‌بینی هیدرولوژیکی در تصمیم‌گیری و مدیریت حوضه

یک سامانه پیش‌بینی هیدرولوژیکی زمان واقعی، یک سامانه‌ی عملیاتی در خدمت تصمیم‌گیری محسوب می‌شود. کاربردهای مختلف این سامانه عبارتند از:

- مدیریت سیل (پایش مناطق زیر آب رفته، مخازن آب، اطلاعات مربوط به ساکنین نواحی مجاور رودخانه و...)
- مدیریت جریان‌های با شدت کم و رهانمودن اضطراری آب در مواقع خشکسالی به منظورهای آبیاری، مهار آلودگی و...

۸-۲-۱- شرح اجزای عمومی سامانه مدیریت حوضه

یک سامانه‌ی عمومی مدیریت منابع آب حوضه از اجزای زیر تشکیل یافته است. شکل (۸-۲) یک سامانه‌ی پایش با قابلیت ارسال از راه دور داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی و کیفیت آب. این اطلاعات از طریق ایستگاه‌های خودکار یا دستی (متکی بر عوامل انسانی) جمع‌آوری می‌گردند و از طریق ایستگاه‌های رایانه‌ای منتقل می‌گردند.

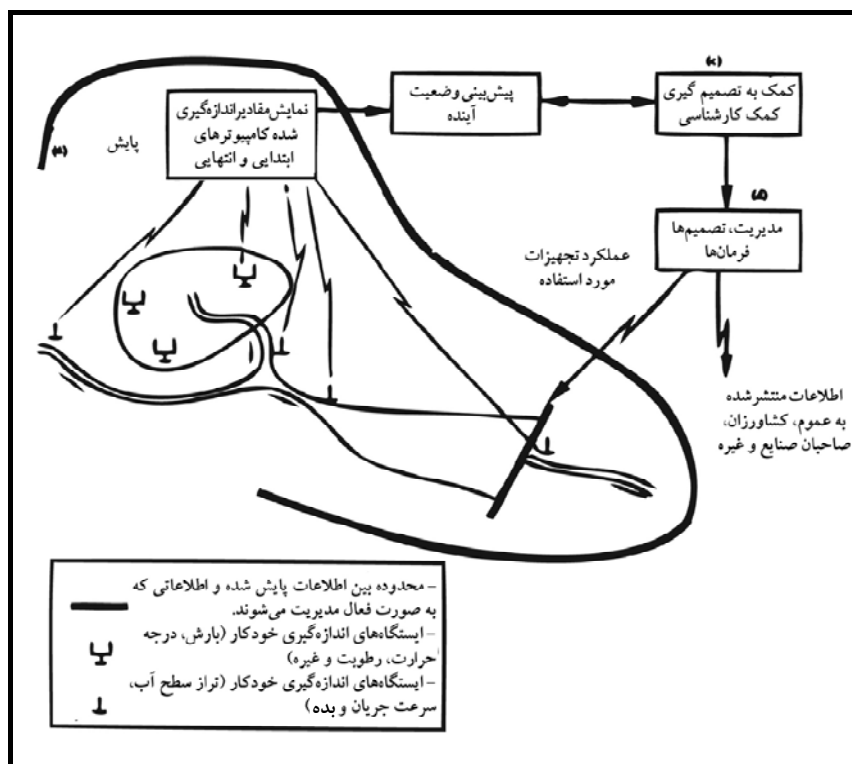
یک سامانه‌ی پیش‌بینی نرم‌افزاری که قادر است از معیارهای اندازه‌گیری شده برای پیش‌بینی شرایط آینده استفاده نماید و این کار با ملاحظه توسعه موقعیت طبیعی حوضه از یک طرف و امکان مداخله در مدیریت از طرف دیگر صورت می‌گیرد. این سامانه از یک نرم‌افزار شبیه‌سازی قابل اعتماد، مدل‌های کالیبره شده و پایگاه‌های اطلاعاتی (مثلاً برای داده‌های تاریخی و داده‌های موجود) تشکیل شده است. این امر با استفاده از یک مولفه نرم‌افزار مدیریتی ویژه که جریان اطلاعات را از طریق دیگر اجزا هدایت می‌نماید مدیریت می‌گردد.

سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری که پیش‌بینی را ارزیابی نموده و به زبان مشترکی برمی‌گرداند و بدین طریق عواقب تغییرات طبیعی یا تغییرات حاصل از دخالت‌های انسانی در حوضه را روشن می‌نماید.

مدیریت عملیاتی حوضه بر مبنای دانش و اطلاعات موجود از موقعیت‌های حال و آینده. این نوع مدیریت از طریق تصمیمات و اطلاعاتی که به ادارات، کمیته‌ها و جمعیت‌ها مخابره می‌گردد به انجام می‌رسد. دامنه تصمیمات اخذ شده متنوع بوده و به‌طور مثال موارد زیر را در بر می‌گیرند: مانور سد، دریچه‌ها و ایستگاه‌های پمپاژ، تخلیه مناطق سیل‌زده، ارائه دستورالعمل‌های مربوط به جریان‌های آلوده صنعتی به‌عنوان تابع پذیرش ظرفیت مجاری آب.

سامانه‌ی مخابراتی قابل اطمینان قادر به ارسال داده‌ها، اطلاعات و تصمیمات اخذ شده در بین تمام اجزای سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری است. شبکه مخابراتی زیربنای سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری و آسیب‌پذیرترین بخش آن است. به‌علت وابستگی به شرایط محلی و طبیعی و اصول فنی، این بخش نیازمند یک نرم‌افزار ویژه برای مدیریت نمودن، ارسال اطلاعات و تبادل بین اجزای مختلف حلقه و پایگاه‌های اطلاعاتی است.

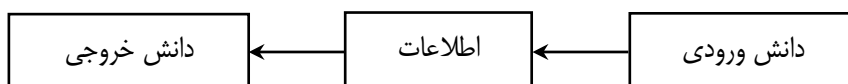
همواره باید توجه داشت که یک مولفه از حلقه کنترل، تصمیمات موثر انسانی است که نمی‌تواند در زمینه مدیریت ریسک طبیعی با رایانه جایگزین گردد. درحالی‌که مولفه‌های دیگر می‌توانند با فن‌آوری اطلاعات جایگزین شوند.



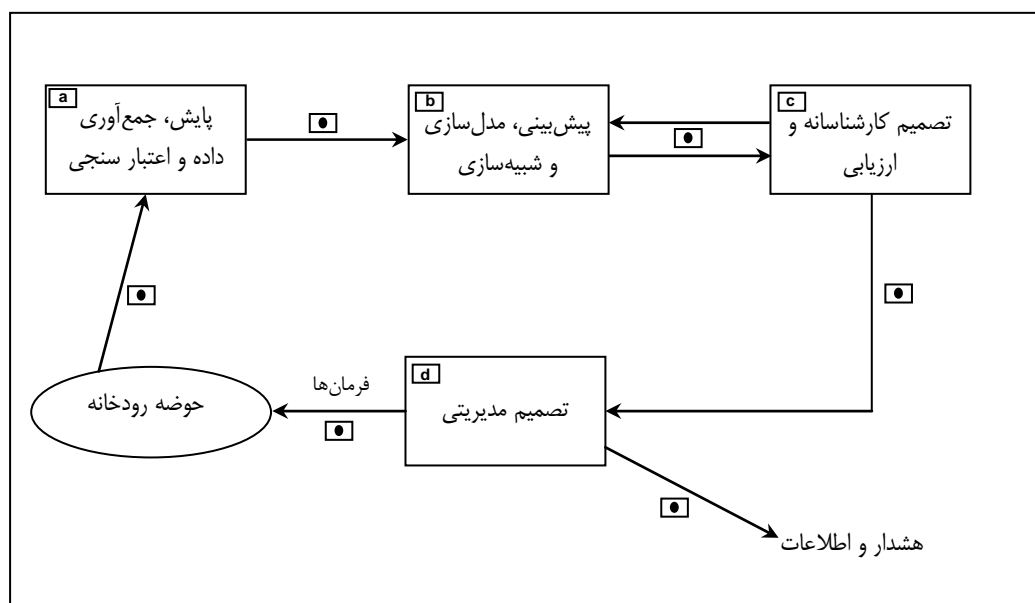
شکل ۸-۲- نمایش سامانه مدیریت پیش‌بینی در مدیریت حوضه

۸-۲-۲- نقش مدیریت دانش در سامانه‌ی مدیریت منابع آب حوضه

در شکل (۸-۳) حلقه مدیریت ریسک طبیعی حوضه رودخانه‌ای نمایش داده شده است. یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری، ترکیبی از ابزار الکترونیکی و نرم‌افزاری است که اطلاعات را مخفی یا پردازش می‌نماید و به‌طور کلی مطابق الگوی طراحی شده به این صورت تعریف می‌گردد:



مقادیر تراز آب، بارش، اطلاعات سطح مقطع، معادلات دیفرانسیل جزئی توصیف کننده جریان رودخانه و... به شکلی تبدیل می‌گردند که برای ما بی‌معنی می‌شوند اما مناسب فن‌آوری دیجیتال هستند (از قبیل سیگنال‌های الکترونیکی). سپس اطلاعات اولیه به کمک سامانه‌ی فن‌آوری اطلاعات پردازش شده و با دانش و اطلاعات سامانه ترکیب می‌گردند.



شکل ۸-۳- نمایش شماتیک حلقه مدیریت ریسک طبیعی حوضه رودخانه‌ای

یک پیش‌بینی‌کننده یا تصمیم‌گیرنده به‌طور معمول، تمام نتایج تغییرات سطح آب و شدت جریان تحت‌تاثیر سیاست‌ها و سناریوهای مختلف و نیز کلیه عواقب اجتماعی-اقتصادی (خسارت‌ها، تعداد افرادی که باید جابجا شوند، اولویت‌های خطر و غیره) را در دسترس دارد. در این حالت شخص تصمیم‌گیرنده از درک و ایده بالاتری نسبت به دانش تزریق شده به داخل سامانه از طریق سامانه‌ی جمع‌آوری داده و پایگاه اطلاعاتی برخوردار است. سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری به‌نحوی از مدل استفاده می‌نماید که کاربران به تفکر واداشته می‌شوند. در این صورت کاربران واقعیت‌های موجود را زمانی بهتر درک می‌کنند که مدل‌ها خوب کالیبره شده باشند.

واسنجی مدل‌ها همواره مشکل‌آفرین بوده است. مدل‌ها ابزاری برای سازماندهی نمودن تفکر، به آزمون گذاشتن ایده‌ها برای آگاهی از میزان مطلوبیتشان و تعیین نقاط حساسیت آنها هستند. همچنین مدل‌ها، تجارب مهم را به فرمول درمی‌آورند و بدین شکل تئوری‌ها را مورد آزمایش قرار می‌دهند و در نهایت خروجی‌هایی به دست می‌دهند که بدون استفاده از مدل قابل حصول نیستند. آشکار است که هر نکته‌ای که برای یک مدل صدق می‌کند برای سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری یا هر سامانه دیگری که با آن مدل کار می‌کند نیز صدق می‌نماید.

۸-۳- نقش پایش و پیش‌بینی سیل در هشدار زودهنگام

پایش محیط زیستی، پیش‌بینی و هشدار سیل و نیز انتشار، آن فعالیت‌هایی هستند که باید به‌صورت نظام‌مند و استقرار یافته انجام شوند. متخصصین هواشناسی و هیدرولوژی با انجام امور زیر در یک نقطه خاص از رودخانه قادر به کاهش اثرهای سیل هستند:

- پیش‌بینی روزانه هواشناسی
- هشدار قبلی در مورد شرایط بالقوه خسارت‌زا
- پیش‌بینی تراز آب رودخانه

– پیش‌بینی سیل (نرخ جریان، زمان وقوع، زمان رسیدن به اوج سیلاب و...)

– پایش و ارائه داده‌های زمان واقعی هواشناسی

هشدار تندسیلاب‌های شهری که بر اثر توفان‌های شدید به وقوع می‌پیوندند اغلب دارای عدم قطعیت هستند. پیش‌بینی باید به‌هنگام و دقیق باشد و شامل یک برنامه برای افزایش آگاهی مردم باشد تا به آنها پیام‌زده که بعد از دریافت هشدار چه عملی انجام دهند.

احداث یک مرکز پیش‌بینی و هشدار سیل برای جوامعی که دسترسی به داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی دارند و در معرض تندسیلاب‌ها هستند الزامی است. در مرحله‌ی بعد توسعه سامانه‌ی پیش‌بینی و استقرار یک سامانه مخابراتی برای انتشار پیش‌بینی‌ها لازم است. تصاویر رادار و ماهواره‌ای، شدت باد و مقادیر بارش مورد انتظار به افزایش دامنه زمان هشدار برای سیلاب در حال وقوع کمک می‌نمایند. در این چارچوب برنامه‌ای واحد برای تعیین روند پیش‌بینی، هشدار، ایجاد انگیزه برای جابجایی و تخلیه مورد نیاز است. اجزای چنین برنامه واحدی عبارتند از:

– سامانه‌ی پایش سیل که مجهز به تجهیزات مورد نیاز، انسان‌افزار و روندهای مرتبط با جمع‌آوری داده‌های بارش و رواناب، انجام تحلیل‌های سیل و انجام پیش‌بینی‌ها باشد.

– مدیریت ریسک جریان‌های پیش‌بینی شده در مناطق سیل‌زده و صدور هشدار به موسسات و سازمان‌های مربوط و جمعیت‌های درگیر

– سیاست اطلاع‌رسانی به جهت ایجاد آگاهی در مورد مشکلات سیلاب و اطلاع‌رسانی سریع به مردم

– طرح عملیاتی شرایط اضطراری که مستلزم تعیین عملیاتی است که قبل از سیلاب، در حین سیلاب و بلافاصله بعد از سیلاب در سناریوهای مختلف باید انجام گیرند

– برنامه مدیریت نگهداری سیل برای به روز نمودن، آزمایش و پایش شرایط سیل، هشدارها و طرح عملیاتی شرایط اضطراری

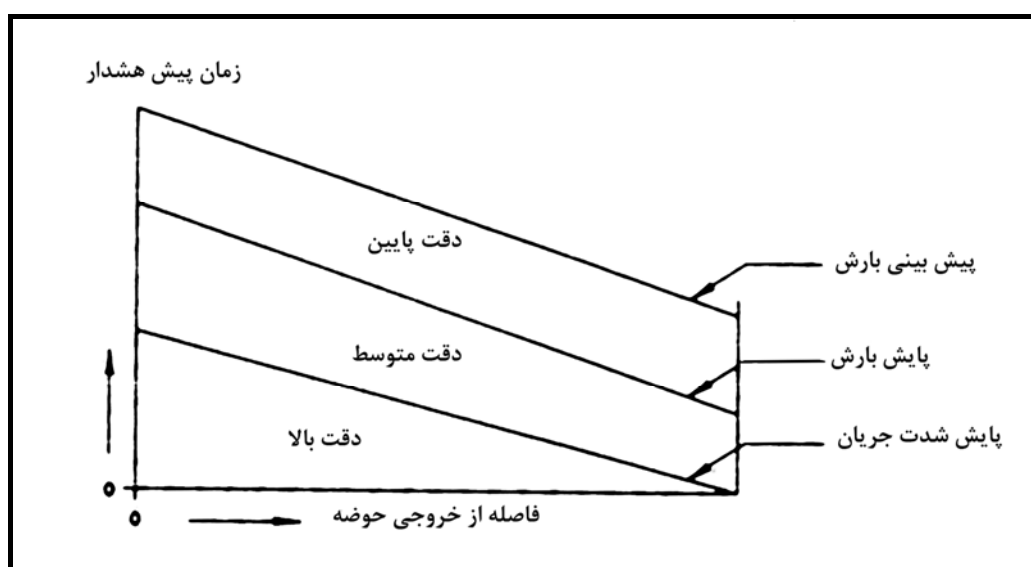
۸-۳-۱- ارتباط دقت پایش با پیش‌بینی و زمان پایش هشدار

پیش‌بینی هیدرولوژیکی اولین عامل موثر در تخمین پدیده‌های هیدرولوژیکی محتمل در زمان واقعی است. حداقل زمان پایش هشدار لازم جهت پیش‌بینی از طریق مشاهده تراز سطح آب حاصل می‌گردد و این خود از طریق پایش نمودن دورترین نقطه قابل مشاهده در رودخانه امکان‌پذیر است.

دامنه روش‌های پیش‌بینی از روش رگرسیون ساده گرفته تا روش استفاده از مدل‌های روندیابی هیدرودینامیکی جریان، متغیر است. با این حال زمان پایش هشدار حاصل حتی با توجه به زمانی که صرف حرکت جریان حاصل از بارش در نقاط مشاهداتی بالادست حوضه تا پایین دست حوضه می‌گردد بسیار اندک است.

انجام یک پیش‌بینی بارش کیفی با مدل‌سازی بارش - رواناب مشابه به طور قابل توجهی به زمان پایش هشدار پیش‌بینی می‌افزاید.

از آنجایی که سامانه هشدار سیل^۱ زودهنگام (FEWS) در زودترین زمان ممکن باید وقوع سیل را پیش‌بینی نماید، موثر بودن سامانه به پیش‌بینی و تخمین بارش حوضه و پیش‌بینی در زمان واقعی وابسته خواهد بود. برای سیلاب پایین‌دست حوضه، مدل‌سازی جریان رودخانه‌ای و مدل‌سازی بارش - رواناب بر مبنای بارش بالادست حوضه لازم است. نمودار ارائه شده در شکل (۴-۸) ارتباط افزایش زمان پیش‌هشدار و نوع پایش را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸- نمایش ارتباط بین زمان پیش‌هشدار و نوع پایش

۸-۳-۲- روند توسعه سامانه‌های پایش و پیش‌بینی سیلاب

در طراحی سامانه‌های عملی پایش و هشدار سیل، قابلیت کنترل سامانه بسیار مهم تلقی می‌شود. معیارهای طراحی سامانه به‌گونه‌ای تعیین می‌شوند که به کاهش ریسک سیلاب یا حجم خسارات قابل پیش‌بینی منجر شود. در تعیین حداقل زمان عملی و موثر مورد نیاز جهت به‌وقوع پیوستن معیارهای فوق باید در نظر داشت که حداقل زمان مورد نیاز بین ۶ تا ۸ ساعت جهت اجرای یک طرح استراتژیکی تخلیه است.

به‌سادگی قابل درک است که در رودخانه‌های بزرگ که سرعت حرکت امواج سیلاب نسبتاً کم است، این مدت زمان ۶ تا ۸ ساعت مورد نیاز برای زمان پیش‌هشدار عموماً با پایش تراز رودخانه و یا شدت جریان در بالادست قابل حصول است. در حوضه‌های کوچک‌تر برای افزایش زمان پیش‌هشدار باید از پارامتر زمان تمرکز حوضه، بارش اندازه‌گیری شده و مدل بارش - رواناب استفاده نمود. در حوضه‌های کوچک کوهستانی با شیب زیاد برای حصول زمان پیش‌هشدار لازم، استفاده از پیش‌بینی بارش حتمی است. به این مفهوم که به اصطلاح متخصصین هواشناسی پیش‌بینی کوتاه‌مدت و پیش‌بینی زمان حال در سامانه دخیل گردند. بدین طریق بارش پیش‌بینی شده برای ۳ ساعت بعد، ۶ ساعت بعد تا ۱۲ ساعت آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت. شایان ذکر است که هرچه جزئیات بیش‌تری در سامانه لحاظ شود، پیش‌بینی صورت گرفته دارای عدم قطعیت بیش‌تری خواهد بود. بنابراین بسیار مفید است که به اندازه کافی جزئیات مورد نظر قرار گیرد و مولفه‌های تصادفی مورد نیاز برای به حداقل رساندن خطای باقی‌مانده به سامانه اضافه شود.

تصمیم‌گیرندگان به‌طور قابل توجهی به استفاده از سامانه‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری که گزینه‌ها را به صورت گرافیکی ارائه می‌نمایند علاقه‌مند شده‌اند. این سامانه‌ها زیان‌ها و فواید ناشی از تصمیمات اخذ شده را با شبیه‌سازی نمودن عواقب ناشی از گزینه‌های منتخب به‌دست می‌دهند.

۸-۴- طراحی سامانه‌های پایش سیل-پشتیبانی تصمیم‌گیری

با توجه به پیچیدگی مولفه‌های مختلف مورد استفاده در سامانه، تحلیل و بررسی میزان پیچیدگی مولفه‌های مورد اشاره، قبل از ایجاد یک سامانه نرم‌افزاری-سخت‌افزاری عملیاتی، امری موثر محسوب می‌شود. در فرآیند تصمیم‌گیری تحت یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری یکپارچه، چارچوب کاری یک فرآیند نمونه به صورت زیر است:

- سامانه جمع‌آوری داده
- پیش‌بینی بارش (با استفاده از مدل‌های قطعی و تصادفی)
- پیش‌بینی بارش و رواناب (مدل‌های قطعی و تصادفی)
- روندیابی سیل و مدل‌های سیلابدشت
- شرح فرآیند تصمیم‌گیری
- برنامه‌های بهینه‌سازی چند معیاره
- سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی
- هوش مصنوعی و سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری

پیش‌بینی‌های کیفی بارش وارد یک مدل بارش-رواناب و یک مدل روندیابی سیل می‌شوند تا یک پیش‌بینی زمان واقعی و یک تحلیل آسیب‌پذیری در مناطق مستعد به سیلاب به انجام برسد.

بر مبنای یک برنامه بهینه که توسط یک سامانه خبره تهیه می‌شود، گزینه‌های راه‌حل استنباط می‌گردند و به تصمیم‌گیرندگان ارائه می‌گردند و این برنامه در فرمت گرافیکی بر مبنای سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) که با مدل رقومی دیجیتالی ترکیب شده ارائه می‌شود.

۸-۵- طرح سامانه عملیاتی پیش‌بینی سیل - سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

آنچه در بیش‌تر کشورها به‌عنوان یک سامانه‌ی عملیاتی پیش‌بینی عنوان می‌گردد عمدتاً ترکیبی از سامانه‌های زیر است:

یک سامانه جمع‌آوری داده از راه دور داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی

یک مدل مفهومی بارش-رواناب و روندیابی سیل

یک برون‌یابی تصادفی برای گسترش پیش‌بینی ورای بازه زمانی موجود

یک سامانه‌ی عملیاتی پیش‌بینی سیل در زمان واقعی، یک سامانه مرکب منطبق بر نیازهای واقعی برای پیش‌بینی زمان

پیش‌هشدار است.

مولفه‌های مورد نیاز یک سامانه‌ی عملیاتی پیش‌بینی سیل عمدتاً شامل موارد زیر است:

- زیرسامانه جمع‌آوری داده
- مدل میدانی بارش (قطعی و تصادفی)
- مدل حوضه‌ای (قطعی و تصادفی)
- سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

شماری از مولفه‌های فوق به‌طور مختصر در بخش‌های بعدی توضیح داده می‌شوند.

۸-۵-۱- زیرسامانه جمع‌آوری داده

زیرسامانه‌ی جمع‌آوری داده می‌تواند مبتنی بر سنجش از راه دور و داده‌های حاصل از رادارهای هواشناسی باشد. آنچه در انتخاب ابزار جمع‌آوری داده مهم است کیفیت و دقت داده‌های جمع‌آوری شده است. یکی از مهم‌ترین ملزومات سامانه جمع‌آوری داده‌ها، توانایی آنها در پوشاندن فواصل خالی موجود در بین داده‌ها است که بر داده‌های خام تاثیر می‌گذارد و این به دلیل خطا در جمع‌آوری داده و ارسال داده‌ها به‌ویژه در دوره‌های توفانی است. جهت رفع این نقص می‌توان داده‌های گمشده را با استفاده از روش فیلتر کالمن تخمین زد. این امر در زمان واقعی انجام می‌شود و در صورتی که تعداد ایستگاه‌ها اندک باشند نیز موثر واقع می‌گردد.

برای پیش‌بینی بارش، تنها استفاده از روش قطعی کفایت نمی‌کند. تصمیم‌گیرنده بر مبنای عدم قطعیت‌های آینده تصمیم‌گیری می‌کند و لازم است عدم قطعیت‌ها به‌نحوی ملحوظ شود.

۸-۵-۲- مدل‌های حوضه

مدل‌های حوضه‌ای دامنه گسترده‌ای از مدل‌های کاملاً تصادفی تا مدل‌های قطعی را در بر می‌گیرد. توافق گسترده‌ای در بین کاربران برای استفاده از مدل‌های نیمه‌توزیعی وجود دارد. در سال‌های اخیر با دسترسی به سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) و الگوی بارش راداری، شماری از مدل‌های توزیعی ساده‌تر ظاهر شده‌اند که اساس آنها روندیابی موج سینماتیکی و بالانس جرم محلی است. اهمیت انتخاب مدل مورد استفاده در عملکرد پایدار مدل در عبور از مرحله واسنجی به مرحله اعتبارسنجی مشخص می‌گردد.

۸-۵-۲-۱- واسنجی مدل^۱

فرآیند اصلاح پارامترهای یک مدل بارش-رواناب در یک محدوده فیزیکی یا منطقی که با استفاده از روش سعی و خطا یا اتوماتیک به‌گونه‌ای که خروجی هیدروگراف حاصل شده با هیدروگراف مشاهداتی با بیش‌ترین دقت ممکن تطبیق داشته باشد.

۸-۵-۲-۲- اعتبارسنجی مدل^۲

فرآیند اثبات دقت و اعتبار پارامترهای واسنجی شده یک مدل هیدرولوژیک است. اعتبارسنجی از طریق مقایسه خروجی‌های شبیه‌سازی شده مدل، بدون تغییر پارامترهای حاصل از واسنجی، با مقادیر مشاهده‌ای که در مرحله واسنجی استفاده نشده‌اند، انجام می‌پذیرد.

۸-۵-۳- سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

با تلفیق سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری با سامانه‌ی جمع‌آوری اطلاعات پیش‌بینی سیل، سامانه ساختار جدیدی پیدا می‌کند. در این چارچوب باید توجه داشت که سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری علاوه بر استفاده از داده‌های زمان واقعی هیدرولوژیکی و هواشناسی از اطلاعات زمینی نیز استفاده می‌نماید.

یک سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری بر سامانه‌ی هوش مصنوعی مبتنی است و باید ملزومات هر مشکل را در نظر داشته باشد. بدین طریق دانش حل مساله، جمع‌آوری داده‌ها و نحوه اجرای مدل‌ها مشخص می‌شوند.

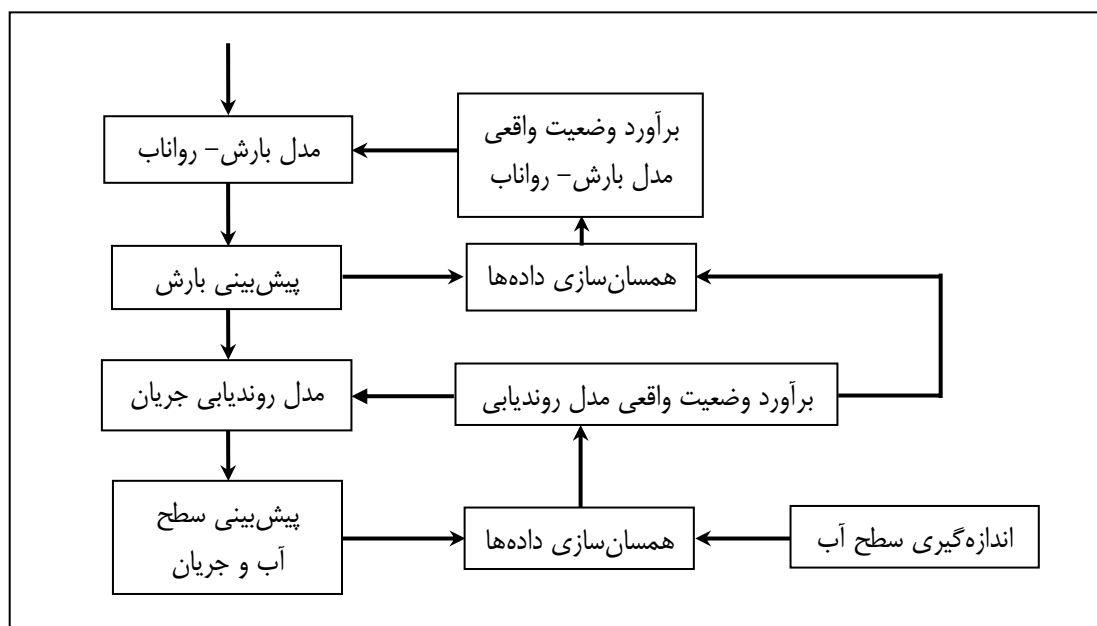
در واقع مدل‌ها ابزاری برای کسب اطلاع از آثار و نتایج تصمیمات اتخاذ شده محسوب می‌گردند. به عنوان نمونه می‌توان از مدل یک‌بعدی جهت تحلیل مناسب بودن آبدهی عبوری از محدوده سیل‌گیری استفاده نمود درحالی‌که مدل دوبعدی جریان برای تخمین محدوده منطقه‌ای که دچار سیل‌گرفتگی می‌شود و آسیب‌پذیری آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سناریوهای آینده تولید شده توسط مدل‌های بارش و بارش - رواناب مورد تحلیل قرار می‌گیرند و نتایج حاصل به‌صورت گرافیکی در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌گیرند. در این راستا، نقشه‌های رقومی دیجیتالی تا آن‌جا که ممکن است باید دیدی واقعی و قابل لمس از خسارات حاصل از گزینه‌های مختلف تصمیم‌های اتخاذ شده در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار دهد (به‌عنوان نمونه تصویر خانه‌های به زیر آب رفته در سیلابدشت به‌صورت گرافیکی).

۸-۶- عملکرد سامانه اطلاعاتی در استفاده موثر از داده‌های حاصل از پایش و پیش‌بینی

روند هیدرولوژیکی و دینامیکی حوضه رودخانه‌ای با استفاده از مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی می‌گردند. مدل مورد استفاده ترکیبی از مدل بارش - رواناب و یک مدل روندیابی جریان است. هر دو مدل به‌طور مستقل و به‌هنگام کار می‌کنند و بنابراین باید از یک روش همسان‌سازی اطلاعات جهت وارد نمودن داده‌های مشاهداتی در تخمین‌ها استفاده گردد.

هر مرحله محاسباتی با انجام پیش‌بینی حاصل از مدل بارش - رواناب آغاز می‌گردد. رواناب محاسبه‌شده حوضه به مدل روندیابی جریان وارد می‌گردد. مدل روندیابی جریان، تراز آب و میزان جریان در کل سامانه رودخانه را محاسبه می‌نماید. ترازهای آب اندازه‌گیری شده برای بهبود بخشیدن تخمین‌های جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. تخمین‌های اصلاح شده جریان در محدوده بالادست به‌عنوان معیارهایی جهت به‌روز نمودن وضعیت مدل بارش - رواناب استفاده می‌شوند. (شکل ۸-۵).



شکل ۸-۵- نمایش عملکرد مدل‌ها در سامانه اطلاعاتی

مدل‌ها از طریق یک ابزار ارتباط با کاربر ویژه اجرا گشته و سپس اندازه‌گیری‌ها و نتایج محاسبات در یک بانک اطلاعاتی موقتی ذخیره می‌گردند. از طریق ارتباط با کاربر، اندازه‌گیری‌ها و نتایج محاسبات برگزیده به‌طور دائم در یک پایگاه داده هیدرولوژیکی ذخیره گردیده و بدین طریق ارزیابی و گزارش‌گیری تسهیل می‌گردد.

۸-۶-۱- کمک به فرآیند تصمیم‌گیری

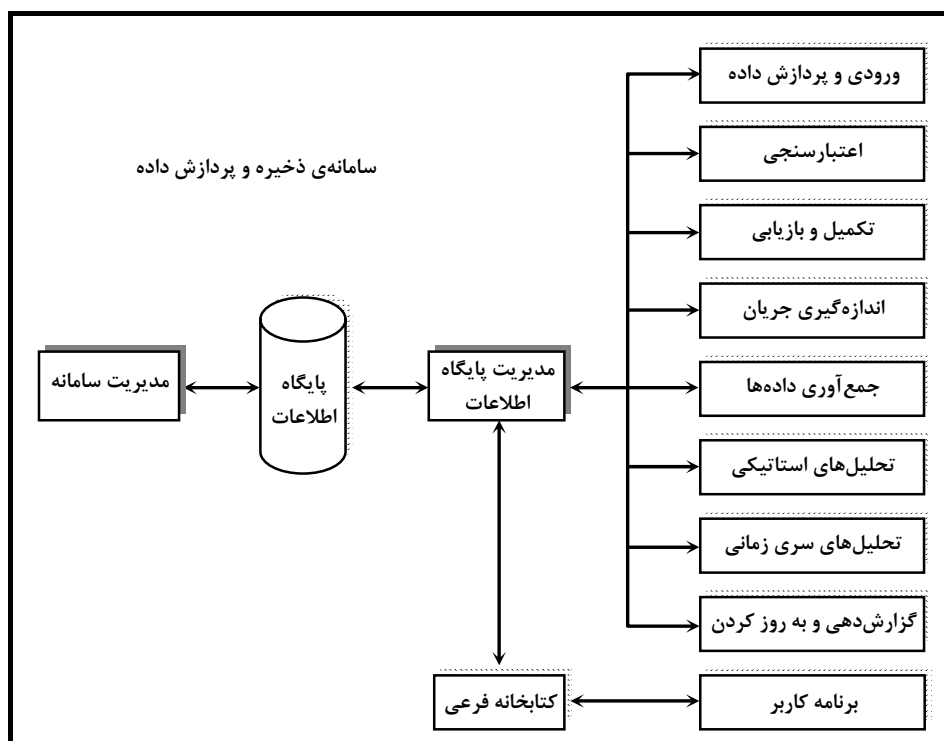
وقتی که داده‌های مورد نیاز در دسترس باشند، تشخیص زمان انتشار هشدار امر مهمی است. ابزار موجود برای تحلیل داده‌ها می‌توانند شامل سامانه‌های دستی ساده و یا ابزاری کاملاً خودکار باشند. سامانه‌های دستی شامل جداول، نمودارها و نمایه‌های مشتق از بارش متوسط و شاخص‌های سیلاب هستند. سامانه‌های رایانه‌ای مشتق بر مولفه‌های مدیریت داده، مدل‌سازی، پیش‌بینی و انتشار هشدار خودکار هستند. بعضی مولفه‌ها ابتدایی یا پیچیده هستند و در تعامل با یکدیگر نیازها و محدودیت‌های یک سامانه‌ی هشدار سیل را برطرف می‌نمایند و بعضی از آنها جهت ارتقای کارایی، قابلیت اعتماد و زمان پیش‌هشدار اصلاح می‌گردند. شماری از مولفه‌های مورد نیاز عبارتند از:

- کنترل کیفیت داده‌های ورودی
- نمایش داده‌های بارش ورودی به شکل جدولی یا نقشه‌ای
- نمایش داده‌های تراز آب به شکل جدولی یا گرافیکی
- نمایش داده‌های هواشناسی سنجنده به شکل جدولی یا گرافیکی
- هشدارهای دیداری یا شنیداری مبتنی بر نرخ بارش، تراز یا نرخ افزایش تراز در یک سنجنده تراز آب، آستانه سرعت باد و غیره
- مدل‌های هیدرولوژیکی با استفاده از بارش زمان واقعی یا پیش‌بینی شده یا اطلاعات هیدروگراف به عنوان ورودی
- تاریخچه حوادث گذشته در ایستگاه‌های خاص در شکل متنی یا گرافیکی

- ارتباط الکترونیکی با نزدیکترین مرکز هواشناسی برای دریافت پیش‌بینی‌ها و هشدارها
 - محصولات راداری و ماهواره‌ای
 - مشاهدات هواشناسی و جریان رودخانه
- در نهایت، یک طرح هشدار سیل باید کیفیت داده‌های مورد نیاز برای اتخاذ تصمیم‌های هشدار سیل را بالا ببرد.

۸-۶-۲- پایگاه داده هیدرولوژیکی و امکانات پردازش اطلاعات

سامانه‌ی پیش‌بینی سیلاب به یک پایگاه داده موقتی جهت گردآوری آخرین داده‌ها و نتایج حاصل از محاسبات مرتبط با پیش‌بینی در حال انجام نیاز دارد. تراز آب و داده‌های بارش مرتباً از طریق ارتباط با کاربر به پایگاه داده‌ها وارد می‌گردند. وجود چنین پایگاه داده‌ای سبب می‌گردد که به مرور یک پایگاه داده دائمی متشکل از داده‌های مورد نیاز و نتایج محاسبات تشکیل گردد. بدین طریق، داده‌های مورد اشاره در فواصل زمانی کوتاه مثلاً هفته‌ای یک بار از پایگاه داده موقتی به داخل پایگاه داده خارجی دائمی منتقل می‌گردند. یک نمونه از این نوع پایگاه داده، پایگاه داده مدل سامانه‌ی هیدرولوژیکی، هیدرولوژیکی دلفت^۱ (Hymos) است. پایگاه داده مورد نیاز می‌تواند به صورتی عمل نماید که هم یک مدیریت پایگاه داده باشد و هم مانند یک بسته‌ی نرم‌افزاری پردازش اطلاعات عمل نماید. این بسته نرم‌افزاری می‌تواند بر روی رایانه‌ای شخصی پیاده و اجرا گردد. این سامانه یک ساختار سهل‌الوصول از داده‌ها در پایگاه داده‌ها به وجود می‌آورد به گونه‌ای که یک مجموعه گسترده از ابزارها برای وارد کردن داده، اعتبارسنجی، تکمیل و تهیه گزارش را شامل می‌گردد (شکل ۸-۶).



شکل ۸-۶- نمایش ساختار بانک اطلاعاتی نمونه

۸-۶-۳- ارتباط با کاربر

سامانه‌ی ارتباط با کاربر دارای یک منوی ابزار است که از طریق آن با سامانه ارتباط برقرار می‌گردد. اهداف این ابزار عبارتند از:

- ایجاد ارتباط با پایگاه داده‌ها
 - وارد نمودن داده‌ها با دارا بودن امکان کنترل نمودن داده‌های ورودی
 - فعال نمودن مدل‌ها به منظور به‌روزرسانی نمودن داده‌ها و پیش‌بینی‌ها
 - گزینش پیش‌بینی‌های بارش (سناریوها) و استراتژی‌های مدیریت حوضه و مخزن
 - قابل مشاهده نمودن (گرافیکی) وضعیت به‌هنگام سیل و نتایج پیش‌بینی‌های مختلف به منظور مقایسه آنها
 - حفظ تنظیمات پیش‌فرض، پیکربندی مدل و پارامترهای مدل
- ارائه‌ی مطلوب نتایج پیش‌بینی‌ها یا وضعیت واقعی رودخانه‌ها به صورت گرافیکی امری قابل توجه است. کدهای رنگی برای نمایش شرایط هشدار، بحرانی و سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرند و سریعاً تحلیل می‌شوند. دستورات وارد شده توسط پیش‌بینی کننده قبل از پردازش کنترل می‌گردند و گزینه‌هایی که نامناسب و نامربوط هستند حذف می‌گردند و یک تابع کمکی (Help) به صورت متنی وجود دارد.

۸-۶-۴- استفاده از فیلتر کالمن برای همسان‌سازی نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها و نتایج حاصل از مدل

در مقایسه، داده‌های حاصل از اجرای مدل‌ها و داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات محلی دارای اختلاف هستند. وجود چنین مشکلی، نیاز به کالیبره نمودن مدل‌ها برای ارائه نتایج واقعی را می‌طلبد. در صورت کارکردن صحیح مدل‌های بارش- رواناب و روندیابی جریان باز هم در مقایسه با واقعیت، اثر دینامیکی فرآیندهای موجود باید مدل گردند. بدین جهت که نتایج محاسبات در یک اجرای درازمدت نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده دچار انحراف می‌گردند و بنابراین کالیبره نمودن پیوسته مدل‌های ریاضی امری ضروری محسوب می‌شود. یک روش مهم مورد استفاده در این راستا استفاده از فیلتر کالمن توسعه یافته است.

فیلتر کالمن یک الگوریتم پردازش اطلاعات است که اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری‌ها را با اطلاعات حاصل از مدل‌های ریاضی ترکیب نموده و این امر به طریقی صورت می‌گیرد که نتایج حاصل حاوی کم‌ترین عدم قطعیت باشند. فیلتر کالمن توسعه یافته در رابطه با سامانه‌های غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرد، درحالی که فیلتر کالمن اولیه در مورد سامانه‌های خطی اعمال می‌شود.

در اولین مرحله مقادیر پیش‌بینی شده و در مرحله بعد مقادیر اندازه‌گیری شده جمع‌آوری می‌گردند. باید توجه داشت که ویرایش و تصحیح اطلاعات مبتنی بر خطای سامانه‌ای و خطای اندازه‌گیری است. فایده عمده استفاده از فیلتر کالمن، مداخله صحیح انحرافات مدل از مشاهدات، در کاهش عدم قطعیت حاصل از تخمین مقادیر است.

فصل ۹

سامانه گسترش و انتشار هشدار در

زمان واقعی

۹-۱- کلیات

سامانه‌ی گسترش و انتشار هشدار در زمان واقعی^۱، یک قسمت کلیدی در سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب محسوب می‌شود که در صورت عدم کارآیی این بخش، کل سامانه کارآیی و اثربخشی خود را از دست می‌دهد. سامانه‌ی گسترش و انتشار هشدار کارآ، به‌دنبال تهیه پیامی قابل درک و انتقال و اطمینان از دریافت پیام توسط مردم است.

به‌طور مثال یک پیام کامل موارد زیر را ارائه می‌دهد:

«یک سیلاب جدی با تراز H متر در ایستگاه N شهر، در اواسط روز پنجشنبه پیش‌بینی می‌شود. خانه‌ها در خیابان‌های A و B زیر آب خواهند رفت، دشت‌های بین رودخانه‌ها به زیر آب خواهند رفت و پل Z در طول رودخانه بسته خواهد شد.» پیام‌های هشدار سیلاب ممکن است شامل اطلاعاتی در رابطه با آنچه از قبل اتفاق افتاده است نیز باشند. برای مثال، جاده X تا Y در پل Z بسته است. اثرهای جاری و واقعی مانند اثرهای مشخص آینده نیز باید تعیین شود.

پیام‌های هشدار حاوی پیوند بین اطلاعات پیش‌بینی سیلاب و تفسیر اطلاعات و عکس‌العمل مقابله با سیلاب از جانب مردم و سازمان‌های مسوول است. ساختار یک پیام هشدار به‌طور عمومی شامل موارد زیر است:

- چه اتفاقی رخ داده است؟
- چه وقایعی محتمل خواهد بود؟
- پیام به چه معنی است؟
- فرد چه کاری باید انجام دهد؟

۹-۲- معیارهای تدوین پیام هشدار سیلاب

یک پیام هشدار سیلاب، اطلاعاتی در مورد شرایط حاضر و محل وقوع سیلاب ارائه می‌دهد. به‌علاوه اثرهای پیش‌بینی بر دریافت‌کنندگان پیش‌بینی و اقداماتی که لازم است آنها انجام دهند نیز در پیام‌های هشدار مورد توجه قرار می‌گیرند. تدوین پیام باید براساس نیازهای مردم در معرض ریسک صورت گیرد و به زبان مردمی که انتظار می‌رود اقداماتی را انجام دهند باشد. در این چارچوب موضوعات کلیدی عبارتند از:

- پیام باید بر آینده‌نگری استوار بوده و به‌علاوه اطلاعاتی در مورد شرایط حال نیز ارائه دهد.
- پیام باید مردم را تشویق نماید که اقدامات لازم را به انجام رسانند. یک پیام هشدار حاوی نتایج پیش‌بینی سیلاب و تفسیر آن است. پیش‌نیاز تدوین موثر پیام هشدار، آگاهی دقیق به مشکل سیلاب است، از جمله مشخصه‌های سیلاب، شاخص جوامع در معرض خطر، اندرکنش سیلاب و جوامع می‌باشد.
- مشخصه‌های خاص سیلاب که باید در تدوین پیام‌های هشدار در نظر گرفته شوند عبارتند از:
 - زمانی که تا رسیدن سیلاب به تراز معین پیش‌بینی شده است
 - زمان وقوع سیلاب (روز، شب و...)

- زمان تداوم سیلاب
 - محلی که سیلاب از آن می‌آید و محلی که سیلاب به آن جا خواهد رفت
 - عمق و سرعت سیلاب
 - سایر عوامل موثر در ایمنی
- دریافت‌کنندگان پیام، گروهی یک‌دست از مردمی که یکسان می‌اندیشند و یکسان عمل می‌کنند، نیستند. این تفاوت‌ها در تدوین پیام‌ها باید در نظر گرفته شوند. تمایز دریافت‌کنندگان پیام از جنبه مختلف می‌تواند به مشکلاتی در جهت تحقق اهداف پیام‌های هشدار بیانجامد. بنابراین مخاطب اصلی پیام، افراد در معرض خطر بوده و بسیار مهم است که این افراد و جوامع به‌خوبی شناسایی شوند. تدوین پیام هشدار، نیاز به تخصص‌های ارتباط عمومی دارد که ممکن است در سازمان‌های مسوول شرایط اضطراری وجود نداشته باشد. بنابراین در صورت لزوم باید در اسرع وقت افراد متخصص در زمینه‌ی روابط عمومی به کار گرفته شوند.

شاخص‌هایی که براساس آنها طراحی پیام صورت می‌گیرد عبارتند از:

- درجه خطر
 - میزان سابقه و یا تجربه سیلاب‌های قبلی در منطقه
 - وضعیت خانواده‌های ساکن در محل
 - زبان
 - وضعیت اشتغال و کسب و کار در منطقه
- ویژگی‌های پیام هشدار عبارتند از:
- دارای منبع موثق باشد.
 - کوتاه باشد.
 - امری بوده و با هدف جلب توجه ارائه شود.
 - عواقب سیلاب را اعلان کند.
 - روشن و با زبان ساده بیان شود.
 - مسایل روان‌شناختی را در نظر گیرد.
 - در جهت مثبت ارائه شود.
 - به شکل دستورالعمل باشد.
 - برای جلب توجه مردم، به صورت زنده ارائه شود.
- سازمان‌های مسوول تهیه هشدارهای سیلاب اغلب وابسته به رسانه‌های جمعی هستند تا بتوانند اعتماد مردم را کسب کنند. آنها کمک می‌کنند تا:

- پیام‌ها به‌صورت هر چه خلاصه‌تر بیان شوند (پیام‌های صادر شده از طریق رادیو نباید بیش از ۳۰ ثانیه باشند).
- پیام‌ها باید ترتیب داشته باشند (مهم‌ترین موضوعات در ابتدا برای جلب توجه مردم ارائه گردند).
- پیام‌ها زمان‌بندی شده و به‌صورت شفاف و بدون ابهام ارائه شوند.
- پیام‌ها باید به ایجاد انگیزش افراد در اقدام به مقابله کمک کنند و موجب نگرانی و ترس بی‌مورد نشوند.

برخی عبارت‌ها به راحتی قابل درک به وسیله عموم مردم نبوده و حتی برای متخصصین نیز معانی مختلفی را القا می‌نمایند. استفاده از زبان ساده می‌تواند در حل مشکلات موثر باشد. در بسیاری مواقع به دلیل این که زمان پیش‌هشدار کم است باید یک سری پیام‌های از پیش تعیین شده وجود داشته باشد. از جمله سیلاب‌هایی که نیاز به الگوی پیام قبلی دارند، تندسیلاب‌ها هستند، چرا که زمان کافی برای طراحی آنها در زمان بارندگی وجود ندارد. تندسیلاب‌ها می‌توانند باعث غافل‌گیری مردم شده و تلفات جانی به دنبال داشته باشند. اکثر موارد مرگ و میر شدید ناشی از سیل در تندسیلاب‌ها به وقوع می‌پیوندد.

به عنوان نمونه^۱ از اصطلاحات زیر برای هشدار تندسیلاب استفاده می‌کند:

- **هشیارباش تندسیلاب:** نشان‌دهنده محتمل بودن وقوع سیل در محل مورد نظر یا نزدیک به آن است. هشیارباش تندسیلاب به این معنا است که ۶ ساعت بعد، احتمال وقوع بارندگی شدید و تندسیلاب وجود دارد. یعنی ممکن است بارندگی در آن منطقه منجر به سیل برق‌آسا شود و مردم باید برای یک شرایط اضطرار سیل آماده باشند.
- **هشدار تندسیلاب:** نشان‌دهنده محتمل بودن وقوع سیل با آسیب جانی و مالی مخرب طی ۶ ساعت آینده است. این اخطار می‌تواند برای مناطق روستایی، شهری یا مناطق حاشیه رودخانه‌ها صادر شود. باران شدید در زمان کم بسته به سطح زمین، پوشش زمین، میزان شهرنشینی، تغییر و ساخت و ساز در حریم و بستر رودخانه و شرایط اولیه زمین و رودخانه می‌تواند منجر به تندسیلاب گردد. هشدار تندسیلاب یعنی سیل، قریب‌الوقوع است.

جدول ۹-۱- نمونه‌ای از فرم استاندارد پیش‌بینی‌های تندسیلاب

سطوح مختلف پیام هشدار سیل
سطح پیام ۱ - آگاهی اولیه ^۲ این پیام بیان می‌کند که شرایط آب و هوایی به گونه‌ای است که توفان سیل‌آسا تا ساعاتی دیگر به وقوع می‌پیوندد. به زودی نتایج نهایی، بعد از مشورت با سازمان ملی هواشناسی اعلان خواهد شد.
سطح پیام ۲ - هشیارباش تندسیلاب ^۳ این پیام بعد از مشاوره با سازمان ملی هواشناسی، در جهت آماده ساختن مردم ارائه می‌شود.
سطح پیام ۳ - هشدار تندسیلاب ^۴ این پیام بیان می‌کند که سیل با احتمال بالایی روی خواهد داد و تلفات جانی و مالی محتمل خواهد بود.
سطح پیام ۴ - بازگشت به حالت اولیه ^۵ این پیام بیانگر برگشت به شرایط اولیه و پایان یافتن شرایط اضطراری سیلاب است.

۹-۳- مثالی از نحوه و ساختار یک پیام هشدار

نام و مشخصات فرد

«پیش‌بینی می‌شود که پتانسیل سیلاب از ساعت تا ساعت وجود دارد.»

بیش‌ترین مناطقی که امکان آب‌گرفتگی وجود دارد عبارتند از:

- 1- NOAA
- 2- Internal Alert
- 3- Flash Flood Watch
- 4- Flash Flood Warning
- 5- All Clear

- رودخانه‌ها و دشت‌های کوهپایه‌ای، سیلابدشت‌ها، رودخانه‌های شهری، خیابان‌های شهری، تقاطع‌ها و مناطق مسطح
- پتانسیل آسیب‌پذیری افراد و دارایی‌ها: پایین، متوسط و بالا
- رونوشت پیام به سازمان‌های مربوط

۹-۴- فاکتورهای اجتماعی در رابطه با درک و دریافت مردم از پیام‌های هشدار سیلاب

برخی از اقدامات لازم در زمان هشدار سیلاب تخلیه به موقع، جابجایی اموال و رفتن به مناطق امن و پناهگاه‌ها است. یکی از مشکلات در امر امدادسانی، تخلیه مردم است.

طی بررسی‌های انجام گرفته در سیلاب ۱۹۶۵ درابک^۱ معلوم شد که اکثر افراد به‌خاطر تماس‌های دوستان و خویشاوندان خود منطقه را ترک کرده بودند. (اغلب بحث‌ها و جنجال‌ها در خانواده در مورد لزوم تخلیه منطقه بوده است.) در خانواده‌ها اکثر مخالفت‌ها برای تخلیه از سوی پدر خانواده و یا پسر ارشد بوده است. براساس تحقیقات میلیتی^۲ (Mileti) اکثر افراد ترجیح می‌دهند تا در زمان حادثه در خانه دوستان و یا اقوام مستقر شوند. براساس مطالعات پری^۳ و همکاران آمارهای زیر ارائه گردیده است:

- ۴۵ درصد افراد به خانه اقوام خود رفتند.

- ۲۱ درصد افراد به خانه دوستان خود رفتند.

- ۱۸ درصد افراد به مناطق مرتفع پناه بردند.

بنابراین بسیاری از پناهگاه‌هایی که برای فرار و اسکان، در نظر گرفته شده بود خالی باقی ماندند.

به‌علاوه، فاکتورهایی که باید در انتخاب پناهگاه مدنظر قرار گیرند عبارتند از:

- مدت پیش‌هشدار
- مسافت پناهگاه‌ها از خانه‌ها
- میزان خطر و ریسک
- نوع فرهنگ مردم
- سطح آمادگی جامعه
- سطح اقتصادی- اجتماعی

مساله دیگر باورداشتن هشدار است. براساس تحقیقات صورت گرفته^۴ اگرچه افراد زیادی به پیام‌های هشدار گوش می‌دهند، ولی میزان باور آنها از پیام متفاوت است. مردم براساس تجارب خود از رویداد قبلی، نسبت به هشدار عکس‌العمل نشان می‌دهند. بر این اساس که چه کسی و در چه موقعیت و شرایطی پیام را دریافت می‌کند، عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به هشدارها دیده می‌شود. میلیتی نشان داد که عکس‌العمل مردم همیشه به شکل گروهی بوده است نه فردی. در یک نظرخواهی سوال‌های مختلفی درباره زمان دریافت پیام‌های اولیه هشدار مطرح گردید:

1- Drabek

2- Mileti

3- Perry

4- Quaranceli, 1980-Williams, 1957

- آیا پیام‌ها روشن است؟
- آیا تاثیر سیلاب بر روی من یا اموال من مشخص است؟
- آیا فرد هشداردهنده قابل اعتماد است؟
- آیا می‌توان سیلاب واقعی را دید؟
- آیا می‌توان در رابطه با سیلاب با دیگران مشورت کرد؟

که در این رابطه، به نتایج زیر دست یافتند:

میزان تجربه سیلاب: افراد و یا جوامعی که تجربه سیلاب‌های بزرگ قبلی را داشته‌اند، به راحتی نسبت به سیلاب‌ها عکس‌العمل نشان می‌دهند، چرا که تصور درستی از سیلاب و خطر آن دارند و در ضمن تجربه عکس‌العمل را نیز داشته‌اند. سن: تجربه نشان می‌دهد که افراد مسن تمایل کمتری برای عکس‌العمل در زمان حادثه دارند. جنسیت: زنان نسبت به مردان به هشدارهای سیلاب بهتر و زودتر پاسخ می‌دهند^۱. در یک تحقیق سوالی با این مضمون که در دهه بعدی، چند درصد وقایع رخ داده نیاز به تخلیه منازل خواهد داشت، مطرح گردید. حدود نصف زنان احتمال را ۹۰ یا ۱۰۰ درصد اعلام کردند و تخلیه را ضروری می‌دانستند، در حالی که تنها ۴۱ درصد مردان معتقد به تخلیه منطقه بودند. اقلیت‌ها: به طور کلی اقلیت‌ها در هر ملت نسبت به هشدار عکس‌العمل کمتری نشان می‌دهند، چرا که اعتماد و باور کمتری نسبت به هشدارها دارند. بررسی‌های انجام شده در آمریکای مرکزی بیانگر این مطلب بود که مردم آمریکای لاتین به خاطر زنجیره و گستره قومی، نسبت به سیاهان و سفیدان منطقه، عکس‌العمل بهتری از خود نشان داده‌اند. وضعیت اجتماعی - اقتصادی: هرچه وضعیت اقتصادی و اجتماعی و به تبع آن تحصیلات منطقه‌ای کم‌تر باشد، دریافت هشدار و مقابله با سیلاب نیز کم‌تر می‌شود. کنترل سرنوشت: مردمی که معتقدند می‌توانند سرنوشت و تقدیر خود را عوض کنند عکس‌العمل بهتری در برابر هشدار دارند و در مقابل، افرادی که معتقدند هر آنچه انجام دهند سرنوشت آنها را تغییر نمی‌دهد، عکس‌العمل ضعیف و بی‌هدفی خواهند داشت. درک پیام هشدار می‌تواند با وقایع اخیر و مقایسه سیلاب محتمل با سیلاب‌های قبلی افزایش یابد. برای مثال می‌توان عباراتی همچون، این سیلاب شبیه سیلاب سال --- خواهد شد یا این سیلاب شدیدتر از (یا ۰/۵ متر بیش‌تر از) سیلاب سال --- خواهد بود را در پیام مطرح نمود.

عملیات انجام گرفته به وسیله افراد و یا جوامع	عکس‌العمل مناسب به وسیله سازمان‌های مسوول	
<p>درک صحیح از ریسک محیط باور به هشدار داده شده پیروی کردن از دستورالعمل‌های داده شده</p>		<p>اطلاعات کافی گرفته شده از منابع متعدد دادن دستورالعمل‌ها برای گریز تجزیه ساختارها و گزارش‌ها ارزیابی افراد و جامعه در عکس‌العمل آنها</p>

شکل ۹-۱- الزامات انتشار پیام هشدار و عکس‌العمل مناسب

۹-۵- نحوه‌ی اعلان هشدار سیلاب

افراد در معرض ریسک قادر به اتخاذ تصمیم و ارائه‌ی عکس‌العمل مناسب نخواهند بود، مگر این‌که پیام هشدار به آنها منتقل شود. پیام‌های هشدار به‌موقع از راه‌های زیر منتقل می‌شوند:

- پیام رادیو: اعلان هشدار در میان پیام‌ها یا مصاحبه با مسوول امداد و نجات
- تلویزیون: به شکل زیرنویس تلویزیون و یا پیام در طول اخبار یا میان برنامه
- تابلوهای اعلان: اطلاعات بر روی صفحات نمایشی
- به صورت نوشته یا روزنامه‌ها
- تلفن و یا دورنما
- شبکه‌های رایانه‌ای
- حضور یافتن در درب منازل
- بلندگوهای ثابت و سیار
- تماس با رهبران و افراد کلیدی

انتشار پیام در مراحل مختلفی صورت می‌گیرد. در مرحله اولیه، پیام از بخش پیش‌بینی به نمایندگان مقابله با سیل، مسوولین انتشار هشدار و سازمان‌های در معرض ریسک فرستاده می‌شود. در مرحله دوم تصمیمات مقابله‌ای مناسب و طراحی پیام‌های اضافی برای جمعیتی که نیاز به مقابله مشخص دارند، صورت می‌گیرد. هشدارها می‌توانند به‌عنوان هشدارهای خاص یا کلی طبقه‌بندی شوند. تفاوت آنها بستگی به نوع مخاطبین دارد.

هشدارهای عمومی، به کل جوامع برای بیان این مساله که سیلاب در راه است یا شرایط سیلاب موجود ممکن است تغییر یابد، به کار می‌رود. هشدارهای خاص، برای افراد یا بخش‌هایی از جوامع بوده و بیانگر یک عملکرد دقیق است.

تفاوت‌های مهمی در محتویات پیام‌ها و فن‌آوری‌های قابل دسترس بین دو مرحله وجود دارد. در مرحله اول با زبان فنی‌تر و با ابزارهای الکترونیکی شرایط برای مسوولین ارائه می‌شود. در مرحله دوم، باید فرآیند توزیع و انتشار را به‌نحوی مدیریت نمود که دریافت‌کنندگان پیام مناسب‌ترین واکنش را از خود نشان دهند. ارتباطات باید دارای زمان‌بندی بوده و برای رسیدن به بهترین و مناسب‌ترین مقابله به کار رود.

پیشرفت‌های حاصل در ارتباطات الکترونیکی بیانگر این موضوع است که گزینه‌های انتخابی برای هشدار عموم گسترش یافته است. برای مثال، ارتباطات رایانه‌ای، افراد در معرض ریسک را قادر می‌سازد تا از طریق اینترنت به پیام‌های استاندارد یا تلفن‌های مشخصی دسترسی پیدا کنند.

نیاز برای هشدارهای خاص در سیلاب‌های شدید بیش‌تر از سیلاب‌های با شدت کم است. هشدارهای عمومی بیش‌تر برای وقایع نسبتاً کوچک و جهت تهیه اطلاعات کلی برای قشر وسیعی از افراد است.

کانال‌ها یا مسیرهای ارتباطی مختلفی وجود دارند که در ادامه به نقل از راهنمای شرایط اضطراری استرالیا ارائه می‌شوند:

۹-۵-۱- استفاده از تلفن، دورنما، پست الکترونیک و بی سیم

برای هشدار سیل به سازمان‌های مسوول به کار می‌روند، البته در مورد افرادی که امکان اطلاع‌رسانی به آنها به شکل عمومی وجود ندارد نیز استفاده می‌شوند.

یکی از فن‌آوری‌های جدید مخابراتی، اجازه شماره‌گیری خودکار تعداد زیادی تلفن در یک زمان و امکان هشدار از طریق پیام صوتی^۱ را ایجاد می‌کند. این فن‌آوری وقتی که شمار خانوارها نسبت به زمان دسترسی زیاد باشد، یا زمانی که عملیات اطلاع‌رسانی خانه به خانه ممکن نباشد، مفید واقع خواهد شد. در سال‌های اخیر استفاده از پیام کوتاه تلفن‌های همراه (SMS) برای اطلاع‌رسانی و هشدار سیلاب سریع‌ترین کاربرد را داشته است.

در زمان سیلاب، کاربر محلی، با شماره‌های تهیه شده تماس گرفته، یک شماره مشخص را وارد می‌کند و پیامی مشخص را برای هشدار به مردم ثبت می‌کند و به آنها پیشنهاد می‌کند که به ایستگاه رادیویی FM محلی برای کسب اطلاعاتی همچون روند سیلاب گوش فرا دهند. دریافت‌کنندگان می‌توانند از طریق بلوک‌های خیابانی یا آدرس مناطق، گروه‌بندی شوند. سامانه‌های تماس خودکار به خصوص برای هشدار شکست سد به کار می‌روند که در این حالت موج سیلاب به سرعت به مراکز جمعیتی نزدیک می‌شود. در مناطق زیادی از استرالیا، جزوه‌های راهنمای مقابله با سیلاب تهیه و به وسیله دورنما به ساکنین مناطق سیل‌خیز به خصوص کشاورزان فرستاده می‌شوند.

۹-۵-۲- اطلاع‌رسانی خانه به خانه

این روش در زمان تخلیه با توجه به زمان، اقدامی مطمئن به شمار می‌رود. مسوولین این کار باید مطالب چاپ شده‌ای را در رابطه با نحوه آمادگی و پاسخ‌گویی مردم در مقابله با سیلاب به مردم تحویل دهند. این مطالب می‌تواند شامل اطلاعاتی در رابطه با مسیرها و مراکز تخلیه باشند و مشخص می‌کنند که مردم چه کاری را باید قبل از ترک خانه انجام دهند و چه چیزهایی را به همراه داشته باشند.

۹-۵-۳- هشدار رایانه‌ای

این هشدار از طریق اینترنت ارائه می‌شود. صفحات وب می‌توانند برای نشان‌دادن جزئیات و اطلاعات به‌روز به شکل متن و فرمت‌های گرافیکی به همراه جزئیات و تاریخچه به کار روند. آنها می‌توانند به عنوان منبع اصلی اطلاعات در رابطه با هشدار در آینده به کار گرفته شوند.

سامانه‌های مبتنی بر اینترنت را می‌توان به صورت مرحله‌ای توسعه داد و مرتباً به‌روز نمود. کاربران باید بتوانند نظرات یا پیشنهادات خود را برای بهبود سایت مرتبط ارائه دهند.

۹-۵-۴- استفاده از رسانه‌ها

رسانه‌های گروهی مزیت‌های زیادی را برای انتشار پیام‌های عمومی به‌همراه دارند. رسانه‌ها دارای کانال‌های آزاد هستند و در بیش‌تر مواقع، آنها تنها روش برای انتشار سریع پیام‌ها به مردم محسوب می‌شوند. رسانه‌ها معمولاً بسیار بهتر از جزوه‌ها برای افزایش هشجاری افراد در معرض ریسک، موثر واقع می‌شوند. برای مثال، روزنامه‌ها می‌توانند راهنمای طرح عملیاتی سیلاب را با توجه به زمان دسترسی فراهم کنند.

اعلان هشدارها از طریق رادیو و روزنامه می‌توانند تکمیل‌کننده هم باشند. به‌عنوان مثال می‌توان از رادیوهای محلی بر روی موج FM استفاده کرد و جزییات بیش‌تر را در مقالات ارائه کرد.

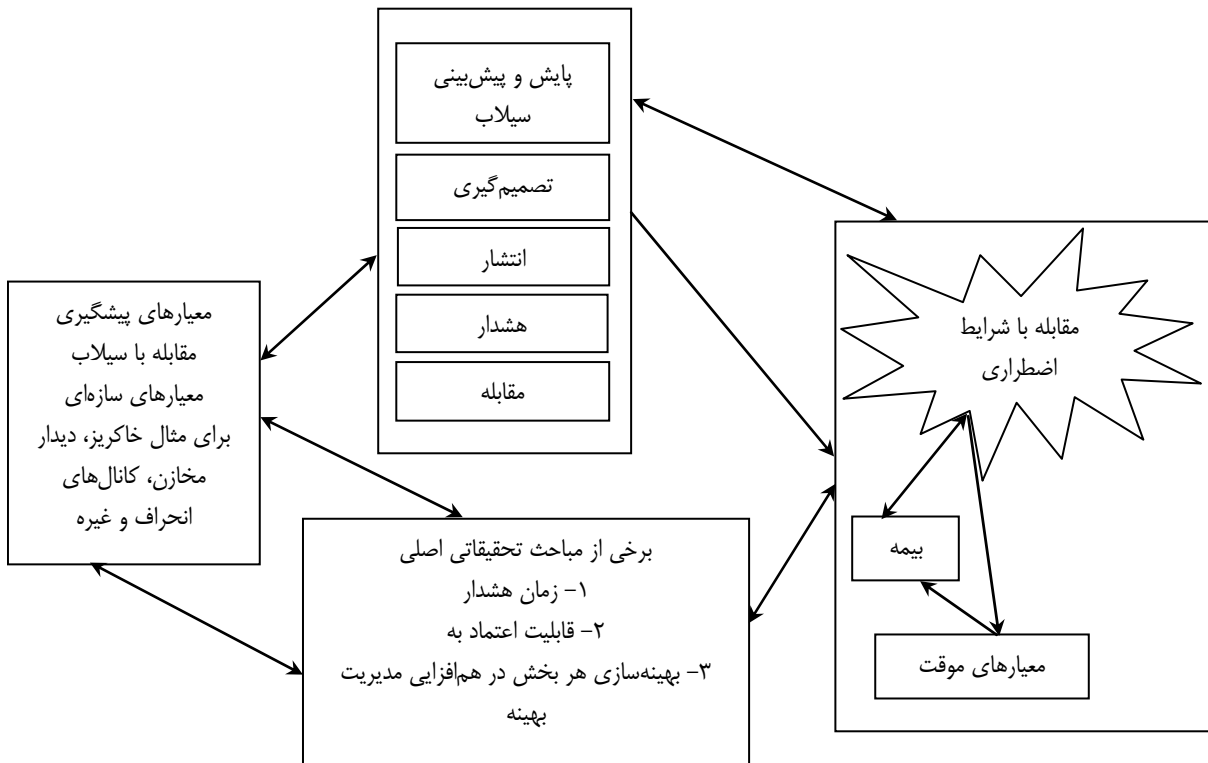
به‌طور کلی هر یک از اشکال انتشار پیام هشدار مزایا و معایب مربوط به خود را دارد. برخی از این اشکال مانند آژیرها، ممکن است در شرایطی اصلاً مورد استفاده قرار نگیرند. از محدودیت‌های آژیرها این است که ممکن است برای همه ساکنین قابل شنیدن نباشند. به‌خصوص زمانی که مردم در خواب هستند. در مقابل، اغلب مردم صدای زنگ تلفن خود را در شب یا روز می‌شنوند. تمامی روش‌ها به شکل یکسان در همه شرایط مفید واقع نخواهند شد. روزنامه‌ها، در زمان تندسیلاب به شکل سریعی نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. اما در زمان سیلاب‌های تدریجی در فاصله زیاد موثر واقع می‌شوند. یکی از خصوصیات بد رسانه‌های گروهی، این مساله است که تعداد زیادی از مردم پیام هشدار را در برخی زمان‌ها دریافت نمی‌کنند. به‌خصوص در مناطق غیرشهری که کانال‌های اطلاع‌رسانی زیادی وجود ندارد. برای ساکنین شهری، رادیو در زمان صبحانه و در زمان اوج ترافیک صبح بهترین روش محسوب می‌شود، اما کارایی آن در بعد از ظهر کم‌تر می‌شود. در مقابل تلویزیون بهترین رسانه ساعات بعد از ظهر و عصر خواهد بود.

در نتیجه انتخاب اشکال ارتباطی در شرایط خاص بستگی به موارد زیر دارد:

- فراوانی
- شدت سیلاب
- زمان هشدار موجود
- مخاطبین
- منابع در دسترس
- زمان روز و روز هفته^۱
- عکس‌العمل مورد انتظار

در پایان باید اشاره کرد که در برخی موارد ترکیب روش‌های فوق می‌تواند با هم‌افزایی، گزینه بهینه را به‌دست دهد. محققین زمان هشدار و دقت هشدار را معیار عملکرد و مقابله مناسب افراد در رابطه با هشدارسیلاب عنوان کردند. در این راستا مبحث داده‌های زمان واقعی مطرح گردید و به‌هنگام‌سازی داده‌ها در زمان واقعی به روش فیلتر کالمن به‌عنوان بخشی از سامانه‌ی هشدارسیلاب برای کاهش عدم قطعیت معرفی گردید. سامانه‌های هشدارسیلاب به‌عنوان ابزار مدیریتی کارا برای بهبودبخشی اثر مدیریت سیلاب و کاهش اثرهای سیلاب مطابق شکل (۹-۲) ارائه شده است.

۱- ساعتی از روز و روزی از هفته که پیام در آن ارسال می‌شود.



شکل ۹-۲- هم‌افزایی در میان اقدامات مختلف مدیریت سیلاب

فصل ۱۰

سامانه عكس العمل اضطراری

۱-۱۰ - کلیات

در این فصل ابتدا کلیات سامانه‌ی عکس‌العمل اضطراری^۱ ارائه شده و سپس چارچوب‌های عملیاتی شرایط اضطراری مطرح می‌شود.

۱-۲ - انواع مدیریت عملیاتی

عملیات واکنش به سیلاب به سه طریق می‌تواند مدیریت شود:

- تعیین یک سازمان مقابله با سیل
- یک ساختار کلی مدیریت شرایط اضطرار
- ترکیبی از هر دو

۱-۲-۱ - مدیریت عملیاتی به‌وسیله سازمان مقابله با سیل

عملیات توسط رهبر عملیاتی سازمان که به‌عنوان مدیر عملیات سیلاب عمل می‌کند مدیریت می‌شود. در زمانی که سطح سیلاب پایین است و وظیفه مدیریت ممکن است محدود به کنترل فعالیت‌های سازمان باشد. با این حال، اغلب عملیات واکنش به سیلاب بر عهده‌ی سازمان‌هایی است که از سازمان مقابله حمایت می‌کنند. بدیهی است موضوع در ساختار سازمانی مربوط منعکس شده است.

۱-۲-۲ - مدیریت عملیاتی به‌وسیله ساختار مدیریت شرایط اضطرار

عملیات به‌وسیله یک شخص در شرایط کنترلی خاص با ساختار مدیریت اضطرار، مدیریت می‌شود. سازمان‌های سهیم در مدیریت سیلاب، وظایف خاصی دارند و انتظار می‌رود که ابزار لازم را برای مدیر عملیات سیل فراهم آورند. با توجه به ملزومات مدیر شرایط اضطرار تشخیص شکل این نوع عملیات بر عهده مدیران سازمان‌های حمایت‌کننده است.

ساختار مدیریت شرایط اضطرار، حمایت‌های مورد نیاز سازمان مقابله با سیل را هماهنگ می‌نماید. این نوع مدیریت تنها می‌تواند در مواردی که سازمان مقابله با سیل به‌صورت قانونی دارای اختیارات است، موثر واقع گردد. بر اساس تجارب جهانی، مدیریت شرایط اضطراری مقابله با حوادث غیرمترقبه در قالب یک سازمان ملی و یکپارچه بهترین کارایی را داشته است. به زبان ساده، سیلاب تنها یکی از مجموعه حوادث مخاطره‌آمیزی است که یک ملت پیشرفته باید برنامه مقابله با آن را آماده کرده باشد. شبکه‌های آمادگی اضطراری و مقابله در برابر سیل، وقتی در مجموعه‌ی یک طرح جامع مقابله اضطراری چندبعدی قرار می‌گیرند، می‌توانند از سامانه‌های تشکیلاتی و سازه‌های موجود بهره‌برند و با گرد هم آوردن منابع و متخصصین در یک مجموعه برای کاهش خطرات بلایای طبیعی از قبیل توفان، زلزله و سیل، صرفه‌جویی‌هایی در اقتصاد سازمانی و هزینه‌ای حاصل گردد.

۱۰-۲-۳- مدیریت عملیات به‌وسیله ترکیبی از موارد فوق

- عملیات به‌وسیله یک شخص که مدیر عملیات سیل است در درون ساختار مدیریت اضطراری مدیریت می‌شود. سازمان‌های مقابله با سیل نامزد انجام اعمال خاصی هستند و آنها این اعمال را تحت هدایت کلی مدیر شرایط اضطرار انجام می‌دهند.
- انتخاب سامانه مدیریت واکنش به سیلاب به‌طور قابل توجهی به سامانه کلی مدیریت اضطرار وابسته است.

۱۰-۳- عملیات مقابله با سیل

شناسایی عملیات مورد نیاز برای مقابله با سیل شامل موارد زیر است:

- اطمینان از بسته‌بودن گورها و دیوارهای سیل‌بند
- محفوظ داشتن گورها و خاکریزها از نشست و خرابی
- جلوگیری از بالازدن آب از میان آدم‌روها و مجراهای دیگر در سامانه‌ی فاضلاب
- پمپ‌کردن آب از زهکش‌های داخلی
- مهار فرسایش در پل‌ها، گورها، پی ساختمان‌ها و خاکریز جاده‌ها

۱۰-۴- تعریف سطوح مختلف توسعه‌یافتگی سامانه جامع پیش‌بینی و هشدار سیلاب

شناسایی و اعلان رسمی آغاز و پایان عملیات واکنش به سیلاب به خاطر تدارکات خاصی که معمولاً به‌کار می‌رود دارای اهمیت خاصی است. برنامه عملیات واکنش به سیلاب همانند دیگر عملیات مدیریت مخاطرات، با استفاده از یک رویکرد جامع به مدیریت شرایط اضطرار تهیه می‌شود.

رویکرد کلی شامل موارد زیر است:

- پیشگیری از اثرها یا کاهش درجه سختی آن
- تضمین آمادگی جامعه
- فراهم کردن یک واکنش فوری موثر
- بازتوانی جامعه
- در قالب چهار محور فوق، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

جدول ۱۰-۱- مشخصات چهار بخش سامانه مدیریت شرایط اضطرار در استرالیا [۲۲]

فعالیت‌های بازتوانی	فعالیت‌های واکنش (مقابله)	فعالیت‌های آمادگی	فعالیت‌های پیشگیری
تقبل نمودن عملیات پاک‌سازی	انتشار هشدارها	ترویج آگاهی	قانون‌گذاری
بازگرداندن خدمات ضروری	اجرای قانون / بیانیه شرایط اضطراری	توسعه طرح‌های حوادث	سنگنده‌های سازه‌ای کاهش اثر
مشاوره	اجرای برنامه‌های تخلیه فعال‌سازی مراکز	توسعه سامانه‌های ارتباطی اضطراری	کنترل‌های برنامه‌ریزی کاربری اراضی

ادامه جدول ۱۰-۱- مشخصات چهار بخش سامانه مدیریت شرایط اضطرار در استرالیا [۲۲]

فعالیت‌های پیشگیری	فعالیت‌های آمادگی	فعالیت‌های واکنش (مقابله)	فعالیت‌های بازتوانی
توسعه و ساخت کنترل‌های ساختمانی	توسعه سامانه هشدار سیل و زیربرنامه	بسیج منابع	تهیه اقامت موقت
جابجایی از مناطق ناامن	به‌عهده‌گرفتن تمرین‌های آموزشی	اعلان عمومی	کمک / پشتیبانی مالی
مشوق‌ها / تنبیهات مالیاتی و بیمه‌ای	انجام توافقات دوجانبه با سازمان‌های ایالتی، محلی و فدرال	تهیه خدمات پزشکی	تهیه مراقبت‌های پزشکی بلندمدت
آگاهی عمومی	تهیه منابع خاص	امدادسانی فوری	بازگرداندن / بازسازی اموال عمومی و زیرساخت‌ها
آگاهی / آموزش جامعه	آماده‌سازی فهرست اموال منابع	تخلیه مردم در معرض خطر	ارزیابی اثرهای اقتصادی بررسی عملیات مدیریت اضطراری سیلاب

۱۰-۵- ملاحظات مهم

در چارچوب شرایط اضطراری باید برخی موارد مهم را مورد توجه ویژه قرار داد:

- مشخص نمودن مناطق تخلیه شده و مدت احتمالی برای عملیات تخلیه
- مشخص نمودن نیازها از نظر:
 - تعداد افراد
 - مقصد
 - زمان موجود قبل از این که آب‌گرفتگی صورت بگیرد یا مسیرهای تخلیه قطع شوند
 - افرادی که باید زودتر تخلیه شوند
 - وسایل مورد نیاز برای رفاه شامل سرویس‌های خدماتی

۱۰-۵-۱- فعالیت‌های مقابله

وقتی یک سیل اتفاق می‌افتد همه سازمان‌های درگیر در مدیریت اضطراری سیلاب برای انجام فعالیت‌های مقابله فرا خوانده می‌شوند. وظایف پرسنل سازمان محلی به شرح زیر است:

- انتشار هشدارهای سیل (در ارتباط با دفتر هواشناسی و سازمان مدیریت اضطراری سیل)
- تخلیه و ایجاد پناهگاه برای مردم در معرض خطر سیل (همچنین ممکن است تجهیزات محلی و ساختمانی نیاز باشد).
- حفاظت از سازه‌های زیربنایی (مثل انتقال موتورهای الکتریکی از ایستگاه‌های پمپاژ فاضلاب و...)

به محض این که فعالیت‌های مقابله با سیل آغاز شدند، سازمان بازتوانی باید آغاز ارزیابی محیط زیست و ابعاد بازتوانی را اعلان نماید.

سازمان‌های آب معمولاً می‌تواند اطلاعات اثرهای محتمل سیلاب را تهیه کند. مخصوصاً اگر مقابله با سیل از مخازن اصلی شروع شود.

۱۰-۵-۲- خدمات مورد نیاز

تهیه‌کنندگان خدمات ضروری باید مدیر عملیات سیل را در حد مقدمات حمایت نمایند و او را قادر سازند تا خدمات مورد نیاز را فراهم نماید. مدیر عملیات سیل باید هر زمان که لازم باشد برای کمک به نیروهای خدماتی جهت نگهداری امن سرویس‌هایشان تا حد امکان، کمک نماید. در موردی که سرویس‌ها دچار وقفه شده‌اند، مدیر عملیات سیلاب ممکن است ترتیبی اتخاذ کند که از سرویس‌های جایگزین استفاده شود. این خدمات عبارتند از:

- برق (اولویت‌بندی برای برخی سازمان‌های خدماتی خاص و توجه به خطر برق‌گرفتگی)
- آب (تامین آب شرب، تشخیص آلودگی آب و تدابیر جایگزینی، آسیب‌پذیری شبکه و...)
- بهداشت عمومی (تامین امکانات شستشو و توالت و دفع زباله، کنترل جانوران موذی و ناقل بیماری، کنترل بیماری‌های عفونی، گندزدایی و ضد عفونی و مدیریت مواد خطرناک)
- حمل و نقل (مدیر عملیات سیلاب باید اختیارات را به کمیته فرعی تفویض نماید و کمیته فرعی با در نظر گرفتن موارد زیر اقدام به برنامه‌ریزی جزییات می‌کند: نوع حمل و نقل (جاده‌ای، ریلی، هوایی و دریایی)، نوع وسایل مورد نیاز، انتخاب مسیرها، سوخت، مهار ترافیک، انسداد موقت راه‌ها به‌وسیله نیروهای انتظامی و اطلاع‌رسانی مربوط به آن)

۱۰-۵-۳- آغاز عملیات واکنش به سیلاب

پس از ظهور اولین شواهد بروز سیل، عملیات واکنش به سیلاب آغاز می‌شود که این عملیات ممکن است هم‌زمان با اعلان رسمی هشدار یا پیش‌بینی سیل باشد. آغاز رسمی عملیات واکنش به سیل نیازمند برنامه‌های فعال، پیشنهادات خاص و دسترسی آسان به بودجه تخصیص داده شده است. نقطه پایان برای عملیات سیلاب زمانی است که جان افراد و دارایی‌ها مورد تهدید قرار نگیرند. تشخیص این نقطه اغلب آسان نیست. این نقطه نشان‌دهنده پایان عملیات واکنشی است و از آن به بعد مهار اوضاع به ماموران بازتوانی یا محلی ستاد سپرده می‌شود.

نکته قابل توجه این‌که این چهار عنصر (آمادگی، پیشگیری، مقابله و بازتوانی) لزوماً به دنبال هم نیستند. برای مثال، عملیات بازتوانی باید از همان زمانی که عملیات واکنش در حال اجرا است انجام شود. این چهار عنصر جنبه‌هایی از مدیریت هستند نه مراحل از آن.

۱۰-۶- برنامه طرح عمل در شرایط اضطراری

همان‌طوری که در فصل دو نیز اشاره شد قدرت رهیافت‌های غیرسازه‌ای در هم‌افزایی با روش‌های سازه‌ای است. در این چارچوب باید توجه داشت که سامانه‌های اطلاع‌رسانی و هشدار سیل بدون مدیریت موثر شرایط اضطراری سیل، عملاً کارایی نخواهند داشت. هر سامانه هشدار سیل باید شامل یک طرح عملیاتی باشد به‌گونه‌ای که اطمینان لازم از تخلیه مناطق سیل‌گیر و کاهش خسارت حاصل شود. محورهای اصلی این فصل برنامه عملیاتی اضطراری، مقابله با سیلاب، تخلیه و اسکان است.

برنامه عملیاتی شرایط اضطراری^۱ یک سند رسمی است که عملیات خاص از پیش طراحی شده‌ای را به منظور به حداقل رساندن خسارات جانی و مالی، دنبال می‌کند. این برنامه کارهایی را که یک فرد دارای صلاحیت باید به منظور کاستن مشکلات مربوط به سیل انجام دهد، تعیین می‌کند و شامل روش‌ها و اطلاعاتی برای کمک به فرد دارای صلاحیت جهت انتشار پیش‌هشدار و پیام‌های هشدار به مسوولان مدیریت شرایط اضطراری است.

این برنامه‌ی از قبل هماهنگ شده با ماموران، سازمان‌های محلی و استانی باید عکس‌العمل به موقع و موثر را در مراحل اولیه‌ی سیلاب‌های محتمل، تسهیل نماید. هر برنامه عملیاتی شرایط اضطراری باید برای شرایط مکانی مورد نظر با لحاظ کردن کلیه‌ی ویژگی‌های مربوط تهیه شود. برنامه عملیاتی شرایط اضطراری عموماً شامل ۶ جز اساسی است:

۱- دیاگرام هشداردهی

۲- کشف، ارزیابی و طبقه‌بندی موقعیت اضطراری

۳- پاسخ‌گویی

۴- آمادگی

۵- نقشه‌های آب‌گرفتگی

۶- ضمایم

توسعه یا تجدید نظر ادواری در مورد یک برنامه عملیاتی شرایط اضطراری باید با هماهنگی کسانی که در سطح استانی و محلی مدیریت شرایط اضطرار را بر عهده دارند، صورت گیرد. مدیران دارای صلاحیت، از اطلاعات برنامه عملیاتی شرایط اضطراری برای سهولت در اجرای مسوولیتشان، استفاده خواهند کرد. مسوولان مدیریت شرایط اضطرار محلی و استانی باید نوعی برنامه محلی و عملیاتی در شرایط اضطراری شامل برنامه هشدار یا تخلیه داشته باشند.

هرگاه قبل از بحران و در آرامش با کمک کارشناسان چندرشته‌ای که اطلاعات لازم را در دسترس دارند، برنامه‌ریزی برای مدیریت ریسک و بحران صورت گیرد، آن برنامه بازده بسیار خوبی در زمان واقعی خواهد داشت. برنامه‌ریزی شرایط اضطراری نیاز به برخورد فنی و حس ذاتی (چشم‌انداز) دارد و از طرف دیگر وجود دیدگاه‌های دانشگاهی تا حرفه‌ای الزامی است. بنابراین برنامه‌ریزی شرایط اضطراری باید آموزش‌های لازم را در گستره‌ی وسیع دریافت کرده باشد. برای مثال آشنایی با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فن‌آوری اطلاعات (IT) قطعاً یک مزیت محسوب می‌شود. در عمل افراد کمی از تمامی قابلیت‌های لازم برخوردارند. به‌عنوان یک نمونه تاریخی می‌توان به حضرت نوح به‌عنوان اولین برنامه‌ریز شرایط اضطراری سیلاب اشاره نمود.

کلیدی‌ترین مساله در تهیه برنامه عملیاتی در نظر داشتن قانون پاراتو^۲ است. براساس این اصل ۲۰ درصد فعالیت‌ها ۸۰ درصد نتایج را به دست می‌دهد. در این راستا باید در تهیه برنامه عملیاتی دقت نمود تا موارد کلیدی و مهم (۲۰ درصد اصلی) در اولویت قرار گیرند.

1- Emergency Action Plan (EAP)

2- Pareto principle (also known as the 80-20 rule)

۱۰-۶-۱- ساختار یک برنامه طرح عمل در شرایط اضطراری

برنامه طرح عمل در شرایط اضطراری در عمل یک راهنمای به‌روز شده است که اطلاعاتی را که پیش‌بینی می‌شود مورد نیاز مدیریت بحران باشد، در اختیار کاربران قرار می‌دهد. ساختار یک برنامه تیپ طرح عمل در شرایط اضطراری می‌تواند به شرح زیر باشد:

مقدمه

- بیانیه برنامه بحران به‌وسیله مسوول اجرایی
- پایه‌های قانونی برای طراحی برنامه و برای طی مراحل آن
- اهداف کلی برنامه
- شرایطی که تحت آن برنامه قابل اجراست
- چارچوب‌های محلی، استانی و ملی برنامه اضطراری

خطرات منطقه

- ماهیت حوادث محلی
- معرفی خصوصیات، منابع و خطرات به افراد محلی
- توصیف سوابق تاریخی اثرهای حوادث محلی

تجزیه و تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری جمعیت محلی، ساختار محیط، فعالیت‌های اقتصادی، سامانه‌های فرهنگی و اجتماعی

- تجزیه و تحلیل ریسک (خطر × آسیب‌پذیری × در معرض خطر قرارگیری)
- سناریوهای ریسک و سوانح برای مناطق محلی (سناریوهای خطر، آسیب‌پذیری، ریسک و اثرهای آن)
- به‌کارگیری منابع برای مشکلات مربوط به سناریوهای در نظر گرفته شده
- استراتژی مدیریت ریسک

مسئولیت‌های قانونی و اختیارات برای مدیریت بحران

- مسوولیت‌های هشدار، تخلیه، جستجو و نجات و برنامه‌های بهداشت

معرفی منابع مدیریت اضطرار محلی

- منابع انسانی، تجهیزات، لوازم ضروری، ارتباطات و غیره

ساختار سازماندهی ارگان‌ها

- نمودار سازماندهی ارگان‌ها

- سلسله مراتب، روابط سازمانی، ساختارهای هماهنگی، توافقات دوطرفه و ارتباط آنها با دیگر سازمان‌ها
- ارتباط با دیگر سطوح دولت، به‌خصوص سازمان‌های مرتبط با بحران

برنامه کلی خطرات یا برنامه‌های مدیریتی خاص

- نقشه‌ها، روابط و وظایف
- اجرای سامانه‌های هشدار
- انواع هشدارها، چگونگی توزیع آن، وظایف و عملیاتی که باید براساس هشدارهای دریافتی صورت گیرد
- آمادگی‌های پیش از بحران
- روابط بین انواع سازمان‌های بحران و آمادگی‌های لازم
- مسوولیت‌های سازمان‌های مختلف
- موقعیت مکانی بزرگ‌ترین ریسک‌ها
- روند تخلیه در شرایط اضطرار
- شرایطی که تحت آن تخلیه سازماندهی می‌شود
- مسیرهای تخلیه و مقاصد
- چگونگی اسکان نیازهای خاص، پیران و بیماران یا افراد معلول
- مکان‌ها و تجهیزات پناهگاه‌های اضطراری
- مراکز عملیات بحران و مراکز ستاد حوادث
- مناطق، تجهیزات، عملیات و پرسنل
- ارتباطات
- جستجو و نجات
- مسوولیت‌ها، تجهیزات، عملیات
- اطلاعات عمومی
- مدیریت رسانه‌های گروهی
- موقعیت، حمل و نقل، ظرفیت و امکانات
- حفظ خدمات پایه و اولویت‌بندی مسوولیت‌ها
- محافظت در مقابل تهدیدات مداوم
- جستجو برای تهدیدات ثانویه و عملیات اضطراری
- ارزیابی مداوم شرایط کمی، مسوولیت‌ها و توزیع

برنامه‌ریزی برای بخش‌های خاص

– بیمارستان‌ها، موزه‌های هنری، سازمان‌های امنیتی، آرشیوها، مناطق توریستی، کارخانه‌ها و رآکتورهای هسته‌ای

برنامه‌ریزی برای مانور، توزیع و به‌روزرسانی برنامه

- توزیع برنامه و تبلیغات
- برنامه تدوین عملیات، مانور و ارزیابی
- روندهای خودکار برای ارتقای برنامه

اطلاعات پیوست

- جداول داده‌ها
- نقشه‌ها و عکس‌ها
- فهرست اسامی و آدرس‌ها

۱۰-۷- نقش آموزش عمومی در عملیات اضطراری

ایجاد آگاهی در اذهان عمومی برای درک خطر سیل و تجهیز به‌منظور دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌هنگام در حین وقوع سیل غیرمنتظره ضروری است. برای ترویج هر برنامه هشدار و اطلاع‌رسانی، آموزش عمومی باید مورد توجه قرار گیرد. آموزش از دو مزیت عمده برخوردار است:

- جامعه‌ای که از خطرات سیل مطلع است به احتمال زیاد به کمک‌های فوری کم‌تر نیاز دارد.
- آموزش به اطلاع‌رسانی کمک می‌کند. چرا که عموم مردم می‌دانند برای دریافت اطلاعات مربوط به سیل به کجا مراجعه کنند تا از مزایای هشدار و اقدامات لازم بعد از آن مطلع شوند.

با توجه به این که سیلاب‌ها به‌خصوص در مناطق حفاظت‌شده بسیار به‌ندرت به وقوع می‌پیوندند، خطر سیلاب بسیار دور از ذهن می‌نماید. بدین ترتیب عموم مردم تمایل به دست کم گرفتن خطرات و حتی صرف‌نظر کردن از این‌گونه خطرپذیری‌ها دارند که همین امر وظیفه سازمان‌ها و مراکز خدمات‌رسانی حرفه‌ای را در ایجاد آگاهی و اطلاع‌رسانی به مردم با مشکل مواجه می‌سازد. ممکن است در یک منطقه چند نسل متوالی وقوع سیل مهم و بزرگی را مشاهده نکرده باشند و آنها عکس‌العمل‌های مناسبی در برابر سیلاب‌های بزرگ از خود نشان ندهند. مشابه آنچه در ارتش برای آمادگی در شرایط استثنایی انجام می‌شود، آمادگی لازم باید به‌وسیله مانورهای منظم حفظ گردد.

یک نوار ویدیویی می‌تواند در چگونگی برخورد مناسب با خطرات سیل بسیار مفید واقع شود. این نوار می‌تواند در دسترس گروه‌های مختلف جامعه قرار گیرد، از جمله مدارس، دانشگاه‌ها، کتابخانه‌ها، سازمان‌ها، انجمن‌های مالکین و غیره. می‌توان از یک مجری رادیو تلویزیونی برای نقل مطالب استفاده کرد و به اعتبار این نوار در انتظار عموم افزود.

همچنین اطلاعات مربوط به خطر سیل را می‌توان به صورت یک طرح غیراضطراری به‌سادگی و به‌صورت ارزان در اختیار مردم قرار داد. این مطالب می‌تواند شامل تعاریف ساده باشد، این‌که در صورت وقوع سیل چه باید کرد و برای اطلاعات بیش‌تر در مواقع اضطراری و غیراضطراری به کجا مراجعه کرد. یکی دیگر از برنامه‌های بسیار موثر، آموزش و اطلاع‌رسانی به کودکان است. کتاب‌های نقاشی و داستانی مطلوب‌ترین گزینه‌ها در این زمینه به شمار می‌آیند. می‌توان این مطالب را در مدارس، کتابخانه‌ها، اداره‌های دولتی و اجتماعات عمومی در مراسم و مناسبت‌های مذهبی، اجتماعی و ملی توزیع کرد.

توسعه، تصویب و توزیع یک برنامه عملیاتی اضطراری پایان کار نیست. به‌روز نمودن و توسعه برنامه و اطمینان از آمادگی برای اجرای برنامه مهم‌ترین پارامترهای نگهداری برنامه محسوب می‌شود. تجهیزات سامانه‌ی هشدار سیل باید به منظور اطمینان از این‌که اجزاء هنگام وضعیت اضطراری به درستی عمل می‌نمایند به‌طور دوره‌ای بازدید شوند. ضرورت دارد در سال‌هایی که هیچ سیلی اتفاق نمی‌افتد مانورهای پیشگیری انجام گیرد. همچنین اطلاعات برنامه عملی در شرایط اضطراری باید حداقل سالی یک بار به‌روز شود و تغییرات کارکنان، شماره تلفن‌ها و مسوولیت‌ها در آن لحاظ شود.

دعوت از سازمان‌های دیگر برای شرکت در مانورهای دوره‌ای شرایط بهتری را برای شبیه‌سازی شرایط اضطراری سیل واقعی فراهم می‌کند. بعد از اتمام مانور و یا وقوع سیل، ضرورت دارد گزارشی تهیه شود و تغییرات لازم به مرحله اجرا درآید. بسیار ضروری است که سازمان‌های مقابله با سیلاب و اعضای جوامع از محدودیت‌های دقت در فرآیند پیش‌بینی سیلاب آگاهی داشته باشند. سازمان‌های مقابله، می‌توانند از اطلاعات مرتبط با دقت پیش‌بینی برای امتحان حساسیت عملیات مقابله با محدودیت‌های پیش‌بینی استفاده کنند. این عمل به سازمان‌ها کمک می‌کند تا عملکرد بهتری داشته باشند و با توجه به محدودیت‌ها، بتوانند در بدترین و سخت‌ترین شرایط و سناریوها عملکرد قابل قبولی ارائه دهند.

فصل ۱۱

سامانه بازیافت (بازتوانی) بعد از سیل

۱۱-۱- کلیات

فعالیت‌های پس از سانحه شامل فعالیت‌هایی است که پس از دوران اضطراری، آسیب‌دیدگان را برای بازگشت به زندگی معمول خود و بهبود اوضاع معیشتی رهنمون می‌کند. مجموعه عملیات پس از مرحله امداد اضطراری را (بازیافت) می‌نامند که حاوی دو مرحله ساماندهی و بازسازی است. تعیین زمان دقیق انجام یک مرحله و آغاز مرحله دیگر در سوانح طبیعی گوناگون متفاوت است. در این فصل پس از ارائه چارچوب‌های سامانه بازیافت بعد از سیل، نقش سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب در مرحله بازتوانی به صورت مختصر ارائه می‌گردد.

۱۱-۱-۱- ساماندهی

ساماندهی بر بازگرداندن خدمات بنیادی به عملکردهای پیش از سانحه، کمک به مردم در جهت خودکفایی و خودباوری، مرمت خرابی‌ها، اعطای تسهیلات مالی، بازتوانی فعالیت‌های اقتصادی و فراهم آوردن زمینه‌های حمایت از بازماندگان در زمینه‌های روانی و اجتماعی دلالت دارد. مرحله ساماندهی عمدتاً بر توانمند کردن آسیب‌دیدگان متمرکز است، تا جامعه آمادگی بازگشت به الگوهای زیست قبل از سانحه را بیابد. این مرحله در عین حال می‌تواند به عنوان یک دوره میان امداد اضطراری و توسعه پایدار بلندمدت تلقی شود.

۱۱-۱-۲- بازسازی

بازسازی عبارت است از تامین کل خدمات و زیرساخت‌های تخریب شده، جایگزینی کالبدی بناهای منهدم شده، بازتوانی کردن مجاری اقتصادی و در نهایت بهبود شرایط زیستی جامعه مصیبت‌زده. برنامه بازسازی باید بر اهداف طولانی‌مدت توسعه استوار باشد تا بتوان با در نظر گرفتن احتمال سوانح آتی، زمینه‌های کاهش خطرات را با به کارگیری ابزارهای مناسب در جامعه فراهم آورد. بناها و خدمات تخریب شده را می‌توان در شکل و مکان اولیه خود مرمت و درجاسازی نکرد، بلکه به گونه‌ای اضطراری یا موقتی بازسازی کرد، تا نیازهای دوران ساماندهی را برآورده سازند.

به طور مثال، پس از وقوع سیلی سهمگین، اگر راه‌اندازی خطوط انتقال انرژی اولویت نخست قلمداد شود، بقیه خدمات زیربنایی نیز به تدریج به عملکردهای اصلی خویش باز خواهند گشت. این در حالی است که در بازسازی خطوط انتقال انرژی، هدف از راه‌اندازی سامانه‌های سامان داده شده، ارتقای استانداردهای آنان و ایمن‌تر شدن نسبت به وضعیت قبل از سانحه است. به این ترتیب در مخاطرات احتمالی آینده، خطوط انتقال انرژی در سانحه بعدی آسیب بسیار کم‌تری خواهند دید.

در اغلب اوقات معنای بازتوانی مشمول هر دو فعالیت ذکر شده می‌شود. باید به خاطر سپرد که عملیات بازسازی الزاماً بازتوانی کامل را تامین نمی‌کند، بلکه غالباً برای رسیدن به شرایط عادی در جامعه به زمان طولانی‌تری نیاز است. حتی در بعضی مواقع، ممکن است بازتوانی هرگز تحقق نیابد. بنابراین، ارائه الگویی جهانی به عنوان یک ظرف زمانی ثابت برای دوره‌های ساماندهی و بازسازی به عوامل زیادی بستگی دارد که برخی از آنها عبارت‌اند از الگوهای پیش از سانحه، وسعت خرابی‌ها، میزان آلودگی، دسترسی به منابع، مجاری مناسب اداری و قانونی برای سرعت‌دهی به عملیات، اقتدار سیاسی و میزان پایبندی به اجرای کلیه برنامه‌ها.

غالباً بازتوانی اجتماعی و روانی جمعیت آسیب‌دیده و نقش مردم در برنامه‌های پس از سانحه نادیده گرفته می‌شود. سانحه عموم اقشار آسیب‌پذیر از قبیل سالمندان، بی‌سرپرستان، مادران و پدران تنها به‌جای‌مانده را به دلیل فقدان پشتوانه موثر مورد تهاجم بیش‌تری قرار می‌دهد. لازم به توضیح است که ریشه‌های خویشاوندی خانوارها پس از سوانح، به دلیل مرگ پدر و مادر و بی‌خانمانی کودکان، چنان آسیب می‌بینند که برخی اوقات باعث می‌شود این افراد راه مهاجرت را به امید یافتن کار و امرار معاش، در پیش گیرند. گروه‌هایی از این قبیل برای مصونیت در برابر اثرهای مخرب سوانح محتاج حمایت‌های ویژه و اضطراری هستند.

از جنبه دیگر، لطمات روحی ناشی از فقدان خویشاوندان و دوستان نیز همانند آشفتگی‌های اجتماعی شوک سانحه را طولانی‌تر می‌کند که اثرهای منفی آن در بازتوانی کالبدی نمایان می‌شود. بنابراین، ضروری است امدادهای اجتماعی و برنامه‌های روان‌درمانی فوری پس از سانحه به عنوان بخشی از سیاست‌های بازتوانی اجرا شوند. این نوع پشتیبانی‌ها نه تنها جامعه آسیب‌دیده، بلکه امدادگران و مجریان امور بازسازی را باید در برگیرد. زیرا آنان نیز بر اثر فشارهای ناشی از کار در شرایط سخت دچار افسردگی و خستگی زودرس می‌شوند.

۱۱-۲- برنامه‌ریزی برای ساماندهی و بازسازی

مسئولیت‌های بازتوانی نیازمند به فراهم آوردن اطلاعات و توصیه‌های لازم برای چگونگی مدیریت نمودن عملیات بازتوانی در سطوح خانوار و غیره است. فرآیند بازتوانی در تامین ورودی‌های لازم به منظور بازنگری در ساختارهای اجتماعی^۱ که می‌تواند در یکپارچه‌سازی فرآیندهای برنامه‌ریزی سیلاب^۲ و مدیریت سیلابدشت‌ها^۳ مفید باشد، دخیل است.

بخش‌های آسیب‌پذیر پیش از وقوع سیل معمولاً قابل شناسایی‌اند. از آن‌جا که سیل برای زمین‌های کشاورزی و بنادر ماهیگیری در مناطق روستایی مشکل‌آفرین است، برنامه‌ریزی‌های ساماندهی و بازسازی باید منطبق بر شدت تخریب احتمالی ناشی از سیل و اولویت‌های کمک‌رسانی به آسیب‌دیدگان تدوین شوند. مثلاً بعد از آمدن سیل در یک روستا، آماده‌سازی زمین کشاورزی برای فصل کاشت بعدی، نسبت به بازسازی خانه‌ها ممکن است در اولویت بالاتری باشد. پس از وقوع سیل سال ۱۹۹۲ پاکستان، اکثر کمک‌های مالی دولت به روستاییان برای بازسازی خانه‌ها صرف خرید دام، علوفه و بذره‌های زراعی شد. وقوع چنین سوانحی در ابعاد بزرگ پیامدهای منفی سیاسی دارند و نهایتاً موجب تضعیف دولت می‌شوند و در عین حال، نقطه‌ضعف‌های دولت را در فعالیت‌های بازتوانی نمایان می‌سازند. بنابراین، در برنامه‌های ساماندهی و بازسازی نباید صرفاً به‌جایگزینی کاستی‌هایی که محسوس است بپردازند، بلکه باید به طراحی چیزهایی که فوراً قابل رویت نیستند نیز پرداخته شود که برخی از آن موارد شامل تقویت سامانه‌های اداری، اجتماعی، اقتصادی و روان‌شناختی جامعه‌ای که درگیر سانحه است می‌شود.

۱۱-۲-۱- راهکارهای پیشنهادی برای برنامه‌ریزی صحیح برای بازتوانی

در طول عملیات بازتوانی پس از وقوع سیلاب، فشارهایی برای کسب اطمینان از بازگشت سریع جامعه به شرایط معمول خود وجود دارد. با این وجود، در این دوره می‌توان فعالیت‌هایی برای کاهش اثرهای سیل‌های آتی پایه‌ریزی نمود. درس‌های مرتبط با

1- Community Re-design
2- Flood Planning
3- Flood Plain Management

برنامه‌ریزی برای سیل مانند درس‌های مرتبط با مدیریت آبی سیلابدشت باید به کار گرفته شوند. راهکارهای موجود در این زمینه می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- انجام مطالعات و نظرسنجی‌های اجتماعی برای بهره‌برداری از دیدگاه‌های مدیریت سیل و پیامدهای بعدی آن جهت کسب اطلاعات مربوط به برنامه‌ریزی مجدد استراتژی‌های مردم و اموال و ارتقای سطح عملیات باز توانی در آینده
- انجام مطالعات خسارت‌های سیل نه تنها برای تعیین خسارات وارد آمده بلکه به منظور اجتناب از خسارات در راستای اجرای طرح‌ها و فعالیت‌های فردی و اجتماعی (نظیر هشدار، اقدامات شخصی برای تخفیف خسارات وارد آمده به دارایی‌ها در نتیجه افزایش آگاهی‌ها و غیره)
- انجام مطالعات تاثیرات اقتصادی به منظور تعیین و مکان‌یابی املاک و مستغلاتی که به صورت متناوب دچار سیل‌گرفتگی می‌شوند. این مطالعات در حدی که به یک مسوولیت اجتماعی تبدیل گردند باید دنبال شوند
- بازنگری آیین‌نامه‌های ساختمانی و ناحیه‌بندی کاربری اراضی برای اطمینان از این که ساختمان‌ها به نحو مناسبی مقاوم گشته‌اند و همچنین برای تشویق مالکان برای ضدسیل نمودن (مصون نمودن در برابر سیلاب) با مقاوم‌سازی یا اقدامات دیگر

۱۱-۲-۲- جنبه‌های مختلف خسارات ناشی از سیل

۱۱-۲-۲-۱- مقیاس خسارت

شناسایی مقیاس و محل خرابی‌های ناشی از سانحه اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد، زیرا لازمه برنامه‌ریزی دوران‌های ساماندهی و بازسازی است. میزان و درصد آنچه که از میان رفته یا تخریب شده نسبت به آنچه باقی‌مانده است، بر نحوه برنامه‌ریزی و اجرای عملیات باز توانی تاثیر گذار است.

۱۱-۲-۲-۲- مکان وقوع سیل

مکان وقوع سانحه در تعیین و درک صحیح بخش‌های آسیب‌دیده و تدوین سیاست‌های ساماندهی و بازسازی اهمیت فراوان دارد. مکان‌های آسیب‌پذیر در برابر سیل در مناطق گوناگون مختلف‌اند. مثلاً در مناطق روستایی به تسهیلات زیرساختی، اداری، تجاری و صنعتی توجه و تاکید کم‌تری می‌شود، ولی در مقابل، منابع معیشتی از جمله بذر کشاورزی جهت کاشت محصول غالب امری حیاتی در باز توانی سریع مردم آسیب‌دیده محسوب می‌شود. اما در بازسازی یک شهر پس از سیل، ساماندهی و راه‌اندازی زیرساخت‌های تخریب‌شده برای ترمیم نهادهای اقتصادی شهر از عمده‌ترین فعالیت‌های شهری محسوب می‌شوند. زیرا کارکرد این نهاد بستگی تام به در دسترس بودن خطوط انتقال انرژی و تسهیلات مخابراتی و حمل و نقل دارد. باید به‌خاطر داشت که در صورت آسیب‌دیدن زیرساخت‌هایی از جمله مراکز بهداشتی یا راه‌های ارتباطی در روستاها به احتمال زیاد مراحل ساماندهی و بازسازی به تاخیر خواهند افتاد. مگر این که جایگزین‌های مناسبی به‌جای آنان پیش‌بینی شوند. در چنین شرایطی ساماندهی تسهیلات روستایی اولویت اصلی باز توانی سریع آسیب‌دیدگان محسوب می‌شود. به طور مثال، مرمت راه‌های دستیابی به مراکز تجاری و بهداشتی نسبت به بازسازی مسکن در جوامع روستایی در اولویت قرار دارند. روستاییان عموماً قادرند با مصالح محلی سرپناه‌های موقتی برای خود

احداث کنند، ولی ترمیم زیرساخت‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری، تجهیز ماشین‌آلات و فراهم بودن تخصص‌های ویژه‌ای که به‌ندرت در جوامع روستایی یافت می‌شوند، است.

مشکلات خاصی که در برخی شهرها خصوصا جوامع در حال توسعه پس از سانحه به‌وجود می‌آیند، عمدتاً ریشه در تشکیلات مرکزی اداری، سیاسی، تجاری و فرهنگی دارند. بنابراین، زیان‌های سنگین ناشی از سوانح در شهرهای بزرگ ممکن است تأثیرات منفی فراوانی در روند تصمیم‌گیری سریع در نحوه تخصیص منابع کشور داشته باشند، که در این صورت، تسریع روند ساماندهی را الزامی می‌سازند. پس ظرفیت‌های موجود و بالقوه موسسات عمومی و خصوصی برای بازسازی‌شان باید پیش از آغاز عملیات اجرایی در برنامه‌ریزی ارزیابی شوند.

توجه مقامات به یک منطقه خاص باعث می‌شود معضلات سایر مناطق نادیده گرفته شود. گاهی اوقات رسانه‌های گروهی اخبار را از دیدگاه خاصی منتشر می‌کنند. به‌طور مثال، مشکلات چندین روستای کوچک می‌تواند تحت‌الشعاع وقایع یک شهر بزرگ قرار گیرد یا تمرکز اخبار در یک مرکز خاص موجب کم‌توجهی به مرکز آسیب‌دیده شود. اصولاً مناطقی که از نظر نژادی، سیاسی، اقتصادی و اجتماعی در اقلیت یا حاشیه قرار دارند، هنگام بازسازی کم‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند.

۱۱-۲-۳- بخش‌های آسیب‌پذیر

دوران ساماندهی و خصوصا بازسازی اغلب به تعمیر و دوباره‌سازی خرابی‌های کالبدی اختصاص دارد. در صورتی که زیان‌های نامحسوس^۱ شامل اثرهای روانی و اجتماعی سانحه، مشکلات اقتصادی و مسایل فرهنگی جوامع در حین بازسازی معمولاً بسیار کم مورد توجه قرار می‌گیرند.

یک برنامه جامع ساماندهی و بازسازی باید به نیازهای کالبدی و روحی- روانی جوامع توأمان پاسخ دهد، در غیر این صورت، نتایج منفی به بار خواهد آمد. زیرا اولاً احتمال نابودی سرمایه‌گذاری در بازسازی مسکن، بدون توجه به نیازهای مردم از نظر بازتوانی اجتماعی- روانی و خودکفایی اقتصادی وجود دارد و ثانیاً شناخت روابط علت و معلولی میان کالبدی و اجتماعی- روانی امری مهم است. باید توجه داشت که اگر در فرآیند بازسازی، آسیب‌دیدگان در احداث خانه‌هایشان فعال شوند، تأثیر به‌سزایی در بهبود سریع وضعیت روحی و حتی اقتصادیشان خواهد داشت و میزان وابستگی این جوامع را به عوامل بیرونی کاهش خواهد داد.

۱۱-۳- ارزیابی نیازها در فعالیت‌های بازتوانی

ارزیابی نیازهای ناشی از زیان‌ها و تلفات احتمالی آینده به برنامه‌ریزی بهتر فعالیت‌های ساماندهی و بازسازی کمک می‌کند. ارزیابی اولیه از سانحه، به‌طور طبیعی بر برآورد نیازهای اضطراری استوار است، این که چه نیازی اولویت دارد و به چه میزانی، معمولاً میان دست‌اندرکاران مورد اختلاف نظر و عقیده است. خلق یک تصویر شفاف از شرایط موجود برای تصمیم‌گیری به نحوه و نوع اطلاعات جمع‌آوری شده و تشخیص میزان صحت آنها توسط افراد مجرب بستگی دارد. این امر مستلزم مشورت‌های لازم با آسیب‌دیدگان و نمایندگان‌شان به منظور شناخت اولویت‌ها و نیازهاست. مواردی که برای اتخاذ روش‌های مقتضی در دوران ساماندهی و بازسازی باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

- تبیین وضعیت

- متعادل کردن نیازهای روانی، اجتماعی، اقتصادی با نگرش کالبدی
- شناخت این حقیقت که جوامع یکدست و همگون نیستند
- در نظر گرفتن نیازهایی که کم‌تر محسوس‌اند
- تشخیص و تمیز میان نیازها و خواست‌ها
- شناسایی نیازهای غفلت شده در هر مرحله از تصمیم‌گیری
- اطمینان یافتن از این‌که همه بخش‌ها و مناطق آسیب‌دیده ارزیابی می‌شوند
- شناسایی نیازهای اساسی که به سایر بخش‌های بازتوانی وابسته هستند
- اطمینان یافتن از این‌که ارزیابی جامع بوده است و همه آنچه را که حتی ظاهراً به آنها نیاز نیست در برمی‌گیرد

۱۱-۳-۱- نقش منابع موجود در انجام فعالیت‌های بازتوانی

برقراری تعادل میان پاسخ‌دهی به نیازها از یک سو و منابع موجود از سوی دیگر از موارد حساس در همه مراحل فعالیت‌های پس از سانحه است. درحالی‌که مرحله امداد ممکن است امکانات فراوانی را در سطوح ملی و بین‌المللی به خود اختصاص دهد، مراحل ساماندهی و بازسازی نمی‌توانند سهم زیادی از امکانات را جذب کنند. از این‌رو، اولویت‌بندی نحوه و نوع سرمایه‌گذاری‌ها در بخش‌های گوناگون اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا منابع مالی غالباً محدود هستند.

در این مورد، نقش کمک‌های خارجی باید به دقت شناسایی شود و نقاط قوت و ضعف جامعه به‌منظور بسیج کلی منابع اضطراری تعیین گردد. در نتیجه، منابعی که در سطوح محلی و ملی در دسترس نیستند مشخص خواهند شد. براساس تجربیات قبلی بازسازی، منابع زیر غالباً مورد نیازند:

- سرمایه و تبیین راهکارهای مقتضی برای هدایت آن به سوی بازماندگان و بخش‌های مربوط
- مصالح ساختمانی برای احداث سرپناه‌ها، زیرساخت‌ها، تاسیسات بهداشتی و غیره
- تجهیزات و ابزار جهت پاکسازی معابر، تعمیرات، حمل و نقل کالاها، بازتوانی تاسیسات بهداشتی، کشاورزی و غیره
- نیاز فوق‌العاده به منابع انرژی و نیرو برای حمل و نقل، ارتباطات و...
- زمین لازم برای ساخت و ساز (ممکن است بسیار گران باشد یا موجود نباشد)
- منابع انسانی برای برنامه‌ریزی، هماهنگی و اجرای مراحل ساماندهی و بازسازی
- اطلاعات مفید و کافی برای اقدام
- ساختار سازمان‌های اداری، ویژه فعالیت‌های ساماندهی و بازسازی

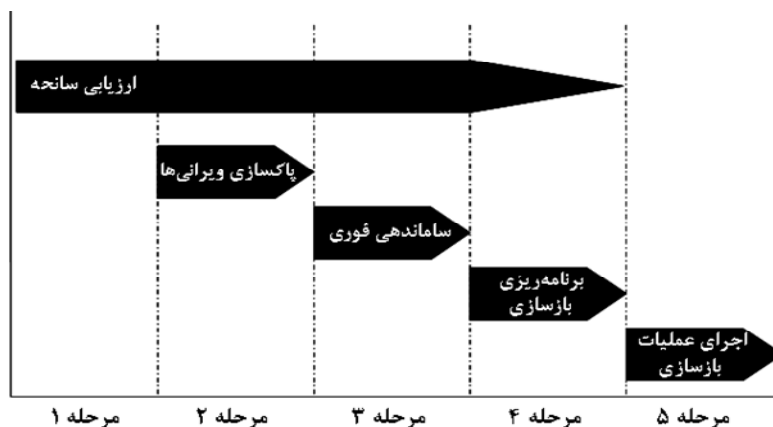
۱۱-۴- بازسازی

ساماندهی و بازسازی فعالیت‌های متمایزی هستند، اما در مجموع نباید از عملیات قبل و بعد از سانحه جدا پنداشته شوند. بازسازی، پس از سانحه، زمینه‌های کاهش خطر را ایجاد می‌کند که امکان دستیابی به آنها در شرایط معمول موجود نیست. در این مواقع، استفاده درست از موقعیت‌های پیش‌آمده، ضمن تقویت مرحله بازتوانی، منجر به عملکرد مثبت جامعه آسیب‌دیده در برابر سوانح آتی خواهد شد. همچنین ادغام برنامه‌ریزی ساماندهی در برنامه‌های ملی و آمادگی سبب اجرای هرچه بهتر عملیات بازتوانی می‌شود.

۱۱-۴-۱- مدیران و دست‌اندرکاران بازسازی

پرسش‌هایی که پیش روی اکثر برنامه‌ریزان بازتوانی قرار دارد عبارتند از: چه کسی نیازمند است؟ در چه زمانی نیازمند است؟ و چه باید کرد؟ پاسخ قابل قبول در بینشی جامع، میزان موثر بودن تلاش‌های بازتوانی بستگی دارد. نظر به نیاز فراوان به منابع انسانی در یک بازتوانی موثر، مجریان بازسازی باید ضمن بسیج گروه‌های داوطلب مردمی از نیروی آنان استفاده کنند.

مراحل بازتوانی از دیدگاه زمان‌بندی و برنامه‌ریزی منوط به گذار از ساماندهی به بازسازی پنج مرحله است. شکل (۱-۱۱)



شکل ۱-۱۱- مراحل بازتوانی از دیدگاه زمان‌بندی و برنامه‌ریزی

در جدول (۱-۱۱) مجموعه عوامل و سازمان‌هایی که در هر مرحله خاص از امداد قادر به مشارکتند، مشخص شده‌اند. این عوامل و سازمان‌ها باید حایز شرایط زیر باشند:

- تمام دست‌اندرکاران در ارتباط با یکدیگر باشند
- عوامل مزبور مشاغل و وظایف مشخصی به عهده داشته باشند
- برای هر شغلی تعریفی روشن از قانون‌مندی، منابع و مسوولیت‌پذیری وجود داشته باشد
- دست‌اندرکاران با اعضای مرکزی دولت همکاری کنند

جدول ۱-۱۱- دست‌اندرکاران شاخص در بازتوانی پس از سانحه

ارزیابی سانحه	پاکسازی خرابی‌ها	ساماندهی سریع	برنامه‌ریزی بازسازی	عملیات بازسازی	
سازمان‌های دولتی					
×	×	×			ارتش
×	×	×			ارگان‌های امدادی
×	×	×	×	×	وزارتخانه‌های دولتی
			×		شورای بازسازی
×	×	×	×	×	دولت‌های محلی
×	×	×	×	×	دولت‌های خارجی / ارگان‌های وابسته به سازمان ملل
سازمان‌های غیردولتی					
×		×			بنگاه‌های امدادسانی غیردولتی
×	×		×	×	رسانه‌های گروهی*
×	×		×		متخصصان / بخش تجاری
×	×	×	×	×	گروه‌های مردمی

* یا نقش اطلاعات مردمی در تمام مراحل بازتوانی

۱۱-۴-۲- تخفیف خطر در بازسازی

هدف از بازسازی در حد مطلوب، برقراری مجدد شرایط گذشته در جامعه آسیب‌دیده با استاندارد به مراتب بالاتر است. هر اقدامی در جهت بهینه‌سازی شرایط قبل از سانحه باید به کاهش خطر سانحه و تخفیف خسارات آینده منجر شود. یکی از وجوه ساختاری و غیرساختاری تخفیف خطر در بازسازی مورد زیر است:

- کدهای ساختمانی، تبیین نوعی آیین‌نامه موقتی اضطراری برای تعمیرات است که به روند کار اجرایی سرعت می‌بخشد، از بازسازی حمایت می‌کند و موجبات مرمت فوری بناهای تخریب شده را فراهم می‌آورد. این کار تا زمانی که آیین‌نامه‌های اصلی ساختمانی تهیه و ابلاغ شوند باید ادامه یابد. باید در نظر داشت که آیین‌نامه‌های زمان اضطرار در طولانی مدت اگر مورد بازنگری اساسی قرار نگیرند، احتمالاً مشکل آفرین خواهند شد.

۱۱-۴-۳- پادسیل‌سازی^۱ (ضد سیلاب کردن)

تغییرات در ساختمان‌ها، سازه‌ها و اطراف آنها به‌نحوی که خسارات ناشی از سیل در آن بنا کاهش یابد، پادسیل‌سازی نامیده می‌شود.

تمهیدات لازم برای پیشبرد اقدامات پادسیل‌سازی:

- تمهیدات فردی و جامعه
- تمهیدات (دولت) محلی
- تمهیدات منطقه‌ای و ملی



شکل ۱۱-۲- نمایش تصویری مبانی پادسیل‌سازی

۱۱-۴-۴- بازسازی و برنامه‌های آمادگی

برنامه‌های متداول آمادگی اغلب مشتمل بر انبار کردن مواد غذایی، برپایی سرپناه اضطراری، تهیه کردن دارو، ابزار و غیره برای رفع نیازهای فوری و ساماندهی است. علاوه بر این، مزایای ملحوظ داشتن نیازهای بازسازی در برنامه‌های آمادگی نیز روشن است. موارد زیر بر تلاش‌های ساماندهی و بازسازی سرعت می‌بخشند:

- ارزیابی خطرها و آسیب‌پذیری شامل هر دو بخش کالبدی و انسانی، شناسایی مشکلات احتمالی آینده، پیش‌بینی محل، کمیت و ماهیت نیازهای ساماندهی و بازسازی
- توسعه و تکمیل استانداردها و نحوه جمع‌آوری داده‌ها در سطح ملی و انتشار ارزیابی میزان خرابی‌ها و نیازها
- برنامه‌ریزی برای تخلیه مجروحان و برپایی سرپناه برای مردم آسیب‌دیده و مکان‌یابی مراکز بهداشتی، آموزشی و تسهیلات اداری تا زمانی که بازسازی کامل شود.
- شناسایی نیروهای بالقوه جهت رفع نیازهای ساماندهی و بازسازی از جمله نیروهای مردمی و منابع محلی

- ارائه آموزش لازم برای تقویت منابع انسانی، به‌ویژه در سطح محلی و تربیت پرسنل متخصص در زمینه‌های بهداشتی، حمایت‌های روان‌شناختی، سرپناه، آب، بهداشت و غیره
- تقسیم مسوولیت‌ها در فرآیندهای ساماندهی و بازسازی، تبیین وظایف و مسوولیت‌ها در سازمان‌های محلی و ملی
- قانون‌گذاری برای ایجاد هماهنگی بین کلیه بخش‌ها، سازمان‌های غیردولتی و امدادهای بین‌المللی هنگام ساماندهی و بازسازی و تهیه ساختاری روشن برای تصمیم‌گیری
- قانون‌مندی مصوبه‌های تخصیص زمین، تغییرات کاربری‌ها، تامین منابع مالی بازسازی، کدها، استانداردها و روش‌های بهبود برنامه‌های شهری
- تحقیق در مبانی اجتماعی و اقتصادی برای مطالعه ابعاد جامعه، استانداردهای زندگی، ظرفیت بازپرداخت و سطوح توان محلی
- روش‌های شناسایی کمک‌گیرندگان
- تقویت مشارکت مردم محلی و خودکفایی در اموری از قبیل کشاورزی و تعاونی‌های مسکن که سازمان‌های مفیدی برای اجرای عملیات در طول ساماندهی و بازسازی محسوب می‌شوند.

۱۱-۵- مرحله بعد از فروکش شدن سیلاب

پس از فروکش کردن سیل، مقابله با سیلاب وارد مرحله تکمیلی می‌شود. لازم به ذکر است که حتماً پس از رفع خطر سیلاب، شبکه‌های مقابله با سیل نباید از حالت آماده باش و بسیج خارج شوند. ابتدا باید تجارب با ارزش حاصله در جریان سیل برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی و کاربرد آن در اصلاح روش‌های مقابله با سیل، فنون و رهیافت‌های لازم در حوادث سیل آتی ثبت شوند. وظایف اصلی در زمان فروکش سیلاب شامل موارد زیر است:

- مطالعه علل سیل و نیز گسترش آن
- تجزیه و تحلیل رفتار شبکه حفاظت از سیل، شناسایی و ثبت تمام نقاط ضعیف شده، شکستگی‌ها و نقاط آسیب‌دیده در جریان سیل و نیز موفقیت‌های به دست آمده
- تجزیه و تحلیل تمهیدات به کار گرفته شده در مقابله با سیلاب، مشکلات پیش آمده و تجارب مثبت و منفی
- تجزیه و تحلیل جوانب مالی مقابله با سیل، هزینه‌های مربوط به تمهیدات مقابله با سیل و به‌جا بودن آنها
- تجزیه و تحلیل جنبه‌های قانونی و سازماندهی، از قبیل کارایی همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی در صورت به‌کارگیری آنها
- تجزیه و تحلیل پاسخ‌گویی عموم به فعالیت‌های مقابله با سیلاب، همکاری گروه‌های حرفه‌ای، بخش خصوصی، افراد و غیره

این مطالعات و تجزیه و تحلیل‌ها باید منتهی به پیشنهادهای برای اصلاح شبکه حفاظت از خسارات سیل، در تمهیدات سازه‌ای و غیرسازه‌ای شود. به‌ویژه طرح‌های مقابله با سیلاب با توجه به جنبه‌های قانونی آن اصلاح و با آخرین اطلاعات موجود تطبیق داده شوند.

۱۱-۵-۱- جزئیات فعالیت‌های بازتوانی بعد از وقوع سیل

بازتوانی بعد از وقوع یک سیل شامل انجام فعالیت‌های است که سلامت مردم را حفظ نماید، خدمات اجتماعی و زیرساخت‌ها را بازسازی کند و به مردم کمک و همیاری رساند. یک مدل مناسب و مفید فعالیت‌های لازم را در ۴ کلاس گروه‌بندی می‌کند:

- بازگرداندن آوارگان
- حفظ و بازسازی تسهیلات تامین‌کننده سلامت جامعه
- تعمیر ساختمان‌ها
- ارائه کمک‌ها و همیاری‌های فردی و ارائه خدمات شخصی

۱۱-۶- بازتوانی سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب

برخی از اجزای سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب در مقابل سیل آسیب‌پذیرند که در این رابطه باید به‌خصوص به ایستگاه‌های هیدرومتری اشاره نمود. با توجه به ماهیت سیلاب و احتمال وقوع سیلاب‌های پیاپی لازم است آسیب‌های احتمالی وارد بر سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب در کوتاه‌ترین زمان ممکن برطرف شده و سامانه برای پیش‌بینی و هشدار سیلاب‌های محتمل بعدی آماده باشد. در این رابطه ممکن است درست پس از رویداد اولین سیل و از کار افتادن برخی از اجزای سامانه، اقداماتی به‌صورت موقت صورت گیرد مانند پایش تراز رودخانه توسط نیروی انسانی و اطلاع‌رسانی به‌وسیله بی‌سیم. تدابیر لازم برای آماده به‌کار بودن اجزای نرم‌افزاری سامانه در بدترین شرایط باید از قبل اتخاذ شده باشد. باید به‌خاطر داشت که در دوره‌ی پس از سیلاب، آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها می‌تواند به شدت افزایش یابد و هشکاری و تطبیق‌پذیری خاصی مورد نیاز است. برای مثال بزرگ‌ترین سیلاب رودخانه سیستان در بهمن ماه ۱۳۶۹ روی داد. این سیلاب موجب تخریب برخی از سیل‌بندها یا گوره‌ها گردید. بنابراین آسیب‌پذیری سازه‌های مهار سیلاب در سیلاب‌های بهاره ۱۳۷۰ به شدت افزایش یافت. با توجه به موارد ذکرشده توصیه‌های کلیدی در مورد بازتوانی سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب عبارتند از:

- براساس تحقیقات گسترده بین‌المللی، طراح سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب باید به فراوانی سیلاب‌ها و خشکسالی‌ها در اثر تغییر اقلیم توجه داشته باشد به این دلیل که احتمال وقوع سیلاب‌های بزرگ ممکن است در عمل بیش از مقداری باشد که محاسبات نشان می‌دهد. لذا باید در طرح عمل شرایط اضطراری سناریوهای مربوط به سامانه پیش‌بینی و هشدار نیز ملحوظ گردد.
- سیلاب‌های بزرگ می‌توانند روابط آبدهی-تراز رودخانه‌ها را به نحو قابل ملاحظه‌ای تغییر دهند. این امر با تخریب سیل‌بندها و انحراف سیل به سیلابدشت‌ها، فرسایش شدید بستر و رسوب‌گذاری در بستر رودخانه صورت می‌گیرد. در این شرایط منطقی است که با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمان واقعی در مقاطع بالادست و پایین‌دست بتوان منحنی آبدهی - تراز را اصلاح نمود.
- با توجه به اهمیت سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب در زمان سیلاب، لازم است مستندات طراحی این سامانه و حتی فایل‌های ورودی برنامه‌های رایانه‌ای در طرح عمل شرایط اضطراری ارائه گردد. به‌علاوه وظایف و ارتباطات پرسنل

کلیدی سامانه باید به طور کامل در طرح عمل شرایط اضطراری آورده شود. در این رابطه علاوه بر بهره‌برداران سامانه، طراحان کلیدی نیز باید در نظر گرفته شوند.

- با توجه به خصوصیات فصلی رودخانه‌ها باید احتمال وقوع سیلاب‌های پیاپی در طراحی‌ها ملحوظ شود.
 - با توجه به اهمیت پیش‌بینی و هشدار سیلاب در زمان واقعی لازم است اجزای آسیب‌پذیر سامانه از قبل شناسایی شده و راهکار جایگزین برای آنها پیش‌بینی شود. در این رابطه باید به‌خاطر داشت که در موارد زیادی حتی روابط ساده رگرسیونی می‌تواند زمان پیش‌هشدار مناسبی را به‌دست دهد.
- با توجه به موارد فوق لازم است به‌روزنمایی ادواری سامانه به‌طور جدی در دستور کار قرار گیرد.

فصل ۱۲

سامانه مدیریت پیوسته، ارزیابی،

بهره‌برداری، نگهداری و توسعه

۱-۱۲ - کلیات

یک سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیل باید با مشخصه‌های سیلاب و نیازهای واکنش صحیح جامعه منطبق باشد. لذا شاخص‌های عملکرد سامانه را می‌توان در قابلیت اعتماد، سرعت واکنش و کفایت اطلاعات انتقالی خلاصه کرد. از دیدگاه قابلیت اعتماد، سامانه پیش‌بینی، هشدار و واکنش سیلاب از مجموعه‌ای از اجزا تشکیل شده است که هر یک احتمال شکست خاص خود را می‌توانند داشته باشند. اعتقاد کلی بر این است که قسمت اعظم تلاش و هزینه در قسمت پیش‌بینی متمرکز شده است. این در حالی است که قسمت هشدار از کم‌ترین قابلیت اعتماد برخوردار است. در واقع پخش و گسترش هشدارها به سازمان‌ها و افراد و تشکیلات ذی‌نفع یا مسوولان عملاً ضعیف‌ترین حلقه این زنجیره را تشکیل می‌دهد. کلیه فعالیت‌ها در سامانه مستلزم زمان مشخصی برای اجرای وظیفه محوله است. شاخص سوم به طبیعت سامانه هشدار بر می‌گردد که چه نوع اطلاعاتی، به چه میزان و چگونه انتقال داده شود و این اطلاعات به چه صورت می‌تواند دریافت‌کنندگان را در مقابله با سیلاب کمک کند؟ اصولاً شاخص‌های ارزیابی منافع اجتماعی دریافتی از سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب به واکنش افراد (اعم از منفرد یا مجتمع) به این گونه سامانه‌ها (جمعیت هشدار داده شده، اجتناب از تلفات جانی و خسارات مالی و رضایت مردم) وابسته است.

بررسی ۱۸ سامانه‌ی پیش‌هشدار سیلاب در آمریکا برای سیلاب‌های ناشی از شکست سد نشان می‌دهد که مسایل اصلی این گونه سامانه‌ها عبارتند از:

- عملکرد ناصحیح تجهیزات
- اعتبارات مالی ناکافی برای نگهداری
- سطوح ناهماهنگ حفاظت
- سطوح ناهماهنگ انتظارات
- سطوح مختلف تعهد به سامانه
- کم‌توجهی به توان عکس‌العمل
- تمایل به اعتماد بیش از حد به سامانه هشدار

این تحقیقات نشان می‌دهد که اطلاعات موجود برای ارزیابی دقیق عملکرد و تاثیر سامانه‌های هشدار کافی نیست و همچنین اگر هدف، کاهش تلفات جانی و خسارات سنگین مالی به مستغلات باشد، به سامانه‌ی هشدار فقط باید به‌عنوان یک مولفه و تنها یک مولفه از یک مجموعه کامل سامانه کاهش خسارات سیل توجه شود.

۱-۱۲-۲ - مرور و بازنگری سامانه‌ی هشدار سیل

۱-۱۲-۱ - ملاحظات عمومی در بازنگری سامانه‌های هشدار سیل

در طی انجام مراحل بازنگری سامانه، بررسی‌های منتقدانه‌ای بر روی تمام یا بخشی از قسمت‌های سامانه‌ی هشدار سیل صورت می‌گیرد. این بازنگری‌ها با هدف ارتقای عملکرد آن سامانه صورت می‌گیرند.

موارد زیر باید در انجام بازنگری سامانه مورد ملاحظه قرار گیرند:

- حفظ عملکرد سامانه هشداردهنده و اعتمادپذیری آن
- کسب اطمینان از این که درس‌ها و تجربیات به دست‌آمده از تجربیات گذشته به فراموشی سپرده نشوند.
- کسب اطمینان از لحاظ نمودن تغییرات به‌وجود آمده در شرایط حوضه آبریز و آبراهه و فن‌آوری و همچنین در جوامع بشری در معرض ریسک در اجرایی نمودن سامانه هشدار سیل
- بازنگری در مورد سامانه می‌تواند از طریق تبادل اطلاعات به‌طور غیررسمی و یا جلسات عمومی رسمی صورت گیرد. مردمی که در معرض خطر هستند ذی‌نفعان مهمی در سامانه هشداردهنده به شمار می‌آیند که باید برای شرکت در گردهمایی و بحث در مورد عملکرد سامانه و ارائه‌ی راه‌های ارتقای آن تشویق گردند.
- جنبه‌های منتقدانه بازنگری‌ها بر کسب اطمینان از موارد زیر تمرکز دارند:
 - بازنگری به‌صورت تشریفاتی و یا رفع مسوولیت از مسوولین انجام نشود.
 - سازماندهی‌های موجود در سامانه هشدار سیلاب، در یک قالب ساختاری و به‌طور موثر پاسخ‌گوی مسایل و مشکلات مربوط باشند.
 - بازنگری‌ها با هدف ارتقای سامانه صورت گیرند.
 - شاخص‌های عملکردی برای ارزیابی کارایی سامانه باید تعریف شده و در چارچوب طرح موجود، عملکرد سامانه محک زده شود.

۱۲-۲-۲- سطوح مختلف مرور و بازنگری سامانه

سامانه‌های هشدار سیل نیازمند بازرسی منظم در سطوح مختلف به‌منظور اطمینان از کارایی آنها در شرایط اضطراری و شناسایی نقاط ضعف که نیاز به بهبود دارند، هستند. بنابراین کارایی سامانه می‌تواند به صورت هدف‌مندی ارزیابی شود. مرور و بازنگری سامانه باید در دو سطح انجام شود که عبارتند از:

- سطح استراتژیک: در این بازنگری‌ها، کمیته‌ی مشورتی راهبردی باید همراه با دولت محلی وارد عمل شوند.
- سطح بهره‌برداری: در این بازنگری‌ها، سازمان‌های موجود عملکردهای اجرایی خود را مورد آزمون قرار می‌دهند. بنابراین لازم است سازمان‌های مسوول پیش‌بینی فرآیندهای پیش‌بینی سیل را بررسی کنند. ضمن این که سازمان‌های مدیریت شرایط اضطراری محلی، باید شیوه انتشار روش‌ها و کارایی پیام هشدار را آزمایش کنند. به علاوه سازمان‌های محلی باید اطلاعات GIS و سایر اطلاعات ثبت شده سیل که در تعیین ساختار پیام مورد استفاده قرار گرفته را مرور کرده و با مردم محلی هم‌فکری کنند.

۱۲-۲-۳- ملاحظات قابل توجه در فرآیند بازنگری

بازنگری‌ها باید بلافاصله پس از یک سیل و در اولین فرصت انجام شوند. اتلاف وقت کم‌تر باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. در هر صورت عملکرد سامانه باید امتحان گردد. فرآیند بازنگری فرصتی برای آزمون کفایت سامانه‌ی هشدار در شرایط بحرانی و اطمینان از چگونگی عملکرد هر قسمت است.

حوادثی که به سختی از آن احتراز شده (اصطلاحاً به خیر گذشته است) ممکن است تجربیات ارزشمندی را با هزینه نسبتاً کم مهیا سازند. در هر دو مورد سامانه در حالت عملیاتی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. مرحله بازنگری، فرصت انجام آزمونی است از این که آیا سامانه در حال نیل به اهداف خود است یا خیر و نیز جهت کسب آگاهی از چگونگی عملکرد هریک از بخش‌های آن است. بازنگری‌ها نباید محدود به تشخیص موفقیت‌ها یا شکست‌ها باشند. آنها باید بر نقاط ضعفی که منجر به از بین رفتن دقت و اعتمادپذیری سامانه می‌شوند یا عواملی که باعث بهبود عملکرد می‌شوند تمرکز داشته باشند.

بازنگری‌ها شامل هر دو بخش فنی (علمی) و غیرفنی (اجرایی) سامانه هشدار سیل هستند و عملکرد سامانه‌ی پیش‌بینی را مورد سنجش قرار می‌دهند. این کار به دو دلیل انجام می‌شود؛ نخست برای کمک به بهبودی و در صورت امکان واسنجی مجدد مدل‌های پیش‌بینی سیل براساس درس‌های به‌دست آمده از سیل‌های گذشته و دوم برای اطمینان یافتن از این که تمام مشکلات محتمل در ارتباط با مخابره و تفسیر پیش‌بینی، شناخته و برطرف شده‌اند.

بازنگری‌های پس از وقوع سیلاب^۱ باید برای ارتقای روش‌های جمع‌آوری داده^۲ و قابلیت شبکه‌های مخابراتی^۳ انجام شوند. سامانه‌های هوشمند سیل (خبره) نیز باید از جهت قابلیت به روز نمودن و اصلاح داده‌های ثبت شده، افزودن اطلاعات جدید و اطمینان یافتن از این که تغییر مشخصات سیل به‌خوبی در سامانه وارد شده‌اند مورد آزمایش قرار گیرند. برای تفسیر تفاوت‌های رفتار سیل در وقایع مختلف (رفتار سیل‌های مختلف) به تفسیر و قضاوت کارشناسی نیاز است.

۱۲-۲-۴- بازنگری مضمون هشدار و صدور آن

بازنگری‌های صورت گرفته در مورد مضامین و نحوه‌ی انتقال پیام‌های هشدار سیل باید در جهت پاسخ‌گویی به پرسش‌های زیر صورت گیرند:

- آیا تهدیدشوندگان خطر، پیام هشدار را به‌موقع دریافت می‌کنند؟
- آیا آنها مفهوم پیام هشدار را می‌فهمند؟
- آیا عکس‌العمل آنها مطلوب بوده است؟ اگر خیر، چرا؟
- شواهد پاسخ‌های سوالات فوق چه بوده است؟

۱۲-۲-۵- بازنگری تغییرات فنی، محیطی و سازمانی و تاثیرات آنها بر سامانه هشدار سیل

بازنگری‌ها پس از اعمال تغییرات فنی، زیست‌محیطی و سازمانی صورت می‌گیرند. معمولاً تغییرات فنی بر پایش بارندگی و جریان آبراهه و روش‌های پیش‌بینی هیدرولوژیکی تاثیر می‌گذارند و در حالت ایده‌آل بروز چنین تغییراتی منجر به افزایش سطح اعتمادپذیری سامانه و حصول پیش‌بینی‌های بهتری می‌گردد. اما چنانچه بقیه اجزای سامانه برای پذیرش این‌گونه تغییرات آماده نباشند یا امکان هماهنگ کردن آنها وجود نداشته باشد، این‌گونه اصلاحات نمی‌توانند صورت گیرند.

تغییرات زیست‌محیطی به دلیل تغییر در حوضه آبریز یا تغییر درون آبراهه که منجر به تغییر مشخصات رواناب و جریان آبراهه‌ای می‌گردد، به وجود می‌آیند. این تغییرات عمدتاً ریشه طبیعی دارند نظیر زمین لغزش‌ها، آتش‌سوزی‌های وسیع در جنگل‌ها^۱ و تغییرات عمده در مسیر رودخانه‌ها. همچنین ممکن است نتیجه مستقیم فعالیت‌های بشری باشند که عبارتند از: تغییر کاربری اراضی، از بین بردن پوشش گیاهی طبیعی، احداث پل‌های جدید یا احداث جاده‌های ارتباطی که از سطح زمین بالاترند (فراز راه^۲). تمامی این موارد خواه طبیعی، خواه ساخته دست بشر می‌توانند رفتار و تأثیرات جریان‌های سیلابی را تغییر دهند.

تغییرات سازمانی از جمله جانشینی کارمندان (جابجاشدن و تغییر سمت کارمندان)، تغییر شماره تلفن‌ها، تغییر رویه‌ها و اولویت‌های بین سازمانی از نظر تأثیر این امور بر کارکرد سامانه‌های هشدار باید مورد ارزیابی قرار گیرند. به طور مثال در یک مورد واقعی صاحبان یک ایستگاه رادیویی محلی تغییر نمودند و جهت امواج رادیویی و موقعیت استودیویی آن تغییر کرد. در هنگام وقوع یک سیلاب شدید که درست بعد از این تغییرات روی داد، ایستگاه رادیویی آمادگی لازم برای ایفای نقش حیاتی خود را نداشت. بازنگری‌ها باید به صورت منظم انجام شوند حتی اگر سامانه فعال نشده و تغییرات قابل ملاحظه‌ای نیز در اجزای سامانه رخ نداده باشد. این عمل به منظور یادآوری نقش‌های محوله به ذی‌نفعان هشداردهنده صورت می‌گیرد. کارکرد آزمایشی سامانه‌ی هشدار می‌تواند مفید واقع گردد.

۱۲-۲-۶- فواصل انجام بازنگری

در مورد فواصل بازنگری‌ها نمی‌توان هیچ توصیه و تجویزی انجام داد. زیرا بیش‌تر بازنگری‌ها بخش‌هایی از سامانه هشدار را مورد بررسی قرار می‌دهند و نه تمام آن‌را. بازنگری اصلی که بخش اعظم سامانه شامل چندین سازمان تحت پوشش را در بردارد باید به طور مرتب انجام شود.

۱۲-۲-۷- اشکال انجام بازنگری

عمل بازنگری و تهیه گزارش ممکن است با اشکال مختلفی از جمله تبادل تجربیات به صورت غیررسمی در درون سازمان و جلسات رسمی متشکل از چندین سازمان، عامه مردم و رسانه‌ها انجام شود. مشارکت افراد خارج از سامانه بسیار مفید است، زیرا مردمی که در طراحی و بهره‌برداری از سامانه حضور ندارند می‌توانند دیدگاه‌های مستقل‌تری را نسبت به افراد درگیر در سامانه ارائه دهند. یک بازنگری ایده‌آل، بازنگری‌ای است که در آن طیف گسترده‌ای از مردم برای بحث آزاد و هدفمند در مورد بهره‌برداری از سامانه هشدار سیل گرد هم آیند.

۱۲-۲-۸- دلایل عدم موفقیت عملیات بازنگری در نیل به اهداف مورد نظر

دلایل عدم موفقیت عملیات بازنگری در نیل به اهداف مورد نظر عبارتند از:

- بازنگری‌ها بیش‌تر به صورت تشریفاتی انجام می‌شوند زیرا یک نیاز جدی تلقی نمی‌گردند.
- ذی‌نفعان به صورت ساختاری به انجام عملیات بازنگری نمی‌اندیشند.

- معمولا ذی‌نفعان گناه کم‌کاری و کمبودهای اجرایی را به گردن سایر سازمان‌ها می‌اندازند.
- ذی‌نفعان برای آن‌که به وضعیتی ورای موقعیت‌های سازمانی دست یابند تلاش نمی‌کنند.
- بازنگری یک فعالیت دوطرفه مبتنی بر حمایت‌های متقابل و روابط اجتماعی (ارتباطات عمومی) محسوب می‌شود.

۱۲-۲-۹- نقش سازمان‌ها در بازنگری سامانه‌های هشدار سیل

سازمان‌های پیش‌بینی باید فرآیندهای پیش‌بینی سیلاب و سازمان‌های واکنشی (مانند واحدهای مشاوران و واحدهای خدمات اضطراری) کارآیی انتشار پیام‌ها و نحوه پخش را ارزیابی کنند. همچنین سازمان‌های محلی باید ماهیت سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی بین‌المللی و سایر اطلاعات ثبت شده سیل را بازنگری نموده و مشاوره اجتماعی بیش‌تری را اتخاذ نمایند. توسعه این همکاری‌ها زمانی تقویت می‌گردد که افراد کلیدی موسسات و سازمان‌ها به منظور آزمون اجزای سامانه‌ی هشداردهنده و برنامه‌ریزی برای ارتقای سامانه، یکدیگر را به‌صورت دوره‌ای ملاقات کنند. به‌طور مثال در استرالیا کمیته‌های مشاوره در زمینه هشدار سیل استان‌های مختلف و مجموعه‌های معادل آنها در استرالیای مرکزی و شمالی خط‌مشی مفید در سطح استراتژیک تهیه و تدوین کرده‌اند. یکی از روش‌های رسمیت‌بخشیدن به فرآیند بازنگری و غلبه بر مشکلات ذکر شده، تعریف شاخص‌های کمی عملکرد سامانه است. این امر با تجزیه سامانه به عملکردها و اجزا و تخمین عملکرد هر جزو صورت می‌گیرد. بازنگری‌ها باید مرتباً برای مکان‌های خاص مانند شهرها، همه بازه‌های یک رودخانه و برای تمامی حوضه‌ها صورت گیرد.

فن‌آوری روز اطلاعات، به‌خصوص اینترنت (پست الکترونیکی Email و وب‌سایت‌ها) می‌تواند نقش مهمی در همکاری‌های بین سازمانی ایفا نماید. زیرا به‌راحتی در دسترس تمامی افراد جامعه قرار می‌گیرد. این ابزار امکان نقل و انتقال پوشه‌ها، کپی نمودن نقشه‌ها، فهرست اسامی پرسنلی و مردم و دیگر اطلاعات مربوط به فرآیندهای هشداردهی را با سرعت زیاد و با هزینه اندک به‌وجود می‌آورد.

تجدید نظر ادواری با اعمال تغییرات سازمانی، محیطی و فنی صورت می‌پذیرد. معمولاً، تغییرات فنی بر سامانه‌ی پایش و پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد و چنین تغییراتی منجر به اعتماد بیش‌تر به سامانه‌ی پیش‌بینی می‌شود (جدول ۱۲-۱).

تغییرات محیطی که منجر به تغییرات حوضه یا شرایط رودخانه‌ای و خصوصیات رواناب می‌شوند می‌توانند ناشی از فعالیت‌های مستقیم انسانی، همچون تغییرات سرزمین، پاک‌سازی و کاهش پوشش طبیعی باشند.

جدول ۱۲-۱- چارچوب کلی برای ارزیابی اجرای سامانه‌ی هشدار سیلاب

اجزا	فاکتورهای موثر در عملکرد، در طول سیلاب	فعالیت‌هایی که موجب بهبود عملکرد پس از سیلاب‌ها می‌شود
پیش‌بینی	<p>درک الزامات پیش‌بینی‌ها</p> <p>هشدار اولیه در مورد بارش‌هایی که پتانسیل ایجاد سیل را دارند.</p> <p>تراکم کافی شبکه</p> <p>تکنولوژی جمع‌آوری داده‌های مطمئن، قابل اطمینان، به‌هنگام و...</p> <p>سامانه‌ی کارای مدیریت به‌هنگام داده‌ها</p> <p>دقت و به‌هنگام بودن پیش‌بینی‌های رودخانه</p> <p>ارتباطات خوب بین سازمان پیش‌بینی کننده و دریافت‌کنندگان پیام</p> <p>همکاری خوب بین ادارات و سازمان‌های مسوول</p> <p>انتقال مناسب عدم قطعیت‌ها</p>	<p>بهبود مدل‌های پیش‌بینی هیدرولوژیکی</p> <p>نگهداری و بهبود سامانه جمع‌آوری داده‌ها</p> <p>افزایش تراکم شبکه</p> <p>بهبود قابلیت پایش معمول حوضه آبریز</p> <p>بهبود پیش‌بینی‌های هواشناسی ورودی به مدل</p> <p>تدقیق الزامات پیش‌بینی‌ها</p>

ادامه جدول ۱۲-۱- چارچوب کلی برای ارزیابی اجرای سامانه‌ی هشدار سیلاب

اجزا	فاکتورهای موثر در عملکرد، در طول سیلاب	فعالیت‌هایی که موجب بهبود عملکرد پس از سیلاب‌ها می‌شود
تفسیر	کیفیت و جزئیات اطلاعات مربوط به سیلاب‌ها جمع‌آوری اطلاعات ثبت‌شده سیلاب بیان وضعیت آمادگی سازمان‌هایی که دریافت‌کننده پیش‌بینی‌ها هستند.	همکاری با جوامع درگیر برای تعیین اطلاعات مورد نیاز انجام مطالعات دقیق سیلاب‌ها برای درک اثرهای سیلاب توسعه پهنه‌بندی سیلابدشت مهیا ساختن سامانه ذخیره آمار و اطلاعات سیلاب جمع‌آوری آمار مربوط به خسارات سیلاب
ساختار پیام	درک بهتر مشخصه‌های سیلاب در منطقه آگاهی از مشخصات جمعیت در معرض ریسک همخوانی پیام‌ها با ضوابط از پیش تعریف شده.	درک بهتر خصوصیات فیزیکی سیلاب‌های مخرب درک بهتر مشخصه‌های جمعیتی تعامل با جوامع درگیر برای شناسایی بهتر مخاطبین و طراحی پیام
ارتباطات	استفاده از روش‌های اعلام هشدار ترکیب مناسب اعلام هشدارهای اصلی و هشدارهای خاص	ایجاد پایگاهی برای متمرکز کردن اطلاعات و آمار سیلاب ایجاد مکانیزمی برای تایید هشدارها همکاری با جوامع درگیر برای بهبود ارتباطات
پاسخ	مناسب بودن اقدامات سازمان مسوول و افراد تطبیق عملیات انجام شده با طرح عملیاتی تعریف چهار چوبی که طرح پاسخ‌گویی از آن پیروی کند بازخورد در مجموعه‌ی مسوول	آماده‌سازی/ بهبود طرح واکنش به سیلاب تمرین طرح واکنشی از طریق مانور بهبود تعاملات میان سازمانی
بازنگری		انجام بازنگری سطوح سیاست‌گذاری و عملیاتی با ایجاد کمیته‌های بازنگری و تعریف معیارها و شاخص‌ها بازنگری تمامی اجزا سامانه‌ی جامع پس از یک سیلاب اطمینان از اعمال توصیه‌ها و بازخوردها بازنگری در برنامه‌های سازمان‌های درگیر

۱۲-۳- اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی در یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری

اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی در یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری، باید با مقایسه با مقادیر مشاهده شده انجام شود. با این حال مشکلات متعددی در این زمینه وجود دارد از جمله:

- از آنجایی که سیلاب تحت‌تاثیر وقایع شدید هواشناسی- هیدرولوژیکی به‌صورت غیرمکرر اتفاق می‌افتد، اطلاعات کافی جهت اعتبارسنجی مدل‌های مورد استفاده وجود ندارد.
- در فاصله زمانی بین دو حادثه سیلاب که نسبتاً زیاد است، گستره فیزیکی وقوع سیلاب تحت‌تاثیر تغییرات جزئی و یا عمده‌ای قبل از وقوع سیلاب جدید قرار می‌گیرد.
- در صورت وقوع سیلاب جدید، منطقه‌ای که تحت‌تاثیر سیلاب قرار می‌گیرد به دلیل تنوع مکانی بارش با دفعه قبل متفاوت است.

شماری از معیارهای ارزیابی نظری اعتبارسنجی، عمدتاً کیفی و بعضی از آنها بلندمدت هستند. این معیارها به‌صورت زیر بیان می‌شوند:

- در اختیارداشتن یک سامانه استقرار یافته برای ارزیابی اثربخشی یک پیش‌بینی مبتنی بر داده‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و غیره در خصوص سیل‌گرفتگی مناطق
- امکان در اختیارداشتن ترازهای سیلاب پیش‌بینی که برای تخلیه منطقه و آمادگی برای شرایط اضطرار و نیز برای تعیین مسیرهای فرار امری مهم تلقی می‌گردند

- در اختیار داشتن زمان کافی برای کسب آمادگی زود هنگام نیروی کاری و منابع برای رودررویی با حوادث سیلاب در زمانی که وقوع سیل زودرس است. موارد ذکر شده جزو لوازم اعتبارسنجی محسوب می‌گردند
- امکان تشخیص موقعیت‌های مکانی با آسیب‌پذیری زیاد در برابر سیلاب برای مقاصد برنامه‌ریزی و ساخت پروژه‌های کاهش خسارات سیل از قبیل سدهای تاخیری، سیل‌بندها و غیره
- تحقیقات و آموزش تصمیم‌گیری با توجه به عدم قطعیت در مدیریت سیلاب
- ادغام نمودن دانش و تجربه در مورد فهرست‌های هشدار تحت توسعه در مناطق دیگر مستعد به سیل
- تاثیر بر عامه مردم، به‌منظور تامین امنیت و صدور هشدار برای حوادثی که ممکن است رخ ندهند

۱۲-۴- برنامه‌ها و مانورهای سازمان‌ها برای مرور و بازنگری سامانه

هشدارهای برنامه‌ریزی شده و با کیفیت نه تنها به افراد جامعه بلکه به سازمان‌های مسوول در برابر سیل نیز کمک می‌کند. قابلیت غلبه کردن بر ریسک موجود، به صدور به‌موقع هشدارهای دقیق بستگی دارد که موجب به حداقل رساندن عکس‌العمل‌های بیش‌تر یا کم‌تر از حد مورد نیاز می‌گردد.

طیف وسیعی از عملیات پس از پیش‌بینی یا هشداررسانی، فعالیت‌های فوری کاهش اثرسیل، عملیات تخلیه، تامین امنیت مناطق در معرض خطر قرار گرفته، انجام عملیات جستجو و نجات، مدیریت سازمان‌های دخیل، تهیه غذا برای احشام رهاشده و... را در برمی‌گیرد. یک سازمان مسوول به تنهایی نمی‌تواند مسوولیت تمامی این وظایف را برعهده بگیرد. بنابراین ضروری است که عملیات واکنشی قابل پیش‌بینی در برنامه‌ریزی‌ها شناسایی و به سازمان‌های مربوط سپرده شوند و توسط آن سازمان‌ها در قالب موارد توافق شده پذیرفته گردند. لذا هر موسسه برای کسب اطمینان از این که می‌تواند از عهده مسوولیت‌های محوله خود برآید نیاز به توسعه برنامه‌ها و طرح‌های عملیاتی شرایط اضطراری مربوط به خود دارد.

از آن‌جا که برنامه‌ریزی‌ها نمی‌توانند موارد غیرقابل پیش‌بینی را در برگیرند لذا باید به اندازه کافی انعطاف‌پذیری داشته باشند تا اجازه سازگاری سریع با شرایط جدید را آبدهند. آنها باید به‌طور مداوم در قالب چند مانور مورد آزمون قرار گیرند تا از مشارکت موثر و کارایی آنها در سیلاب‌ها اطمینان حاصل شود. چنین مانورهایی، امکان تمرین کردن دریافت پیش‌بینی‌ها، تفسیر آنها و انجام واکنش‌های مناسب را فراهم می‌کنند. در جریان این مانورها می‌توان طرح عملیاتی را به‌صورت دوره‌ای بازنگری نموده و آنها را اصلاح کرد. این تجدید نظرها می‌تواند در زمان بین تصمیم‌گیری برای صدور هشدار و ارسال آن نیز به‌کار رود.

۱۲-۴-۱- آمادگی و نگهداری طرح

به‌روز و به‌هنگام کردن، گسترش طرح‌های واکنشی سیل و اطمینان از آمادگی برای اجرای طرح مهم‌ترین پارامترهای نگهداری طرح هستند.

نگهداری طرح به‌طور عمده شامل مراحل زیر است:

۱۲-۴-۱-۱- به‌هنگام کردن طرح

ایجاد روش‌ها و برنامه‌ها برای اجرای طرح با توجه به:

- آدرس‌ها، شماره تلفن‌ها و نام شرکای مهم
- واگذاری مسوولیت‌ها
- تغییرات در پتانسیل سیل‌خیزی
- مناطقی که نیازمند تخلیه هستند.
- در دسترس بودن تسهیلات برای مرکز پذیرش
- مسیرهای جابجایی و تقدم و تاخر آنها
- نیاز به مقابله با سیلاب‌ها
- توسعه خدمات همگانی (آب، برق و...) یا تغییر و تبدیل سامانه‌ها
- نیاز به کنترل عبور و مرور

ایجاد تسهیلات برای به‌روز کردن و به‌هنگام کردن اجزای طرح‌ها براساس حوادث طبیعی یا غیرطبیعی که طرح عملیاتی برای

آنها برنامه‌ریزی شده است، مانند:

- ایجاد و یا تغییر در عملکرد سازه‌های مهارکننده در بالادست جریان که بر ارتفاع، شدت و زمان سیل‌گرفتنی تاثیرگذار هستند.
- ایجاد و یا تغییر در عملکرد تسهیلات در پایین‌دست محل سکونت مردم که موجب افزایش ارتفاع، شدت و یا مدت سیل‌گرفتنی شود.

۱۲-۴-۱-۲- توسعه طرح

تشریح توسعه سامانه‌های هشدار مورد نیاز و طرح‌ریزی شده و طرح‌های واکنشی، شامل:

توسعه سامانه‌های حوضه سیل به سایر حوضه‌های فاقد سامانه

تلفیق اجزا و تکالیف محوله و همچنین تکالیف جزئی‌تر که از طرح اولیه حذف شده است.

تعیین دقت مورد نیاز سامانه‌ی هشدار و طرح‌های واکنشی شامل موارد زیر است:

- تدارک و تهیه دیده‌بانی‌های اضافی، ایستگاه‌های اندازه‌گیری و اعلان خطر سیل‌های سریع و ناگهانی برای توسعه سامانه شناسایی سیل
- شناسایی مناطقی که باید تخلیه گردند با جزئیات بیش‌تر
- تقویت کردن ارتباطاتی که در برگیرنده همه جنبه‌های طرح باشند.
- استفاده از طرح‌های جزئی اضافی برای سازمان‌ها و مکان‌های مختلف تحت تاثیر
- تدوین روش ارزیابی اجرا در حالت شبیه‌سازی شده و زمان واقعی، شامل:
- فرآیندی برای آغاز، سازماندهی و هدایت ارزیابی
- فرآیندی برای تغییر و تبدیل طرح براساس نتایج ارزیابی

۱۲-۵- بهره‌برداری، برنامه‌ریزی و نگهداری

۱۲-۵-۱- نگهداری

برای بهره‌برداری موفقیت‌آمیز از سامانه‌ی هشدار سیل محلی، این سامانه باید به‌طور مناسب نگهداری شود. برنامه نگهداری باید همه اجزای سامانه‌ی هشدار سیل از جمله اندازه‌گیرها، سامانه‌ی انتقال داده‌ها، نرم‌افزار و رایانه و سامانه آمادگی و عکس‌العمل را شامل گردد. برنامه‌های نگهداری عادی باید به شکل مرتبط با اجزای مختلف سخت‌افزاری دنبال شوند. با توجه به نوع ایستگاه‌های تشخیص‌دهنده که وقوع حادثه را به‌صورت به‌هنگام گزارش می‌دهند، تشخیص‌دهنده‌ها و سامانه باید در همه زمان‌ها قابل بهره‌برداری باشند. آزمایش دوره‌ای ابزار و تجهیزات، از اهمیت زیادی برخوردار است. فرستنده اندازه‌گیرهای این سامانه‌ها برای فرستادن اطلاعات به تعداد چند بار در روز برنامه‌ریزی می‌شوند.

کاربران مرتبط با واحد هشدار سیل محلی باید در مورد نقش و مسوولیت‌شان به‌صورت مداوم آموزش ببینند و به‌روز شوند. فعالیت‌های هدایتی و راهبردی در زمان‌های مشخص و با هماهنگی سازمان ملی هواشناسی، سامانه را در سطح بالایی از آمادگی نگهداری می‌کند. سازمان‌های محلی باید به‌منظور تعویض ابزار لازم در سامانه در طول دوره عمر مفید آن اقدام کنند. اندازه‌گیرها و ابزارهای ارتباطی دارای عمر مفیدی در حدود ۱۰ سال هستند. دوره عمر مفید سخت‌افزارهای رایانه‌ای در حدود ۳ تا ۵ سال است. به‌طور کلی، نگهداری و تعویض ابزارها در طول دوره عمر مفیدشان، هزینه‌ای در حدود ۱۰ درصد کل سرمایه‌گذاری انجام‌شده در هر سال را دارد.

برنامه‌ریزی و نگهداری سامانه‌های هشدار سیل عملی وقت‌گیر بوده و اغلب به عملیات مداومی نسبت به انجام عملیات واکنشی در برابر سیل‌ها نیازمند است. همچنین توسعه اجزای مختلف سامانه‌های هشدار سیل نیازمند سرمایه‌گذاری است. این بدان معنی نیست که تمام اجزای سامانه، فنی و هزینه‌برند زیرا توسعه سامانه بیش‌تر شامل شناخت برنامه‌ریزی‌ها و وظایف هستند تا سرمایه‌گذاری در بخش سخت‌افزاری. در حقیقت بسیاری از مشکلاتی که در عملیاتی‌کردن سامانه‌های هشدار سیل به‌وجود می‌آیند به ضعف چنین مفاهیمی مربوط می‌شود.

به‌دلیل آن‌که سامانه‌های هشدار سیل از قسمت‌های متنوعی تشکیل شده‌اند (سنجنده‌ها، مخابره‌کننده‌ها، نرم‌افزار، رایانه و آمادگی پرسنل و سامانه)، در هر جز باید به‌دنبال حصول عملکرد بهینه بود و این امر در مورد سازمان‌هایی که در بعضی جنبه‌های سامانه هشدار سیل دخیل هستند نیز مورد انتظار است. بسیاری از این تلاش‌ها باید در سطح محلی صورت گیرند.

۱۲-۵-۱-۱- نصب تجهیزات سامانه هشدار سیل

ممکن است استفاده از حمایت سازمان‌های دولتی (مانند سازمان‌های مسوول بزرگراه‌ها، کارهای عمرانی و...) در نصب سخت‌افزارهای سامانه هشدار سیل برای جوامع مقرون به صرفه باشد. همچنین استفاده از حمایت‌های مردم و حمایت‌های فروشندگان محلی، به‌خصوص در نصب و آزمایش ابزار انتقال اطلاعات ممکن است ضروری باشد. به‌طور مثال فروشندگانی وجود دارند که در تکمیل و نصب کامل پیکربندی سامانه‌های هشدار سیل متخصص هستند. سازمان ملی هواشناسی آمریکا، حمایت‌های

نرم‌افزاری برای نرم‌افزارهای تحت پوشش خود ارائه می‌دهد. دفتر سازمان نقشه‌برداری و زمین‌شناسی می‌تواند در فرآیند نصب اندازه‌گیرهای مناسب تراز آب جریان رودخانه کمک کند.

۱۲-۵-۱-۲- نگهداری تجهیزات سامانه هشدار سیل

دو نوع کلی سامانه‌های هشدار سیل عبارتند از سامانه‌های دستی و اتوماتیک که از نظر پیچیدگی و قیمت با هم تفاوت دارند. ساده‌ترین آنها دستگاه‌هایی‌اند که به صورت دستی قرائت می‌شوند و پیشرفته‌ترین آنها حسگرهای بسیار پیچیده‌ای هستند که به صورت خودکار داده‌ها و اطلاعات را جمع‌آوری و از مکان‌های دوردست مخابره می‌کنند. تعمیر و نگهداری این وسایل یکسان نیست، اما یک سری اصول اساسی در مورد هر دو قابل توصیه است.

سامانه‌ی دستی ممکن است به طور معمول توسط فرد متصدی رفتارسنجی شده و داده‌ها و اطلاعات از طریق تلفن یا بی‌سیم در سکوی جمع‌آوری داده و اطلاعات جمع‌آوری شوند. برق این سکو معمولاً از طریق یک باتری که با نور خورشید شارژ می‌شود تامین می‌گردد و داده‌ها و اطلاعات از طریق یک آنتن که مخصوص سامانه رادیو تله‌متری خاص طراحی شده مخابره می‌شود. طبیعی است که تعمیر و نگهداری این سامانه پیچیده‌تر، جامع‌تر و گران‌تر است.

هر ابزار اندازه‌گیری که جزئی از سامانه هشدار سیل است باید برای بهره‌برداری درست هر روز کنترل شود. اگر وسیله اندازه‌گیری در مکانی دوردست واقع شده و به سادگی قابل بررسی نباشد، داده‌ها و اطلاعات این ابزار باید از نظر صحت و درستی هر روز کنترل شود. یک برنامه تعمیر و نگهداری، بهره‌برداری درست وسایل اندازه‌گیری را در شرایط سیل تضمین می‌کند. به عنوان مثال هر ایستگاهی باید پرونده‌ای داشته باشد که در آن مسیرهای منتهی به سایت، تجهیزات ایستگاه و سابقه سرویس و غیره در آن ذکر شده باشد.

تجهیزات ارتباط با ایستگاه اصلی که داده‌ها و اطلاعات را از سایت دوردست دریافت می‌کند نیز باید همه روزه کنترل شده و دارای برنامه تعمیر و نگهداری باشد. این برنامه، بهره‌برداری درست را در شرایط نیاز تضمین می‌کند.

یک سازمان باید به اندازه کافی قطعات یدکی داشته باشد و حداقل یک سایت دوردست و یا یک سایت رادیو-رله را ایجاد و تعمیر کند. استاندارد کردن تمام اجزا هزینه صورت‌برداری را کاهش می‌دهد. باید لوازمی که به دفعات تعویض می‌شوند (صفحه جذب نور خورشید- باتری و آنتن) بسته به تعداد ایستگاه‌های سامانه و در دسترس بودن آنها، به تعداد زیاد در انبار نگهداری شوند.

میزان سرقت یا تخریب ابزار اندازه‌گیری در سایت‌های دوردست معمولاً بستگی به مکان سایت و قابل رویت بودن آن ابزار دارد. روش‌های زیادی برای جلوگیری از سرقت وسایل از جمله دیوارکشی، روکش کردن، استتار و محصور کردن به وسیله ساختمان‌ها وجود دارد. اما این اقدامات باید برحسب قیمت و سادگی نصب و جایگزینی تجهیزات ارزیابی شوند. ایستگاه‌های نقاط دوردست توجه بیش‌تری می‌خواهند.

اگر داده‌ها و اطلاعات مربوط به شناسایی خطر سیل به وسیله یک رایانه یا شبکه ایستگاه پایه و مرکزی جمع‌آوری شود، حفظ و نگهداری آن ضروری است. داده‌ها و اطلاعات پایه باید به طور دوره‌ای کنترل شوند تا داده نادرست و کمبود اطلاعات در صورت موجود بودن، تصحیح شده و برای استفاده در آینده در آرشیو حفظ شود. یک دستگاه رایانه و منبع برق همیشگی و قابل اطمینان (ژنراتور) می‌تواند این سامانه را پشتیبانی کند.

۱۲-۵-۱-۳- پیشنهادهای عمومی و همچنین برنامه‌های نگهداری سخت‌افزار

عملیات نگهداری کلی برای هر محل حداقل یک‌بار و ترجیحاً دوبار در سال برای سرویس وسایل و ابزارهای زیر باید انجام شود. این مهم با اقدامات زیر تحقق می‌یابد:

- باتری

- کنترل باتری‌های سنجنده‌های سامانه جامع مشاهده و هشدار سیل و همچنین سامانه سنجش به‌هنگام خودکار محلی
 - تنظیم کردن برنامه گردشی تعویض باتری حداقل دو بار در سال و اگر از پانل‌های خورشیدی استفاده می‌گردد به دفعات کم‌تر
 - کنترل ولتاژ باتری در هر بازدید، قبل و در طول انتقال و فرستادن داده‌ها
 - کنترل قسمت پایانه باتری‌ها به‌منظور بازدید خوردگی و زنگ‌زدگی یا شل شدن پایه‌ها و اتصالات در هر بازدید
 - کنترل سطح باتری به‌منظور باقی‌ماندن در حدی که از طرف کارخانه سازنده به‌صورت شاخص در نظر گرفته شده و جلوگیری از پایین‌افتادن از حد مورد نظر در هر بازدید
 - پیدا کردن دستورالعمل کارخانه سازنده باتری‌ها برای تخلیه باتری‌ها قبل از شارژ مجدد آنها
- نکته:** استفاده از پانل‌های شارژ‌کننده خورشیدی و نصب آنها در محل توصیه می‌شود.

- آنتن

- دقت در قرارگیری اجزای آنتن به‌طوری که مستقیماً در بالای جمع‌کننده باران سنج‌ها قرار نگرفته باشند.
- بازدید قدرت انعکاس در ورودی و خروجی
- بازدید برای کنترل اجزای خراب‌شده و از بین رفته، بازدید کابل‌های شکسته و روباز آنتن
- بازدید گیره آنتن‌ها از نظر محکم‌بودن و تثبیت جهت آنها
- تجهیز آنتن با دکل و بستن آن و دورنگهداشتن آن از آب

- واحد باران سنج‌ها

- کنترل باران سنج‌ها از نظر تخلیه ظرف آنها و متعادل بودن آنها در هر بازدید
- کنترل از نظر وجود تار عنکبوت، لانه زنبور، پرنده‌ها و یا چیزهای زاید دیگر در قسمت قیف آنها در هر بازدید
- کنترل از نظر مطمئن بودن حفاظ مکان باران سنج‌ها در هر بازدید
- تنظیم و تمیز کردن ظرف تخلیه باران سنج‌ها حداقل یک بار در سال
- آب‌بندی قسمت انتهایی ظرف تخلیه باران سنج‌ها با مواد آب‌بند
- اطمینان از محکم بودن پیچ‌ها و اتصالات، به طوری که ظرف تخلیه باران سنج‌ها در یک تراز معمول در برابر بادهای زیاد، متعادل باقی بماند.

- تشخیص دهنده تراز سطح آب

- کنترل سویچ‌های ماسوره‌ای یا زیانه‌ای برای اطمینان از تنظیم بودن دستگاه
- چرخاندن چرخ‌ها در هر بازدید به منظور اطمینان از این‌که زنجیر یا تسمه از دور چرخ‌دنده بیرون نیامده باشد.
- بازدید سیم‌ها در قسمت پایه‌ها و اتصالات به وسیله اهم‌تر در هر بازدید
- تنظیم تشخیص‌دهنده‌های تراز سطح آب به منظور درست و دقیق بودن در هر بازدید

- انتقال‌دهنده فشار آب

- کنترل از نظر گرفتگی توسط مواد بیولوژیکی، گل، ماسه، چوب و پلاستیک و... در هر بازدید
- کنترل از نظر محکم بودن تسمه‌ها در هر بازدید، تعویض تسمه‌ها و یا اضافه کردن آنها اگر حرکت آنها مورد توجه باشد.
- کنترل انتقال‌دهنده فشار در قسمت انتقال‌دهنده از نظر شل بودن یا قطع بودن سیم‌ها در هر بازدید
- آب‌بندی مجدد اجزای الکترونیکی در مایع اپوکسی در صورت نیاز

- حسگرهای (سنسور) انتقال‌دهنده

- تمیز کردن وسیله ارتباط فرکانس رادیویی، یک‌بار در سال
- تمیز کردن و وصل مجدد اتصالات بین برد اصلی، برد محافظ و کلیدها به‌منظور اطمینان از ارتباط مثبت الکتریکی، یک‌بار در سال
- اندازه‌گیری وات خروجی در هر بازدید
- تعویض بسته خشک‌کن، یک‌بار در سال

- لوله خروجی آب

- تنظیم مجدد و تراز کردن لوله‌ها در صورت نیاز
- آب‌بندی سوراخ‌های نشت آب

- ایستگاه مبنا (رایانه، نرم‌افزار، رادیو)

- کنترل روزانه ایستگاه
- انجام همه دستورها و اجرای همه منوهای انتخاب شده، دو بار در ماه به‌منظور اطمینان از صحت کار
- وضعیت کلیدهای روشن و خاموش دستگاه‌ها

- تکرارکننده

- کنترل باتری و اتصالات در هر بازدید
- کنترل آنتن‌ها از نظر خسارت وارد شده در هر بازدید
- کنترل خسارت وارد آمده به کابل‌های هم‌محور خطوط انتقال و اتصال به آنتن‌ها در هر بازدید
- کنترل منبع تغذیه و یا صفحات خورشیدی و کابل‌های اتصال در هر بازدید

- لوازم یدکی

- در دسترس بودن حداقل ۱۰ درصد لوازم یدکی برای هر کدام از ابزارهای به کاررفته در سامانه‌ی هشدار سیل
- تعویض یا آزمایش لوازم یدکی به صورت ماهانه
- نگهداری لوازم یدکی در یک محیط تمیز و خشک

- سرمایه و پشتوانه برای نگهداری از وسایل

هر جامعه باید از منابع مختلف سرمایه‌ای مانند مالیات محلی، وجوه اضافی در شرایط ویژه، اهدای وجوه خصوصی یا عمومی و یا تلفیقی از این موارد برای تامین مالی نگهداری از وسایل استفاده کند. در هر یک از موارد انتخابی، برگشت سرمایه و وجوه استفاده شده در مدت زمان طولانی دارای اهمیت است. تخمین کلی برای هزینه مورد نیاز وسایل، سالانه در حدود ۱۰ درصد کل هزینه سرمایه‌گذاری شده اولیه هر سامانه‌ی هشدار سیل است.

- نگهداری اضطراری

اندازه‌گیرهای سامانه سنجش به‌هنگام خودکار محلی، سامانه جامع مشاهده و هشدار سیل برای دو بار گزارش‌دهی در روز برنامه‌ریزی شده‌اند. اگر داده‌های اندازه‌گیری طبق برنامه دریافت نشوند، سامانه‌ی نگهداری اضطراری وارد عمل می‌شود و عملکرد نادرست سامانه را بررسی می‌کند. اگر یک تکرارکننده ذخیره‌ای و پیشرفته در سامانه هشدار سیل محلی گزارش ندهد و یا پاسخی نداشته باشد، احتمالاً تکرارکننده مشکل پیدا کرده است. فهرست وسایل یدکی باید در دسترس بوده و نگهداری شود. این مساله، به‌خصوص در مورد شبکه‌های الکترونیکی و تکرارکننده‌ها دارای اهمیت است.

- سامانه پشتیبان تجهیزاتی

سازمان ملی هواشناسی آمریکا، استفاده از سامانه‌های پشتیبان را برای سامانه‌های خودکار هشدار سیل محلی توصیه می‌کند. به منظور اطمینان از درستی و کامل بودن فعالیت‌های هشدار سیل، منطقه باید دارای یک منبع قدرت کمکی (منبع قدرت غیرمنقطع، ژنراتورها)، یک پشتیبان از مجموعه داده‌ها و مسیرهای اضافه رادیویی و رایانه باشد. جایی که پشتیبان نمی‌تواند به صورت خودکار عمل کند، استفاده از یک شبکه مشاهده و گزارش بارندگی و تراز رودخانه در زمان کار نکردن سامانه خودکار مورد نیاز است. با وجود شرایط متفاوت، بسیاری از مناطق ایالات متحد آمریکا سامانه‌های پشتیبان رایانه‌ای را ارزان‌تر و قابل اطمینان‌تر از به‌کارگیری یک شبکه کمکی مشاهداتی تشخیص داده‌اند.

اگر سامانه هشدار سیل محلی شامل یک مدل پیش‌بینی بر روی رایانه باشد، یک روش پیش‌بینی دستی نیز باید مکمل آن باشد. بسیاری از روش‌های پیش‌بینی دستی به‌صورت جدول‌های ساده برای سال‌های طولانی مورد استفاده قرار گرفته و به‌صورت یک فرآیند پشتیبانی موثر در طول موقعیت‌های بحرانی سیل به کار آمده‌اند.

– مجوز انتقال اطلاعات

بسیاری از سامانه‌های هشدار سیل محلی، داده‌ها را از طریق سیگنال‌های رادیویی (امواج رادیویی) منتقل می‌کنند. انتقال این امواج نیازمند اخذ مجوز از کمیسیون ارتباطات ایالتی است.

– هماهنگی

درخواست فرکانس رادیویی باید به وزارت مخابرات ارائه شود. کمیته‌ی مربوط تمامی درخواست‌ها را برای استفاده از فرکانس‌ها در باندهای هیدرولوژیکی بررسی و اثرهای موجود فرکانس‌ها را کنترل و پذیرش یا رد آنها را براساس یافته‌هایش پیشنهاد می‌کند.

۱۲-۵-۲- بهره‌برداری

سامانه هشدار سیل فقط یکی از چند روش غیرسازه‌ای مورد استفاده در کاهش سیل است. روش‌های بسیاری اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای وجود دارند که می‌توانند در اثر همکاری‌های فراگیر و همه‌جانبه نتایج بسیار خوبی به‌طور جداگانه در پی داشته باشند. مثلاً بهره‌برداری از دریچه‌های سیل‌بند می‌تواند به صورت بهینه با سامانه‌ی هشدار سیل محلی در یک حالت تطبیقی و هماهنگ با یکدیگر مورد بهره‌برداری قرار گیرند.

۱۲-۵-۱- مسوولیت‌های سازمانی در بهره‌برداری از سامانه هشدار سیل جامع

یکی از جنبه‌های مهم، مساله مسوولیت‌پذیری سازمان‌های مختلف دست‌اندرکار در طراحی، توسعه و تکمیل و بهره‌برداری سامانه هشدار سیل است. در صورتی که سازمان راهبردی وجود نداشته باشد و فقط بعضی از سازمان‌های غیردولتی وجود داشته باشند، رسیدن به این مهم کار چندان آسانی نخواهد بود.

با این وجود، کمیته‌ها می‌توانند پروتکل‌های مناسبی را برای ترغیب شرکت‌ها برای مشارکت و برعهده‌گرفتن توسعه و تکمیل سامانه و بهره‌برداری از آن توسعه دهند (مثلاً از طریق یادداشت‌های تفاهم). مسوولیت‌ها می‌توانند به صورت مکتوب یا به صورت شاخص‌های اجرایی مشخص شوند.

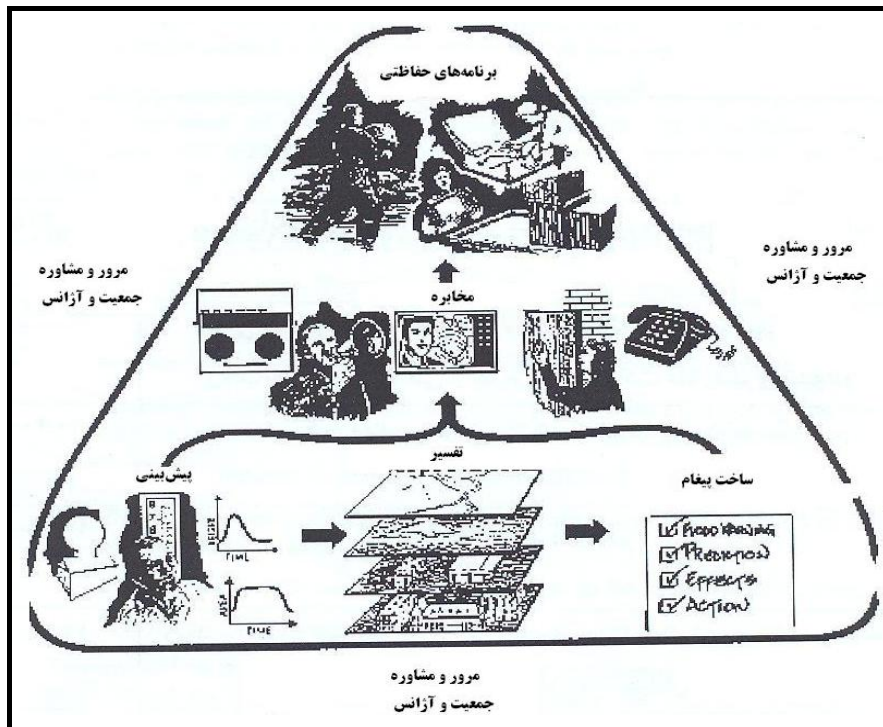
در انجام این کار، نیازی نیست تمام موسسات در هر مکانی با حداکثر توان خود، انجام مسوولیت نمایند. بلکه این مساله در سطح ملی، ایالتی و یا ناحیه‌ای باید بیان گردیده و مشخص شود.

۱۲-۶- توسعه سامانه جامع هشدار سیل

ملاحظات راهبردی که در مورد توسعه سامانه‌ی هشدار سیل ارائه می‌گردد عبارتند از:

- ملاحظات عمومی در توسعه سامانه‌ی هشدار سیل جامع (شناسایی و برآورد نیاز ذی‌نفعان، ترازهای هشدار، تاثیرات سیل در سطوح مختلف، زمان هشدار مورد نیاز جامعه و مدت زمان آمادگی، طرق انتشار پیام‌های هشدار، تعداد دفعات به‌هنگام شدن پیام‌های هشدار و ...)
- نکات مهم در توسعه و نگهداری سامانه‌ی جامع هشدار سیل
- توسعه شاخص‌های عملکردی

- نقش افراد جامعه در توسعه، تکمیل و بازنگری سامانه‌های جامع هشدار سیل
- مشاوره با افراد جامعه جهت مشارکت‌دادن آنها در توسعه سامانه
- نقش آموزش عمومی در دخیل کردن جامعه در فرآیند توسعه سامانه هشدار سیل جامع
- توسعه سامانه‌ی هشدار سیل جامع جهت کاهش اثرهای مخاطرات بزرگ مقیاس



شکل ۱۲-۱- ارتباط بین اجزای مختلف سامانه جامع هشدار سیل

فصل ۱۳

سرفصل مطالب مورد نیاز در تهیه
فهرست خدمات مطالعات طرح،
بهره‌برداری و نگهداری سامانه‌های
پیش‌بینی و هشدار سیل

۱۳-۱- کلیات

در این فصل شرح خدمات مطالعات طراحی ایستگاه‌های اندازه‌گیری و سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل و شبکه‌ی رادیویی و مخابراتی طرح آجی‌چای به عنوان یک نمونه‌ی واقعی ارائه می‌گردد. این شرح خدمات توسط کارفرمای طرح (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی) از تلفیق شرح خدمات‌های ارائه شده توسط مشاورین مختلف، به‌دست آمده است. لازم به یادآوری است که این سرفصل‌ها یک پیشنهاد اولیه است که مصوب دفتر تدوین استانداردهای مهندسی و معیارهای فنی نیست. در ضمن خلاصه‌ای در مورد طراحی و راه‌اندازی سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب حوضه‌های گلاب‌دره و دربند در شمال تهران که تا حدود زیادی بر اساس این فهرست خدمات انجام گردیده، در پیوست ۶ این راهنما ارائه شده است.

همانطوریکه قبلاً اشاره شده، سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل در ابعاد مختلف می‌توانند از یکدیگر تمایز زیادی داشته باشند، با این وجود می‌توان تخصص‌های لازم برای یک مطالعه نمونه را به‌صورت زیر ارائه نمود:

- هواشناسی
- هیدرولوژی
- هیدرولیک
- سوانح طبیعی
- کاربری اراضی
- مخابرات
- برنامه‌نویسی و رایانه
- سنجش از دور و سامانه‌ی اطلاعاتی جغرافیایی
- اقتصاد و جامعه‌شناسی

در ضمن توصیه می‌شود به منظور ایجاد هم‌افزایی در این تیم چندرشته‌ای، مدیر پروژه یک کارشناس چندرشته‌ای با تجربه بالای ۱۵ سال باشد.

۱۳-۲- شرح خدمات مطالعات طراحی ایستگاه‌های اندازه‌گیری و سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل و شبکه‌ی رادیویی و مخابراتی طرح آجی‌چای

در چارچوب این قرارداد طراحی اجزای زیر در قالب طرح آجی‌چای در دستور کار قرار می‌گیرد:

- ایستگاه‌های هیدرومتری
- سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب
- تهیه‌ی دستورالعمل‌های بهره‌برداری در شرایط اضطراری

۱۳-۲-۱- مطالعات مرحله اول

۱۳-۲-۱-۱- اقدامات و برنامه‌ریزی اولیه

- برنامه‌ریزی انجام کار و مذاکره با کارفرما

- مذاکره با کارفرما و مدیران طرح برای توجیه کامل اهداف طرح
- تقسیم‌بندی فعالیت‌ها و تعیین نوع و دامنه‌ی هر یک از مطالعات مورد نیاز با توجه به اهداف طرح و تخصیص کارشناسان ذی‌ربط برای انجام و کنترل هر یک از بخش‌های مطالعاتی
- بررسی نیازها، امکانات و محدودیت‌ها
- تعیین چگونگی ارتباط و ایجاد هماهنگی در فعالیت‌ها بین سازمان‌های مرتبط
- تهیه طرح کیفیت پروژه و ساختار شکست (WBS)
- تهیه و تنظیم برنامه زمان‌بندی انجام مطالعات
- تعیین نحوه گزارش‌دهی در طول مطالعات به کارفرما شامل گزارش‌های پیشرفت کار، میان‌کار و گزارش نهایی با نظر کارفرما
- تعیین چگونگی هماهنگی با عوامل فنی کارفرما در طول مطالعات و برگزاری جلسات فنی
- تهیه و ارائه گزارش روش‌شناسی و آغازین^۱ به منظور تفاهم کلی در رابطه با روش انجام مطالعات
- تعامل و هماهنگی و ارتباط با امور و ادارات آب شهرستان‌ها در کلیه مراحل مطالعاتی و کسب نظرات آنها در پیش‌بینی و در ارائه مدل هشدار و هم در پیشنهاد اقدامات بعد از هشدار برای کاهش خسارات سیل

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات و نقشه‌ها

- جمع‌آوری گزارشات قبلی مربوط به حوضه آبریز و منطقه مطالعاتی
- جمع‌آوری کلیه مشخصات و آمار ایستگاه‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، هیدرومتری و رسوب
- جمع‌آوری آمار سیلاب‌های اتفاق افتاده در منطقه طرح
- جمع‌آوری آمار خسارت اقتصادی و احتمالی ناشی از سیل در محدوده مطالعاتی
- آمار و اطلاعات توپوگرافی و فیزیوگرافی حوضه و رودخانه (نقشه‌های رقومی پایه، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰، ۱:۲۵۰۰۰، ۱:۵۰۰۰۰، نقشه کاربری اراضی، پوشش گیاهی، پهنه‌بندی سیلاب و مستحدثات حوضه با مقیاس مناسب)
- گردآوری عکس‌های ماهواره‌ای و هوایی در مقاطع زمانی مختلف و در صورت امکان پس از وقوع سیلاب‌ها از حوضه
- گردآوری نقشه پهنه‌های سیلاب‌های گذشته در صورت وجود
- جمع‌آوری نقشه‌های خطوط ارتباطی، مخابراتی، انتقال برق، راه و سایر تاسیسات زیربنایی
- بررسی‌های اولیه جهت تشکیل پایگاه اطلاعاتی سیلاب آجی چای

- تهیه نقشه‌های ۱:۵۰۰۰ مخزن سد شهید مدنی
 - جمع‌آوری اطلاعات مربوط به دریچه‌ها و سرریز سد شهید مدنی
 - تهیه مقاطع عرضی رودخانه و سازه‌های هیدرولیکی در مسیر رودخانه موجود
 - تهیه مشخصات عمومی بند انحرافی و شبکه آبیاری و زهکشی شهید سرداری
 - جمع‌آوری و استفاده از خروجی مطالعات انجام‌شده در حوضه (سدسازی، شبکه، مهندسی رودخانه و...) در زمینه مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی، مهندسی رودخانه، آبخیزداری و ... توسط مشاور و ارائه گزارش میان‌کار و در صورت نیاز به اصلاح و تکمیل، مشاور درخواست خود را مطرح نمایند تا کارفرما تصمیم بگیرد.
 - بررسی و بیان نقاط قوت و ضعف چند نمونه از مطالعات پیش‌بینی و هشدار سیل انجام‌یافته در سطح کشور و معرفی مدل قابل اجرا در محدوده طرح برای جلوگیری از تکرار اشتباهات کشوری
 - تحلیل سیلاب‌های استان و رفتارشناسی سیلاب‌ها و خسارات آنها با استفاده از مراجع آرشیو کارگروه تخصصی سیل استان
 - جمع‌آوری آمار و اطلاعات مراکز جمعیتی و استراتژیک در معرض سیل، شهر، روستا، تاسیسات حیاتی گردشگری و تفریحی و تحلیل اقتصادی و اجتماعی و بررسی موقعیت و حساسیت آنها در سامانه‌ی هشدار سیل در وضعیت موجود منطقه و توسعه
 - جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سدهای موجود و سدهای در دست مطالعه بالادست سد آجی‌چای
- بازدید و بررسی‌های صحرایی اولیه
- برنامه‌ریزی بازدیدها و تهیه چک‌لیست‌های موردنیاز
 - مذاکره و تبادل نظر با اهالی منطقه و مسوولان ذی‌ربط درخصوص اهداف طرح و جمع‌آوری اطلاعات
 - بازدید از حوضه مطالعاتی، مسیر رودخانه و همسایگی حوضه
 - بررسی اولیه شاخه‌های فرعی در حوضه و نقش آنها در سیل‌خیزی
 - بازدید و بررسی‌های اولیه از محل سدهای موجود درحوضه به‌ویژه سد شهید مدنی
 - شناسایی و بررسی پروژه‌های اجرا شده آبخیزداری، مهندسی رودخانه، مهار سیل و.....
 - شناسایی مستحذات اطراف رودخانه از قبیل جاده‌ها، پل‌ها، تاسیسات و.....
 - بررسی تغییر کاربری اراضی و نمونه‌برداری از حوضه و رودخانه (برای تعیین ضریب زبری و نفوذپذیری)
 - جمع‌آوری اطلاعات اولیه به کمک بررسی‌های صحرایی شامل ایستگاه‌های هیدرومتری، اطلاعات هیدرولیکی، ریخت‌شناسی، سیل، فرسایش، زمین‌شناسی، رسوبات بستر رودخانه (مخروط‌افکنه‌ها، گسل‌ها، سازندها و پتانسیل ایجاد سیلاب‌های واریزه‌ای) و ...
 - تطبیق کلیه نقشه‌های موجود با وضعیت فعلی حوضه
 - بررسی داغاب و برداشت مقاطع و سازه‌ها (در صورت نیاز)
 - بررسی اولیه محدوده‌های سیل‌گیر منطقه

- بررسی جریان‌های غیرطبیعی (از قبیل فاضلاب و ...) در حوضه‌های شهری و غیرشهری
- بررسی مناطق آسیب‌پذیر و درجه آسیب‌پذیری و مناطق حساس و استراتژیک
- تهیه حدود خدمات نقشه‌برداری و آبنگاری مورد نیاز
- تعیین مناطق مورد نیاز برای انجام خدمات نقشه‌برداری و آبنگاری
- تعیین مقیاس و مشخصات لازم برای برداشت توپوگرافی
- تعیین محدوده مورد نیاز تهیه نقشه‌های توپوگرافی و محدوده عرضی برداشت
- تعیین مشخصات نیمرخ‌های طولی و عرضی در صورت نیاز به برداشت
- تهیه برنامه زمانی نقشه‌برداری و آبنگاری
- تهیه دستورالعمل برداشت نقشه‌برداری و آبنگاری

۱۳-۲-۲- مطالعات فیزیوگرافی و موقعیت جغرافیایی

- ۱۳-۲-۲-۱- بررسی اطلاعات، گزارش‌ها و نقشه‌های جمع‌آوری شده مرتبط
- ۱۳-۲-۲-۲- تهیه نقشه مبنا برای محدوده مطالعاتی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)
- ۱۳-۲-۲-۳- مشخص کردن موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی، شبکه راه‌ها، مناطق شهری و روستایی، تاسیسات مهم صنعتی، کشاورزی و بهره‌برداری از منابع آب رودخانه در نقشه مبنا
- ۱۳-۲-۲-۴- تعیین محدوده حوضه آبریز اصلی و زیرحوضه‌های آن
- ۱۳-۲-۲-۵- ترسیم شبکه رودخانه‌ای شامل رودخانه اصلی و شاخه‌های فرعی آن
- ۱۳-۲-۲-۶- تعیین مشخصه‌های فیزیوگرافی حوضه آبریز شامل:
- تهیه مدل سه بعدی زمین (DEM) و پردازش آن در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با استفاده از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰
- مساحت، محیط، ضریب شکل حوضه آبریز اصلی و زیرحوضه‌های آن
- نمودارهای آلتیمتری و هیپسومتری حوضه آبریز اصلی و زیرحوضه‌های آن
- مقادیر ارتفاع حداقل، حداکثر و متوسط حوضه آبریز اصلی و زیرحوضه‌های آن
- ترسیم نیمرخ طولی رودخانه اصلی و شاخه‌های فرعی آن
- شیب متوسط رودخانه و حوضه آبریز اصلی و زیرحوضه‌های آن
- زمان تمرکز حوضه آبریز اصلی و زیرحوضه‌های آن با روش‌های متداول و تعیین روش مناسب
- ضریب تراکم و ضریب انشعاب حوضه‌های آبریز اصلی و زیرحوضه‌های آن
- شماره منحنی (CN) حوضه آبریز اصلی و زیر حوضه‌های آن با روش‌های متداول
- ۱۳-۲-۲-۷- تهیه دیاگرام سامانه رودخانه‌های کل حوضه آبریز با مشخص نمودن نقاط کنترل (ایستگاه‌های هدف در سامانه هشداردهنده سیل)
- ۱۳-۲-۲-۸- محاسبه کلیه پارامترهای فیزیوگرافی زیرحوضه‌ها (مساحت، محیط، شیب، ضریب شکل و...)

- تهیه هرگونه نقشه، عکس هوایی و... موردنیاز براساس درخواست مشاور و تصویب کارفرما، جزو تعهدات کارفرمایی خواهد بود.

۱۳-۲-۳- مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی

۱۳-۲-۳-۱- پارامترهای هواشناسی

- بررسی و جمع‌آوری مطالعات و گزارش‌های هواشناسی و اقلیم‌شناسی موجود در دسترس در مناطق مورد مطالعه و نیز بررسی گزارشات موجود درباره طرح‌های پیشنهادی سامانه‌های هشدار سیل
- بازدید از ایستگاه‌های هواشناسی و بررسی آنها در مورد تجهیزات، موقعیت و نحوه بهره‌برداری و ارائه پیشنهاد جهت تکمیل ایستگاه‌ها و یا تاسیس ایستگاه‌های جدید مطابق استانداردهای موجود
- بررسی صحت و دقت داده‌های هواشناسی جمع‌آوری شده
- تعیین ایستگاه‌های انتخابی برف و باران‌سنجی (و ایستگاه‌های هواشناسی) برای شبکه هشدار سیل
- مکان‌یابی ایستگاه‌های جدید باران‌سنجی و برف‌سنجی به منظور بهره‌برداری در شبکه هشدار سیل در صورت نیاز
- بررسی و تحلیل آمار و اطلاعات هواشناسی جمع‌آوری شده در حد نیازهای طرح از قبیل دما، رطوبت نسبی نقطه شبنم، تشعشع، باد و تبخیر و تعرق پتانسیل
- برآورد تبخیر از سطح آزاد آب در منطقه مطالعاتی
- تعیین توزیع زمانی و مکانی بارندگی در حوضه آبریز منطقه و تهیه منحنی‌های DAD
- بررسی نزولات سالانه هر ایستگاه و تعیین سهم باران و برف
- تهیه نقشه همباران سالانه منطقه براساس یک دوره شاخص آماری و همچنین متناسب با دوره‌های موردنیاز
- بررسی رگبار و تهیه منحنی‌های شدت-مدت- دوره برگشت ایستگاه‌های مورد نیاز
- بررسی بارش‌های حداکثر ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته
- تهیه هیئوگراف و یا هیئوگراف‌های تیپ منطقه
- تعیین رابطه درجه حرارت و ارتفاع (گردایان حرارتی)
- تعیین رابطه میزان بارندگی با ارتفاع (گردایان بارندگی)
- برآورد حداکثر بارش محتمل با استفاده از روش‌های آماری
- تعیین رابطه پوشش برف و عمق برف و یا ارتفاع منطقه (در صورت وجود ایستگاه برف‌سنجی)
- تعیین خط برف حوضه
- تعیین ضریب ذوب برف
- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای سنجش ذخیره برفی
- تهیه مدل ریاضی ذوب برف برای منطقه (در صورت وجود اطلاعات مورد نیاز مدل)

- محاسبات آب معادل برف ذخیره شده در حوضه و رواناب ناشی از ذوب برف برای زمان وقوع سیلاب‌ها و همچنین ذوب برف ماهیانه و آب معادل ورودی به مخازن سدها
- بررسی کلیات وضعیت اقلیمی و طبقه‌بندی مورد مطالعات و ناحیه‌بندی منطقه براساس مطالعات اقلیم
- ۱۳-۲-۳-۲- پارامترهای هیدرولوژی
- جمع‌آوری، بررسی و تحلیل مطالعات و گزارشات هیدرولوژی و منابع آب موجود و قابل دسترسی
- جمع‌آوری سری‌های آمار آبدهی روزانه و ساعتی (سیلاب) کلیه ایستگاه‌ها و اطلاعات سیلاب‌های تاریخی و منحنی‌های بده و اشل هر ایستگاه از بدو تاسیس و تحلیل فصول سیلاب در حوضه اصلی و حوضه‌های فرعی
- بازدید و بررسی ایستگاه‌های هیدرومتری در محدوده طرح، تجزیه و تحلیل روش‌های مورد استفاده در اندازه‌گیری‌ها و نمونه‌برداری‌ها، توصیه‌های لازم در اصلاح و تکمیل آنها و پیشنهاد احداث و یا جابجایی ایستگاه هیدرومتری با توجه به نحوه دسترسی به ایستگاه در شرایط سیلابی، وجود مقطع کنترل کیفیت آن، جنس و پایداری بستر و دیواره و کیفیت آماربرداری، ارتفاع و بده شرایط سیلابی
- بررسی شبکه هیدرومتری موجود و مقایسه آن با استانداردهای موجود و پیشنهادی WMO و طراحی شبکه جدید و تعیین ایستگاه‌های انتخابی شبکه هشدار سیل
- تجزیه و تحلیل آمار جریانات سطحی از نظر تعیین بده‌های حداکثر، حداقل، متوسط و احتمالات مختلف برآورد میزان جریان رودخانه در محل‌های موردنیاز
- تجزیه و تحلیل فراوانی سیلاب‌ها با دوره برگشت‌های مختلف در محل‌های موردنیاز
- تجزیه و تحلیل هیدروگراف‌های مشاهده‌ای سیل و بارش نظیر آن در ایستگاه‌های هیدرومتری و تهیه هیدروگراف واحد حوضه و زیر حوضه‌ها (در صورت نیاز)
- بررسی بده رودخانه‌های حوضه و تعیین مقدار ثابت فروکش
- برآورد حداکثر سیلاب متحمل با روش آماری
- تعیین درصد پوشش گیاهی در حوضه‌های آبریز
- تعیین شماره منحنی (CN) حوضه‌های مورد بررسی (روش SCS)
- تعیین مقدار تلفات آب (شامل نفوذ از حوضه، نفوذ از آبراهه و برداشت از رودخانه)
- تهیه جدول میزان سیلاب با دوره‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ ساله برای هر مقطع کنترل در محدوده طرح

۱۳-۲-۴- تعیین مقاطع کنترل هیدرومتری

- پس از مشخص شدن ایستگاه‌های هیدرومتری جدید و یا تجهیز ایستگاه‌های هیدرومتری موجود مطابق زیر اقدام می‌گردد:
- ۱۳-۲-۴-۱- بازدیدها و بررسی‌های صحرایی
 - ۱۳-۲-۴-۲- بازدید از محل مقاطع ایستگاه‌ها برای شناسایی محدوده طرح و ابنیه فنی موجود واقع در حاشیه رودخانه در آن محل

۱۳-۲-۳- بررسی ضرورت اجرای مقاطع کنترل و یا تثبیت بستر و نحوه جانمایی آن در مقطع هیدرومتری

۱۳-۲-۴- جمع بندی نتایج مشاهدات و اطلاعات حاصل از بازدیدهای صحرایی

۱۳-۲-۵- بررسی‌های فنی شامل:

- تعیین بده طراحی با توجه به گزارشات هیدرولوژی موجود برای طرح‌های مطالعه شده قبلی در ورودی سدها و استعلام موارد دیگر از کارفرما
- ارائه محدوده نقشه‌برداری و تعیین مشخصات آن شامل مقاطع عرضی و غیره
- بررسی و طرح راه دسترسی به محل ایستگاه هیدرومتری در صورت نیاز
- طرح پل نفرو در صورتی که عرض مقطع تا ۲۰ متر باشد در غیر این صورت طرح احداث پل تلفریک
- تعیین محل استقرار لیمنیگراف و اشل هیدرومتری در مقاطع طراحی شده
- بررسی گزینه‌های مختلف طرح و توصیه مناسب‌ترین آنها از نظر فنی و اقتصادی
- طرح اولیه مقاطع کنترل با هدف تثبیت بستر رودخانه و جلوگیری از تغییرات کد ارتفاعی بستر رودخانه
- ارائه طراحی مناسب برای اندازه‌گیری بده‌های کم
- بررسی و تعیین محل و نحوه استقرار لیمنیگراف و اشل هیدرومتری و پله دسترسی به کف مقطع در مقاطع طراحی شده
- پیشنهاد و تعیین تجهیزات مورد نیاز برای ایستگاه‌های هیدرومتری موجود
- اخذ نقشه‌های مشخص کننده حد بستر و حریم قانونی در محل مناطق کنترل هیدرومتری

۱۳-۲-۵- تهیه بانک اطلاعات جامع سیل حوضه آبی چای

۱۳-۲-۵-۱- تشکیل بانک

- بررسی و تعیین ساختار پایگاه اطلاعات جامع
- تعیین نرم‌افزارهای مورد نیاز (در صورت عدم انجام در مطالعات مراحل قبل)
- تعیین فرم، شکل و جدول‌های کلی اطلاعات ورودی و خروجی پایگاه اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله توجیهی و تکمیل فرم‌های تهیه شده در مطالعات مراحل قبل (در صورت انجام)

۱۳-۲-۵-۲- ورود اطلاعات

- تهیه اطلاعات GIS داده‌های مکانی شامل لایه‌های اطلاعاتی زیر:
 - نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری، باران‌سنجی، برف‌سنجی و شبکه
 - نقشه رودخانه‌های اصلی و فرعی
 - نقشه محدوده حوضه اصلی و زیر حوضه‌ها
 - نقشه پایه راه‌ها، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و مراکز جمعیتی شهری و روستایی
 - اطلاعات نقشه‌های توپوگرافی، مقاطع عرضی و طولی رودخانه
 - سایر اطلاعات فیزیوگرافی حوضه

- بانک اطلاعات آمار پایه شامل:
 - آمار هواشناسی
 - آمار هیدرومتری
 - سیلاب‌های رودخانه
 - آمار برف
- اطلاعات سیلاب‌های منطقه
 - نقشه‌های مکانی - زمانی سیلاب‌ها و مکان‌های آسیب دیده
 - نقشه‌های پهنه سیلاب‌ها و سیل‌خیزی مناطق
 - نقشه سازه‌های اجراشده مهار سیل و آبخیزداری در حوضه
 - اطلاعات هیدروگراف سیلاب‌های رودخانه
 - اطلاعات خسارت‌های سیل و رفتارشناسی سیل‌ها و دلایل بروز خسارت
 - اطلاعات نوع سیل (معمولی - واریزه‌ای و تعیین فصول سیلاب)
- اطلاعات سامانه هشدار سیل
 - اطلاعات سازمان و دستگاه‌های مرتبط
 - اطلاعات نحوه پراکنش ایستگاه‌ها
 - اطلاعات سامانه‌ی مخابراتی سامانه هشدار و اطلاع‌رسانی

۱۳-۲-۶- مدل‌های پیش‌بینی سیلاب

- ۱۳-۲-۶-۱- بررسی مدل‌های مختلف پیش‌بینی سیلاب
- ۱۳-۲-۶-۲- انتخاب بهترین مدل با توجه به اطلاعات قابل دسترس و اعتبار مدل و همچنین امکان توسعه مدل در صورتی که کارهای سازه‌ای در حوضه آبریز صورت گیرد.
- ۱۳-۲-۶-۳- تدوین و تالیف روابط ریاضی مربوط به مدل‌ها
- ۱۳-۲-۶-۴- تهیه مدل شبیه‌سازی بارش - رواناب و واسنجی آن (در صورت نیاز تالیف و تدوین مدل)
- ۱۳-۲-۶-۵- انتخاب وقایع مناسب برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی
- ۱۳-۲-۶-۶- کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل
- ۱۳-۲-۶-۷- تهیه مدل پیش‌بینی سیلاب با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (در صورت وجود داده‌های کافی)
- ۱۳-۲-۶-۸- تدوین برنامه‌های ارتباطی با مدل‌های ذکر شده و تهیه مدل جامع و یکپارچه پیش‌بینی سیل (در صورت نیاز تالیف و تدوین مدل)
- ۱۳-۲-۶-۹- آزمون حساسیت و اعتبار مدل‌ها
- ۱۳-۲-۶-۱۰- اجرای مدل‌های با اطلاعات واقعی
- بررسی پارامترهای موثر در بروز خطا و ارائه راه کار برای تحلیل خطای مدل پیش‌بینی

۱۳-۲-۷- روندیابی سیلاب در مخازن

- ۱۳-۲-۷-۱- جمع‌آوری کلیه اطلاعات مربوط به سدهای موجود در دست مطالعه بر روی رودخانه‌های اصلی و فرعی شامل مشخصات هندسی و هیدرولیکی و مجاری خروجی آنها شامل تخلیه‌کننده و سرریز
- ۱۳-۲-۷-۲- مهار سیلاب به‌وسیله مخازن و تعیین سیلاب در پایین دست سدها در شرایط مختلف بهره‌برداری و ترازهای مختلف آب و سیلاب‌های طراحی مورد انتظار
- ۱۳-۲-۷-۳- بهینه‌یابی حجم مهار سیلاب با توجه به عملکرد سامانه‌ای آنها (در صورت نیاز و وجود اطلاعات)

۱۳-۲-۸- روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها

- ۱۳-۲-۸-۱- جمع‌آوری اطلاعات و ضرایب هیدروینامیکی و مقطع عرضی در محل ایستگاه‌ها و محل‌های موردنظر
- ۱۳-۲-۸-۲- مشخص کردن بازه‌های طغیانی و نقاط سیل‌گیر رودخانه‌های حوضه و تعیین محل آنها
- ۱۳-۲-۸-۳- جمع‌آوری مقاطع عرضی رودخانه در محل ایستگاه‌های آب‌سنجی
- ۱۳-۲-۸-۴- جمع‌آوری مشخصات هندسی و طبیعی مقاطع ایستگاه‌های هیدرومتری و آبراهه‌های منطقه
- ۱۳-۲-۸-۵- تعیین ضریب زبری (مانینگ) برای سطحی حوضه برای نواحی نفوذپذیر و نفوذناپذیر
- ۱۳-۲-۸-۶- تعیین پتانسیل سیل‌زایی حوضه‌های آبریز و زیر حوضه‌ها
- ۱۳-۲-۸-۷- بررسی شرایط بالادست
- ۱۳-۲-۸-۸- تعیین اثرهای تاسیسات متقاطع (موجود یا پیش‌بینی شده) نظیر سدها، پل‌ها، سایر تاسیسات کنترل و انحراف و برداشت آب و غیره بر میزان سیل در بازه‌های مورد نظر
- ۱۳-۲-۸-۹- استفاده از مدل‌های روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها و برآورد پارامترهای مهم و تاثیرگذار
- ۱۳-۲-۸-۱۰- کالیبراسیون مدل‌ها و روش‌های روندیابی سیلاب با توجه به سیلاب‌های به‌وقوع پیوسته
- ۱۳-۲-۸-۱۱- بررسی اثرهای اقدامات تثبیت خاک و پوشش گیاهی و آبخیزداری در کاهش سیل‌زایی حوضه و وقوع سیلاب در رودخانه
- ۱۳-۲-۸-۱۲- تهیه منحنی بده - اشل تیپ هر ایستگاه با تعیین حدود اطمینان منحنی‌های گرانه‌ای
- ۱۳-۲-۸-۱۳- برآورد حداکثر بده قابل عبور در مقاطع موردنظر از رودخانه و مقایسه آن با بده طراحی به‌منظور تعیین محل‌هایی که نیاز به مهار سیل دارند.
- ۱۳-۲-۸-۱۴- تهیه نقشه محدوده سیل‌گیر حاشیه رودخانه برای سیلاب با دوره برگشت‌های مختلف
- ۱۳-۲-۸-۱۵- بررسی میزان آسیب‌پذیری نقاط مسکونی، سازه، تاسیسات اراضی کشاورزی و نظایر آن ناشی از سیلاب

۱۳-۲-۹- بررسی نیاز و ضرورت انجام روش‌های مهار سیلاب

- ۱۳-۲-۹-۱- بررسی اقدامات انجام‌شده مهار سیل در سطح حوضه
- ۱۳-۲-۹-۲- بررسی نیاز اقدامات تکمیلی مهار سیل

۱۳-۲-۹-۳- پیشنهاد سیلاب طرح برای بازه‌های مختلف رودخانه با توجه به شرایط موجود در حاشیه رودخانه و براساس استانداردهای مورد قبول

۱۳-۲-۹-۴- بررسی و توصیه روش‌های مناسب سازه‌های مهار سیلاب در بازه‌های مورد نظر

۱۳-۲-۹-۵- ارائه پیشنهادی لازم به منظور برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت برای مهار سیلاب و کاهش خسارت آن

۱۳-۲-۱۰- سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS)

۱۳-۲-۱۰-۱- مذاکره با کارفرما جهت بازنگری اهداف تعیین شده برای DSS به شرح زیر:

- مدیریت اطلاعاتی که مستقیماً در سامانه‌ی هشدار سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- مدیریت مدل‌های چندگانه و مرتبط کردن آنها با یکدیگر در یک پوسته نرم‌افزاری مناسب و کارآمد
- نمایش مناطق در معرض خطر سیل به‌صورت گرافیکی (در صورتی که از مدل‌های جامع تجاری نظیر MIKE FLOOD WATCH استفاده نشود و یا مدل روندیابی سیل در رودخانه از قابلیت نمایش گرافیکی بهره‌مند نباشد)

- تصمیم‌گیری در مورد سطح بحران حاصل از سیلاب و انتخاب نوع هشدار مناسب

- برقراری ارتباط مناسب با سامانه سخت‌افزاری و مخابراتی هشدار سیل

برای دستیابی به اهداف فوق موارد cdv به‌عنوان بندهای این بخش از شرح خدمات پیشنهاد می‌شوند:

۱۳-۲-۱۰-۲- طراحی ساختار کلی سامانه‌ی پشتیبانی در تصمیم‌گیری با توجه به نظرات کارفرما در مورد نوع اطلاعات موردنیاز برای سامانه‌ی تصمیم‌گیری هشدار سیل

۱۳-۲-۱۰-۳- طراحی ساختار مناسب برای مولفه‌های مدیریت اطلاعات، مدیریت مدل‌ها و مدیریت ارتباط با کاربر با در نظر گرفتن قابلیت استفاده از اطلاعات مکانی، مدیریت انواع داده‌های مختلف هواشناسی، هیدرولوژی و سایر داده‌های مورد نیاز در این بخش مدنظر قرار خواهد شد. لزوماً از نرم‌افزار ACCESS استفاده نخواهد شد.

۱۳-۲-۱۰-۴- آنالیز سامانه و طراحی بانک اطلاعاتی خاص DSS با استفاده و در ارتباط با بانک اطلاعاتی کلی پروژه

۱۳-۲-۱۰-۵- طراحی ساختار سامانه مدیریت مدل‌ها شامل مدل‌های پیش‌بینی و شبیه‌سازی سیلاب و ارتباط مدل‌ها با بانک‌های اطلاعاتی (در صورتی که از نرم‌افزارهای جامع تجاری استفاده نشود).

۱۳-۲-۱۰-۶- تهیه بانک اطلاعات GIS جهت تولید لایه‌های پهنه‌بندی، سیلاب در منطقه (در صورتی که از نرم‌افزار جامع استفاده نشود)

۱۳-۲-۱۰-۷- مطالعه داده‌ها و سیلاب‌های تاریخی منطقه برای تعیین آستانه‌های بحرانی منطقه که مبنای تصمیم‌گیری قرار گیرند.

۱۳-۲-۱۰-۸- انتخاب محل هواشناسی مناسب برای تولید داده‌های بارش و پیش‌بینی هواشناسی برای میزان بارش (در صورت نیاز امکان‌پذیر بودن، به نظر نمی‌رسد برای کار در منطقه‌ای با مقیاس پروژه هشدار سیل آبی‌چای بتوان از مدل هواشناسی با دقت مناسب استفاده نموده و داده‌های آن را تهیه نمود. در صورت امکان‌پذیری مدل هواشناسی خود شرح خدمات جداگانه می‌خواهد)

- ۱۳-۲-۱۰-۹- تهیه سناریوهای مختلف برای وقوع سیل در منطقه با استفاده از مدل‌های هواشناسی و بارش رواناب در منطقه (تولید داده با استفاده از مدل) و تهیه صفحات سیلاب (FLOOD Page) و ذخیره در بانک اطلاعاتی (درخصوص مدل هواشناسی به توضیحات بند قبل مراجعه شود)
- ۱۳-۲-۱۰-۱۰- گردآوری استراتژی مختلف نظامنامه سیلاب در منطقه و ذخیره در بانک اطلاعاتی (در صورت نیاز و توافق با کارفرما درخصوص نظامنامه سیلاب)
- ۱۳-۲-۱۰-۱۱- ارزشیابی و واسنجی DSS طراحی شده با استفاده از داده‌های تاریخی و مانور و مشق
- ۱۳-۲-۱۰-۱۲- انتخاب نحوه پیاده‌سازی رابط کاربر
- ۱۳-۲-۱۰-۱۳- دسته‌بندی سطوح مختلف هشداردهی در محدوده مورد مطالعه
- ۱۳-۲-۱۰-۱۴- طراحی و پیاده‌سازی سامانه‌ی تصمیم‌گیری برای هشداردهی
- ۱۳-۲-۱۰-۱۵- طراحی و تهیه راهنمای استفاده از نرم‌افزار و سایر مستندات مربوط
- ۱۳-۲-۱۰-۱۶- برگزاری کلاس‌های آموزشی استفاده از نرم‌افزار

۱۳-۲-۱۱- طراحی سامانه هشدار سیل

- ۱۳-۲-۱۱-۱- تعیین پیش نیازهای سامانه‌ی هشدار سیل برای سناریوهای مختلف (بررسی نیازهای فنی و ملاحظات اجرایی)
- برگزاری جلسات با کارفرما و رسیدن به درک مشترک از نیازها و روش‌های انجام مطالعه
 - مشخص نمودن استراتژی هشدار سیل برای دو بخش بالادست و پایین‌دست سد شهید مدنی با توجه به نقش جدی سد در بده‌های رهاشده در پایین دست سد
 - نهایی کردن موقعیت مرکز پیش‌بینی و هشدار سیل SCADA با توجه به نتایج مطالعات قبلی و خصوصاً نقشه‌های پهنه‌بندی سیل (احتمالاً نقطه‌ای امن و مناسب در شهر تبریز)
 - بررسی موقعیت ایستگاه‌ها
 - بازدید محلی از ایستگاه‌ها
 - بررسی فاصله ایستگاه‌ها از مرکز پیش‌بینی و مناطق سیل‌گیر
 - بررسی امکانات موجود در منطقه
 - جمع‌بندی مشخصات داده‌ها
 - تعیین نوع اطلاعات جمع‌آوری شده در ایستگاه‌ها
 - تعیین طیف تغییرات هر یک از انواع اطلاعات
 - تعیین دوره‌های اندازه‌گیری و جمع‌آوری اطلاعات (ساعتی، روزانه، ماهانه و سالانه)
 - تعیین دوره ارسال اطلاعات از ایستگاه‌های انتخابی به مرکز کنترل
 - تعیین نوع اطلاعاتی از مرکز پیش‌بینی به مرکز دیگری می‌تواند مخابره شود.
 - بررسی و انتخاب انواع سامانه‌های ارتباطاتی

- بررسی ارتباط On Line مرکز پیش‌بینی با ایستگاه‌ها
 - تعیین نوع ایستگاه‌ها (یک طرفه یا دوطرفه)
 - بررسی توسعه آتی ایستگاه‌ها
 - بررسی گزینه‌های استفاده از:
 - خطوط تلفن ثابت
 - تلفن همراه GSM
 - خطوط اجاره‌ای
 - شبکه (PLC) Power Line Carrier
 - مخابرات کابلی
 - مخابرات رادیویی (فرکانس پایین VHF, UHF, میکروویو، موج میلی‌متر و بالاتر)
 - مخابرات ماهواره‌ای (انواع ماهواره‌ها)
 - مقایسه و نتیجه‌گیری با استفاده از جداولی که در آنها پارامترهای زیر بررسی شده باشند، سادگی برپایی - سرعت برپایی - سادگی شبکه - یکنواختی - هزینه‌ها (اولیه جاری) - قابلیت توسعه - نگهداری - میزان استفاده از سرمایه - قابلیت اعتماد - استقلال - انعطاف‌پذیری
 - انتخاب گزینه مطلوب از جنبه فنی و اقتصادی با مشاورت کارفرما
 - تعیین مناطقی که نیاز به سامانه‌ی هشدار محلی از نوع صوتی (آژیر) دارند:
 - داخل دره‌ها و مسیرهای کوهستانی
 - مناطق تفریحی
 - مناطق مسکونی و سیل‌گیر بالادست و مناطق در معرض خطر مجاور رودخانه‌ها یا پایین‌دست سد شهید مدنی
 - تعیین مناطقی که نیاز به نصب سامانه‌ی هشدار محلی از نوع تابلوهای اعلام هشدار دارند.
- ۱۳-۲-۱۱-۲- طراحی مرکز پیش‌بینی
- SCADA [Supervisory Control And Data Acquisition]
- تهیه سند اطلاعات پایه طراحی براساس نیازهای فنی و ملاحظات اجرایی
 - طراحی پایه (فاز صفر) شامل تعیین مشخصات فنی شبکه، سخت‌افزار، سامانه‌های ذخیره‌سازی، مشخصات نرم‌افزاری، مشخصات حفاظتی، نقشه‌های مورد نیاز
 - طراحی تفصیلی (فاز یک و دو طراحی) شامل: تعیین استانداردها و پروتکل‌ها، طراحی تفصیلی سخت‌افزارها، تجهیزات، نرم‌افزار و ابراز دقیق اندازه‌گیری
- ۱۳-۲-۱۱-۳- طراحی سامانه‌ی ارتباطی
- تهیه سند اطلاعات پایه طراحی براساس نیازهای فنی و ملاحظات اجرایی بند ۱۳-۲-۱۱-۱
 - طراحی پایه فاز صفر، طراحی سیمای کلی طرح شامل:
 - پیکربندی شبکه و نیازهای ارتباطی مولفه‌های پروژه

- روش‌های ایجاد هم‌زمانی و هماهنگی در شبکه
- روش‌های تشخیص ایجاد هم‌زمانی و هماهنگی در شبکه
- روش‌های تشخیص و تصحیح خطا
- روش‌های دسترسی چندگانه به شبکه مخابراتی
- روش‌های دسترسی به کانال ارتباطی
- روند نمای پروتکل‌های ارتباطی مرکز پیش‌بینی، ایستگاه‌ها و تکرارکننده‌ها
- طراحی معماری شبکه و تعیین محیط‌های انتقال
- طراحی تفصیلی (فازیک و دو طراحی) شامل: تعیین استانداردها و پروتکل‌ها، طراحی تفصیلی شبکه و تجهیزات مربوط
 - اخذ نظرات کارفرما در مورد طرح مقدماتی
 - ایجاد تغییرات در طرح مقدماتی در صورت نیاز
 - انجام بازدید صحرایی و آزمایش‌های ضروری
 - نهایی کردن طرح اولیه
 - انجام محاسبات لازم و تعیین تجهیزات ضروری در ایستگاه‌ها و مرکز پیش‌بینی
 - تهیه مشخصات فنی تجهیزات مخابراتی لازم
 - تهیه نقشه و پروتکل‌های مخابراتی سامانه
- ۱۳-۲-۴-۱۱-۴- طراحی سامانه‌ی هشدار صوتی (آژیر)
 - انتخاب تجهیزات مناسب هر نقطه
 - انتخاب مناسب محل قرار گرفتن آژیرها بر اساس محدودیت‌های مطرح (برق مورد نیاز،...)
 - انتخاب سامانه‌ی کنترل مناسب در شرایط طوفانی
 - انرژی مورد نیاز و سامانه‌های پشتیبانی برق
- ۱۳-۲-۵-۱۱-۵- طراحی سامانه‌ی اطلاع‌رسانی و هشداردهی از طریق پیام کوتاه تلفن همراه شامل:
 - اطلاع‌رسانی به مراکز تصمیم‌گیری مرتبط در زمان‌های مختلف در شرایط خطر در سطوح مختلف جهت تصمیم‌گیری
 - هشداردهی به تمام تلفن‌های سیار فعال در مراکز تلفنی موجود در منطقه خطر
 - مدیریت تنظیم متن پیام در سامانه مرکزی برای هریک از حالات تعریف شده در سامانه هشدار برای مراکز تصمیم‌گیری مرتبط
 - مدیریت تنظیم پیام برای کاربران عمومی در حالات مختلف جوی و ساعات شبانه روز
 - طراحی سامانه‌ی ارتباط با مراکز تلفنی برای ارسال پیام کوتاه

۱۳-۲-۱۲- مطالعه ریخت‌شناسی و فرسایش و رسوب رودخانه

- ۱۳-۲-۱۲-۱- بررسی گزارش‌های موجود و شکایت‌های رسیده مردمی در مورد فرسایش و جابجایی رودخانه یا مسیل

۱۳-۲-۱۲-۲- بررسی عکس‌های هوایی، تصویرهای ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی برای تهیه پلان و تهیه نقشه تغییرات (در صورت وجود اطلاعات و نقشه‌ها و عکس‌های با مقیاس مناسب)

۱۳-۲-۱۲-۳- تعیین نوع رودخانه یا مسیل در بازه‌های مختلف از نظر ریخت‌شناسی با استفاده از عکس‌های هوایی، نیمرخ طولی و مقاطع عرضی

۱۳-۲-۱۲-۴- بررسی اثر سازه‌های متقاطع در ریخت‌شناسی رودخانه یا مسیل

۱۳-۲-۱۲-۵- مشخص کردن بازه‌های فرسایشی، رسوب‌گذار و پایدار براساس نقشه‌ها و عکس‌های موجود و بازدیدهای میدانی

۱۳-۲-۱۲-۶- تهیه نقشه تقریبی تغییرات و شرایط بازه‌ها براساس اطلاعات (بندهای ۱۳-۲-۱۲-۱) تا (۱۳-۲-۱۲-۴)

۱۳-۲-۱۲-۷- بررسی روند تغییرات ریخت‌شناسی در آینده و آثار ناشی از آنها بر بستر و حریم و نیز محیط اطراف

۱۳-۲-۱۲-۸- تعیین موقعیت و میزان اراضی متروکه و بستر مرده در اثر تغییر مسیر رودخانه یا مسیل

۱۳-۲-۱۲-۹- بررسی پوشش گیاهی بستر و حاشیه رودخانه، نهر یا مسیل و اثر آن بر بازه‌های پایدار و ناپایدار و زبری جریان

۱۳-۲-۱۲-۱۰- بررسی اجمالی و مقدماتی اثر استفاده نامناسب از بستر و حریم رودخانه یا مسیل بر جابجایی و تغییر مسیر رودخانه و افزایش فرسایش سواحل

۱۳-۲-۱۲-۱۱- بررسی مقاطع مسدود شده رودخانه در اثر عوامل انسانی و پیشنهاد روش‌های بازگشایی برای کاهش خسارات سیل

۱۳-۲-۱۳- ساختار تشکیلاتی و مدیریت سامانه‌ی هشداردهنده سیلاب

- طراحی ساختار سازمانی و تشکیلات مدیریت سامانه‌ی هشداردهنده و پیش‌بینی مرکز دیسپاچینگ با هماهنگی سازمان‌های ذی‌ربط و در محدوده اختیارات شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی
- طراحی ساختار سازمانی مناطق دارای سامانه‌ی هشدار و نحوه ارتباط آنها با مدیریت سامانه (در صورت نیاز)
- گزارش نحوه مدیریت و بهره‌برداری از سامانه
- تهیه گزارش و مستندسازی ساختاری مدیریت سامانه
- تعیین ترکیب سازمان هشدار سیل با توجه به قانون جدید سازمان مدیریت بحران کشور
- تبیین و تدوین وظیفه‌مندی اعضای در سازمان هشدارسیل، این وظایف در حد شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و تیم مستقر در SCADA تهیه خواهد شد. وظایف کلی سازمان‌های ذی‌ربط و تقسیم کار بین آنان توسط قانون سازمان مدیریت بحران کشور انجام شده است و در هر صورت از محدوده اختیارات یک مهندس مشاور خارج است
- بررسی نحوه اطلاع‌رسانی هشدارها و اخطارها

۱۳-۲-۱۴- لحاظ نمودن نتایج مطالعات شکست سد شهیدمدنی بر سامانه‌ی هشدارسیل

- تعیین نقش شکست سد و نحوه پیش‌بینی و هشدار آن در سد اصلی و سدها در شاخه‌های فرعی (با توجه به نتایج مطالعات انجام یافته شکست سد و نیاز)

- خدمات مراحل تکمیلی

پس از انجام مطالعات یادشده در قالب یک شرح خدمات و هزینه مطالعات جداگانه اسناد مناقصه و موارد تکمیلی به صورت زیر انجام خواهد شد. این خدمات مربوط به مراحل نظارت کارگاهی، عالییه، خرید، نصب، راه‌اندازی، تحویل و بهره‌برداری آزمایشی می‌باشد.

۱۳-۲-۱۴-۱- ارائه خدمات فنی نظارت و در مرحله اجرایی سامانه

این مرحله شامل مراحل زیر خواهد بود:

- تهیه فهرست پیمانکاران صلاحیت دار برای دعوت به مناقصه
- بررسی اسناد فنی مناقصه و در صورت لزوم اصلاح آن
- همکاری با کارفرما در برگزاری مناقصه و انتخاب پیمانکار
- تهیه دعوت‌نامه و فروش اسناد مناقصه
- برگزاری تشریفات مناقصه
- مطالعه و ارزیابی پیشنهادات واصله، تهیه گزارش ارزیابی فنی و مالی آن‌ها
- تهیه اسناد قرارداد مالی
- به روز نمودن برآورد هزینه‌ها براساس آخرین فهرست بها یا قیمت معمول روز در صورت لزوم
- همکاری در تعیین اراضی مورد نیاز، خرید اراضی و تحویل به پیمانکار
- تطابق طرح کلی پروژه شامل بررسی و تایید نقشه‌ها و مشخصاتی که پیمانکاران تهیه می‌کنند
- نظارت و کنترل نقشه‌های نصب که توسط پیمانکار تهیه می‌شود
- هماهنگی برای آموزش کارکنان کارفرما به منظور آماده‌سازی آن‌ها برای بهره‌برداری و نگهداری سامانه پس از تحویل
- تهیه شرح خدمات اجرایی برای پیمانکار منتخب
- تطبیق طرح با مشخصات وسایل و تجهیزاتی که توسط پیمانکار و یا سازنده تهیه می‌شود و تهیه گزارش لازم از چگونگی پیشرفت عملیات ساخت
- تهیه اسناد خرید تجهیزات مخابراتی و اندازه‌گیری
- نظارت عالییه و نظارت کارگاهی بر حسن انجام کار پیمانکار
 - بررسی و تصویب برنامه‌های زمان‌بندی پیشنهادی پیمانکار
 - تنظیم و ارائه دستور کارهای لازم به پیمانکار
 - بررسی کیفی و کمی مواد، مصالح و لوازم و تجهیزات
 - تطبیق کارهای انجام شده با نقشه‌ها و اسناد و مشخصات فنی
 - تهیه گزارش‌های ماهانه تایید صورت وضعیت پیمانکاران نظارت بر نصب سامانه در حوضه و راه‌اندازی آن
 - بررسی و اعلام نظر در مورد تغییرات پیشنهادی مشخصات طرح

- انجام اصلاحات احتمالی در طرح
- تهیه مدارک و گزارش‌های فنی
- انجام اقدامات مربوط به تحویل موقت و قطعی

۱۳-۲-۱۴-۲- تصدیق نهایی مدل‌ها و تهیه دستورالعمل‌ها

- اجرا و کنترل سامانه‌ی هشداردهنده سیل با اطلاعات واقعی و انجام پیش‌بینی
- واسنجی (کالیبره کردن) مدل و تعیین مقادیر دقیق پارامترها با استفاده از داده‌های واقعی که پس از مدت قابل قبولی از شروع به کار سامانه‌ی هشدار سیل به دست می‌آید.
- تعیین حساسیت مدل
- بررسی اعتبار نهایی مدل
- تصحیح و تکمیل مدل
- تهیه دستورالعمل‌ها و مستندسازی به صورت جامع (استفاده از دستورالعمل‌های موجود در زمینه مدیریت غیرسازه‌ای کاهش خسارات سیل)
- تهیه دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری
- تهیه دستورالعمل پایش و بازرسی ادواری
- آموزش پرسنل و اپراتورها
- تهیه گزارش نهایی پروژه

۱۳-۲-۱۴-۳- تهیه سامانه‌ی پشتیبانی تصمیم‌گیری (DSS)

- تلفیق بخش نرم‌افزاری DSS با بخش‌های سخت‌افزاری سامانه‌ی هشدار سیل
- اجرا و بهره‌برداری آزمایشی DSS
- اقدامات تصحیحی در صورت نیاز

پیوست ۱

**کاربرد سیلاب‌های تاریخی در
طراحی سامانه‌های پیش‌بینی و
هشدار سیلاب**

پ. ۱-۱- کلیات

در این پیوست خلاصه‌ای از مرجع ۱۵۳^۱ در مورد راهکارهای استفاده از سیلاب‌های تاریخی در طراحی سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب ارائه می‌گردد. البته برای استفاده بهتر توصیه می‌شود این مرجع به صورت کامل مطالعه شود. کلیه مطالعات سیلاب نیازمند به برآورد آبدی اوج برای یک دوره بازگشت مشخص هستند که به نحو قابل ملاحظه‌ای طولانی‌تر از طول آمار اندازه‌گیری شده موجود است. اطلاعات تاریخی می‌توانند برای بهبود تحلیل فراوانی سیلاب با ارائه اطلاعاتی در مورد سیلاب‌هایی قبل از دوره اندازه‌گیری سیستماتیک مورد استفاده قرار گیرند. بازنگری اطلاعات تاریخی می‌تواند منجر به درک بهتری از عواملی شود که در نتیجه آنها سیلاب‌های نادر به وقوع می‌پیوندند. همچنین تحلیل اطلاعات سیلاب‌های تاریخی می‌تواند دید بهتری نسبت به خصوصیات فصلی سیلاب رودخانه‌ها و اثرهای تغییر کاربری اراضی در رژیم سیلاب‌های رودخانه به دست دهد. شکل و قابلیت اعتماد اطلاعات سیلاب‌های تاریخی به دست آمده برای رودخانه‌ای به خصوص یا قسمتی از آن رودخانه احتمالاً حداقل به اندازه تمایز منابع مورد استفاده متفاوت است. اگر قرار است اطلاعات منظم و بازنگری شده، منتج به بهبود در برآوردهای تحلیل فراوانی (با آمار کوتاه‌مدت) شود، باید یک ارزیابی بسیار دقیق از این اطلاعات انجام شود. بدون این بازنگری احتمال دارد که اطلاعات نادرست (جعلی) بسیاری در این برآوردها وارد شوند که این امر می‌تواند موجب خطاهای قابل ملاحظه در برآوردها گردد.

پ. ۱-۲- کاربردهای سیلاب‌های تاریخی در پروژه‌های هشدار سیلاب

اطلاعاتی که سیلاب‌های تاریخی ارائه می‌دهند می‌تواند در موارد زیر در طراحی و بهره‌برداری سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب مورد استفاده قرار گیرد:

- اولویت‌بندی طرح‌های مختلف هشدار سیلاب با توجه به عواقب سیلاب تاریخی
- توجه‌پذیری اقتصادی (اولیه)
- واسنجی کردن مدل پیش‌بینی سیل با استفاده از سیلاب تاریخی (مدل هیدرولوژیکی و مدل هیدرولیکی)
- برآورد ابعاد سیلاب در زمان واقعی با مقایسه پارامترهای آن با پارامترهای سیلاب‌های تاریخی. این کاربرد هنگامی تحقق می‌یابد که مدل مناسبی برای پیش‌بینی سیستماتیک سیلاب در دسترس نباشد با این وجود بر اساس قانون ۲۰-۸۰ پاراتو، در برخی موارد حتی مقایسه‌های ابتدایی در زمان واقعی می‌تواند نتایج مهمی به دست دهد
- تدقیق برآورد سیلاب‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف
- تعیین خطرپذیری مناطق مختلف در مدل رودخانه با توجه به گزارش‌های مربوط به سیلاب‌های تاریخی
- ایجاد آگاهی عمومی در مورد خطرات سیلاب با انتشار آمار تلفات و خسارات سیلاب‌های تاریخی و بررسی واکنش مردم در شرایط اضطراری ناشی از سیلاب
- برآورد ریسک تخریب سدها و لزوم اجرای سامانه هشدار برای مدیریت سد و مدیریت شرایط اضطراری پایین دست

1- Hosking, J.R.M. 1986. The use of historical and paleological flood data. Review of statistical flood frequency estimation: Open File Report No. 5, Institute of Hydrology, Wallingford.

- استفاده از سیلاب تاریخی در مطالعات پهنه‌بندی سیلاب
- استفاده از سیلاب تاریخی برای تهیه طرح عمل شرایط اضطراری
- تهیه نقشه‌های آب‌گرفتگی ناشی از سیلاب‌های تاریخی (این نقشه‌ها به‌عنوان یک روش غیرسازه‌ای برای هشدار به مردمی که در مناطق پر خطر زندگی می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرند).
- برآورد روند افزایش یا کاهش سیلاب در یک دوره‌ی آماری بر اثر تغییر هیدروسامانه (تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم)
- برآورد بارش‌های آستانه‌ای برای تعیین سطح و وضعیت سیلاب در زمان واقعی
- برآورد پارامترهای مدل
- دسته‌بندی سیلاب‌ها با استفاده از آمار سیلاب‌های تاریخی

پ.۱-۳- شکل اطلاعات

شکل اطلاعات وقایع سیلاب‌های تاریخی، که قبل از اندازه‌گیری سیستماتیک جریان رودخانه به‌وقوع پیوسته‌اند، بسیار متفاوت است. شرح بعضی یادداشت‌های معاصر با آن وقایع ممکن است حاکی از تصویری واضح از آن حوادث باشد. اما این منابع فقط سال وقوع آن‌را ارائه می‌دهند. گزارش‌های دیگر ممکن است روز، ماه و سال واقعه را نیز نشان دهند و اشاره‌ای هم به شدت واقعه داشته باشند.

از آماری که عمدتاً توسط مسوولین ایستگاه‌های اندازه‌گیری جمع‌آوری شده، اوج ترازها و در بعضی موارد جریان‌های برآورد شده به شکل جدول وار تهیه می‌شوند. جزییات منابع همراه با دیگر اطلاعات مربوط ارائه شده و برای آمارهای طولانی‌تر، سیلاب‌ها ممکن است براساس بزرگی طبقه‌بندی شود.

فواید اطلاعات به‌دست‌آمده از این شکل‌های مختلف نیز به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت است. آمار تاریخی اولیه نسبت به آمار اخیر کیفی‌تر هستند اما با وجود این می‌توانند اطلاعات باارزشی ارائه دهند.

پ.۱-۴- تحلیل منابع

محققین پدیده‌های هواشناسی قرون وسطی تا حد زیادی متکی به مراجع جمع‌آوری شده مربوط به شرایط اقلیمی هستند (سال‌های ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ بعد از میلاد). برای مثال وقایع‌نامه‌های جهانی در طول این دوره به‌وجود آمدند، اما از آن‌جایی که وقایع‌نگاران اغلب قادر به تشخیص حقیقت از افسانه نبودند، این اسناد اغلب شامل اطلاعات نادرست و گمراه‌کننده هستند. در اوایل قرن نوزدهم تاریخ‌نویسان شروع به زیرسوال‌بردن اعتبار چنین اسنادی کردند و روش‌های معروف به تحلیل منابع^۱ را به‌وجود آوردند. قبل از این، بازنگری انتقادی از منابع اطلاعات تقریباً ناشناخته بود. حتی با رشد آگاهی از نیاز به روشی بسیار دقیق‌تر میان تاریخ‌نویسان، بسیاری از تالیف‌ها که در زمان‌های اخیر تهیه شده‌اند، بدون توجه مناسب به این نیازها صورت گرفته است.

تحلیل منابع روش پیچیده‌ای است، اما اصول اصلی تحلیل منابع همان‌طور که طرح کلی آن به‌وسیله اینگرام^۱ و همکارانش داده شد در این‌جا تحت عنوان چند سوال خلاصه می‌شود:

- نویسنده برای ثبت دقیق وقایع چقدر با انگیزه و صلاحیت‌دار است؟
- آیا نویسنده دلایلی برای جعل یا اغراق در جزئیات واقعه داشته است؟
- آیا نویسنده از لحاظ مکانی و زمانی نسبت به واقعه‌ای که شرح می‌دهد و در مدت کوتاهی آنها را ثبت می‌کند، نزدیک بوده، یا آیا دسترسی به گزارش‌های دسته اول شفاهی یا کتبی و اطلاعاتی که دقیقاً از آنها به‌دست آمده داشته است؟
- آیا این یک شرح (گزارش) مستقل از واقعه است یا اصولاً یک گزارش اقتباس شده محسوب می‌شود؟
- خطاهای رونویسی در اطلاعات اقتباسی محتمل هستند. گردآوری یا تلفیق براساس دیگر مدارک اقتباسی، اغلب خطاهای نسخه اصلی را حفظ می‌کند.

پ.۱-۵- ارزیابی

اطلاعات سیلاب‌های تاریخی احتمالاً هم در شکل و هم در قابلیت اعتماد متفاوت هستند. اگر قرار است اطلاعات جعلی شناسایی و رد شوند، ارزیابی اطلاعات و بررسی اطلاعات مربوط به سیلاب‌های تاریخی احتمالاً هم شامل قضاوت تاریخی و هم قضاوت هیدرولوژیکی خواهد بود. اما اگر روشی سیستماتیک و منظم به کار گرفته شود، تحقیق دقیق‌تری می‌تواند انجام شود. روش‌های نموداری که شرح داده می‌شود، نیاز به منظم‌کردنی سیلاب‌ها به ترتیب بزرگی دارند. در این راستا می‌توان از فرمولی مثل فرمول گرینگرتن^۲، موقعیت ترسیمی را محاسبه نمود:

$$P_i = \text{ith Plotting Position} = (i - 0.44) / (n + 0.12) \quad (\text{پ.۱-۵})$$

که در این رابطه:

i : مرتبه در سری نزولی، n : دوره‌ای است که رتبه‌بندی آن مورد نظر است و P_i احتمال تجاوز است. بنابراین لازم است متغیرهای i و n با درجه اعتماد مناسبی تعیین شوند. در این رابطه طرح سوال‌های زیر مورد نیاز است:

- آیا اطلاعات به‌دست آمده واقعا مربوط به محل مورد نظر هستند؟ به‌طور مطلوب در اطلاعات، به‌طور خاص از سرشاخه و محل مورد نظر اسم برده خواهد شد، اما در بعضی مواقع فقط حوضه رودخانه یا منطقه داده می‌شود.
- آیا اطلاعات کافی برای اطمینان از زمان وقوع حادثه وجود دارد؟ جواب این سوال برای تعیین دوره تاریخی مربوط به مجموعه سیلاب‌ها مورد نیاز خواهد بود.
- آیا اوج جریان با تراز می‌تواند تعیین شود و بستر را می‌توان در طول زمان ثابت فرض نمود؟ این امر می‌تواند سری نمودن سیلاب‌ها را ممکن سازد.

تاریخ مربوط به هر سیلاب تاریخی می‌تواند برطبق کامل‌بودن اطلاعات و صحت آنها، با استفاده از جدول علامت‌گذاری که با جدول (پ.۱-۵) نشان داده شده، ارزیابی شود.

جدول پ.۱-۱- جدول علامت‌گذاری

صحت وزن‌دهی	مقدار			چه زمانی؟			کجا؟		
	جریان	سطح	امکان دسته‌بندی وجود دارد؟	روز	ماه	سال	محل	انشعاب	حوضه آبریز
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									
۷									
۸									
۹									
۱۰									

تعیین این که وقایع ذکر شده مربوط به کدام محل مورد نظر می‌باشد، مهم است. ضرورتاً تعیین تاریخ دقیق وقوع سیلاب مهم نیست، هر چند که این مساله در تحقیق در مورد اطلاعات تاریخی کمک می‌کند. تعیین سال وقوع حادثه ممکن است برای مشخص کردن دوره‌ای که سری‌های سیلاب‌های تاریخی به آن مربوط هستند کافی باشد.

کامل بودن اطلاعات تاریخی مربوط به بزرگی ابعاد واقعه سیلاب، رابطه‌ای مستقیم با سودمندی آن اطلاعات دارد. سری کردن سیلاب‌ها ممکن است بدون اطلاعات اوج تراز سیلاب یا جریان ممکن باشد، اما اگر واقعه قرار است در تحلیل فراوانی سیلاب مورد استفاده قرار گیرد، نیاز به برآورد اوج جریان است. در دسترس بودن اطلاعات تراز اوج سیلاب به قابلیت اعتماد رده‌بندی افزوده و اجازه می‌دهد برآوردی از جریان اوج به دست آید. اطلاعات تاریخی که هم شامل اطلاعات تراز و هم اطلاعات جریان است، احتمالاً با ارزش‌ترین اطلاعات محسوب می‌شوند، هر چند قابلیت اعتماد چنین اطلاعاتی باید قبل از کاربرد تعیین شود.

توصیه می‌شود که تمامی اطلاعات جمع‌آوری شده برای هر یک از وقایع سیلاب‌های تاریخی با استفاده از روش تحلیل منابع، ارزیابی شوند. صحت چنین اطلاعاتی احتمالاً به نحو قابل ملاحظه‌ای متفاوت است. وزن‌دهی^۱ که این تفاوت را در قابلیت اعتماد منعکس می‌کند، می‌تواند در ستون مربوط در جدول علامت‌گذاری ثبت شود. در این جدول:

- بدون علامت: اطلاعاتی هستند که قابل اعتماد نبوده و نباید استفاده شوند.

- یک علامت: اطلاعات قابل اعتماد هستند.

- دو علامت: اطلاعات بسیار قابل اعتماد هستند.

در جایی که اطلاعات از چندین منبع برای یک واقعه تاریخی جمع‌آوری شده باشد، ارزش صحت اطلاعات ثبت شده باید به منبعی مربوط شود که بیش‌تر از همه قابل اعتماد بوده است.

بخش دوم بازنگری منحنی تحلیل فراوانی سیلاب را به‌وسیله ترسیم بزرگ‌ترین سیلاب‌ها که برگرفته از آمار تاریخی و اندازه‌گیری شده است، شرح می‌دهد. برای انعکاس تفاوت کامل بودن و صحت اطلاعات تاریخی ثبت شده هنگام روش ارزیابی،

استفاده از نمادهای مختلف «وزن بصری» پیشنهاد می‌شود. این طرح در زیر ارائه شده است، اما می‌تواند بسته به نرم‌افزار ترسیمی مورد استفاده، تغییر کند.

جدول پ.۱-۲- جعبه طرح نمادها

تکمیل اطلاعات بزرگی ابعاد سیلاب	وزن‌دهی صحت اطلاعات		
	خیلی قابل اعتماد ($\sqrt{\vee}$)	قابل اعتماد (\vee)	غیر قابل اعتماد
۱- رده‌بندی امکان‌پذیر است، اما هیچ اطلاعاتی از تراز اوج سیلاب یا جریان در دسترس نیست. جریان حدس زده می‌شود.	▲	Δ	
۲- رده‌بندی امکان‌پذیر است و تراز اوج سیلاب موجود می‌باشد. جریان براساس تراز برآورد می‌شود.	▲	Δ	
۳- رده‌بندی امکان‌پذیر است. برآورد جریان اوج سیلاب امکان‌پذیر است.	▲	Δ	

پ.۱-۶- منحنی‌های تراز-آبدهی جریان

بیش‌تر جریان‌های رودخانه از اندازه‌گیری‌های تراز آب تخمین زده می‌شوند. ارتباط میان تراز آب و جریان به‌وسیله منحنی تراز-آبدهی تعیین می‌شود که این ارتباط ممکن است به طور قابل ملاحظه‌ای در طول زمان تغییر کند. این تغییر می‌تواند به صورت نامنظم در رودخانه‌های آبرفتی روی دهد و یا به‌صورت کلی، در مقیاس زمان بسیار طولانی به وقوع پیوندد. در چندین تحقیق در مورد دیرینه سیلاب^۱، اندازه‌گیری‌های سطح-شیب یا آزمایش مدل ممکن است برای گسترش منحنی تراز-آبدهی و به‌دست آوردن برآوردهای منطقی اوج جریان استفاده شوند. این روش‌ها را می‌توان به‌نحو مشابهی برای تبدیل ترازهای سیلاب‌های تاریخی به جریان‌ها مورد استفاده قرار داد. در این چارچوب مساله پایداری محل از دیدگاه زمین‌شناسی و تغییرات ممکن در هندسه کانال، باید مورد بررسی قرار گیرد. در مطالعات سیلاب، تعیین حداکثر جریان و محدوده خطای مربوط به سیلاب تاریخی مهم تلقی می‌شود. عدم قطعیت‌ها در محاسبه اوج جریان برای سیلاب‌های تاریخی ممکن است بسیار زیاد باشد. به علت این‌که با تغییر واحد در دقت برآوردها مبالغه می‌شود، مطلوب است که برآوردها در واحدهای اصلی خود حفظ شوند. برای مثال یک سیلاب تاریخی در انگلستان با برآورد $50000 \text{ Ft}^3 \text{S}^{-1}$ ذکر می‌شود نه 1416 مترمکعب بر ثانیه.

پ.۱-۷- سانسور داده‌ها (حذف کردن)

نشانه‌های سیلاب‌های تاریخی معمولاً روی دیوارها، پل‌ها یا روی سنگ‌های یادبود سیلاب یافت می‌شوند. این نشانه‌ها تراز سیلاب‌هایی را نشان می‌دهند که از حد معینی طی یک دوره تاریخی خاص فراتر رفته‌اند. تراز سیلاب‌هایی که در بالای آستانه قرار

بگیرند مشخص می‌شوند. نمونه‌هایی که این ماهیت را داشته باشند، تحت عنوان نمونه‌های سانسور شده یا حذفی شناخته می‌شوند و آستانه نقطه حذف نامیده می‌شوند. مورد با اهمیت دیگر شرایطی است که هم زمان وقوع و هم ابعاد بزرگی سیلاب‌های بالای آستانه معلوم باشد.

سانسور داده‌ها هر دو مورد فوق را حذف می‌کند. بعضی اوقات، برای مثال جایی که هیچ آمار اندازه‌گیری شده وجود ندارد، تحلیل‌گر فقط به وقایع بزرگ‌تر از آستانه توجه دارد. هنگام تحلیل سری‌های تاریخی حذف شده همراه با آمار اندازه‌گیری شده باید به یاد داشت که سری‌های اندازه‌گیری شده گاهی اوقات شامل مقادیری هستند که بالای آستانه‌ای اند که سری‌های سیلاب تاریخی را مشخص می‌کند.

پ.۱-۸- روندها

اطلاعات تاریخی و دیرینه‌ای ممکن است مربوط به زمان‌های بسیار گذشته بوده و احتمال دارد توزیع فراوانی در دوره‌ی میانی تغییر کرده باشد. در برخی کاربردهای زیست‌محیطی، این مساله می‌تواند مانع از استفاده از اطلاعات مربوط به وقایع بیش از ۱۰۰ یا ۲۰۰ سال گذشته شود.

دو محقق چینی خاطر نشان می‌کنند که در چین دوره‌های متناوبی وجود دارد که سیلاب‌هایی با فراوانی کم (برای مثال قرن شانزدهم) و فراوانی زیاد (برای مثال قرن هفدهم) مشاهده شده است. آنها همچنین گزارش می‌دهند که در برخی مناطق، پدیده‌ای وجود دارد که وقایع سیلاب حدی به صورت خوشه‌ای مشاهده شده است. آنها عمدتاً این مشخصه‌ها را به تغییر طبیعی اقلیم نسبت می‌دهند.

معمولاً تصور می‌شود که فرآیند ایجاد سیلاب ایستا است. یعنی این که ریسک سیلاب محتمل ضرورتاً در هر سال یا دهه مشابه است. در حقیقت، رفتار سیلاب یک رودخانه با شبکه‌ای از فرآیندها مشخص می‌شوند که بر یکدیگر اثر متقابل و هم‌افزایی دارند. فرآیندهای اقلیمی که موجب بارش‌های شدید برف شده و رطوبت اولیه خاک را در حوضه تعیین می‌کنند، مثال خوبی برای مورد اخیر هستند.

در حوضه آبریز رودخانه راین می‌توان سه دوره تقریباً ۳۰۰ ساله را تشخیص داد که هر کدام از این دوره‌ها تحت‌الشعاع یک نوع اقلیم خاص بودند. وقایع آب و هوایی حدی، تغییرات زیاد سالیانه و دهه‌ای را نشان می‌دهند. تغییر وسیع شرایط آب و هوایی، کمی کردن اثر تغییر کاربری اراضی روی تراز سیلاب‌ها را به وسیله تحلیل سری‌های زمانی مشکل می‌سازد. بنابراین، برای تشخیص و کمی کردن اثرهای تغییر کاربری اراضی بر سیلاب‌ها در حوضه‌های رودخانه‌های بزرگ، باید مدل‌های مختلط هیدرولوژیکی-هیدرودینامیکی به کار برده شود.

پ.۱-۹- جهت‌گیری غیر عمداً

این خطر وجود دارد که جستجو سیلاب‌های تاریخی به صورت جهت‌دار صورت گیرد. برای مثال سیلاب‌های مربوط به شهرهای واقع در دشت‌ها بیش‌تر مطرح شوند. به همین ترتیب قرار دادن مکان‌هایی که در آنجا آمار سیلاب قبل از آمار جدید وجود دارد،

می‌تواند موجب جهت‌دار شدن تحلیل شود، مگر این که در تحلیل، ایستگاه‌هایی به حساب آیند که هیچ سیلاب مشابه‌ای در آنها رخ نداده باشد.

پ.۱-۱۰- کاربرد سیلاب‌های تاریخی در مطالعات ریسک سیلاب

در نظر گرفتن اطلاعات سیلاب‌های تاریخی در هر مطالعه عمده ریسک سیلاب، منطبق با دوراندیشی است، مگر این که رژیم طبیعی سیلاب به واسطه فعالیت‌های اخیر انسان‌ها به‌نحو قابل ملاحظه‌ای تحت‌الشعاع قرار گرفته باشد. کاربرد این روش بسیار عاقلانه است، اگر (i) احتمال دست‌بالا بودن و دست‌پایین بودن سیلاب طراحی قابل ملاحظه باشد، (ii) عدم قطعیتی درباره نادر بودن یک سیلاب خسارت‌بار اخیر وجود داشته باشد و (iii) جوامع مجاور رودخانه احتمالاً از لحاظ تاریخ سیلاب غنی باشند. در نظر گرفتن اطلاعات تاریخی در ارزیابی سازه‌ها و تسهیلاتی که تهدیدی برای ایمنی عمومی در یک سیلاب حدی ایجاد می‌کنند، کاملاً عاقلانه است. مثال‌ها شامل مخازن سدها و سازه‌هایی هستند که تخریب آنها عواقب فاجعه‌باری به دنبال دارد.

جایی که خطرها، بالقوه شدید هستند، مثل موارد سدهای خاص و تاسیسات هسته‌ای- هیدرولوژی، دیرینه‌سیلاب باید در مطالعات تحلیل ریسک به کار گرفته شود. در مطالعات دیرینه سیلاب، ابتدا لایه‌های رسوبات ته‌نشین شده در غارها و حفره‌های هم‌تراز با تراز سیلاب‌های نادر تحلیل شده و دوره بازگشت هر لایه برآورد می‌شود. سپس با محاسبات هیدرولیکی، میزان جریان آن سیلاب تاریخی تعیین می‌شود.

بزرگ‌ترین سیلاب‌های تاریخی شامل اطلاعاتی هستند که بیش‌ترین ارتباط را با برآورد فراوانی وقایع نادر داشته و ممکن است بر تراز آستانه انتخاب شده تاثیر بگذارند. به منظور تامین دقت در برآورد سیلاب‌های طراحی برای پروژه سد عظیم سه‌دره در چین، فقط سیلاب‌های تاریخی سال‌های ۱۸۷۰، ۱۸۶۰ و ۱۷۸۸ در تحلیل‌های فراوانی استفاده شدند. سیلاب‌های تاریخی سال‌های دیگر فقط به‌عنوان شواهد غیرمستقیم (جانبی) مورد استفاده قرار گرفتند (یعنی تایید رتبه‌بندی).

مثال‌های قرن بیستم نشان می‌دهند که خاطرات سیلاب‌های بزرگ (حافظه‌ی تاریخی) می‌تواند به‌طور تعجب‌آوری عمر کوتاهی داشته باشد، حتی در جوامع معروف این مساله ممکن است نتیجه قابلیت جابجایی قابل ملاحظه جوامع در دهه‌های اخیر باشد.

پ.۱-۱۱- برخورد با داده‌های پرت^۱

نحوه لحاظ‌نمودن وقوع یک یا دو سیلاب بسیار بزرگ‌تر از دیگر سیلاب‌های معروف به سیلاب‌های پرت، یک مشکل کلاسیک محسوب می‌شود. اگر فرمول موقعیت ترسیمی برای چنین اطلاعاتی، طول آمار سیستماتیک را به کار می‌گیرد، سیلاب‌های پرت ممکن است به‌طور نامعقول با احتمالات بالا تعیین شوند. از طرف دیگر، حذف آنها ممکن است منجر به احتمالات کم نادرست برای وقایع نادر شود.

در یک مطالعه‌ی ریسک سیلاب وقایع حدی مهم‌ترین وقایع محسوب می‌شوند. در جایی که سیلاب‌های پرت در یک آمار سیستماتیک رخ می‌دهند، اطلاعات تاریخی در ارائه دیدگاه بلندمدت می‌توانند بی‌ارزش باشند. اما اگر سیلاب‌های پرت به‌جای آمار سیستماتیک در اطلاعات سیلاب‌های تاریخی - دیرینه‌ای مشخص شوند، چه اقدامی قرار است انجام شود؟

بسیاری از کارشناسان به تحلیل‌گرانی که بدون اثبات اشتباه بودن اطلاعات، سیلاب‌های پرت را از آمار سیستماتیک حذف کرده‌اند، انتقاد دارند. یک روشی که انعطاف‌پذیری کم‌تری دارد، ممکن است در جایی که سیلاب‌های پرت به‌جای آمار سیستماتیک در آمار سیلاب‌های تاریخی - دیرینه‌ای ظاهر می‌شوند، قابل توجیه باشد. عدم اطمینان در صحت مقادیری که بسیار دور از انتظار هستند می‌تواند با کاهش وزن داده‌شده به اطلاعات تاریخی هنگام ورود در برآورد تحلیل فراوانی سیلاب، منعکس شود. به عبارت دیگر کاهش وزن تمامی اطلاعات تاریخی یا فقط استفاده از بخش سری‌های تاریخی جدیدتر و قابل اعتمادتر، منطقی است. اما هرگز رد یک آمار خاص به‌سادگی منطقی نیست.

پ. ۱-۱۲ - بحث و نتیجه‌گیری

لحاظ نمودن اطلاعات سیلاب‌های تاریخی در مدل‌های برآورد سیلاب ممکن است رعب‌آور به‌نظر برسد. یک ارزیابی بسیار دقیق از آمار تاریخی مرتب شده توصیه می‌شود. ارزیابی کامل بودن اطلاعات استفاده شده به‌خصوص برای برآورد جریان اوج و صحت آمار، کلیدی است. برای تعیین صحت اطلاعات تاریخی اصول «تحلیل منابع» بسط یافته توسط تاریخ‌نویسان در اوایل قرن نوزدهم، مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش جدول علامت‌گذاری برای حمایت از روش بسیار دقیق و تعیین وقایع تاریخی پیشنهاد می‌شود. با اتخاذ یک طرح نمادین، وزن بصری بیش‌تری می‌توان به سیلاب‌های مناسب هنگام استفاده از آمار تاریخی در یک بازنگری نموداری منحنی فراوانی سیلاب داد.

پیوست ۲

سامانه ارت

پ.۲-۱- کلیات

سامانه ارت یکی از اجزای لازم برای حفاظت ایستگاه‌های هواشناسی محسوب می‌شود. به منظور حفاظت افراد و دستگاه‌ها، اضافه ولتاژهای تولید شده در بدنه و همچنین ولتاژهای بسیار خطرناک ناشی از برخورد صاعقه با دکل‌ها باید در جایی خنثی شود. به همین منظور استفاده از سامانه ارت و حفاظت از تجهیزات بسیار لازم و ضروری است. به علاوه با افزایش استفاده از سامانه‌های دیجیتالی و حساس، لزوم بازنگری در طراحی، نصب و نگهداری سامانه‌های حفاظتی گراندینگ وجود دارد. به طور خلاصه اهداف به کارگیری سامانه ارتینگ یا گراندینگ عبارتند از:

- حفاظت و ایمنی جان انسان
- حفاظت، ایمنی وسایل و تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی
- فراهم آوردن شرایط ایده‌آل جهت کار
- جلوگیری از ولتاژ تماسی
- حذف ولتاژ اضافی
- جلوگیری از ولتاژهای ناخواسته و صاعقه
- اطمینان از قابلیت کار الکتریکی

پ.۲-۲- روش‌های اجرای ارت یا زمین حفاظتی

به طور کلی جهت اجرای ارت و سامانه حفاظتی دو روش کلی وجود دارد:

- زمین عمقی: در این روش که یک روش معمول است، از چاه برای اجرای ارت استفاده می‌شود.
- زمین سطحی: در این روش سامانه‌ی ارت در سطح زمین (برای مناطقی که امکان حفاری عمیق در آنها وجود ندارد) و یا در عمق حدود ۸۰ سانتی‌متر اجرا می‌گردد.

پ.۲-۲-۱- اجرای ارت به روش عمقی

الف- انتخاب محل چاه ارت

چاه ارت را یا باید در جاهایی که پایین‌ترین سطح را داشته و احتمال دسترسی به رطوبت در کم‌ترین عمق وجود دارد و یا در نقاطی مانند زمین‌های چمن، باغچه‌ها و فضاهای سبز حفر نمود.

ب- عمق چاه

با توجه به مقاومت مخصوص زمین، عمق چاه از حداقل ۴ متر تا ۸ متر و قطر آن حدوداً ۸۰ سانتی‌متر می‌تواند باشد. در زمین‌هایی که با توجه به نوع خاک دارای مقاومت مخصوص کم‌تری هستند، مانند خاک‌های کشاورزی و رسی عمق مورد نیاز برای حفاری کم‌تر بوده و در زمین‌های شنی و سنگلاخی که دارای مقاومت مخصوص بالاتری هستند نیاز به حفر چاه عمیق‌تر است. برای

اندازه‌گیری مقاومت مخصوص خاک از دستگاه‌های خاص استفاده می‌گردد. در صورتی که تا عمق ۴ متر به رطوبت نرسید و احتمال داشته باشد در عمق بیش‌تر از ۶ متر هم رطوبت نباشد، نیازی نیست چاه بیش‌تر از ۶ متر حفر شود. به‌طور کلی عمق ۶ متر و قطر حدود ۸۰ سانتی‌متر برای حفر چاه پیشنهاد می‌گردد. در ایستگاه‌های هواشناسی، به‌صورت کلی مقاومت هدف در سامانه ارت حدود ۵ اهم است. محدوده‌ی مقاومت مخصوص چند نوع خاک در جدول (پ.۲-۱) ارائه شده است. همان‌طوری که در جدول مشاهده می‌شود، تامین مقاومت مطلوب در مناطق کوهستانی با صعوبت بسیار بیش‌تری صورت می‌گیرد. در این رابطه باید اشاره نمود که در بیش‌تر موارد مهم‌ترین ایستگاه‌های سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب در مناطق کوهستانی احداث می‌گردد.

جدول پ.۲-۱- محدوده‌ی مقاومت مخصوص چند نوع خاک

مقاومت مخصوص زمین (اهم‌متر)	نوع خاک
۵ الی ۵۰	باغچه‌ای
۵ الی ۸	رسی
۲۵ الی ۴۰	مخلوط رسی، ماسه‌ای و شنی
۶۰ الی ۱۰۰	شن و ماسه
۲۰۰ الی ۱۰۰۰	سنگلاخی و سنگی

پ.۲-۲-۲-۲- اجرای ارت به روش سطحی

هفت روش برای اجرا به روش سطحی وجود دارد که عبارتند از:

- ۱- میله‌ای^۱
- ۲- حلقه‌ای^۲
- ۳- پنجه‌ای (شعاعی)
- ۴- مختلط
- ۵- حلزونی
- ۶- الکتروشیمیایی
- ۷- شبکه‌ای

نکته: در مناطق سردسیر عمق کانال حفاری شده و به‌طور کلی مسیر عبور کابل مسی خیلی مهم است و نباید در معرض یخبندان قرار گیرد. تاثیر کاهش درجه حرارت بر افزایش مقاومت سامانه زمین به شرح زیر است:

جدول پ.۲-۲-۲- تاثیر کاهش درجه حرارت بر افزایش مقاومت سامانه زمین

مقاومت بر حسب اهم بر متر	دما بر حسب درجه سانتی‌گراد	ردیف
۷۲	۲۰	۱
۹۹	۱۰	۲
۱۳۸	۰	۳
۷۹۰	-۵	۴

پ.۲-۲-۳- سایر روش‌ها

روش‌های دیگر در مناطق کوهستانی، سنگلاخی و مکان‌های خاص کاربرد دارند که بنا به مورد با بازدید از محل و اندازه‌گیری‌های لازم می‌تواند طرح مناسب تهیه گردد.

پ.۲-۲-۴- اجرای ارت در ارتفاعات

ارتفاعات کشور را با توجه به نوع زمین و خاک می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

- ۱- ارتفاعات خاکی که امکان حفاری و کوبیدن میله مغز فولادی در آنها وجود دارد.
- ۲- ارتفاعات سنگلاخی که امکان حفاری عمیق در آنها وجود ندارد، ولی می‌توان شیار ایجاد کرد.
- ۳- ارتفاعات صخره‌ای

برای حالت اول: به یکی از روش‌های حفر چاه یا کوبیدن میله می‌توان سامانه‌ی ارت را اجرا نمود.

در حالت دوم: شیارهایی به صورت ستاره و پنجه‌ای ایجاد نموده و تسمه مسی را در داخل شیارها خوابانده و برای کاهش مقاومت، روی تسمه را با مخلوط خاک و بنتونیت می‌پوشانند.

نکته: کلیه اتصالات در زیر خاک باید به یکدیگر جوش داده شوند.

پیوست ۳

روش مقایسه دو دویی برای وزن دهی
معیارها (AHP)

پ.۳-۱- کلیات

برای ارزیابی ایده‌ها و گزینه‌ها برای اطمینان از کارایی و امکان‌پذیری فنی پروژه از یک‌سری معیارهای مهم استفاده می‌گردد. این معیارها شامل مقاومت، کارایی، عملکرد، ایمنی، سهولت نگهداری و غیره هستند که با توجه به شرایط خاص هر پروژه، نیاز کارفرما، کاربرد، نظر کارشناسان و متخصصان و غیره قابل اضافه یا اصلاح هستند.

اما نکته مهم در این‌جا استفاده از ابزاری مناسب برای وزن‌دهی به معیارهای کیفی فوق است. به‌عنوان مثال برای قیاس مناسب بین گزینه‌های مختلفی که در کارگاه به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شده است از لحاظ رضایت کاربر چه روشی می‌تواند مفید واقع شود. به عبارت دیگر کمی‌کردن معیارهای کیفی با چه وسیله‌ای امکان‌پذیر است. برای تعیین اولویت و اهمیت معیارها از روش مقایسه دودویی (AHP) به شرح زیر استفاده می‌گردد:

ابتدا به هر عضو تیم یک فرم خالی داده می‌شود. سپس معیارها در قسمت‌های مشخص شده (رنگ آبی) نوشته می‌شود. باید در نظر داشت تمامی افراد با یک ترتیب یکسان این معیارها را در فرم خود یادداشت نمایند. اکنون هر فرد با توجه به نظر شخصی خود اقدام به پر کردن فرم می‌نماید. به این ترتیب که گزینه A را با گزینه B مقایسه کرده و از مقدار ۱۰ به تناسب اهمیت اعدادی به آن دو معیار می‌دهد. به عنوان مثال ممکن است به A عدد ۲ و به B به نسبت A عدد ۸ را بدهید، ولی جمع این دو عدد باید مقدار ۱۰ گردد. این امتیازدهی به این معنی است که برای این فرد معیار B بسیار مهم‌تر از معیار A بوده است. پس از آن که تمامی معیارها دو به دو مقایسه شدند و جدول کامل گشت، نوبت محاسبه می‌رسد. تمام مقادیر مربوط به معیار A را با هم جمع نموده و در سمت راست، در مقابل A و زیر SUM نوشته می‌شود. همین‌طور این کار را برای تمام معیارها انجام می‌گیرند. تنها تمامی اعداد معیار A هستند که در یک سطر قرار دارند و اعداد مربوط به معیار آخر کاملاً در ستون آخر قرار می‌گیرند. اعداد مربوط به مابقی معیارها هم در ستون و هم در سطر هستند، پس باید مراقب بود و آنها را نیز به حساب آورد. در انتها مجموع کل را محاسبه کرده و نسبت مجموع هر یک از معیارها را به مجموع کل بر حسب درصد در جلوی آن نوشته می‌شود.

به‌عنوان نمونه یک جدول که با ۵ معیار تکمیل خواهد شد، در ادامه ارائه می‌شود:

جدول پ.۳-۱- جدول AHP

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	SUM %
A	A: A: B: B:	A: A: D: D:	A: A: C: C:	A: A: D: D:	A: A: E: E:	A: A: F: F:	A: A: G: G:	A: A: H: H:	A: A: I: I:	A: A: J: J:	A: A: K: K:	A: A: L: L:	A: A: M: M:	
B	B: B:	B: B: D: D:	B: B: C: C:	B: B: D: D:	B: B: E: E:	B: B: F: F:	B: B: G: G:	B: B: H: H:	B: B: I: I:	B: B: J: J:	B: B: K: K:	B: B: L: L:	B: B: M: M:	
C	C: C:	C: C: D: D:	C: C: D: D:	C: C: E: E:	C: C: F: F:	C: C: G: G:	C: C: H: H:	C: C: I: I:	C: C: J: J:	C: C: K: K:	C: C: L: L:	C: C: M: M:		
D	D: D:	D: D: E: E:	D: D: F: F:	D: D: G: G:	D: D: H: H:	D: D: I: I:	D: D: J: J:	D: D: K: K:	D: D: L: L:	D: D: M: M:				
E	E: E:	E: E: F: F:	E: E: G: G:	E: E: H: H:	E: E: I: I:	E: E: J: J:	E: E: K: K:	E: E: L: L:	E: E: M: M:					
F	F: F:	F: F: G: G:	F: F: H: H:	F: F: I: I:	F: F: J: J:	F: F: K: K:	F: F: L: L:	F: F: M: M:						
G	G: G:	G: G: H: H:	G: G: I: I:	G: G: J: J:	G: G: K: K:	G: G: L: L:	G: G: M: M:							
H	H: H:	H: H: I: I:	H: H: J: J:	H: H: K: K:	H: H: L: L:	H: H: M: M:								
I	I: I:	I: I: J: J:	I: I: K: K:	I: I: L: L:	I: I: M: M:									
J	J: J:	J: J: K: K:	J: J: L: L:	J: J: M: M:										
K	K: K:	K: K: L: L:	K: K: M: M:											
Total:														

A	B: 3
B	A: 7

مقال: مثال

جمع امتیازات هر مقایسه = ۱۰

معیارهای در نظر گرفته شده برای یک خودرو عبارتند از:

A - سرعت

B - مصرف سوخت

C - شتاب

D - قیمت

E - ایمنی

حال این معیارها سر جای خود نوشته می شوند:

	B	C	D	E	F
B	سرعت				
C	مصرف سوخت				
D	شتاب				
E	قیمت				
F	ایمنی				

سپس براساس نظر شخصی فرد این فرم پر می شود. به عنوان مثال سرعت و مصرف سوخت با هم مقایسه می شود و از نظر این

فرد مصرف سوخت ۸ امتیاز در مقابل سرعت می گیرد. پس فرم را این گونه پر می کند:

	B	C	D	E	F
B	سرعت 2 8				
C	مصرف سوخت				
D	شتاب				
E	قیمت				
F	ایمنی				

سپس نوبت به مقایسه سرعت و شتاب می رسد که با فرض انتخاب امتیاز ۷ برای شتاب جدول به صورت زیر پر می شود:

	B	C	D	E	F
B	سرعت 2 8	3 7			
C	مصرف سوخت				
D	شتاب				
E	قیمت				
F	ایمنی				

اکنون مجموع کل محاسبه می‌شود. در این جا مجموع کل ۱۰۰ می‌گردد. برای حصول اطمینان از محاسبات می‌توان از فرمول زیر استفاده نمود:

$$\text{Sum} = n(n-1) \times 5 \quad (\text{پ.۳-۱})$$

n تعداد معیارها است که با استفاده از این فرمول برای ۵ معیار مجموع کل برابر ۱۰۰ می‌گردد.

هم‌اکنون باید نسبت هر یک از مجموع معیارها را به مجموع کل برحسب درصد به دست آورد. به عنوان مثال درصد معیار اول (سرعت) برابر ۶ درصد می‌شود:

$$\frac{6}{100} \times 100 = 6\%$$

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	SUM	%
A	سرعت 2 8	3 7	1 9	0 10									6	6.00%
B		بهره سرعت 9 1	5 5	1 9									23	23.00%
C			کتاب 2 8	0 10									10	10.00%
D				قیمت 3 7									25	25.00%
E					ایسی								36	36.00%
F													0	0.00%
G													0	0.00%
H													0	0.00%
I													0	0.00%
J													0	0.00%
K													0	0.00%
L													0	0.00%
M													0	0.00%
Total:													100	

مثال:

B
B: 3
A: 7

جهت یادگیری بهتر روش مقایسه‌ی دودویی پیشنهاد می‌گردد ابتدا فرم ارائه شده در این پیوست را چاپ کرده و مثال مورد ذکر را در آن انجام دهید.

پیوست ۴

کاربرد GIS در مدل سازی

هیدرولوژیکی و هیدرولیکی

پ.۴-۱- کلیات

بسیاری از اطلاعات و آمار به تنهایی فاقد معنی بوده و در کنار یکدیگر معنا می‌شوند. لذا با توجه به ضرورت تجزیه اطلاعات به صورت به هم پیوسته، در گذشته نیز ایده استفاده یکپارچه اطلاعات در قالب بانک‌های اطلاعاتی مورد استفاده تحلیل‌گران و مهندسان قرار گرفته بود. اما ناتوانی ذهن برای تحلیل اعداد نامتجانس، موجب پیچیدگی زیاد تحلیل‌های فوق می‌شدند. لذا نمودارها و رنگ‌ها به کمک تحلیل‌گران آمده و اعداد را در کنار یکدیگر معنی نمودند. اما این نیز کافی نبود و در مقابل حجم بالای اطلاعات غیرهم‌جنس و دارای مرجع متفاوت باز هم تحلیل‌گران امکان مقایسه و تحلیل توامان این داده‌ها را نداشتند.

اما آنچه امروز تحت عنوان سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) به کار می‌رود، مجموعه‌ای از اطلاعات با مرجع واحد نقشه‌های جغرافیایی است که به شکل رنگ و حجم بر روی آن سوار شده و به سادگی می‌توان نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها را در آن وارد نموده و تحلیل نمود. در واقع GIS نوعی بانک اطلاعاتی نیرومند با مرجع واحد موقعیت جغرافیایی است که داده‌های خود را به شکل گرافیکی نمایش داده و کاربر قادر است لایه لایه این اطلاعات را تحلیل و کوچک‌ترین تغییرات را در مقیاس‌های مختلف تحلیل نماید. در GIS مشکل نداشتن مرجع واحد، عدم تجانس اطلاعات، گویا نبودن اعداد و عدم تناسب مقیاس‌ها همگی از بین رفته و لذا کاربر می‌تواند نتایج مدل را به سادگی تحلیل نماید.

توسعه و تکامل بسیار سریع فن‌آوری رایانه‌ای در بخش‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در دهه‌های اخیر، امکان‌ات و تسهیلات فنی بسیار زیادی در رابطه با پردازش هندسی و گرافیکی داده‌های مرتبط با زمین و همچنین سازماندهی، مدیریت و به‌کارگیری اطلاعات موضوعی را به طور مجزا از هم فراهم ساخته است. تشخیص ضرورت در اختیارداشتن و به‌کارگیری تسهیلات فوق به‌طور یکپارچه و توامان در رابطه با داده‌های زمینی، منجر به طراحی و ایجاد سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی گردید. ایجاد و به‌کارگیری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی منجر به بروز تغییرات و جهش‌های عظیمی در بسیاری از زمینه‌ها نظیر محیط زیست، آمایش سرزمین و جنگل‌داری شد.

پ.۴-۲- مبانی سامانه‌ی اطلاعاتی جغرافیایی (GIS)^۱

سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی یک سامانه‌ی رایانه‌ای متشکل از سخت‌افزار، نرم‌افزار، داده‌ها و کاربردهاست که قادر است داده‌های مکان‌دار را به‌طور رقومی کسب، نگهداری، بازیابی، مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل نموده و به‌طور متنی و گرافیکی ارائه نماید. دنیای حقیقی از طریق معرفی پدیده‌های آن در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی مدل‌سازی می‌شود. یک پدیده می‌تواند یک واحد اولیه و جزیی و یا آن که خود یک مجموعه باشد. معرفی پدیده‌ها می‌تواند از طریق تشریح موقعیت و محدوده مکانی^۲ و همچنین توصیف ویژگی^۳ آنها به صورت یکپارچه و توامان صورت گیرد.

تکامل GIS نشان داده است که ارتباط مستقیمی بین چگونگی نمایش و پردازش داده‌ها وجود دارد. از این رو می‌توان سه نوع داده در GIS تفکیک نمود:

- 1- Geographic Information System
- 2- Geometry
- 3- Global

داده‌های هندسی: موقعیت و شکل پدیده‌ها از طریق داده‌های هندسی و در یک سامانه‌ی مختصات معین تشریح می‌شوند. دو ساختار یا مدل داده برای ارائه‌ی داده‌های هندسی وجود دارند، ساختار برداری^۱ و ساختار رستری^۲.

ساختار برداری: در این ساختار موقعیت هر نقطه به‌طور دقیق با یک جفت مختصات (x,y) در یک سامانه‌ی مختصات معین ارائه می‌گردد. به دلیل دقت هندسی بسیار بالای ساختار برداری در ارائه‌ی موقعیت پدیده‌ها، این ساختار برای تشریح موقعیت مکانی پدیده‌های نقطه‌ای و خطی و همچنین نقشه‌های بزرگ مقیاس (۱:۱۰۰۰ - ۱:۱۰۰) بسیار مناسب است. داده‌های هندسی برداری عمدتاً از طریق رقومی‌گر، برداشت‌های نقشه‌برداری و GPS^۳ کسب می‌شوند.

ساختار رستری: روش تشریح و ارائه‌ی موقعیت مکانی پدیده‌ها یا ساختار رستری جدیدتر از روش برداری بوده و براساس سطح (به‌جای نقطه) استوار است. کوچک‌ترین قسمت پایه هندسی در این ساختار سلول است که معمولاً به شکل مربع و به‌صورت ستون و ردیف‌هایی در یک ماتریس همسان ارائه می‌گردد. بین سلول‌های یک داده رستری هیچ‌گونه ارتباط منطقی‌ای وجود ندارد. هر سلول تنها می‌تواند دارای یک ارزش باشد که نمایانگر یک ویژگی نظیر ارتفاع، نوع خاک و پوشش گیاهی خواهد بود. ساختار رستری عمدتاً برای ارائه‌ی نقشه‌هایی در مقیاس‌های کوچک‌تر از ۱:۱۰۰۰۰ به کار می‌رود. کسب داده‌های رستری با استفاده از اسکنر صورت می‌گیرد. ساختار تصاویر ماهواره‌ای رستری است و از همین‌رو ارتباط بسیار نزدیکی با GIS دارند. زیرا که این تصاویر یا نتایج حاصل از تفسیر آنها می‌توانند مستقیماً وارد GIS شوند.

داده‌های گرافیکی: چگونگی و نحوه‌ی نمایان‌سازی پدیده‌های نقشه‌های موضوعی (داده‌های هندسی و توصیفی) بر روی سخت‌افزارهای بخش خروجی GIS توسط داده‌های تشریحی گرافیکی تعیین می‌شود.

داده‌های توصیفی: اداره و تجزیه و تحلیل توامان داده‌های هندسی و توصیفی، مشخصه‌ی بارز سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی است. داده‌های توصیفی که تشریحی و موضوعی نیز نامیده می‌شوند، تمامی اجزای غیرهندسی نظیر نام (مالک، شهر) شماره (خانه)، اندازه‌های کمی و کیفی (شوری خاک، حجم، تعداد و کیفیت درختان جنگل)، نوع (سنگ و خاک) و خلاصه هر نوع مشخصه‌ی مرتبط با کاربرد نقشه را ارائه می‌دهند.

پ.۴-۳- کاربرد GIS در مدل‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی

مدل‌سازی ریاضی از نظر هیچ‌کس ساده نیست. اما آماده‌سازی داده‌های ورودی و تحلیل نتایج خروجی توسط مدل‌های پیچیده هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به‌صورت تقریبی انجام می‌شود. امروزه ساختار مدل و پردازش نتایج به مدد پیشرفت علم رایانه در سخت‌افزار و نرم‌افزار آسان‌تر گشته است. در گذشته استخراج داده‌های ورودی یک مدل از نقشه‌ها، بسیار زمان‌بر، کم‌دقت و مشکل بود. با در دسترس قرار گرفتن رایانه‌های شخصی پر قدرت، مدل‌سازی هیدرولوژیکی و پهنه‌بندی سیلاب توسط افرادی که مدل‌ساز نیستند با سهولت بیش‌تری صورت می‌گیرد (این افراد کسانی هستند که نمی‌توانند مدل‌سازی کنند اما قابلیت تجزیه نتایج مدل را دارند مانند مدیران پروژه، برنامه‌ریزان و...). فن‌آوری GIS وسیله موثری برای پر کردن شکاف بین اطلاعات و دریافت‌کننده آن است و اطلاعات را برای دریافت‌کننده آن ملموس می‌کند.

1- Vector

2- Raster

3- Global Positioning System

فن آوری رایانه نیز به سرعت در زمینه مدل سازی سامانه های آب، فاضلاب و سیلاب در حال توسعه و پیشرفت است. به کارگیری GIS روش دقیق و قابل مدیریت برای تخمین پارامترهای ورودی مدل ها مانند شماره منحنی سیلاب است. مدل سازی با GIS علاوه بر مزایای یاد شده، قابلیت به روز شدن را داراست.

در اکثر مدل های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی دو مولفه مورد نیاز است، مدل مناسب و داده های ورودی برای مدل. اغلب به دلیل عدم تعادل بین اطلاعات و مدل، انتخاب مدل مشکل است. به عنوان مثال، یک مدل پیچیده نیاز به حجم وسیعی از اطلاعات ورودی دارد که معمولاً به دست آوردن آنها بسیار گران است، اما یک مدل ساده که اطلاعات کمی نیاز دارد، ممکن است برای حل مشکل مناسب نباشد. بنابراین مدل سازان همواره به دنبال یک ترکیب بهینه از مدل های پیچیده یا ساده و داده های در دسترس هستند. تحولات اخیر در محاسبات هیدرولیکی انتخاب مدل از بین پیچیده ترین تا ساده ترین مدل ها را ساده نموده و به لطف پیشرفت GIS، تهیه داده های ورودی با سهولت بیشتری انجام می گیرد. این پیوست نگاهی اجمالی به مجموعه GIS، مدل سازی رایانه ای و نرم افزارهای مرتبط با آنها دارد.

پ. ۴-۳-۱- روش های کاربردی

همان طور که می دانیم، ۲ نوع مدل هیدرولوژیکی وجود دارد: توده ای^۱ و توزیعی^۲. مدل های توده ای، پارامترهای ورودی منطقه مطالعاتی را در یک چندضلعی^۳ جمع می کنند و از مدل برداری GIS استفاده می نمایند. در مدل های توزیعی پارامترهای ورودی منطقه مطالعاتی در شبکه سلولی توزیع می شود و از مدل رستری GIS استفاده می کند. به کارگیری GIS در مدل های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مستلزم نقشه برداری و کار دستی دقیق است و به طور کلی سه مرحله زیر مورد نیاز است:

۱- توسعه داده های فضایی (مکانی)

۲- استخراج لایه های مدل

۳- ارتباط با مدل های رایانه ای

مدل های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی، داده های برنامه و کاربردهای GIS، در تکمیل مطالعات سیلاب نقش کلیدی دارند. مدل ها و GIS می توانند برای اهداف به اشتراک گذاری داده ها، به داده های دیگری ربط داده شوند. برای مثال اطلاعات می توانند از سایر منابع مانند برنامه ای AutoCAD استخراج گردند. به کمک نرم افزار AutoCAD نقشه ها را می توان ویرایش و اصلاح کرد و با دیگر پایگاه های داده مرتبط ساخت. فایل های اطلاعات می توانند در فرمت Dbf ذخیره و به Microsoft Access برای انجام کارهای دستی مرتبط شوند.

یک طبقه بندی کاربردی برای تشریح راه های مختلفی که GIS می تواند به مدل های رایانه ای مرتبط شود توسط شمسی در سال ۱۹۵۵ توسعه داده شد. سه روش اتصال GIS که به وسیله شمسی تعریف شد، عبارتند از:

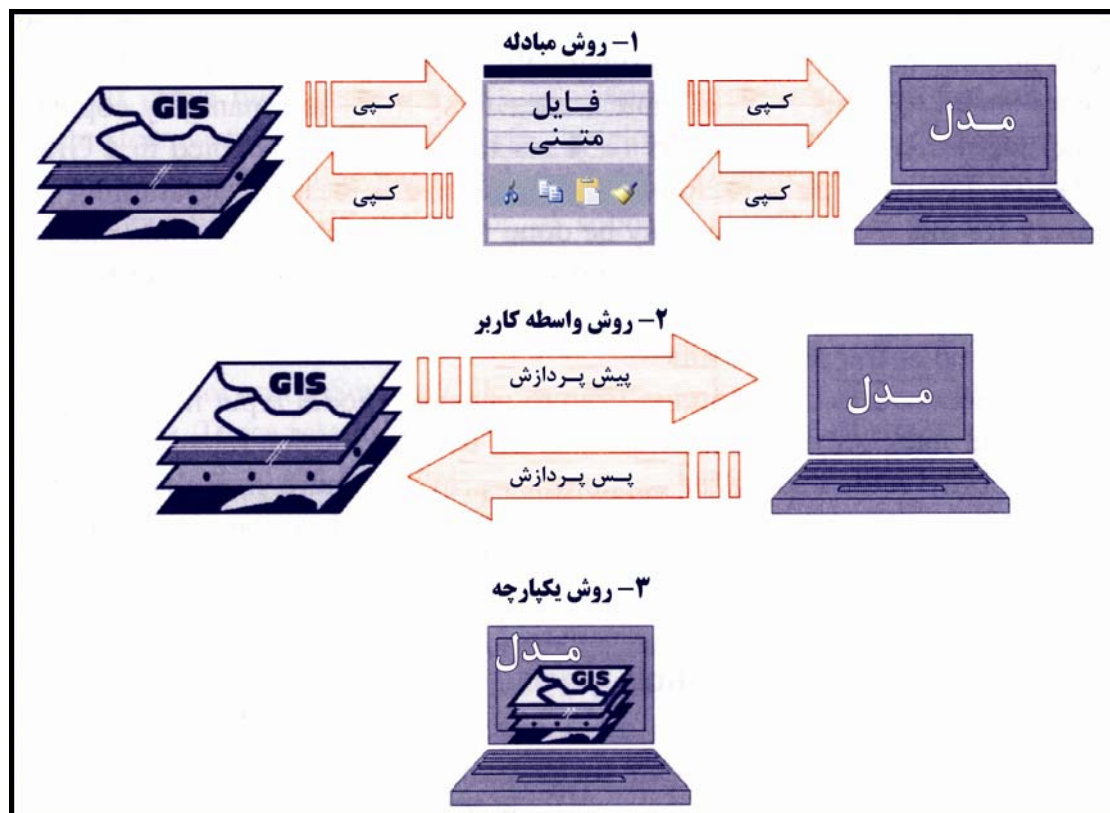
۱- روش مبادله^۴

-
- 1- Lumped
 - 2- Distributed
 - 3- Polygon
 - 4- Interchange Method

۲- روش واسطه کاربر^۱

۳- روش یکپارچه^۲

هر کدام از این سه روش در ادامه متن، با استفاده از مثال‌ها و موردهای مطالعاتی تشریح می‌شوند.



شکل پ. ۴-۱- سه روش به کارگیری GIS در مدل‌سازی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی

پ. ۴-۱-۳-۱- روش مبادله

پیش‌پردازش^۳ به انتقال داده‌ها از GIS به مدل و پس‌پردازش^۴ به انتقال داده‌ها از مدل به رایانه اطلاق می‌شود. روش مبادله یک راهکار برای انتقال داده‌ها بین GIS و مدل رایانه‌ای است. در این روش اتصال مستقیم بین GIS و مدل وجود ندارد. هر دو آنها (GIS و مدل) به‌طور مجزا و مستقل اجرا می‌شوند. پایگاه داده‌های GIS برای استخراج پارامترهای ورودی مدل پیش‌پردازش می‌شود که به‌صورت دستی در فایل ورودی مدل کپی می‌شود، به‌طور مشابه خروجی مدل به‌طور دستی در GIS به عنوان لایه جدید، برای ایجاد نقشه، کپی می‌شود. در این روش نیازی به برنامه‌نویسی نیست، اما برای اتوماتیک کردن برخی کارهای دستی نظیر تقسیم‌بندی شماره منحنی‌های سیلاب استفاده می‌شود. این راحت‌ترین روش استفاده از GIS در مدل‌های رایانه‌ای است و متداول‌ترین روشی است که در حال حاضر به کار گرفته می‌شود. در این روش GIS الزاماً برای تولید ورودی مدل و نمایش داده‌های

- 1- Interface Method
- 2- Integration Method
- 3- Pre-Process
- 4- Post-Process

خروجی مدل استفاده می‌گردد. تمام نرم‌افزارهای GIS در روش مبادله می‌توانند به کار گرفته شوند. یک GIS با قابلیت‌های رستری و برداری حق انتخاب‌های بیش‌تری در این روش به‌دست می‌دهد. مثال‌های نمونه برای روش مبادله در زیر شرح داده شده‌اند.

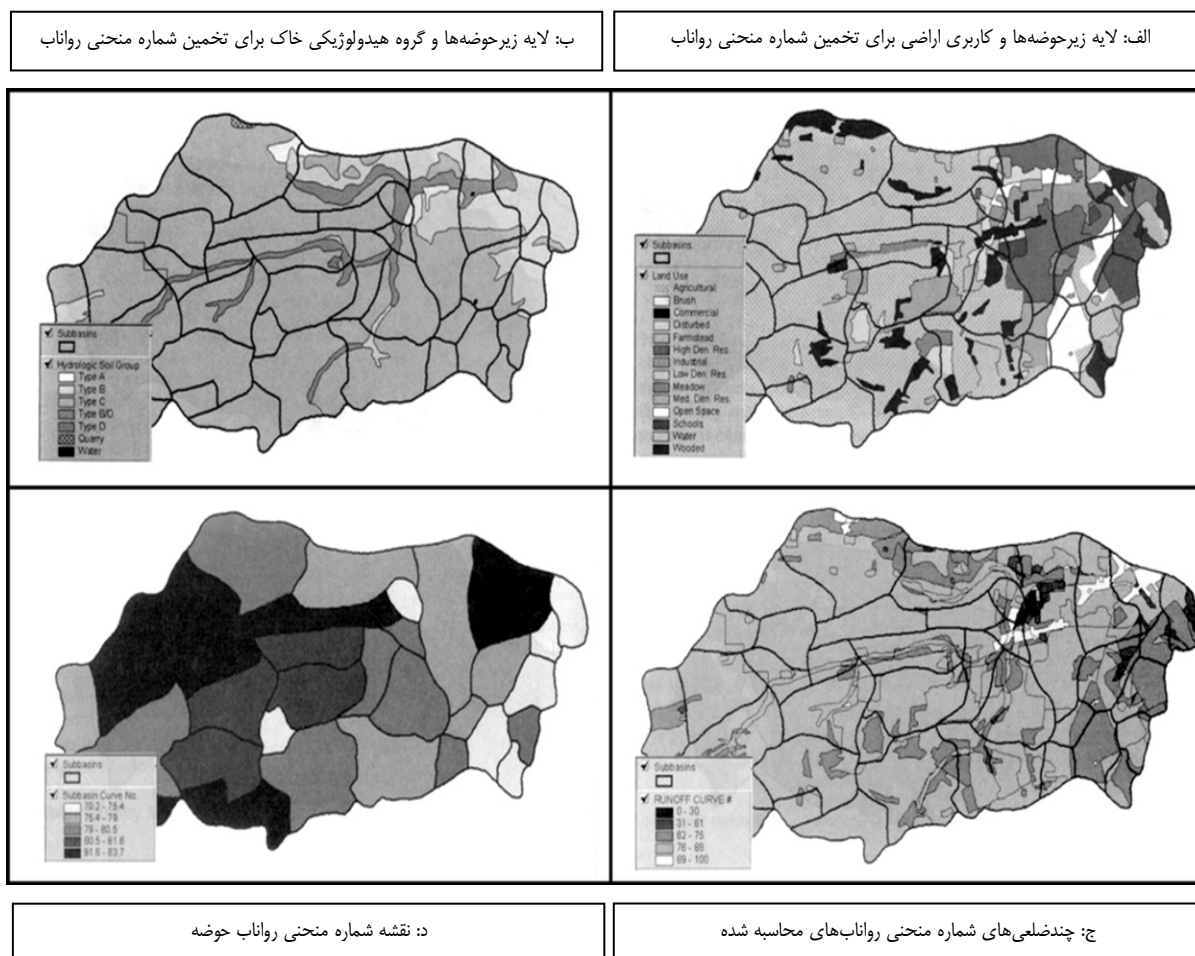
پ. ۴-۱-۳-۲- تخمین پارامترهای زیر حوضه‌ها

اکثر مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی نیاز به داده‌های ورودی برای پارامترهای زیرحوضه‌ها نظیر مساحت، پهنه‌بندی جریان سطحی و شیب دارند. اگر زیر حوضه‌ها به‌صورت چندضلعی باشند، GIS به‌طور اتوماتیک می‌تواند مساحت زیر حوضه‌ها را حساب کند. پهنه‌بندی جریان سطحی می‌تواند با به‌کارگیری ابزارهای اندازه‌گیری در دسترس در اکثر نرم‌افزارهای GIS، در طول مسیر رودخانه، در هر جهت، به‌دست آید. برای مثال برنامه‌ی Arcview 3.x یک ابزار اندازه‌گیری طول و ابزاری برای اندازه‌گیری مساحت چندضلعی‌ها در اختیار دارد. شیب زیر حوضه‌ها نیز از نقشه DEM قابل محاسبه است.

- تخمین شماره منحنی رواناب^۱

این منحنی‌ها یک سری منحنی هستند که برای تخمین رواناب حوضه به‌کار می‌روند. دقت تخمین شماره منحنی رواناب برای توفیق مدل‌سازی رواناب حیاتی است، زیرا مقدار رواناب، به مقدار شماره منحنی رواناب بسیار حساس است و با اندک تغییری در مقدار شماره منحنی، مقدار رواناب تغییر می‌کند. تخمین این پارامتر، براساس ۳ مولفه کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک و روابط شماره منحنی رواناب که توسط NRCS توسعه داده شده، صورت می‌گیرد.

به‌منظور ترسیم چندضلعی شماره منحنی رواناب، می‌بایست یک لایه برداری از برهم نهی لایه‌های زیرحوضه‌ها، خاک‌ها و کاربری‌های اراضی ایجاد شود. هر چندضلعی منته‌ج‌دارای ۳ ویژگی است: مشخصات حوضه، کاربری و گروه هیدرولوژیکی خاک. در این شرایط ماتریس کاربری اراضی- گروه هیدرولوژیکی خاک و شماره منحنی رواناب تشکیل می‌گردد و شماره منحنی رواناب هر چندضلعی، براساس کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک آن چندضلعی تخمین زده می‌شود. سپس به‌منظور تخمین متوسط شماره منحنی رواناب حوضه، برحسب مساحت هر چندضلعی، به شماره منحنی رواناب آن چندضلعی، وزن داده می‌شود و میانگین وزنی محاسبه می‌شود. روش تخمین شماره منحنی رواناب در شکل (پ. ۴-۲) نشان داده شده است. این شکل لایه‌های حوضه و کاربری اراضی، لایه حوضه و گروه هیدرولوژیکی خاک، چندضلعی‌های شماره منحنی رواناب محاسبه شده در هر زیر حوضه و متوسط شماره منحنی برای حوضه را نشان می‌دهد.



شکل پ. ۴-۲- تخمین شماره منحنی رواناب

پ. ۴-۴- روش واسطه‌کاربر

این روش ارتباط مستقیمی بین GIS و مدل برای انتقال اطلاعات ایجاد می‌کند و حداقل شامل دو مولفه زیر است:

- ۱- یک پیش‌پردازشگر که از داده‌های GIS تحلیل شده، فایل ورودی مدل را بسازد.
- ۲- یک پس‌پردازشگر که خروجی مدل را وارد GIS نموده و به صورت یک تصویر GIS نمایش دهد. پردازش فایل‌های ورودی و خروجی مدل نیاز به برنامه‌نویسی رایانه‌ای با به‌کارگیری زبان نرم‌افزاری در GIS مانند VBA و Avenue دارد.

روش واسطه‌کاربر اساساً داده‌های روش مبادله را مکانیزه می‌کند. اتوماسیون با اضافه کردن منوها و کلیدهای خاص مدل به نرم‌افزار GIS انجام می‌شود. هر چند مدل مستقل از GIS است ولی به هر حال، فایل ورودی در GIS ایجاد می‌شود. مهم‌ترین تمایز بین روش‌های مبادله و واسطه‌کاربر، ساخت خودکار فایل ورودی مدل است. در روش مبادله، کاربر بخش خاصی از یک فایل را در فایل ورودی کپی می‌کند. روش واسطه‌کاربر، این روند را به‌طور اتوماتیک انجام می‌دهد، به طوری که پیش‌پردازشگر و پس‌پردازشگر می‌تواند به‌طور اتوماتیک قسمت اختصاصی فایل را پیدا و در فایل ورودی کپی کند.

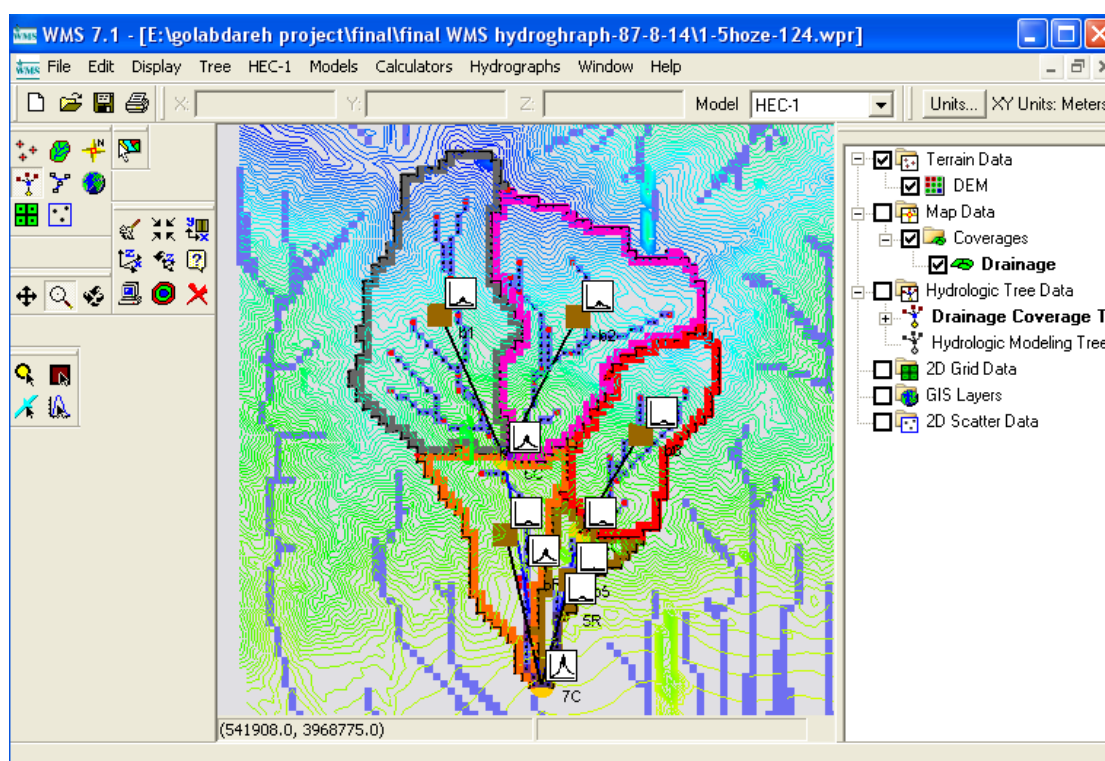
به‌طور مثال، فرض کنید می‌خواهیم یک فایل ورودی برای یک مدل هیدرولوژیکی به وسیله صدور داده‌های GIS به یک فایل متنی با فرمت ASCII بسازیم. GIS حوضه‌ی مورد نظر دارای اطلاعات زیر است:

WINDOWS شده‌اند که به ترتیب HEC-HMS و HEC-RAS نام گرفته‌اند. HEC Geo-RAS و HEC Geo-HMS به‌عنوان ابزارهایی برای به‌کارگیری داده‌های هیدرولوژی آماری توسط کاربران این دو برنامه ایجاد شدند. این دو برنامه به کاربر این امکان را می‌دهند که داده‌های ورودی برای مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS را تولید کند.

برنامه‌ی دیگری به نام HEC-GIS برنامه مدل‌سازی پهنه‌بندی سیل در HEC-RAS را با نرم‌افزار ArcInfo ترکیب می‌کند. با برنامه‌ی HEC-GIS می‌توان اطلاعات مقاطع عرضی پهنه‌بندی سیل را از یک نقشه DEM وارد ArcInfo نمود. این برنامه همچنین نیمرخ‌های سطح آب به‌دست آمده از HEC-RAS را برای انجام تحلیل‌های مکانی اضافی و تهیه نقشه، به خود بازمی‌گرداند.

پ.۴-۴-۲- نرم‌افزار WMS^۱

سامانه‌ی مدل‌سازی حوضه آبریز (WMS) یک بسته مدل‌سازی هیدرولوژیکی یکپارچه است که به‌وسیله آن می‌توان سری مدل‌های مکانی دیجیتالی را با مدل‌های استاندارد هیدرولوژیکی ترکیب کند. WMS می‌تواند اطلاعات GIS را وارد و خارج نماید. WMS شامل یک برنامه الحاقی است که انتقال اطلاعات از GIS به WMS را برای ایجاد مدل‌های هیدرولوژیکی آسان می‌سازد. برنامه الحاقی داده‌های GIS را برای تهیه‌ی داده‌های مدل‌سازی هیدرولوژیکی پیش‌پردازش می‌کند. سپس WMS یک فایل منفرد را برای به‌دست آوردن داده‌ها از GIS قرائت می‌کند. این اطلاعات سپس می‌تواند در WMS برای ایجاد نمودن یک مدل اولیه برای هر برنامه هیدرولوژیکی که توسط WMS پشتیبانی می‌شود، استفاده گردد. در شکل (پ.۴-۳) نمایی از WMS نشان داده شده است.



شکل پ.۴-۳- مدل حوضه آبریز گلاب‌دره-دریوند در نرم‌افزار WMS

پ. ۴-۳- مازول های GIS Hydro

GIS Hydro مجموعه ای از برنامه ها، نمونه های نمایشی، تمرینات، داده ها، گزارش ها و اطلاعات طراحی شده برای کاربرد GIS در هیدرولوژی و مطالعات منابع آب است. این محصولات اکثرا توسط پرفسور Maidment و انجمنی از دانش آموختگان ایشان، دانشمندان محقق و استادان دانشگاه در مراکز تحقیقات منابع آب (CRWR) و دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تگزاس تهیه شده است.

پ. ۴-۵- روش یکپارچه

در روش کاربر واسطه، گزینه هایی برای ویرایش داده ها و اجرای مدل حاصل از نرم افزار GIS در دسترس نیست. یک واسطه به سادگی منوی جدید یا دکمه را به GIS، به منظور جابه جایی اتوماتیک داده ها بین یک مدل رایانه و GIS اضافه می نماید. از طرف دیگر، GIS یکپارچه ترکیبی از یک مدل و یک GIS است به طوری که برنامه ترکیبی هم توابع مدل سازی و هم توابع GIS را فراهم می آورد. این روش ارتباط تنگاتنگی بین مدل و GIS ارائه می دهد. دو راه حل یکپارچه امکان پذیر است:

۱- روش یکپارچه با محوریت GIS: در این راه حل، مازول های مدل سازی یا در GIS ایجاد می شود و یا از GIS فراخوانده می شود. چهار قسمت ایجاد ورودی مدل، ویرایش داده ها، اجرای مدل و تحلیل نتایج خروجی، همگی در GIS در دسترس هستند. برای ویرایش فایل داده ها و یا راه اندازی مدل نیازی به خروج از GIS نیست. این روش در بیش تر موارد قدرت مدل سازی را محدود می سازد.

۲- روش یکپارچه با محوریت مدل: در این روش، مازول های GIS یا در مدل ایجاد می شود و یا از مدل فرا خوانده می شود. این روش توابعی شبه GIS برای مدل رایانه ای فراهم می سازد. چون در این روش برنامه کردن تمامی توابع GIS به صورت یک مدل رایانه ای مشکل است، در این روش GIS با قابلیت محدود شده مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش GIS الزاما به عنوان وسیله نقشه کشی استفاده می شود. مدیریت داده های پیچیده و قابلیت های مشاهده داده ها وجود ندارد. PCSWMM و Runoff97 نمونه هایی از کاربرد این روش هستند. در این روش GIS و مدل ها در طی یک واسطه متداول یکپارچه می شوند که برای این منظور به برنامه نویسی گسترده با استفاده از زبان های برنامه نویسی متداول مثل FORTRAN و یا زبان های Script و یا ماکرو GIS مثل AML یا VBA نیاز است.

Geo-STORM Integration -

یک مثال از Arc Info 7.x و مدل سازی جامع، بسته نرم افزاری Geo-STORM است که توسط شرکت ISD تولید شده است. این نرم افزار میزان رواناب را محاسبه می نماید، روندیابی جریان در شبکه رودخانه و مخازن انجام می دهد و با به کارگیری برنامه های TR-20، TR-55 و HEC-2 هیدرولیک رودخانه را تحلیل می کند.

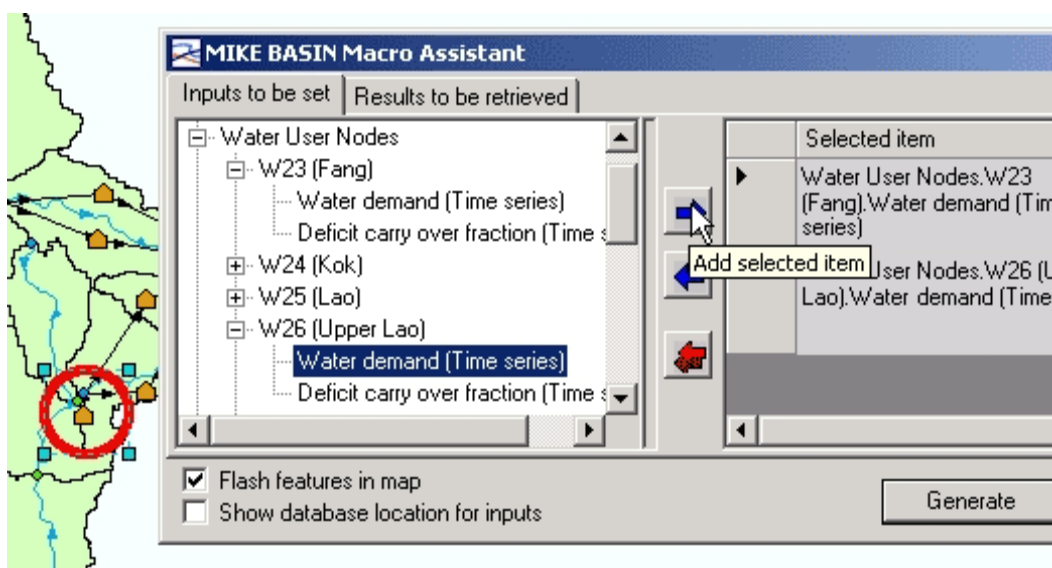
ARC/HEC-2 Integration -

ARC/HEC-2 یکی از قدیمی ترین یکپارچه سازی های ArcInfo و HEC-2 بود، که در دانشگاه تگزاس واقع در Austin تولید شد. ARC/HEC-2 پهنه بندی سیل را در محیط GIS آسان نمود. این برنامه امکان استفاده مستقیم از پوشش های ArcInfo

برای ایجاد ورودی HEC-2، اجرای HEC-2 از درون ArcInfo و انتقال ترازهای سطح آب به دست آمده از HEC-2 به ArcInfo برای نمایش پهنه سیل را فراهم می‌نماید.

MIKE BASIN –

این نرم‌افزار متعلق به موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI)، یک سامانه پشتیبانی تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب براساس ArcView است. این برنامه به‌عنوان یک سامانه مدل‌سازی شبکه حوضه رودخانه برای تخصیص منابع آب منطقه‌ای در سامانه‌های پیچیده به کار می‌رود. MIKE BASIN می‌تواند برای تحلیل قابلیت‌های تامین آب در رابطه با حقوق آب برای تامین آب شهری، صنعتی، کشاورزی و بهره‌برداری از چندین مخزن چندمنظوره به کار رود. MIKE BASIN کاملاً با ArcView 3.x یکپارچه شده است. در این برنامه، یک کاربر واسطه گرافیکی که MIKE BASIN را به ArcView متصل می‌کند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل پ. ۴-۴- نمای از نرم‌افزار MIKE BASIN

از کدام روش اتصال باید استفاده کرد؟

مقایسه روش‌های اتصال مدل و GIS در جدول (پ. ۴-۱) ارائه شده است. یادگیری و به‌کارگیری سامانه‌های یکپارچه ساده است و مدل‌سازی طاقت‌فرسا هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را به یک فعالیت جذاب بدل می‌کند. سامانه‌های یکپارچه، ایجاد مدل را آسان و زمان تفسیر را کمتر نموده و هزینه مدل‌سازی را کاهش می‌دهند.

جدول پ. ۴-۱- مقایسه روش‌های اتصال مدل و GIS

روش یکپارچه	روش واسطه کاربر	روش مبادله	بخش
قوی	متوسط	ضعیف	عملکرد خودکار
قوی	متوسط	---	همگرایی با کاربر
ساده‌ترین	ساده	طاقت‌فرسا	سادگی کاربرد
سریع	متوسط	طولانی	منحنی یادگیری
کم	متوسط	زیاد	خطاهای بالقوه در هنگام ورود اطلاعات
سخت	پیچیده	آسان	ره‌گیری خطای اطلاعاتی

ادامه جدول پ.۴-۱- مقایسه روش های اتصال مدل و GIS

بخش	روش مبادله	روش واسطه کاربر	روش یکپارچه
پتانسیل استفاده ناصحیح توسط کاربر	کم	متوسط	زیاد
صعوبت توسعه	کم	متوسط	زیاد
برنامه پذیری رایانه ای	کم	متوسط	قوی

مدل یکپارچه نیز دارای معایبی است. سادگی روش مدل سازی و ابزارهای کاربر دوست تهیه شده توسط سامانه ای یکپارچه ممکن است کاربران بی تجربه را تشویق نماید، به سرعت مدل ساز شوند که این امر می تواند نامطلوب باشد. GIS می تواند به راحتی خروجی تهیه شده توسط رایانه را به نقشه های شماتیک رنگی تبدیل نماید که می تواند خطای داده ها را هم نمایان و هم مخفی نماید. دسته نرم افزاری کاربر دوست، ممکن است یک مدل پیچیده را که ساده به نظر می رسد، به صورت غلط ایجاد کند و در نتیجه منجر به به کارگیری نادرست مدل توسط کاربران بی تجربه شود. مدل سازی، برای تمامی ابزارهای نو پدید دهه ۱۹۹۰، هنوز هنری است که تنها توسط افراد معدودی به خوبی انجام می شود. اعتماد بیش از حد کاربران بی تجربه به پارامترهای از قبل تعریف شده در مدل ممکن است باعث ارائه نتایج نادرست شود. مدل سازی که در امر مدل سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی کم تجربه اند باید در هنگام استفاده از سامانه ای یکپارچه احتیاط نمایند، از فایل های ورودی و خروجی مدل برای اطمینان از صحت، به دقت بررسی کنند و از اعتماد بیش از حد به نقشه های شماتیک و گرافیکی خروجی مدل پرهیز نمایند. کاربران باید به خاطر داشته باشند که صعوبت کار با یک مدل قطعا بهتر از نادرست بودن خروجی آن است. در این چارچوب برای برخی کاربردها، مدل های تحت DOS ممکن است هنوز بهترین راه حل باشند.

پ.۴-۵- جمع بندی

در این پیوست پس از ارائه مبانی سامانه های اطلاعاتی جغرافیایی، کاربردهای GIS در مدل سازی های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی به صورت مختصر ارائه گردید. در این پیوست نشان داده شد که چگونه GIS می تواند برای ایجاد این مدل ها به کار رود و نیز مروری بر نرم افزارها و برنامه های کاربردی GIS صورت گرفت. براساس موارد ارائه شده می توان نتیجه گرفت که کاربردهای GIS می تواند کارایی مدل سازان را بهبود دهد. در این چارچوب کاربران زمان بیشتری برای فهمیدن مساله و زمان کمتری برای کارهای دستی روی داده های ورودی و چک کردن آنها، آماده سازی برنامه ها برای اجرا و تفسیر اطلاعات خروجی صرف می کنند. سه روش اصلی برای کاربرد GIS عبارتند از: مبادله^۱، واسطه کاربر^۲، یکپارچه^۳. نوع مبادله ساده ترین روش است اما منافع محدودی را ممکن می سازد. این روش از سال ۱۹۸۰ در تمامی زمینه ها وجود دارد. فواید روش واسطه کاربر چیزی بین دو روش مبادله و یکپارچه است. اکثر نرم افزارهای این روش، تجاری و یا اختصاصی هستند و نرم افزارهای معدودی در اختیار عموم قرار دارند. در بیش تر موارد روش یکپارچه حداکثر را منافع به دست می دهد. برنامه های تجاری معدودی براساس روش یکپارچه در دسترس هستند که حداقل قیمت آنها حدود ۵۰۰۰ دلار است. پیش بینی می شود در آینده نزدیک شمار بسته های تجاری و عمومی این سامانه، رشد فزاینده ای داشته باشد.

1- Interchange
2- Interface
3- Integration

منابع و مراجع

- ۱- افشار، عباس، «نقش هشدار سیل در مدیریت سیلاب»، کارگاه آموزشی - تخصصی سامانه‌های هشدار سیل و مدیریت سیلاب، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۷)
- ۲- امامی، کامران، «روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب»، کارگاه فنی روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب، (۱۳۷۹)
- ۳- امامی، کامران، «تجارب استفاده از سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب در ژاپن و چین»، کارگاه آموزشی - تخصصی سامانه‌های هشدار سیل و مدیریت سیلاب، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۷)
- ۴- حیدری، علی، «سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیل، کارگاه فنی روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب»، (۱۳۷۹)
- ۵- حیدری، علی، «مدل کامپیوتری سامانه هشدار سیل رودخانه کارون»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر محمد کارآموز، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (۱۳۷۶)
- ۶- فاضل رستگار، فرحناز، «سیل در استان گلستان مرداد ۱۳۸۰»، سمینار کاهش اثرات و پیشگیری از سیل، (۱۳۸۱)
- ۷- گروه کار رهیافت‌های فراگیر مدیریت سیلاب، «پیش‌بینی و هشدار سیل»، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، (۱۳۸۵)
- ۸- گروه کار رهیافت‌های فراگیر مدیریت سیلاب (در حال چاپ)، «راهنمای روش‌های سازه‌ای مدیریت سیلاب».
- ۹- گروه کار رهیافت‌های فراگیر مدیریت سیلاب، «راهنمای روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیلاب»، (۱۳۷۹)
- ۱۰- موسسه تحقیقات آب، «مدل ریاضی سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل رودخانه کر، موسسه تحقیقات آب»، وزارت نیرو. (۱۳۸۲)
- ۱۱- مهندسان مشاور گُزیت‌کارآ، «گزارش‌های پروژه‌ی تدوین ضوابط انتخاب سیلاب طراحی سدهای بزرگ ایران»، سازمان آب و برق خوزستان، (۱۳۸۴)
- ۱۲- مهندسان مشاور گُزیت‌کارآ، «گزارش‌های پروژه‌ی طراحی سامانه‌ی پیش‌بینی و هشدار سیلاب حوضه‌های گلاب‌دره و دربند»، سازمان آب منطقه‌ای تهران، (۱۳۸۶)
- ۱۳- مهندسان مشاور گُزیت‌کارآ، «گزارش‌های پروژه‌ی راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل»، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو، (۱۳۸۶)
- 14- Abebe A J, and R. K. Price, Decision support system for urban flood management, Hydroinformatics & Knowledge Management, UNESCO-IHE, © IWA Publishing 2005,
- 15- Amentorp, H.C., M. Radaideh, J. Host-Madsen, 2006, Advances in Flash flood forecasting and mitigation, Proceeding of International Workshop on Flash Floods in Urban Areas and risk management, Muscat, Oman.
- 16- American Meteorological Society, 1978: Conference on Flash Floods: Hydro-meteorological Aspects and Human Aspects, 2-5 May 1978, Los Angeles, California.
- 17- American Meteorological Society, 1978: Conference on Flash Floods: Hydro-meteorological Aspects and Human Aspects, Los Angeles, California.
- 18- Andjelkovic I, 2001, Guidelines on Non-Structural Measures in Urban Flood Management, International Hydrological Programme, IHP-V, Technical Documents in Hydrology, No. 50, UNESCO, Paris.

- 19- Appolov, B. A., Kalinin, G. P. and Komarov, V. D., 1974: Course on Hydrological Forecasting. Gidrometeoizdat, Leningrad.
- 20- Archer, D.R. 1987. Improvement in flood estimates using historical flood information on the River Wear at Durham. Proc. BHS First National Hydrology Symp., Hull, 14-16 September, 1987. British Hydrological Society, 5.1-5.9.
- 21- Archer, D.R. 1999. Practical application of historical flood information to flood estimation. Proc. IAHS Symp. Hydrological extremes: understanding, predicting, mitigating (eds: Gottschalk, L., Olivry, J-C., Reed, D. & Rosbjerg, D.), Birmingham, July 1999. IAHS Publ. No. 255, 191-199.
- 22- Australian Emergency Manuals Series, 1995, Flood Warning an Australian Guide 5.
- 23- Australian Emergency Manuals Series, 2005, Part III , Guide 3, VOL. 3.
- 24- Baker, V.R. 1987. Paleoflood hydrology and extraordinary flood events. J. Hydrol., 96, PP79-99.
- 25- Bangladesh National Committee of ICID, 1997, Proceedings of Seminar on Evaluation of a Scientific System of Flood Forecasting and 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.
- 26- Bodwell, V. J., 1971: Regression analysis of non-linear catchment systems. Water Resources Research, Vol. 7, pp. 1118-1125.
- 27- Box, G. E. P. and Cox, D. R., 1964: An analysis of transformation. Journal of the Royal Statistical Society, section B, Vol. 26, pp. 211-252.
- 28- Box, G. E. P. and Jenkins, G. M., 1976, Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco.
- 29- Bremman M, J P O'kane, 1992, Incorporating expert-decision support systems with traditional decision approaches of managers for improved flood control, Proceeding of the 3rd International Conference on Floods and Flood Management, 24-26, Nov., 1992 In Italy, Kluwar Academic Publishers.
- 30- Burakov, D. A., 1967: Flood hydrograph calculation with runoff transformation in basins and channels taken into account. Proceedings of the WMO/UNESCO Symposium on Hydrological Forecasting. 29 November-5 December 1967, Surfers' Paradise, Queensland, Australia, pp. 139-146. In: World Meteorological Organization, 1969: Hydrological Forecasting. Technical Note No. 92, WMO-No. 228, Geneva.
- 31- Cassidy, J.J. 1993, Flood data and the effect on dam safety, International workshop on dam safety evaluation, Vol. 4, 1-15
- 32- Cassidy, J.J. Cherry, D.B. ,Hui, S.L. and Welton, J.E. 1988, Consideration with regard to the choice of recurrence interval for a design flood, Transaction Vol.4, Q63, 16th International congress on large dams, 583-604.
- 33- Chojnacki J., J Filimowski, R Komieczny, 1992, Flood-computer system and its implementation, Proceeding of the 3rd International Conference on Floods and Flood Management, 24-26, Nov., 1992 In Italy, Kluwar Academic Publishers.
- 34- Chow, V. T., Maidment, D. R., et al. .1988. Applied Hydrology. Singapore, McGraw-Hill; 572p.
- 35- Collier, Christopher G. 1996, Applications of Weather Radar Systems, A Guide to Uses of Radar Data in Meteorology and Hydrology 2nd,ed.. Wiley- proxies, Sussex, England.
- 36- Committee on U.S. Geological Survey Water Resources Research, 1996, Hydrological Hazards Science at the U.S. Geological Survey, Water Science and Technology Board, Commission on

- Geosciences, Environment, and resources National Research Council, National Academy press, Washington, D.C.
- 37- Cook, J.L. 1987. Quantifying peak discharges for historical floods. *J. Hydrol.*, 96, 29-40.
 - 38- Cunge, J. A., 1992, Real-time flood forecasting: models, methods & software in hydroinformatics era, Proceeding of the 3rd International Conference on Floods and Flood Management, 24-26, Nov., 1992 In Italy, Kluwar Academic Publishers.
 - 39- Dahm R., Usefulness of Flood Forecasting Decision support systems, A brief report, UNESCO-IHE course: Flood modeling for management, Skype for corresponding: dahmrj , Assignment module 1: June 2006
 - 40- Daniel H. Hoggan, 1989, Computer – Assisted floodplain Hydrology Hydraulics, McGraw Hill.
 - 41- Drabek, T. E. 1969, Social processes in disasters :family evacuation, social problems in flood Management, PP336-349.
 - 42- Duivendijk J.V, 1999, Non-Structural Approaches to Flood Management, ICID.
 - 43- Duivendijk J.V, 2005, Manual on Planning of Structural Approaches to Flood Management, ICID.
 - 44- Emami, K. 1998 " Holistic design of adaptive hydraulic structures " , Ph.D. Dissertation, Sharif Univ. of Tech, Tehran Iran.
 - 45- Emergency management Australia (1995), Flood Warning: an Australian Guide.
 - 46- European Commission .2000, First Report on the Harmonization of Risk Assessment Procedures, DG Health & Consumer Protection.
 - 47- FEMA (1998). Emergency Action Plans, NOV. 1998.
 - 48- Flanders, A. F. and Schiesl, J. W., 1975: Satellite-interrogated data platforms in river and flood forecasting. Proceedings of the Tenth International Symposium on Remote Sensing of the Environment, 2-6 October 1972, Ann Arbor, Michigan, pp. 131-138.
 - 49- Fleming, G., Computer Simulation Techniques in Hydrology. Elsevier, New York, 1975.
 - 50- Ford D., Flood-Warning Decision-Support System For Sacramento, California, *Journal of Water Resources Planning and Management*, July/August 2001
 - 51- Graham, W. J. 1999 A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure, DSO-99-06, Denver CO: Bureau of Reclamation, Dam Safety Office
 - 52- Guowei, L. & Jingping, W. 1999. A study of extreme floods in China for the past 100 years. Proc. IAHS Symp. Hydrological extremes: understanding, predicting, mitigating (eds: Gottschalk, L., Olivry, J-C., Reed, D. & Rosbjerg, D.), Birmingham.
 - 53- Hosking, J.R.M. 1986. The use of historical and paleological flood data. Review of statistical flood frequency estimation: Open File Report No. 5, Institute of Hydrology, Wallingford.
 - 54- ICOLD 1992, Selection of design flood, Bulletin 82.
 - 55- ICOLD 1996, Cost of flood control in dams, Bulletin 108.
 - 56- ICOLD 2001, Non-structural risk reduction measures; Benefits and costs for Dams, .
 - 57- Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982: Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. Bulletin 17B of the Hydrology Subcommittee, U.S. Geological Survey, Office of Water Data Coordination, Reston, Virginia.
 - 58- International Association of Hydrological Sciences, 1974, Proceedings of the International Symposium on Flash Floods – Measurements and Warning. Paris, 9 – 12 September 1974, Publication No. 112, 1974.

- 59- International Association of Hydrological Sciences, 1974: Proceedings of the International Symposium on Flash Floods — Measurements and Warning. Paris, 9-12 September 1974, Publication No. 112.
- 60- Jamieson, D. G., Wilkinson, J. C. and Ibbitt, R. P., Hydrologic forecasting with sequential deterministic and stochastic stages. Proceedings of the International Symposium on Uncertainties in Hydrologic and Water Resources Systems, Tucson, Arizona, 11 – 14 December 1972.
- 61- Khatibi, R. , Jackson, D. , Cadman, D. , Harrison, T. ,Price, D. and Haggett, C. 2003. Defining Best Practice in Flood Forecasting, presented at the first EFFS International Conference in Rotterdam
- 62- Khatibi, R., Research Issues on warning lead-time and synergy in flood mitigation measures, river Basin Management Vol. 1, No. 4(2003), pp. 331-346© 2003 IAHR&INBO, Environment Agency.
- 63- Kitanidis, P. K. and Bras, R. L., 1978, Real Time Forecasting of River Flows. Technical Report No. 235, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- 64- Kite, G. We, 1988: Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
- 65- Kuchment, L. S.,1972, Mathematical Models of River Flow. Gidrometeoizdat, Leningrad.
- 66- Mays, L., el al., 1988, Hydrosystem Engineering, Mc Grow Hill, P. , 1988.
- 67- McMahon, T.A., and R. Srikanthan 1981. “Log Pearson III Distribution - Is it Applicable to Flood Frequency Analysis of Australian Streams?”, Journal of Hydrology, Vol. 52, pp. 139-147.
- 68- Milly, P.C.D., Wetherald, R.T., Dunne, K.A and Delworth, T.L. 2002. Increasing Risk of Great Floods in a Changing Climate, Nature, Vol. 415, pp. 514-517.
- 69- National Research Council 1988. Committee on Techniques for Estimating Probabilities of Extreme Floods, “Estimating Probabilities of Extreme Floods, Methods and Recommended Research”, National Academy Press, Washington, D.C.
- 70- NOAA. Floods. (2005) www.noaa.gov/floods.html
- 71- Office of Hydrology, 1997, Flood Warning Handbook, National Weather Service, NOAA.
- 72- Parker, D.J., 2000, Floods, Volume I and II, Routledge Publishers, London.
- 73- Pegram, G. G. S. ,1971: A note on the use of Markov chains in hydrology. Journal of Hydrology, Vol. 13, pp. 216-230.
- 74- Perry, R.W., M.K. Lindell, 2007, Emergency Planning, John Wiley & Sons, Inc.
- 75- Perry. R. W, Green,M. R. & Lindell, M. K 1980 Enhancing Evacuation Warning Compliance :Suggestions for emergency Planning disaster 433-449,
- 76- Peter Borrows. 2005, "Living with Flooding – Noah's Legacy, 19th ICID Congress, Beijing, China.
- 77- Peterson. M, 1986, “River Engineering”, Prentice Hall.
- 78- Quarantelli, E. 1980. Evacuation behavior and problem: finding and implications from the research literature" ,Disaster Research Center, Ohio State University Columbus
- 79- Rango, A., Salmonson, A, V. V. and Foster, J. L., 1977: Seasonal stream flow estimation in the Himalayan region employing meteorological satellite snow cover observations. Water Resources Research, Vol. 14, pp. 359-373.
- 80- Rao, A.Ramachandra; Hamed, khaled, H, 2000, Flood frequency Analysis, CRC Press.

- 81- Refsgaard, J. C., Henriksen, H. J., 2002, Modeling Guidelines – Summary, State-of-the-art Report on Quality Assurance in modeling related to river basin management, FP5 HarmoniQuA report, edited by Refsgaard, J. C.
- 82- Riggs, H. C. and Hanson, R. L., 1967: Seasonal low-flow forecasting. Proceedings of the WMO/UNESCO Symposium on Hydrological Forecasting. 29 November-5 December 1967, Surfers' Paradise, Queensland, Australia, pp. 286-299.
- 83- Royal Society .1992. Risk: Analysis, Perception and Management, London, Royal Society.
- 84- Sabins, F. F., 1987, Remote Sensing: Principals and Interpretation, 2nd ed. W. H. Freeman and Co., New York.
- 85- Salas, J.D., J.W. Delleur, V. Yevjevich, W.L. Lane, 1984, Applied Modeling of hydrological Time series, Water Resouces Publication.
- 86- Shaw, T. T., 1964: Frequency analysis. Handbook of Applied Hydrology (T.Chow, ed), Section 8-I, McGraw-Hill, New York.
- 87- Short, N. M., 1982, The Landsat Tutorial Workbook: Basics of Satellite Remote Sensing, NASA-RP-1078.
- 88- SLG 101: Guide for All-Hazard Emergency Operations Planning
- 89- Sprague R. H., J. Hugh j. Watson, 1989, Decision Support Systems, Putting Theory Into Practice, Second edition Edited.
- 90- Storm water Management Commission 2006, Flood Response Manual.
- 91- Todini, E. and Wallis, J. R., 1978: A Real-time Rainfall Runoff Model for an On-line Flood Warning System. AGU Chapman conference on applications of Kalman filtering theory and techniques to hydrology, hydraulics and water resources, Pittsburgh, Pennsylvania,
- 92- Todini, E., 1992, From real-time flood forecasting to comprehensive flood risk management decision support systems, Proceeding of the 3rd International Conference on ICID.CIID, 24-26, Nov., 1992 In Italy, Kluwar Academic Publishers.
- 93- Tromsø, Norway, M.B.Butts, 2005, The Flood Relief Internet-Based Flood Forecasting Decision Support System, Proc, International Conference on Innovation, advances and implementation of flood forecasting technology, 17-19,
- 94- U.S 1996. Army Corps of Engineers. 1996. "Engineering and Design River Hydraulics". EM 1110 – 2 – 1416. Washington DC. 20314 – 1000
- 95- U.S Army Corps of Engineers. 1996. "Hydrological Engineering Analysis Concepts for Cost – Shared Flood Damage Reduction Studies". EM 110 – 2 – 10 Washington DC. 20314 – 1000
- 96- U.S Corps Army Corps of Engineers. 2000, User Manual of HEC-RAS
- 97- U.S. Bureau of Reclamation, 1960: Design of Small Dams. Appendix A, Washington, D.C., pp. 413-431.
- 98- U.S. Department of Homeland Security 2006, Quick Reference Guide for the National Response Plan.
- 99- U.S. Water Resources Council 1967. A Uniform technique for determining flood flow frequencies, Bulletin 15, Washington, D.C.
- 100- United Nations Disaster Relief Organization,1976: Disaster Prevention and Mitigation: A Compendium of Current Knowledge. Volume 2, Hydrological aspects, UNDR0/22/76.

- 101- Water Resources Council, 1977: Proceedings of Dam-break Flood Routing Model Workshop. 18-20 October 1977, Bethesda, Maryland. U.S. Department of Commerce, National Technical Information Service, PB-275 437 NTIS, Springfield, Virginia.
- 102- World Meteorological Organization 1994, Guide to Hydrological Practices. WMO-No 168.
- 103- World Meteorological Organization, 1972: Casebook on Hydrological Network Design Practice. WMO-No. 324, Geneva.
- 104- World Meteorological Organization, 1973: Automatic Collection and Transmission of Hydrological Observations. Operational Hydrology Report No. 2, WMO-No. 337, Geneva.
- 105- World Meteorological Organization, 1973: Snow Survey from Earth Satellites. WMO/IHD Report No. 19, WMO-No. 353, Geneva.
- 106- World Meteorological Organization, 1979: Proceedings of the Workshop on Remote Sensing of Snow and Soil Moisture by Nuclear Techniques, 23-27, Voss, Norway.
- 107- World Meteorological Organization, 1981: Hydrological Data Transmission (A. F. Flanders). Operational Hydrology Report No. 14, WMO-No. 559, Geneva.
- 108- World Meteorological Organization, 1989: Information on Meteorological and other Environmental Satellites. WMO-No. 411, Geneva.
- 109- Wright, C. E., 1975: Monthly Catchment Regression Models: Thames Basin. Central Water Planning Unit, Technical Note No. 8, Reading, U.K, August, p. 32.

خواننده گرامی

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر پانصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می‌باشد.

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision

**A Manual for Design,
Operation and Maintenance of
Integrated Flood Forecasting
and Warning Systems**

No. 583

Office of Deputy for Strategic Supervision

Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Bureau of Engineering and Technical
Criteria for Water and Wastewater

<http://seso.moe.org.ir>

2012

این نشریه

این نشریه با عنوان «راهنمای جامع مطالعات طرح، بهره‌برداری و نگهداری سامانه پیش‌بینی و هشدار سیل» با هدف ارائه‌ی رهنمودها و دستورالعمل‌های لازم برای تسهیل طراحی و بهره‌برداری این سامانه‌ها و همچنین برای هدایت مهندسان طراح و بهره‌بردار سامانه‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب و کارفرمایان این طرح‌ها با دیدگاه انتقال فن‌آوری تهیه شده است. در این مجموعه پس از ارائه کلیات این سامانه‌ها و مطالعات پایه‌ی لازم، اجزای اصلی این سامانه‌ها (پایش، پیش‌بینی، تصمیم‌گیری در زمان واقعی و هشدار) به همراه یک مطالعه موردی و یک شرح خدمات نمونه ارائه شده است.