

بررسی خسارت سیلاب

بررسی خسارت سیلاب

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

نشریه شماره ۱۶۴ - ن

پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب و آبفا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور برای نیل به این هدف، با مشخص کردن رشته‌های اصلی صنعت آب و آبفا اقدام به تشکیل مجامع علمی - تخصصی با عنوان کمیته‌های تخصصی نموده که نظارت بر تهیه این استانداردها را به عهده دارند.

استانداردهای صنعت آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می‌گردد:

- > استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- > استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- > بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت

> ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها

> پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور

> توجه به اصول و موازین مورد عمل سازمان ملی استاندارد و سایر موسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد

طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور به منظور تسهیل در امر استفاده از استانداردها، تدوین و یا ترجمه نشریات و کتب تخصصی مرتبط با استانداردها را نیز در دستور کار خود داشته و نشریه حاضر در راستای نیل به این هدف تهیه شده است.

آگاهی از نظرات کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها به نوعی در ارتباط با تهیه استانداردهای صنعت آب و آبفا می‌باشد، موجب امتنان خواهد بود.

شایان ذکر است نشریه مذکور در سال ۱۳۸۵ تهیه شده است و در سال ۱۳۹۵ در قالب نشریه داخلی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور تنظیم شده است.

تهیه و کنترل «بررسی خسارت سیلاب» [نشریه شماره - ن]

مجری: شرکت فناوری آب و محیط زیست

مؤلف اصلی: حمید خورسندی شرکت مهندسين مشاور لار فوق لیسانس هیدرولیک

اعضای گروه تهیه کننده:

| | | |
|------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| حمید خورسندی | شرکت مهندسين مشاور لار | فوق لیسانس هیدرولیک |
| غلامعلی فقیری | شرکت مهندسين مشاور لار | فوق لیسانس مهندسی آبیاری |
| علاءالدین کلانتر | شرکت مهندسين مشاور آبراه گستر تدبیر | لیسانس آبیاری و آبادانی |

اعضای گروه نظارت:

| | | |
|-------------|-------------------------------|-------------------------|
| حسن احمدی | شرکت مهندسين مشاور تهران سحاب | دکترای هیدرولیک |
| طیبه آریان | شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس | لیسانس اقتصاد کشاورزی |
| رضا سبزیوند | سازمان مدیریت منابع آب | فوق لیسانس سازه های آبی |

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

| | | |
|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| محمود افسوس | شرکت مهندسين مشاور سازه پردازی | فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک |
| محمدابراهیم بنی حبیب | دانشگاه تهران | دکترای عمران - آب |
| ابراهیم جباری | دانشگاه علم و صنعت ایران | دکترای هیدرولیک |
| محمدحسن چیتی | شرکت ساز آب پردازان | فوق لیسانس مهندسی سازه های آبی |
| حسام فولادفر | موسسه تحقیقات آب | فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک |
| کیاندرخت کباری | طرح تهیه استانداردها و معیارهای فنی | لیسانس راه و ساختمان |
| جبار وطن فدا | وزارت نیرو | فوق لیسانس مهندسی سازه های هیدرولیکی |

فهرست مطالب

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u> |
|-------------|---|
| ۱ | مقدمه |
| ۳ | فصل اول - کلیات |
| ۵ | ۱-۱- مرور سیلاب‌ها و خسارات آن در ایران |
| ۱۱ | ۲-۱- مرور سیلاب‌ها و خسارت آن در جهان |
| ۱۷ | فصل دوم - مبانی هیدرولوژی سیلاب |
| ۱۹ | ۱-۲- منشا و انواع سیلاب‌ها |
| ۱۹ | ۲-۱-۲- منشا سیلاب‌ها |
| ۱۹ | ۲-۱-۲- انواع سیلاب‌ها |
| ۲۰ | ۲-۲- اطلاعات پایه برای برآورد سیلاب |
| ۲۰ | ۱-۲-۲- ملاحظات کلی |
| ۲۱ | ۲-۲-۲- داده‌های پایه مورد نیاز |
| ۲۲ | ۳-۲- روش‌های برآورد سیلاب |
| ۲۳ | ۱-۳-۲- روش آبدهی بیشینه |
| ۲۶ | ۲-۳-۲- روش آبنمود واحد |
| ۲۸ | ۳-۳-۲- روش تحلیل فراوانی |
| ۳۰ | ۴-۲- سیلاب‌های فرضی |
| ۳۰ | ۱-۴-۲- حداکثر سیل محتمل (P.M.F) |
| ۳۱ | ۲-۴-۲- سیل استاندارد پروژه |
| ۳۳ | فصل سوم - خسارات سیلاب |
| ۳۵ | ۱-۳- مفاهیم و تعاریف |
| ۳۵ | ۱-۱-۳- مفهوم و تعریف خسارت |
| ۳۵ | ۲-۱-۳- خسارت واقعی یا بالفعل |
| ۳۵ | ۳-۱-۳- خسارت فرضی یا بالقوه |
| ۳۵ | ۲-۳- انواع خسارات سیلاب |
| ۳۹ | فصل چهارم - روش‌های برآورد خسارت سیلاب‌های فرضی |
| ۴۱ | ۱-۴- تعاریف |

فهرست مطالب

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u> |
|-------------|---|
| ۴۱ | ۴-۱-۱- سیلاب و خسارت فرضی |
| ۴۱ | ۴-۱-۲- بی طرح و با طرح |
| ۴۲ | ۴-۱-۳- خسارت سالانه قابل انتظار و معادل |
| ۴۲ | ۴-۲- کاربری اراضی |
| ۴۳ | ۴-۲-۱- کاربری مسکونی |
| ۴۴ | ۴-۲-۲- کاربری تجاری |
| ۴۴ | ۴-۲-۳- کاربری صنعتی |
| ۴۴ | ۴-۲-۴- کاربری فضاهای باز |
| ۴۴ | ۴-۲-۵- کاربری روستایی - کشاورزی |
| ۴۵ | ۴-۲-۶- کاربری ویژه |
| ۴۵ | ۴-۳- پهنه بندی سیلاب |
| ۴۵ | ۴-۳-۱- روش کار |
| ۴۷ | ۴-۳-۲- نیمرخ های طولی یا ترازهای سطح آب سیلاب |
| ۵۴ | ۴-۴- تابع تراز - خسارت |
| ۵۴ | ۴-۴-۱- تعاریف، کاربرد و روش ها |
| ۵۵ | ۴-۴-۲- معیارها |
| ۶۲ | ۴-۴-۳- روش و مراحل تهیه تابع تراز - خسارت |
| ۶۳ | ۴-۵- تابع خسارت - فراوانی |
| ۶۳ | ۴-۵-۱- روش ها |
| ۶۴ | ۴-۵-۲- محاسبه خسارت سالانه قابل انتظار |
| ۶۶ | ۴-۵-۳- خسارت سالانه معادل |
| ۶۷ | ۴-۶- مثال محاسبه خسارت میانگین سالانه |
| ۷۱ | فصل پنجم - ارزیابی خسارت سیل های رخ داده |
| ۷۳ | ۵-۱- کلیات |
| ۷۳ | ۵-۲- مراحل ارزیابی خسارت سیل |
| ۷۳ | ۵-۲-۱- شناسایی محدوده یا حوضه تاثیر سیل |

فهرست مطالب

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u> |
|-------------|--|
| ۷۳ | ۵-۲-۲- تفکیک و طبقه‌بندی کاربری‌های حوضه تاثیر سیل |
| ۷۵ | ۵-۲-۳- انتخاب نمونه‌ها |
| ۷۵ | ۵-۲-۴- جمع‌آوری اطلاعات پایه |
| ۷۶ | ۵-۲-۵- تجزیه و تحلیل خسارت |
| ۷۷ | ۵-۳- راهکارها و روش‌ها |
| ۷۷ | ۵-۳-۱- روش تعیین خسارات بخش کشاورزی |
| ۷۸ | ۵-۳-۲- روش تعیین خسارت مناطق شهری |
| ۷۹ | فصل ششم- مدل‌های رایانه‌ای خسارت سیلاب |
| ۸۱ | ۶-۱- کلیات |
| ۸۱ | ۶-۲- تعاریف |
| ۸۱ | ۶-۲-۱- تعریف مدل |
| ۸۱ | ۶-۲-۲- مدل ریاضی و مدل رایانه‌ای |
| ۸۲ | ۶-۲-۳- طبقه‌بندی مدل‌ها |
| ۸۲ | ۶-۲-۴- مدل‌ها در این راهنما |
| ۸۳ | ۶-۳- مدل‌های هیدرولوژیکی |
| ۸۳ | ۶-۳-۱- کلیات |
| ۸۳ | ۶-۳-۲- برنامه رایانه‌ای HEC-HMS |
| ۸۶ | ۶-۴- مدل‌های هیدرولیکی |
| ۸۶ | ۶-۴-۱- کلیات |
| ۸۷ | ۶-۴-۲- مدل‌های فرایند رودخانه‌ای |
| ۹۲ | ۶-۴-۳- مدل‌های فرایند آبرفتی |
| ۹۶ | ۶-۵- مدل‌های اقتصادی ارزیابی و برآورد خسارت سیلاب |
| ۹۶ | ۶-۵-۱- کلیات |
| ۹۶ | ۶-۵-۲- برنامه HEC-FDA |
| ۹۹ | ۶-۵-۳- برنامه رایانه‌ای FLOODCON |
| ۱۰۱ | منابع و مراجع |

فهرست شکل‌ها نمودارها

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u> |
|-------------|--|
| ۲۵ | نمودار ۱-۲- رابطه کریگر برای مقادیر مختلف ضریب C |
| ۲۶ | نمودار ۲-۲- رابطه مساحت حوضه و بده ویژه برای سیل‌های ده‌هزار ساله در ایران |
| ۳۸ | شکل ۱-۳- گروه‌بندی انواع خسارت |
| ۴۲ | شکل ۱-۴- نمودار وضعیت‌های ممکن تحلیل خسارت سیلاب |
| ۴۶ | شکل ۲-۴- تعیین پهنه سیلاب با مدل یک بعدی |
| ۴۷ | شکل ۳-۴- تعیین پهنه سیلاب در مخازن |
| ۴۷ | شکل ۴-۴- تعیین پهنه سیلاب با مدل دو بعدی |
| ۴۹ | شکل ۵-۴- منحنی سنجه داده‌های اندازه‌گیری شده |
| ۵۰ | شکل ۶-۴- معادلات جریان ماندگار متغیر تدریجی |
| ۵۲ | شکل ۷-۴- معادلات جریان غیر ماندگار، متغیر تدریجی |
| ۵۸ | شکل ۸-۴- روابط درصد خسارت با تحمل آب برای ساختمان‌ها |
| ۶۵ | شکل ۹-۴- طرح‌واره محاسبه خسارت سالانه قابل انتظار |
| ۸۳ | شکل ۱-۶- گروه‌بندی مدل‌های رایانه‌ای خسارت سیلاب |
| ۸۷ | شکل ۲-۶- شمای گروه‌بندی مدل‌های رایانه‌ای خسارت سیلاب |

فهرست جدول‌ها

| <u>عنوان</u> | <u>صفحه</u> |
|---|-------------|
| جدول ۱-۱- توزیع رخ داده‌های سیل برحسب استان‌ها طی دوره ۱۳۳۱ تا ۱۳۷۰ | ۷ |
| جدول ۲-۱- توزیع رخ داده‌ها و خسارت سیل در دوره (۱۳۳۱ تا ۱۳۷۰) | ۷ |
| جدول ۳-۱- درصد زیان‌های مالی سیل به تفکیک نوع زیان‌ها | ۸ |
| جدول ۴-۱- تعداد و خسارات سیل در دوره ۲۵ ساله (۱۳۵۱ تا ۱۳۷۵) | ۸ |
| جدول ۵-۱- توزیع خسارت سیل در دوره ۵۰ ساله (۱۳۸۰ تا ۱۳۳۱) | ۱۰ |
| جدول ۶-۱- حوادث طبیعی مهم دنیا در دوره ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۸ | ۱۱ |
| جدول ۷-۱- سیلاب‌های مهم در دوره ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ | ۱۳ |
| جدول ۸-۱- میانگین سالانه خسارات سیلاب در تعدادی از کشورها | ۱۳ |
| جدول ۱-۴- درصد خسارت برای گیاهان زراعی | ۵۶ |
| جدول ۲-۴- درصد خسارت در طول دوره رشد گیاهان زراعی اصلی منطقه شمال شرق آمریکا ذرت دانه‌ای | ۵۶ |
| جدول ۲-۴- درصد خسارت برای سه نوع ساختمان و محتوای آن‌ها در ارتباط با عمق آب (سازمان بیمه فدرال) | ۶۰ |
| جدول ۳-۴- درصد خسارت برای دو نوع ساختمان در ارتباط با عمق آب (دسته مهندسی ارتش آمریکا) | ۶۱ |
| جدول ۴-۴- محاسبه خسارت وزنی در طول رشد برای گندم پاییزه | ۶۷ |
| جدول ۵-۴- محاسبه خسارت وزنی برای ترکیب کشت در هکتار | ۶۸ |
| جدول ۶-۴- اراضی سیل گرفته و خسارت کل در ارتباط با احتمال سیل (خسارت - فراوانی) | ۶۸ |
| جدول ۷-۴- محاسبه خسارت میانگین سالانه | ۶۹ |
| جدول ۸-۴- محاسبه میانگین سالانه اراضی خسارت دیده | ۶۹ |
| جدول ۱-۶- خلاصه روش‌های شبیه‌سازی برنامه HEC-HMS | ۸۵ |

مقدمه

در بین بلایای طبیعی، سیل، زلزله و خشکسالی به لحاظ خسارات مالی و جانی ناشی از وقوع آن‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به استناد آمار و اطلاعات خسارات ناشی از سیل در پاره‌ای از نقاط دنیا به‌ویژه در آسیا و اقیانوسیه، بیش‌ترین میزان در بین خسارت‌های حاصل از بلایای طبیعی را به خود اختصاص می‌دهد. با وجود این‌که تاکنون یک بررسی مقایسه‌ای در خصوص خسارت ناشی از این سه رخداد طبیعی انجام نگرفته است، لیکن یک مقایسه کلی در مورد ایران نشان می‌دهد که قطعاً خسارت جانی ناشی از زلزله در ابعاد سالانه بیش‌تر از آن دو و خسارت جانی ناشی از سیل بیش‌تر از خشکسالی است. به استناد همان برآورد تقریبی می‌توان گفت که خسارت مالی سیل رتبه دوم یا سوم خسارات را به خود اختصاص می‌دهد.

در هر حال خسارت‌های جاری شدن سیلاب در ابعاد ملی و محلی و از منظر اقتصاد کلان و خرد به گونه‌ای است که برآورد هر چه دقیق‌تر آن را ضروری می‌سازد. از سوی دیگر برآورد خسارت و صدمات سیلاب با توجه به پیچیدگی موضوع و تنوع و گستردگی خسارت‌ها، امری است مشکل و مستلزم به‌کارگیری شیوه به روز علمی است.

قدمت ثبت آمار خسارت سیلاب‌ها به صورت کم و بیش مدون و توسط نهادهای ذیربط دولتی در دنیا، به بیش از صد سال نمی‌رسد. درحالی‌که در کشورهای توسعه یافته، به‌ویژه آمریکا از چند دهه پیش این موضوع با رهیافت علمی مورد توجه قرار گرفته است و بررسی‌ها و مطالعات علمی و دانشگاهی زیادی انجام گرفته و می‌گیرد. در ایران می‌توان گفت که بیش از یک دهه از توجه ویژه به این امر نمی‌گذرد. در صورتی‌که این توجه به لحاظ کمی و کیفی نه کافی است و نه مطلوب.

- هدف

هدف این راهنما، ارائه روش‌های رایج علمی و به روز در دنیا برای برآورد خسارت سیلاب برای اهداف مختلف می‌باشد.

- دامنه کاربرد

راهنمای حاضر برای استفاده برنامه‌ریزان، تهیه‌کنندگان طرح‌های مهار سیلاب و کارشناسان دست‌اندرکار این رشته در برآوردها، برنامه‌ریزی‌ها و تهیه طرح‌ها، می‌باشد.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مرور سیلاب‌ها و خسارات آن در ایران

گفته شد که رخداد سیلاب یکی از سه بلایای طبیعی و اصلی کشور است. اما رخداد خسارت بار دو حادثه طبیعی دیگر یعنی خشکسالی و زلزله هر چند سال یک‌بار است. به جرأت می‌توان گفت که حداقل در سال در یک نقطه از این سرزمین سیلاب قابل توجهی رخ می‌دهد. در واقع گذشته از سال‌های سیلابی که هر از چند سال تکرار می‌شود و بخش‌هایی وسیع از کشور را در بر می‌گیرد، هر ساله چند سیل کوچک و متوسط و در مواردی بزرگ در گوشه و کنار مملکت اتفاق می‌افتد.

شدت سیل خیزی در نقاط مختلف کشور یا به عبارت دیگر در حوضه‌های آبریز مختلف، با توجه به شرایط اقلیمی، توپوگرافیک و دیگر عوامل مانند پوشش گیاهی از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت می‌باشد. بررسی‌های موجود براساس آمارهای هیدرولوژیک و رخ داده‌های سیل، نشان می‌دهد که مناطق جنوب غرب و جنوب شرق از سیل خیزترین نقاط کشور می‌باشد. براساس مطالعات انجام گرفته، سالانه نزدیک به ۴۰ رخداد کوچک و بزرگ سیل در اقصی نقاط ایران زمین به وقوع می‌پیوندد.

اگرچه اطلاعات ما از وقوع سیلاب در گذشته دور با توجه به منابع تاریخی و در صد سال اخیر روزنامه‌ها و یادداشت‌های نویسندگان و در نیم قرن گذشته بیش تر از آمارها و برآوردهای هیدرولوژیکی ثبت شده، در مقایسه با خسارت‌های ناشی از آن‌ها بیش تر است، با وجود این به استثنای دو سه دهه اخیر، اطلاعات هیدرولوژیکی از سیلاب‌های رخ داده چندان گویا و قابل استفاده نیست.

متأسفانه وضعیت آمار خسارات سیلاب به مراتب ضعیف تر از آمار هیدرولوژیکی است. به نحوی که تنها از دهه گذشته است که از سوی ستاد حوادث غیرمترقبه وزارت کشور، آمار نسبتاً سازمان یافته تری جمع‌آوری می‌گردد. درحالی که این آمار هم نیاز به پالایش و اصلاح و تدقیق دارد. از آنجا که در گذشته و به‌ویژه در یک دهه اخیر آمار خسارت سیلاب توسط سه مرجع از منابع مختلف گردآوری و تا حدودی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. لذا در این جا نیز به ترتیب تاریخ و به تناسب ارزش و اعتبار به آن‌ها پرداخته شده است. این مراجع عبارتند از: چارلز ملویل (یکی از مامورین سفارت انگلستان در ایران)، وزارت جهاد سازندگی، دفتر مطالعات و هماهنگی امور ایمنی و بازسازی وزارت کشور.

آمار سیلاب‌های ایران تا سال ۱۹۵۰ توسط چارلز ملویل با استفاده از اخبار روزنامه‌ای و اخبار ارسالی توسط نمایندگی‌های کنسولگری انگلستان در ایران جمع‌آوری و منتشر شده است. هر چند نتایج این تحقیق را باید مقدماتی تلقی نمود، با این وجود می‌توان گفت که حاوی اطلاعات با ارزشی است که به‌نحوی حساسیت به سیل خیزی مناطق مختلف را نشان می‌دهد. در زیر به چند نمونه از آمار یاد شده اشاره گردیده است.

> تاریخی ترین مورد گزارش شده. سیلاب شهر ساری می‌باشد که در سال ۳۲۵ هجری اتفاق افتاده است. در شرح وقایع چنین آمده است: تمام ساختمان‌ها به علت سیلاب تخریب و مردم به کوهپایه‌ها هجوم برده و به مامورین دستور داده می‌شود که از شدت عمل علیه خسارت دیدگان برحذر باشند.

> در ماه مه سال ۱۸۶۷ مطابق با اردیبهشت ۱۲۴۶ شمسی سیلاب مهمی بخشی از تهران را فرا می‌گیرد و بیش از ۱۲۰ خانه ویران و تعدادی تلف می‌شود، ۱۲۰ سال بعد یعنی در سال ۱۳۶۶ نیز شاهد سیلاب قابل توجهی در منطقه تجریش جاری شده است.

> برخی از سیلاب‌های استان خوزستان عبارتند از: زمستان سال ۱۲۴۸ تخریب شوش، بهار ۱۲۶۴ طغیان بزرگ کارون و شکست پل‌بند شوشتر و سیلاب دی‌ماه ۱۳۰۲ که در پی ۵ روز باران شدید موجب تخریب پل شوشتر می‌شود و در نتیجه بخشی از شهر غرقاب می‌شود و در اهواز ۲۰۰ خانه و مغازه تخریب می‌شود. با استناد به آمار یاد شده می‌توان گفت که این منطقه از پتاسیل بالای سیل‌خیزی برخوردار است، به‌نحوی که از نیمه دوم سده ۱۳ تا اوایل سده ۱۴ حدود ۹ مرتبه سیلاب‌های مخرب در آن جاری شده است.

> در زمستان ۱۰۵۷ شمسی شهر شیراز مورد هجوم سیلاب مخرب و سنگینی قرار گرفته است. در این زمان که سیلاب یک سوم شهر را فراگرفت، به علت تلفات سنگین، اپیدمی و بیماری‌های مترتب بر آن شهر حاکم شده و دامنه تلفات را گسترش می‌دهد. هم‌چنین شیراز در یک سده گذشته ۵ بار شاهد باران‌های سنگین و سیل‌آسا بوده است. شاید بتوان در همین ردیف، سیلاب‌های آذرماه ۱۳۶۵ را اضافه نمود.

در چند سال اخیر نیز به همت وزارت جهاد سازندگی در قالب «طرح جامع سیل‌خیزی - شناسایی و اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیز کشور» آمار مربوط به حوادث و خسارت سیلاب گردآوری شده است. این آمار برای سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۷۰ البته با دقت بیش‌تر از کارهای گذشته از مجاری مختلف (عمدتاً از طریق اخبار روزنامه‌ها) گردآوری شده و نتایج تحلیلی اولیه آن در سال ۱۳۷۴ منتشر گردیده است. با وجود این که در گزارش یاد شده اشاره‌ای به سال پایه برآورد هزینه‌ها نشده است، مع‌هذا تجزیه و تحلیل اعداد و ارقام یاد شده نشان می‌دهد که به احتمال زیاد تعیین سال پایه برای یکسان‌سازی هزینه‌ها سال ۱۳۷۰ بوده است.

تعداد ۱۸۹۰ سیل در چهار دهه (۱۳۷۰-۱۳۳۱) که کمی بیش‌تر از ۵۰ درصد آن در دهه ۶۰ به وقوع پیوسته از نتایج این مطالعات است. در جای دیگر آمار نشان می‌دهد که طی مدت مذکور ۶۲۵ شهر آسیب دیده که سهم دهه ۶۰ برابر با ۲۳۹ مورد بوده است.

برای دوره یاد شده مجموع خسارات سیلاب حدود ۱۲۵۰ میلیارد ریال برآورد گردیده که نزدیک به ۶۸ میلیارد ریال (۵۵ درصد) از آن در دهه آخر بوده است.

در جدول (۱-۱) توزیع وقایع و خسارات سیلاب به تفکیک استان‌ها و در جدول (۲-۱) اطلاعات مانند جدول (۱-۱) برای چهار دهه و بالاخره در جدول (۳-۱) توزیع درصدی خسارت طی مدت یاد شده برای انواع تالسیسات و دام آمده است.

جدول ۱-۱- توزیع رخ دادهای سیل برحسب استانها طی دوره ۱۳۳۱ تا ۱۳۷۰

(رتبه‌بندی برحسب تعداد سیل)

| ردیف | استان | تعداد شهر | تعداد سیل | میانگین تعداد سیل در ده سال | خسارات دوره ۴۰ ساله (به میلیارد ریال) |
|------|---------------------|-----------|-----------|-----------------------------|---------------------------------------|
| ۱ | خراسان | ۳۵ | ۳۰۰ | ۷۵ | ۱۶۶/۱ |
| ۲ | خوزستان | ۲۲ | ۱۳۴ | ۳۲/۵ | ۱۵۰/۷ |
| ۳ | مازندران | ۲۶ | ۱۲۷ | ۳۱/۸ | ۱۸/۴ |
| ۴ | کرمان | ۱۴ | ۱۱۷ | ۲۹/۳ | ۱۲۱/۷ |
| ۵ | تهران | ۱۱ | ۱۱۳ | ۲۸/۳ | ۳۰/۱ |
| ۶ | اصفهان | ۲۳ | ۹۶ | ۲۴ | ۸۷/۹ |
| ۷ | فارس | ۲۱ | ۹۱ | ۲۸ | ۱۱۸/۶ |
| ۸ | بوشهر | ۱۱ | ۸۷ | ۲۱/۸ | ۳۴/۳ |
| ۹ | لرستان | ۸ | ۸۲ | ۲۰/۵ | ۱۵ |
| ۱۰ | همدان | ۶ | ۸۱ | ۲۰/۳ | ۲۱/۲ |
| ۱۱ | آذربایجان شرقی | ۱۰ | ۷۹ | ۱۹/۸ | ۴۸/۳ |
| ۱۲ | آذربایجان غربی | ۱۳ | ۷۶ | ۱۹ | ۵۴/۸ |
| ۱۳ | سیستان و بلوچستان | ۹ | ۶۶ | ۱۶/۵ | ۱۶۳/۴ |
| ۱۴ | سمنان | ۶ | ۶۶ | ۱۶/۵ | ۴۳ |
| ۱۵ | گیلان | ۱۵ | ۵۷ | ۱۴/۳ | ۱۰/۸ |
| ۱۶ | کهگیلویه و بویراحمد | ۴ | ۵۰ | ۱۲/۵ | ۳۱/۵ |
| ۱۷ | کردستان | ۶ | ۳۷ | ۹/۳ | ۲/۲ |
| ۱۸ | یزد | ۶ | ۳۷ | ۹/۳ | ۱۷/۴ |
| ۱۹ | مرکزی | ۵ | ۳۵ | ۸/۸ | ۱۷/۲ |
| ۲۰ | هرمزگان | ۴ | ۳۳ | ۸/۳ | ۳/۴ |
| ۲۱ | ایلام | ۷ | ۳۳ | ۸/۳ | ۱۰/۹ |
| ۲۲ | زنجان | ۴ | ۲۹ | ۷/۳ | ۴/۵ |
| ۲۳ | اردبیل | ۴ | ۲۶ | ۶/۵ | ۵/۵ |
| ۲۴ | کرمانشاه | ۸ | ۲۱ | ۵/۳ | ۴۲/۵ |
| ۲۵ | چهارمحال و بختیاری | ۳ | ۱۷ | ۴/۳ | ۳۱/۱ |
| جمع | | ۲۸۱ | ۱۸۹۰ | | ۱۲۵۰/۵ |

جدول ۱-۲- توزیع رخ دادهای و خسارت سیل در دوره (۱۳۳۱ تا ۱۳۷۰)

| دهه | رخ دادهای | | شهرهای آسیب دیده | | خسارات | |
|---------|-----------|------|------------------|------|--------------|------|
| | تعداد | درصد | تعداد | درصد | میلیارد ریال | درصد |
| ۱۳۳۱-۴۰ | ۱۹۱ | ۱۰/۱ | ۱۰۱ | ۱۶ | ۱۳۵/۰۵ | ۱۰/۸ |
| ۱۳۴۱-۵۰ | ۲۵۱ | ۱۳/۳ | ۱۳۱ | ۲۱ | ۱۴۸/۸۱ | ۱۱/۹ |
| ۱۳۵۱-۶۰ | ۴۴۰ | ۲۳/۳ | ۱۵۴ | ۲۵ | ۲۷۵/۱۱ | ۲۲ |
| ۱۳۶۱-۷۰ | ۱۰۰۸ | ۵۳/۳ | ۲۳۹ | ۳۸ | ۶۹۱/۵۳ | ۵۵/۳ |
| جمع | ۱۸۹۰ | ۱۰۰ | - | - | ۱۲۵۰/۵ | ۱۰۰ |

جدول ۱-۳- درصد زیان‌های مالی سیل به تفکیک نوع زیان‌ها

| نوع خسارات | خانه | دام | مزرعه | پل | راه | قنات | جمع |
|------------|------|-----|-------|-----|------|------|-----|
| درصد | ۴۲/۸ | ۱/۵ | ۳۰/۶ | ۲/۱ | ۱۷/۶ | ۵/۴ | ۱۰۰ |

آخرین کار در این زمینه، مشترکا توسط دفتر مطالعات و هماهنگی امور ایمنی و بازسازی وزارت کشور و برنامه عمران ملل متحد انجام گرفته است. این کار در قالب طرح ملی آمادگی و کنترل سوانح طبیعی در دانشکده محیط‌زیست دانشگاه تهران به صورت یک پروژه به مدیریت محمد مهدوی انجام گرفته و گزارش مرحله اول آن به عنوان «مدیریت سیلاب» در سال ۱۳۷۸ منتشر شده است.

در این گزارش آمار تعداد و خسارت سیل از جهات مختلف برای دوره ۲۵ ساله، ۱۳۵۰ تا ۱۳۷۵ بررسی و تجزیه و تحلیل گردیده است. طبق گفته بررسی‌کننده، منابع آماری و اطلاعاتی تحقیق عبارتند از: ستاد حوادث غیرمترقبه وزارت کشور و واحدهای تابعه در استان‌ها، فرمانداری‌ها، جمعیت هلال احمر، کمیته امداد امام خمینی، شهرداری تهران، وزارت نیرو، بانک مرکزی و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، معاونت آبخیزداری جهاد سازندگی و روزنامه اطلاعات

در این تحقیق خسارات برآورد شده طی ۲۵ سال با توجه به درصد تورم اعلام شده توسط بانک مرکزی، به ارزش پولی سال ۱۳۷۵ تعدیل گردیده است. به عبارت دیگر سال ۱۳۷۵، سال پایه مقایسه می‌باشد. درحالی‌که سیلاب‌های رخ داده براساس میزان خسارت وارده به چهار گروه، خیلی مهم، مهم، متوسط و عادی تقسیم شده، آمار سیل‌های به وقوع پیوسته به تفکیک تاریخ رخداد، شهرستان و تعداد سیل‌ها و خسارت ناشی از آن‌ها در جداول جداگانه ارائه شده است.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که تعداد سیل‌های رخ داده در مدت ۲۵ سال در سطح کشور ۹۶۷ مورد بوده است. به عبارت دیگر سالانه حدود ۳۹ مورد سیل در نقاط مختلف مملکت رخ داده است. از این تعداد، ۱۲ درصد سیل‌های خیلی مهم، ۱۳ درصد مهم و ۲۰ و ۵۵ درصد به ترتیب با همیت متوسط و عادی بوده است. همچنین آمار حاکی از آن است که در بین ۲۸ استان کشور، استان خراسان با ۱۲۵ سیل (۵ رخداد در سال) در رتبه اول تعداد سیل‌های جاری شده قرار دارد و استان‌های خوزستان با ۱۱۷ مورد (۴/۷ رخداد در سال) و فارس ۵۹ مورد (۲/۴ رخداد در سال) به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارد. در همان دوره استان قم با تعداد ۲ رخداد سیل آخرین رتبه را به خود اختصاص داده است. در جدول (۱-۴) تعداد و رتبه استان‌های کشور برای دوره ۲۵ ساله مورد مطالعه آمده است.

جدول ۱-۴- تعداد و خسارات سیل در دوره ۲۵ ساله (۱۳۵۱ تا ۱۳۷۵)

| ردیف | نام استان | رخداد سیل | | تعداد تلفات (نفر) | خسارت مالی | |
|------|----------------|-----------|----------|-------------------|--------------|------|
| | | تعداد | رتبه (۱) | | میلیارد ریال | رتبه |
| ۱ | آذربایجان شرقی | ۲۸ | ۱۲ | ۳۹ | ۳۳/۸۸ | ۱۹ |
| ۲ | آذربایجان غربی | ۴۶ | ۸ | ۱۷ | ۲۵/۶۱ | ۲۱ |
| ۳ | اردبیل | ۱۷ | ۲۲ | ۴ | ۶۱/۱۳ | ۱۸ |
| ۴ | اصفهان | ۳۳ | ۹ | ۱۲ | ۵/۸۲ | ۲۵ |

ادامه جدول ۱-۴- تعداد و خسارات سیل در دوره ۲۵ ساله (۱۳۵۱ تا ۱۳۷۵)

| ردیف | نام استان | رخداد سیل | | تعداد تلفات (نفر) | خسارت مالی | |
|------|---------------------------|-----------|----------|-------------------|--------------|------|
| | | تعداد | رتبه (۱) | | میلیارد ریال | رتبه |
| ۵ | ایلام | ۱۳ | ۲۴ | ۱۴ | ۲۸/۰۰۷ | ۲۰ |
| ۶ | بوشهر | ۴۸ | ۷ | ۲۲۹ | ۶۴۵/۶۹ | ۷ |
| ۷ | تهران | ۲۸ | ۱۱ | ۳۹۸ | ۸۳۳/۱۴۳ | ۵ |
| ۸ | چهارمحال بختیاری | ۱۸ | ۲۰ | ۱۱ | ۱۵/۳۷ | ۲۲ |
| ۹ | خراسان | ۱۲۵ | ۱ | ۲۶۸ | ۷۰۲/۴۰۷ | ۶ |
| ۱۰ | خوزستان | ۱۱۷ | ۲ | ۱۱۹ | ۱۳۴۵/۱۱ | ۱ |
| ۱۱ | زنجان | ۷ | ۲۶ | ۸ | ۰/۹۵ | ۲۷ |
| ۱۲ | سمنان | ۲۴ | ۱۷ | ۳۳ | ۶۹/۶۱۷ | ۱۶ |
| ۱۳ | سیستان و بلوچستان | ۵۵ | ۵ | ۳۷۲ | ۱۲۴۷/۷۲۵ | ۳ |
| ۱۴ | فارس | ۵۹ | ۴ | ۱۷۲ | ۱۳۰۰/۱۶ | ۲ |
| ۱۵ | قزوین | ۸ | ۲۵ | - | ۱۱/۳۳ | ۲۳ |
| ۱۶ | قم | ۲ | ۲۸ | - | ۰/۱۵ | ۲۸ |
| ۱۷ | کردستان | ۶ | ۲۷ | ۴ | ۳/۵ | ۲۶ |
| ۱۸ | کرمان | ۷۲ | ۳ | ۲۸ | ۴۱۸/۳۳ | ۹ |
| ۱۹ | کرمانشاه | ۱۶ | ۲۳ | - | ۹/۰۵ | ۲۴ |
| ۲۰ | کهگیلویه و بویراحمد | ۱۷ | ۲۱ | ۶ | ۶۹/۹۷ | ۱۵ |
| ۲۱ | گلستان | ۲۶ | ۱۵ | ۴ | ۱۷۹/۷ | ۱۰ |
| ۲۲ | گیلان | ۵۲ | ۶ | ۴ | ۱۱۳/۳۷۵ | ۱۳ |
| ۲۳ | لرستان | ۳۰ | ۱۰ | ۵۷ | ۱۷۱/۷۳ | ۱۱ |
| ۲۴ | مازندران | ۲۶ | ۱۴ | ۲۷ | ۱۴۴/۷۳ | ۱۲ |
| ۲۵ | مرکزی | ۲۰ | ۱۹ | ۱۵ | ۱۱۲/۶۱ | ۱۴ |
| ۲۶ | هرمزگان | ۲۱ | ۱۸ | ۱۶ | ۱۰۶۲/۷۳۸ | ۴ |
| ۲۷ | همدان | ۲۷ | ۱۳ | ۲۰ | ۴۸۳/۲۲ | ۸ |
| ۲۸ | یزد | ۲۶ | ۱۶ | ۵ | ۶۷/۱۴ | ۱۷ |
| ۲۹ | کشور ایران در ۲۵ سال | ۹۶۷ | - | ۱۸۸۲ | ۹۱۶۲/۴۲۲ | - |
| ۳۰ | کشور ایران (متوسط سالانه) | ۳۸/۶۸ | - | ۷۵/۲۸ | ۳۶۶/۵ | - |

(۱) رتبه استان‌هایی که تعداد سیل‌ها در آن‌ها برابر بوده، با توجه به اهمیت سیل‌های جاری شده انتخاب شده است.

در همان جدول میزان خسارات ملموس وارده طی دوره ۲۵ سال به تفکیک استان‌ها آمده است. بررسی جدول نشان

می‌دهد که:

> مجموع خسارات اقتصادی در ۲۵ سال بالغ بر ۹۱۶۲ میلیارد ریال می‌باشد. به عبارت دیگر جاری شدن

سیلاب، سالانه ۳۶۶/۵ میلیارد ریال خسارت وارد می‌کند.

> در بین استان‌های کشور استان خوزستان با ۱۳۴۵ میلیارد ریال در رتبه اول خسارت وارده و استان‌های فارس

و سیستان با ۱۳۰۰ و ۱۲۴۸ میلیارد ریال به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند.

> کم‌ترین خسارت به استان قم وارد شده که مقدار آن ۰/۱۵ میلیارد ریال بوده است.

> حدود ۵۴ درصد کل خسارات وارده به چهار استان خوزستان، فارس، سیستان و بلوچستان تعلق دارد. و با اضافه‌شدن سه استان تهران، خراسان و بوشهر میزان خسارت به ۷۸ درصد کل آن می‌رسد. جالب این‌جاست که با اضافه‌شدن دو استان همدان و کرمان میزان خسارت بالغ بر ۸۸ درصد کل آن خواهد شد. به عبارت دیگر تنها ۹ استان از ۲۸ کشور، نزدیک به ۸۸ درصد یعنی ۷۳۳۰ میلیارد ریال از خسارت را به خود اختصاص می‌دهد.

در گزارش یاد شده آمده است که تعداد تلفات انسانی در دوره مورد نظر حداقل ۱۸۸۲ نفر بوده است که سالانه به بیش از ۷۵ نفر می‌رسد. از نظر تلفات انسانی به ثبت رسیده، استان تهران با ۳۹۹ نفر، مقام اول را در کشور دارا می‌باشد که مهم‌ترین بخش آن، مربوط به سیل مرداد ماه ۱۳۶۶ تجریش می‌باشد. استان سیستان و بلوچستان با ۳۷۲ نفر و خراسان با ۲۶۸ نفر در رده‌های دوم و سوم قرار دارند.

در یک گزارش دیگر که اخیراً با عنوان «گزارش بررسی سیل در کشور» توسط دفتر مهندسی رودخانه و سواحل و کنترل سیلاب شرکت مدیریت منابع آب ایران منتشر شده است مجموع خسارات سیل در دهه ۱۳۸۰-۱۳۳۱ برابر با ۳۰۸۸۰ میلیارد ریال برآورد شده است. با وجود این‌که در گزارش مذکور به سال پایه برآورد هزینه‌ها اشاره نشده است مع‌هذا بررسی اعداد و ارقام حاکی از آن است که به احتمال زیاد سال پایه سال ۱۳۸۰ می‌باشد. در جدول ۱-۵ توزیع خسارات سیل برحسب دهه‌های مختلف از همان مرجع آمده است.

جدول ۱-۵- توزیع خسارت سیل در دوره ۵۰ ساله (۱۳۸۰ تا ۱۳۳۱)

| دوره | ۱۳۳۱-۴۰ | ۱۳۴۱-۵۰ | ۱۳۵۱-۶۰ | ۱۳۶۱-۷۰ | ۱۳۷۱-۸۰ |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| خسارت سالانه (میلیارد ریال) | ۱۲۰ | ۱۴۸ | ۴۴۰ | ۸۸۰ | ۱۵۰۰ |

سیل مرداد ۱۳۸۰ استان گلستان: از آنجا که سیلاب استان گلستان یکی از سیلاب‌های مهم از جنبه‌های مختلف از جمله خسارت است، لذا در این‌جا به اجمال به آن پرداخته شده است. این سیلاب به دنبال بارندگی بی‌سابقه در تاریخ‌های نوزدهم و بیستم مردادماه ۱۳۸۰ در حوضه آبریز رودخانه گرگان‌رود در سطح حدود ۵۰۰۰ کیلومترمربع جاری شد.

طبق اطلاعات ثبت شده بارندگی عصر جمعه ۱۹ مرداد شروع و با تداوم حدود ۱۲ ساعت در صبح روز شنبه ۲۰ مرداد به پایان رسید. شدت بارندگی در مناطق و زیرحوضه‌های مختلف حوضه آبریز متفاوت بوده و از کمینه ۲۱ میلی‌متر در ایستگاه گالیکش (دوره برگشت ۲ ساله) تا بیشینه ۴۵ میلی‌متر (PMP) در ایستگاه جنگل گلستان متغیر بوده است. براساس تحلیل‌های به‌عمل آمده بارندگی در ایستگاه جنگل گلستان در ابعاد بیشینه بارش متحمل (PMP) بوده است.

شدت سیلاب به عبارت دیگر بده ویژه سیلاب نیز به تبع تغییرات بارندگی از ایستگاهی به ایستگاه دیگر متغیر بوده است. به گونه‌ای که بیشینه آبدهی در تنگراه ۱۶۵۰ مترمکعب بر ثانیه و در محل سد گلستان ۱۸۲ و ۴۹۹ مترمکعب در ثانیه ثبت شده است. نکته حایز اهمیت این است که درحالی‌که مقدار بیشینه سیلاب متحمل (PMF) برای محل سد در مطالعات برابر با ۲۳۸۹ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده، مقدار سیلاب ورودی به سد ۳۰۱۷ مترمکعب در ثانیه بوده است.

طبق گزارش‌های موجود تعداد تلفات سیلاب یاد شده، ۲۰۰ نفر و میزان خسارت مستقیم و ملموس (احتمالا) آن حدود ۵۰۰ میلیارد ریال ثبت و برآورد شده است. ضمن آن‌که از تعداد آسیب‌دیدگان آماری در دسترس نیست.

سیلاب مرداد ماه ۱۳۸۰ گلستان به لحاظ شدت سیلاب، بزرگ‌ترین سیلاب مشاهده شده در کشور و احتمالا در زمره معدود سیلاب‌های جاری شده در دنیا از این دیدگاه است. این سیلاب از نظر خسارت وارده نیز در بین سیلاب‌های رخ داده و خسارات ثبت شده، تنها با خسارات سیلاب مرداده ماه ۱۳۶۶ تجریش قابل مقایسه است. خسارت سیلاب اخیر در گزارش مدیریت سیلاب، دفتر مطالعات و هماهنگی امور ایمنی و بازسازی، وزارت کشور برپایه نرخ‌های سال ۱۳۷۵ برابر با ۷۵۸ میلیارد ریال ذکر شده است. ضمن آن‌که تلفات انسانی آن نیز ۳۰۰ نفر گزارش شده است.

۱-۲- مرور سیلاب‌ها و خسارت آن در جهان

به استناد آمار موجود می‌توان گفت که کم‌تر نقطه‌ای از دنیا وجود دارد که از صدمات و خسارات اجتماعی و اقتصادی و زیست‌محیطی حداقل یک بلیه طبیعی در امان باشد. به عبارت دیگر هر نقطه از دنیا در معرض یکی یا چند تا از رخدادهای طبیعی خطرآفرین قرار دارد. در بین بلایای طبیعی سیل، زلزله و خشکسالی از جنبه‌های مختلف از جمله گستردگی، تعداد وقوع و میزان خسارت بیش‌تر از سایرین اهمیت دارند. هم‌چنین آمار نشان می‌دهد که گسترش و بسامد سیل بیش‌تر از دو رخداد دیگر می‌باشد.

آمار حاکی از آن است که گسترش جاری شدن سیلاب تقریبا جهانگیر می‌باشد. با این توضیح که در بخش‌هایی از دنیا از جمله آسیا و اقیانوسیه و آمریکا شدت و حدت آن بیش‌تر است.

برآوردهای موجود حاکی از آن است که خسارات اقتصادی ناشی از رخدادهای طبیعی زیان‌بار سالانه نزدیک به ۵۰ میلیارد دلار می‌رسد. در حالی میانگین خسارات مالی در دهه ۱۹۶۰ سالانه نزدیک ۵ میلیارد دلار بوده، مقدار آن در اواخر قرن گذشته به حدود ۴۰ میلیارد دلار رسیده است. در جدول (۱-۶) حوادث طبیعی خیلی مهم دنیا در دهه ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۸ آمده است. ملاحظه می‌شود که از ۱۲ رخداد یاد شده ۳ مورد مستقیما به جاری شدن سیلاب در رودخانه‌ها و ۴ مورد دیگر به طوفان دریایی مربوط می‌شود که سیلاب ساحلی از آن ناشی می‌شود.

جدول ۱-۶- حوادث طبیعی مهم دنیا در دوره ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۸

| تاریخ | سال | رخداد | محل | تعداد مرگ و میر | خسارات (میلیارد دلار) |
|-------------|------|----------|---------------|-----------------|--------------------------|
| ۲۱ جون | ۱۹۹۰ | زلزله | ایران | ۴۰۰۰ | ۷ |
| ۷ دسامبر | ۱۹۸۸ | زلزله | ارمنستان | ۲۵۰۰۰ | ۱۴ |
| اکتبر | ۱۹۹۸ | هریکن | آمریکای مرکزی | ۲۱۰۰۰ | ۴ |
| ژانویه | ۱۹۹۵ | زلزله | کوبه - ژاپن | ۶۳۰۰ | ۵۰ |
| جولای - اوت | ۱۹۹۸ | سیلاب‌ها | چین | ۴۱۵۰ | ۳۰ |

ادامه جدول ۱-۶- حوادث طبیعی مهم دنیا در دوره ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۸

| تاریخ | سال | رخداد | محل | تعداد مرگ و میر | خسارات (میلیارد دلار) |
|------------------|------|------------------|--------|-----------------|--------------------------|
| تابستان | ۱۹۹۱ | سیلاب‌ها | چین | ۳۰۷۴ | ۱۵ |
| ژانویه - فوریه | ۱۹۹۰ | زمستانی | اروپا | ۲۳۰ | ۱۵ |
| ۲۳ تا ۲۶ اوت | ۱۹۹۲ | هریکن | آمریکا | ۷۴ | ۳۰ |
| ۲۷ تا ۲۸ سپتامبر | ۱۹۹۱ | تایفون | ژاپن | ۶۲ | ۶ |
| سپتامبر | ۱۹۸۹ | هریکن | آمریکا | ۶۱ | ۹ |
| ۱۷ ژانویه | ۱۹۹۴ | زلزله - لس آنجلس | آمریکا | ۵۹ | ۱۳ |
| جولای - اوت | ۱۹۹۳ | سیلاب | آمریکا | ۳۸ | ۱۵/۶ |
| جمع | | | | | ۲۰۸/۶ |

موارد زیر نمونه‌هایی از سیل‌های بزرگ دنیا در دوره میانی قرن بیستم است:

> سیلاب ۱۹۳۲ کشور هلند که تلفات آن بیش از ۱۰۰۰۰ نفر ذکر شده، یکی از فاجعه‌آمیزترین سیلاب‌های قاره اروپا است. در همان موقع در اثر طغیان رودخانه آنور در فیرنگوی ایتالیا خسارات غیرقابل جبرانی به آثار تاریخی آن کشور وارد شد.

> شدیدترین سیلاب ناشی از بارندگی‌های چرخه‌ای در سده حاضر در سال ۱۹۵۴ در کانادا اتفاق افتاد. در اکتبر این سال در اثر وقوع هریکن که ایالت انتاریو کانادا و ایالت نیویورک آمریکا را فراگرفت، سیلاب حاصل به صورت یک فاجعه در آمد.

> سیل ۱۹۵۴ هندوستان در اثر بارندگی ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر باران در سطح ۶۷۰۰۰ کیلومترمربع در شمال شرق آن کشور اتفاق افتاد. در این واقعه حدود ۹/۵ میلیون نفر به نوعی آسیب دیدند و ۲۴۷ نفر نیز جان باختند. مساحت اراضی زراعی آسیب دیده در سیل یاد شده نزدیک به ۵/۵ میلیون هکتار برآورد گردیده است.

> نمونه بارز سیلاب‌های ناشی از ترکیب بارندگی‌های چرخه‌ای و ذوب برف، سیل ۱۹۶۵ رودخانه دانوب و سیل ۱۹۷۰ رودخانه تیزا در اروپا می‌باشد.

> سیل تابستان ۱۹۶۶ نمونه بارزی از سیل‌های ناشی از رگبارهای شدید در برزیل می‌باشد. این سیل در شرق برزیل به‌ویژه در مناطق ریودوژانیرو و آراسس گسترش یافت و در اثر زمین‌لغزه‌های ناشی از بارندگی و سیل، تعداد زیادی کشته شدند و شبکه زهکشی شهر از کار افتاد.

نه تنها آمار دقیق بلکه حتی برآوردی از کل خسارات سیل در دسترس نیست. اطلاعات و آمار خسارات سیل برای چند دهه گذشته تنها برای سیلاب‌های خیلی بزرگ و در ابعاد فاجعه‌آمیز کم و بیش در دسترس است. برای سیلاب‌های متوسط، حتی بزرگ تنها احتمالاً در معدودی از کشورها آن هم توسعه یافته آمار وجود دارد. آمار تدوین شده و در دسترس برای تقریباً کلیه سیلاب‌ها در چند دهه اخیر، تنها از کشور ایالات متحده آمریکا می‌باشد که در انتهای این مطلب به اجمال به آن پرداخته خواهد شد.

جدول (۷-۱) سیلاب‌های مهم دنیا برای یک دوره یازده ساله ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود تعداد سیلاب‌های مهم در این دوره ۱۹ مورد و میزان مرگ و میر آن ۱۹۷۱۴ نفر و میزان خسارات آن‌ها نزدیک به ۱۰۰ میلیارد دلار و سالانه حدود ۹ میلیارد دلار است.

در یک بررسی دیگر میانگین سالانه خسارت مالی سیل برای چندین کشور توسعه یافته و در حال توسعه که آمار آن‌ها در دسترس بوده محاسبه شده است. نتایج این بررسی در جدول (۸-۱) منعکس شده است. مشاهده می‌شود بیش‌ترین خسارت سالانه به کشور ژاپن با میانگین ۷۲۰۰ میلیون دلار در سال و کم‌ترین آن به کشورهای فرانسه، برزیل، سوئد، با کم‌تر از ۱۰ میلیون دلار در سال تعلق دارد. ضمن آن‌که کشور آمریکا در رتبه دوم خسارت و با کم‌تر از نصف رتبه اول و با مقدار ۳۴۰۰ میلیارد دلار در سال قرار دارد.

جدول ۷-۱- سیلاب‌های مهم در دوره ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶

| سال | تعداد سیلاب | تعداد مرگ و میر | خسارات اقتصادی (میلیون دلار) |
|--------|-------------|-----------------|---------------------------------|
| ۱۹۸۶ | ۲ | ۴۶۸۴ | ۴۱۳۵ |
| ۱۹۸۷ | ۶ | ۲۲۴۱ | ۵۹۳۲ |
| ۱۹۸۸ | ۱ | ۳۰۰۰ | ۱۶۹۵ |
| ۱۹۸۹ | ۱ | ۱۲۰ | ۵۰۹ |
| ۱۹۹۰ | - | ۰ | ۰ |
| ۱۹۹۱ | ۱ | ۳۰۷۴ | ۱۸۴۲۶ |
| ۱۹۹۲ | ۱ | ۲۰۰۰ | ۱۱۷۹ |
| ۱۹۹۳ | ۳ | ۶۵ | ۲۲۰۶۲ |
| ۱۹۹۴ | ۲ | ۱۹۱۰ | ۱۷۹۵۵ |
| ۱۹۹۵ | ۱ | ۲۸ | ۳۶۷۵ |
| ۱۹۹۶ | ۱ | ۲۷۰۰ | ۲۴۰۰۰ |
| کل | ۱۹ | ۱۹۷۱۴ | ۹۹۵۶۸ |
| در سال | ۱/۷ | ۱۷۹۴ | ۹۰۵۲ |

جدول ۸-۱- میانگین سالانه خسارات سیلاب در تعدادی از کشورها

| نام کشور | خسارت در سال (میلیون دلار) |
|--|----------------------------|
| برزیل، فرانسه، ایرلند، سوئد، افریقای جنوبی | کم‌تر از ۱۰ |
| نروژ | ۲۷ |
| آرژانتین | ۳۰ |
| کانادا | ۱۰۰ |
| بنگلادش | ۱۳۵ |
| هلند | ۱۵۰ |
| هندوستان | ۲۴۰ |
| استرالیا | ۳۲۰ |
| روسیه | ۳۸۰ |
| کره | ۵۰۰ |

ادامه جدول ۱-۸- میانگین سالانه خسارات سیلاب در تعدادی از کشورها

| نام کشور | خسارت در سال (میلیون دلار) |
|---------------------|----------------------------|
| اسپانیا | ۶۰۰ |
| ایتالیا | ۸۰۰ |
| چین | ۳۰۰۰ |
| ایالات متحده آمریکا | ۳۴۰۰ |
| ژاپن | ۷۲۰۰ |

آمارهای منتشر شده توسط سازمان ملل متحده نشان می‌دهد در یک دوره ۲۵ ساله (۱۹۶۷-۱۹۹۱) در کل دنیا ۱۳۵۸ سیل مهم اتفاق افتاده است. این تعداد رخداد سیل ۱۳/۵ درصد کل رخدادهای خطرناک دنیا را تشکیل می‌دهد. همان مرجع تعداد کشته‌شدگان سیل‌های دوره یاد شده را ۳۰۵ هزار نفر و تعداد مجروحین را بیش از ۲۶۶ هزار نفر قید کرده است. ضمن آن که آسیب‌دیدگان ناشی از سیل ۱/۰۶ میلیارد نفر برآورد شده است.

همان بررسی نشان می‌دهد که نزدیک به ۴۲ درصد سیلاب‌ها در قاره آسیا اتفاق افتاده است و همان قاره با ۴۳ درصد تلفات و ۶۸ درصد مجروحین و ۸۵ درصد آسیب‌دیدگان مقام اول را به خود اختصاص داده است.

خسارت سیل در ایالت متحده آمریکا: این مطلب بدان جهت در این راهنما آمده که تصویری هر چند کلی از چند و چون خسارت سیل در توسعه یافته‌ترین و ثروتمندترین کشور دنیا که در عین حال یکی از سیل‌خیزترین کشورها بوده و از آسیب‌ها و صدمات اجتماعی، اقتصادی جاری شدن سیل به گونه‌های مختلف، در امان نیست، ارائه شود. ضمن آن که در این کشور با توجه به توسعه‌یافتگی‌اش، همانند خیلی از مباحث علمی، اجتماعی و اقتصادی و ... موضوع سیلاب و رخداد و پی‌آمدهای آن از جنبه‌های مختلف مورد توجه بوده و احتمالاً بیش‌تر از هر کشور دیگر به آن پرداخته شده و به تبع آن اطلاعات، آمار، منابع و مراجع بیش‌تری وجود دارد.

سابقه آمار خسارت ثبت شده در این کشور به اوایل قرن بیستم می‌رسد. این گونه آمار در آمریکا نیز همانند غالب کشورها توسط سازمان‌ها و نهادهای مختلف ثبت و ضبط می‌شود. با وجود این، اولین بار گردآوری و تجزیه و تحلیل آمار خسارت در سطح ملی توسط مرکز اطلاعات هیدرولوژیک، سرویس ملی آب و هوا^۱ انجام گرفته است. این سازمان آمار خسارات سیلاب را برای دوره ۱۹۰۳ تا ۱۹۹۹ گردآوری و تدوین کرده است و اخیراً در گزارشی تحت عنوان «گردآوری و تدوین آمار خسارت سیلاب»^۲ منتشر کرده است.

این گزارش نشان می‌دهد که مجموع خسارت سیلاب در دوره ۹۷ ساله یاد شده براساس ارزش دلار سال ۱۹۹۹ برابر با حدود ۳۰۰ میلیارد دلار است، که از کمینه ۰/۰۲۶ میلیارد در سال (۱۹۰۶) تا بیشینه ۱۹/۴۵۲ میلیارد دلار در سال (۱۹۹۳) تغییر کرده است. میانگین خسارت سالانه نیز ۳/۱ میلیارد دلار در سال است.

به منظور آگاهی بیش‌تر از وضعیت خسارت سیلاب به‌ویژه مشکلات و پیچیدگی برآوردها و گردآوری و تدوین که نشان دهند دقت آمار نیز است فرازهایی از گزارش پیش گفته در زیر آمده است.

1- Hydrologic Information Center, National Weather Service, USA.

2- Flood Losses-Compilation of flood loss statistics.

> ارقام خسارت سیلاب را که در این جا ارائه می شود، باید خیلی تقریبی دانست. در ایالات متحده آمریکا، سازمان واحدی که مسوولیت ویژه گردآوری و ارزیابی تحلیلی آمار خسارت سیلاب را داشته باشد، وجود ندارد.

> سرویس ملی آب و هوا، از طریق دفاتر خود برای سیلاب های مهم برآوردهایی از خسارت ارائه می کند. لیکن این کار در مقایسه با ماموریت اصلی این سازمان که پیش بینی و هشدار رخداد های آب و هوایی است، نقشی فرعی محسوب می شود.

> این خسارات شامل خسارات ناشی از وزش باد و موج حاصل از طوفان دریایی مانند سیلاب های ساحلی (موج های طوفان دریایی) نیست. به عبارت دیگر این خسارات صرفا متعلق به سیلاب های ناشی از بارندگی و یا ذوب برف است.

> ساختار اجتماعی نیز تا حدود برآوردهای نا دقیق را دیکته می کند. غالب خسارت های ایالتی و شهری خود بیمه اند.

> برآورد خسارت به طرق مختلف گزارش می شود. در سطح ایالت یا بخش ممکن است که رقم مرجع وجود داشته باشد. برحسب این که خسارت توسط چه کسی برآورد می شود، ممکن است به طور کامل کلیه خسارات در آن ها ملحوظ نشده باشد.

> قطعا هزینه سرمایه ای تعمیر یا جایگزینی پلی را که آب برده، به سهولت قابل برآورد است. اما، اگر وقوع سیلاب شخص کشاورزی را از کشت و کار باز دارد، مقدار خسارت یا ضرر و زیان چقدر است؟

> اگر کشاورزی به خاطر وقوع سیل مجبور شده باشد که کشت و کار خود را به تاخیر بیندازد و به علت کوتاه شدن فصل رشد، محصول کمتری برداشت نماید و یا این که ناچارا محصول کم درآمدهتری بکارد، این ضررها چگونه محاسبه می گردد.

پیشنهاد می شود به گزارش دیگری که در این زمینه اخیرا منتشر شده مراجعه شود. این گزارش با عنوان «خسارات سیلاب در ایالات متحده آمریکا ۲۰۰۰-۱۹۲۶، تجزیه و تحلیل مجدد برآوردهای موسسه ملی هواشناسی» سه سال بعد از گزارش اول توسط گروه ارزیابی زیست محیطی و اجتماعی، مرکز ملی پژوهش نیواری تهیه و تدوین شده است.^۱

فصل ۲

مبانی هیدرولوژی سیلاب

۲-۱- منشأ و انواع سیلاب‌ها

۲-۱-۱- منشأ سیلاب‌ها

جاری شدن سیل در رودخانه‌ها و سیلاب‌دشت‌ها عموماً ناشی از عوامل طبیعی مختلف می‌باشد. بارش باران شدید و کوتاه‌مدت یا ضعیف و بلندمدت، ذوب برف یا ترکیب باران و ذوب برف و بالاخره در مناطقی فشرده شدن یخ‌های شکسته از عوامل اصلی ایجاد سیل می‌باشند. دیگر رخدادهایی که می‌توانند به نوعی در ایجاد سیل موثر واقع شده یا موجب تشدید آن بشود عبارتند از: زمین‌لرزه، زمین‌لغزه و طوفان‌های دریایی. عوامل غیر طبیعی همانند شکست (خرابی) سد، دیوارهای سیل‌بند و برخی سازه‌های رودخانه‌ای از جمله عوامل ایجاد یا تشدید سیل می‌باشند.

به‌طور طبیعی سیلاب‌های ناشی از باران در مناطق گرم و معتدل و سیلاب‌های ناشی از ذوب برف در مناطق معتدل و سرد یا در رودخانه‌هایی که بخش‌هایی از حوضه آبریز آن‌ها در چنین مناطقی قرار دارد، ایجاد می‌شوند. سیلاب‌های ناشی از ترکیب باران و ذوب برف نیز در رودخانه‌هایی ایجاد می‌شوند که حداقل بخش قابل توجهی از سطح حوضه آبریز رودخانه در منطقه برفی واقع شده باشد.

سیلاب‌هایی که در ایران اتفاق می‌افتد به طور کلی به سه نوع، سیلاب‌های ناشی از انواع باران‌ها، ترکیب ذوب برف و باران و در مواقعی تنها ذوب برف تعلق دارند. در نواحی گرم و خشک ایران از جمله مناطق جنوبی، شرقی، جنوب شرقی و مرکزی سیلاب‌های ناشی از باران به‌ویژه باران‌های شدید و کوتاه‌مدت، نوع غالب سیلاب‌ها را تشکیل می‌دهند. در بخش‌هایی از این مناطق، سیلاب‌های ناشی از باران‌های موسمی^۱ نیز دیده می‌شود. در مناطق معتدل و سرد کشور از جمله شمال و شمال غربی و بخش وسیعی از غرب، سیلاب‌های ناشی از باران یا ترکیب ذوب برف و باران وجه غالب سیلاب‌ها می‌باشند.

۲-۱-۲- انواع سیلاب‌ها

با توجه به منشأ سیلاب‌ها، انواع آن‌ها به چهار گروه اصلی که در زیر تعریف شده‌اند، تقسیم می‌شوند. روشن است که این نوع طبقه‌بندی، به دلیل امکان تعریف هر سیل با مشخصه‌های معین، روش فراساده^۲ شده، می‌باشد. چرا که در طبیعت امکان ایجاد یک سیلاب تنها به یک علت به ندرت وجود داشته و در عمل عوامل متعددی باعث بوجود آمدن یک سیلاب می‌باشد.

۲-۱-۲-۱- سیلاب‌های ناشی از رگبار چرخه‌ای^۳

اندازه و گسترش این نوع سیلاب با توجه به طبیعت رگبار مولد آن، متغیر می‌باشد. باران‌هایی که منجر به این‌گونه سیلاب‌ها می‌شوند نسبت به باران‌های همرفت دارای تداوم و گسترش زیاد بوده ولی در مقایسه شدت آن‌ها کم می‌باشد.

1- Monsoon

2- Oversimplified

3- Cyclonic Storm Floods

در نتیجه این نوع سیلاب‌ها مساحت زیادی از یک حوضه آبریز را در برمی‌گیرند، لیکن تراز سطح آب سیلاب به تدریج افزایش پیدا می‌کند.

۲-۲-۱-۲- سیلاب‌های ناشی از رگبار همرفت^۱

این‌گونه سیلاب‌ها در اثر رگبارهای محلی شدید که ناشی از جابه‌جایی جریان هوا می‌باشد، به وجود می‌آیند. آبنمود^۲ این نوع سیلاب‌ها کشیده و تیز می‌باشد. زمان اوج و فروکش سیلاب‌های ناشی از رگبار همرفت سریع بوده به گونه‌ای که تداوم آن‌ها به ندرت به بیش از چند ساعت می‌رسد.

۲-۲-۱-۲- سیلاب‌های ناشی از ذوب برف^۳

این نوع سیلاب‌ها که عمدتاً ناشی از ذوب برف می‌باشد، در اوایل بهار ایجاد می‌شوند. چنین سیلاب‌هایی عموماً در مناطقی که دارای بارش برف سنگین بوده، بعد از یک برف سنگین غیرمعمول اتفاق می‌افتد. هم‌چنین سیلاب‌های ناشی از ذوب برف حاصل افزایش سریع درجه حرارت هوا و تداوم آن برای چند روز بعد از یک دوره طولانی سرد است. آبنمود این‌گونه سیلاب‌ها اغلب به صورت یخ بوده و فاصله زمانی ما بین شروع و نقطه اوج آن ممکن است روزها یا هفته‌ها طول بکشد.

۲-۲-۱-۲- سیلاب‌های ناشی از خرد شدن یخ‌ها^۴

زمان وقوع این نوع سیلاب‌ها نیز عموماً اوایل فصل بهار می‌باشد. با وجود این، احتمال وقوع چنین سیلاب‌هایی در فصول دیگر نیز در اثر شکستن یخ‌ها وجود دارد. نحوه تشکیل این‌گونه سیلاب‌ها چنین است که در اثر شکستن یخ‌ها و فشرده شدن آن‌ها به همدیگر در یک نقطه از رودخانه، نوعی سد موقت تشکیل می‌شود و به تبع آن، سطح آب به طور ناگهانی بالا می‌رود. عموماً این نوع سیلاب در نقاط محدود شده، همانند قوس‌های تیز رودخانه، محل تقاطع پل‌ها ایجاد می‌شوند. آن‌ها ممکن است در محل تغییر شیب رودخانه (از شیب تند به شیب ملایم) و در نقطه تخلیه رودخانه به دریاچه نیز پدیدار شوند. در شرایط تشکیل سد در اثر فشرده‌گی یخ، غالباً افزایش تراز سطح آب سریع بوده و در نتیجه آبنمود سیلاب‌های به‌دست آمده در غالب اوقات خیلی تیزتر از سیلاب‌های ذوب برفی می‌باشد.

۲-۲- اطلاعات پایه برای برآورد سیلاب

۲-۲-۱- ملاحظات کلی

عموماً برآورد میزان سیلاب در یک منطقه با روش‌ها و مدل‌های مختلفی امکان‌پذیر می‌باشد. این روش‌ها می‌تواند تجربی، آماری یا استفاده از مدل‌های آبنمود باشد. به کارگیری یک روش خاص، به منظور برآورد حداکثر آبدهی یک سیل

1- Conventional

2- Hydrograph

3- Snow – melt Floods

4- Ice - jam and Ice – Break – up Floods

یا تعیین آبنمود آن تابع عواملی چند از قبیل هدف طرح، اندازه پروژه و اهمیت آن، مرحله مطالعات یا دقت مورد نیاز، نوع اطلاعات و آمار موجود یا در دسترس و دقت آن‌ها می‌باشد.

تعیین نوع و هدف یک طرح مهار سیلاب، اولین گام در انتخاب روش است. معمولاً در طرح‌های مهار سیلاب یا فقط نیاز به برآورد حداکثر آبدهی سیل مورد نظر است و یا نیاز به تعیین شکل آبنمود سیل (منحنی تغییرات آبدهی با زمان) می‌باشد. طبیعی است که برای تعیین آبنمود سیل آگاهی از حجم جریان سیلاب یک امر ضروری خواهد بود، درحالی‌که برای حداکثر آبدهی، ممکن است از برآورد حجم جریان یک سیل مشخص صرف‌نظر شود.

در طرح‌های بزرگ و با اهمیت که بنا به ضرورت، سیل طراحی آن‌ها دارای دوره بازگشت زیاد است و اغلب به حوضه‌های آبریز بزرگ تعلق دارند، استفاده از روش‌های برآورد دقیق و مدل‌های هیدرولوژیک با قابلیت بالا یک امر ضروری می‌باشد. در چنین شرایطی نیاز به تعیین شکل آبنمود سیل یا سیل‌های طراحی خواهد شد. علاوه بر آن در برخی از شرایط، روندیابی سیلاب نه تنها در آبراهه اصلی حوضه آبریز، بلکه در آبراهه‌های فرعی آن و ترکیب نتایج اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

دقت مورد نیاز به نوبه خود تابعی از مرحله مطالعات، اهداف طرح و ابعاد آن می‌باشد. به عنوان مثال برای یک پروژه کوچک مهار سیلاب در مرحله شناسایی کافی است میزان سیل با استفاده از روابط یا روش‌های ساده که به عوامل کم‌تری نیاز دارد، به دست آید. برعکس در مراحل پیشرفته طرح استفاده از روش یا حتی چند روش دقیق‌تر امری اجتناب‌ناپذیر است.

شاید بتوان گفت که میزان اطلاعات و آمار موجود چه به لحاظ کمی و چه به لحاظ کیفی تعیین‌کننده‌ترین عامل در انتخاب روش یا روش‌های برآورد سیلاب می‌باشد. نوع آمار (عوامل ثبت شده)، طول دوره آماری، کیفیت آن‌ها، پراکندگی و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری (آب‌سنجی) در ارتباط با طرح از جمله موارد قابل ذکر در این زمینه می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر در مورد انتخاب روش برآورد سیل این است که در کلیه طرح‌های متوسط و بزرگ، باید ابتدا با در نظر گرفتن جمیع جهات، روش اصلی انتخاب شود و سپس میزان سیل‌های برآورد شده با این روش، حداقل با یک یا دو روش مکمل دیگر مورد مقایسه و قضاوت قرار گیرد.

برای روش‌های مختلف محاسبه و برآورد سیلاب، تقسیم‌بندی‌های متفاوتی وجود دارد. لیکن، دو نوع تقسیم‌بندی که اولی در ارتباط با عوامل مورد نیاز و دومی به صورت عمومی و عمدتاً با توجه به اطلاعات پایه و آمار موجود می‌باشد، بیش‌تر از سایر روش‌ها مورد توجه می‌باشد.

۲-۲-۲- داده‌های پایه مورد نیاز

بدون شک برآورد سیلاب با هر روشی که انجام گیرد، مستلزم وجود داده‌های دقیق و کافی از یک سری پارامترهای مربوط به آب و هوای منطقه و خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز می‌باشد. روشن است که نوع و تعداد و اهمیت

نسبی پارامترهای مورد نیاز می‌تواند از روشی به روش دیگر متفاوت باشد. توصیه سازمان یونسکو در این زمینه به شرح زیر است:

الف- در بین خصوصیات ماندگار حوضه آبریز، کسب اطلاعات در مورد خصوصیات زیر از اهمیت زیادی برخوردار است.

> مساحت و شکل حوضه آبریز

> تراکم شبکه زهکشی

> رابطه ارتفاع و مساحت

> شیب حوضه

> ظرفیت ذخیره‌ای دریاچه‌ها و ماندآب‌ها

> شرایط زمین‌شناختی

ب- مابین خصوصیات متغیر حوضه، باید موارد زیر برای یک دوره ۵ تا ۱۰ ساله کنترل و مورد توجه قرار گیرد:

> پوشش گیاهی

> شرایط خاک

> ذخیره آب در مخازن

> ویژگی‌های آبراهه‌ای

ج- داده‌های مورد نیاز در خصوص رژیم آب و هوایی و جریان آب به شرح زیر می‌باشد:

> شرایط اقلیمی حوضه آبریز

> بارش برف و باران

> جریان رودخانه

شرایط اقلیمی حوضه آبریز علاوه بر پارامترهای معمول، شامل پارامترهای توزیع زمانی و مکانی درجه حرارت، الگوی رگبارهای همرفت و فعالیت‌های چرخه‌ای می‌باشد.

۲-۳- روش‌های برآورد سیلاب

در مراجع مختلف روش‌های برآورد سیلاب به گونه‌های متفاوت تقسیم‌بندی شده‌اند به نحوی که حتی، در مواردی روش‌های برآورد سیل با روش‌های انتخاب آن، آمیخته شده است. در این جا سعی بر این بوده که تقسیم‌بندی روش‌ها براساس مبانی مشخص و حتی‌الامکان قابل تفکیک استوار گردد. این مبانی در درجه اول ماهیت تجربی و آماری هر روش می‌باشد. با وجود این، در مواردی که تفکیک مطلق مبانی امکان‌پذیر نبوده، جنبه غالب مبنای روش اساس تقسیم‌بندی را تشکیل داده است.

نکته دیگر در خصوص روش‌های برآورد سیل موضوع نحوه برآورد رواناب مستقیم ناشی از بارندگی می‌باشد که اساس ایجاد سیلاب‌ها را تشکیل می‌دهد. در مواردی مشاهده می‌شود که به اشتباه شیوه برآورد رواناب به نوعی با روش برآورد سیلاب پیوند داده می‌شود. لذا، برای احتراز از این امر، در این جا فرض بر این بوده که برای هر روش برآورد سیلاب، ابتدا رواناب مستقیم ناشی از بارندگی با روش مناسب (با توجه به اطلاعات و امکانات موجود) برآورد می‌گردد. برای تعیین حجم و توزیع زمانی رواناب مستقیم ناشی از یک باران مشخص روش‌ها و مدل‌های مختلفی وجود دارد که در مباحث ذیربط در کتاب‌های هیدرولوژی به تفصیل آمده است.

۲-۳-۱- روش آبدهی بیشینه

با وجود محدودیت‌هایی که در بطن روش‌های تجربی وجود دارد، مع‌هذا، هنوز در سطح قابل ملاحظه‌ای برای برآورد سیلاب به‌ویژه در حوضه‌های آبریز کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اکثر این روش‌ها امکان ارزیابی پارامترهای هیدرولوژیک وجود ندارد. به موازات افزایش آمار ثبت شده از آبدهی رودخانه‌ها، کاربرد مستقیم این گونه روش‌ها کاهش پیدا کرده و غالباً به عنوان یک روش مکمل برای شیوه‌های پیشرفته‌تر مورد توجه قرار می‌گیرند. شاید بیش از ۱۰۰ روش تجربی برای محاسبه سیلاب وجود داشته باشد که فرمول عمومی اکثر آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

$$Q = C.A.I \left(\frac{S}{A} \right)^X \quad (1-2)$$

در این رابطه:

Q: آبدهی بیشینه

C: ضریب ویژه شرایط اقلیمی و فیزیوگرافیک حوضه آبریز

A: مساحت حوضه آبریز

I: متوسط شدت بارندگی

S: شیب حوضه آبریز

X: عدد نمای رابطه

قدیمی‌ترین فرمول تجربی که بیش از ۱۰۰ سال از معرفی آن می‌گذرد، رابطه منطقی است که کاربرد آن برای حوضه‌های آبریز کوچک به‌ویژه در مناطق شهری و پل‌ها عمومیت دارد. شکل عمومی و اجزای آن چنین است:

$$Q = F.C.I.A \quad (2-2)$$

در رابطه بالا Q عبارت است از آبدهی بیشینه، A مساحت حوضه آبریز، I شدت بارندگی، C ضریب جریان که بدون بعد بوده و می‌تواند به‌عنوان نسبت رواناب به بارندگی تعریف شود. در رابطه اخیر F ضریب تبدیل واحدها می‌باشد.

در صورتی که از واحدهای انگلیسی فوت مکعب بر ثانیه (ft^3/s)، اکر و اینچ بر ساعت استفاده شود ضریب f برابر با ۱/۰۰۸

خواهد شد که معمولاً از فرمول حذف می‌شود. با واحدهای متریک، یعنی مترمکعب بر ثانیه (m^3/s)، کیلومتر مربع و میلی‌متر بر ساعت (mm/h) مقدار F برابر با 0.278 یا $\frac{1}{3.6}$ خواهد شد.

در رابطه یاد شده زمان تداوم مورد استفاده برای تعیین متوسط شدت بارندگی (I) برابر با زمان تمرکز حوضه آبریز می‌باشد. ضمناً فرض بر این است که شدت بارندگی در طول زمان بارندگی ثابت می‌باشد. برای طراحی، شدت متوسط بارندگی را می‌توان از منحنی‌های تهیه شده برای شدت - مدت - فراوانی بارندگی برای محل مورد نظر که دوره برگشت فراوانی آن برابر دوره برگشت طرح می‌باشد، انتخاب نمود.

یکی دیگر از روابط معروف، رابطه کریگر^۱ است که بر مبنای ترسیم منحنی پوش برای آبدهی ویژه بزرگ‌ترین سیلاب‌های مشاهده شده پیشنهاد گردیده است. این رابطه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Q_p = 1/304.C(0/386A)^{0.9358A-0/048} \quad (3-2)$$

در این رابطه:

Q_p : آبدهی بیشینه بر حسب مترمکعب در ثانیه

A : مساحت حوضه آبریز بر حسب کیلومتر مربع

C : ضریبی است که حداکثر مقدار آن ۲۰۰ می‌باشد.

در نمودار (۴-۲) رابطه مذکور برای ضرایب ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ به صورت گروه منحنی‌ها نشان داده شده است. قابل توجه است که مقدار ۲۰۰ شامل منحنی پوشش سیلاب‌های بزرگ مشاهده شده در سطح دنیا و مقدار ۱۰۰ منحنی پوشش سیلاب‌های مشاهده شده در ایالات متحده آمریکا و قسمت اعظم سیلاب‌های ثبت شده در سطح دنیا را در بر می‌گیرد.

در گزارش هم‌نهاد طرح جامع آب کشور که در اواخر دهه ۶۰ منتشر شده، منحنی‌هایی برای سیلاب ده‌هزار ساله در ایران داده شده است، که می‌توان آن را به نوعی منحنی‌های کریگر برای ایران تلقی نمود (نمودار ۲-۵). همان‌جا گفته شده که منحنی مذکور با استفاده از آمار سیلاب‌های مشاهده شده ۱۴۴ ایستگاه آب‌سنجی و مدل ریاضی تهیه گردیده است. به نظر می‌رسد پایه برآورد سیلاب ده‌هزار ساله شیوه تحلیل فراوانی با مناسب‌ترین تابع توزیع بوده است.

مشاهده می‌شود که برای سیل‌های ده‌هزار ساله در ایران ضریب C بین ۱۰ تا ۱۰۰ متغیر بوده و سیلاب‌های کوچک در مناطق شمالی و سیلاب‌های بزرگ بیش‌تر در مناطق جنوبی کشور رخ می‌دهند. به عنوان مثال برای یک حوضه آبریز یا مساحت ۱۰۰۰ کیلومتر مربع مقدار سیل ده‌هزار ساله با توجه به منطقه می‌تواند از ۷۰۰ مترمکعب بر ثانیه در مناطق شمالی تا ۷۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه در مناطق جنوبی متغیر باشد.

روش SCS یکی دیگر از روش‌هایی است که بیش‌تر در حوضه‌های آبریز کشاورزی (غیرشهری) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش ابتدا میزان رواناب به شیوه خاص SCS محاسبه می‌شود و سپس آبدهی بیشینه با آبنمود مثلی تقریبی طبق رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$q_p = \frac{KAQ}{0.5D + 0.6tc} \quad (4-2)$$

در این رابطه:

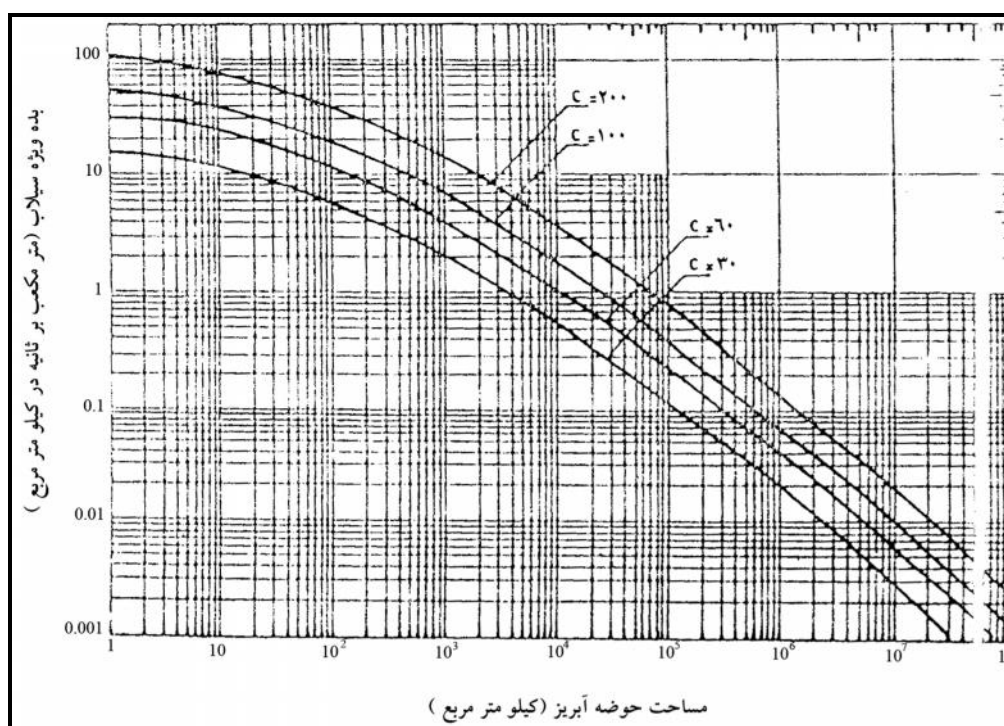
A: مساحت (کیلومتر مربع یا مایل مربع)

Q: میزان رواناب (اینچ یا میلی متر)

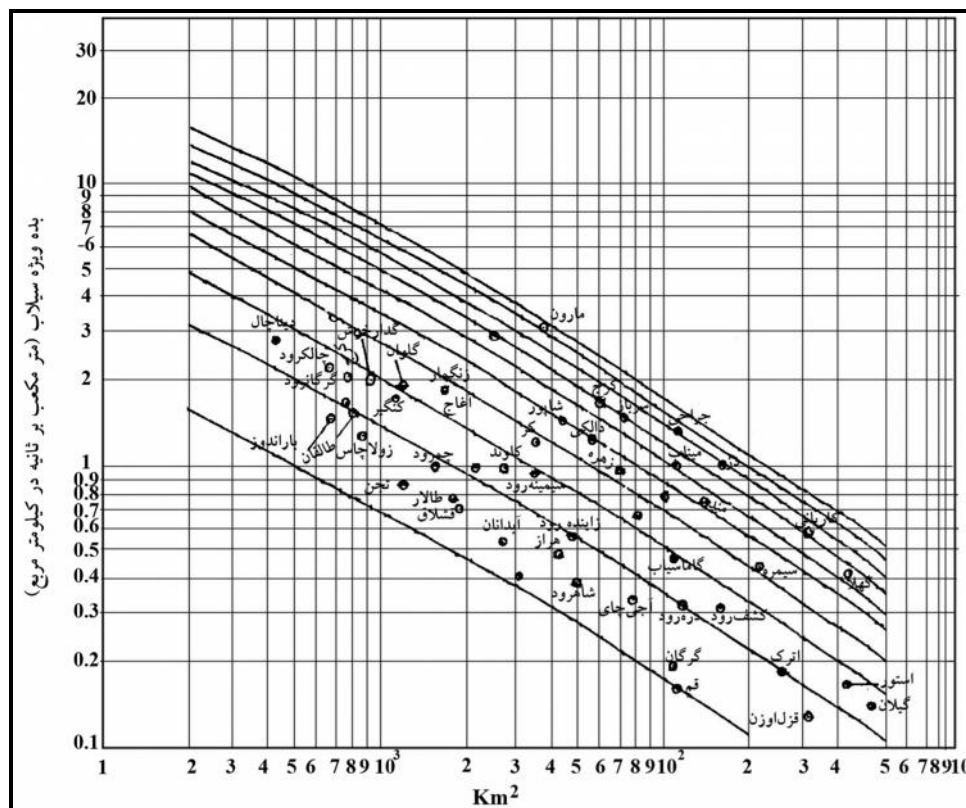
D: زمان تداوم بارندگی مازاد (ساعت)

tc: زمان تمرکز (ساعت)

k: ضریب ثابت که مقدار آن در واحد متریک برابر با ۰/۲۰۸ و در واحد انگلیسی برابر با ۴۸۴ می باشد.



نمودار ۲-۱- رابطه کریگر برای مقادیر مختلف ضریب C



نمودار ۲-۲. رابطه مساحت حوضه و بده ویژه برای سیل‌های ده‌هزار ساله در ایران

۲-۳-۲ روش آبنمود واحد

آبنمود واحد عبارت است از آبنمود جریان مستقیم (DRH)^۱ ناشی از یک واحد باران موثر که به نوبه خود از یک رگبار با شدت یکنواخت در مدت زمان مشخص در تمامی سطح حوضه آبریز مورد نظر حاصل شده باشد. مقدار باران موثر با توجه به سیستم اندازه‌گیری مورد استفاده می‌تواند یک میلی‌متر، یک سانتیمتر یا یک اینچ باشد. در واقع آبنمود واحد یک مدل خطی برای استخراج آبنمود هر جریان مستقیم ناشی از هر بارندگی است. این مدل حاوی فرضیات پایه به شرح زیر است:

- الف- شدت باران موثر در طول بارندگی ثابت می‌باشد.
- ب- توزیع بارندگی موثر در کل حوضه آبریز به طول یکنواخت می‌باشد.
- ج- زمان پایه آبنمود رواناب مستقیم حاصل از یک باران موثر با تداوم مشخص، مقدار ثابتی می‌باشد.
- د- مقادیر مربوط به محورهای عرضی (Y) تمام آبنمودهای رواناب مستقیم با یک زمان پایه معمولی با کل جریان مستقیم هر آبنمود نسبت مستقیم دارد.

ه- برای یک حوضه آبریز معین، آبنمود به دست آمده از یک باران موثر مشخص، خصوصیات تغییرناپذیر حوضه را منعکس می‌کند.

بدیهی است که در شرایط طبیعی امکان وجود فرضیات بالا به صورت کامل منتفی می‌باشد. با وجود این در صورتی که داده‌های هیدرولوژیکی مورد نیاز، به دقت انتخاب شوند، نتیجه امر برای (مدل آبنمود واحد) مقاصد کاربردی قابل قبول خواهد بود.

روش آبنمود واحد برای برآورد سیلاب ابتدا توسط شرمن در سال ۱۹۳۲ پیشنهاد گردید و پس از آن در سطح گسترده‌ای برای برآورد سیلاب طرح و سیلاب واقعی در شرایطی که نیاز به شکل آبنمود سیل و دقت بالا باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آبنمودهای واحد با توجه به منشا آن‌ها به دو گروه آبنمودهای واحد طبیعی یا واقعی و آبنمودهای واحد مصنوعی تقسیم می‌شود. یک آبنمود واحد طبیعی یا واقعی، آبنمودی است که از داده‌های ثبت شده بارندگی و جریان رودخانه در یک حوضه آبریز حاصل می‌شوند و فقط برای همان حوضه و همان نقطه‌ای که جریان رودخانه اندازه‌گیری شده، اعتبار دارد. درحالی‌که شیوه آبنمود واحد مصنوعی برای تهیه آبنمود واحد در نقاط مختلف رودخانه در یک حوضه آبریز یا برای حوضه مجاور با خصلت مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مجموع سه نوع آبنمود واحد مصنوعی به شرح زیر وجود دارد:

الف- آبنمود واحد اشنایدر^۱ (۱۹۳۸) و گری^۲ (۱۹۶۱). در این گونه آبنمودهای واحد، مشخصه‌های آبنمود مانند آبدی بیشینه (اوج)، زمان پایه و سایر خصوصیات آن در ارتباط با مشخصه‌های حوضه آبریز تعیین می‌گردند.

ب- آبنمود واحد بی‌بعد. منشا این گونه آبنمودها که به صورت بی‌بعد تهیه می‌شوند، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS، ۱۹۷۲) می‌باشد.

ج- آبنمود واحد از نوع مدل‌های ذخیره‌ای حوضه آبریز که ابتدا توسط کلارک (۱۹۴۳) معرفی گردید.

برای استخراج آبنمود یک سیل از آبنمود واحد چنین عمل می‌شود: وقتی که آبنمود واحد مشخص گردید از آن می‌توان برای پیدا کردن جریان مستقیم و آبنمود جریان رودخانه استفاده نمود. ابتدا یک باران‌نگار^۳ انتخاب می‌شود، سپس مقدار باران جذب شده برآورد می‌شود. در مرحله بعد آبنمود باران موثر محاسبه می‌گردد. فاصله زمانی مورد استفاده در باران‌نگار موثر (در محور Xها) باید همان فاصله زمانی آبنمود واحد باشد. معادله مربوطه چنین است:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1} \quad (5-2)$$

ممکن است برای تهیه آبنمود جریان مستقیم مورد استفاده قرار گیرد. با اضافه کردن جریان پایه به آبنمود جریان مستقیم، آبنمود رودخانه به دست می‌آید. در رابطه اخیر عوامل به شرح زیر تعریف شده‌اند:

Q: مقدار رواناب مستقیم بر حسب مترمکعب بر ثانیه

1- Snyder

2- Gary

3- Hyetograph

P: مقدار بارندگی موثر برحسب میلی‌متر

U: آبنمود واحد برحسب مترمکعب بر ثانیه بر میلی‌متر

M: تعداد پاره‌ای (تپ‌ها)^۱ بارندگی موثر

N: تعداد پاره‌ای رواناب مستقیم

۲-۳-۳- روش تحلیل فراوانی

تحلیل فراوانی یکی از روش‌های مناسب برای برآورد مقادیر سیلاب محسوب می‌شود. در صورتی که شرایط لازم از قبیل وجود آمار کافی و امکان برازش تابع توزیع مناسب وجود داشته باشد، با این روش می‌توان به نتایج مطلوب دست یافت. این روش دارای طیف وسیعی بوده و شامل استفاده از آمار ریاضی تا روش‌های مربوط به ایجاد همبستگی با سایر ایستگاه‌ها با آمار طولانی و یا پارامترهای اقلیمی حوضه‌های مشابه و بهره‌گیری از روابط بین بارندگی و جریان سطحی (رواناب) می‌گردد.

در چند دهه اخیر درحالی که بر تعداد و تراکم ایستگاه‌های هواشناسی و آب‌سنجی افزوده شده، به طور طبیعی طول دوره آماری ایستگاه‌های قدیمی نیز افزایش یافته است. این فرآیند باعث شده که روز به روز اهمیت روش تجزیه و تحلیل فراوانی پیدا کند. به نحوی که امروزه در غالب پروژه‌ها برای برآورد سیلاب از این روش به عنوان یک روش اصلی یا حداقل همانند یک روش مکمل استفاده می‌شود. با وجود این بهره‌گیری از این روش مستلزم رعایت نکاتی چند از جمله نکات زیر می‌باشد:

الف- از آن جا که دقت برآوردها مستقیماً تابع طول دوره آمار می‌باشد، لذا باید برای محاسبه دوره‌های برگشت طولانی مدت از آمار بلندمدت استفاده شود. به عبارت دیگر لازم است فیمابین تعداد نمونه‌های انتخاب شده برای تحلیل فراوانی و طول دوره برگشت تناسب لازم وجود داشته باشد. به عنوان مثال استفاده از آمار با طول ۲۵ سال برای محاسبه سیل با دوره برگشت ۵۰۰ ساله نتیجه رضایت‌بخشی ارائه نمی‌دهد.

ب- سری آماری منتخب می‌تواند یک سری کامل^۲ یا یک سری جزئی^۳ باشد. یک سری کامل عبارت است از کلیه داده‌های در دسترس، درحالی که یک سری جزئی عبارت است از مجموعه داده‌هایی که اندازه آن‌ها بیش‌تر از یک مقدار مشخص باشد. در صورتی که مقدار پایه به نحوی انتخاب شود که تعداد مقادیر سری برابر با تعداد سال‌های آماری ثبت شده باشد، سری به نام سری سالانه^۴ (بیش‌تر از) نامیده می‌شود. یک سری مقادیر حد شامل بزرگ‌ترین یا کوچک‌ترین مقادیر اتفاق افتاده در دوره‌های زمانی مساوی می‌باشد به طور معمول دوره

1- Pulse

2- Complete Duration Series

3- Partial Duration Series

4- Annual Eceedence Series

زمانی برابر با یک سال در نظر گرفته می‌شود. در این صورت سری به نام سری سالانه خوانده می‌شود. سری سالانه به نوبه خود می‌تواند سری حداکثرهای سالانه یا سری حداقل‌های سالانه باشد.

ج - انتخاب قانونی احتمال یا تابع توزیع باید به نحوی انجام گیرد که نتایج تحلیل دارای قابلیت اعتماد کافی باشد. قوانین احتمال که برای داده‌های تصادفی حد به کار می‌روند معمولاً شامل قوانین نرمال، لوگ نرمال، سه عاملی، توزیع مقادیر حد (سه تیپ)، پیرسون و لوگ پیرسون تیپ ۳، وایبل و چند قانون دیگر است که در بررسی سیلاب‌ها عمدتاً از قوانین لوگ نرمال سه عاملی، لوگ پیرسون و پیرسون تیپ ۳ و توزیع مقادیر حد استفاده می‌شود.

۲-۳-۱- گام‌های مختلف برای برآورد سیلاب

الف- اولین گام برای تجزیه و تحلیل فراوانی سیلاب‌ها تعیین یک قانون احتمالی مناسب است. از بین قوانینی که در بالا مورد اشاره قرار گرفت، در مطالعه سیلاب‌ها قوانین لوگ پیرسون، لوگ پیرسون تیپ ۳، لوگ نرمال سه عاملی کاربرد زیادی دارند. برای تعیین پارامترهای قانون مورد استفاده، که دارای اهمیت زیادی به هنگام محاسبه فراوانی سیلاب دارد، معمولاً از دو روش محتمل‌ترین بیشینه^۱ و گشتاورها استفاده می‌شود. برای محاسبه فراوانی سیلاب‌ها یا هر پدیده تصادفی هیدرولوژیکی دیگر مدل‌های محاسباتی و نرم‌افزارهای رایانه‌ای متعددی تهیه شده است. این برنامه‌ها در جریان اجرا تطابق چند قانون احتمالی (تابع توزیع) را با توزیع تجربی داده‌ها مورد آزمون قرار داده و پس از انجام مقایسه‌های لازم مناسب‌ترین قانون را انتخاب می‌نماید.

ب- انتقال نتایج به محل مورد نظر: در صورتی که محل پروژه مورد نظر در نزدیکی ایستگاه آب‌سنجی که از آمار آن برای تعیین فراوانی سیلاب استفاده شده، قرار گرفته باشد، نیازی به انتقال نتایج نخواهد بود و نتایج تحلیل فراوانی مستقیماً قابل استفاده خواهد بود. در غیراین صورت، ضروری است نتایج حاصل از تحلیل فراوانی به محل پروژه تعمیم داده شود. برای این منظور روش‌های مختلفی وجود دارد که در ذیل فهرست‌وار مورد توجه قرار گرفته است:

- > انتخاب نتایج به نسبت سطح حوضه آبریز
- > بهره‌گیری از روش‌های تحلیل منطقه‌ای
- > بهره‌گیری از قانون همبستگی بین دو سری آمار

۲-۴- سیلاب‌های فرضی

۲-۴-۱- حداکثر سیل محتمل^۱ (P.M.F)

حداکثر سیل محتمل عبارت است از بزرگ‌ترین سیلاب قابل انتظار (آبدهی یا آبنمود) که با فرض هم‌زمانی کامل تمامی عوامل هواشناسی به وجود آورنده بیش‌ترین بارندگی و هیدرولوژیکی به وجود آورنده بیش‌ترین رواناب ایجاد می‌شود. به عبارت ساده حداکثر سیل محتمل، بزرگ‌ترین سیلی است که به طور منطقی می‌توان انتظار داشت در یک منطقه به‌خصوص جغرافیایی رخ دهد.

به دلیل این‌که حداکثر سیل محتمل از حداکثر بارندگی محتمل (P.M.F) به دست می‌آید و حداکثر بارندگی محتمل از نظر آماری فاقد فراوانی خاص می‌باشد، لذا از نظر ریاضی امکان تعیین دوره برگشت برای حداکثر بارندگی محتمل وجود ندارد. با وجود این، در پاره‌ای اوقات به‌ویژه در تحلیل اقتصادی طرح‌ها، تعیین یک فراوانی معادل برای این سیلاب ضرورت پیدا می‌کند. به این منظور عموماً حداکثر سیل محتمل را معادل با دوره برگشت ۱۰۰۰۰ ساله فرض می‌کنند.

از حداکثر سیل محتمل عموماً در طراحی سرریز سدهای بزرگ استفاده می‌شود. در واقع از دهه ۱۹۴۰ میلادی سرریز غالب سدهای بزرگ با توجه به میزان حداکثر سیل محتمل در منطقه سد، طراحی گردیده است. از آنجا که هزینه مهار سیلاب براساس سیل طراحی معادل با حداکثر سیل محتمل در حوضه‌های آبریز بزرگ می‌تواند خیلی زیاد و در نتیجه غیرمنطقی و غیرقابل توجیه باشد، لذا حداکثر سیل محتمل عمدتاً در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که فروریختن (شکست^۲) سرریز موجب خسارات جانی جدی گردد و یا موجب شود که سایر خسارات به میزانی باشد که به صورت فاجعه درآید.

حداکثر سیل محتمل با استفاده از حداکثر بارندگی محتمل و روش آبنمود واحد محاسبه می‌شود. حداکثر بارندگی محتمل به نوبه خود از حداکثرسازی میزان رطوبت توده هوایی که در جو حوضه آبریز با حداکثر سرعت ممکن باد در حرکت می‌باشد، و از حداکثر راندمان مکانیزم تولید رگبار در اثر تبدیل بخار اشباع به بارندگی به دست می‌آید. ضروری است توجه شود که در مناطق متعددی ذوب برف نیز در ایجاد سیلاب‌ها نقش قابل توجهی (در پاره‌ای از اوقات حتی نقش اول) را ایفاء می‌کند. لذا، در چنین شرایطی منظور نمودن مولفه ذوب برف در محاسبات غیرقابل اجتناب است.

در واقع این تبدیل یعنی محاسبه حداکثر سیل محتمل با استفاده از حداکثر بارندگی محتمل و مولفه ذوب برف (در صورت نیاز) با بهره‌گیری از روش‌های هیدرولوژیکی امکان‌پذیر می‌شود. تعیین روابط بارندگی - جریان، آبنمود واحد و شیوه‌های شبیه‌سازی از جمله موارد قابل ذکر در این زمینه می‌باشد. در جریان این تبدیل متخصص هیدرولوژی ناچار است فرضیات و پارامترهای عددی مختلفی را انتخاب و مورد عمل قرار دهد. شناخت دقیق خصوصیات منطقه از

1- Probable Maximum Flood (P.M.F)

2- Failure

دیدگاه‌های آب و هواشناسی و فیزیکی و استفاده از تجربیات مختلف می‌تواند در برآورد دقیق حداکثر سیل محتمل نقش سازنده و قابل توجهی داشته باشد.

۲-۴-۲- سیل استاندارد پروژه^۱

سیل استاندارد پروژه عبارت است از آبدهی‌هایی که از نظر منطقی می‌تواند از ترکیب حادثین^۲، نه نادرترین^۳ شرایط آب و هوایی یک منطقه جغرافیایی ایجاد شود. این تعریف از رسته مهندسی ارتش آمریکا می‌باشد و همان‌جا به عنوان مبنای مطالعات سیلاب طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر سیل استاندارد پروژه، سیلاب ناشی از بزرگ‌ترین رگباری (بارانی) است که از نظر منطقی با توجه به ویژگی‌های منطقه می‌توان انتظار داشت در سراسر حوضه آبریز مورد نظر، و در شرایطی فرو ریزد که اراضی حوضه مذکور از توان بالایی برای رواناب برخوردار باشد.

با توجه به تعریف سیل استاندارد پروژه بدیهی است که تعیین دقیق فراوانی آن امکان‌پذیر نمی‌باشد. با این وجود تجارب عملی در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که در غالب موارد مقادیر سیل استاندارد پروژه حدود یک دوم مقادیر نظیر حداکثر سیل محتمل می‌باشد. در مواردی نیز اعتقاد بر این است که چنین سیلی دارای دوره بازگشت نسبتاً زیادی است که معمولاً بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ سال نوسان دارد.

از سیل استاندارد پروژه معمولاً در طراحی سازه‌های آبی متوسط و بزرگ و مهار سیلاب استفاده می‌شود. از این سیل در طراحی سرریزهایی (سرریز سدها) استفاده می‌شود که فرو ریختن آن موجب خسارات جانی جدی نشود.

روش و نحوه محاسبه سیل استاندارد پروژه همانند حداکثر سیل محتمل است. به این ترتیب که این سیل از باران استاندارد پروژه یعنی شدیدترین بارندگی مشاهده شده در منطقه و با استفاده از مدل بارندگی - رواناب و آبنمود واحد به دست می‌آید. درحالی‌که حوضه‌های کوچک می‌توان از فرمول منطقی استفاده به عمل آورد، در حوضه‌های بزرگ علاوه بر مدل آبنمود واحد بهتر است از روندیابی سیلاب نیز استفاده شود.

1- Standard Project Flood (S.P.F)

2- Most Severe

3- Extermely Rare

فصل ۳

خسارات سیلاب

۳-۱- مفاهیم و تعاریف

۳-۱-۱- مفهوم و تعریف خسارت

خسارات سیل^۱ را می‌توان اثرات نامطلوب ناشی از افزایش تراز آب رودخانه به بالاتر از کناره آن و جاری شدن آن به حاشیه و اراضی مجاور و یا سیلاب دشت تعریف نمود. چنین رخدادهایی در زمان و اندازه‌ای به وقوع می‌پیوندد که نمی‌توان آن را به دقت پیش‌بینی نمود. نتیجه این‌گونه رخدادها و صدمات و آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در ابعاد گوناگون است. علاوه بر جریان آب رودخانه، خسارت می‌تواند ناشی از جریان مستقیم آب دریا یا کانال‌ها شده یا از طریق تراوش زیرزمینی از آن‌ها باشد، که منجر به اشباع خاک و بالا آمدن آب در سطح زمین خواهد شد.

۳-۱-۲- خسارت واقعی یا بالفعل

خسارت ناشی از یک سیل واقعی یعنی اتفاق افتاده را خسارت واقعی^۲ یا بالفعل نامیده می‌شود. خسارات این‌گونه سیلاب‌ها براساس اطلاعات، آمار و مدارک پیش از سیل و بعد از آن و بررسی میدانی و دفتری برآورد می‌گردد. برای ارزیابی از شیوه‌ها و معیارهای خاصی از جمله آیین‌نامه‌های بیمه‌ای استفاده می‌شود.

۳-۱-۳- خسارت فرضی یا بالقوه

خسارت ناشی از یک سیلاب فرضی، خسارت فرضی یا بالقوه^۳ نامیده می‌شود. همانند خسارت سیلاب با دوره برگشت‌های مختلف و سیلاب طرح. برآورد خسارت این‌گونه سیلاب‌ها از طریق تابع تراز - خسارت^۴ (ارتفاع - خسارت) انجام می‌گیرد. در واقع منحنی این تابع، مقدار خسارت را بر حسب تراز یا ارتفاع سیلاب نشان می‌دهد. نکته قابل توجه این است که برآورد خسارت بالقوه معمولاً به حداکثر گرایش پیدا می‌کند.

۳-۲- انواع خسارات سیلاب

معمولاً خسارات ناشی از سیلاب به دو گروه اصلی ملموس^۵ و غیرملموس^۶ تقسیم می‌شود. در مرتبه بعد خسارات ملموس با توجه به ماهیت تاثیر سیلاب به دو زیر گروه مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند.

خسارات مستقیم عبارت است از زیان‌های ناشی از هجوم و تماس آب با ساختمان‌ها و محتوای درون آن‌ها از جمله اسباب و لوازم زندگی و تجهیزات موجود، محصولات زراعی، دام و طیور و موارد دیگر. درحالی‌که خسارات غیرمستقیم به آن‌گونه زیان‌هایی گفته می‌شود که موجب اختلال در تجارت و بازرگانی، شرایط زندگی و هزینه‌های خدمات فوریتی و

1- Flood Damage

2- Actual Damage

3- Potential Damage

4- Stage - Damage

5- Tangible

6- Lintagible

دیگر موارد این چنین بشود. خسارات غیرملموس به صدمات ناشی از بیمارهای فیزیکی و روانی و مشکلاتی از این قبیل اطلاق می‌شود.

در شکل (۳-۱) گروه‌بندی یاد شده به صورت نمودار نشان داده شده است. در این نمودار با وجود این که سعی شده به عناوین انواع خسارات اشاره شود، لیکن احتمال این که پاره‌ای از عناوین از قلم افتاده باشد یا به نوعی در داخل عناوین نمودار مستقر باشد، نیز وجود دارد. توضیح بیش‌تر نمودار مذکور به شرح زیر است.

در واقع خسارت مستقیم ناشی از تماس فیزیکی سیلاب و آورده‌های آن از قبیل رسوبات، واریزه‌ها یا سایر احجام شناور است که در مجموعه‌های شهری و روستایی اتفاق می‌افتاد.

خسارات مستقیم شهری شامل خسارات مربوط به ساختمان‌های مسکونی و اسباب و لوازم تجهیزات داخل آن‌ها و امکانات مربوط به خدمات زیربنایی و عمومی از قبیل خیابان‌ها، پل‌های داخل شهر، سامانه‌های آب و فاضلاب، برق، مخابرات و مجموعه‌های تجاری و صنعتی و امکانات و تجهیزات و تاسیسات آن‌ها و همچنین امکانات حمل و نقل و تردد داخل شهری از جمله خودروهای عمومی و از این قبیل موارد است.

خسارات روستایی شامل صدمات و زیان‌های وارده به زمین‌ها و تولیدات زراعی، دام و طیور و هزینه‌های مربوط به محصولات انبار شده، باز کاشت زراعت‌ها و باغات، کنترل علف‌های هرز ناشی از سیلاب، بازسازی نقاط فرسایش یافته و یا رسوب گذاشته شده است. همچنین صدمه و تخریب تجهیزات سرمایه‌ای شامل، حصاربندی‌ها، کارگاه‌ها و کارخانه‌ها و تجهیزات ماشین‌آلات کشاورزی و روستایی، سیل‌بندها و سایر سازه‌های مهار سیلاب، جاده‌ها و ساختمان‌های برون شهری در گروه خسارات روستایی قرار می‌گیرند.

خسارت غیرمستقیم به مواردی از صدمات و زیان‌هایی اطلاق می‌شود که به‌طور غیرمستقیم ناشی از جاری شدن سیلاب است. میزان خسارات غیرمستقیم معمولاً به درصدی از خسارات مستقیم برآورد می‌شوند.

خسارات غیرمستقیم شهری شامل زیان‌های ناشی از کاهش خرید و فروش و تولید در مجموعه‌های تجاری و صنعتی و خرده‌فروشی‌های خسارت دیده از سیلاب، دستمزدهای قطع شده، اختلال در سامانه‌های حمل و نقل و ارتباطات، هزینه‌های مربوط به جابه‌جایی کالاها، اسباب و لوازم، تجهیزات و تاسیسات و خدمات از مناطق سیل‌زده به بیرون، و برگشت آن‌ها به محل اولیه بعد از بهبود شرایط سیلابی، هزینه‌های پاک‌سازی محیط و برقراری امکانات موقت برای سیل‌زدگان و برپایی سیل‌بندهای موقت و ... است.

خسارات غیرمستقیم روستایی شامل هزینه‌های مربوط به قطع سامانه‌های حمل و نقل و ارتباطات، جابه‌جایی و تاسیسات و تجهیزات کارگاهی و کارخانه‌ای روستایی و محتوای انبارها به اراضی بلندتر است.

خسارات غیرملموس به خسارتی گفته می‌شود که معمولاً قابل خرید و فروش نبوده و برای آن‌ها ارزش بازاری و تجاری وجود ندارد. درحالی که خسارات ملموس که شامل خسارات مستقیم و غیرمستقیم است دارای ارزش بازاری و ریالی است. اصلی‌ترین اثرات غیرملموس ناشی از سیلاب عبارتند از: قطع و اختلال در فعالیت‌های شخصی از جمله فعالیت‌های سودآور، مسافرت و ارتباطات و به‌ویژه صدمات جانی و روانی از جمله مرگ و میر است.

کلام آخر در زمینه گروه‌بندی انواع خسارت‌های سیلاب مربوط می‌شود به شناوربودن به عبارت دیگر عدم قطعیت وابستگی پاره‌ای از آن‌ها به گروه خاص، به‌ویژه در ارتباط به شرایط مکانی و زمانی است. در واقع پیشرفت در علم از جنبه‌های مختلف و روش‌های تشخیص و تعیین یک امر ممکن است امکان گونه‌ای کمی‌کردن و ارزش‌گذاری ریالی را برای بعضی از عوامل کیفی فراهم آورد. این موضوع در مورد برخی انواع خسارت غیر ملموس از جمله صدمات جانی و حتی مرگ و میر از دیدگاه ارزش‌های بیمه‌ای مطرح می‌باشد. به‌نحوی که امروزه در پاره‌ای از کشورها و از طرف عده‌ای از کارشناسان و دست‌اندرکاران امر سیلاب و خسارت آن، معادل ریالی خسارت و صدمات جانی مطرح می‌باشد. با وجود این نباید فراموش کرد که در حال حاضر چالش‌های زیادی در میان گروه‌های مخالف و موافق موضوع در جریان است.



شکل ۳-۱- گروه‌بندی انواع خسارت

فصل ۴

روش‌های برآورد خسارت سیلاب‌های

فرضی

۴-۱- تعاریف

۴-۱-۱- سیلاب و خسارت فرضی

یک سیلاب فرضی سیلابی است مربوط به آینده با احتمال وقوع مشخص که میزان آن به شیوه‌های مختلف هیدرولوژیکی (با توجه به اطلاعات و داده‌های موجود) برآورد می‌شود. به عنوان مثال: سیل با دوره برگشت ۱۰ ساله یا ۵۰ ساله ... و سیل استاندارد پروژه. خسارت فرضی یا بالقوه^۱ نیز خسارتی است که از یک سیلاب فرضی ناشی می‌شود و به تبع آن دارای احتمال یا دوره برگشت مشخص است. همانند خسارت با احتمال ۵٪ و ۲٪ یا خسارت سیل استاندارد پروژه.

۴-۱-۲- بی‌طرح و باطرح

ارزیابی خسارت سیلاب‌های بالقوه برای اهداف مختلف و برای شرایط بی‌طرح و باطرح و برای هر یک از این شرایط در حال حاضر و در آینده مورد نیاز می‌باشد. در زیر تعاریف مربوط به شرایط بی‌طرح و باطرح آمده است و در شکل (۴-۱) نیز نمودار وضعیت‌های تحلیل خسارت سیلاب نشان داده شده است.

۴-۱-۲-۱- شرایط بی‌طرح

محتمل‌ترین شرایط منطقه مورد مطالعه برای دوره تحلیل عمر پروژه در صورت نبود طرح یا هرگونه اقدامات مربوط به کاهش خسارت سیلاب، شرایط بی‌طرح نامیده می‌شود. این شرایط شامل سال پایه و دوره‌های تحلیل ایستا آینده برای تعیین ارزش‌های معادل است. این شرایط به عنوان شرایط پایه برای ارزیابی منافع و کارکرد طرح‌های بالقوه کاهش خسارت سیلاب در نظر گرفته می‌شود.

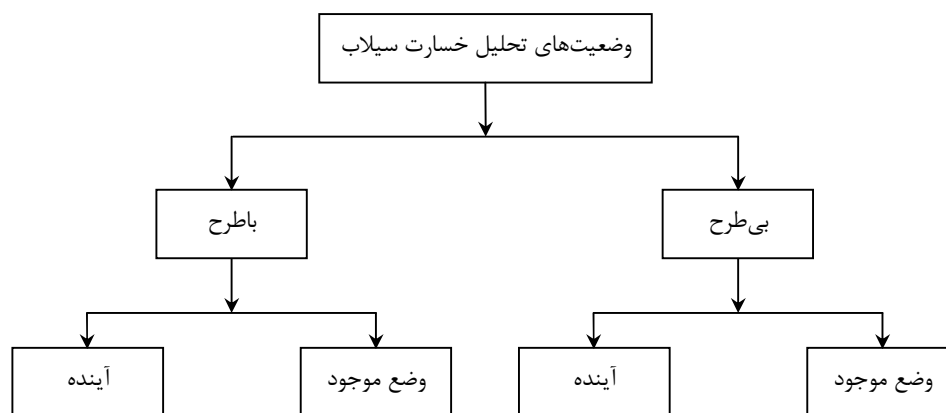
۴-۱-۲-۲- شرایط با طرح

شرایط اقتصادی، کارکردی و سایر شرایطی که در اثر اجرای یک طرح کاهش خسارت سیلاب بوجود می‌آید این شرایط با شرایط بی‌طرح مقایسه می‌شود. این شرایط شامل سال پایه و دوره‌های تحلیل ایستا آینده برای تعیین ارزش‌های معادل است.

۴-۱-۳- خسارت سالانه قابل انتظار و معادل

۴-۱-۳-۱- خسارت سالانه قابل انتظار

به انتگرال تابع خسارت - احتمال، خسارت سالانه قابل انتظار، گفته می‌شود. در روش تحلیل برپایه خطر، مقدار آن برابر است با میانگین تمامی مقادیر خسارت که از طریق نمونه‌برداری مونت کارلو^۱ از روابط آبدهی - احتمال، تراز - آبدهی و تراز - خسارت و عدم قطعیت‌های زیربط به‌دست می‌آید.



شکل ۴-۱- نمودار وضعیت‌های ممکن تحلیل خسارت سیلاب

۴-۱-۳-۲- خسارت سالانه معادل

به مقدار خسارت در هر دو شرایط بی و باطرح منطقه مورد مطالعه در طول دوره تحلیل (عمر پروژه) با در نظر گرفتن تغییرات هیدرولوژیک، هیدرولیک و شرایط خسارت سیلاب در طول عمر پروژه خسارت سالانه معادل^۲ گفته می‌شود. برای محاسبه آن، ابتدا خسارت سالانه قابل انتظار برای هر یک از سال‌های تحلیل محاسبه شده و سپس مقادیر به‌دست آمده به ارزش حال تنزیل شده و در نهایت به سالانه تبدیل می‌شوند. به جای محاسبه خسارت سالانه قابل انتظار برای تک‌تک سال‌ها، بهتر است ابتدا مقدار آن برای سال پایه و محتمل‌ترین سال آتی محاسبه و برای سال‌های مابین به صورت میان‌یابی محاسبه شود. خسارت سالانه قابل انتظار برای سال‌های بعد از سالی که در آینده محتمل‌ترین شرایط را دارد، برابر با همان سال در نظر گرفته می‌شود.

۴-۲- کاربری اراضی

میزان کل خسارت ریالی در یک منطقه سیل‌زده به میزان و نوع سرمایه‌گذاری‌های انسانی در زمینه‌های مختلف و سرمایه‌های طبیعی موجود بستگی پیدا می‌کند. سرمایه‌گذاری‌ها می‌تواند ساختمان‌ها و تجهیزات و امکانات درون آن‌ها، تاسیسات زیربنایی و تولیدی، فعالیت‌های صنعتی و یا کشاورزی باشد. سرمایه‌های طبیعی نیز می‌تواند جنگل‌ها، مراتع،

1- Monte Carlo

2- Equivalent Annual Damage

حیات وحش و دیگر شرایط زیست‌محیطی منطقه باشد. به‌طور خلاصه کاربری اراضی^۱ به توزیع و گسترش سرمایه‌گذاری‌ها یا سرمایه‌های طبیعی و در یک کلام به نحوه استفاده از اراضی گفته می‌شود.

در واقع اطلاعات مربوط به کاربری اراضی یکی دیگر از داده‌های مورد نیاز برای برآورد خسارت سیلاب است. هرچه این اطلاعات دقیق‌تر و ریزتر باشد، به شرط امکان تعریف و تعیین معیارها و ضوابط مربوط به میزان خسارت از جمله تابع عمق - خسارت برای کاربری‌های ریزتر، نتایج برآورد خسارت نیز دارای دقت زیاد خواهد بود.

کاربری اراضی یا به عبارت دیگر نوع استفاده از زمین است. با توجه به تنوع استفاده از زمین، کاربری اراضی را می‌توان به گروه‌های متفاوت تقسیم کرد. گروه‌بندی‌های مختلفی با توجه به شرایط منطقه و اهداف مطالعه می‌تواند وجود داشته باشد. در اینجا با توجه به هدف برآورد خسارت سیلاب برای مطالعات اقتصادی طرح‌های کاهش خسارت سیلاب و برآورد خسارت سیلاب‌های رخ داده شش گروه اصلی کاربری اراضی تعریف شده است. این شش گروه عبارتند از:

الف- کاربری مسکونی

ب- کاربری تجاری

ج- کاربری صنعتی

د- کاربری فضای باز^۲

ه- کاربری روستایی - کشاورزی

و- کاربری ویژه^۳

در خصوص گروه‌بندی اخیر لازم است این نکته توضیح داده شود که با توجه به گستردگی هر یک از گروه‌های کاربری اراضی و تنوع درونی آن‌ها به لحاظ نوع ساخت و سازها، فعالیت‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها، در غالب موارد، ضرورت گروه‌بندی مجدد هر گروه و تعریف زیرگروه‌های مشابه و همگن‌تر به لحاظ نوع و نحوه فعالیت و ساخت و ساز و حساسیت به خسارت، پیش می‌آید. فراتر از این در پاره‌ای از موارد تعیین خسارت اجزاء و عناصر یک گروه یا زیر گروه به صورت منفرد و مستقل، ضرورت پیدا می‌کند. توضیحات مربوط به شش گروه یاد شده و دامنه فراگیری آن‌ها به شرح زیر است.

۴-۲-۱- کاربری مسکونی

این نوع کاربری به مناطقی که در آن‌ها خانه‌ها، منازل، مجتمع‌ها و بلندمرتبه‌ها و ... مسکونی احداث شده باشد، اطلاق می‌شود. با توجه به تراکم ساختمانی و زیستی می‌توان این گونه کاربری را به درجات مختلف تراکم از قبیل با تراکم کم و با تراکم زیاد تقسیم نمود. این نوع کاربری به دلایلی چند از جمله حضور انسان‌ها در تمام اوقات از جمله در شرایط سیلاب و ارزش زیاد محتوای ساختمان‌ها از قبیل وسایل خانه و تجهیزات ساختمان و ... حساس‌ترین و مهم‌ترین کاربری است.

1- Land Use
2- Open Space
3- Special

تنوع ساختمان‌ها در این‌گونه کاربری همانند خانه‌های یک و چند طبقه، ساختمان‌های بلندمرتبه و ... ایجاب می‌کند که برای برآورد خسارت، زیر گروه‌هایی برای این نوع کاربری تعریف شود، تا امکان برقراری و تعیین معیارها و ضوابط خسارت از جمله تابع عمق - خسارت، در هر یک زیر گروه‌ها با سازه‌های کم و بیش همگن و مشابه فراهم آید. بدیهی است که تنوع زیر گروه به شرایط کشور، منطقه یا حتی محدوده پروژه بستگی پیدا می‌کند. به عنوان مثال در کشور ایالت متحده آمریکا استاندارد کم و بیش ملی برای تعریف زیر گروه‌های کاربری اراضی مسکونی وجود دارد. تعداد این زیر گروه‌ها که با معیارهایی از قبیل تعداد طبقه، بود و نبود زیرزمین و امثالهم از همدیگر تفکیک می‌شوند، به بیش از ۱۰ مورد می‌رسد.

۴-۲-۲- کاربری تجاری

این نوع کاربری، مغازه‌ها، فروشگاه‌ها و دفاتر کار را در برمی‌گیرد. خسارت سیلاب به این نوع کاربری نیز می‌تواند زیاد باشد، لیکن به میزان کاربری مسکونی خطرناک نمی‌باشد، به دلیل این‌که حضور و فعالیت انسان‌ها در چنین مناطقی دایمی و شبانه‌روزی نبوده و چه بسا که به هنگام سیلاب خالی از فعالیت باشد. زیر گروه‌های این نوع کاربری می‌تواند، گروه‌های همگن کسب و کار، مغازه‌های خرده فروشی، فروشگاه‌ها و دفاتر کار کوچک و بزرگ باشد.

۴-۲-۳- کاربری صنعتی

کاربری صنعتی شامل کلیه مواردی است که در آن‌ها فعالیت‌های صنعتی از قبیل کارخانجات، کارگاه‌ها، گاراژها و انبارها انجام می‌گیرد. با وجود این‌که خسارت سیلاب در این گروه می‌تواند زیاد باشد، لیکن مخاطره سیلاب در این‌گونه مناطق به دلایلی چند از جمله عدم حضور دایمی شاغلین و فعالین کم است.

۴-۲-۴- کاربری فضاهای باز

این‌گونه کاربری به اراضی گفته می‌شود که مشخصا با اهداف تفریحی امکاناتی در آن‌ها ایجاد شده باشد. بارزترین آن‌ها عبارت است از پارک‌ها، زمین‌های ورزشی، ورزشگاه‌ها و تفریگاه‌های همراه با تجهیزات و وسایل تفریحی. با توجه به تراکم پایین توسعه و سرمایه‌گذاری و نحوه استفاده از این نوع کاربری به لحاظ خطرات ناشی از سیل چندان مهم نیستند.

۴-۲-۵- کاربری روستایی - کشاورزی

کاربری روستایی به انواع و اقسام فعالیت‌های کشاورزی و دامداری و کارگاه‌های وابسته به آن گفته می‌شود. ساختمان‌های مربوط به این گروه در درجه پایین اهمیت به لحاظ خسارت سیلاب قرار می‌گیرند.

۴-۲-۶- کاربری ویژه

کاربری ویژه بیمارستان‌ها، مدارس، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، ساختمان‌های مربوط به پلیس، ایستگاه‌های مخابراتی، تاسیسات توزیع برق، کارهای آب و فاضلاب و ... شامل می‌شود این امکانات و خدمات می‌تواند برای امداد رسانی در زمان سیلاب و برای کاهش اختلالات اجتماعی بعد از سیلاب مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، سعی می‌شود که این‌گونه امکانات و تسهیلات در خارج از منطقه‌ای که در خطر سیلاب قرار دارد، ایجاد شوند که تا به هنگام سیلاب امکان استفاده از آن‌ها فراهم باشد.

۴-۳- پهنه‌بندی سیلاب

۴-۳-۱- روش کار

پهنه‌بندی سیل عبارت است از تعیین گستره سیلاب و محدوده پخش آن در سیلاب‌دشت. اهداف پهنه‌بندی با توجه به نیازها می‌تواند متفاوت باشد. تعیین بستر و حریم، تهیه نقشه خطر سیلاب، بیمه‌گذاری و تعیین پهنه خسارت از جمله اهداف اصلی پهنه‌بندی سیل است. نیازهای اصلی پهنه‌بندی عبارتند از: نقشه‌های برجسته‌سنجی (توپوگرافیک) منطقه طرح همراه با مقاطع عرض رودخانه، مطالعات هیدرولوژیک برای تعیین مشخصه‌های سیلاب‌ها با دوره برگشت‌های مختلف و مطالعات هیدرولیک برای ترسیم نیمرخ طولی سطح آب. در فصول قبل به نوع اطلاعات مربوط به نقشه‌ها و مطالعات هیدرولوژیک مورد نیاز پرداخته شده و در مطالب آینده این بخش نیز مطالعات هیدرولیک مورد بحث قرار گرفته است. قبل از این بحث، با فرض وجود اطلاعات و مطالعات مورد نیاز، مراحل کار به شرح زیر آمده است:

الف- تهیه نقشه‌های توپوگرافی و مقاطع عرضی رودخانه

ب- انجام مطالعات هیدرولوژیک به منظور تعیین مشخصه‌های سیلاب‌ها

ج- انجام مطالعات هیدرولیک برای تهیه نیمرخ‌های طولی سطح آب

د- انتقال اطلاعات مربوط به محدوده سیل به روی نقشه‌های توپوگرافیک

برای پهنه‌بندی سیلاب به عبارت دیگر ترسیم نیمرخ طولی سطح آب در غالب اوقات استفاده از مدل یک بعدی جریان کفایت می‌کند با توجه به شرایط توپوگرافیک و ریخت‌شناختی رودخانه و سیلاب‌دشت، ممکن است با وجود این نیاز به مدل دو بعدی جریان باشد. برای مخازن آب نیز ضروری است از مدل ویژه استفاده شود. در زیر به اختصار به هر سه مورد اشاره شده است.

۴-۳-۱-۱- مدل جریان یک بعدی

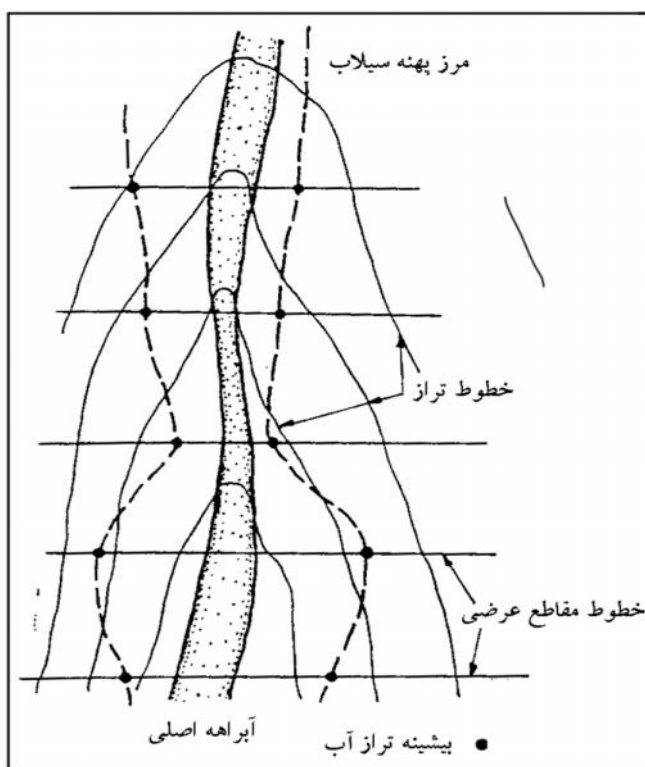
بیشینه ترازهای آب برای هر یک از مقاطع عرضی رودخانه از طریق تحلیل هیدرولیکی به دست می آید. حد جبهه سیلاب خطی است که بیشینه ترازهای آب را در مقاطع عرضی به همدیگر ارتباط می دهد در شکل (۴-۲) شیوه ترسیم نشان داده شده است.

۴-۳-۱-۲- مدل جریان دوبعدی

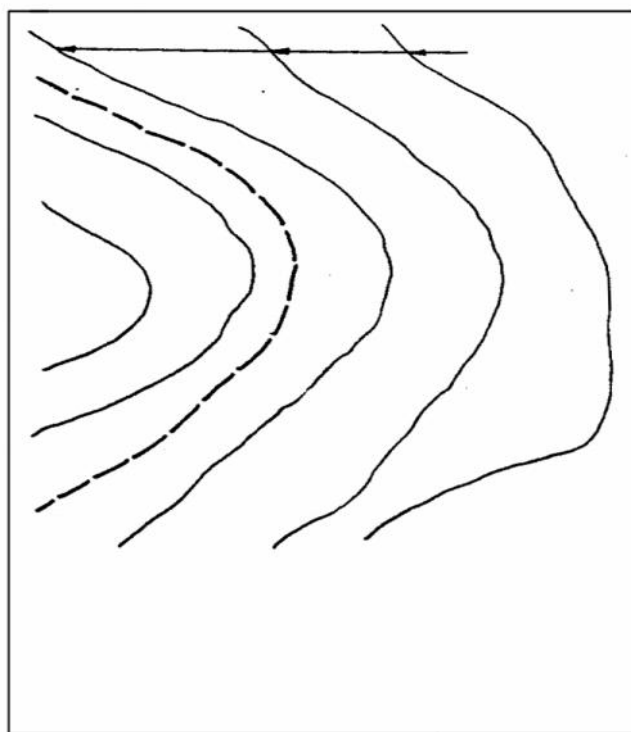
در این روش، حد جبهه سیلاب از طریق شبکه مربعی که سیلاب گرفته تعیین می شود. تدقیق خط حد سیلاب به شیوه ارائه شده در شکل (۴-۳) امکان پذیر است.

۴-۳-۱-۳- مدل مخزن^۱

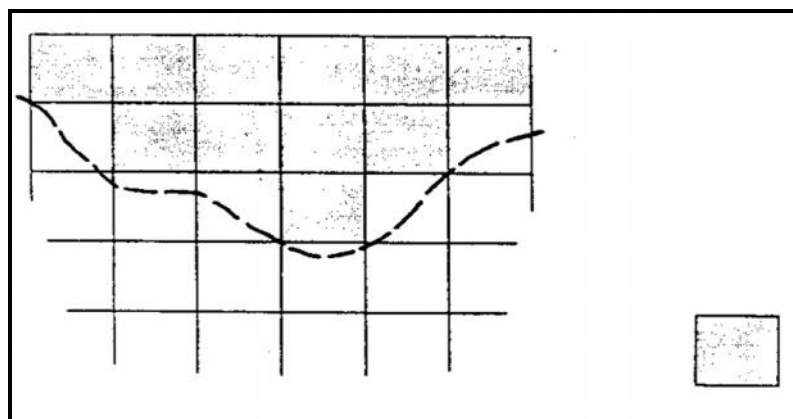
ترازهای آب برای آبدهی های مختلف محاسبه می شود. نقشه پهنه بندی از طریق ترسیم حدودی که تمامی ترازهای بیشینه را می پوشاند به دست می آید (شکل ۴-۴).



شکل ۴-۲- تعیین پهنه سیلاب با مدل یک بعدی



شکل ۴-۳- تعیین پهنه سیلاب در مخازن



شکل ۴-۴- تعیین پهنه سیلاب با مدل دو بعدی

۴-۳-۲- نیمرخ‌های طولی یا ترازهای سطح آب سیلاب

۴-۳-۲-۱- ملاحظات کلی

یکی از ملزومات پهنه‌بندی سیلاب تعیین نیمرخ‌های طولی یا ترازهای سطح آب در نقاط مختلف رودخانه برای جریان‌های سیلابی مشخص، مبتنی بر پهنه‌های مورد نظر است. در زیر به اجمال به شیوه‌های تعیین نیمرخ‌های طولی در شرایط مختلف پرداخته شده است.

۴-۳-۲-۱-۱- ساده در مقابل مرکب

روش‌های مختلفی برای تعیین تراز آب در رودخانه برای یک سیل مشخص وجود دارد. این روش‌ها از آبدهی-تراز^۱ یا منحنی سنجه^۲ تا تحلیل‌های چند بعدی تغییر می‌کند. هرچه روش‌ها پیچیده‌تر شود، به زمان، هزینه و تجربه مهندسی بیش‌تری نیاز است تا اجرای موفق روش فراهم آید.

۴-۳-۲-۱-۲- ماندگار در مقابل ناماندگار

تعیین تراز سیلاب در رودخانه به لحاظ نوع جریان، می‌تواند از طریق جریان ماندگار (آبدهی ثابت در زمان) یا براساس جریان ناماندگار (آبدهی متغیر در زمان) انجام گیرد. بدیهی است که روش جریان ناماندگار بیش‌تر با شرایط طبیعی همساز است، لیکن در عمل در غالب اوقات فرض جریان ماندگار در رودخانه برای بررسی تراز سیلاب کفایت می‌کند. ضمن آن‌که ارزیابی جریان ناماندگار پیچیده می‌باشد.

۴-۳-۲-۱-۳- بستر ثابت^۳ در مقابل بستر متحرک^۴

هندسه رودخانه‌های آبرفتی طی زمان به دلیل حمل رسوب تغییر پیدا می‌کند. پدیده فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه موجب افزایش یا کاهش ظرفیت جریان در رودخانه می‌شود و این تغییر به نوبه خود موجب تغییر ترازهای سطح آب سیلاب می‌شود. با وجود این، فرض بستر ثابت که منجر به سادگی تحلیل هیدرولیکی جریان رودخانه می‌شود، در غالب اوقات برای تعیین ترازهای سطح سیلاب نتیجه رضایت‌بخشی به‌دست می‌دهد.

۴-۳-۲-۱-۴- رابطه تراز - آبدهی

تبدیل آبدهی به تراز رودخانه یا به عبارت بهتر به تراز سطح آب رودخانه با استفاده از اندازه‌گیری جریان رودخانه، دقیق‌ترین و آسان‌ترین روش می‌باشد. اندازه‌گیری ممتد تراز آب همراه با اندازه‌گیری متناوب جریان رودخانه منجر به ایجاد رابطه‌ای می‌شود که از طریق آن برای هر تراز مورد نظر می‌توان مقدار آبدهی را به‌دست آورد. در شکل (۴-۵) یک نمونه از رابطه تراز - آبدهی یا منحنی سنجه برای یک محل اندازه‌گیری در رودخانه نشان داده شده است. این رابطه با استفاده از داده‌های طولانی مدت محل اندازه‌گیری برقرار گردیده است.

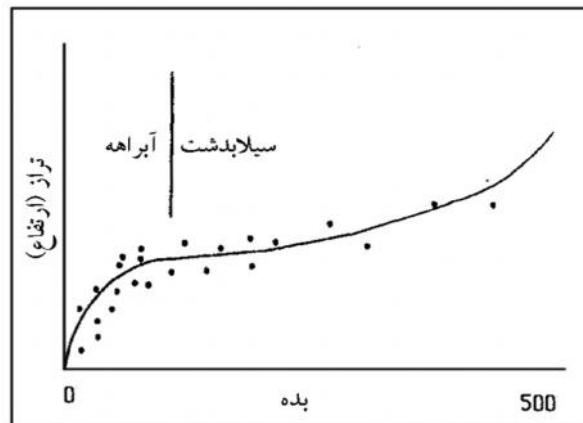
همان‌طور که ملاحظه می‌شود، تعداد نقاطی که به جریان‌های داخل آبراهه اصلی رودخانه (آبدهی‌های کم‌تر از بده غالب) مربوط می‌شود، به میزان قابل توجهی از نقاط مربوط به آبدهی‌های بیش از بده غالب، زیادتر است. به دلیل این‌که آبدهی‌های زیاد بندرت و تنها در مواقع سیلاب مشاهده می‌شود و از این‌رو در یک دوره بلندمدت تنها چند نقطه را به خود اختصاص می‌دهد. بدیهی است که ترسیم منحنی با نقاط کم از دقت کافی برخوردار نخواهد بود.

1- Stage - Discharge

2- Rating Curve

3- Rigid

4- Mobile



شکل ۴-۵- منحنی سنج داده‌های اندازه‌گیری شده

۴-۳-۲- مبانی روش‌ها

۴-۳-۲-۱- مبانی جریان ماندگار

در جریان ماندگار فرض بر این است که تغییرات آبدهی در زمان به اندازه‌ای کم است که می‌توان آن را بر دوره محاسبه ثابت فرض کرد. در جریان متغیر تدریجی فرض بر این است که عمق و سرعت جریان در ارتباط با یک آبدهی مشخص در طول یک بازه رودخانه به میزان خیلی کم تغییر می‌کند. برای غالب محاسبات مربوط به تعیین نیمرخ سطح آب، این دو فرض کلیدی کاملاً پذیرفتنی بوده و پایه تحلیل هیدرولیک رودخانه در شرایط جریان ماندگار را تشکیل می‌دهد.

با توجه به فرضیات بالا برای تحلیل هیدرولیک رودخانه در شرایط اول جریان ماندگار از اصول هیدرولیکی بقا یا تداوم انرژی و جرم (پیوستگی) استفاده می‌شود. در شکل (۴-۶) معادلات اساسی برای محاسبه نیمرخ طولی سطح در شرایط جریان ماندگار و متغیر تدریجی آمده است.

در اصل بقا انرژی، این فرض برقرار است که انرژی زیاد یا کم نمی‌شود. به عبارت دیگر انرژی تولید می‌شود و نه انرژی از بین می‌رود تغییرات در سطح یا ترازهای انرژی از یک نقطه به نقطه دیگر در سامانه رودخانه به هنگامی رخ می‌دهد که افت‌های تراز جریان آب بیش از اثرات اصطکاکی در دو نقطه باشد. تلفات انرژی در درجه اول ناشی از اصطکاک مرزی با مقداری تلفات مربوط نوسانات (تغییرات) هندسه سطح مقطع است. تغییرات در سطح مقطع و سرعت در هر نقطه به وسیله معادله پیوستگی محاسبه می‌شود. سرعت در هر نقطه با استفاده از فرمول مانینگ به دست می‌آید.

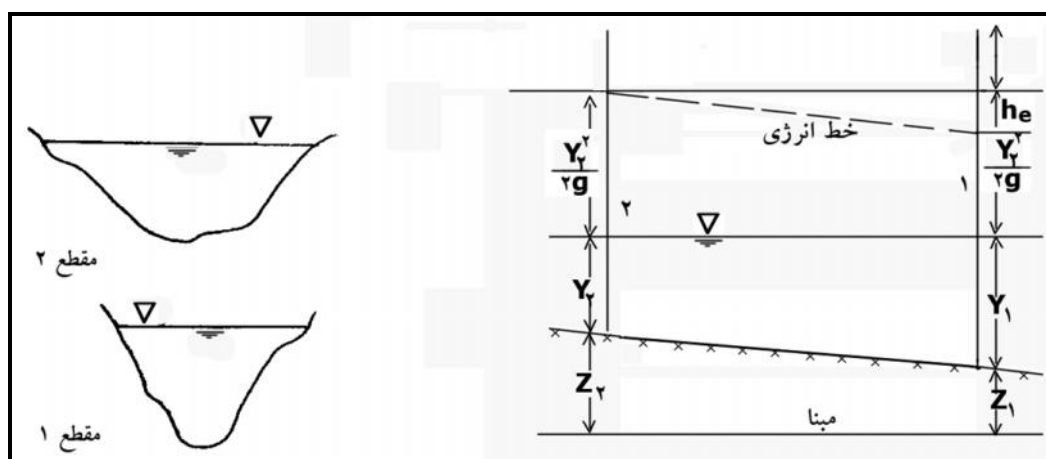
شیوه‌های تحلیل هیدرولیک جریان رودخانه در شرایط متغیر تدریجی به اندازه کافی شناخته شده‌اند. با وجود این برای کاربرد این روش نیاز به تامین داده‌های ورودی نسبتاً زیادی است. برای حل معادله دینامیکی (معادلات شکل (۴-۶)) این نوع جریان می‌توان از روش گرافیکی یا روش استاندارد گام به گام استفاده کرد. روش اخیر رایج‌ترین روش است. برای به کارگیری آن در محاسبه نیمرخ طولی سطح آب و سایر مشخصه‌های جریان در مقاطع مختلف رودخانه، نرم‌افزارها، مدل‌ها یا برنامه‌های رایانه‌ای متعددی تهیه و تدوین شده است. در زیر به اجمال به سه نمونه رایج از این نوع نرم‌افزارها پرداخته

شده و در فصل ۶ به تشریح درخصوص این گونه نرم افزارها به ویژه HEC – RAS سخن گفته شده است. این سه مورد عبارتند از:

الف- نرم افزار جامع تحلیل سامانه رودخانه^۱ که توسط رشته مهندسی ارتش آمریکا^۲ با نام مخفف HEC – RAS تهیه و تدوین شده است.

ب- نرم افزار نیمرخ سطح آب که مشترکا توسط سازمان زمین شناسی آمریکا و اداره راه فدرال آمریکا با نام مخفف^۳ WSPRO تهیه و تدوین شده است.

ج- نرم افزار جامع MIKE11 که توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک تهیه و تدوین شده است.



شکل ۴-۶- معادلات جریان ماندگار متغیر تدریجی

معادله پیوستگی

$$Q = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (۱-۴)$$

معادله مانینگ

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \times R^{0.67} \times S_f^{0.5} \quad (۲-۴)$$

معادله انرژی

$$Z_2 + y_2 + \alpha_2 \left(\frac{V^2}{2g}\right) = Z_1 + y_1 + \alpha_1 \left(\frac{V^2}{2g}\right) + h_e \quad (۳-۴)$$

در معادلات بالا

Q: آبدهی - مترمکعب بر ثانیه

A: مساحت مقطع جریان - متر مربع

-
- 1- River System Analysis
 - 2- Army Corpy of Engineers
 - 3- Water Surpase Profile

n: ضربی اصطکاک مانینگ – بدون بعد

S_f : شیب اصطکاکی، - متر بر متر

y : عمق آبراهه – متر

Z+y: تراز سطح آب از تراز مینا (معمولاً میانگین تراز سطح آب دریا) - متر

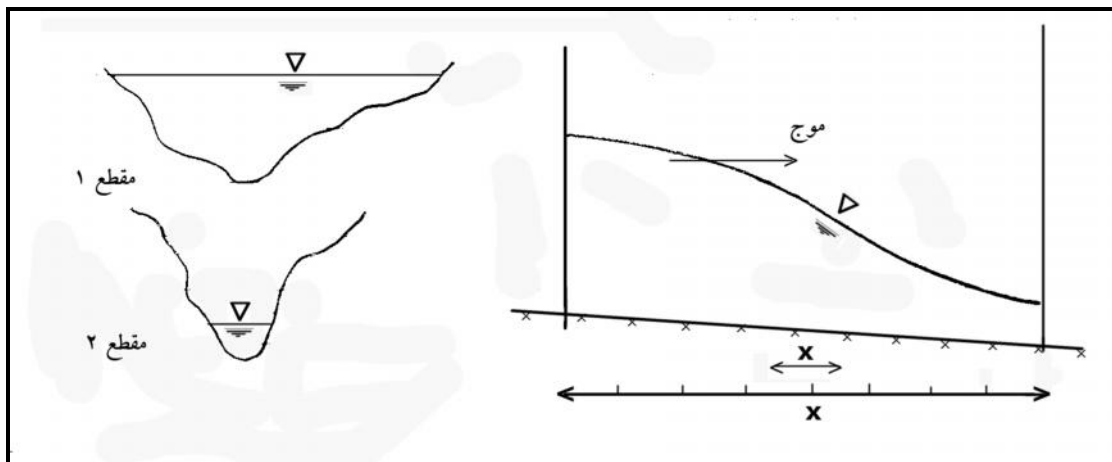
α : ضریب توزیع سرعت - بدون بعد

۴-۳-۲-۲-۲- مبانی روش جریان غیر ماندگار

> تحلیل شکست سد

> در صورتی که شرایط مرزی پایین دست همانند تغییرات سطح آب در اثر جذر و مد تغییر نکند

شروع و توقف ناگهانی، پمپ‌ها و سیلاب‌ها برق‌آسا در رودخانه‌های کوچک



شکل ۴-۷. معادلات جریان غیر ماندگار، متغیر تدریجی

معادله پیوستگی

$$y = \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) + V \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right) + \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right) = 0 \quad (4-4)$$

معادله مومنوم

$$S_f = S_o - \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) - \frac{V}{g} \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) - \frac{1}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right) \quad (5-4)$$

در معادلات بالا

y: عمق - متر

V: سرعت - متر بر ثانیه

x: فاصله - متر

t: زمان - دقیقه

g: شتاب ثقل یا ثابت ثقلی - متر بر مجذور ثانیه

S_o: شیب کف آبراهه

S_f: شیب اصطکاکی - متر بر متر

∂: مشتق جزئی، مثلاً $\frac{\partial v}{\partial x}$ عبارت است از تغییرات سرعت نسبت به فاصله

در واقع تحلیل جریان به روش غیرماندگار به هنگامی ضرورت پیدا می کند که اثرات ازسیال جریان که منجر به مومنوم متعادل نشده، به اندازه کافی بزرگ باشد که نتوان از آن صرف نظر کرد. معادلات اساسی برای تحلیل جریان یک بعدی ناماندگار در شکل (۷-۴) ارائه شده است. همان طوری که مشاهده می شود تفاوت بین تحلیل جریان ماندگار و غیرماندگار، در نظر گرفتن عامل شتاب محلی در معادله (۲-۴) و همچنین شکل دقیق و پیچیده معادله پیوستگی در

جریان غیرماندگار است. حل معادله جریان غیرماندگار با توجه به نیاز به تعداد قابل توجهی عوامل محاسباتی مشکل بوده و از این رو استفاده از رایانه با سرعت بالا را ضروری می‌نماید. در سال‌های اخیر تعدادی مدل‌های جریان غیرماندگار برقرار شده و استفاده از این گونه مدل‌ها آسان‌تر شده است. با وجود این هنوز، برای استفاده از این گونه فنون نیاز به تجربه مهندسی بالایی است.

نرم‌افزارها یا به عبارت دیگر مدل‌های متعددی برای محاسبه نیمرخ طولی سطح آب جریان در شرایط ناماندگار متغیر تدریجی تهیه و تدوین شده است. از جمله این نرم‌افزارها می‌توان به HEC - RAS و MIKE11 و Unet اشاره کرد که در فصل ۶ به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

۴-۳-۲-۳- مبانی هیدرولیک با بستر متحرک

در صورتی که فرض بستر صلب معنی‌دار نباشد، از تحلیل بستر متحرک استفاده می‌شود. برای بسیاری از رودخانه‌ها، چنان‌که تغییرات بستر اصلی و کناره‌های رودخانه در ارتباط با مشخصه‌های حمل رسوب که موجب فرسایش و رسوبگذاری می‌شود، کم باشد فرض بستر صلب برای سیلاب طراحی قابل قبول است.

با وجود این رودخانه در طول زمان به وسیله تنظیم هندسه مقطع عرضی، شیب طولی، ترکیب مصالح بستر به تغییر رژیم رسوبی عکس‌العمل نشان می‌دهد. به این ترتیب تحلیل بستر متحرک عموماً برای شرایط روند بلندمدت در طول عمر یک پروژه کاهش خسارت سیلاب یا ترابری آبی در نظر گرفته می‌شود. سطح پیچیدگی تحلیل جریان با بستر متحرک شبیه تحلیل جریان متغیر تدریجی در شرایط یک بعدی است. در غالب تحلیل‌های جریان با روش بستر متحرک تعدادی فرضیات اساسی به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود.

الف- تحلیل جریان یک بعدی است به عبارت دیگر در هر مقطع فقط یک عدد برای سطح آب وجود دارد.

ب- شیب طولی بستر اصلی رودخانه کم است.

ج- چگالی رسوب جریان آب ثابت است.

د- برای ضریب اصطکاک nil مانینگ استفاده می‌شود.

ه- در طول رودخانه جریان متغیر تدریجی است.

تحلیل ممکن است با استفاده از مدل انجام گیرد. به طور معمول مدل، تحلیل جریان متغیر تدریجی ماندگار را با محاسبات مربوط به انتقال رسوب در انتهای یک دوره جریان ترکیب می‌کند. تغییرات هندسه رودخانه پیش از شروع محاسبات مربوط به دوره بعد، محاسبه می‌شود. محاسبات معمولاً برای یک دوره چند ساله جریان انجام می‌گیرد، تا تغییرات بلندمدت ایجاد شده در هندسه رودخانه و ترازها سطح آب معلوم شود.

۴-۴- تابع تراز - خسارت

۴-۴-۱- تعاریف، کاربرد و روش‌ها

خسارت ناشی از سیلاب به گونه‌ای تابعی از مشخصه‌های آن از جمله میزان آبدهی، عمق جریان و استغراق، تداوم استغراق، سرعت جریان و ... است. از بین توابعی که با توجه به شرایط سیلاب می‌تواند وجود داشته باشد، در گذشته دو گونه تابع آبدهی - خسارت و تراز - خسارت بیش‌تر معمول بوده و اکنون نیز با توجه به تجارب موجود و به دلایلی چند از جمله همبستگی بیش‌تر خسارت با عمق جریان در مقایسه با آبدهی، تابع تراز - خسارت عمومیت پیدا کرده است. تابع تراز - خسارت یکی از ارکان اصلی برآورد و ارزیابی خسارت ناشی از سیلاب به‌ویژه خسارت فرضی یا بالقوه است. این تابع که می‌تواند معرف خسارت یک مورد (مثلاً یک ساختمان مسکونی)، یا مجموعه‌ای از یک گروه کاربری اراضی، یا یک بازه‌ای از سیلاب‌دشت رودخانه باشد، با استفاده از معیارها و ضوابط مربوط به تعیین خسارت در ارتباط با عمق آب در محل خسارت دیده از جمله تابع عمق - خسارت به‌دست می‌آید. پاره‌ای تعاریف و توضیحات مربوط به این دو تابع و اجزای آن به شرح زیر است.

۴-۴-۱-۱- عمق^۱

به فاصله سطح آب نسبت به یک نقطه در پایین آن عمق گفته می‌شود. در این‌جا منظور مقداری است که مربوط به خسارت ناشی از عمق آب باشد.

۴-۴-۱-۲- تراز یا ارتفاع یا عمق مبنادار^۲

به فاصله عمودی بالا یا پایین یک مبنای محلی یا ملی (شبکه تراز سراسری) گفته می‌شود.

۴-۴-۱-۳- تابع عمق - خسارت^۳

به رابطه عمق آب با مقدار خسارت در یک سازه یا ساختمان تابع عمق - خسارت گفته می‌شود. عموماً خسارت به صورت درصد ارزش ساختمان یا محتوای داخل آن بیان می‌شود. این تابع برای سازه‌های مشابه ژنریک بوده و ارتباطی به محل سازه ندارد. این تعریف صرفاً برای سازه‌ها است.

۴-۴-۱-۴- تابع تراز - خسارت^۴

به رابطه خسارت برای دامنه‌ای از ترازهای سیلاب در یک سازه یا مقادیر جمع شده خسارت برای یک گروه از خسارت برای دامنه‌ای از ترازهای سیلاب در محل ایستگاه شاخص بازه خسارت دیده^۵، تابع تراز - خسارت گفته می‌شود.

1- Depth

2- Stage

3- Depth-Damage

4- Stage -Damage

5- Damage Reach Index Location Station

۴-۴-۲- معیارها

در مطالعات مربوط به برآورد خسارت سیلاب، برقراری ضوابط و معیارهای مربوط به خسارت وارده به یک سازه یا یک جزء یا زیر گروه از گروه‌های کاربری اراضی (مثلاً برای محصول ذرت از گروه کشاورزی) از جمله تهیه تابع عمق - خسارت یکی از ضروریات است. با وجود این تهیه و تدوین چنین معیارهایی با توجه به پیچیدگی‌های بالای موضوع، توسط یک گروه و برای یک مطالعات خاص به‌ویژه در صورت محدودیت زمان، توأم با دشواری‌هایی است که مطلوبیت نتایج را مورد تردید قرار می‌دهد.

نظر به دشواری‌های موجود، از چند دهه پیش مطالعات و بررسی زیاد در محافل علمی و فنی جهان به‌ویژه کشورهای پیشرفته، مستعد به جاری شدن سیلاب رودخانه‌ای و سیلاب‌های ناشی از طوفان دریایی انجام گرفته است. به‌نحوی که توابع و معیارهایی برای گروه‌هایی از کاربری‌های اراضی به‌ویژه کاربری ساختمانی مسکونی به صورت استاندارد ملی، منطقه‌ای یا سازمانی و نهادهی (همانند سازمان‌های بیمه) به‌ویژه در کشور آمریکا که بیش‌ترین تحقیقات را در این زمینه به خود اختصاص داده، پذیرفته شده است. با وجود این در همان‌جا نیز، شرایطی پیش می‌آید که نیاز به تدوین معیارهای خاص یک طرح باشد. به هر حال برای تدوین معیارها و ضوابط مربوط به خسارت از جمله تابع عمق - خسارت با توجه به مجموعه شرایط موجود در کشوری یا منطقه‌ای یا طرحی لازم است نکات زیر مورد توجه قرار گیرد.

الف- معیارها و توابع مورد نظر موجود است و به طور مستقیم قابل استفاده است.

ب- معیارها و توابعی وجود دارد که به دلیل تفاوت شرایط به‌طور مستقیم قابل استفاده نیستند، با وجود این امکان سازگار سازی آن‌ها با انجام اصلاحاتی وجود دارد.

ج- معیارها و توابعی تدوین و برقرار نشده، از این‌رو ضروری است چنین معیارها و ضوابط و توابع برای مطالعات طرح کاهش خسارت سیلاب تدوین شود.

در این راهنما به منظور آشنایی با حدود این‌گونه معیارها و شیوه‌های استفاده از آن‌ها به اجمال و به تفکیک بخش ساختمان و کشاورزی به این موضوع پرداخته شده است.

۴-۴-۲-۱- معیارهای خسارت در بخش کشاورزی

با توجه به تجارب خسارت محصولات کشاورزی در اثر جاری شدن سیلاب با میزان استغراق همبستگی بیش‌تری دارد. از سوی دیگر از آنجا که ارتفاع محصولات زراعی چندان زیاد نیست. لذا به طور معمول میزان خسارت وارده با یکی دو عمق استغراق مورد مطالعه قرار می‌گیرد. هم‌چنین با توجه به ماهیت متغیر گیاه در طول سال یا دوره رشد، میزان خسارت وابسته به مرحله رشد گیاه است. از این‌رو برای برآورد خسارت یک محصول، لازم است مقدار یا درصد خسارت یک سیلاب مشخص (یک عمق مشخص از سیلاب) در هر یک از مراحل رشد یا در هر یک از ماه‌های دوره رشد تعیین شود. به عبارت دیگر معیارهای خسارت یا تابع عمق - خسارت با استفاده از خسارت موزن (وزنی شده) طول دوره رشد گیاه برای اعماق مختلف آب به‌دست می‌آید.

در برخی موارد یا به عبارت دیگر برای شرایط کلی برای برآورد میزان خسارت به گیاه از طول دوره رشد صرف نظر می شود. ضمن آن که تداوم زمان سیلاب به عنوان که عامل وارد فرایند برآورد خسارت می شد. با وجود این که این شیوه از یک سو چندان دقیق نبوده و از سوی دیگر عمدتاً در مراحل آغازین بحث خسارت سیلاب مورد عمل قرار می گرفته و صورت کلی دارد و امروزه در مطالعات خسارت سیلاب (به ویژه با وجود ابزارها و برنامه های رایانه ای) بحث خسارت در طول ماه های رشد گیاه مورد توجه می باشد، اما در این جا به اشارت به آن پرداخته شده است.

در جدول (۴-۱) درصد خسارت برای محصولات اساسی در کشور آمریکا با توجه به متغیرهای مدت و عمق استغراق آمده است. ملاحظه می شود که میزان خسارت برای دو عمق استغراق تا ۰/۶ متر و بیش از ۰/۶ متر و در دو حالت تداوم استغراق کمتر از ۲۴ ساعته و بیش تر از ۲۴ ساعته داده شده است.

جدول ۴-۱- درصد خسارت برای گیاهان زراعی

| محصول | خسارت (درصد) | | | |
|-------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| | مدت استغراق کمتر از ۲۴ ساعت | | مدت استغراق کمتر از ۲۴ ساعت | |
| | بیش از ۰/۶ متر | ۰ تا ۰/۶ متر | بیش از ۰/۶ متر | ۰ تا ۰/۶ متر |
| ذرت | ۵۴ | ۸۸ | ۷۵ | ۱۰۰ |
| سویا | ۹۲ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| جو دوسر | ۶۷ | ۹۷ | ۸۱ | ۱۰۰ |
| یونجه | ۶۰ | ۸۲ | ۷۰ | ۹۷ |
| علوفه | ۵۰ | ۷۵ | ۶۰ | ۹۰ |
| گندم پاییزه | ۵۷ | ۸۷ | ۷۲ | ۱۰۰ |

در هر حال اولین گام برای تعیین تابع عمق - خسارت برای هر محصول کشاورزی یا برای هر ترکیب کشت، برقراری معیار درصد خسارت ناشی از سیلاب با ارتفاع مشخص برای هر یک از ماه ها یا فصول (مرحله رشد) در طول دوره رشد گیاه است. درحالی که چنین معیارهایی استاندارد نیستند نه تنها برای مناطق مختلف کشور حتی برای کل کشور وجود ندارد، لذا برای نمونه در جدول (۴-۲)، این معیارها برای منطقه شمال شرقی آمریکا که توسط وزارت کشاورزی همان کشور برای محصولات زراعی اصلی تهیه شده، ارائه گردیده است.

جدول ۴-۲- درصد خسارت در طول دوره رشد گیاهان زراعی اصلی منطقه شمال شرق آمریکا ذرت دانه ای

| ماه | عمق غرقابی - متر | |
|---------|------------------|---------------|
| | ۰-۰/۶ | بیش تر از ۰/۶ |
| آوریل | ۱ | ۱ |
| می | ۶ | ۸ |
| جون | ۲۸ | ۴۱ |
| جولای | ۲۱ | ۵۶ |
| اوت | ۸ | ۲۶ |
| سپتامبر | ۳ | ۱۸ |
| اکتبر | ۲ | ۱۴ |
| نوامبر | - | ۳ |

ذرت علوفه‌ای

| ماه | عمق غرقابی - متر | |
|---------|------------------|-------|
| | بیش‌تر از ۰/۶ | ۰-۰/۶ |
| آوریل | ۱ | ۱ |
| می | ۲ | ۲ |
| جون | ۲۴ | ۱۷ |
| جولای | ۵۸ | ۲۲ |
| اوت | ۲۷ | ۹ |
| سپتامبر | ۱ | ۱ |

گندم پاییزه

| ماه | عمق غرقابی - متر | |
|---------|------------------|-------|
| | بیش‌تر از ۰/۶ | ۰-۰/۶ |
| مارس | ۱۰ | ۷ |
| آوریل | ۴۱ | ۲۷ |
| می | ۶۱ | ۳۹ |
| جون | ۷۲ | ۴۸ |
| جولای | ۳۶ | ۲۱ |
| اوت | ۹ | ۵ |
| سپتامبر | ۷ | ۴ |
| اکتبر | ۹ | ۵ |
| نوامبر | ۷ | ۵ |

جو و جو دوسر

| ماه | عمق غرقابی - متر | |
|-------|------------------|-------|
| | بیش‌تر از ۰/۶ | ۰-۰/۶ |
| آوریل | ۳۵ | ۲۲ |
| می | ۱۹ | ۱۳ |
| جون | ۳۵ | ۲۴ |
| جولای | ۳۰ | ۲۰ |

یونجه

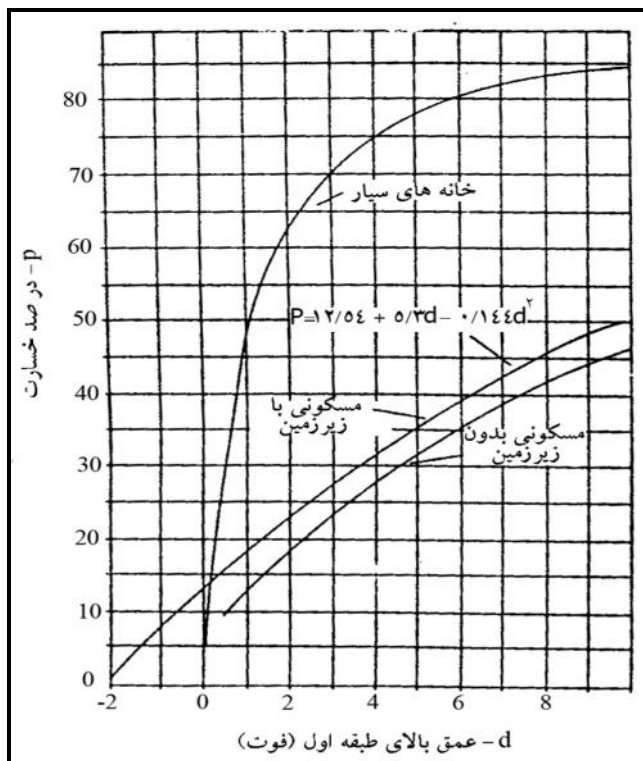
| ماه | عمق غرقابی - متر | |
|---------|------------------|-------|
| | بیش‌تر از ۰/۶ | ۰-۰/۶ |
| آوریل | ۸ | ۵ |
| می | ۲۴ | ۲۰ |
| جون | ۲۸ | ۲۱ |
| جولای | ۲۱ | ۱۵ |
| اوت | ۱۱ | ۸ |
| سپتامبر | ۳ | ۲ |

علوفه

| ماه | عمق غرقابی - متر | |
|---------|------------------|-------|
| | بیش تر از ۰/۶ | ۰-۰/۶ |
| آوریل | ۱۴ | ۲ |
| می | ۱۵ | ۱۰ |
| جون | ۱۶ | ۱۲ |
| جولای | ۹ | ۶ |
| اوت | ۶ | ۳ |
| سپتامبر | ۷ | ۵ |
| اکتبر | ۴ | ۲ |

۴-۲-۲- معیارهای خسارت ساختمان‌ها

گریگ^۱ و هلوک^۲ برای انواع ساختمان‌های مسکونی توابع عمق - خسارت سیلاب را براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از سازمان‌های مختلف تهیه و تدوین کرده‌اند. گوری^۳ و دیگران دسته منحنی‌هایی برای انواع ساختمان‌ها ارائه کرده‌اند که در آن‌ها میزان خسارت براساس عمق یا ارتفاع آب نسبت به طبقه اول ساختمان نشان داده است. در شکل (۴-۸) این دسته منحنی‌ها آمده است.



شکل ۴-۸- روابط درصد خسارت با تحمل آب برای ساختمان‌ها

- 1- Grigg
- 2- Helweg
- 3- Corry

سازمان بیمه فدرال آمریکا سالیان دراز در این زمینه کار کرده که حاصل آن توابع عمق - خسارت است که به صورت درصد خسارت در ارتباط با عمق آب برای انواع ساختمان‌های مسکونی و ساختمان‌های تجاری کوچک (فروشگاه‌های کوچک) و محتویات درون آن‌ها از جمله وسایل زندگی جدول شده است. در زیر گروه‌بندی مربوط به انواع ساختمان‌ها و محتویات درون آن‌ها در ارتباط با کارهای سازمان یاد شده، آمده است.

۴-۲-۳- ساختمان‌های مسکونی

- > یک طبقه، بدون زیرزمین و با زیرزمین (دو زیر گروه)
- > دو طبقه یا بیش‌تر، بدون زیرزمین و یا زیرزمین (دو زیر گروه)
- > دوبلکس، بدون زیرزمین و با زیرزمین (دو زیر گروه)
- > تماماً زیرزمین
- > خانه متحرک بر روی فونداسیون

۴-۲-۴- محتوای ساختمان‌های مسکونی

- > تمامی در یک طبقه
- > تمامی در دو طبقه اول یا بیش‌تر
- > تمامی در ساختمان دوبلکس بدون زیرزمین
- > تمامی در بالای طبقه اول
- > تمامی در زیرزمین
- > تمامی در طبقه اول و زیرزمین
- > تمامی در دو طبقه اول یا بیش‌تر با زیرزمین
- > تمامی در ساختمان دوبلکس با زیرزمین
- > خانه متحرک بر روی فونداسیون

۴-۲-۵- محتوای فروشگاه‌های کوچک

- > تمامی در طبقه اول و بالاتر - با حساسیت کم
- > تمامی در طبقه اول و بالاتر - با حساسیت کم
- > تمامی در طبقه اول و بالاتر - با حساسیت کم
- > تمامی در طبقه اول و بالاتر - با حساسیت زیاد
- > تمامی در طبقه اول و بالاتر - با حساسیت زیاد
- > تمامی در طبقه اول و بالاتر - با حساسیت زیاد

در واقع این توابع و جداول عمدتاً به عنوان معیار و راهنمای تعیین خسارت سیل توسط سازمان‌های بیمه و سایر موسسات دولتی و غیر دولتی دست‌اندرکار از جمله سازمان مدیریت فوریت‌های فدرال^۱ (FEMA) برای ارزیابی خسارت به‌ویژه برای طرح‌های کاهش خسارت سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول (۴-۲) چند مورد از توابع جدول شده سازمان بیمه فدرال آمریکا آمده است.

جدول ۴-۲- درصد خسارت برای سه نوع ساختمان و محتوای آن‌ها در ارتباط با عمق آب (سازمان بیمه فدرال)

| عمق (فوت) | یک طبقه بدون زیرزمین | | دو طبقه و بیش‌تر با زیرزمین | | دوبلکس بدون زیرزمین | |
|--------------|----------------------|-------|-----------------------------|-------|---------------------|-------|
| | ساختمان | محتوا | ساختمان | محتوا | ساختمان | محتوا |
| ۸ | | | | | | |
| ۷ | | | | | | |
| ۶ | | | ۰ | ۰ | | |
| ۵ | | | ۱۰ | ۱۰ | | ۰ |
| ۴ | | | ۱۲ | ۱۱ | | ۱۰ |
| ۳ | | | ۱۳ | ۱۴ | | ۱۲ |
| ۲ | | | ۱۴ | ۱۵ | | ۱۲ |
| ۱ | ۰ | ۰ | ۱۵ | ۱۶ | ۰ | ۱۸ |
| ۰ (طبقه ۱) | ۷ | ۶ | ۱۷ | ۱۶ | ۴ | ۲۲ |
| ۱ | ۲۶ | ۴۲ | ۲۰ | ۲۶ | ۱۳ | ۳۷ |
| ۲ | ۳۶ | ۶۰ | ۲۵ | ۴۱ | ۲۴ | ۵۳ |
| ۳ | ۴۲ | ۷۲ | ۳۱ | ۵۲ | ۳۰ | ۶۲ |
| ۴ | ۴۷ | ۸۲ | ۳۶ | ۵۸ | ۳۵ | ۷۰ |
| ۵ | ۴۹ | ۸۹ | ۴۰ | ۶۱ | ۳۷ | ۷۳ |
| ۶ | ۵۳ | ۹۴ | ۴۲ | ۶۲ | ۴۰ | ۷۶ |
| ۷ | ۵۵ | ۹۴ | ۴۶ | ۶۴ | ۴۱ | ۷۷ |
| ۸ | ۵۸ | ۹۴ | ۴۸ | ۶۷ | ۴۹ | ۷۹ |
| ۹ | ۶۰ | ۹۴ | ۵۳ | ۷۱ | ۶۰ | ۸۳ |
| ۱۰ | ۶۰ | | ۵۵ | ۷۷ | ۶۴ | ۸۸ |
| ۱۱ | | | ۵۶ | ۸۵ | ۶۶ | ۹۱ |
| ۱۲ | | | ۵۸ | ۹۱ | ۷۰ | ۹۴ |
| ۱۳ | | | ۵۹ | ۹۴ | ۷۱ | ۹۴ |
| ۱۴ | | | ۶۰ | ۹۴ | ۷۲ | |
| ۱۵ | | | ۶۰ | ۹۴ | ۷۲ | |
| ۱۶ | | | ۶۰ | | ۷۲ | |

روش کار با این جداول به این نحو است که ابتدا ارزش ساختمان برآورد می‌شود و سپس برای محاسبه خسارت در یک عمق مشخص، ارزش ساختمان به درصد مندرج در جدول برای همان عمق ضرب می‌شود.

آخرین بررسی‌ها در این زمینه در ایالت متحده آمریکا توسط رشته مهندسی ارتش آمریکا انجام گرفته و نتایج آن در سال ۲۰۰۳ منتشر شده که در زیر به اختصار به آن پرداخته شده است. نتایج بررسی منجر به تهیه یک سری توابع ژنریک خسارت شده که به زعم تهیه کنندگان آن، توابع اخیر سایر توابع عمومی عمق - خسارت موجود از جمله از آن سازمان بیمه فدرال را به صورت اساسی اصلاح کرده است. این بررسی براساس آمار گردآوری شده خسارت سیلاب‌های بزرگ رخ داده در ایالات متحده آمریکا طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱ انجام گرفته است. داده‌های خسارت در این دوره برای کلیه خسارت ناشی از سیلاب گردآوری شده است.

تفاوت اساسی توابع یا جداول عمق - خسارت اخیر با توابع قبلی یکی در نحوه محاسبه خسارت مربوط به محتوای داخل ساختمان است که در این جا درصد خسارت براساس ارزش محتوای داخل ساختمان مشخص می‌شود درحالی‌که در توابع دیگر از جمله توابع سازمان بیمه فدرال خسارت محتوای ساختمان براساس درصد ارزش ساختمان تعیین می‌گردد. دیگری در تفاوت درصدهای مربوط به اعماق مختلف آب در دو روش است. در جدول (۴-۳) دو نمونه از جداول تهیه شده در این زمینه آمده است.

جدول ۴-۳- درصد خسارت برای دو نوع ساختمان در ارتباط با عمق آب (دسته مهندسی ارتش آمریکا)

| عمق (فوت) | ساختمان یک طبقه بدون زیرزمین | | ساختمان دو طبقه و بیش تر با زیرزمین | |
|--------------|------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|
| | میانگین خسارت - درصد | انحراف معیار | میانگین خسارت - درصد | انحراف معیار |
| ۸- | - | - | ۱/۷ | ۲/۷ |
| ۷- | - | - | ۱/۷ | ۲/۷ |
| ۶- | - | - | ۱/۹ | ۲/۱۱ |
| ۵- | - | - | ۲/۹ | ۱/۸۰ |
| ۴- | - | - | ۴/۷ | ۱/۶۶ |
| ۳- | - | - | ۷/۲ | ۱/۵۶ |
| ۲- | ۰ | ۰ | ۱۰/۲ | ۱/۴۷ |
| ۱- | ۲/۴ | ۲/۱ | ۱۳/۹ | ۱/۳۷ |
| ۰ | ۸/۱ | ۱/۵ | ۱۷/۹ | ۱/۳۲ |
| ۱ | ۱۳/۳ | ۱/۲ | ۲۲/۳ | ۱/۳۵ |
| ۲ | ۱۷/۹ | ۱/۲ | ۲۷/۰ | ۱/۵۰ |
| ۳ | ۲۲/۰ | ۱/۴ | ۳۱/۹ | ۱/۷۵ |
| ۴ | ۲۵/۷ | ۱/۵ | ۳۶/۹ | ۲/۰۴ |
| ۵ | ۲۸/۸ | ۱/۶ | ۴۱/۹ | ۲/۳۴ |
| ۶ | ۳۱/۵ | ۱/۶ | ۴۶/۹ | ۲/۶۳ |
| ۷ | ۳۳/۸ | ۱/۷ | ۵۱/۸ | ۲/۸۹ |
| ۸ | ۳۵/۷ | ۱/۸ | ۵۶/۴ | ۳/۱۳ |
| ۹ | ۳۷/۲ | ۱/۹ | ۶۰/۸ | ۳/۳۸ |
| ۱۰ | ۳۸/۴ | ۲/۱ | ۶۴/۸ | ۳/۷۱ |
| ۱۱ | ۳۹/۲ | ۲/۳ | ۶۸/۴ | ۴/۲۲ |

ادامه جدول ۴-۳- درصد خسارت برای دو نوع ساختمان در ارتباط با عمق آب (دسته مهندسی ارتش آمریکا)

| عمق (فوت) | ساختمان یک طبقه بدون زیرزمین | | ساختمان دو طبقه و بیش تر با زیرزمین | |
|--------------|------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|
| | میانگین خسارت - درصد | انحراف معیار | میانگین خسارت - درصد | انحراف معیار |
| ۱۲ | ۳۹/۷ | ۲/۶ | ۷۱/۴ | ۵/۰۲ |
| ۱۳ | ۴۰/۰ | ۲/۹ | ۷۷/۳ | ۶/۱۹ |
| ۱۴ | ۴۰/۰ | ۳/۲ | ۷۵/۴ | ۷/۷۹ |
| ۱۵ | ۴۰/۰ | ۳/۵ | ۷۶/۴ | ۹/۸۴ |
| ۱۶ | ۴۰/۰ | ۳/۸ | ۷۶/۴ | ۱۲/۳۶ |

۴-۳- روش و مراحل تهیه تابع تراز - خسارت

به اجمال می‌توان گفت که تابع تراز - خسارت حاصل ترکیب نتایج مطالعات مربوط به پهنه‌بندی سیلاب، کاربری اراضی، برآورد ارزش کاربری‌ها، موقعیت و تراز موضوع خسارت، معیارهای عمق - درصد خسارت، نیمرخ‌های طراحی سطح آب در یک بازه مورد نظر برای ارزیابی خسارت است. در زیر برای نمونه روش ارائه شده توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی گروه مهندسی ارتش آمریکا برای ساختمان‌های مسکونی آمده است. توضیح این‌که در این شیوه از معیارهای عمق - درصد خسارتی استفاده شده که در آن کشور رایج بوده و مورد پذیرش سازمان‌های رسمی و فدرال از جمله شرکت‌های بیمه است.

گام‌های تهیه تابع تراز - خسارت برای ساختمان‌ها

- الف- تعریف و گروه‌بندی هر یک از سازه‌ها (ساختمان‌ها) در منطقه مطالعه براساس کاربری
- ب- تعیین تراز طبقه اول هر یک از ساختمان‌ها با استفاده از نقشه‌های موجود یا ترازبایی برای این منظور
- ج- برآورد ارزش هر ساختمان با استفاده از ارزیابی بنگاه املاک، آخرین قیمت‌های فروش، ارزیابی‌های مالیاتی برای دارایی‌ها، هزینه‌های جایگزین یا بررسی‌های کارشناسی
- د- برآورد ارزش محتوای هر یک از ساختمان‌ها با استفاده از برآوردی معیار شده (موجود) نسبت ارزش محتوای ساختمان به ارزش خود ساختمان برای هر یک از گروه‌های سازه‌ای مشخص
- ه- برآورد خسارت وارده به هر یک از ساختمان‌ها در اثر جاری شدن سیل با اعماق مختلف در محل ساختمان با استفاده از تابع عمق - درصد خسارت و ارزش برآورد شده (گام ۳) برای گروه‌های سازه‌ها
- و- برآورد خسارت به محتوای هر ساختمان در اثر جاری شدن سیل با اعماق مختلف با استفاده از تابع عمق - درصد خسارت و ارزش برآورد شده (گام ۴) برای گروه‌های سازه‌ها
- ز- تبدیل تابع عمق - خسارت هر ساختمان به تابع تراز - خسارت در محل شاخص سیلابدشت با استفاده از نیمرخ‌های سطح آب محاسبه شده برای سیلاب‌های مرجع
- ح- ترکیب و تجمیع خسارات برآورد شده برای هر گروه از ساختمان‌ها برای ترازهای معمول

در مطالب بالا مراحل کار در شرایط کشور آمریکا و با وجود نوع ساختمان‌ها و معیارهای موجود برای درصد خسارت در ارتباط با عمق به عنوان نمونه آمد. بدیهی است که برای شرایط دیگر، علاوه بر معیار عمق - درصد خسارت ممکن است استثناهایی وجود داشته باشد، لیکن در عمل کلیات مراحل و نوع کارها چندان با هم تفاوت نخواهد کرد. برای کاربری‌های دیگر نیز روش و مراحل کار کم و بیش مشابه مراحل یاد شده است. با این تفاوت که معیارهای مربوط به خسارت علاوه بر معیار عمق - درصد خسارت ممکن است شامل عوامل دیگر نظیر تداوم استغراق، آبدهی یا سرعت جریان باشد. مثلاً برای محصولات زراعی علاوه بر عمق از تداوم زمان استغراق نیز استفاده می‌شود.

۴-۵- تابع خسارت - فراوانی

۴-۵-۱- روش‌ها

میانگین خسارت سالانه به سه روش قابل محاسبه است. در مطالب بعدی به این سه روش که عبارتند از روش تاریخی، روش شبیه‌سازی و روش فراوانی پرداخته شده است.

۴-۵-۱-۱- روش تاریخی

اگر در یک منطقه برای یک دوره ۵۰ ساله مطالعات مربوط به خسارت در دسترس باشد و آن منطقه طی دوره ۵۰ ساله به لحاظ کاربری اراضی تغییر نکرده و سطح فعالیت‌های اقتصادی در آنجا ثابت باقی‌مانده باشد، می‌توان از اطلاعات مربوط به خسارت تاریخی برای شرایط حاضر نیز استفاده کرد. به شرط آن‌که با توجه به نرخ تورم طی دوره یاد شده، مقادیر ریالی خسارت به روز شود. این نحوه برخورد به روش تاریخی مصطلح بوده و مستقیم‌ترین شیوه می‌باشد. اما، به دلیل این‌که معمولاً اطلاعات و داده‌های کافی وجود ندارد و نوع کاربری اراضی و فعالیت‌های اقتصادی برای هر منطقه غالباً طی زمان تغییر می‌کند، لذا به ندرت قابل استفاده می‌باشد.

۴-۵-۱-۲- روش شبیه‌سازی

در این روش با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی هیدرولوژیکی یا آمار ثبت شده (آمار تاریخی) و توابع خسارت، سری زمانی خسارت شبیه‌سازی شده، تولید می‌شود. میانگین سری زمانی خسارت می‌تواند به عنوان میانگین خسارت سالانه پذیرفته شود. به این شیوه عمل، روش شبیه‌سازی گفته می‌شود. روش شبیه‌سازی این مزیت را دارد که امکان استفاده از توابع خسارت مرکب را می‌دهد. در این توابع با ملحوظ شدن بیش از یک عامل، خسارت با دقت بیش‌تری محاسبه می‌شود. عیب این روش، در این است که سیلاب آینده کاملاً مشابه سیلاب گذشته تلقی می‌شود و امکان وقوع سیلاب‌های بزرگ‌تر در نظر گرفته نمی‌شود.

۴-۵-۱-۳- روش فراوانی

یکی از روش‌هایی که رواج بیش‌تری دارد، روش فراوانی است. این روش عاری از معایب دو روش یاد شده و نسبتاً آسان نیز است. از این‌رو این روش در بند بعدی به تشریح بیان شده است.

۴-۵-۱-۴- ملاحظات مربوط به توابع خسارت

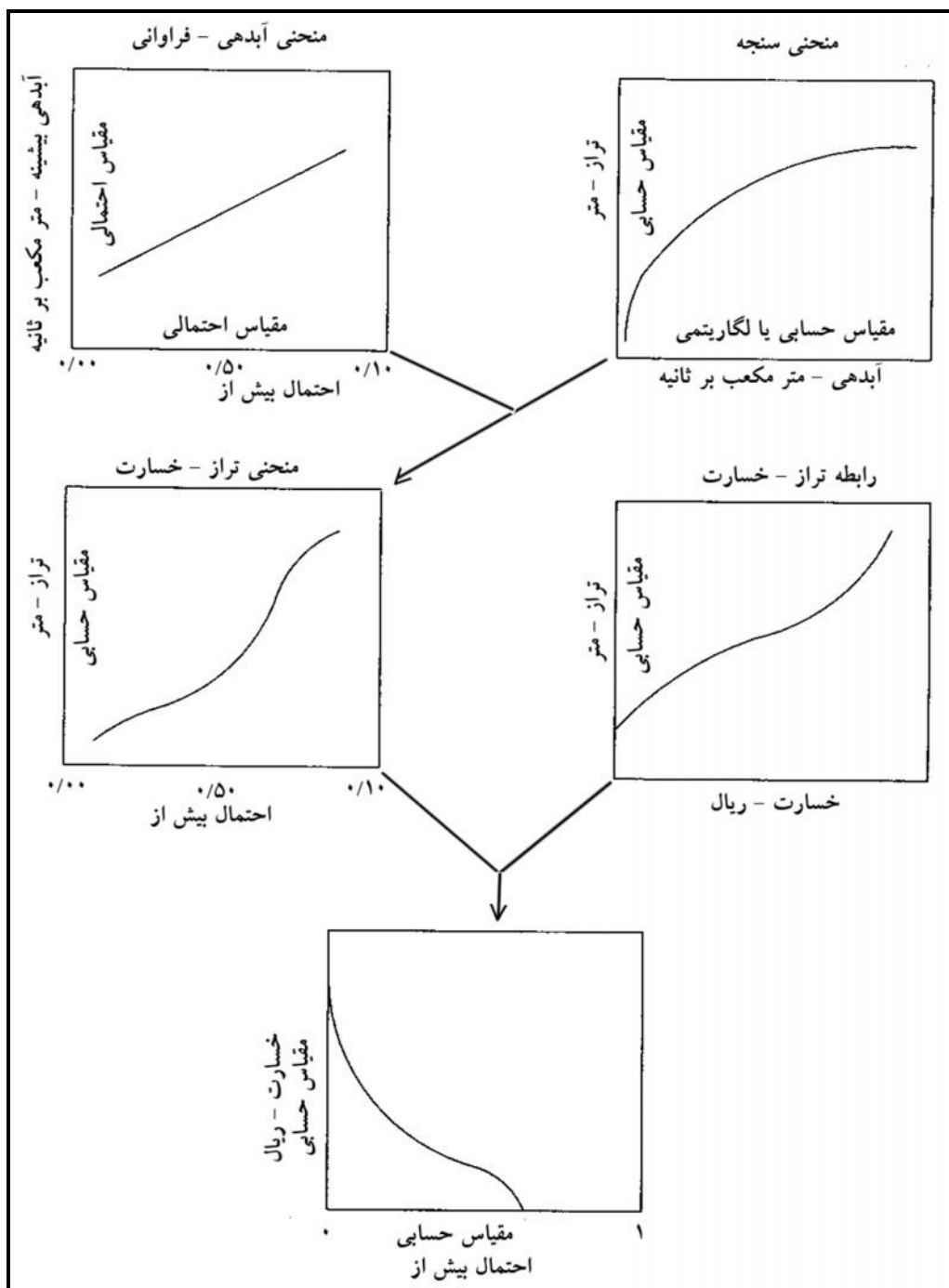
برای این که برآورد خسارت قابل قبول باشد، لازم است تجارب کافی در تولید و کاربرد توابع خسارت وجود داشته باشد. باید توجه کافی به عمل آید تا از منحنی سنجی بسته استفاده نشود. به نحوی که فقط و فقط یک تابع آینده‌ی و ارتفاع وجود داشته باشد. در غیر این صورت، لازم است از توابع پیچیده‌تری که بتواند به‌طور صحیح رابطه آینده‌ی و ارتفاع را معرفی کند، تولید و استفاده شود. توابع خسارت در زمین‌های زراعی اغلب تابعی از فصل و تداوم سیلاب است. برای تعیین قابلیت اعتماد خسارت سالانه مورد انتظار که در آن عدم قطعیت‌ها در نظر گرفته شده می‌توان از شیوه تحلیل حساسیت بهره گرفت.

۴-۵-۲- محاسبه خسارت سالانه قابل انتظار

در شکل (۴-۹) طرح‌واره نحوه کاربرد سه تابع اصلی برای ارزیابی خسارت که برای محاسبه، خسارت سالانه قابل انتظار مورد استفاده قرار می‌گیرند، نشان داده شده است. اصطلاح «قابل انتظار» به این دلیل به جای «میانگین» برگزیده شده که برای توزیع رخدادهای سیلاب آینده از منحنی فراوانی استفاده شده و مقدار خسارت مورد انتظار از طریق جمع توزیع احتمالی برآوردهای خسارت محاسبه شده است. گام‌هایی که برای تعیین کاهش خسارت سالانه در اثر اجرای پروژه لازم است برداشته شود عبارتند از:

- > برقراری روابط یا توابع اصلی خسارت - ارتفاع، آینده‌ی - ارتفاع و آینده‌ی - فراوانی برای هر یک از محل‌های شاخص برای شرایط موجود (شرایط طرح) در این مورد مطمئن باید بود که مبنای ارتفاع برای توابع آینده‌ی - ارتفاع و خسارت - ارتفاع با محل شاخص سازگار باشد.
- > ترکیب توابع آینده‌ی - فراوانی با آینده‌ی - ارتفاع و استخراج یک تابع واسطه ارتفاع - فراوانی
- > ترکیب توابع فراوانی - ارتفاع و خسارت - ارتفاع و تبدیل آن‌ها به رابطه خسارت - فراوانی
- > در این گام ابتدا مساحت زیر منحنی تابع خسارت - فراوانی (خسارت سالانه مورد انتظار) برای هر محل شاخص محاسبه می‌شود و سپس از مجموع آن‌ها کل خسارت سالانه مورد انتظار به‌دست می‌آید.
- > برای هر یک از گزینه‌های مطالعاتی مدیریت سیلاب‌دشت گام یک تکرار خواهد شد. به عبارت دیگر سد رابطه اصلی در صورت لزوم مورد تجدید نظر قرار خواهد گرفت.
- > در ادامه مطالعات گام‌های ۲ تا ۴ تکرار خواهد شد.

> برای هر طرح نتایج گام ۴ در شرایط با طرح از نتایج همان گام در شرایط بی طرح کم می‌شود. در این صورت تفاوت عبارت خواهد بود از میزان کاهش خسارت سالانه مورد انتظار یا عبارت دیگر منافع ناخالص کاهش خسارت برای هر طرح و گزینه



شکل ۴-۹- طرح‌واره محاسبه خسارت سالانه قابل انتظار

۴-۵-۳- خسارت سالانه معادل

برای تعیین منافع سالانه مورد انتظار لازم است تغییرات به عمل آمده در خسارت سالانه مورد انتظار که ممکن است در طول عمر پروژه اتفاق بیافتد. به حساب آورده شود. این توجه به ملحوظ کردن تغییرات، می تواند اهمیت اساسی در مطالعات داشته باشد.

مشخصه های رواناب در حوضه آبریز ممکن است در طول زمان و در اثر تغییر کاربری اراضی تغییر کند و ممکن است در طولانی مدت تغییراتی در رژیم جریان رودخانه به عمل آمده باشد که موجب تغییر منحنی سنجه (تراز - آبدهی) شود و یقیناً تغییر ظرفیت خسارت سازه ها و امکانات زیر بنایی در طول زمان منجر به تغییر توابع خسارت - ارتفاع خواهد شد. برای برقراری یک واحد منفرد ظرفیت خسارت سالانه مورد انتظار باید در طول زمان و در دوره های حدوداً ۱۰ ساله با توابع تجدید نظر شده، ارزیابی شود. خسارت سالانه مورد انتظار تجدید نظر شده به دوره زمانی پایه تنزیل می شود و سپس برای به دست آوردن خسارت سالانه معادل، مقدار خسارت ناخالص (خام) در طول عمر پروژه مستهلک می شود. هزینه خسارت سالانه مورد انتظار $E(D)$ برابر مساحت منحنی فراوانی - خسارت (شکل ۴-۹) است که رابطه آنرا می توان به شرح زیر نوشت:

$$E(D) = \int_{q_c}^{\infty} D(q_a) f(q_a) dq_a = \int_{q_c}^{\infty} D(q_a) df(q_a)$$

در این رابطه:

q_c : آستانه آبدهی که بالاتر از آن خسارت اتفاق می افتد

$D(q_d)$: خسارت سیلاب برای آبدهی های مختلف

q_d : رابطه آبدهی - خسارت

$F(q_a)$: تابع چگالی احتمال (PDF) برای آبدهی q_d

$F(q_a)$: تابع توزیع تجمعی (CDF) برای آبدهی q_d

به دلیل پیچیدگی توزیع خسارت و توابع توزیع احتمالی، ارزیابی این معادله از طریق انتگرال گیری عددی انجام می گیرد. بنابراین مساحت زیر منحنی خسارت - فراوانی (شکل ۴-۹) را می توان از طریق عددی به روش دوزنقه همانند مثال زیر به تقریب به دست آورد.

$$E(D) = \sum_{j=1}^n \left[\frac{D(q_j) + D(q_{j+1})}{2} \right] [F(q_{j+1}) - F(q_j)]$$

این رابطه برای شرایط $q_c = q_1 \leq q_2 \leq \dots \leq q_n < \infty$ است که در آن q_j یک آبدهی مشخص در دامنه q_c, ∞ است.

۴-۶- مثال محاسبه خسارت میانگین سالانه

روش محاسبه خسارت میانگین سالانه در مطالب پیشین این فصل تشریح گردیده و در شکل (۴-۹) مراحل محاسبه آن نشان داده شده است. در این جا با یک مثال نحوه محاسبه گام به گام آن ارائه شده است. با توجه به این که خسارت سیلاب به محصولات زراعی در طول رشد آن متفاوت است. لذا به هنگام ارزیابی خسارت سیلاب به محصولات زراعی، لازم است توزیع فصل یا ماهانه سیلاب در دوره رشد آن در نظر گرفته شود. به این ترتیب با توجه به نرخ خسارت سیلاب در فصول یا ماه‌های دوره مبانی لازم برای برآورد دقیق خسارت به گیاهان زراعی فراهم می شود.

در این روش اولین گام محاسبه خسارت وزنی در طول دوره شده است. نحوه محاسبه این پارامتر در جدول (۴-۴) آمده است. لازم به توضیح است جدول (۴-۴) برای نمونه و تنها برای یک محصول از ترکیب کشت یعنی برای گندم پاییزه آمده است و از ارائه دیگر جداول مشابه برای سایر محصولات صرف نظر شده و تنها نتایج آن‌ها در جدول (۴-۵) آمده است. نتایج گام بعدی که محاسبه خسارت وزنی برای ترکیب کشت در هکتار است در جدول (۴-۵) نشان داده شده است. در گام بعدی یعنی سوم رابطه خسارت - فراوانی با توجه به اراضی سیل گرفته و خسارت کلی در ارتباط با احتمال سیل محاسبه شده است. نتایج این گام نیز در جدول (۴-۶) منعکس گردیده است. گام آخر محاسبه خسارت میانگین سالانه است که نتایج آن در جدول (۴-۷) نشان داده شده است. ملاحظه می شود برای این پروژه میزان خسارت میانگین سالانه ۱۷ ۶۷۰ ۲۳ ریال است. در جدول (۴-۸) نیز نمود محاسبات مربوط به میانگین سالانه اراضی خسارت دیده آمده است.

جدول ۴-۴- محاسبه خسارت وزنی در طول رشد برای گندم پاییزه

الف - ارتفاع آب مساوی یا کم تر از ۰/۶ متر

| ماه | نرخ خسارت (درصد) | درآمد ناخالص بدون سیلاب (ریال) | توزیع ماهانه سیلاب (درصد) | خسارت وزنی در هکتار (ریال) |
|----------|------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| مهر | ۰/۰۷ | ۱۰ ^۷ | ۰/۲۱ | ۱۴۷۰۰۰ |
| آبان | ۰/۲۷ | ۱۰ ^۷ | ۰/۱۳ | ۳۵۱۰۰۰ |
| آذر | ۰/۳۹ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۷ | ۲۷۳۰۰۰ |
| دی | ۰/۴۸ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۶ | ۲۸۸۰۰۰ |
| بهمن | ۰/۲۱ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۳ | ۶۳۰۰۰ |
| اسفند | ۰/۰۵ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۳ | ۱۵۰۰۰ |
| فروردین | ۰/۰۴ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۳ | ۱۲۰۰۰ |
| اردیبهشت | ۰/۰۵ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۳ | ۱۵۰۰۰ |
| خرداد | ۰/۰۵ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۴ | ۲۰۰۰۰ |
| جمع | | | | ۱ ۱۸۴۰۰۰ |

ب- ارتفاع آب بیش‌تر از ۰/۶ متر

| ماه | نرخ خسارت (درصد) | درآمد ناخالص بدون سیلاب (ریال) | توزیع ماهانه سیلاب (درصد) | خسارت وزنی در هکتار (ریال) |
|----------|---------------------|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| مهر | ۰/۱ | ۱۰ ^۷ | ۰/۲۱ | ۲۱۰ ۰۰۰ |
| آبان | ۰/۴۱ | ۱۰ ^۷ | ۰/۱۳ | ۵۳۳ ۰۰۰ |
| آذر | ۰/۶۱ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۷ | ۴۲۷ ۰۰۰ |
| دی | ۰/۷۲ | ۱۰ ^۷ | ۰/۶۰ | ۴۳۲ ۰۰۰ |
| بهمن | ۰/۳۶ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۳ | ۱۰۸ ۰۰۰ |
| اسفند | ۰/۰۹ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۳ | ۲۷ ۰۰۰ |
| فروردین | ۰/۰۷ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۳ | ۲۱ ۰۰۰ |
| اردیبهشت | ۰/۰۹ | ۱۰ ^۷ | ۰/۰۳ | ۲۷ ۰۰۰ |
| خرداد | ۰/۰۷ | | ۰/۰۴ | ۲۸ ۰۰۰ |
| جمع | | | | ۱ ۸۱۳ ۰۰۰ |

جدول ۴-۵- محاسبه خسارت وزنی برای ترکیب کشت در هکتار

| نوع محصول | در سطح زیر کشت (درصد) | ارتفاع آب ۰/۶ متر یا کمتر | | ارتفاع آب بیش‌تر از ۰/۶ متر | |
|--------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| | | خسارت وزنی ساده (ریال) | خسارت وزنی (ریال) | خسارت وزنی ساده (ریال) | خسارت وزنی (ریال) |
| ذرت دانه‌ای | ۳ | ۱۰۲۰ ۰۰۰ | ۳۰۶۰۰ | ۲۲۵۰ ۰۰۰ | ۶۷۵۰۰ |
| ذرت علوفه‌ای | ۱۰ | ۹۷۵ ۰۰۰ | ۹۷۵۰۰ | ۱۸۲۵ ۰۰۰ | ۱۸۲۵۰۰ |
| گندم پاییز | ۸ | ۱۱۸۶ ۰۰۰ | ۹۴۷۲۰ | ۱۸۱۳ ۰۰۰ | ۱۵۴۰۴۰ |
| جو و جو دوسر | ۱۱ | ۵۲۱ ۰۰۰ | ۵۷۳۱۰ | ۱۱۰۲ ۰۰۰ | ۱۲۱۲۲۰ |
| یونجه | ۲۱ | ۷۳۲ ۰۰۰ | ۱۵۳۷۲۰ | ۱۲۰۱ ۰۰۰ | ۲۵۲۲۱۰ |
| مرتع | ۴۲ | ۲۳۵ ۰۰۰ | ۹۸۷۰۰ | ۳۹۱ ۰۰۰ | ۱۶۴۲۲۰ |
| سایر | ۵ | . | . | . | . |
| جمع | ۱۰۰ | | ۵۳۲ ۵۵۰ | | ۹۳۲ ۶۹۰ |

جدول ۴-۶- اراضی سیل گرفته و خسارت کل در ارتباط با احتمال سیل (خسارت - فراوانی)

| احتمال رخداد سیل (درصد) | ارتفاع آب مساوی یا کمتر از ۰/۶ متر | | ارتفاع آب بیش‌تر از ۰/۶ متر | | کل اراضی سیل گرفته (هکتار) | کل خسارت (ریال) |
|-------------------------------|------------------------------------|--|-----------------------------|--|-------------------------------|--------------------|
| | مساحت (هکتار) | خسارت کل برای خسارت مرکب (۱) (ریال) | مساحت (هکتار) | خسارت کل برای خسارت مرکب (۲) (ریال) | | |
| ۱ | ۵ | ۲۶۶۲۷۵۰ | ۸۱ | ۷۵۵۴۷۸۹۰ | ۸۶ | ۷۸۲۱۰۶۴۰ |
| ۵ | ۲۴ | ۱۲۷۸۱۲۰۰ | ۵۵ | ۵۱۲۹۷۹۵۰ | ۷۹ | ۶۴۰۷۹۱۵۰ |
| ۲۰ | ۳۶ | ۱۹۱۷۱۸۰۰ | ۳۲ | ۲۹۸۴۶۰۸۰ | ۶۸ | ۴۹۰۱۷۸۸۰ |
| ۵۰ | ۲۸ | ۱۴۹۱۱۴۰۰ | ۳ | ۲۷۸۹۰۷۰۰ | ۳۱ | ۴۲۸۹۲۱۰۰ |
| ۶۵/۶ | . | . | . | . | . | . |

خسارت کل برای یک هکتار ترکیب کشت برابر با ۵۳۲ ۵۵۰ ریال از جدول (۴-۵)

خسارت کل برای یک هکتار ترکیب کشت برابر با ۹۳۲ ۶۲۰ ریال از جدول (۴-۵)

جدول ۴-۷- محاسبه خسارت میانگین سالانه

| احتمال | فاصله احتمال | خسارت | خسارت میانگین | خسارت میانگین سالانه |
|--------|--------------|------------|---------------|----------------------|
| ۰ | ۰/۰۱ | ۷۸ ۲۱۰ ۶۴۰ | ۷۸ ۲۱۰ ۶۴۰ | ۷۸۲ ۱۰۶ |
| ۱ | ۰/۰۴ | ۶۴۰ ۷۹ ۱۵۰ | ۷۱ ۱۴۴ ۸۹۵ | ۲۸۴ ۵۷۹ |
| ۵ | ۰/۱۵ | ۴۹۰ ۱۷ ۸۸۰ | ۵۶ ۵۴۸ ۵۱۵ | ۸ ۴۸۲ ۲۷۷ |
| ۲۰ | ۰/۳۰ | ۴۲ ۸۹۲ ۱۰۰ | ۴۵ ۹۵۴ ۹۹۰ | ۱۳ ۷۸۶ ۴۹۷ |
| ۵۰ | ۰/۱۵۶ | ۰ | ۲ ۱۴۴ ۶۰۵ | ۳۳۴ ۵۵۸ |
| جمع | | | | ۲۳ ۶۷۰ ۰۱۷ |

جدول ۴-۸- محاسبه میانگین سالانه اراضی خسارت دیده

| احتمال | فاصله احتمال | مساحت | مساحت میانگین | مساحت میانگین سالانه |
|--------|--------------|-------|---------------|----------------------|
| ۰ | ۰/۰۱ | ۸۶ | ۸۶ | ۰/۸۶ |
| ۱ | ۰/۰۴ | ۷۹ | ۸۲/۵ | ۳/۳۰ |
| ۵ | ۰/۱۵ | ۶۸ | ۷۳/۵ | ۱۱/۰۳ |
| ۲۰ | ۰/۳۰ | ۳۱ | ۴۹/۵ | ۱۴/۸۵ |
| ۵۰ | ۰/۱۵۶ | ۰ | ۱۵/۵ | ۱/۴۲ |
| جمع | | | | ۳۲/۴۶ |

فصل ۵

ارزیابی خسارت سیل‌های رخ داده

۵-۱- کلیات

با وقوع سیل بخشی از فضای حیاتی و محیط زیست تحت تاثیر آثار مخرب آن قرار می‌گیرد. هر چند برنامه‌ریزی برای انجام اقدامات فوری - اضطراری امداد و کمک‌رسانی و اجرای عملیات ترمیم و بازسازی و نظایر آن حایز اهمیت و اولویت است، ارزیابی خسارت‌های وارده نیز به همان اندازه فوریت و ضرورت دارد. به‌طور کلی میزان خسارت ناشی از وقوع یک سیل مشخص از یک طرف به اندازه سیل (بزرگی سیل برحسب عوامل بده حداکثر لحظه‌ای، مدت دوام و حجم سیلاب) و از طرف دیگر به میزان توسعه یافتگی و حجم سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در محدوده حوزه تاثیر سیل دارد.

۵-۲- مراحل ارزیابی خسارت سیل

برای ارزیابی خسارت یک سیل رخ داده اجرای مراحل زیر ضروری به‌نظر می‌رسد:

- > شناسایی محدوده یا حوضه تاثیر سیل
- > تفکیک و طبقه‌بندی کاربری‌های حوضه تاثیر سیل
- > انتخاب نمونه‌ها
- > جمع‌آوری اطلاعات پایه
- > تجزیه و تحلیل خسارت

۵-۲-۱- شناسایی محدوده یا حوضه تاثیر سیل

اولین گام در ارزیابی خسارت سیل شناسایی و تعیین منطقه یا محدوده‌ای است که تحت تاثیر اثرات خسارت‌آمیز سیل قرار گرفته است. حوضه تاثیر سیل ممکن است ناحیه‌ای کوچک به‌عنوان بخشی از یک واحد جغرافیایی بوده و یا بخش وسیعی از یک استان شامل چند شهرستان با مراکز جمعیتی - صنعتی - اقتصادی متعدد و پراکنده باشد. در وهله اول لازمست که با استفاده از اخبار و دانسته‌های موجود حدود حوضه تاثیر سیل بر روی نقشه‌ای با مقیاس مناسب ترسیم و تفکیک گردد. چنان‌چه عکس‌های هوایی جدید و یا ماهواره‌ای در دسترس باشند کمک بزرگی در راستای شناسایی جزییات موجود در حوضه تاثیر سیل خواهد بود چنان‌چه شدت و اهمیت سیل رخ داده و هم‌چنین امکانات موجود اجازه دهد برداشت عکس هوایی یا تهیه عکس‌های ماهواره‌ای از حوضه سیل گرفته برای تعیین و تدفیق مناطق سیل گرفته بسیار مفید خواهد بود.

۵-۲-۲- تفکیک و طبقه‌بندی کاربری‌های حوضه تاثیر سیل

یکی از داده‌های مورد نیاز در برآورد خسارت سیل، میزان ارزش سرمایه‌ای یک واحد سطح از حوضه سیل گرفته شده است. ارزش سرمایه‌ای یک واحد سطح در کاربری‌های مختلف متغیر بوده و شامل ارزش سرمایه‌ای ساختمان، تجهیزات،

تاسیسات زیربنایی، قابلیت تولید، حاصل خیزی و نظایر آن می باشد. ارزش سرمایه‌ای تا حدود زیادی با نوع کاربری زمین وابستگی مستقیم دارد. بنابراین تفکیک حوضه تاثیر سیل برحسب کاربری‌های مهم و طبقه‌بندی این کاربری‌ها برای ارزیابی میزان خسارت ناشی از سیل ضرورت تام دارد. حوضه تاثیر سیل را می‌توان برحسب گروه‌های اصلی و فرعی کاربری تفکیک نمود. برای کاربری اراضی طبقه‌بندی‌های مختلفی متداول است. در فصل ۴ به یکی از طبقه‌بندی‌ها که تعداد گروه اصلی آن ۶ مجموعه می‌باشد، اشاره شد. این شش گروه عبارتند از:

- > کاربری مسکونی
- > کاربری تجاری
- > کاربری صنعتی
- > کاربری فضای باز
- > کاربری روستایی - کشاورزی
- > کاربری ویژه

در زیرمجموعه هر یک از کاربری‌های اصلی فوق تعداد زیادی کاربری فرعی (زیرگروه) وجود دارد که حسب مورد و با توجه به مشخصات حوضه مورد ارزیابی می‌توان مورد استفاده قرار گیرد. همان‌جا ضمن شرح از یکی از این کاربری‌ها، به پاره‌ای از زیرگروه‌های آن‌ها نیز اشاره شده است. به عنوان مثال در کاربری‌های مسکونی می‌توان به کاربری‌های فرعی ساختمان‌های ویلایی، یک طبقه، چند طبقه و در کاربری‌های روستایی کشاورزی، به کاربری‌های صرفا کشاورزی، صنایع روستایی و دامداری اشاره نمود.

پس از تفکیک منطقه مطالعاتی یا حوضه تاثیر سیل برحسب کاربری‌های اصلی و کاربری‌های فرعی می‌توان هر کاربری را نیز برحسب عوامل یا شاخص‌های مناسب تقسیم و طبقه‌بندی نمود. به‌عنوان نمونه در کاربری مسکونی طبقه‌بندی زیر متداول می‌باشد:

- > منطقه مسکونی سطح یک
- > منطقه مسکونی سطح دو
- > منطقه مسکونی سطح سه

همچنین به‌عنوان نمونه می‌توان به طبقه‌بندی اراضی مزروعی به‌لحاظ حاصل خیزی و یا ترکیب و تراکم کشت اشاره نمود:

- > اراضی درجه یک
- > اراضی درجه دو
- > اراضی درجه سه
- > اراضی غیرقابل کشت

۵-۲-۳- انتخاب نمونه‌ها

از آنجا که معمولاً به دلیل وسعت نسبی حوضه تاثیر سیل، محدودیت زمانی و اعتباری پوشش کامل و سرشماری گونه امکان پذیر نیست لازمست که از روش‌های نمونه‌گیری استفاده شود تا اطلاعات و داده‌های به دست آمده از نمونه‌ها با دقت کافی برای تمییم در سطح کل منطقه سیل گرفته به کار گرفته شود. همان‌طور که در بالا تشریح گردید روش تفکیک و طبقه‌بندی کاربری‌ها به ما این امکان را می‌دهد که برای هر گروه و زیر مجموعه نمونه‌های مورد نیاز آن را تعریف و مشخص نماییم. تعداد نمونه‌ها باید از نظر آماری برای حصول به دقت مورد نیاز کفایت نماید. مطلوب آنست که نمونه‌گیری، تعیین تعداد نمونه‌های مورد نیاز و انتخاب نمونه براساس روش‌ها و طرح‌های شناخته شده آماری باشد. در هر حال باید توجه داشت که انتخاب میزان دقت یا درجه اعتمادپذیری ارزیابی خسارت بستگی تام به شدت خسارت، اهمیت منطقه خسارت دیده و هدف‌های ناظر بر ارزیابی دارد. در مواردی که ارزیابی با دقت فوق‌العاده زیاد مورد نیاز است و یا منطقه مورد بررسی کوچک است تمام شماری یا سرشماری به جای نمونه‌گیری قابل توصیه می‌باشد.

۵-۲-۴- جمع‌آوری اطلاعات پایه

۵-۲-۴-۱- تهیه نقشه

با استفاده از عکس‌های هوایی و نظایر آن و با توجه به نیازها نقشه کاربری‌های اصلی اراضی دشت تهیه شود. بر روی این نقشه‌ها باید توسعه‌های انجام شده از قبیل جاده‌ها، پل‌ها و ساختمان‌هایی که در معرض سیل قرار دارند نشان داده شود. چنانچه مناطق شهری و نواحی مسکونی در معرض سیل باشند لازمست که نقشه تفصیلی آن‌ها تهیه گردد. البته در حال حاضر بسیاری از شهرها دارای چنین نقشه‌های تفصیلی هستند که می‌توانند در صورت لزوم مورد استفاده قرار گیرد. چنانچه بر روی نقشه پایه مورد استفاده حدود کلاس‌های مختلف خاک و طبقه‌بندی اراضی مشخص گردد می‌تواند در ارزیابی خسارت مورد استناد قرار گیرد. نشان دادن حدود گسترش و نحوه توزیع انواع کشت‌ها بر روی نقشه هر چند مطلوب است لیکن الزامی نبوده و در این گونه موارد ارائه چند نمونه معرف کفایت می‌نماید. تعیین موقعیت نقاطی که شدیداً تحت تاثیر اثر فرسایش و رسوبگذاری سیلاب قرار می‌گیرند برای تکمیل بررسی‌های میدانی بسیار مفید است.

۵-۲-۴-۲- اطلاعات میدانی

داده‌های مربوط به میزان خسارت را غالباً می‌توان مستقیماً از افراد خسارت دیده به دست آورد. برای جمع‌آوری این گونه اطلاعات بهتر است از فرم‌های پرسشنامه‌ای یکنواخت که به طور اختصاصی برای هر پروژه خسارت سیل طراحی می‌شوند استفاده نمود تا اطلاعات به دست آمده از نمونه‌های مورد بررسی قابل مقایسه جمع‌بندی باشد. اطلاعات به دست آمده از بررسی‌های میدانی مبنای برآورد میزان خسارت در سطح محدوده مورد مطالعه خواهد بود. در جمع‌آوری داده‌ها در مورد میزان خسارت از کشاورزان و افراد خسارت دیده که به طور نمونه انتخاب می‌شوند بهتر است به جای پرسش از

میزان ارزش پولی بر مقادیر کمی و فیزیکی تکیه نمود. مثلاً به جای سوال در مورد ارزش ریالی عملیات زراعی و یا کود مصرفی به تعداد نوع عملیات زراعی و مقدار و نوع و زمان کود مصرف شده و یا تعداد نفر روزهای کار انجام و نظایر آن استناد نمود.

در بعضی حوضه‌ها و زیر حوضه‌های شبکه آبراهه‌ها توسعه نیافته و سیلاب‌های فصلی از گستره اراضی آبرفتی عبور می‌نماید. معمولاً این اراضی بسیار هموار و یا دارای شیب ملایم‌اند. در نتیجه سیلاب وارده در سطح وسیعی پخش می‌گردد. با وجودی که این گونه اراضی شدیداً در معرض پخش سیلاب و رواناب قرار دارند لیکن به دلیل وجود خاک و توپوگرافی مناسب غالباً به اراضی مزروعی حاصل خیز تبدیل شده و یا به کاربری‌های شهری و حومه شهری تغییر شکل یافته‌اند.

در اراضی سیلابدستی میزان خسارت ناشی از سیل ارتباط چندانی به بده لحظه‌ای حداکثر سیلاب و نقطه اوج داغاب سیل ندارد. زیرا جریان محصور در داخل آبراهه وقتی به دشت یا آبرفت‌های بادبزی شکل می‌رسد سریعاً پخش شده و اثر مخرب اوج سیلاب کاهش می‌یابد. در نتیجه وسعت گسترش سیلاب ارتباط مستقیمی با بده لحظه‌ای اوج سیلاب نداشته و بیش‌تر تابعی از حجم کل سیلاب خواهد بود. در این گونه موارد هر چه حجم سیلاب بیش‌تر باشد وسعت اراضی سیل گرفته بیش‌تر خواهد بود.

۵-۲-۵- تجزیه و تحلیل خسارت

به‌طور کلی برآورد میزان خسارت برپایه داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده از بررسی‌های میدانی صورت می‌گیرد. برای اطمینان از صحت و دقت برآورد لازمست که داده‌های جمع‌آوری شده مورد تجزیه و تحلیل و پردازش قرار گیرد. باید توجه داشت که دقت برآورد بستگی زیادی به حجم نمونه‌گیری و تاثیر ناشی از محدوده‌های زمانی و اعتباری دارد. در بسیاری از موارد به دلیل ضیق وقت و نبودن تسهیلات مورد نیاز شخص یا گروه ارزیابی کننده ناچار است از روش‌های کوتاه شده و میان‌بر استفاده نماید و یا در محاسبات خود تعدادی مفروضات را وارد سازد. در این گونه موارد لازمست که به‌طور واضح و روشن این مفروضات و روش‌ها مدون گردد.

میزان خسارت وارده در اثر وقوع سیل به محصولات بستگی به ارزش محصول، زمان وقوع سیل و مشخصات از قبیل ارتفاع آبگرفتگی، سرعت جریان سیل، مدت دوام آن و میزان رسوبات و مواد حمل شده دارد. برای جمع‌آوری اطلاعات کافی در این زمینه لازمست که با تدوین پرسشنامه‌ای مناسب اقدام نمود. داده‌های جمع‌آوری شده از طریق این پرسشنامه‌ها یا مصاحبه‌های فردی و گروهی مبنای مناسبی برای تخمین فاکتورهای فوق‌الذکر می‌باشد.

از آنجا که پس از وقوع سیل بسیاری از شرایط تغییر می‌کند. بنابراین برآورد میزان عملکرد و تولید برای وضعیت «اگر سیل نیامده بود میزان عملکرد چقدر بود؟» مبنای فرضی و تخمینی یا غیر واقعی خواهد داشت. بنابراین لازمست که اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها مورد تدقیق قرار گیرد. در این مورد به‌ویژه باید به اثرات غیرمستقیم و مستقیم سایر عوامل و پارامترهایی که ممکن است بر روی میزان عملکرد واقعی تاثیر گذارند و نیز توجه نموده و حتی‌الامکان کاهش محصول ناشی از این عوامل را از تاثیرات خسارت سیل تفکیک کرد.

۵-۳- راهکارها و روش‌ها

به‌طور کلی پس از وقوع هر سیل، برآورد میزان خسارت‌های وارده مستلزم تعیین پارامترهای زیر است:

> تعیین مشخصات و وسعت محدوده‌ای که تحت تاثیر سیل قرار گرفته است.

> تقویم یا موجودی‌گیری از کالاهای سرمایه‌ای محدوده سیل گرفته

> برآورد میزان خسارت وارده به هر یک از اقلام سرمایه‌ای

دقیق‌ترین روش برآورد میزان خسارت، تعیین مورد به مورد وضعیت کلیه اقلام سرمایه‌ای اعم از ساختمان‌ها، تاسیسات، ساختمان‌های مسکونی، قطعات زمین‌های زیر کشت و ... براساس فهرست کامل موجودی محدوده سیل گرفته می‌باشد، این کار مستلزم هزینه نسبی زیاد و صرف وقت طولانی است و به‌طور معمول به‌دلیل اضطراری بودن وضعیت و محدودیت‌های اعتباری روش‌های سرشماری گونه برآورد خسارت موضوعیت نداشته و عموماً براساس نمونه‌گیری‌ها و طبقه‌بندی به ارقام با دقت قابل قبولی حاصل می‌گردد.

۵-۳-۱- روش تعیین خسارات بخش کشاورزی

خسارت وارده به بخش کشاورزی شامل باغات، اراضی مزروعی، محصولات انبار شده و دام می‌باشد برای محاسبه خسارت وارده به اراضی مزروعی تعیین موارد زیر ضروری است.

> تعیین مساحت زیر کشت هر یک از محصولات

> تعیین نوع عملیات و تقویم زمانی عملیات زراعی متداول برای هر یک از محصولات متداول

> بودجه‌بندی و تعیین هزینه‌های تولید هر یک از محصولات زراعی متداول

> برآورد میزان عملکرد محصول اصلی و فرعی و میزان ارزش آن‌ها در واحد سطح

اطلاعات مربوط به عملیات زراعی متداول در منطقه، نوع ماشین‌آلات و ادوات کشاورزی مورد استفاده، تقویم زمانی عملیات آماده‌سازی بستر کاشت، عملیات داشت، آبیاری و عملیات برداشت و سایر عملیات زراعی مربوط به انواع محصولات زراعی و باغی متداول در منطقه را می‌توان از طریق مصاحبه با کشاورزان خبره، مراکز و ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی به‌دست آورد. قیمت‌های رایج در منطقه برای انجام کلیه عملیات زراعی و نهاده‌های کشاورزی را می‌توان از طریق مراجعه به افراد یا مراکز فوق‌الذکر و یا ادارات کشاورزی منطقه به‌دست آورد. اطلاعات مورد نیاز در مورد میزان عملکرد و تولید انواع محصولات زراعی و باغی را نیز می‌توان از طریق مراجع فوق‌الذکر و یا نشریات منتشره در مراکز محلی جمع‌آوری نمود. در هر حال جمع‌آوری مجموعه اطلاعات و داده‌های فوق‌الذکر برای برآورد هزینه‌های تولید قیمت تمام شده، ارزش ناخالص و ارزش خالص تولید محصولات متداول در منطقه صورت می‌گیرد و لازمست چنان‌چه بین میزان عملکرد یک محصول در پهنه‌های مختلف تفاوت قابل ملاحظه‌ای می‌باشد و یا در زمینه هزینه‌های تولید، کیفیت

محصول تولیدی و سطح قیمت‌ها و نظایر آن تغییراتی وجود داشته باشد، این تفاوت‌ها و تغییرات با تحدید محدوده‌های تاثیر آن‌ها مشخص شود.

۵-۳-۲- روش تعیین خسارت مناطق شهری

گفته شد که کاربری شهری را به کاربری‌های فرعی چند از جمله کاربری مسکونی، تجاری، معابر و ... تقسیم می‌شود. در میان این کاربری‌ها، نوع مسکونی و بعد از آن نوع تجاری به دلیل وسعت و گسترش و تعدد آن‌ها در یک شهر از یک سو و چگالی بالای سرمایه‌گذاری، نسبت به گروه‌های فرعی دیگر اهمیت زیادی دارند.

به طور کلی میزان خسارت در واحد سطح مورد مطالعه در کاربری‌های شهری به مراتب بیش‌تر از دیگر کاربری‌های اصلی از جمله کشاورزی است. از این‌رو لازم است برآورد خسارت در این‌گونه کاربری‌ها با دقت بیش‌تری انجام گیرد. یک تفاوت دیگر کاربری شهری در مقایسه با کاربری کشاورزی، کوچک‌بودن گستره مورد مطالعه در کاربری شهری است. از این گذشته اطلاعات زیاد از کاربری شهری امکان برآورد خسارت را با دقت بیش‌تر ممکن می‌سازد. به هر حال برآورد خسارت کاربری شهری باید از طریق تک‌شماری انجام گیرد.

گردآوری اطلاعات پایه اولین گام در برآورد خسارت کاربری‌های شهری است. نقشه شهر که غالباً از طریق شهرداری قابل وصول است. اساسی‌ترین و اولین اطلاعات مورد نیاز است. سایر اطلاعات می‌تواند آمار و اطلاعات ثبتی و پاره‌ای داده‌های اقتصادی باشد که از طریق سازمان‌های دولتی به‌ویژه شهرداریها، فرمانداری‌ها و سازمان ثبت و سایر ساطمانهای ذیربط قابل وصول است.

به طور کلی تعیین میزان خسارت با استفاده از بازدیدها و مصاحبه‌ها و تکمیل فرم و ثبت نتایج و ارزیابی خسارت به شیوه هزینه‌های جبرانی و مقایسه انجام خواهد گرفت. این ارزیابی‌ها و بررسی میدانی به‌ویژه در مورد کاربری‌های خاص همانند تاسیسات زیربنایی، بیمارستان‌ها و فضاها و امکان ویژه باید توسط گروه کارشناسی متخصص و با همکاری صاحبان یا مدیران آن‌ها انجام گیرد.

در غالب کاربری‌های شهری خسارت شامل دو بخش، خسارات به ساختمان و خسارت به محتویات آن است. مثلاً در مورد مناطق مسکونی علاوه بر خسارت به ساختمان خانه می‌تواند به اسباب و لوازم خانه نیز باشد. همچنین خسارت به یک سازمان اداری، علاوه بر خسارت به ساختمان شامل خسارت به تاسیسات و لوازم اداری و سایر محتویات باشد.

فصل ۶

مدل‌های رایانه‌ای خسارت سیلاب

۶-۱- کلیات

در این بخش از راهنما به مدل‌ها یا برنامه‌های رایانه‌ای مربوط به ارزیابی و برآورد خسارت سیلاب پرداخته شده است. مطالب این بخش با توجه به زمینه‌های تخصصی و مدل‌ها و نرم‌افزارهای موجود تحت سه محور اصلی هیدرولوژی، هیدرولیک و اقتصاد یا تحلیل خسارت سیلاب تدوین شده است.

این سه گروه با توجه به نیاز و اهمیت به نوبه خود به زیر گروه‌هایی تقسیم شده‌اند در شکل (۶-۱) شمای گروه‌بندی یاد شده نشان داده شده است. نکات و معیارهایی که برای انتخاب برنامه‌های رایانه‌ای و نرم‌افزارها مدنظر قرار گرفته به شرح زیر است:

- > اهمیت آن در ارزیابی خسارت سیلاب
- > رواج و عمومیت بیش‌تر
- > کامل بودن نسبی مدل
- > اعتبار موسسه
- > دسترسی آسان و کم هزینه

۶-۲- تعاریف

مفاهیم و تعاریف اصلی که در زیر آمده مربوط به واژه‌هایی همانند مدل، برنامه و نرم‌افزار است که در این مجموعه به کار گرفته شده‌اند. بدیهی است که توجه به این تعاریف و مفاهیم، ضمن کمک به درک مطالب، فراگیری آن را نیز تسهیل می‌کند. نکته دیگر در این خصوص، این موضوع است که به جهات علمی و زبان شناختی در مواردی تعاریف و مفاهیم یکسان و ثابتی وجود ندارد. لذا در این گونه موارد مشترکات تعاریف تعیین‌کننده شده است.

۶-۲-۱- تعریف مدل

به بیان ساده مدل رابطه یک امر نامعلوم یا ناشناخته (خروجی) را با امر معلوم یا شناخته (ورودی) را برقرار می‌کند. به عنوان مثال به رابطه جریان در بالادست رودخانه به عنوان ورودی معلوم با جریان در پایین‌دست آن به عنوان خروجی نامعلوم یا رابطه بارندگی در حوضه آبریز به عنوان ورودی معلوم با رواناب به عنوان خروجی نامعلوم مدل گفته می‌شود.

۶-۲-۲- مدل ریاضی و مدل رایانه‌ای

مدل ریاضی: یک مدل ریاضی عبارت است از مجموعه‌ای از معادلات که رفتار اجزای یک سامانه هیدرولوژیک، هیدرولیک یا ... را نشان می‌دهد. برای مثال ترکیب معادلات پیوستگی و کمیت حرکت با یکدیگر مدل روندیابی جریان در آبراهه روباز را تشکیل می‌دهد.

مدل یا برنامه رایانه‌ای: در صورتی که معادلات مدل ریاضی خیلی زیاد و یا پیچیده باشد و حل آن‌ها به روش رایج (دستی و ماشین حساب) مشکل یا غیر ممکن باشد، آن‌ها به کدهای رایانه‌ای ترجمه شده و از یک عامل حل کننده مناسب مدل (آلگوریتم) استفاده می‌شود. به این شیوه برنامه رایانه‌ای گفته می‌شود.

نکته: در این راهنما سه واژه مدل رایانه‌ای، برنامه رایانه‌ای و نرم‌افزار رایانه‌ای که عموماً به دلیل خاستگاه واژه از علم و فن‌آوری رایانه به اختصار نرم‌افزار گفته می‌شود، مترادف می‌باشند.

۶-۲-۳- طبقه‌بندی مدل‌ها

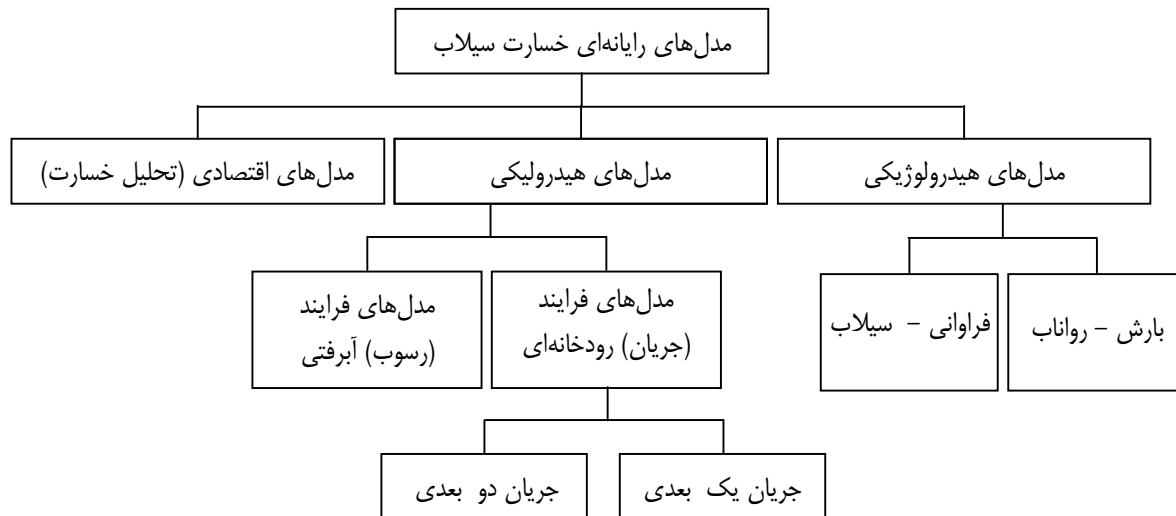
مدل‌ها به سه گروه فیزیکی، تشابهی و ریاضی تقسیم می‌شوند. مدل‌های فیزیکی گونه‌ای از مدل‌ها هستند که یک سامانه واقعی را در مقیاس کوچک نشان می‌دهند. به عنوان مثال مدل فیزیکی یک طرح کنار گذر رودخانه برای مهار سیلاب که ممکن است در مقیاس ۵۰:۱ ساخته شود. یکی از کاربردهای رایج مدل‌های فیزیکی در مهندسی آب شبیه‌سازی جریان در آبراهه‌های روباز است.

مدل‌های تشابهی، مدل‌هایی هستند که جریان آب را با جریان الکتریسیته در یک مدار شبیه‌سازی می‌کند. با این مدل‌ها، ورودی به وسیله تنظیم آمپر جریان و خروجی با ولت متر اندازه‌گیری می‌شود. در گذشته این نوع مدل برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفت.

در این راهنما مدل‌های ریاضی به آن گونه مدل‌ها گفته می‌شود که دارای یک یا چند معادله بوده و عکس‌العمل اجزاء یک سامانه هیدرولیکی یا هیدرولوژیکی را به تغییر در شرایط آن‌ها تبیین می‌کند. کلیه مدل‌های تشریح شده در این راهنما در گروه مدل‌های ریاضی قرار می‌گیرند. این گونه مدل‌ها در ارتباط با موضوعات مورد بحث در این راهنما، به نوبه خود به مدل‌های: ۱- رخدادی یا پیوسته، ۲- یکپارچه یا توزیع شده، ۳- تجربی یا مفهومی، ۴- قطعی یا بختی و ۵- پارامتر اندازه‌گیری شده یا پارامتر برازش داده شده تقسیم می‌شوند.

۶-۲-۴- مدل‌ها در این راهنما

در این راهنما با توجه به نیازها، ماهیت کار و چارچوب راهنما، مدل‌های رایانه‌ای خسارت سیلاب به سه گروه بزرگ مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل‌های هیدرولیکی و مدل‌های اقتصادی تقسیم شده است (شکل ۶-۱). در واقع برآورد و ارزیابی خسارت سیلاب‌های فرضی و واقعی مستقیماً توسط گروه سوم یعنی مدل‌های اقتصادی ویژه این کار، انجام می‌گیرد و دو گروه مدل دیگر که برای اهداف متنوع و متفاوت در زمینه‌های مهندسی آب از جمله مطالعات مهار و کاهش خسارات سیلاب ساخته شده‌اند، بخشی از اطلاعات و داده‌های ورودی برنامه‌های تحلیل خسارت سیلاب را تأمین می‌کنند.



شکل ۶-۱- گروه‌بندی مدل‌های رایانه‌ای خسارت سیلاب

۶-۳- مدل‌های هیدرولوژیکی

۶-۳-۱- کلیات

مدل‌های هیدرولوژیکی به‌طور کلی به دو گروه اصلی، مدل‌های رخدادی منفرد و مدل‌های پیوسته تقسیم می‌شود. مدل‌های رخدادی منفرد برای مدل‌کردن فرایند بارندگی - رواناب و روندیابی جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد. درحالی‌که مدل‌های پیوسته جریان رودخانه را شبیه‌سازی می‌کنند. در این راهنما با توجه به نوع کار به مدل‌های رخدادی منفرد پرداخته می‌شود. مدل‌های آماری نیز که برای مدل‌کردن پاره‌ای از فرایندهای هیدرولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند به نوعی در گروه مدل‌های هیدرولوژیکی قرار گیرد.

مدل‌های رایانه‌ای زیادی در هر دو گروه یاد شده به‌ویژه مدل‌های رخدادی منفرد توسط موسسات، سازمان‌ها، دانشگاه‌ها و افراد در دنیا ساخته شده است. از جمله معروف‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل‌های HEC-HMS، WinTR-20 و SMADA و همچنین مدول هیدرولوژیکی مدل Mike 11 اشاره کرد.

۶-۳-۲- برنامه رایانه‌ای HEC-HMS

۶-۳-۱-۲- چارچوب مدل

برنامه رایانه‌ای HEC-HMS بیش‌ترین اطلاعات مورد نیاز را از جمله برآورد احجام رواناب، برآورد مقادیر اوج سیلاب‌ها و زمان‌سنجی^۱ جریان را می‌تواند تهیه کند. این برنامه اطلاعات مورد نیاز را از طریق شبیه‌سازی رفتار حوضه

آبریز، آبراهه‌های آن و امکانات مهار آب در داخل یک سامانه هیدرولوژیک، تهیه می‌کند. پاره‌ای از مطالعاتی که در آن‌ها از این برنامه می‌توان استفاده کرد به شرح زیر است:

- > مطالعات سیلاب‌های شهری
- > مطالعات فراوانی سیلاب
- > مطالعات کاهش خسارات سیلاب
- > مطالعات برای طراحی سامانه‌های هشدار سیلاب
- > مطالعات طراحی مخزن
- > مطالعات زیست محیطی

۶-۳-۲-۲- مدل HEC-HMS چیست و نقش آن چیست؟

این برنامه یک مدل عددی است که شامل تعداد قابل توجهی روش برای شبیه‌سازی رفتار حوضه آبریز، آبراهه و سازه مهار آب از طریق برآورد مقدار، تراز و زمان جریان است. روش‌های شبیه‌سازی این مدل که در جدول (۶-۱) خلاصه شده منجر به نتایج زیر می‌شود.

الف - بارندگی و تبخیر از حوضه آبریز

این بخش توزیع مکانی و زمانی بارندگی و تبخیر را از حوضه آبریز شرح می‌دهد.

ب - حجم رواناب

در این بخش حجم بارندگی بر روی حوضه، مقدار نفوذ آن در سطح حوضه، میزان رواناب و زمان وقوع رواناب بحث می‌شود.

ج- رواناب مستقیم شامل رواناب سطحی و جریان دیواره‌ای^۱

این روش‌ها درخصوص آن بخش از حجم بارندگی که در زمین نفوذ نکرده یا در سطح حوضه ذخیره نشده و شامل رواناب سطحی و جریان دیواره‌ای است، بحث می‌کند

د- جریان پایه

این قسمت از مدل جریان پایه رودخانه را که حاصل زهکشی زیر سطحی جریان آب از سامانه هیدرولوژیک به آبراهه‌های حوضه است، شبیه‌سازی می‌کند.

ه - جریان آبراهه

این بخش که بنام روش‌های روندیابی نامیده می‌شود، جریان یک بعدی را در آبراهه شبیه‌سازی می‌کند. به این طریق سری زمانی جریان، تراز و سرعت را در پایین‌دست آبراهه با استفاده از آبنگارهای معلوم در بالادست آن، شبیه‌سازی می‌کند.

۳-۲-۳-۶- استفاده از مدل

برای استفاده مدل در برنامه‌ریزی، طراحی، بهره‌برداری و تصمیم‌گیری لازم است مراحل زیر در نظر گرفته شود.

- > مشخص کردن تصمیمات مورد نیاز
- > تعیین این‌که چه اطلاعاتی برای تصمیم‌گیری لازم است
- > توسعه مکانی و زمانی اطلاعات مورد نیاز
- > معرفی تعیین روش‌های تهیه اطلاعات، تعیین معیارها برای انتخاب یکی از روش‌ها و انتخاب یک روش
- > برازش مدل و تائید^۱ برازش
- > جمع‌آوری و توسعه شرایط مرزی و شرایط اولیه مناسب برای کاربرد مدل
- > کاربرد مدل
- > کنترل واقعیت^۲ و تحلیل حساسیت
- > فرآوری نتایج برای اطلاعات مورد نیاز

جدول ۶-۱- خلاصه روش‌های شبیه‌سازی برنامه HEC-HMS

| روش | گروه |
|--|------------|
| باران‌نگاری که کاربر تعریف می‌کند روش زمانی ایستگاه‌ها که توسط کاربر تعریف می‌شود روش وزنی ایستگاه‌ها با مجذور عکس فاصله روش شبکه‌بندی رگبارهای فرضی براساس فراوانی (به روش فراوانی) رگبار استاندارد پروژه (SPS) برای شرق ایالات متحده آمریکا رگبار فرضی به روش اداره حفاظت خاک آمریکا (SCS) | بارندگی |
| نفوذ اولیه و با نرخ ثابت شماره منحنی (CN) مربوط به SCS شماره منحنی شبکه SCS گرین و امپت (Green and Ampt) روش رطوبت خاک (SMA) روش شبکه‌ای رطوبت خاک | حجم رواناب |

1- Verify

2- Verify

ادامه جدول ۶-۱- خلاصه روش‌های شبیه‌سازی برنامه HEC-HMS

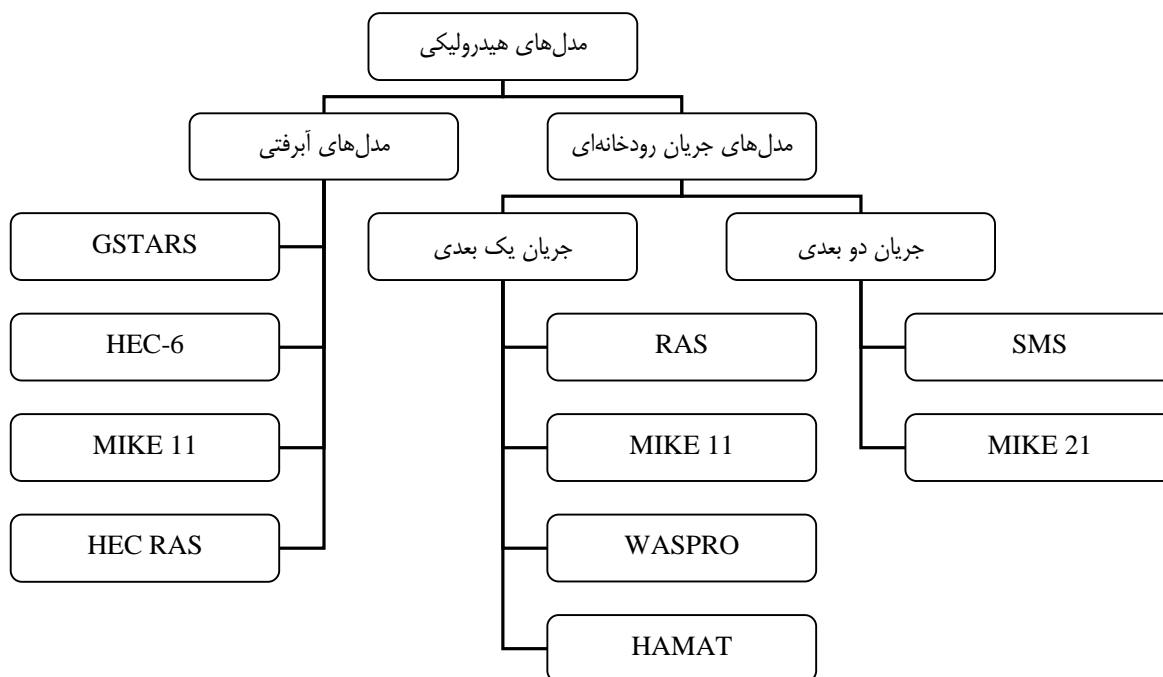
| روش | گروه |
|---|------------------|
| آب‌نگار واحدی (UH) که کاربر تعریف می‌کند آب‌نگار واحد کلارک (Clark) آب‌نگار واحد اشنايدر آب‌نگار واحد SCS مودکلارک (Moclark) موج سینماتیکی منحنی S که توسط کاربر تعریف می‌شود | جریان مستقیم |
| با مقدار ثابت ماهانه کاهش نمایی مخزن خطی | جریان پایه |
| موج سینماتیکی تاخیری پالس اصلاح شده ماسکینگام (Muskingum) ماسکینگام - سونج با مقطع استاندارد (Muskingum-Cunge) ماسکینگام - سونج با مقطع هشت نقطه‌ای تلاقی انشعاب | روندپایی |
| انحراف مخزن یا استخر تاخیری | سازه‌های مهار آب |

۶-۴- مدل‌های هیدرولیکی

۶-۴-۱- کلیات

مدل‌های هیدرولیکی را می‌توان به دو گروه مدل‌های فرایند رودخانه‌ای و مدل‌های فرایند آبرفتی تقسیم نمود. مدل‌های فرایند رودخانه‌ای که می‌توان آن‌ها را مدل‌های جریان رودخانه‌ای نیز نامید، صرفاً فرایند جریان آب در آبراهه و سازه‌های آبی - رودخانه‌ای را شبیه‌سازی می‌کنند، درحالی‌که مدل‌های فرایند آبرفتی یا جریان با بستر متحرک که می‌توان آن‌ها را مدل‌های هیدرولیک رسوب نیز نامید، جریان آبراهه را با رسوب شبیه‌سازی می‌کنند. هر دو گروه مدل‌های یاد شده می‌توانند دست کم به دو زیر گروه مدل‌های یک بعدی و دو بعدی تقسیم بندی شوند.

در شکل (۶-۲) مدل‌های هیدرولیک و زیر گروه‌های آن‌ها همراه با تعدادی از مدل‌های رایانه‌ای - ریاضی موجود در این زمینه نشان داده شده است. این مدل‌ها یا برنامه‌های رایانه‌ای غالباً از مدل‌های رایج در زمینه مطالعات هیدرولیک در رابطه با اهداف این راهنما و طرح‌های مهار سیلاب است و به تناسب حد و حدود این راهنما و نیازها و کاربردی بودن و اهمیت موضوع در ارتباط با ملزومات و ملاحظات ارزیابی خسارت سیلاب در صفحات آتی تشریح شده است.



شکل ۶-۲- شمای گروه‌بندی مدل‌های رایانه‌ای خسارت سیلاب

۶-۴-۲- مدل‌های فرایند رودخانه‌ای

۶-۴-۲-۱- نرم‌افزار تحلیل سامانه رودخانه

۶-۴-۲-۱-۱- قابلیت توانایی‌های کلی

نرم‌افزار رایانه‌ای تحلیل سامانه رودخانه^۱ (HEC-RAS) بخشی از پروژه نسل آتی^۲ (آینده)^۳ نرم‌افزارهای مهندسی هیدرولوژی - هیدرولیک مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات متحده آمریکا می‌باشد. پروژه نسل آتی شامل چندین جنبه از مهندسی هیدرولوژی و هیدرولیک و اقتصاد است که عبارتند از: تحلیل بارش - رواناب، هیدرولیک رودخانه، شبیه‌سازی سیستم مخزن، تحلیل خسارات سیلاب و پیش‌بینی بلادرنگ رودخانه برای عملکردهای مخزن. برنامه رایانه‌ای سامانه تحلیل رودخانه نرم‌افزاری است که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک رودخانه در حالت جریان‌های ماندگار و ناماندگار و محاسبات انتقال رسوب را می‌دهد. این برنامه متشکل از یک مجموعه (سامانه) نرم‌افزاری است که برای استفاده متقابل در محیط شبکه چند منظوره چند کاربره طراحی شده است. این سامانه از یک واسط گرافیکی کاربر^۳ (GUI)، مولفه‌های تحلیل هیدرولیکی مجزا، قابلیت‌های ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها، امکانات گرافیکی و تهیه گزارش تشکیل شده است.

1- Corp of Hydrological Engineers – River System Analysis

2- Next Generation

3- Graphical User Interface

محاسبات هیدرولیکی یک بعدی برای شبکه کاملی از کانال‌های طبیعی و مصنوعی را می‌توان با استفاده از نرم‌افزار یاد شده انجام داد. نتایج این محاسبات شامل نیمرخ طولی سطح آب در جریان ماندگار، نیمرخ طولی سطح آب در جریان غیر ماندگار و برآورد نیمرخ طولی کف کانال و مخازن در رابطه با مسایل انتقال رسوب و رسوبگذاری می‌باشد. لازم به توضیح است که بخش‌هایی از این نرم‌افزار هنوز آماده نشده است.

۶-۴-۲-۱-۲- نیمرخ سطح آب در حالت جریان ماندگار

این مولفه از سامانه مدل‌سازی، برای محاسبه نیمرخ‌های طولی سطح آب در حالت جریان متغیر تدریجی ماندگار تهیه شده است. سامانه قادر است که یک شبکه کامل از کانال‌ها، یک سیستم شاخه‌ای^۱ و یا یک بازه واحد از رودخانه را برای انجام تحلیل در نظر بگیرد. مولفه جریان ماندگار قابلیت مدل‌سازی نیمرخ‌های سطح آب در رژیم‌های جریان زیر بحرانی، فوق بحرانی و رژیم مختلط^۲ را دارا می‌باشد.

روند اصلی محاسباتی برپایه حل معادله انرژی یک بعدی استوار است. افت‌های انرژی در این رابطه اهمیت زیادی در برآورد نیمرخ نزدیک به واقعیت، خواهد داشت. عوامل ایجاد این افت در مدل عبارتند از:

الف- اصطکاک جداره که معرف آن عدد مانینگ مقطع است.

ب- ضرایب افت ناشی از همگرایی و واگرایی در مقاطع متوالی

نرم‌افزار تحلیل سامانه رودخانه مقادیر ضریب انتقال را در هر مقطع به دو صورت زیر برآورد می‌کند.

الف- روش ویژه خود Hec-Rac که به این صورت است که در هر مقطع در محل‌های تغییر ضریب مانینگ مقادیر ضریب انتقال را محاسبه کرده و ضریب انتقال کل مقطع معادل به‌دست می‌آید.

ب- روشی که در Hec-2 به کار می‌رفت و مقدار مانینگ را در ایستگاه‌های عرضی نیاز داشت.

در هنگام وارد کردن داده‌های ورودی، نیاز به وارد کردن ضریب مانینگ معادل برای کانال اصلی، ساحل چپ و ساحل راست داریم.

در مقاطعی که افت انرژی موضعی نامشخص اتفاق می‌افتد و نیمرخ سطح آب تغییرات ناگهانی و سریعی دارد به جای معادله انرژی از رابطه ممنتوم استفاده می‌شود. هم‌چنین در این وضعیت‌ها از گزینه رژیم مختلط برای تحلیل نیمرخ سطح آب استفاده می‌شود که عبارتند از:

> پرش هیدرولیکی

> هیدرولیک پل‌ها یعنی در مقطعی که پل وجود دارد.

> محل‌های تلاقی و انشعاب رودخانه یا به عبارت دیگر، محل‌های برخورد یا جدا شدن شاخه‌های فرعی از رودخانه اصلی

1- Dendritic System

2- Mixed Flow

- به طور کلی فرض‌های اساسی زیر دربرنامه برای جریان ماندگار لحاظ شده است که نتایج را تحت تاثیر قرار می‌دهد.
- الف- جریان کاملاً ماندگار (دایمی) می‌باشد.
- ب- جریان متغیر تدریجی است و در مواردی که جریان متغیر سریع باشد تحلیل با رابطه ممنتوم یا سایر روش‌های در نظر گرفته شده، انجام می‌گیرد.
- ج- جریان کاملاً یک بعدی می‌باشد.
- ت- شیب کانال کم و در حدود $0/1$ یا 10 درصد می‌باشد.
- به هنگام مدل‌سازی یک رودخانه در Hec-Ras اکثر سازه‌های رودخانه‌ای متداول را می‌توان به سادگی در هندسه مدل وارد نمود این قابلیت‌ها عبارتند از:
- > پل‌های یک دهانه و چند دهانه با روش‌های تحلیل ممنتوم و انرژی و همچنین با فرض‌های زیرگذری و روگذری جریان در سیلاب‌های بزرگ
 - > مدل کردن انواع زیرگذر^۱ چند دهانه با فرض‌های انواع حالات جریان رخ داده در آن‌ها و انواع نیمرخ‌های سطح آب
 - > روریزها و سدهای تنظیمی و انواع دریچه‌های قرار گرفته در مسیر رودخانه
 - > انواع سیل‌بند و اپی و دیواره‌های کناره‌ای
 - > سرریزهای جانبی به منظور آگیری از رودخانه با فرض دریچه‌های مختلف
 - > مدل کردن سازه‌های آبشار در مسیر جریان
 - > مدل کردن هندسی مخزن در شبکه رودخانه با مشخص نمودن شرایط مرزی به صورت هیدروگراف ورودی یا منحنی تراز آب - مساحت مخزن
 - > مدل‌سازی اتصالات هیدرولیکی بین دو مخزن یا بین رودخانه و مخزن
 - > مدل‌سازی ایستگاه‌های پمپاژ برای آگیری از رودخانه
- به جز موارد ذکر شده در بخش طراحی هیدرولیکی مواردی از قبیل تخمین و برآورد میزان آبشستگی در پایه پل‌ها، طراحی ریپ‌رپ، فرسایش کناره، طراحی کانال پایدار، انتقال رسوب و محاسبه شیب عرضی جریان در مقطع عرضی در محل خم رودخانه از قابلیت‌های نرم‌افزار می‌باشد. همچنین با نرم‌افزار HEC-RAS می‌توان پوشش سطح رودخانه با یخ را مدل کرد.

۶-۴-۲-۱-۳- نیمرخ سطح آب در جریان ناماندگار

این مولفه قابلیت شبیه‌سازی جریان ناماندگار یک بعدی را در یک شبکه کامل از کانال‌های روباز دارا می‌باشد. سیستم حل‌کننده معادله جریان ناماندگار از مدل UNET تهیه شده توسط دکتر رابرت‌ال. بارکاو^۱ اقتباس شده است. مولفه جریان ناماندگار در ابتدا برای محاسبات رژیم جریان زیر بحرانی تهیه شده بود.

محاسبات هیدرولیکی برای مقاطع عرضی، پل‌ها و زیرگذرها و سایر سازه‌های هیدرولیکی دیگری که برای مولفه جریان ماندگار تهیه شده بود در حالت ناماندگار نیز تعبیه شده‌اند. از مواردی که در آخرین نسخه از نرم‌افزار تعبیه شده‌اند انجام تحلیل جریان ناماندگار برای شرایط زیر می‌باشد: تحلیل شکست سد^۲، شکست سیل‌بندهای خاکی یا گروه‌ها^۳، مدل کردن ایستگاه‌های پمپاژ، تحلیل جریان مختلط برای حالت ناماندگار، سدهای کشتیرانی، تحلیل پخش سیلاب در حالت ناماندگار و بهینه‌سازی شرایط جریان در اتصالات سرریزهای جانبی و اتصالات شاخه‌های فرعی به رودخانه.

۶-۴-۲-۱-۴- محاسبات انتقال رسوب با مرز متحرک

این مولفه از سامانه مدل‌سازی برای شبیه‌سازی محاسبات انتقال رسوب (مرز یا بستر متحرک) یک بعدی که از آبشستگی و رسوبگذاری برای دوره‌های زمانی میان مدت (مثلاً سال، اگرچه امکان کاربرد برای یک سیلاب منفرد نیز وجود دارد) ناشی می‌شود، در نظر گرفته شده است. پتانسیل انتقال رسوب براساس اندازه ذرات محاسبه می‌شود که به موجب آن شبیه‌سازی جورشدهی، مسلح‌شدن هیدرولیکی امکان‌پذیر می‌گردد. ویژگی‌های عمده این مولفه عبارتند از:

قابلیت مدل‌کردن یک شبکه از آبراهه‌ها، لایروبی کردن کانال، گزینه‌های مختلف سیل‌بند و پخش سیلاب و استفاده از چند معادله مختلف برای محاسبات انتقال رسوب. این مدل برای شبیه‌سازی روندهای بلندمدت آبشستگی و رسوبگذاری در یک آبراهه که ممکن است از اصلاح فراوانی و تداوم آبدهی و تراز سطح جریان آب یا اصلاح هندسه کانال ناشی شود، طراحی شده است. از این سیستم می‌توان برای ارزیابی رسوبگذاری در مخازن، طراحی بخش‌های همگرا شونده کانال که برای تثبیت عمق آب جهت کشتیرانی لازم می‌باشند، پیش‌بینی اثر لایروبی بر میزان رسوبگذاری، تخمین حداکثر آبشستگی ممکن در طی رخداد سیلاب‌های بزرگ و ارزیابی رسوبگذاری در کانال‌های غیرفرسایشی استفاده نمود.

۶-۴-۲-۲- نرم‌افزار MIKE 11

۶-۴-۲-۱- کلیات

نسخه جدید نرم‌افزار MIKE 11 دوران جدیدی را در کاربرد وسیع‌تر مدل‌های دینامیکی برای مدل‌سازی رودخانه‌ها و کانال‌ها آغاز کرده است. این نسخه بخشی از تولیدات جدید نرم‌افزارهای DHI (Danish Hy. Inst.) می‌باشد که برپایه مفاهیم MIKE ZERO استوار است و شامل یک مجموعه گرافیکی کامل در ویندوز است که با استانداردهای لازم برای

1- Robert L. Barkkau

2- Dam-Break

3- Levee

نرم‌افزارهای تحت ویندوز مطابقت دارد. در این نسخه از نرم‌افزار هنوز هم از هسته محاسباتی شناخته شده و آزمایش شده نسخه کلاسیک MIKE 11 استفاده شده است.

با کاربرد MIKE 11 امکان پاسخگویی به سوالات زیر فراهم می‌شود:

- > درچه ترازهایی سیلاب از رودخانه تجاوز خواهد کرد و در کدام نقاط سیلاب رخ خواهد داد؟
- > اقدامات مربوط به مهار سیلاب کدامند؟
- > اثرات درازمدت زیست‌محیطی که به علت تغییرات میزان (بار) آلودگی ایجاد شده‌اند، چه هستند؟
- > در چه محل‌هایی از سیستم رودخانه‌ای رسوبات ته‌نشین شده‌اند و تغییرات مورفولوژیک چه می‌باشد؟
- > بیشینه تجمع آلاینده‌ها در محل‌ها خاص بعد از محل‌هایی مثل بارهای آلوده سنگین ناشی از حوضه‌های شهری یا مناطق صنعتی یا محل ترکیب جریان فاضلاب‌ها¹ چقدر است؟

۶-۴-۲-۲-۲- توصیف مختصری از MIKE 11

MIKE 11 یک بسته نرم‌افزاری حرفه‌ای مهندسی است که برای شبیه‌سازی جریان‌ها، کیفیت آب و انتقال رسوب در رودخانه‌ها و سامانه‌های آبیاری، کانال‌ها، خلیج‌ها و دیگر اجزای کارهای آبی به کار می‌رود.

MIKE 11 یک نرم‌افزار با قابلیت کاربرد ساده، کاملاً دینامیکی، یک‌بعدی برای تحلیل تفصیلی، طراحی، مدیریت و بهره‌برداری از سامانه‌های ساده و پیچیده آبراهه‌ها و رودخانه‌ها است. این نرم‌افزار با انعطاف‌پذیری استثنایی، محیط پرسرعت و راحت برای کاربر، یک محیط طراحی موثر و کامل را برای مهندسی، منابع آب، مدیریت کیفیت آب و کاربردهای برنامه‌ریزی فراهم می‌آورد.

مدول هیدرودینامیک (HD) هسته اصلی MIKE 11 است و اساس اکثر مدول‌ها از جمله: پیش‌بینی سیلاب، جابه‌جایی - پخش، کیفیت آب و مدول‌های انتقال رسوبات غیر چسبیده را تشکیل می‌دهد.

مدول هیدرودینامیک در MIKE 11 معادلات تجمعی عمودی را برای بقای پیوستگی و اندازه حرکت (ممنتوم) یعنی همان معادلات سنت و نان حل می‌کند.

کاربردهای مربوط به MIKE 11 HD مشتمل بر موارد زیر می‌باشند:

- > پیش‌بینی سیلاب و عملکرد مخزن
- > شبیه‌سازی کنترل سیلاب
- > عملکرد و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری و زهکشی سطحی
- > طراحی سامانه‌های کانال
- > مطالعات جزر و مدی و امواج طوفانی در رودخانه‌ها و خلیج‌ها

شکل اولیه سامانه مدل سازی MIKE 11 یک ساختار تجمعی از زیرساخت های مختلف است که قابلیت اضافه کردن بخش های شبیه سازی مختلف برای پدیده های مرتبط با سامانه رودخانه ای را دارا می باشد.

علاوه بر ضریب هیدرودینامیکی که در بالا ذکر شد بخش هایی که اضافه می شوند عبارتند از:

- > هیدرولوژی
- > جابه جایی - پخش
- > مدل هایی برای جنبه های مختلف کیفیت آب
- > انتقال رسوب چسبنده
- > انتقال رسوب غیر چسبنده

۶-۴-۳- مدل های فرایند آبرفتی

۶-۴-۳-۱- برنامه HEC-6

۶-۴-۳-۱- کاربرد برنامه

این برنامه اثرات انتقال رسوب و تغییرات رخ داده در شرایط مرزی جریان را با روش جریان یک بعدی در آبراهه های روباز را شبیه سازی می کند. این برنامه تغییرات نیمرخ طولی کف رودخانه را برای یک سیلاب یا برای یک سری زمانی از جریان ها محاسبه می کند. برنامه یاد شده اطلاعات مربوط به عمق و تغییرات شکل بستر رودخانه را در اثر فرسایش و رسوب گذاری را در اختیار کاربر قرار می دهد. از این رو این مدل می تواند برای ارزیابی حرکت جریان رسوب مورد استفاده قرار گیرد.

۶-۴-۳-۲- مدل های ریاضی موجود در برنامه

الف- برنامه HEC-6 معادله یک بعدی انرژی را با روش محاسباتی مشابه با آنچه در مدل رایانه ای HEC-2 انجام می شود، حل می کند. در این برنامه افت انرژی در پل ها و زیرگذرها لحاظ نشده است. اما مدل این امکان را فراهم می آورد که محاسبات انتقال رسوب برای یک حجم کنترل تعریف شده با استفاده از محل های مقاطع عرضی و یک عمق فرضی از مواد آبرفتی انجام شود. شیب انرژی، عمق، سرعت و تنش برشی محاسبه شده در هر مقطع عرضی برای محاسبه ظرفیت انتقال رسوب در همان مقطع مورد استفاده قرار می گیرد. در این مدل مقدار آبخستگی یا رسوبگذاری با تقسیم سطح بستر متحرک به تغییر در حجم رسوب محاسبه می شود. بنابراین یک نیمرخ طولی سطح آب جدید برای هندسه جدید آبراهه محاسبه می شود.

ب- نرخ انتقال رسوب در HEC-6 برای ۲۰ قطر دانه مختلف که از رس (کمتر از ۰/۰۰۴ میلی متر) تا سیلت (کمتر از ۰/۰۶۳ میلی متر) و تا قطرهای بسیار بالای (۲۰۴۸ میلی متر محاسبه می شود. معادلات مختلف برای انتقال رسوب که هم برپایه دانه های چسبنده و هم غیر چسبنده ها ارائه شده اند را می توان برای محاسبات ظرفیت

انتقال رسوب انتخاب کرد. مدل‌های ریاضی حرکت آغازین، مسلح‌شدن بستر کانال، جورشدگی قطر دانه‌ها و جداشدن دانه از قابلیت‌های برنامه است.

ج- برای جریان غیرماندگار HEC-6 آبنگار سیل را به صورت یک مجموعه بده‌های ماندگار در بازه‌های زمانی مناسب منفصل کرده و نیمرخ سطح آب را به روش گام استاندارد محاسبه می‌کند. این روند آنقدر تکرار می‌شود تا کل رخداد شبیه‌سازی شود.

د- به علت فرمول‌بندی یک‌بعدی، این برنامه نمی‌تواند طبیعی چند بعدی شکل‌گیری بار رسوبی، جریان‌های ثانویه و تخریب کناره‌های رودخانه را مورد توجه قرار دهد.

۶-۴-۳-۱-۳- ورودی و خروجی مدل

برنامه HEC-6 به تمامی اطلاعات برای مدل‌های جریان یک‌بعدی در آبراهه‌های روباز نیاز دارد. این اطلاعات شامل شرح کامل از مرزهای هندسی آبراهه که جریان را در برمی‌گیرد، تعریف رژیم جریان و خصوصیات ضرایب افت انرژی می‌باشد. علاوه بر این کاربر باید اطلاعات جامعی از توزیع قطر ذرات، وزن مخصوص، فاکتور شکل، وزن واحد، سرعت سقوط رسوبات و شرایط مرزی را تهیه کند. خروجی برنامه شامل هر دو گزارش محاسبات هیدرولیک و محاسبات انتقال رسوب می‌باشد. اساس داده‌های خروجی مشتمل بر یک گزارش شرایط اولیه، محاسبات هیدرولیکی، محاسبات انتقال رسوب، حجم تجمعی و تغییرات تراز بستر می‌باشد.

۶-۴-۳-۲- برنامه GSTARS

۶-۴-۳-۱-۲- زمینه

ویرایش اول مدل لوله جریان برای شبیه‌سازی رودخانه‌های آبرفتی^۱ به‌وسیله هولیناس^۲ و یانگ^۳ در سال ۱۹۸۲ برای دفتر عمران تهیه گردید برخلاف بسیاری از برنامه‌های رایانه‌ای که برای مدل‌سازی یک بعدی رسوب در رودخانه تهیه شده‌اند (مانند Hec-6) هدف این برنامه، شبیه‌سازی شرایط جریان در یک حالت شبه دو بعدی و تغییرات هندسه آبراهه در یک حالت شبه سه‌بعدی می‌باشد. این با استفاده از مفهوم لوله‌های جریان در داخل یک جریان اساساً یک‌بعدی بدون نیاز به اطلاعات وسیع و ملزومات محاسباتی زیاد، برای مدل‌سازی پیچیده واقعا دو و سه‌بعدی را، به انجام می‌رسد. از این‌رو برنامه یاد شده توسط محققین برای حل مسایل مهندسی رودخانه نیز به‌کار گرفته می‌شود. این مدل برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات ریخت‌شناختی رودخانه توسط حوادث طبیعی و اقدامات انسانی استفاده می‌شود. با توجه به نتایج این کاربردها برنامه طی زمان ارتقاء پیدا کرده و اصلاح شده است.

1- Generalized Stream Tube Model for Annual River Simulation (Gstarrs)

2- Molinas

3- Yang

۶-۴-۳-۲- اهداف و قابلیت‌ها

هر دو ویرایش ۱ و ۲ مدل GSTARS به خاطر نیاز به یک مدل رایانه‌ای روندیابی رسوب و جریان آب به صورتی طراحی شده‌اند، که بتواند پاسخگوی مسایل پیچیده مهندسی رودخانه که در آن‌ها محدودیت منابع و داده‌ها وجود دارد، باشد برقرار شده‌اند. برای این که چنین مدلی مفید واقع شود باید توانایی‌های زیر را داشته باشد.

- > محاسبه پارامترهای هیدرولیکی برای آبراهه‌های باز با بستر(مرز) ثابت و هم‌چنین بستر متحرک.
- > محاسبه نیمرخ طولی سطح آب برای رژیم‌های زیر بحرانی، فوق بحرانی و جریان مختلط، به‌نحوی که در ترکیب جریان‌های زیر بحرانی و فوق بحرانی انقطاعی وجود نداشته باشد.
- > شبیه‌سازی و تخمین تغییرات هیدرولیکی و رسوب در هر دو جهت طولی و عرض (عمود بر طولی)
- > شبیه‌سازی و تخمین تغییرات نیمرخ طولی کانال‌های رسوبی و هندسه مقاطع عرضی، صرف‌نظر از این که عرض آبراهه متغیر یا ثابت باشد.
- > دخالت دادن شرایط ویژه محل، مانند پایداری کناره آبراهه و حدود فرسایش.

این برنامه از چهار بخش اصلی تشکیل شده است: بخش اول عبارتست از معادلات انرژی و منتوم برای محاسبات برگشت آب. این وضعیت به برنامه اجازه می‌دهد تا نیمرخ طولی سطح آب را در ترکیب‌های زیر بحرانی و فوق بحرانی محاسبه کند. این محاسبات می‌تواند مقاطع نامنظم را صرف‌نظر از این که یک کانال واحد باشد یا چند شاخه جدا شده با جزیره‌ها و بارهای ماسه‌ای^۱ بررسی کند.

بخش دوم: شامل استفاده از مفهوم لوله جریان^۲ است که در محاسبات روندیابی رسوب و جریان آب به کار می‌رود. پارامترهای هیدرولیکی و روندیابی رسوب برای هر لوله جریان محاسبه می‌شوند، بنابراین در یک حالت شبه دوبعدی تغییرات مقاطع عرضی در یک جهت عرضی فراهم می‌شود. اگرچه هیچ جریان و رسوبی نمی‌تواند از جداره لوله جریان خارج شود، موقعیت و عرض هر لوله جریان می‌تواند پس از انجام محاسبات هر گام زمانی تغییر کند. رسوبگذاری یا فرسایش محاسبه شده در هر لوله جریان، مقدار تغییرات هندسه کانال در جهت عمودی یا جانبی را بیان می‌کند. جورشدگی مصالح دانه‌بندی بستر و مسلح شدن بستر در هر لوله جریان از روش پیشنهادی بنت^۳ و نوردین^۴ تبعیت می‌کند و امکان محاسبه نرخ انتقال با ۱۱ روش وجود دارد که قدیمی‌ترین آن‌ها فرمول مایر - پیتر و مولد^۵ (۱۹۴۸) و جدیدترین، فرمول اصلاح شده یانگ (۱۹۹۶) است.

بخش سوم به استفاده از تئوری کمینه نرخ استهلاک انرژی (یانگ ۱۹۷۶، ۱۹۷۱ و سانگ ۱۹۷۹، ۱۹۸۶) مربوط می‌شود که در حالت ساده شده آن از کمینه توان کل جریان برای محاسبه عرض و عمق اصلاح شده (تغییر یافته)

1- Point Bar

2- Stream Tube

3- Bennet

4- Nordin

5- Meyer – Peter & Muller's

استفاده می‌شود. استفاده از این تئوری به عرض آبراهه اجازه می‌دهد به عنوان یک متغیر نامعلوم تعریف شود. منحصر به فردترین قابلیت GSTARS کار با عرض آبراهه به عنوان یک متغیر مجهول است. خواه عرض یا عمق آبراهه در یک مقطع و در یک گام زمانی تغییر کند یا نه، بستگی دارد به این که چه شرایطی منجر به کمینه کل توان جریان بشود. بخش چهارم شامل معیارهای پایداری کناره کانال می‌باشد (در برنامه اولیه GSTARS وجود نداشت) که برپایه زاویه آرامش (اصطکاک)^۱ مواد کنار و پیوستگی رسوب تعریف می‌شود.

پاره‌ای از کاربردهای بالقوه و یا کارکردهای ویرایش ۲ برنامه به شرح زیر است:

- > می‌توان از آن برای محاسبه نیمرخ طولی سطح آب با رسوب یا بدون رسوب استفاده کرد.
- > این برنامه قادر است نیمرخ طولی سطح آب را در حالت رژیم زیر بحرانی و فوق بحرانی محاسبه کند و علاوه بر این پخش هیدرولیکی را هم بدون گسستگی محاسبه می‌کند.
- > می‌تواند تغییر در شرایط رسوب و جریان را در طول و در عرض با یک حالت شبه دوبعدی که براساس مفاهیم لوله جریان استوار است، محاسبه کند. اگر تنها یک لوله جریان انتخاب شود مدل یک‌بعدی خواهد شد. اگر چند لوله جریان انتخاب شوند تغییرات بستر در جهت عمود و جانبی می‌توانند شبیه‌سازی شوند.
- > محاسبات جورشدهی و مسلح شدن مصالح بستر که بر پایه اندازه ذرات استوار است می‌تواند با فرآیند مسلح شدن بستر به صورت واقعی شبیه‌سازی شود.
- > مدل می‌تواند تغییرات هندسه کانال در عرض و عمق را به صورت هم‌زمان شبیه‌سازی کند که برپایه کمینه توان کل جریان استوار است.
- > گزینه پایداری کناره آبراهه اجازه شبیه‌سازی هندسه آن را بر پایه زاویه آرامش مواد کناره و پیوستگی رسوب می‌دهد.

۶-۴-۳- محدودیت‌های کاربرد برنامه

برنامه (Gstars 2.0) یک مدل عددی عمودی برای رایانه‌های شخصی است که تغییرات ریخت‌شناختی رودخانه را که به علت تغییرات طبیعی یا مهندسی انجام می‌گیرد، شبیه‌سازی و برآورد می‌کند. اگرچه هدف از طراحی استفاده از آن به عنوان یک نرم‌افزار مهندسی عمومی برای حل مسایل هیدرولیک آبرفتی است، با وجود این از دیدگاه تئوری محدودیت‌های زیر را دارا می‌باشد.

- > این برنامه یک مدل با جریان شبه ماندگار است و آبنگار جریان در بازه‌های زمانی مناسب با بده‌های ثابت تقریب زده می‌شود. لذا نباید آن را برای جریان متغیر سریع و جریان غیرماندگار به کاربرد.

- > این برنامه یک مدل شبه دوبعدی برای شبیه‌سازی جریان و یک مدل شبه سه‌بعدی برای شبیه‌سازی تغییرات هندسه کانال است. برای وضعیتی که به یک مدل‌سازی با جزئیات دقیق‌تر از شرایط محل به صورت دو بعدی یا سه بعدی واقعی نیاز داریم نمی‌توان از آن استفاده نموده هر چند که برای حل اغلب مسایل مهندسی رودخانه کافی به نظر می‌رسد.
- > (gstars 2.0) برپایه مفهوم لوله جریان استوار است و در آن پدیده جریان ثانویه^۱، پخش^۲ و فراترازی^۳ در نظر گرفته نشده است.

۵-۶- مدل‌های اقتصادی ارزیابی و برآورد خسارت سیلاب

۵-۶-۱- کلیات

مدل‌هایی که در این جا به آن‌ها پرداخته خواهد شد برنامه‌های رایانه‌ای صرفاً اقتصادی است که برای تحلیل خسارت سیلاب‌های فرضی و واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. درحالی‌که مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی که پیش از این به آن‌ها پرداخته شده، مدل‌هایی با اهداف متفاوت و متنوع هستند که از خروجی‌های آن‌ها با توجه به نیاز ارزیابی و برآورد در برنامه‌های رایانه‌ای اقتصادی خسارت سیلاب استفاده می‌شود.

سابقه این‌گونه برنامه‌های رایانه‌ای چندان زیاد نیست. ضمن آن‌که فقط تعداد محدودی از آن‌ها تولید شده است. دو برنامه HEC-FDA و FLOODECON که هر دو تحت ویندوز بوده و بعد از سال ۲۰۰۰ منتشر شده در این راهنما مورد بحث قرار گرفته است. برنامه HEC-FDA برای عموم منتشر شده و در حال حاضر در توسعه و بهسازی است، درحالی‌که هنوز نسخه عمومی برنامه FLOODECON منتشر نشده است.

۵-۶-۲- برنامه HEC-FDA

برنامه تحلیل خسارت سیلاب (HEC - FDA)^۴ از تولیدات نرم‌افزاری مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا برای ارزیابی و برآورد خسارت سیلاب می‌باشد. این برنامه به کاربر امکان می‌دهد که بتواند در مطالعات کاهش خسارت سیلاب، طرح‌های مختلف را ارزیابی نماییم. نسخه حاضر این نرم‌افزار به روش تحلیل بر پایه خطر^۵ عمل می‌کند. در این برنامه خسارت سیل، تحلیل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در قالب یک مطالعه سازگار با هم ترکیب شده‌اند که در کل شامل مولفه‌های جریان‌ها، انواع گروه‌های خسارات، طرح‌ها و سال‌های تحلیل می‌باشد. چارچوب برنامه به شرح زیر است:

> داده‌های هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و اقتصادی لازم را برای تحلیل خسارت ذخیره می‌کند.

1- Secondary Current

2- Diffusion

3- Superelevation

4- Flood Damage Analysis

5- Risk Base Analysis

- > ابزارهای لازم برای مشاهده نتایج و همچنین داده‌های ورودی را فراهم می‌نماید.
- > مقادیر خسارات سالانه قابل انتظار و خسارات سالانه معادل را محاسبه می‌کند.
- > روند تحلیل بر پایه خطر را مورد استفاده قرار می‌دهد.

۶-۵-۲-۱- تحلیل برپایه خطر

تحلیل برپایه خطر توصیف عدم قطعیت را در روابط آبدهی - فراوانی، تراز - آبدهی و تراز - خسارت را در تحلیل اقتصادی و کارکردی گزینه‌های مختلف یک را با هم در نظر می‌گیرد.

در این روش از شبیه‌سازی مونت کارلو و روش تحلیل نمونه آماری برای محاسبه مقادیر مورد انتظار خسارت و کاهش خسارت استفاده می‌شود. درحالی‌که آشکار اثر عدم قطعیت تحلیل خطر نیز منظور می‌گردد. به این طریق تحلیل بر پایه خطر فرصت لازم را برای تصمیم‌گیری برپایه اطلاعات فراهم می‌سازد.

علاوه بر تهیه اطلاعات جامع‌تر در ارزیابی پروژه‌های کاهش خسارت سیلاب، تحلیل خطر فواید جانبی دیگری نیز دارد: به این معنی که تحلیل برپایه خطر توجه را به عدم قطعیت ذاتی در محاسبات هیدرولوژیک و هیدرولیک و اقتصادی متمرکز می‌کند. از آنجا که عدم قطعیت در این محاسبات ناشی از عدم قطعیت داده‌های اساسی، روش‌ها و فرضیات می‌باشد، لذا، توجهات بر این منابع متمرکز می‌شود. این توجه در نهایت باید به اصلاح در روش‌های جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها شود، به نحوی که داده‌ها، روش‌ها و فرضیات دقیق‌تر (عدم قطعیت کم‌تر) منجر به کاهش درجه عدم قطعیت شود.

۶-۵-۲-۲- روند مطالعات در برنامه

در این قسمت روند اعمال برنامه برپایه تحلیل خطر بر پروژه‌های کاهش خسارات سیل به صورت گام به گام تشریح شده است.

- > تعریف پروژه: در این گام محدودیت‌های زمانی و مکانی مطالعه و جریان‌ها و بازه‌های خسارتی تعریف می‌شوند.
- > هدایت تحلیل‌های هیدرولوژیک و هیدرولیک: از مدل‌های هیدرولوژیک و هیدرولیک تهیه شده برای محاسبه روابط آبدهی - فراوانی، تراز - آبدهی و همچنین نیمرخ طولی سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روابط و مقادیر عدم قطعیت در آن‌ها بخشی از داده‌های ورودی به برنامه است.
- > برقراری داده‌های اقتصادی: فهرستی از ساختمان‌ها شامل ارزش ساختمان و ارزش محتوای آن‌ها، تراز طبقه اول و عدم قطعیت هر یک از آن‌ها تهیه می‌شود.
- > تحلیل اقتصادی پروژه در شرایط بی‌طرح: خسارت سالانه قابل انتظار و خسارت سالانه معادل برای حالت طبیعی و بدون انجام طرح‌های کاهش خسارت سیلاب محاسبه می‌شوند.

- > فرمول‌بندی گزینه‌های مختلف: گزینه‌های ممکن برای طرح‌های کاهش خسارت سیلاب فرمول‌بندی می‌شود. هر جا که ضروری باشد، مدل‌های هیدرولوژیک - هیدرولیک جدید برای محاسبه روابط آبدهی - فراوانی و تراز- آبدهی و نیمرخ طولی سطح آب برقرار می‌شود.
- > ارزیابی گزینه‌های مختلف طرح: خسارت سالانه قابل انتظار و خسارت سالانه معادل برای هر طرح محاسبه می‌شود و در نتیجه با گام «ث» یعنی تحلیل بدون طرح خاص، مقایسه می‌گردد تا در نهایت بهترین طرح از نظر اقتصادی مشخص شود.

۶-۵-۲-۳- تحلیل برپایه رخدادهای واقعی

در آینده با توسعه نرم‌افزار این امکان فراهم خواهد شد که ضمن برآورد خسارت برای سیلاب‌های پیش‌بینی شده (فرضی) برای نواحی شهری، برای نواحی کشاورزی - روستایی (غیرشهری) نیز امکان برآورد خسارت این‌گونه سیلاب‌های فراهم آید. علاوه بر آن در آینده با ویرایش ۲ این نرم‌افزار امکان برآورد خسارت سیلاب‌های واقعی (رخ داده) نیز فراهم خواهد شد.

یکی از استفاده‌های مهم این ویرایش توانایی مشخص کردن سودهای حاصل از پروژه‌های ویژه کاهش خسارت سیل همانند مخازن سیلاب و سیل‌بندها خواهد بود. علاوه بر این، کاربران قادر خواهند بود خسارت وارد آمده در یک سیلاب را برای نواحی خسارت دیده به سرعت ارزیابی و برآورد نمایند و همچنین گزارش خسارت را برای مرزهای حقوقی و جغرافیایی تعریف شده همانند شهر و ناحیه، حوضه آبریز و مناطق سیلابی تهیه نمایند. همچنین کاربران خواهند توانست سود یک پروژه خاص یا یک طرح و مجموعه‌ای از پروژه‌ها را برای هر رخداد برپایه سالانه به‌دست آورند.

۶-۵-۲-۴- توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

توانایی استفاده از داده‌ها با مرجع مکانی به عنوان ورودی برای یک مطالعه جدید یا اصلاح داده‌ها در یک پایگاه اطلاعاتی موجود، یک خصوصیت کلیدی در ویرایش ۲ نرم‌افزار خواهد بود. یکی از اهداف این ویرایش این است که به کاربر تحلیل‌کننده اجازه دهد، بدون این‌که بر سامانه اطلاعات جغرافیایی تسلط کامل داشته باشد، بتواند به آسانی تحلیل را انجام دهد و داده‌ها با مرجع مکانی را روی لایه‌های مختلف پروژه نمایش دهد که این مساله راندمان کار را در هنگام مطالعه آنالیز خسارات سیلاب بالا می‌برد. لایه‌های اطلاعات با مرجع مکانی که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: عکس‌های هوایی، سامانه مسیرهای جریان، شبکه‌های عمق آبگرفتگی سیلاب، اطلاعات آماری مربوط به سرشمارهای بخش‌ها و شهرها، الگوی کاربری اراضی، محدوده نواحی متأثر از سیلاب، مرزهای جغرافیایی، سیاسی همانند حوضه آبریز، شهر و بخش

۶-۵-۳- برنامه رایانه‌ای FLOODCON

سازمان حفاظت منابع طبیعی^۱ آمریکا بنا به مسوولیت سازمانی و با توجه به اهمیت ارزیابی خسارت سیلاب به محصولات کشاورزی همواره دست‌اندرکار پژوهش درخصوص شیوه‌های ارزیابی خسارت سیلاب بوده و طی دهه ۱۹۶۰ و بعد از آن اسناد و مدارک چندی نیز در این زمینه منتشر کرده است.

در سال‌های بعد از ۱۹۸۰ با توجه به پیشرفت‌هایی که در زمینه فن‌آوری رایانه‌ای به‌عمل آمد، این سازمان شیوه‌های مربوط به برآورد خسارت سیلاب را بدو قالب برنامه رایانه‌ای ECON و سپس در قالب URB تدوین و منتشر کرد. در حال حاضر دو نسخه ECON2 و URB1 که در سال ۱۹۹۰ منتشر شده از دو برنامه در دسترس است و از چند سال پیش سازمان یاد شده نسخه آزمایشی FloodECON را منتشر کرده است.

نرم‌افزار ECON2 برای ارزیابی اقتصادی خسارت سیلاب^۲ و تحت همین عنوان تهیه و تدوین گردیده است. این برنامه میانگین سالانه خسارت سیلاب را برای محصولات زراعی، علوفه، سایر موارد کشاورزی، جاده و پل، مناطق شهری موارد دیگر را برآورد می‌کند. در این برنامه امکان استفاده از هر دو روش تحلیل فراوانی و تاریخی وجود دارد. ضمن آن‌که ارزیابی برپایه دو روش عمق سیلاب یا تداوم سیلاب امکان‌پذیر است.

نرم‌افزار URB1، برنامه‌ای است تخصصی و صرفاً برای مناطق شهری، که در ارتباط با استفاده از اطلاعات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی کاملاً همانند برنامه ECON2 عمل می‌کند. این برنامه تحت عنوان ارزیابی اقتصادی خسارت سیلاب در مناطق شهری در سال ۱۹۹۰ منتشر گردیده است.

1- Natural Resource Conservation service

این سازمان قبلاً با نام سازمان حفاظت خاک Soil Conservation Service بود.

2- Floodwater Damage Economic Evaluation

منابع و مراجع

- ۱- خورسندی، ح. چیتی، م، ح. «راهنمای مهار سیلاب رودخانه (روش‌های سازه‌ای)»، نشریه شماره ۲۴۲، سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۸۰.
- ۲- مهدوی، محمد، «مدیریت سیل». وزارت کشور، دفتر مطالعات و هماهنگی امور ایمنی و بازسازی، برنامه عمران ملل متحد، دانشکده محیط زیست، ۱۳۷۸.
- ۳- کمیته ملی سدهای بزرگ ایران، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی، ضوابط سیلاب طراحی برای ایمنی، ۱۳۸۰.
- ۴- انجمن هیدرولیک ایران، مجموعه مقالات کارگاه آموزشی و تخصصی مهار سیلاب رودخانه، ۱۳۷۶.
- 5- U.S. Army Corps of Engineers 1994. EP 1110-2-10 Hydrologic Engineering Analysis Concepts for Cost – Shared Flood Damage Reduction Studies.
- 6- U.S. Army Corps of Engineers 1995. EM 1110-2-419 Hydrologic Engineering Requirements for Flood Damage Reduction Studies.
- 7- Maidment, David, R. 1993 Handbook of Hydrology Mc. Graw – Hill.
- 8- Larry, W. Mays, Editor in Chief 1996. Water Resources Handbook Mc. Graw – Hill.
- 9- ESCAP, 1991, Manual and Guidelines for Comprehensive Flood Loss Prevention and Management.
- 10- USDA, Natural Resources Conservation Service, 1998. Water Resources Handbook for Economics.
- 11- USDA, Soil Conservation Service, 1972. Economics – A Manual Procedure to Estimate Annual Crop and Pasture Flood Damages.
- 12- Haimes, 4, 3 Moser, David, A. 1993. Risk Based Decision Making in Water Resources ASCE.
- 13- Goodman, A.S. 1984. Principle of Water Resources Planning, John Wiley & Sons.
- 14- Zhai, G. Sato, T. Fukuzono, T. Ikeda, S. 2003. Flood Damage and its Modeling. 3rd Annual Meeting II ASA – Dpri on Integrated Risk Management.
- 15- NOAA, Hydrologic Information Center 2003. Flood Losses Compilation of Flood Loss Statistics.
- 16- Pielke, Jr. Danton, Mary W. Zoe Barnard Miller, J. 2002. Flood Damage in The United States 1926- 2000 National Center for Atmospheric Research.
- 17- Department of Agricultural Economics, South Africa, MF Viljoen, 2001. Extending Flood Damage Assessment Methodology to Include Sociological and Environmental Dimensions.
- 18- U.S. Army Corps of Engineers. 1998. HEC – FDA Flood Damage Reduction Analysis, Users Manual.