جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای مهار سیلاب رودخانه

(روش‌های سازه‌ای)

نشریه شماره ۲۴۲

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

وزارت نیرو
سازمان مدیریت منابع آب ایران
دفتر استاندارد مهندسی آب

جمهوری اسلامی ایران

راهنمای مهار سیلاب رودخانه
(روش‌های سازه‌ای)

نشریه شماره ۲۴۲

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

وزارت نیرو
سازمان مدیریت منابع آب ایران
دفتر استاندارد مهندسی آب

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۰/۰۰/۹۲

۱۳۸۰

فهرستبرگه

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها
راهنمای مهار سیلاب رودخانه(روش‌های سازه‌ای)/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ وزارت نیرو،سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب.- تهران: سازمان‌مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی ، مرکز مدارک علمی و انتشارات، ۱۳۸۰.
۱۳۶ ص.:مصور.- (سازمان‌مدیریت و برنامه ریزی کشور.دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ نشریه شماره ۲۴۲)(انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور؛۸۰/۰۰/۹۲)
ISBN 964-425-319-1
مربوط به‌دستورالعمل شمار۵۴/۴۵۳۸-۱۰۵/۱۱۸۸۶ مورخ ۱۳۸۰/۸/۱۳
کتابنامه :ص.۱۳۵-۱۳۶
۱.سیل - مهار. ۲. سیل - خسارات و خرابیها -پیشگیری.۳.سیل-ایر ان.الف.سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.
۱۳۸۰ ش.۲۴۲ ۲۴س/۳۶۸ TA

شابک ۱-۳۱۹-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-319-1

راهنمای مهار سیلاب رودخانه(روش‌های سازه‌ای)
تهیه کننده:دفتر امور فنی و تدوین معیارها
ناشر:سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات
چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۸۰
قیمت: ۱۰۰۰۰ ریال
لیتوگرافی:قاسملو
چاپ و صحافی: موسسه زحل چاپ
همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

بسمه تعالی

ریاست جمهوری

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

دفتر رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مشاوران و پیمانکاران	**شماره:** ۱۰۵/۱۱۸۸۶-۵۴/۴۵۳۸
	تاریخ: ۱۳۸۰/۸/۱۳

موضوع:راهنمای مهار سیلاب رودخانه(روش‌های سازه‌ای)

به استناد آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی موضوع ماده۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی طر حهای عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت ۱۴۸۹۸ه، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت وزیران)به پیوست، نشریه شماره ۲۴۲ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان"راهنمای مهار سیلاب رودخانه(روش‌های سازه‌ای)" از نوع گروه سوم ابلاغ می‌گردد.

دستگاه‌های اجرایی ، مهندسان مشاور،پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روشها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست. عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان، ارسال دارند.

محمد ستاری فرد

معاون رییس جمهور و رییس سازمان

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیتی ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحبنظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحبنظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

معاون امور فنی

پاییز ۱۳۸۰

ترکیب اعضای کمیته

این استاندارد توسط آقایان مهندس محمدحسن چیتی و مهندس حمید خورسندی تهیه گردیده و کمیته فنی مهندسی رودخانه و سواحل آن را مورد بررسی و تصویب قرار داده است.

اسامی اعضای کمیته فنی شماره ۲ (مهندسی رودخانه و سواحل) به ترتیب الفباء به شرح زیر است :

آقای محمد ابراهیم بنی حبیب	**کارشناس هیدرولیک**
آقای عبدالکریم بهنیا	**کارشناس هیدرولوژی**
خانم رؤیا چائیچی ملتشاهی	**کارشناس مکانیک خاک و مهندسی پی**
آقای محمدحسن چیتی	**کارشناس سازه‌های آبی**
آقای حمید خورسندی	**کارشناس هیدرولیک**
آقای حسین شفیعی‌فر	**کارشناس راه و ساختمان**
آقای علاءالدین کلانتر	**کارشناس آبیاری و زهکشی**
آقای حسین محمدولی سامانی	**کارشناس هیدرولیک**
آقای علی ملک	**کارشناس منابع آب و آبخیزداری**
آقای جبار وطن‌فدا	**کارشناس سازه‌های آبی**

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
۱- کلیات	۲
۱-۱ مفاهیم و تعاریف اساسی	۲
۱-۲ دامنه مطالعات مهار سیلاب	۴
۱-۳ مفاهیم خسارات سیلاب	۵
۱-۴ سیلخیزی در جهان و ایران	۶
۲- مفاهیم اساسی هیدرولوژی سیلاب	۱۳
۲-۱ بارش و انواع آن	۱۳
۲-۲ منشاء و انواع سیلاب‌ها	۱۶
۲-۳ اطلاعات پایه برای برآورد سیلاب	۱۸
۲-۴ روشهای برآورد سیلاب	۲۰
۲-۵ سیلابهای فرضی	۳۰
۳- طبقه‌بندی روشهای مهار سیلاب	۳۲
۳-۱ اقدامات سازه‌ای	۳۳
۳-۲ اقدامات غیر سازه‌ای	۳۶
۴- مهار سیلاب با استفاده از مخازن	۴۲
۴-۱ مفاهیم کلی	۴۲
۴-۲ انواع مخازن مهار سیلاب	۴۳
۴-۳ محل و گنجایش مخزن	۴۵
۴-۴ روندیابی سیلاب	۴۶
۴-۵ ملاحظات بهره‌برداری	۵۰
۴-۶ ملاحظات اقتصادی	۵۱
۵- محدودسازی سیلاب	۵۵
۵-۱ گوره	۵۶
۵-۲ دیوارهای سیلبند	۸۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۶- انحراف سیلاب	۹۴
۶-۱ روشهای انحراف سیلاب	۹۵
۶-۲ ملاحظات لازم در انحراف سیلاب	۱۰۲
۶-۳ انحراف سیلاب برای سایر اهداف	۱۰۵
۷- بهسازی آبراه (رودخانه)	۱۰۹
۷-۱ عوامل کاهش توان آبگذری رودخانه	۱۰۹
۷-۲ عوامل و متغیرهای مؤثر در بهسازی آبراه	۱۰۹
۷-۳ روشهای بهسازی آبراه یا رودخانه	۱۱۲

مقدمه

در بین بلایای طبیعی، سیل، زلزله و خشکسالی به لحاظ خسارت مالی و جانی ناشی از وقوع آنها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. به استناد آمار و اطلاعات موجود خسارات ناشی از سیل در پاره‌ای از نقاط دنیا به ویژه در آسیا و اقیانوسیه، بیشترین میزان را در بین خسارات حاصل از بلایای طبیعی به خود اختصاص می‌دهد. با وجود اینکه تاکنون آمار و اطلاعات مقایسه‌ای در خصوص خسارات ناشی از سیل و زلزله درکشور ما منتشر نشده است، لیکن چنین به نظر می‌رسد که گذشته از اهمیت خسارات جانی ناشی از زلزله، خسارات مالی سیل به لحاظ تناوب زیاد وقوع از یک سو و گسترش وسیع آن از سوی دیگر در مرتبه بالاتری قرار می‌گیرد.

در واقع بلایای طبیعی حاصل اندرکنش فعالیتهای انسانی و پدیده‌های فعال طبیعی تصادفی است. به عبارت دیگر در صورت نبود فعالیتهای انسانی در حوزه عمل پدیده‌های طبیعی، نه تنها پدیده‌های طبیعی کوچک، حتی می‌توان گفت وقوع پدیده‌های طبیعی بزرگ نیز، منجر به ظهور بلایای طبیعی نخواهد شد. این نکته در مورد سیل، به دلیل تمرکز نسبی فعالیتهای اقتصادی بشر در سیلابدشت‌ها حائز اهمیت است.

ضمناً باید توجه کرد که اندرکنش بین رخداد سیل و استفاده انسان از سیلابدشت دارای ماهیت پویایی است. در حالی که واقعه سیل می‌تواند به عنوان یک عامل معلوم درنظر گرفته شود، کاربرد سیلابدشت به صورت پویا در حال تغییر است. لذا، می‌توان گفت که خسارت سیل دائماً با زمان تغییر می‌کند. در پاره‌ای از موارد، انجام اقدامات مهار سیلاب و حفاظت از خطرات آن، موجبات تسریع در تغییرات سیلابدشت را فراهم می‌آورد. به این ترتیب که بعلت اطمینان کاذبی که در اذهان ساکنان سیلابدشت بوجود می‌آید و به تبع آن به علت توسعه بیشتر سیلابدشت، خسارات سیلاب نسبت به وضعیت قبلی فزونی پیدا می‌کند.

نکته قابل توجه این است که خسارات سیل تنها به خسارات مستقیم و ملموس آن اعم از مالی و جانی محدود نمی‌شود. بلکه در مواردی خسارات غیرمستقیم و گاه غیرملموس آن از قبیل ایجاد وقفه در سیستم ارتباطی و آثار سوء اجتماعی و زیست محیطی آن که معمولاً چندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد، وزن بیشتری از ضایعات ناشی از سیلزدگی را دربرمی‌گیرد.

۱- کلیات

۱-۱ مفاهیم و تعاریف اساسی

۱-۱-۱ سیل یا سیلاب[1]

طبق تعریف، سیل یا سیلاب عبارت است از تراز یا جریان زیاد (غیرعادی) آب در سطح زمین، در داخل رودخانه، در سیلراه، در دریاچه یا در منطقه ساحل که منجر به اثرگذاری قابل توجه شود. [۱۶].

۱-۱-۲ هیدرولوژی سیلاب

اگر هیدرولوژی را بطور عام علم بررسی چرخه آب در طبیعت تعریف کنیم، هیدرولوژی سیلاب به آن بخش از این علم گفته می‌شود که عمدتاً پدیده سیلاب و به ویژه مقادیر آن را در زمان و مکان تعریف می‌کند.

۱-۱-۳ هیدرولیک سیلاب

با توجه به تعریف سیل، هیدرولیک سیلاب را می‌توان بررسی رفتار هیدرولیکی جریان آب در رودخانه‌ها، سیلابدشتها، سیلراه‌ها، دریاچه‌های (طبیعی و مخازن سدها) و در مناطق ساحلی در شرایط سیلابی تعریف نمود.

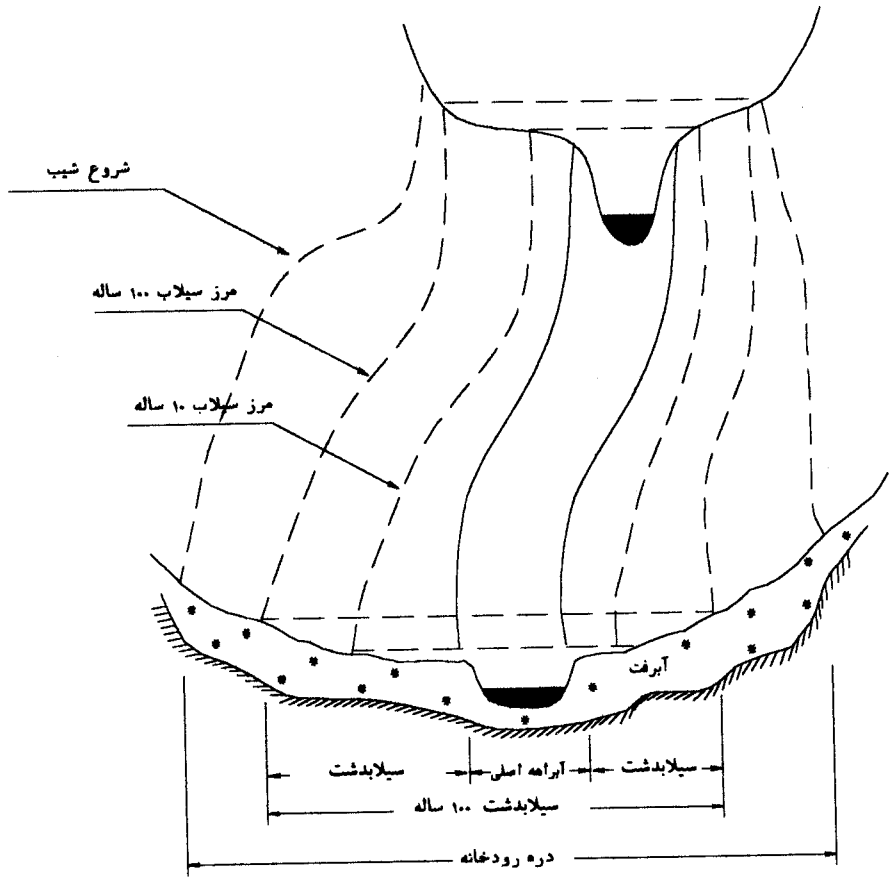
۱-۱-۴ سیلابدشت[2]

سیلابدشت به اراضی مجاور یا حاشیه رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دریاها گفته می‌شود که عموماً در شرایط عادی خشک و عاری از جریان آب بوده و در مواقع سیلابی مستغرق می‌باشد. سیلابدشت با توجه به توپوگرافی دره رودخانه[3] می‌تواند تمامی عرض دره رودخانه در دره‌های باریک و یا منطقه وسیعی در حاشیه و در طول رودخانه در دره‌های مسطح و عریض باشد. در شکل ۱-۱ نیمرخهای طولی و عرضی بازه‌ای از دره رودخانه برای توضیح بیشتر و بطور شماتیک نشان داده شده است.

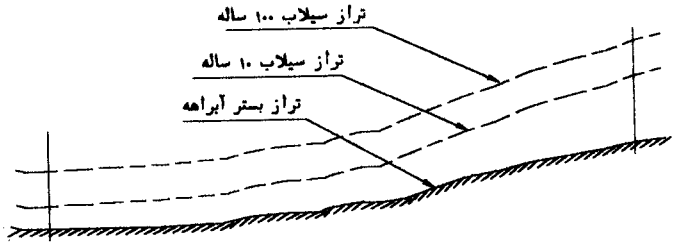
1- Flood or Flood Water

2- Flood Plain

3- Stream Valley



پـــــلان



بـــرش طـولی

شکل ۱-۱-نمونه بازه‌ای از رودخانه و نیمرخهای طولی و عرضی آن

۱-۱-۵ مهار سیلاب[1]

اساسی‌ترین هدف مهار سیلاب عبارت از کاهش یا حذف خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی ناشی از وقوع احتمالی سیل به ویژه از نوع مالی و جانی آن، تا حد ممکن می‌باشد. ضمن آنکه کاهش خسارات در حین وقوع و

1- Flood Control

جبران صدمات و خسارات حاصل از وقوع سیل نیز در حد مقدور در حیطه عمل این موضوع قرار می‌گیرد. به این ترتیب مهار سیلاب را می‌توان به انجام اقداماتی اعم از سازه‌ای [1] (فیزیکی) و غیرسازه‌ای [2] (مدیریتی) تلقی نمود که موجب کاهش یا حذف اثرات زیانبار سیلاب شود.

لازم به تأکید است که حذف کامل خسارتها از هر نوع بندرت از نقطه‌نظر فنی امکان‌پذیر و به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر می‌باشد. در واقع، هدف از مهار سیلاب، کاهش خسارات به حداقل ممکن با توجه به امکانات فنی و مالی است. به همین دلیل در پاره‌ای از متون به ویژه در متون استرالیایی عموماً به جای مهار سیلاب از اصطلاح کاهش خسارات سیلاب [3] استفاده می‌شود.

۱-۲ دامنه مطالعات مهار سیلاب

پروژه‌های مهار سیلاب از جمله انواع طرحهای مهندسی رودخانه می‌باشند. فهرست خدمات مهندسی رودخانه برای سه مرحله مطالعاتی شناسایی، توجیهی و طراحی تفصیلی توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در قالب آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرحهای عمرانی به عنوان دستورالعمل نوع دوم ابلاغ و منتشر شده است. (نشریه‌های شماره ۱۹۰، ۱۹۱ و ۱۹۲ معاونت امور فنی ـ دفتر امور فنی و تدوین معیارها). طبعاً نشریات یادشده می‌تواند برای تهیه شرح خدمات و دامنه مطالعات مهار سیلاب مورد استفاده قرار گیرد. با وجود این به دلیل تخصصی شدن موضوع در زیر کلیات شرح خدمات و گامهای مطالعاتی آن برای مطالعات طرحهای مهار سیلاب در مراحل یک (شناسایی و توجیهی) و دو (طراحی تفصیلی) آورده شده است.

الف ـ مرحله یک (توجیهی)

- گردآوری و تهیه اطلاعات و مدارک مورد نیاز از قبیل آمار، نقشه‌ها، عکسهای هوایی و تصاویر و اطلاعات ماهواره‌ای
- بازدیدها و بررسیهای صحرایی
- انجام مطالعات پایه با توجه به نوع طرح از قبیل هواشناسی، هیدرولوژی، ریخت‌شناسی رودخانه، زیست‌محیطی و منابع قرضه
- تعیین خصوصیات سیلابهای منطقه و سیل طراحی پروژه
- پهنه‌بندی سیل و تعیین خسارات سیل در ترازهای مختلف و تعیین اراضی مورد حفاظت
- تعیین شیوه‌های مهار سیلاب، در صورت قابل توجیه‌بودن روشهای استفاده از مخازن مهار سیلاب یا سیلراه‌های

1- Structural Measures (Means)

2- Non - Structural Measures (Means)

3- Flood damage mitigation

کنارگذر، لازم است ابتدا محلهای ممکن انتخاب و سپس خصوصیات فیزیکی آنها تعیین گردد

- طراحی تأسیسات مورد نیاز برای هریک از اقدامات در نظر گرفته شده. ضروری است درجه تفصیلی بودن طراحی‌ها به میزانی باشد که امکان برآورد هزینه‌های اجرایی هریک از شیوه‌ها و تحلیل اثرات آنها را بر روی جریان سیلابی فراهم آورد
- انتخاب سازه یا مجموعه سازه‌های مناسب که منجر به مهار سیلاب به صورت مطلوب با حداقل هزینه و حداقل اثرات منفی زیست‌محیطی شود (بهگزینی)
- تحلیل اقتصادی پروژه با استفاده از نسبت سود و هزینه و یا عوامل اقتصادی دیگر
- تهیه گزارش مشروح مبنی بر یافته‌های مربوط به امکانات، شیوه حفاظت توصیه شده و درجه حفاظت منظور شده

ب - مرحله دو (طراحی تفصیلی)

- تدقیق مطالعات طرح (گزینه منتخب) با توجه به اطلاعات جدید به ویژه نقشه‌های بزرگ مقیاس تهیه شده
- انتخاب یا تدوین معیارها و ضوابط طراحی تفصیلی با توجه به مشخصه‌های ژئوتکنیکی، هیدرولیکی و هیدرولوژیکی محدوده طرح
- تهیه نقشه‌های اجرایی برای هریک از اجزای طرح و همچنین جزئیات اجرایی مورد نیاز
- تهیه اسناد مناقصه
- برآورد احجام و مقادیر عملیات و هزینه‌های اجرایی
- تهیه مشخصات فنی ویژهٔ طرح شامل؛ ضوابط و روشهای اجرایی در شرایط خاص
- تهیه گزارش فنی نتایج مطالعات مرحله دو شامل؛ کلیات طرح، ضوابط، معیارها و استانداردهای مورد استفاده و دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری

۱-۳ مفاهیم خسارات سیلاب

خسارات یا زیانهای ناشی از جاری شدن سیلاب عموماً شامل خسارات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. معمولاً خسارات سیلاب (و به تبع آن هزینه‌های ناشی از آن) به دو گروه اصلی خسارات ملموس و خسارات ناملموس تقسیم می‌شوند. خسارات ملموس به نوبه خود خسارات مستقیم و غیرمستقیم را در بر می‌گیرد.

خسارات ملموس آن دسته از خسارات را شامل می‌شوند که کم و بیش قابل اندازه‌گیری و برآورد می‌باشد. خسارات مستقیم نتیجه هجوم آب به ساختمانها، کشاورزی، دام و غیره است. در حالیکه خسارات غیرمستقیم به زیانهای ناشی از وقفه در کسب و کار، بهم ریختن شرایط عادی زندگی و ضرورت ارائه خدمات فوریتی و... اطلاق می‌گردد. خسارات ناملموس مواردی همانند آسیبهای جسمی و روانی را شامل می‌شود. در جدول ۱-۱ گروه‌بندی ارتباط و انواع خسارات نشان داده شده است.

جدول ۱-۱-گروه‌بندی ارتباط و انواع خسارات

خسارات ملموس		خسارات ناملموس
خسارات غیرمستقیم	خسارات مستقیم	
اختلال در تولید و تجارت: - تولیدات صنعتی - سایر فعالیتهای بازرگانی اختلال در شرایط زندگی - ارتباطات - خدمات عمومی - هزینه‌های اضافی - فعالیتهای فوریتی - فعالیتهای جایگزینی	جسم ساختمان محتویات ساختمان تجهیزات محصولات زراعی امکانات عمومی	مرگ و میر بیماری تنشهای روانی نگرانی و تشویش زیست‌محیطی

۱-۴ سیلخیزی در جهان و ایران

توان سیل‌خیزی را می‌توان به عنوان یک عامل کمی در یک دوره زمانی مشخص بر حسب فراوانی و شدت وقوع سیلابها یا میزان خسارات وارده یا تلفیقی از این دو عامل تعریف کرد. شناخت توان سیل‌خیزی در سطح کشور برای مناطق مختلف این امکان را فراهم می‌آورد که ضمن تشخیص ضرورت و تعیین اولویتها، برنامه‌ریزی منطقه‌ای و ملی، سیاستگذاری، مهار سیلاب بطور آگاهانه و با اتخاذ شیوه‌های مناسب انجام گیرد.

سازمان ملل متحد با توجه به آمارهای درازمدت از نقاط مختلف جهان، سیل را در زمره جدی‌ترین بلایای طبیعی قلمداد کرده است. آمار نشان می‌دهد که فقط معدودی از کشورها بطور جدی از خسارات این بلیه مصون می‌باشند.

آمار وقایع و خسارات سیل در سده اخیر نشان می‌دهد که سیل بعنوان یک بلیه طبیعی گذشته از تهدید پیوسته بیشتر مناطق جهان، در چند مورد به‌گونه‌ای شدید و ابعاد آن وسیع بوده که به صورت یک فاجعه ملی بروز کرده است. نکته قابل توجه اینکه سیلهای بزرگ در قرن اخیر به ویژه در کشورهای توسعه یافته در اثر تخریب خاکریزها روی داده است.

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

- سیلاب ۱۹۳۲کشور هلند که تلفات آن بیش از ۱۰۰۰۰ نفر ذکر شده است یکی از فاجعه‌آمیزترین سیلابهای قاره

اروپا می‌باشد. در همان موقع در اثر طغیان رودخانه آنور در فیرنگوی [1] ایتالیا خسارات غیر قابل 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 هاریکان [2] که ایالت انتاریو کانادا و ایالت نیویورک آمریکا را فرا گرفت، سیلاب حاصل به صورت یک فاجعه درآمد.
- 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 گردید.
- نمونه بارز سیلابهای ناشی از ترکیب بارندگیهای چرخه‌ای و ذوب برف، سیل ۱۹۶۵ رودخانه دانوب و سیل ۱۹۷۰ رودخانه تیزا [3] در اروپا می‌باشد.
- سیل تابستان ۱۹۶۶ نمونه بارزی از سیلهای ناشی از رگبارهای شدید در برزیل می‌باشد. این سیل در شرق برزیل به ویژه در مناطق ریود وژانیرو و آراسس گسترش یافت و در اثر زمین لغزه‌های ناشی از بارندگی و سیل، تعداد زیادی کشته شدند و شبکه زهکشی شهر از کار افتاد.

در ایران نیز همانند سایر مناطق سیل‌خیز دنیا در دهه‌های اخیر، شدت وقوع سیلابها و میزان خسارات ناشی از آن بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. واقعه سیل که زمانی و در پاره‌ای از مناطق این کشور از نسلی به نسلی دیگر نقل قول می‌شد، هم‌اکنون در غالب نقاط بعنوان یک واقعه ملموس و انکارناپذیر طبیعت پذیرفته شده است.

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. هرچند نتایج این تحقیق را باید مقدماتی تلقی نمود، با این وجود می‌توان گفت که حاوی اطلاعات با ارزشی است که بنحوی حساسیت به سیل‌خیزی مناطق مختلف را نشان می‌دهد. [۱۱]. در زیر به چند نمونه از آمار یاد شده اشاره گردیده است.

تاریخی‌ترین 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 مأمورین دستور داده می‌شود که از شدت عمل علیه خسارت دیدگان برحذر باشند.

- در ۷ می 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 بوده‌ایم.

1- Firengo

2- Hurricanes Haze

3- Tiza

- برخی از سیلابهای استان خوزستان عبارتند از: زمستان سال ۱۲۴۸ تخریب شوش، بهار ۱۲۶۴ طغیان بزرگ کارون و شکست پل بند شوشتر و سیلاب دی ماه ۱۳۰۲که در پی ۵روز 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 یادشده می‌توان گفت که این منطقه از پتانسیل بالای سیل‌خیزی برخوردار است، به نحوی 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 فرا گرفت، 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 خسارات 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.

تعداد ۱۸۹۰ سیل در چهار دهه (۱۳۷۱ - ۱۳۳۱)که‌کمی بیشتر از ۵۰درصد آن در دهه ۶۰ به‌وقوع 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 ۱-۲ توزیع وقایع و خسارات سیلاب به تفکیک استانها و در جدول ۱-۳ اطلاعات نظیر جدول ۱-۲ برای چهار دهه و بالاخره در جدول ۱-۴ توزیع درصدی خسارت طی مدت یاد شده برای انواع تأسیسات و دام آمده است. در شکل ۱-۲ شدت سیل‌خیزی به تفکیک استانها برای دوره آماری ۱۳۳۱ تا ۱۳۷۰ نشان داده شده است.

نکته حائز اهمیت این است که، به دلایلی در هیچ یک از مطالعات یاد شده سیلابها از دیدگاه هیدرولوژی و ارتباط آن با خسارات مورد توجه قرار نگرفته و تنها به تدوین و جمع‌بندی خسارات سیلاب پرداخته شده است. اهم این دلایل می‌تواند: نبود یا کمبود اطلاعات و آمار ثبت شده از خصوصیات هیدرولوژیکی سیلابها در رودخانه‌ها و سیلابدشت به ویژه در سده‌های گذشته، اهداف و دامنه مطالعات و شیوه نگاه به موضوع، گستردگی دامنه مطالعات و پیچیدگی آن باشد.

بدیهی است که مطالعات یادشده گامهای نخستین از نیازهای مطالعاتی و پژوهشی در زمینه شناخت و اهمیت رفتار و آثار سیلابهای جاری شده در مناطق مختلف است. این امر نه تنها به هیچ وجه از ارزش مطالعات گذشته نمی‌کاهد بلکه به عنوان آغاز کار و پایه مطالعات و پژوهشهای بعدی ارزشمند و قابل تقدیر است.
با همه اینها می‌توان گفت مطالعات و بررسیهایی که از چند سال گذشته آغاز شده، نشان از اشراف به کمبودها و نواقص موجود در این زمینه دارد. این مطالعات در قالب طرحهای جامع مهار سیلاب (همانند استان هرمزگان، مرکزی و...) یا به صورت بررسیهای موردی یا در بطن طرحهای مهار سیلاب انجام گرفته و نتایج اولیه برخی از آنها نیز منتشر شده است. در خصوص رابطه خسارات سیل با آبدهی بیشینه رودخانه که اولین قدم در برقراری ارتباط بین خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز و خسارات در سیلابدشت است، در اینجا برای نمونه به منطقه سیستان که یکی از مناطق مهم سیلخیزی می‌باشد، اشاره شده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در سده اخیر حداقل چهار سیل بزرگ اراضی سیستان را مورد هجوم قرار داده است. این چهار سیل به ترتیب در سالهای ۱۳۱۸، ۱۳۳۶، ۱۳۶۸، ۱۳۶۹ رخ داده است. از آنجاکه در سال ۱۳۱۸ رودخانه هیرمند در خاک ایران فاقد تجهیزات اندازه‌گیری آبدهی بوده، لذا آمار رسمی ثبت شده از آبدهی سیل در دسترس نیست. با وجود این، برآوردهای کارشناسی براساس آثار شواهد و اطلاعات کسب شده از سالخوردگان حاکی از آن است که بیشینه آبدهی رودخانه بیش از ۱۶۰۰ متر مکعب در ثانیه و اراضی آسیب دیده حدود ۳۰۰۰۰ هکتار بوده است.

در سال ۱۳۳۶ به عبارت دیگر ۱۸ سال بعد سیل بزرگ دیگری به دشت سیستان هجوم برد که آبدهی بیشینه آن ۱۶۰۰ متر مکعب در ثانیه و مساحت اراضی از بین رفته ۲۳۰۰۰ هکتار بوده است.
از آثار سیل نیمه دوم فروردین ماه ۱۳۶۸ با بیشینه آبدهی ۱۳۵۰ متر مکعب در ثانیه که منجر به طغیان رودخانه هیرمند گردید، اطلاعات نسبتاً دقیقی در دست است. براساس آمار موجود با هجوم این سیل حدود ۱۱۰۰۰ هکتار اراضی زراعی و ۱۵۰ کیلومتر کانال و انهار آبیاری و ۲۰۰ کیلومتر راه روستایی و تعدادی دیگر تأسیسات زیربنایی دولتی و خصوصی کم و بیش تخریب گردید. تعداد واحدهای مسکونی آسیب دیده از این سیلاب ۳۵۰۰ واحد گزارش شده است. همچنین مجموع خسارات سیل ۱۳۶۸ معادل با ۱۵ میلیارد ریال (بر پایه نرخهای همان سال) برآورد شده است.

بالاخره آخرین سیل مهم بزرگ در منطقه مزبور در سال ۱۳۶۹ با آبدهی بیشینه از ۲۰۰۰ متر مکعب در ثانیه منطقه سیستان را در نوردید که طبق برآوردها بیش از ۸۰۰۰۰ هکتار از اراضی مورد هجوم سیلاب قرار گرفت و موجب خسارات حدود ۴۰ میلیارد ریال گردید. روند این سیلاب این چنین گزارش شده است: «سیلاب سال ۷۰ـ۱۳۶۹ از نظر بزرگی شبیه به سیلاب ۳۶ـ۱۳۳۵ بود. با این وجود خسارات بسیار سنگین‌تری برای رود سیستان به بار آورد. این سیلاب از حدود اول بهمن آغاز گردیده و به فاصله یک هفته به اوج خود رسید. بعد از یک نزول موقتی در جریان سیلابی تا حدود ۲۰ بهمن رخ داده و سپس نوساناتی در بده رود سیستان در اواخر بهمن تا حدود اسفند ایجاد شد. مجدداً از ۲۰ اسفندماه، جریان افزایش یافته و تا اواخر فروردین استمرار پیدا کرد. حدود ۸۰۰۰۰ هکتار اراضی در اوج اول در بهمن ماه در سیستان ایران غرقاب گردید. سیستان افغانستان نیز خسارات کاملی دید.» [۱۰].

جدول ۱-۲- توزیع رخدادهای سیل برحسب استانها طی دوره ۱۳۳۱ - ۱۳۷۰

(رتبه‌بندی برحسب تعداد سیل)

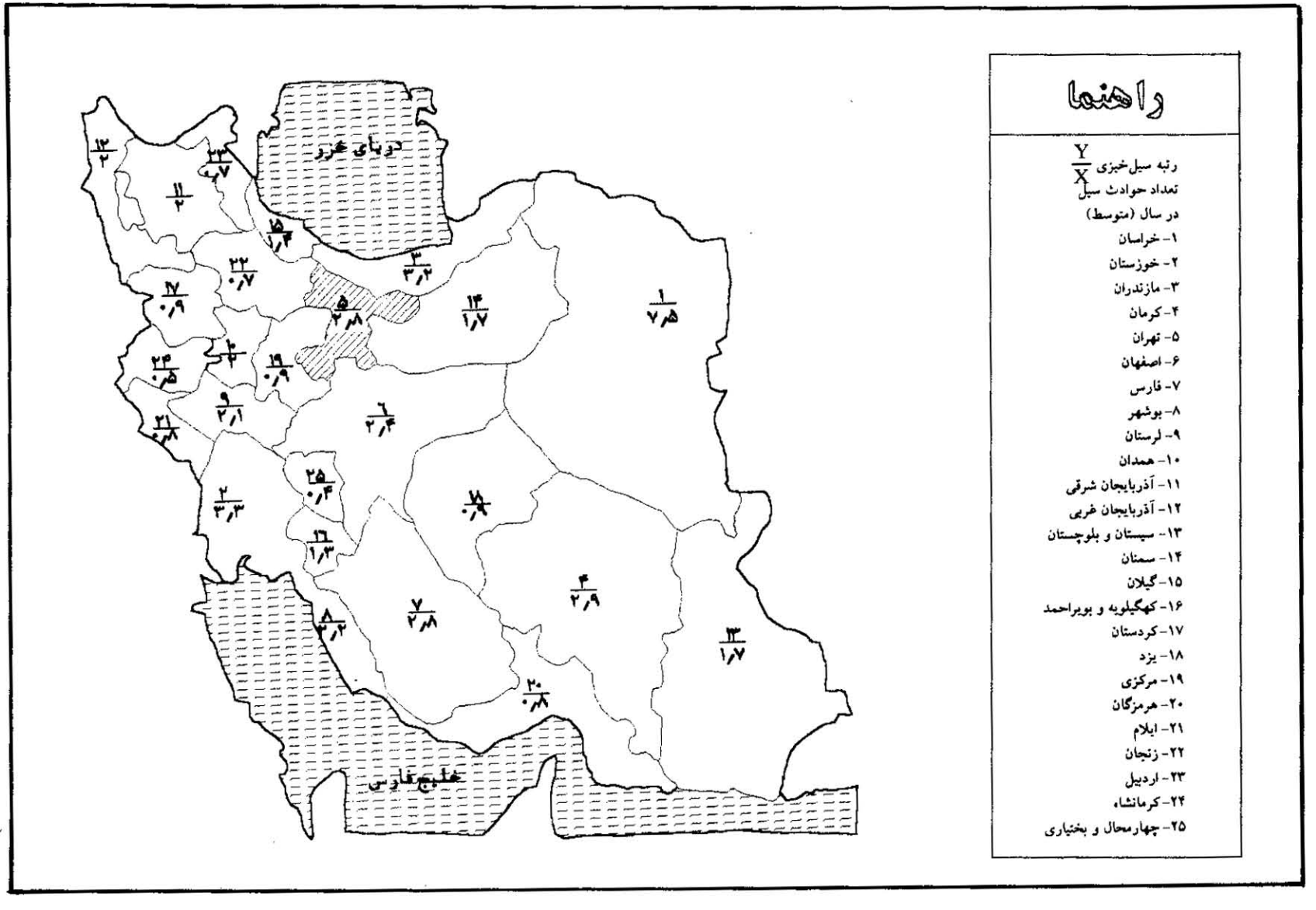
ردیف	استان	تعداد شهر	تعداد سیل	میانگین تعداد سیل در ده سال	خسارات دوره ۴۰ ساله (به‌میلیارد ریال)
۱	خراسان	۳۵	۳۰۰	۷۵	۱۶۶/۱
۲	خوزستان	۲۲	۱۳۴	۳۲/۵	۱۵۰/۷
۳	مازندران	۲۶	۱۲۷	۳۱/۸	۱۸/۴
۴	کرمان	۱۴	۱۱۷	۲۹/۳	۱۲۱/۷
۵	تهران	۱۱	۱۱۳	۲۸/۳	۳۰/۱
۶	اصفهان	۲۳	۹۶	۲۴	۸۷/۹
۷	فارس	۲۱	۹۱	۲۸	۱۱۸/۶
۸	بوشهر	۱۱	۸۷	۲۱/۸	۳۴/۳
۹	لرستان	۸	۸۲	۲۰/۵	۱۵
۱۰	همدان	۶	۸۱	۲۰/۳	۲۱/۲
۱۱	آذربایجانشرقی	۱۰	۷۹	۱۹/۸	۴۸/۳
۱۲	آذربایجانغربی	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	کهگیلویه‌وبویراحمد	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	چهارمحال‌وبختیاری	۳	۱۷	۴/۳	۳۱/۱
جمـــع		۲۸۱	۱۸۹۰		۱۲۵۰/۵

جدول ۱-۳- توزیع رخدادها و خسارات سیل در دوره ۷۰-۱۳۳۱

دهـــه	رخدادها		شهرهای آسیب دیده		خسارات	
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	میلیاردریال	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 ۱-۴- 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



شکل ۱-۲- توان سیل‌خیزی به تفکیک استانها برای دوره آماری ۱۳۳۱ تا ۱۳۷۰

۲- مفاهیم اساسی هیدرولوژی سیلاب

۲-۱ بارش و انواع آن

۲-۱-۱ انواع بارش

بارش[1] به صور مختلف ریزشهای قطرات آب و آبگونه جوی اطلاق می‌شود. انواع اصلی بارشها عبارتند از باران[2]، برف[3] و تگرگ[4]. در واقع باران به ریزش قطرات آبی با قطر بیش از ۰/۵ میلیمتر گفته می‌شود. بارندگی[5] معرف میزان باران در مدت معین است. در آمریکا بارندگیها برحسب شدت باران عموماً به سه گروه زیر تقسیم می‌شوند: که می‌تواند در ایران نیز مورد استفاده قرار گیرد [۲۳]:

- باران سبک با شدت حداکثر ۲/۵ میلیمتر بر ساعت
- باران متوسط با شدت ۲/۸ تا ۷/۶ میلیمتر بر ساعت
- باران سنگین با شدت بیش از ۷/۶ میلیمتر بر ساعت

سه ساز و کار اصلی که موجب حرکت تودهٔ هوا به بالا و به تبع آن در شرایطی منجر به بارش می‌شوند عبارتند از: حرکت جبهه‌ای، حرکت کوهستانی و حرکت همرفت یا جابجایی. با توجه به این سه ساز و کار، انواع اصلی بارشها نیز در سه گروه زیر مورد توجه قرار می‌گیرند. در نمودار ۲-۱ انواع بارشها نشان داده شده است.

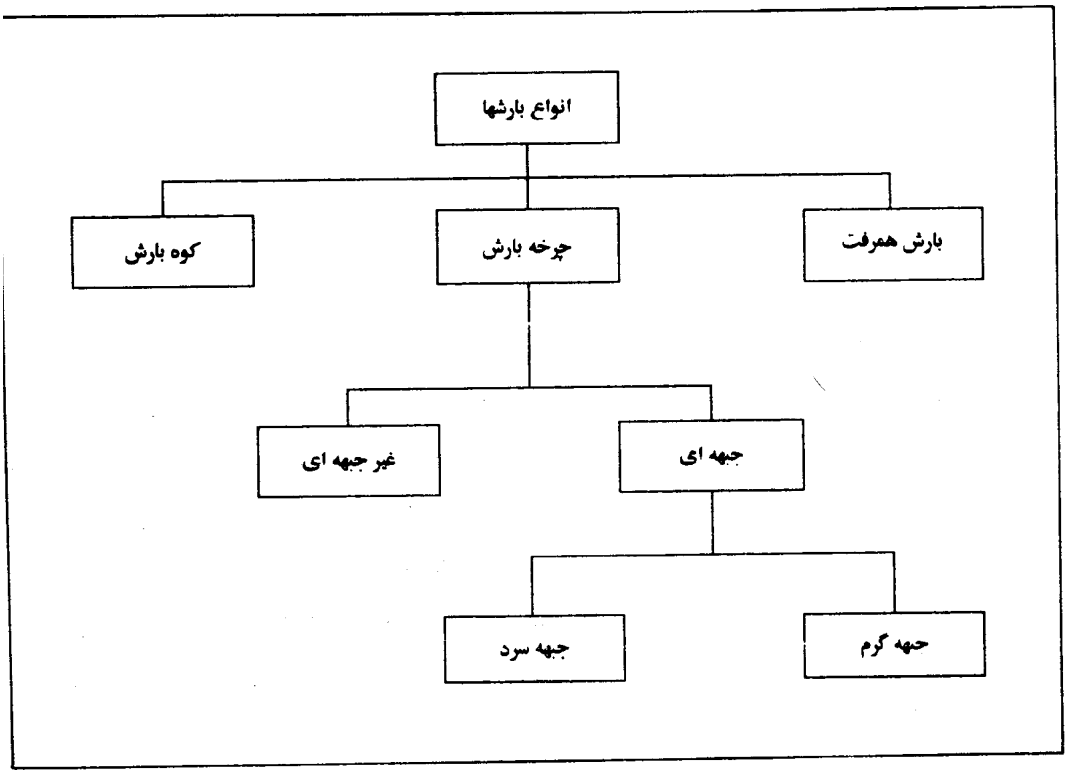
۲-۱-۱-۱ بارش همرفت[6]

این نوع بارش در اثر بالا رفتن هوای گرم و سبک در محیط سرد و سنگین حاصل می‌شود. بارش همرفت معمولاً به صورت رگبار محلی و همراه با تغییرات سریع شدت بارندگی می‌باشد.

۲-۱-۱-۲ بارش چرخه‌ای[7]

بارش چرخه‌ای در اثر بالا رفتن هوا و ورود آن به درون مرکز کم‌فشار یا چرخه به‌وجود می‌آید. بارشهای چرخه‌ای معمولاً منشأ جبهه‌ای یا غیرجبهه‌ای دارند.

1- Precipitation
2- Rain
3- Snow
4- Hail
5- Rainfall
6- Convective Precipitation
7- Cyclonic Precipitation



نمودار ۲-۱-انواع بارشها با توجه به منشاء و عوامل ایجادکننده

۲-۱-۱-۳ کوه بارش[1]

این نوع بارش در اثر صعود مکانیکی هوای مرطوب در حاشیهٔ مانع کوهستانی حاصل می‌شود.

۲-۱-۲ بارانهای فرضی

حداکثر سیل محتمل و سیل استاندارد پروژه دو نوع سیلاب فرضی‌اند که در پاره‌ای از اوقات به عنوان سیلاب طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دو نوع سیلاب با استفاده از دو نوع باران قراردادی برآورد می‌شوند که عبارتند از حداکثر باران محتمل و باران استاندارد پروژه. ذیلاً نحوهٔ برآورد آنها به طور مختصر بیان می‌شود.

الف - باران استاندارد پروژه[2]

این نوع باران غالباً بر روی منحنیهای پوش کلیه یا اکثر قریب به اتفاق بارندگیهایی قرار می‌گیرند که در آن منطقهٔ بخصوص رخ داده‌اند. اندازه و بزرگی چنین بارانی را می‌توان با ترسیم نقشهٔ همباران بزرگترین بارانهای ثبت شده و

1- Orographic Precipitation

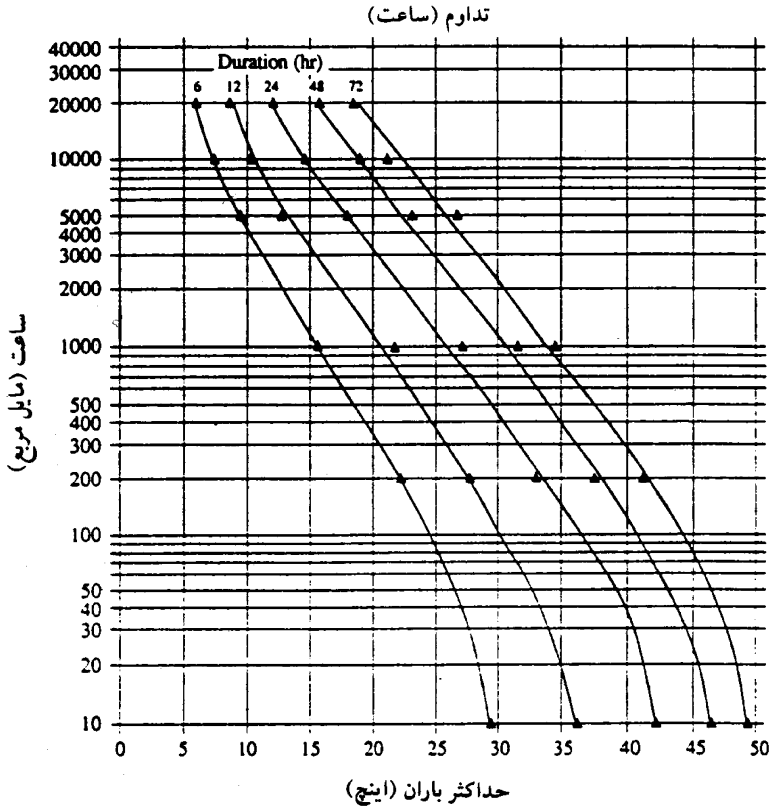
2- Standard Project Precipitation (SPP)

تاریخی در آن منطقه و سپس تعیین رابطهٔ ارتفاع بارندگی - مساحت برای شدیدترین قسمت هر یک از بارانهای ثبت شده به دست آورد. روابط ارتفاع بارندگی - مساحت برای رگبارهایی با تداوم مشخص را می‌توان از نگاره‌های ثبات ایستگاههای معرف پوشش منطقه‌ای مختلفی که در مرکز رگبار هستند، استخراج نمود.

پس از آنکه نمودارهای ارتفاع - مساحت (پوشش منطقه‌ای) برای کلیهٔ بارانهای عظیم منطقه تهیه گردید، مقادیر حداکثر بارندگی برای مساحتها و تداومهای مشخص استخراج و با استفاده از آن یک مجموعهٔ واحد از نمودارهای ارتفاع بارندگی - مساحت - تداوم ترسیم می‌شود. در نمودار ۲-۲ یک نمونه از نمودارهای مذکور نشان داده شده است. باران‌نگار باران استاندارد پروژه برای مساحتهای انتخابی و مشخص را می‌توان با استفاده از نمودار اخیرالذکر و همچنین تیپ توزیع زمانی بارندگیهای سنگین که در منطقه رخ داده است، تهیه و ترسیم نمود.

ب - حداکثر باران محتمل[1]

تعیین مقادیر حداکثر باران محتمل تشابه زیادی با روش ارائه شده برای باران استاندارد پروژه دارد. تفاوت بین آنها تنها از این لحاظ است که برای حداکثر باران متحمل با توجه به حداکثر مقادیر پاره‌ای عوامل هواشناسی نظیر سرعت باد و حداکثر رطوبت موجود در جو، نخست مقدار بارندگی را (متناسب با حداکثرهای فوق) تنظیم نموده و افزایش می‌دهند.



نمودار ۲-۲- نمونه‌ای از منحنی‌های ارتفاع بارندگی - مساحت - تداوم

1- Probable Maximum Precipitation (PMP)

۲-۲ منشاء و انواع سیلاب‌ها

۲-۲-۱ منشاء 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 فشرده‌شدن یخهای شکسته از عوامل اصلی ایجاد سیل می‌باشند. دیگر رخدادهایی که می‌توانند به نوعی در ایجاد سیل مؤثر واقع شده یا موجب تشدید آن بشود عبارتند از : زمین‌لرزه، لغزش زمین و طوفانهای دریایی. عوامل غیرطبیعی همانند شکست (خرابی) سدها و خاکریزهای طولی و برخی سازه‌های رودخانه‌ای از جمله عوامل ایجاد یا تشدید سیل می‌باشند.

بطور 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 به‌طورکلی به سه نوع؛ سیلابهای ناشی از انواع بارانها، ترکیب ذوب برف و باران و در مواقعی ذوب برف تعلق دارند. در مناطق گرم و خشک ایران از جمله مناطقی جنوبی، جنوب غربی، مرکزی و شرقی سیلابهای ناشی از باران به ویژه بارانهای شدید و کوتاه مدت نوع غالب سیلابها را تشکیل می‌دهند. در بخشهایی از این مناطق سیلابهای ناشی از بارانهای موسمی [1] نیز دیده می‌شود. در مناطق معتدل و سردکشور از جمله شمال و شمال‌غربی و بخش وسیعی از غرب، سیلابهای ناشی از باران یا ترکیب ذوب برف و باران وجه غالب سیلابها می‌باشند.

۲-۲-۲ انواع سیلابها

با توجه به منشاء سیلابها، انواع آنها به چهارگروه اصلی که در ذیل تعریف شده‌اند، تقسیم می‌شوند. پرواضح است که این نوع طبقه‌بندی، به دلیل امکان تعریف هر سیل با مشخصه‌های معین، روش فراساده [2] شده، می‌باشد. چراکه در طبیعت امکان ایجاد یک سیلاب تنها به یک علت به‌ندرت وجود داشته و در عمل عوامل متعددی باعث بوجودآمدن یک سیلاب می‌باشد.

1- Monsoon

2- Oversimplified

۲-۲-۲-۱ سیلابهای ناشی از رگبار چرخه‌ای[1]

اندازه و گسترش این نوع سیلاب با توجه به طبیعت رگبار مولد آن، متغیر می‌باشد. بارانهایی که منجر به این گونه سیلابها می‌شوند نسبت به بارانهای همرفت دارای تداوم و گسترش زیاد بوده ولی در مقایسه شدت آنها کم می‌باشد. در نتیجه این نوع سیلابها مساحت زیادی از یک حوضهٔ آبریز را دربر می‌گیرند، لیکن سطح آب سیلاب به تدریج افزایش پیدا می‌کند.

۲-۲-۲-۲ سیلابهای ناشی از رگبار همرفت[2]

این گونه سیلابها در اثر رگبارهای محلی شدید که ناشی از جابجایی جریان هوا می‌باشد، به وجود می‌آیند. آبنمود[3] 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.

۲-۲-۲-۳ سیلابهای ناشی از ذوب برف[4]

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 درجهٔ حرارت هوا و تداوم آن برای چند روز بعد از یک دورهٔ طولانی سرد است. آبنمود این گونه سیلابها اغلب به صورت پخ بوده و فاصلهٔ زمانی مابین شروع و نقطهٔ اوج آن ممکن است روزها یا هفته‌ها طول بکشد.

۲-۲-۲-۴ سیلابهای ناشی از خرد شدن یخها[5]

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. نحوهٔ تشکیل این گونه 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

1- Cyclonic Storm Floods
2- Conventional Storm Floods
3- Hydrograph
4- Snow - melt Floods
5- Ice - jam and Ice - Break - up Floods

می‌شوند. آنها ممکن است در محل تغییر شیب رودخانه (از شیب تند به شیب ملایم) و در نقطهٔ تخلیهٔ رودخانه به دریاچه نیز پدیدار شوند. در شرایط تشکیل سد در اثر فشردگی یخ، غالباً افزایش سطح آب سریع بوده و در نتیجه آبنمود سیلابهای حاصله در غالب اوقات خیلی تیزتر از سیلابهای ذوب برفی می‌باشد.

۲-۳ اطلاعات پایه برای برآورد سیلاب

۲-۳-۱ 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. بکارگیری یک روش خاص، به منظور برآورد حداکثرآبدهی یک سیل یا تعیین آبنمود آن تابع عواملی چند از قبیل هدف طرح، اندازهٔ پروژه و اهمیت آن، مرحلهٔ 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، در حالی که برای حداکثر آبدهی ممکن است از برآورد حجم جریان یک سیل مشخص صرفنظر شود.

در طرحهای بزرگ و بااهمیت که بنا به ضرورت، سیل طراحی آنها دارای دورهٔ 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 برآن در برخی از شرایط، روندیابی سیلاب نه تنها در آبراههٔ اصلی حوضهٔ آبریز، بلکه در آبراهه‌های فرعی آن و ترکیب نتایج اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

دقت مورد نیاز به نوبهٔ خود تابعی از مرحلهٔ مطالعات، اهداف طرح و ابعاد آن می‌باشد. به عنوان مثال برای یک پروژهٔ کوچک مهار سیلاب در مرحلهٔ شناسایی کافی است میزان سیل با استفاده از روابط یا روشهای ساده که به عوامل کمتری نیاز دارد، به دست آید. برعکس در مراحل پیشرفتهٔ 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 دورهٔ آماری، کیفیت آنها، پراکندگی و موقعیت ایستگاههای هواشناسی و هیدرومتری (آب سنجی) در ارتباط با طرح از جمله موارد قابل ذکر در این زمینه می‌باشد.

نکتهٔ قابل توجه دیگر در مورد انتخاب روش برآورد سیل این است که در کلیهٔ طرحهای متوسط و بزرگ، باید ابتدا با درنظر 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.

۲-۳-۲ داده‌های پایهٔ 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 حوضهٔ آبریز می‌باشد. پر واضح است که نوع و تعداد و اهمیت نسبی پارامترهای مورد نیاز می‌تواند از روشی به روش دیگر متفاوت باشد. توصیهٔ سازمان یونسکو [۱۷] در این زمینه به شرح زیر است:

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

- مساحت و شکل حوضهٔ آبریز
- تراکم شبکهٔ زهکشی
- رابطهٔ ارتفاع و مساحت
- شیب حوضه
- ظرفیت ذخیره‌ای دریاچه‌ها و ماندآب‌ها
- شرایط زمین‌شناختی

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

- پوشش گیاهی
- شرایط خاک
- ذخیرهٔ آب در مخازن
- ویژگیهای آبراهه‌ای

پ – داده‌های موردنیاز در خصوص رژیم آب و هوایی و جریان آب به شرح زیر می‌باشد:

- شرایط اقلیمی حوضهٔ آبریز
- بارش برف و باران
- جریان رودخانه

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

۲-۴ 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 اینجا 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 اینجا 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.

۱-۴-۲ روش آبدهی بیشینه

با وجود محدودیت‌هایی که در بطن روشهای تجربی وجود دارد، معهذا، هنوز در سطح قابل ملاحظه‌ای برای برآورد سیلاب به ویژه 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 محاسبهٔ سیلاب وجود داشته باشد که فرمول عمومی اکثر آنها به شرح زیر می‌باشد:

$$Q = C \cdot A \cdot I \left(\frac{S}{A}\right)^{X} \qquad (۱_۲)$$

در این رابطه:

Q - آبدهی بیشینه

C - ضریب ویژهٔ شرایط اقلیمی و فیزیوگرافیک حوضهٔ آبریز

A - مساحت حوضهٔ آبریز

I - متوسط شدت بارندگی

S - شیب حوضهٔ آبریز

X - عدد نمای رابطه

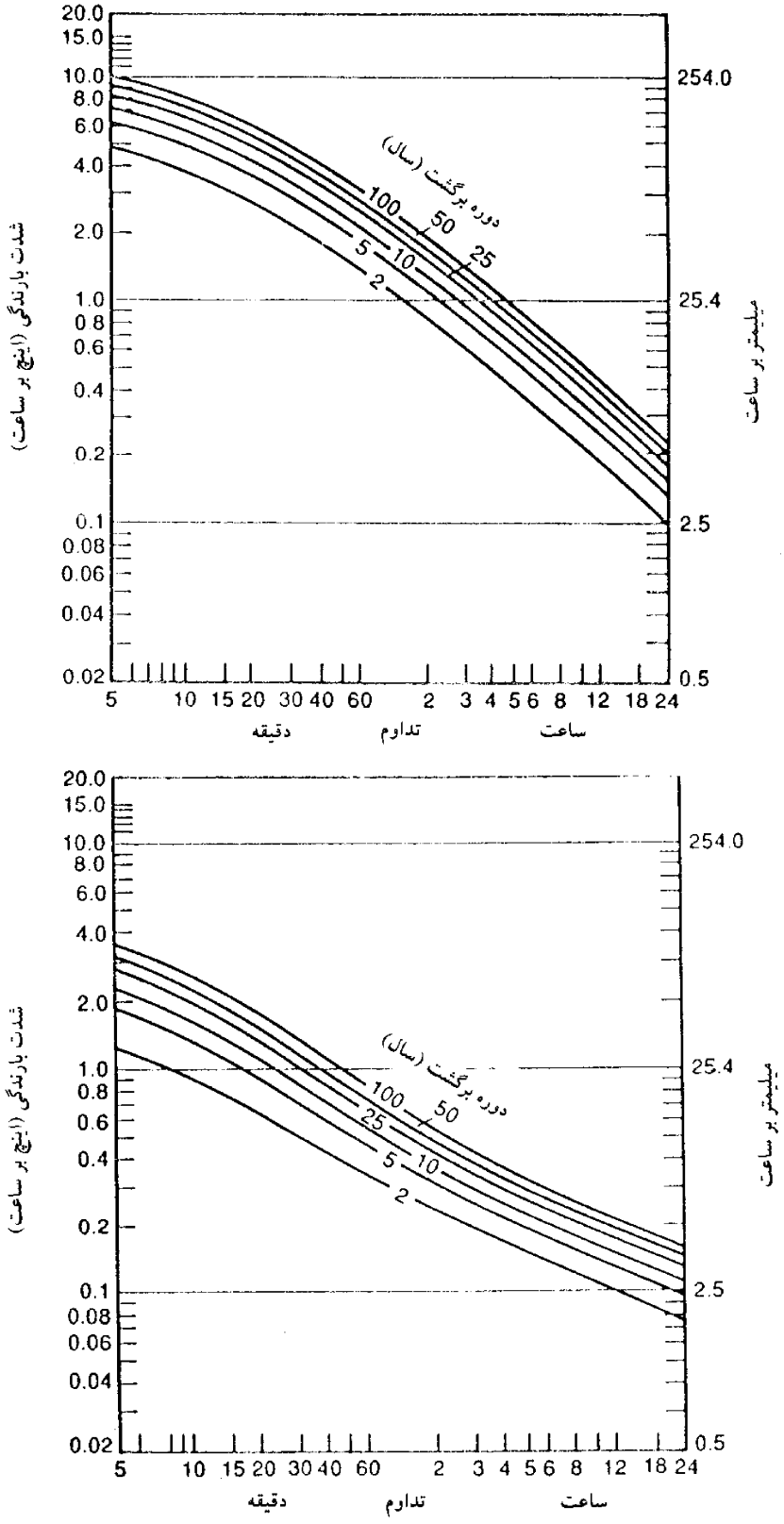
قدیمی‌ترین فرمول تجربی که بیش از ۱۰۰ سال از معرفی آن می‌گذرد، رابطهٔ منطقی[1] است که کاربرد آن برای حوضه‌های آبریز کوچک به ویژه در مناطق شهری و پلها عمومیت دارد. شکل عمومی و اجزاء آن چنین است:

$$Q = F.C \ .I \ .A \qquad (۲_۲)$$

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 بعنوان 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)، کیلومترمربع و میلیمتر بر ساعت (mm/h) مقدار F برابر با ۰/۲۷۸ یا $\frac{۱}{۳/۶}$ 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 موردنظر که دوره برگشت فراوانی، آن برابر دوره برگشت طرح می‌باشد، انتخاب نمود. (در نمودار ۲-۳ دو نمونه از منحنی‌های شدت – مدت – فراوانی برای دو منطقه نشان داده شده است).

1- Rational



شکل ۲-۳- دو نمونه از منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی

یکی دیگر از روابط معروف، رابطهٔ کریگر[1] است که بر مبنای ترسیم منحنی پوش برای آبدهی ویژهٔ بزرگترین سیلابهای مشاهده شده پیشنهاد گردیده است. این رابطه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Q_p = ۱/۳۰۴ \ .C(۰/۳۸۶ \ A)^{۰/۹۳۵۸} A^{-۰/۰۴۸} \qquad (۳_۲)$$

در این رابطه:

Q_p - آبدهی بیشینه برحسب متر مکعب در ثانیه

A - مساحت حوضهٔ آبریز برحسب کیلومتر مربع

C - ضریبی است که حداکثر مقدار آن ۲۰۰ می‌باشد.

در نمودار ۲-۴ رابطهٔ 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 متحدهٔ آمریکا و قسمت اعظم سیلابهای ثبت شده در سطح دنیا را دربر می‌گیرد.

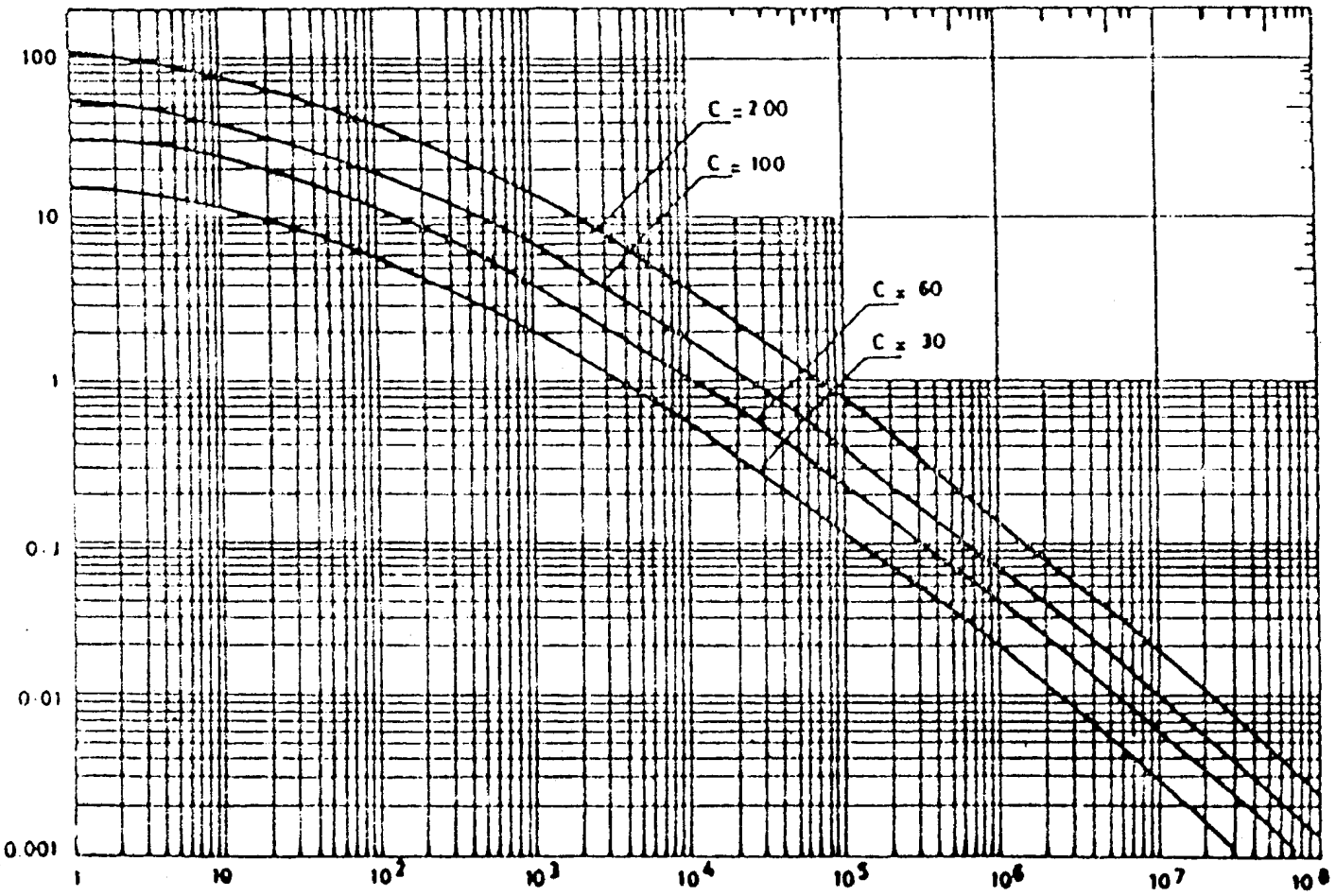
در گزارش همنهاد طرح جامع آب کشور که در اواخر دهه ۶۰ منتشر شده، منحنی‌های برای سیلاب ده هزار ساله در ایران داده شده است، که می‌توان آن را به نوعی منحنی‌های گریکر برای ایران تلقی نمود (نمودار ۲-۵). همانجا گفته شده که منحنی مذکور با استفاده از آمار سیلابهای مشاهده شده ۱۴۴ ایستگاه آب‌سنجی و مدل ریاضی تهیه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

مشاهده می‌شود که برای سیلهای ده‌هزارساله 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 با مساحت ۱۰۰۰ کیلومترمربع مقدار سیل ده‌هزار ساله با توجه به منطقه می‌تواند از ۷۰۰ مترمکعب بر ثانیه در مناطق شمالی تا ۷۰۰۰ متر مکعب بر ثانیه در مناطق جنوبی متغیر باشد.

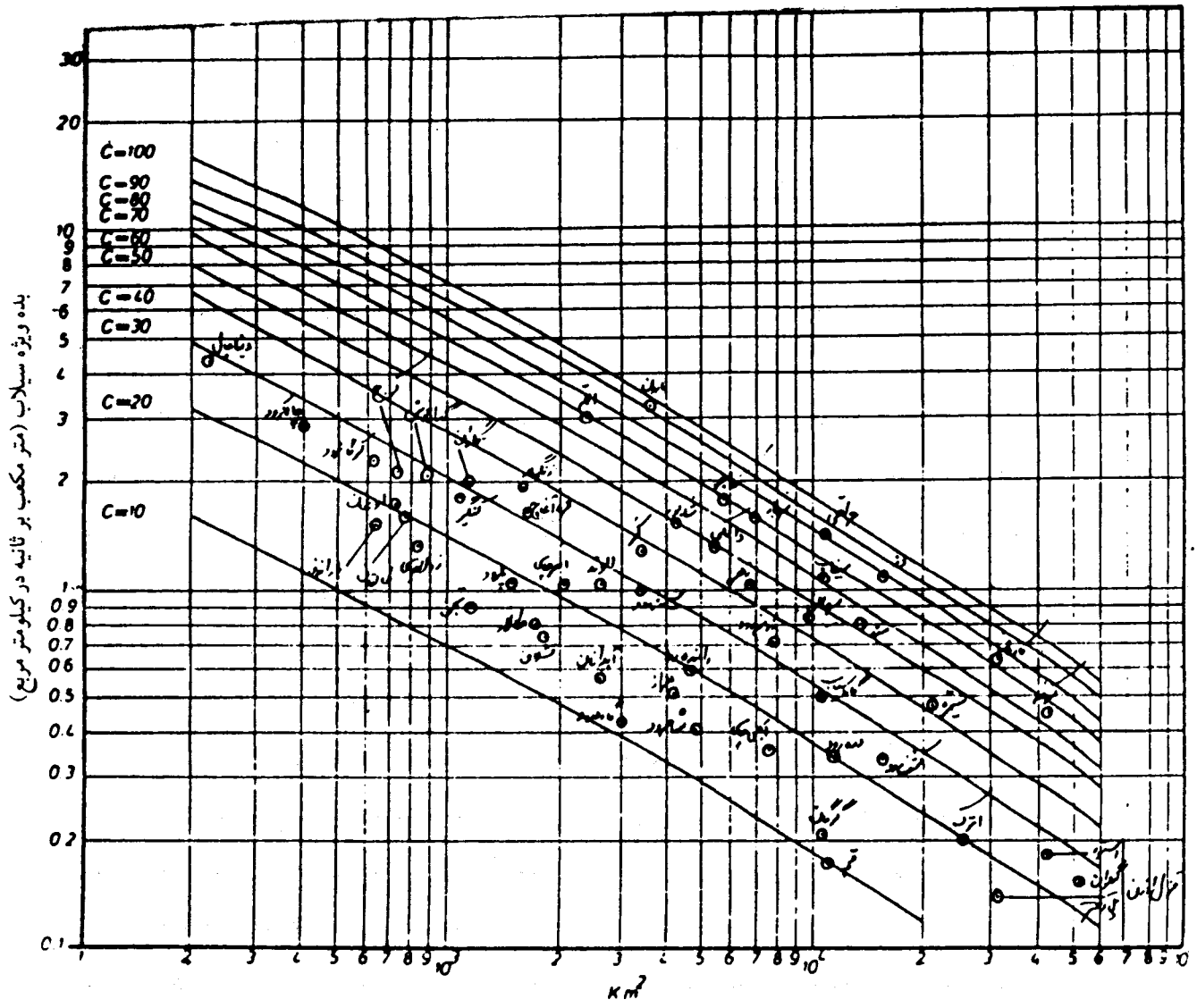
روش SCS یکی دیگر از روشهایی است که بیشتر در حوضه‌های آبریز کشاورزی (غیرشهری) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش ابتدا میزان رواناب به شیوه خاص SCS محاسبه می‌شود و سپس آبدهی بیشینه با آبنمود مثلثی تقریبی طبق رابطه زیر برآورد می‌گردد:

$$q_p = \frac{KAQ}{۰/۵ \ D + ۰/۶ \ tc} \qquad (۴_۲)$$

1- Creager



نمودار ۲-۴- رابطه گریگر برای مقادیر مختلف ضریب C



نمودار ۲-۵- رابطه مساحت حوضه و بده ویژه برای سیلهای ده هزار ساله در ایران

در این رابطه :

q_p =آبدهی بیشینه برحسب متر مکعب بر ثانیه یا فوت مکعب بر ثانیه

A = مساحت برحسب کیلومترمربع یا مایل مربع

Q = میزان رواناب برحسب اینچ یا میلیمتر

D = زمان تداوم بارندگی مازاد برحسب ساعت

tc = زمان تمرکز برحسب ساعت

k = ضریب ثابت که مقدار آن در واحد متریک برابر با ۰/۲۰۸ و در واحد انگلیسی برابر با ۴۸۴ می‌باشد.

۲-۴-۲ روش آبنمود واحد

آبنمود واحد عبارت است از آبنمود جریان مستقیم (DRH)[1] ناشی از یک واحد باران مؤثر که به نوبهٔ خود از یک رگبار با شدت یکنواخت در مدت زمان مشخص در تمامی سطح حوضهٔ آبریز مورد نظر حاصل شده باشد. مقدار باران مؤثر 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 مؤثر در طول بارندگی ثابت می‌باشد.

ب - توزیع بارندگی مؤثر در کل حوضهٔ آبریز به طور یکنواخت می‌باشد.

پ - زمان پایهٔ آبنمود رواناب مستقیم حاصل از یک باران مؤثر با تداوم مشخص، مقدار ثابتی می‌باشد.

ت - مقادیر مربوط به محورهای عرضی (Y) تمام آبنمودهای رواناب مستقیم با یک زمان پایهٔ معمولی با کل جریان مستقیم هر آبنمود نسبت مستقیم دارد.

ث - برای یک حوضهٔ آبریز معین، آبنمود حاصله از یک باران مؤثر 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، نتیجهٔ امر برای (مدل آبنمود واحد) مقاصد کاربردی قابل قبول خواهد بود.

1- Direct Runoff Hydrograph

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 منشأ 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 شدهٔ بارندگی و جریان رودخانه در یک حوضهٔ آبریز حاصل می‌شوند و فقط برای همان حوضه و همان نقطه‌ای که جریان رودخانه اندازه‌گیری شده، اعتبار دارد. در حالی که شیوهٔ آبنمود واحد مصنوعی برای تهیهٔ آبنمود واحد در نقاط مختلف رودخانه در یک حوضهٔ آبریز یا برای حوضهٔ مجاور با خصلت مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مجموع سه نوع آبنمود واحد مصنوعی به شرح زیر وجود دارد:

الف - آبنمود واحد اشنایدر[1] (۱۹۳۸) و گری (۱۹۶۱)[2]. در این گونه آبنمودهای واحد، مشخصه‌های آبنمود مانند آبدهی بیشینه (اوج)، زمان پایه و سایر خصوصیات آن در ارتباط با مشخصه‌های حوضهٔ آبریز تعیین می‌گردند.

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

پ - آبنمود واحد از نوع مدلهای ذخیره‌ای حوضهٔ 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 باران نگار[3] انتخاب می‌شود، سپس مقدار باران جذب شده برآورد می‌شود. در مرحلهٔ بعد آبنمود باران مؤثر محاسبه می‌گردد. فاصلهٔ زمانی مورد استفاده در باران نگار باران مؤثر (در محور Xها) باید همان فاصلهٔ زمانی آبنمود واحد باشد. معادلهٔ مربوطه چنین است:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \le M} P_m \, U_{n-m+1} \qquad (۵_۲)$$

1- Snyder

2- Gray

3- Hyetograph

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

Q ـ مقدار رواناب مستقیم بر حسب متر مکعب بر ثانیه

P ـ مقدار بارندگی مؤثر بر حسب میلیمتر

U ـ آبنمود واحد بر حسب متر مکعب بر ثانیه بر میلیمتر

M ـ تعداد پاره‌های (تپ‌ها)[1] بارندگی مؤثر

N ـ تعداد پاره‌های رواناب مستقیم

۲-۴-۳ 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 دههٔ اخیر در حالی که بر تعداد و تراکم ایستگاههای هواشناسی و آب سنجی افزوده شده، به طور طبیعی طول دورهٔ آماری ایستگاههای قدیمی نیز افزایش یافته است. این فرایند باعث شده که روز به روز اهمیت روش تجزیه و تحلیل فراوانی فزونی 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 آنجا که دقت برآوردها مستقیماً تابع طول دورهٔ آمار می‌باشد، لذا باید برای محاسبهٔ دوره‌های برگشت طولانی‌مدت از آمار بلندمدت استفاده شود. به عبارت دیگر لازم است فیمابین تعداد نمونه‌های انتخاب شده برای تحلیل فراوانی و طول دورهٔ برگشت تناسب لازم وجود داشته باشد. به عنوان مثال استفاده از آمار با طول ۲۵ سال برای محاسبهٔ سیل با دورهٔ برگشت ۵۰۰ ساله نتیجهٔ رضایت‌بخشی ارائه نمی‌دهد.

ب - سری آماری منتخب می‌تواند یک سری کامل[2] یا یک سری جزئی[3] باشد. یک سری کامل عبارت است از کلیهٔ داده‌های در دسترس، در حالی که یک سری جزئی عبارت است از مجموعه داده‌هایی که اندازهٔ آنها بیشتر از یک مقدار مشخص باشد. در صورتی که مقدار پایه به نحوی انتخاب شود که تعداد مقادیر سری برابر با

1- Pulse

2- Complete duration Series

3- Partial duration Series

تعداد سالهای آماری ثبت شده باشد، سری به نام سری سالانه [1] (بیشتر از) نامیده می‌شود. یک سری مقادیر حد [2] شامل بزرگترین یا کوچکترین مقادیر اتفاق افتاده در دوره‌های زمانی مساوی می‌باشد. به طور معمول دورهٔ زمانی برابر با یک سال درنظر گرفته می‌شود. در این صورت سری به نام سری سالانه [3] خوانده می‌شود. سری سالانه به نوبهٔ خود می‌تواند سری حداکثرهای سالانه یا سری حداقل‌های سالانه باشد.

پ - انتخاب قانون احتمال یا تابع توزیع باید به نحوی انجام گیرد که نتایج تحلیل دارای قابلیت اعتماد کافی باشد. قوانین احتمال که برای داده‌های تصادفی حد بکار می‌روند معمولاً شامل قوانین نرمال، لوگ 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.

۲-۴-۳-۱ 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 مطالعهٔ 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 محاسبهٔ فراوانی سیلاب دارد، معمولاً از دو روش محتمل‌ترین بیشینه [4] و گشتاورها استفاده می‌شود.
برای محاسبهٔ فراوانی سیلابها یا هر پدیدهٔ 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 پروژهٔ موردنظر در نزدیکی ایستگاه آب سنجی 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 غیر این صورت، ضروری است نتایج حاصل از تحلیل فراوانی به محل پروژه تعمیم داده شود. برای این منظور روشهای مختلفی وجود دارد که در ذیل فهرست وار مورد توجه قرار گرفته است:

- انتقال نتایج به نسبت سطح حوضهٔ آبریز
- بهره‌گیری از روشهای تحلیل منطقه‌ای
- بهره‌گیری از قانون همبستگی بین دو سری آمار

1- Annual exceedence Series
2- Extreme value Series
3- Annual Series
4- Maximum Likelihood

۲-۵ سیلابهای فرضی

۲-۵-۱ حداکثر سیل محتمل[1] (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 وجودآورندهٔ بیشترین بارندگی و هیدرولوژیکی به وجودآورندهٔ بیشترین رواناب ایجاد می‌شود. به عبارت ساده حداکثر سیل محتمل، بزرگترین سیلی است که به‌طور منطقی می‌توان انتظار داشت در یک منطقهٔ بخصوص جغرافیایی رخ دهد.

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

از حداکثر سیل محتمل عموماً در طراحی سرریز سدهای بزرگ استفاده می‌شود. در واقع از دههٔ ۱۹۴۰ میلادی سرریز غالب سدهای بزرگ با توجه به میزان حداکثر سیل محتمل در منطقهٔ سد، طراحی گردیده است. از آنجاکه هزینهٔ مهار سیلاب بر اساس 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 فرو ریختن (شکست[2]) 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 نوبهٔ خود از حداکثرسازی میزان رطوبت تودهٔ هوایی که در جو حوضهٔ آبریز با حداکثر سرعت ممکن باد در حرکت می‌باشد، و از حداکثر راندمان مکانیزم تولید رگبار در اثر تبدیل بخار اشباع به بارندگی بـه دست مـی‌آید. ضروری است توجه شود که در مناطق متعددی ذوب برف نیز در ایجاد سیلابها نقش قابل توجهی (در پـاره‌ای از اوقات حتی نقش اول) را ایفاء می‌کند. لذا، در چنین شرایطی منظور نمودن مؤلفهٔ ذوب برف در محاسبات غیرقابل اجتناب است.

1- Probable Maximum Flood (P.M.F.) 2- Failure

در واقع این تبدیل یعنی محاسبهٔ حداکثر سیل محتمل با استفاده از حداکثر بارندگی محتمل و مؤلفهٔ 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 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.

۲-۵-۲ سیل استاندارد پروژه[1]

سیل استاندارد پروژه عبارت است از آبدهی‌هایی که از نظر منطقی می‌تواند از ترکیب حادترین[2]، نه نادرترین[3] شرایط آب و هوایی یک منطقهٔ جغرافیایی ایجاد شود. این تعریف از رستهٔ 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 حوضهٔ آبریز مورد نظر، و در شرایطی فرو ریزد که اراضی حوضهٔ 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 یک‌دوم مقادیر نظیر حداکثر سیل محتمل می‌باشد. در مواردی نیز اعتقاد براین است که چنین سیلی دارای دورهٔ 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 نحوهٔ محاسبهٔ 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. در حالی که در 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

۳- طبقه‌بندی روشهای مهار سیلاب

سیلاب یک پدیده طبیعی است که همواره جوامع انسانی را مورد تهدید قرار می‌دهد. با وجود این، با استفاده از اقداماتی می‌توان میزان یا اثرات منفی سیلاب را کاهش داده و حتی‌المقدور از زیانهای وارده به انسان و املاک و دارایی‌ها جلوگیری بعمل آورد.

اقدامات مربوط به جلوگیری از زیانهای سیلاب و مدیریت آن سعی بر آن دارد که اثرات سیلابی شدن را بر شرایط اجتماعی و اقتصادی که در اثر تغییر کاربری حوضه آبریز و به ویژه استفاده از سیلابدشت بوجود آمده، کاهش دهد. اقدامات جامع مدیریت و جلوگیری از زیانهای سیل شامل دو دسته اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای (مدیریتی) است. اقدامات سازه‌ای، همانند بهسازی آبراه، ذخیره سیلاب و احداث گوره عموماً برای کاهش وقوع سیل یا جلوگیری از توسعه سیلزدگی[1] انجام می‌گیرند. در حالی که، اقدامات غیر سازه‌ای، همانند بیمه سیل، طرحهای هشدار سیل، پهنه‌بندی سیلابدشت و یا ترکیبی از آنها در اصل برای کاهش خسارات سیلاب می‌باشند.

اقدامات غیرسازه‌ای یا مدیریتی که در اصل فاقد فعالیتهای ساختمانی بزرگ می‌باشد، به تبع آن نیز اثرات زیست محیطی کمتری دارند. با وجود این، ارزیابی این نوع اقدامات، دقت و توجه بیشتری را نسبت به اقدامات سازه‌ای می‌طلبد. این نوع اقدامات بطور معمول جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، سازمانی و قانونی بیشتری را در مقایسه با اقدامات سازه‌ای در برمی‌گیرد.

روشهای غیرسازه‌ای، حساسیت به سیلاب و اثر آن را کاهش می‌دهد. برنامه‌ریزی برای کاربری اراضی، حفاظت ساختمانها، پیش‌بینی و هشدار سیل و ساماندهی اسکان، از اقدامات اصلی می‌باشد که حساسیت به سیلزدگی را بهبود می‌بخشد. بیمه سیلاب، جبران خسارت سیلاب، اطلاع‌رسانی و آموزش، اقدامات اصلی مربوط به بهبود اثرات سیلزدگی را تشکیل می‌دهند. چنانکه کاهش زیانهای آینده به دارایی‌ها (مستحدثات، املاک و ...) و زندگی انسان موردنظر باشد، در این صورت باید به شیوه‌هایی تأکید کرد که دارای ظرفیت بالا برای رسیدن به این هدفها باشد.

فرمول‌بندی[2] یک برنامه کاهش خسارت سیلاب که دارای چارچوب تعریف شده باشد، شامل ترکیب بهینه‌ای از روشهای مختلف خواهد بود. بدیهی است که این اقدامات به‌طور معمول ترکیبی از اقدامات مربوط به هر دو گروه سازه‌ای و غیرسازه‌ای است.

1- Flooding

2- Formulate

۳-۱ اقدامات سازه‌ای

۳-۱-۱ گوره‌ها و دیوارهای سیلبند[1]

هدف اساسی گوره‌ها و دیوارهای سیلبند محدودکردن سیل در داخل رودخانه و بخشی از سیلابدشت می‌باشد. در این شیوه فقط اراضی پشت خاکریز یا دیوار و تنها برای تراز سیلاب طرح حفاظت می‌شوند. مزیت اصلی گوره‌ها و دیوارهای سیلبند در این است که از آنها می‌توان برای حفاظت اراضی کوچک و خاص یا حفاظت یک منطقه استفاده نمود. برای مثال از این روش می‌توان برای حفاظت یک محله مسکونی کوچک یا بخشی از آن استفاده بعمل آورد. با این وجود، این نوع اقدامات می‌تواند یک برداشت غلط در مورد میزان و درجه حفاظت بوجود آورد. همچنین در صورت افزایش تراز سیل از میزان سیلاب طراحی و سرریزشدن آن به منطقه امکان بوجود آمدن خسارات زیاد مالی و جانی وجود دارد.

گوره‌ها و سیلبندها در صورتی که همراه با سایر اقدامات مهار سیلاب و در چارچوب یک طرح فراگیر (جامع) جلوگیری از زیانهای سیلاب مورد توجه قرار نگیرند، ممکن است موجبات سیلابی شدن مناطق دیگر را فراهم آورد. اگر این گونه سازه‌ها با هدف جلوگیری از گسترش سیلاب، طرح شده باشد، در این صورت تراز سطح آب، سرعت و حداکثر بده در بازه‌های محدود شده بالا خواهد رفت. علاوه بر این در چنین وضعیتی شدت حرکت موج سیلاب به پایین‌دست افزایش پیدا می‌کند. این سازه‌ها ممکن است اثرات نامطلوب (ناخواسته) زیست محیطی همانند تخریب آشیانه وحوش و از بین رفتن زیبایی‌های طبیعی منطقه را در برداشته باشد.

معیارهای مورد نیاز برای طراحی و ساخت گوره‌ها و دیوارهای سیلبند با توجه به میزان زیانهای جانی و مالی ناشی از سیل و شرایط محل تدوین و انتخاب می‌شوند. گوره‌ها عموماً با استفاده از مصالح خاکی ساخته می‌شوند و بدین سبب فضای قابل توجهی در مسیر خود اشغال می‌کنند. دیوارهای سیلبند بطور معمول با بتن، سنگ یا فولاد ساخته می‌شوند و از این رو نیاز به فضای کمتری دارند. نوع اخیر برای مناطق توسعه یافته و با تراکم بالا مناسب‌تر است.

۳-۱-۲ بهسازی آبراه

غالب آبراه‌های طبیعی دارای مجرای رودخانه‌ای با ظرفیت محدود می‌باشند. به نحوی که ممکن است همه‌ساله در شرایط سیلابی بخشی از جریان سیلاب در سیلابدشت جاری شود. به این ترتیب بهسازی هیدرولیکی آبراه یا سیلابدشت و یا سیلراه‌های داخل سیلابدشت این امکان را فراهم خواهد آورد که ظرفیت آبگذری افزایش یافته و

1- Levees and flood walls

تراز جریان عبوری پایین‌تر از تراز جریان در شرایط طبیعی باشد. چنین اقداماتی در مناطق شهری بطور طبیعی به زهکشی اراضی نیز کمک کرده و از این طریق استفاده بهینه از اراضی را ممکن می‌کند. انواع روشهای اصلاح مسیر به شرح زیر می‌باشد:

- تعمیق، تعریض و مستقیم‌سازی آبراه
- پاکسازی رودخانه از آشغال و بوته‌های گیاهی
- پوشش آبراه برای کاهش ضریب زبری
- بزرگ‌سازی پلها و زیرگذرهایی که دارای بده عبوری محدود می‌باشند
- برداشتن موانع سر راه جریان آب

نتیجه همه این روشها کاهش تراز آب است. همچنین در برخی اوقات این امکان وجود دارد که رودخانه را در سطح وسیع بازسازی کرده و سیلابهای بزرگ را در داخل آن محدود نمود. در تمامی موارد باید توجه کرد که، بهسازی آبراه می‌تواند منجر به انتقال جریان به پایین‌دست شده و در آنجا مشکلاتی را فراهم آورد.

اصلاح مسیر یکی از روشهایی است که در رودخانه‌های کوچک و با شیب زیاد که دارای سیلابدشت کم عرض و پوشش گیاهی متراکم می‌باشد، اثر قابل توجهی دارد. برعکس این روش در رودخانه‌های با سیلابدشتهای وسیع یا در دلتاهای تحت تأثیر تراز جزر و مد دریا چندان مؤثر نمی‌باشد.

۳-۱-۳ انحراف سیلاب

با توجه به اینکه، اساسی‌ترین روش انحراف سیلاب، استفاده از سیلراههای کنارگذر[1] می‌باشد، از اینرو در بعضی از مراجع این دو معادل یکدیگر تلقی می‌شوند.

این شیوه دارای دو کارکرد در مهار سیلاب است. اولین کارکرد این شیوه ایجاد یک مخزن‌گونه بزرگ و کم عمق است که بخشی از سیلاب در آن ذخیره شده و به این ترتیب موجب کاهش جریان در آبراهه اصلی بعد از نقطه انحراف می‌شود. کارکرد بعدی این روش با توجه به تخلیه بخشی از جریان در بالادست، بهبود مشخصه‌های جریان و کاهش تراز آب در پایین‌دست محل انحراف و به فاصله مشخص از آن می‌باشد. معمولاً موقعیت مناسب کمتری برای ساخت سیلراه کنارگذر با توجه به محدودیت توپوگرافی اراضی و در دسترس نبودن زمین کم‌ارزش وجود دارد.

سیلراه به دو دسته طبیعی و ساخته شده تقسیم می‌شود. یک سیلراه طبیعی در مسیر موجود که از اراضی اطراف پایین‌تر می‌باشد احداث می‌گردد و آن بخش از جریان سیلابی راکه مازاد بر ظرفیت آبراه اصلی می‌باشد، به خارج از

1- By - Pass Floodways

رودخانه منتقل می‌کند. اراضی سیلراه طبیعی عموماً متفاوت با اراضی زراعی حاشیه آن نبوده و تنها تفاوت آن در پایین‌بودن تراز این اراضی نسبت به حاشیه است. در بعضی از سیلراه‌ها با توجه به شرایط موجود ممکن است برای جلوگیری از پخش آب نیاز به احداث خاکریزهای طولی در دو طرف آن باشد (سیلراه ساخته شده). توسعه اراضی در حاشیه سیلراه باید به گونه‌ای انجام گیرد که خسارات حاصل از سیلابهای بزرگ به کمینه برسد، ضمن آنکه باید اطمینان حاصل شود که کارکرد سیلراه براساس مبانی طراحی باشد.

۳-۱-۴ حوضچه‌های تأخیری و اراضی ویژه ذخیره سیلاب[1]

شیوه‌های تأخیر و ذخیره سیلاب معمولاً برای مهار سیلاب در اراضی مشخص، به‌منظور کمینه‌سازی زیانها انجام می‌گیرد. این روش اجازه می‌دهد که سیلاب بیشتر از حد معین، با استفاده از سرریز یا سازه‌های دریچه‌ای ساخته شده بر روی خاکریزها در اراضی پست (با تراز پایین) پشت خاکریزها پخش شود. به این ترتیب در صورتی که انحراف سیلاب به دقت کنترل شود، سیلاب بیشینه در پایین‌دست رودخانه کاهش یافت.

اراضی‌ای که به این منظور انتخاب می‌شود عموماً اراضی با تراز پایین می‌باشد که سابقه سیلابی‌شدن را دارند. در شرایطی و با یک طراحی و برنامه بهره‌برداری مناسب، امکان استفاده از این اراضی برای کشاورزی و حتی‌الامکان سکونت وجود دارد. ضمن آنکه ساکنین و بهره‌برداران منطقه از احتمال سیلابی‌شدن اراضی غافل نمی‌باشند.

عموماً اراضی حاشیه رودخانه‌ها و اراضی فروافتاده طبیعی در سیلابدشت برای ذخیره در خارج از رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. جریانهای سیلابی به منظور کاهش اوج سیلاب به داخل آنها منحرف می‌شود. بازدهی کارکرد این شیوه معمولاً با پیش‌بینی سازه‌های مناسب آبگیری برای پرکردن آنها و سازه‌های خروجی برای تخلیه آنها (در صورت شرایط مناسب پایین‌دست) افزایش پیدا می‌کند.

۳-۱-۵ مخازن تسکین سیلاب[2]

در صورت وجود شرایط مناسب می‌توان با احداث سدها و ایجاد مخازن، سیلابهای با دوره برگشت نسبتاً زیاد را مهار کرد. مهار سیلاب با استفاده از مخازن غالباً در رودخانه‌های کوچک و متوسط معمول می‌باشد. به این ترتیب جریان بطور موقت در بالادست اراضی در معرض سیل، ذخیره می‌شود. حجم لازم برای ذخیره بستگی به درجه حفاظت لازم و ظرفیت آبراه در پایین‌دست دارد.

1- Retarding Basin and Flood Storage Areas

2- Flood Mitigation Reservoirs

میزان تسکین حاصل از مخازن مهار سیلاب بستگی به ترکیب حجم دریاچه سد، ظرفیت سرریز و الگوی جریان ورودی دارد. اثر ذخیره عبارت است از کاهش اوج سیلاب بدون آنکه عملاً حجم آن تغییر نماید. کاهش جریان اوج در نتیجه افزایش زمان جریان خروجی با آبدهی کم حاصل می‌شود. بدیهی است که در سدهای مجهز به دریچه‌ها و شیرها میزان جریان خروجی و به تبع آن درجه مهار سیلاب متأثر از نحوه بهره‌برداری از آنها می‌باشد.

۳-۲ اقدامات غیر سازه‌ای

۳-۲-۱ مدیریت کاربری اراضی[1]

مدیریت کاربری اراضی شیوه‌ای است که در آن استفاده بهینه از اراضی با توجه به محدودیت کاربری آنها به منظور اجتناب از زیانهای سیلاب و انتظارات مالکین برای توسعه اراضی خود، در مناطق مستعد به سیلاب، مورد توجه می‌باشد.

مدیریت کاربری اراضی، براساس دو عامل کنترل پهنه‌های کاربری و کنترل توسعه و ساخت و سازها پی‌ریزی شده است. هرکدام از این عوامل می‌تواند به‌طور مؤثر برای اراضی توسعه یافته یا اراضی جدید که در خطر سیل می‌باشد، بکار گرفته شود. بدیهی است که یکی از ابزارهای لازم برای مدیریت کاربری اراضی، تعیین حریم رودخانه می‌باشد.

برای کارایی بیشتر، مدیریت کاربری اراضی نباید فقط آن بخش از سیلابدشت را در برگیرد که در مجاورت اراضی حفاظت شده شهری، واقع شده است. مسلماً توسعه شهر در اراضی بالادست حوضه‌های آبریز کوچک می‌تواند منجر به از بین‌رفتن اثرات آن دسته از کارهای مهار سیلاب شود که به منظور حفاظت اراضی پایین‌دست انجام گرفته است. به عبارت دیگر در صورتی که کنترلهای مناسب برای کاربری اراضی یا برخی اقدامات ضروری در بالادست حوضه آبریز انجام نشود، امکان افزایش آبدهی اوج سیلابها وجود خواهد داشت. بدیهی است که این امر موجب کاهش درجه حفاظت، اقدامات انجام شده در پایین‌دست خواهد شد و در صورت فزونی سیلاب از سیلاب طرح، نتایج نامطلوب و فاجعه‌آمیز به‌بار خواهد آورد.

۳-۲-۲ ساماندهی اسکان و پاکسازی سیلابدشت[2]

جابجایی ساختمانها و اجتماعات به خارج از سیلابدشت ممکن است مزایای درازمدت در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی داشته باشد، اما این کار معایبی از قبیل هزینه‌های بالا، از دست دادن شغل و بهم‌ریختن

1- Land Use Management

2- Property Aquisition and Flood Way Clearance

زندگی اجتماعی دارد. با وجود این در بعضی مناطق ممکن است، خرید املاک و دارایی‌ها از طرف دولت توجیه‌پذیر باشد. این وضعیت به ویژه بعد از وقوع سیلابهای فاجعه‌بار و در شرایطی که جبران خسارات سیلاب (به هر طریق) تضمین نشده باشد، مالکین را ترغیب به فروش دارایی‌ها و دوری از موقعیت خطرخیز می‌کند.

عموماً خرید اراضی بایر در مناطق شهری سیلابدشت از نقطه‌نظر اقتصادی به سختی قابل توجیه بوده و غالباً نیز غیرضروری می‌باشد. به استثنای نقاط خطرپذیر، معمولاً یک سیاست جامع جلوگیری از خسارت به نتایج رضایت‌بخشی منجر خواهد شد. آشکار است که یک رابطه مستقیم بین شیوه مدیریت کاربری اراضی و خرید اراضی وجود دارد.

۳-۲-۳ بهسازی شرایط حوضه آبریز و ذخیره آب در محل[1]

در سیلابدشتها با حوضه‌های آبریز بزرگ که عموماً بخش زیادی از اراضی را، زمینهای کشاورزی و جنگلی تشکیل می‌دهد، توسعه جنگل و پوشش گیاهی، شخم در خطوط تراز و سکوسازی (تراس و بانکت‌بندی) با توجه به افزایش نفوذپذیری و تسکین می‌تواند مقدار رواناب را کاهش دهد. معهذا، این نوع فعالیتها اثر قابل توجهی برای تسکین سیلابهای بزرگ ندارد. قابل ذکر است که در پاره‌ای از مراجع، این شیوه تحت عنوان «مدیریت حوضه آبریز» آمده است.

در حوضه‌های آبریز شهری کوچک، برای تسکین سیل از استخرهای ذخیره یا بازدارنده استفاده می‌شود. در واقع در این شیوه از دو فرآیند نگهداشت و بازداشت به شرح زیر استفاده می‌شود:

نگهداشت[2]: جریان سیلاب برای مدت زمان قابل توجه در حوضه آبریز نگهداشته می‌شود و با توجه به نفوذ، تراوش و تبخیر به تدریج انرژی آن از بین می‌رود. گودالهای سنگریز برای انباشت رواناب و محوطه‌های (پارکینگها، پیاده‌روها و زمینهای ورزشی) قابل نفوذ از جمله روشهای مورد استفاده می‌باشد.

بازداشت[3]: در این شیوه به منظور کاهش اوج جریان، سیلاب برای مدت کوتاهی و به‌گونه‌ای در حوضه آبریز نگهداشته می‌شود و سپس به یک آبراهه طبیعی یا مصنوعی تخلیه می‌شود. این شیوه شامل روشهای ذخیره در پشت‌بام، تانکهای باران، ذخیره در زمینهای ورزش و پارکینگهای بزرگ روباز می‌باشد.

1- Modification of Catchemant Conditions and On - site Storage

2- Retention

3- Detention

۳-۲-۴ پیش‌بینی و هشدار سیل[1]

پیش‌بینی سیل عبارت است از تخمین آبدهی، تراز و زمان وقوع و تداوم سیلاب به ویژه در آبدهی اوج در یک نقطه مشخص رودخانه که از باران، ذوب برف یا ترکیب باران و ذوب برف حاصل شده باشد. هشدار سیل عبارت است از پیش‌آگاهی از وقوع سیلاب در آینده نزدیک و در محل مشخص یا در حوضه آبریز معین. برای اینکه این شیوه ارزشمند و مؤثر واقع شود، لازم است پیش‌بینی‌ها به موقع و دقیق بوده و همراه با برنامه آموزش ساکنان منطقه موردنظر باشد. پیش‌بینی و هشدار سیل در پاره‌ای از موارد، مهمترین اقدام غیرسازه‌ای در مدیریت اراضی سیلگیر و کاهش زیانهای ناشی از آن می‌باشد.

در مجموع منافع حاصله از این روش در مناطق شهری خیلی بیشتر از مناطق روستایی است، با وجود این، در مناطق روستایی به ویژه در شرایطی که بتوان دامها را جابجا کرد و محصول را قبل از شروع سیلاب برداشت نمود، منافع حاصله قابل توجه خواهد بود. بطورکلی فعالیتهای معمول برای پیش‌بینی و هشدار به شرح زیر می‌باشد:

- جمع‌آوری داده‌ها
- انتقال داده‌ها
- پیش‌بینی هواشناسی
- مدل پیش‌بینی
- تهیه هشدارها
- پخش هشدارها
- دریافت هشدار و انجام عمل
- واکنش و پشتیبانی در برابر هشدار

۳-۲-۵ اطلاع‌رسانی و آموزش مردم[2]

اطلاعات مربوط به خطر سیلاب یک پیش شرط برای جلوگیری از زیانهای آن است. تهیه و گسترش اطلاعات مورد نیاز و آموزش مردم، به ویژه مسئولان و برنامه‌ریزان که وظیفه اصلی تفسیر و کاربرد اطلاعات را دارند، یک امر ضروری برای برنامه جلوگیری از خسارات سیلاب است. تهیه اطلاعاتی که به سهولت قابل دسترس و قابل تفسیر باشد و کیفیت بخشهای مختلف آن همسان باشد، یکی از اهداف توصیف و تفسیر سیلابدشت می‌باشد.

1- Flood Forecasting and Warning

2- Public Information and Education

اطلاعات اساسی عبارتند از : هیدرولوژی و هیدرولیک سیلابهای کوچک تا خیلی بزرگ در اراضی سیلگیر و در سیلابدشت، در مورد مقررات سیلابدشت در همان منطقه و بالاخره اثرات بالقوه‌ای که کاربری اراضی می‌تواند بر ظرفیت سیلاب داشته باشد. با استفاده از این اطلاعات امکان فرموله‌کردن گزینه‌های نحوه برخورد با موضوع توسط مسئولان و تصمیم‌گیرندگان فراهم خواهد آمد.

بدیهی است که اطلاعات بهتر در زمینه در خطر قرار گرفتن دارایی‌ها و سطوح مختلف احتمال خسارت به تصمیم‌گیرندگان کمک خواهد کرد که بتواند نوع خطر را در قالب اصطلاحات، علایم و استعاره‌ها به نحوی مشخص کنند که بیانگر واکنش محلی مناسب به هنگام وقوع سیلاب باشد.

۳-۲-۶ ایمن‌سازی انفرادی ساختمانها[1]

در شرایطی این امکان وجود دارد که با اقدامات مناسب مانع از ورود آب به محل موردنظر شد و در نتیجه خسارت ناشی از سیل را به حداقل رساند. این گونه اقدامات می‌تواند احداث ساختمان بر روی ستونها یا در محل بلند باشد. احداث دیوارهای نگهبان (حایل) در دور یک ساختمان یا استفاده از مصالح نفوذناپذیر در ساختمان، از انواع دیگر این روش می‌باشد. نوعی دیگر از این گونه اقدامات، پیش‌بینی دریچه‌های ویژه برای جلوگیری از ورود سیلاب به ساختمان می‌باشد.

در مناطقی که عمق و سرعت آب کم می‌باشد، احداث دیواره موقت از کیسه‌های شنی یا مصالح بنایی برای ساختمانهای به صورت انفرادی می‌تواند قابل توجیه باشد. گاهی اوقات برای ساختمانهایی که دارای پی و دیوارهای غیرقابل نفوذ می‌باشد، بستن (بلوکه‌کردن) درها و پنجره‌ها تا ارتفاع بالاتر از تراز سیلاب می‌تواند یک نوع مقابله با سیلاب باشد. بدون شک موفقیت در دورکردن سیلاب از ساختمانها موجب کاهش خسارت سیل شده و ضمن آن امکان استفاده مجدد از ساختمان را در کوتاه‌مدت فراهم خواهد کرد.

۳-۲-۷ تخلیه مناطق در خطر[2]

وقتی که سیلزدگی اراضی غیرقابل اجتناب باشد، بهترین روش برای کاهش خسارت سیل، تخلیه مردم و دارایی‌های موجود از منطقه مورد خطر است. در این شیوه، در حالیکه هدف اصلی تخلیه، نجات زندگی انسانها می‌باشد، با وجود این سعی می‌شود که حتی‌المقدور خسارت به اسباب و اثاثیه و تجهیزات قابل حمل نیز کاهش پیدا کند.

1- Flood Proofing of Buldings

2- Evacution from Endangered Areas

در این روش یک سیستم هشداردهنده مؤثر نقش کلیدی را بازی می‌کند. تخلیه مناطق در خطر باید همانند یک شیوه کوتاه‌مدت قلمداد شود. این شیوه را می‌توان به سه مرحله قبل از سیلاب، حین سیلاب و بعد از سیلاب تقسیم نمود. با وجود این حداکثر ظرفیت برای کاهش تعداد حوادث و خسارت سیلاب در مرحله قبل از سیلاب می‌باشد. در سیلابهای بزرگ ممکن است در مرحله حین وقوع سیل نیز به دلایلی از جمله وقوع سیلابهای بزرگتر از سیل پیش‌بینی شده، نیاز به تخلیه باشد. مرحله پس از سیلاب شامل عملیات امدادرسانی و اسکان مجدد در مناطق سیل‌زده می‌باشد.

۳-۲-۸ سیل ستیزی[1]

سیل‌ستیزی معمولاً به اقداماتی گفته می‌شود که آگاهانه برای مقابله با فاجعه در زمان جریان سیلاب و موج طوفان بعمل می‌آید. این شیوه مخصوصاً به واکنشهای فوری مربوط می‌شود که در حین سیلاب برای جلوگیری از استغراق اراضی و املاک و نجات جان انسانها و موجودات اتخاذ می‌شود. تمهیدات فوری شامل احداث سازه‌گونه‌های موقت برای دورکردن جریان سیلاب، جابجایی تجهیزات و ... از بازه سیلابی و عملیات فوری برای نگهداری سیستمهای برق رسانی و تأمین آب می‌باشد. این اقدامات به تعمیر فوری خاکریزها و سایر سازه‌ها نیز که ممکن است بخشی از آنها آسیب دیده باشد یا به صورت محدود آب از آنها سرریز شده باشد، اطلاق می‌شود.

۳-۲-۹ امدادرسانی بعد از سیلاب (امداد سیلاب[2])

کمکهای دولتی برای بهبود آثار سیلاب معمولاً تحت برنامه امدادرسانی برای کاهش اثرات بلایای طبیعی انجام می‌گیرد. این اقدامات کمکهای مالی برای سازمانهای محلی به منظور تأمین هزینه‌های پیش‌بینی نشده و در پاره‌ای از موارد جبران هزینه‌های زیاد ناشی از بلایای طبیعی را در برمی‌گیرد.

هدف اصلی یاری بعد از سیلاب تأمین کمکهای فوری برای غلبه بر کارهای سخت و مشکلات کارکنان محلی شامل تعمیرات ضروری خانه‌ها و تعویض لوازم ضروری منزل است.

1- Flood Fighting

2- Flood Relief

۳-۲-۱۰ بیمه سیل[1]

عموماً عقیده بر این است که بیمه سیل مزایای متعددی به عنوان یک وسیله برای بالابردن ظرفیت تحمل خسارت می‌باشد. این امر مالکین را قادر می‌سازد که خسارت بالقوه بزرگی را در بلندمدت توزیع کنند. بیمه‌گزاری همچنین سازوکار لازم را برای پخش خسارت ناشی از سیلاب در سطح وسیع و بین تعداد زیاد افراد بوجود می‌آورد.

از آنجا که سیلابی شدن یک پدیده محلی است، لذا به‌طور معمول باید حق بیمه از کسانی دریافت شود که در مناطق شناخته شده سیلگیر زندگی می‌کنند. در خصوص بیمه سیل بحث اساسی این است که آیا آنها که در منطقه خطر هستند باید متحمل پرداخت کل حق بیمه باشند یا در پرداختهای مربوط به این امر باید کسانی نیز که در معرض خطر نیستند، سهیم شوند.
برای اینکه بیمه سیل قابل اجرا باشد، باید برای درجات پایین خطر و با حق بیمه کم به مورد اجرا گذاشته شود. برای دستیابی به این هدف در بیشتر مناطق توسعه یافته، لازم است بدواً دیگر اقدامات مورد نیاز در زمینه مهار سیلاب بعمل آمده باشد. در عمل بیمه یک استراتژی مکمل برای پوشش دادن، خسارت ناشی از خطرهای کوچک باقیمانده پس از دیگر تمهیدات موردنیاز می‌باشد.

۳-۲-۱۱ سازگاری با سیلاب[2]

قبول این واقعیت از طرف اهالی یک سیلابدشت که توسعه فعالیت آنها در منطقه‌ای انجام می‌گیرد که ناخواسته، هرازگاهی مواجه با آثار سیلاب خواهند شد، سازگاری با سیلاب نامیده می‌شود. آگاه‌سازی مردم از احتمال گسترش دامنه خسارت سیلاب به محل زندگی و کار، از تراز سیلابهای بزرگ بوقوع پیوسته، از سازماندهی نحوه زندگی از جمله خانه، مزرعه، مغازه و کارخانه در مقابل هجوم سیلاب و بالاخره از روشهای فوری مقابله با سیلاب از جمله نکاتی است که باید توسط مسئولین ذیربط مورد توجه قرار گیرد.

به این ترتیب ساکنین منطقه سیلگیر حتی‌المقدور اقدامات مربوط به حفاظت در مقابل سیلاب را رأساً انجام خواهند داد. مثالهای عملی از سازگاری با سیلاب می‌تواند احداث خاکریز و پناهگاه خصوصی و انفرادی باشد.

1- Flood Insurance

2- Flood Adaptation

۴- مهار سیلاب با استفاده از مخازن

۴-۱ مفاهیم کلی

هدف از احداث مخازن مهار یا تسکین [۱] سیل عبارت از کاهش آبدهی اوج [۲] سیل طرح می‌باشد. این هدف عملاً به کمک ذخیره بخشی از جریان سیل در مخزن امکان‌پذیر می‌گردد. بدیهی است در شرایط خاص به ویژه برای برخی از سیل‌های کوچک‌تر از سیل طرح، امکان ذخیره تمامی جریان یک سیل نیز وجود خواهد داشت.

مطلوب‌ترین وضعیت برای مهار سیلاب در آبراهه، هنگامی ایجاد می‌شود که مخزن درست در بالادست بازه مورد حفاظت واقع شود و به نحوی مورد بهره‌برداری قرار گیرد یا کار کند که جریان خروجی از آن در هر شرایط به کمترین میزان ممکن برسد ($Q_{out} = Min$). از سوی دیگر باید شرایطی برای بهره‌برداری فراهم آید که دست‌کم در وضعیت غیرسیلابی همواره جریان خروجی از سد بیشتر از جریان ورودی به آن و کمتر از ظرفیت آبدهی ایمن آبراه یا به عبارتی سیلاب طراحی باشد ($Q_{safe} > Q_{out} > Q_{in}$). از اینرو، در شرایطی که جریان ورودی به سد بیشتر از ظرفیت آبدهی ایمن آبراه باشد ($Q_{in} > Q_{safe}$)، لازم است تا زمان کاهش جریان ورودی و رسیدن آن به بده ایمن رودخانه، مازاد جریان ($Q_{in} - Q_{safe}$) در مخزن ذخیره شود و به مجرد فراهم آمدن شرایط مناسب، به آبراه تخلیه شود تا امکان بازیافت گنجایش مخزن و آماده‌سازی آن برای مهار سیلاب بعدی فراهم آید.

در شکل ۴-۱ آبنمودهای یک مخزن مهار سیل در شرایط کارکرد مطلوب [۳] نشان داده شده است. اجزاء شکل عبارتند از :

- آبنمود جریان ورودی به مخزن (A)
- آبنمود جریان همان سیل در رودخانه در شرایط طبیعی (بدون مخزن) به فاصله ۲۴ ساعت با فرض این‌که هیچگونه جریان زیر حوضه‌ای در پایین دست وجود نداشته باشد. (C)
- آبنمود تسکین یافته خروجی از سد (D)
- آبنمود متناظر مورد اشاره در بند ۳ در پائین دست آبراهه بعد از گذشت ۲۴ ساعت، (B)
- منحنی آب ذخیره شده در مخزن. (E)

توضیح: منظور از عبارت «به فاصله ۲۴ ساعت»، نقطه‌ای در پایین‌دست مسیر آبراهه می‌باشد که سیل ۲۴ ساعت بعد از ترک محل سدّ به آن نقطه می‌رسد. به عنوان مثال در صورتی که میانگین سرعت جریان سیل ۲ متر در ثانیه باشد، فاصله نقطه مورد نظر با محل سدّ برابر با ۱۷۲/۸ کیلومتر خواهد شد.

1- Mitigation

2- Peak Dissharge

3- Ideal

در این نمونه، از آنجاکه مخزن درست در ابتدای بازه مورد حفاظت از آبراهه موردنظر قرار گرفته، لذا آبنمود جریان خروجی از سد با آبنمود جریان در ابتدای بازه یکسان می‌باشد. مشاهده می‌شود که در چنین شرایط بهره‌برداری، آبدهی اوج سیلاب به اندازه AB کاهش پیدا می‌کند.

۲-۴ انواع مخازن مهار سیلاب

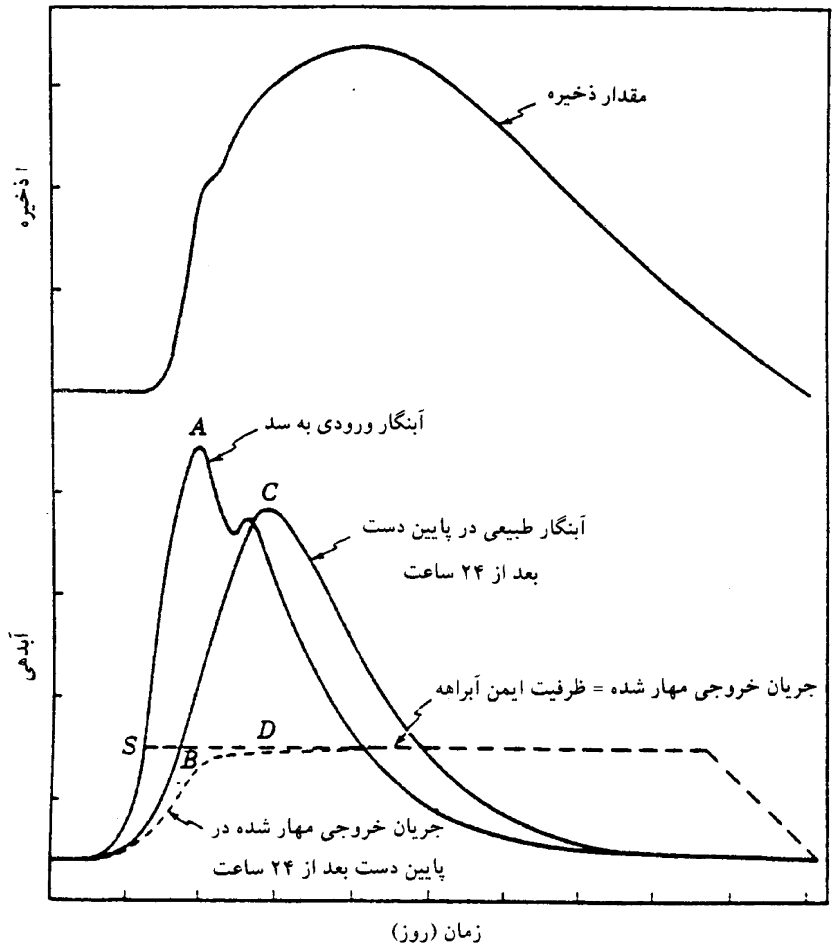
مخازن مهار سیلاب را می‌توان به دوگروه مخازن ذخیره‌ای[1] و مخازن تأخیری[2] تقسیم نمود. عموماً تنها تفاوت این دوگروه درنوع سیستم تخلیه پیش‌بینی شده در آنها می‌باشد.

جریان خروجی از یک مخزن ذخیره‌ای، با استفاده از دریچه‌ها و یا شیرهای ویژه این کار و برنامه بهره‌برداری تنظیم می‌شود. تفاوت مخازن ذخیره‌ای برای تسکین سیل با مخازن ذخیره‌ای برای مصارف، تنها در اندازه ظرفیت دریچه تخلیه آنها می‌باشد. به نحوی که در مخازن مهار سیلاب عموماً برای تخلیه سریع مخزن در شرایط وقوع سیل و یا پیش و بعد از آن، ظرفیت سیستم تخلیه بیشتر از سدهای ذخیره‌ای برای مصارف آب می‌باشد.

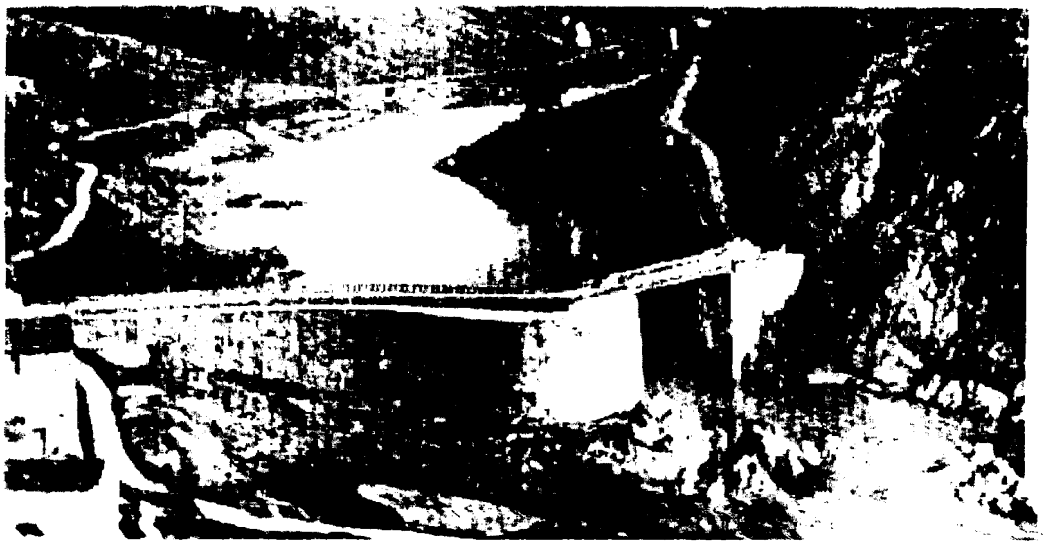
یک مخزن تأخیری عموماً مجهز به سیستم تخلیه ثابت غیر دریچه‌ای است که بطور خودکار جریان خروجی را با توجه به حجم آب ذخیره شده، تنظیم می‌کند. سیستم خروجی معمولاً از یک سرریز بزرگ و یا یک یا چند خروجی تحتانی باز[3] (غیر دریچه‌ای) تشکیل می‌شود. نوع خروجی با توجه به خصوصیات ذخیره‌ای مخزن و سیلاب، طراحی می‌گردد. عموماً برای این منظور از خروجی روزنه‌ای بدون دریچه استفاده می‌شود، زیرا با توجه به معادله روزنه [$Q = CaA\ (2gh)^{1/2}$] با افزایش تراز سطح آب در مخزن میزان بده خروجی نیز افزایش پیدا می‌کند. در این معادله : Q = بده جریان، h = ارتفاع آب از مرکز شکل روزنه، g = شتاب ثقل، A = سطح روزنه و Ca = ضریب روزنه می‌باشد.

در مخازن تأخیری عموماً استفاده از یک سرریز ساده به تنهایی قابل توجیه نمی‌باشد. به دلیل اینکه در این وضعیت، حجم ذخیره زیر تاج سرریز غیر قابل استفاده خواهد بود. با وجود این، در هر حال ضروری است که یک واحد سرریز اضطراری به منظور تخلیه مازاد ظرفیت خروجی اصلی، در نظر گرفته شود. در شکل ۴-۲ یک نمونه مخزن تأخیری نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که این مخزن از دو واحد سد باله‌ای[4] در دو کنار رودخانه تشکیل می‌شود که بین آنها در مسیر رودخانه یک شکاف برای تخلیه جریان، وجود دارد.

1- Storage Reservoir
2- Retarding Reservoir
3- Sluiceway
4- Wing Dam



شکل ۴-۱-کارکرد یک مخزن مهار سیلاب در شرایط آرمانی



شکل ۴-۲- یک نمونه از سدهای تأخیری

۳-۴ محل و گنجایش مخزن

محل و گنجایش مخزن دو معیار اصلی برای طراحی سدهای مخزنی و بازدارنده برای کاهش اوج سیلاب و در نتیجه مهار آن می‌باشند. این دو معیار شدیداً در ارتباط با یکدیگر بوده و بطور متقابل بر یکدیگر تحت تأثیر می‌گذارند.

در طرح‌های مهار سیلاب عموماً مطلوب‌ترین وضعیت آن است که محل مخزن درست در بالادست محل یا بازه موردنظر برای حفاظت باشد و شرایط توپوگرافی منطقه نیز برای احداث سد با حجم مخزن کافی مناسب باشد. با وجود این، در عمل چنین شرایطی بندرت پیش می‌آید. از این گذشته در چنین وضعیتی غالباً هزینه احداث سد زیاد و ارزش اراضی نیز که در داخل مخزن قرار می‌گیرند، بالا می‌باشد.

در صورتی که محل مخزن در بالادست رودخانه و به فاصله نسبتاً زیاد از بازه موردنظر برای حفاظت در نظر گرفته شود باید جریانهای میان حوضه‌ای (حوضه آبریز حد فاصل محل سد و بازه موردنظر) نیز مورد توجه قرار گیرد. در این صورت جریانهای ناشی از حوضه آبریز پائین‌دست سد ممکن است به میزانی زیاد باشد که اثر تسکین مخزن را بر روی سیلاب بالادست از بین ببرد. به عبارت دیگر مجموع دو آبدهی رها شده از سد و حوضه میانی از ظرفیت آبدهی ایمن رودخانه بیشتر شود.

محدودیت دیگر مخازن بالادست رودخانه، گنجایش آنها می‌باشد. در واقع در بالادست رودخانه و به ویژه در سرشاخه‌های آن عموماً شرایط توپوگرافی به گونه‌ای است که اجازه احداث سد با گنجایش زیاد را نمی‌دهد.

در هر صورت درجه حفاظت و قابلیت اعتمادی که می‌تواند به وسیله یک مخزن مهار سیلاب حاصل شود، با توجه به جریان‌های میان حوضه‌ای به نسبت افزایش فاصله محل مورد حفاظت با محل سد، به شدت کاهش پیدا می‌کند. لذا در یک حوضه آبریز بزرگ برای حفاظت کافی و مؤثر عموماً استفاده از سیستم مخازن به همراه اقدامات تکمیلی بر روی آبراهه از قبیل احداث گوره ضرورت پیدا می‌کند.

یکی ازمعیارهای ارزیابی اثر مخزن یا سیستم مخازن مهار سیل، درصدی از مساحت حوضه آبریز است که در بالادست مخزن یا مخازن قرار می‌گیرد و به عبارت دیگر جریانهای آن به مخزن منتهی می‌شود. این معیار با وجود اینکه بیشتر جنبه کیفی دارد، معهذا از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. بطورکلی برای حفاظت مؤثر باید حداقل دو سوم مساحت حوضه آبریز تحت مهار مخزن باشد. [۳۹].

به بیان ساده، گنجایش موردنیاز برای مخزن (برای یک سیلاب ویژه) عبارت است از تفاوت جریان ورودی از جریان خروجی در مدت زمان جاری شدن سیلاب. برای تعیین گنجایش مخزن، ابتدا آبنمود سیلاب طراحی را به مخزن فرضی با گنجایش نامحدود وارد می‌کند و با توجه به یک مقدار تخلیه فرضی، نحوه استهلاک سیل را درمخزن بررسی می‌کنند. به این ترتیب حداکثر میزان ذخیره سیلاب در آن تعیین می‌شود. لذا حجم ذخیره شده سیلاب را معادل با گنجایش مخزن مورد نیاز برای مهار همان سیل تلقی می‌کنند.

اما در عمل ملاحظات ویژه و متعددی وجود دارد که وضعیتی پیچیده و مشکلی را پدید می‌آورد و فرآیند محاسبات را از آن شکل ساده و سهل یاد شده خارج می‌سازد. میزان تخلیه سیلاب از مخزن را نباید دفعتاً و بطور ناگهانی تغییر داد، و از اینرو محاسبات روندیابی سیلاب باید منطبق بر ضوابطی باشد که قبلاً حداکثر تغییرات مجاز در میزان تخلیه را مشخص و معلوم می‌کند. علاوه بر آن، ظرفیت یا قدرت تخلیه مجاری خروجی ممکن است بدان حد نباشد که در شرایطی که هنوز سطح آب دریاچه صعود ننموده و به ترازهای بالا نرسیده است، قادر به عبوردادن حداکثر تخلیه تنظیم شده باشد. دراین‌گونه موارد، لازم است ابتدا یک طرح مقدماتی از سد و مخزن آماده شود تا بدان وسیله بتوان رابطه میان ظرفیت ذخیره‌سازی سد با قدرت تخلیه آن را بدست آورد.

۴-۴ روندیابی سیلاب

۴-۴-۱ مبانی روندیابی

برای روندیابی سیلاب می‌توان از معادله پیوستگی جریان به شرح زیر استفاده نمود:

$$I - O = \frac{dS}{dt} \qquad (۱\text{-}۴)$$

$$\Delta S = S_۲ - S_۱ = \int_{t_۱}^{t_۲} Idt - \int_{t_۱}^{t_۲} Odt \qquad (۲\text{-}۴)$$

در این معادلات I بده جریان ورودی، O بده جریان خروجی، S میزان جریان ذخیره شده و t زمان را معرفی می‌کند. در معادلات روندیابی به فاصله زمانی $t_۱$ تا $t_۲$ زمان تناوب روندیابی (Δt) اطلاق می‌شود. همچنین برای سهولت حل مسئله فرض می‌شود که میانگین بده جریانهای ورودی در زمانهای نظیر $t_۱$ و $t_۲$ برابر است با میانگین بده جریان در طول زمان متناوب. در این صورت معادله پیوستگی جریان بر روندیابی به شرح زیر خواهد شد:

$$\frac{I_۱ + I_۲}{۲} \Delta t - \frac{O_۱ + O_۲}{۲} \Delta t = S_۱ - S_۲ \qquad (۳\text{-}۴)$$

اساس غالب روشهای روندیابی ذخیره‌ای را معادله بالا تشکیل می‌دهد. به این ترتیب در یک روندیابی ذخیره‌ای معلومات مسئله عبارتند از : I_1, I_2, O_1 و S_1 و مجهولات آن O_2 و S_2. از آنجا که تعداد مجهولات در رابطه بالا دو عدد می‌باشد لذا برای حل کامل آن لازم است یک رابطه دیگر بین جریان و ذخیره برقرار گردد. در واقع مشکلات اصلی روندیابی ذخیره‌ای در ارتباط با نحوه برقراری رابطه دوم است.

۲-۴-۴ روندیابی سیلاب در مخازن

از آنجا که روندیابی هیدرولوژیک عبارت است از حل معادله پیوستگی جریان لذا، برای یک سیلاب باید حجم جریان خروجی برابر با حجم جریان ورودی و تغییرات حجم ذخیره باشد.

ساده‌ترین حالت روندیابی جریان در مخزن حالتی است که در آن بده جریان خروجی از مخزن تابع تراز سطح آب در مخزن باشد. چنین مخزنی ممکن است دارای یک سرریز ساده (مهار شده) یا خروجی بدون دریچه (روزنه‌ای) باشد. مخازن مجهز به سرریز یا روزنه دریچه‌دار را می‌توان همانند یک سرریز ساده یا روزنه بدون دریچه تلقی کرد به شرطی که گشودگی دریچه‌ها بهنگام روندیابی تغییر نکند.

معادله بالا را می‌توان به‌صورت زیر نوشت :

$$I_1 + I_2 + \left(\frac{2S_1}{\Delta t} - O_1\right) = \frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 \qquad (۴\text{-}۴)$$

گفته شد که برای حل معادله روندیابی لازم است یک رابطه دیگر برقرار شود. برای این منظور از روابط (منحنی‌های) ارتفاع – حجم و ارتفاع – تخلیه (بده خروجی) استفاده می‌شود. به کمک اطلاعات اخیر رابط (منحنی) $\frac{2S}{\Delta t} + O$ با O برقرار یا ترسیم می‌شود.

شیوه روندیابی در مخازن با سرریز و یا خروجی کنترل شده بستگی به نحوه بهره‌برداری از آن دارد. با استفاده از رابطه اخیر یک معادله عمومی برای این نوع مخازن بدست می‌آید:

$$\frac{I_1 + I_2}{2}\Delta t - \frac{O_1 + O_2}{2}\Delta t - O_R\Delta t = S_2 - S_1 \qquad (۵\text{-}۴)$$

در اینجا O بده خروجی کنترل نشده و O_R بده خروجی تنظیم شده است. در صورتی که مقدار O برابر با صفر شود این معادله روندیابی به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$I\Delta t - O_R\Delta t + S_1 = S_2 \qquad (۶_۴)$$

این معادله به سهولت برای مقادیر مختلف ارتفاع مخزن و S_2 قابل حل است. چنانکه مقدار O صفر نباشد معادله روندیابی چنین خواهد شد:

$$I_1 + I_2 - 2O_R + \left(\frac{2S_1}{\Delta t} - O_1\right) = \left(\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2\right) \qquad (۷_۴)$$

تنها تفاوت معادله اخیر با معادله روندیابی با خروجی کنترل نشده در عامل O_R می‌باشد.

اگر میزان بازشدگی دریچه‌ها ثابت بماند، مقدار بده خروجی تابعی از تراز سطح آب بوده و حل معادله نیازمند برقراری یک‌گروه روابط یا منحنی‌ها $\left(\frac{2S}{\Delta t} + O\right)$ برای گشودگیهای مختلف دریچه است. شیوه روندیابی به استثنای اینکه برای هر مقدارگشودگی دریچه باید از رابطه یا منحنی ذیربط استفاده شود، همانند روش مذکور در بالا است.

۴-۴-۳ مثال

برای یک مخزن فرضی مشخصه‌های آبنمود ورودی در ستون ۲ و ۳ جدول ۴-۲ داده شده است. با فرض اینکه تراز آب در تاج سرریز سد برابر با صفر باشد، رابط بین حجم آب ذخیره شده در مخزن و تراز سطح آب مطابق ستونهای ۲ و ۳ جدول ۴-۱ خواهد شد. هدف طراحی یک سرریز ساده است به‌گونه‌ای که ارتفاع بیشینه آب در تاج سرریز کمتر از ۳ متر باشد.

ابتدا فرض می‌کنیم که طول سرریز ۲۰۰ متر و ضریب آن ۰/۷۵ می‌باشد. بنابراین ظرفیت سرریز $۴۴۳\ H^{۳/۲}$ مترمکعب در ثانیه خواهد شد:

$$Q = \frac{2}{3}\ C_d\sqrt{2g}\ \ bH^{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3}\ \times ۰/۷۵ \times ۴/۴۳ \times ۲۰۰H^{\frac{3}{2}}\ \ m^3s^{-1} \qquad (۸_۴)$$

توجه شود که بده بیشینه ۳۳۰۰ مترمکعب در ثانیه باید با روندیابی سیلاب به ($۴۴۳\times۳^{۳/۲}$) یعنی ۲۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه کاهش پیدا کند.

جدول ۴-۱- مقادیر ارتفاع و حجم و ... برای مخزن

ردیف	ارتفاع (H) (متر)	حجم (V) (میلیون‌مترمکعب)	بده خروجی (O) متر مکعب بر ثانیه	$\frac{۲V}{\Delta t}$ + O متر مکعب بر ثانیه
۱	۰/۵	۴۵	۱۵۶	۲۶۵۶
۲	۱	۹۰	۴۴۳	۵۴۴۳
۳	۱/۵	۱۳۸	۸۱۴	۸۴۸۰
۴	۲	۱۸۸	۱۲۵۳	۱۱۶۹۷
۵	۲/۵	۲۴۳	۱۷۵۱	۱۵۲۵۱
۶	۳	۳۰۰	۲۲۰۲	۱۸۹۶۹

در جدول ۴-۱ گام زمانی (تناوب) روندیابی ۱۰ ساعت در نظر گرفته شده است. با استفاده از معادله رونـدیابی و اطلاعات جدول ۴-۱ محاسبات روندیابی به شرح جدول ۴-۲ انجام گرفته است.

جدول ۴-۲- داده‌ها روندیابی

ستون	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
ردیف	زمان (T)	بده ورودی (I)	$I_۱+I_۲$	بده خروجی (O)	$\frac{۲S}{\Delta t}$ - O	$\frac{۲S}{\Delta t}$+O
۱	۰	۲۰۰	–	۰	۰	۰
۲	۱۰	۹۶۰	۱۱۶۰	۶۸	۱۰۲۴	۱۱۶۰
۳	۲۰	۱۷۲۰	۲۶۸۰	۲۶۳	۳۱۷۶	۳۷۰۴
۴	۳۰	۲۴۸۰	۴۲۰۰	۶۷۹	۶۰۱۸	۷۳۷۶
۵	۴۰	۳۲۴۰	۵۷۲۰	۱۲۵۹	۹۲۲۰	۱۱۷۳۸
۶	۵۰	۲۸۶۰	۶۱۰۰	۱۷۶۱	۱۱۷۹۸	۱۵۳۲۰
۷	۶۰	۲۴۸۰	۵۳۴۰	۲۰۳۱	۱۳۰۷۶	۱۷۱۳۸
۸	۷۰	۲۱۰۰	۴۵۸۰	۲۱۰۷	۱۳۴۴۱	۱۷۶۵۶
۹	۸۰	۱۷۲۰	۲۸۲۰	۲۰۴۹	۱۳۱۶۳	۱۷۲۶۱
۱۰	۹۰	۱۳۴۰	۳۰۶۰	۱۸۹۵	۱۲۴۳۳	۱۶۲۲۳
۱۱	۱۰۰	۹۶۰	۲۳۰۰	۱۶۷۸		۱۴۷۳۳

* $t_۱$ زمان برحسب ساعت و بده برحسب متر مکعب در ثانیه

ملاحظه می‌شود که خروجی بیشینه برابر با ۲۱۰۷ مترمکعب در ثانیه (کوچکتر از ۲۳۰۰ مترمکعب بر ثانیه) و ارتفاع بیشینه بر روی سرریز $H = (\frac{۲۱۰۷}{۴۴۳})^{۲/۳} = ۲/۸۳$ متر است.

۵-۴ ملاحظات بهره‌برداری

با توجه به تفاوت‌هایی که در عملکرد مخازن مهار سیلاب یعنی مخازن ذخیره‌ای و تأخیری وجود دارد، می‌توان گفت که مخازن تأخیری نیاز به برنامه بهره‌برداری یا تخلیه ویژه ندارد. چراکه سیستم خروجی جریان در نوع اخیر ثابت و به صورت خودکار می‌باشد. از سوی دیگر عموماً منافع اقتصادی چنین ایجاب می‌کند که سدهای ذخیره‌ای با اهداف مختلف و به صورت چند منظوره طرح و احداث شوند. در این صورت تنها بخشی از گنجایش مخزن برای مهار سیلاب اختصاص داده می‌شود و از مابقی آن بسته به مورد برای مصارف دیگر از قبیل تأمین آب برای کشاورزی و یا سایر مصارف، تولید انرژی و یا حفظ حداقل بده رودخانه استفاده می‌شود. به این ترتیب در بیشتر موارد تحقق هدف مهار سیلاب منوط به اجرای برنامه بهره‌برداری مطلوب از مخزن خواهد شد.

از آنجا که برنامه‌ریزی بهره‌برداری از مخزن یکی از جنبه‌های اصلی پروژه‌های مهار سیلاب را تشکیل می‌دهد، لذا به مجرد مشخص‌شدن محل مخزن و مقدار ذخیره برای هریک از اهداف، باید مطالعه دقیقی برای رسیدن به مطلوب‌ترین شرایط بهره‌برداری بعمل آید. با وجود این، لازم است توجه شود که به علت طبیعت تصادفی و بختی[1] بودن جریان ورودی به مخزن در عمل امکان تهیه یک برنامه ثابت بهینه وجود ندارد. از این رو استفاده از مدل‌های ریاضی برای بهره‌برداری از مخزن از جمله برنامه‌ریزی پویا یک امر ضروری است. به طورکلی خواه به هنگام تهیه برنامه بهره‌برداری در مرحله طراحی مخزن و سد و خواه به هنگام بهره‌برداری از مخزن پس از اجرای طرح، رعایت نکات زیر می‌تواند منجر به استفاده مطلوب از گنجایش ویژه مخزن برای مهار سیلاب و اهداف دیگر شود:

الف - یک مخزن ویژه مهار سیلاب و تنظیم جریان باید به طریقی بهره‌برداری شود که در پایان فصل سیلاب (یافصل تر) در وضعیت حداکثر ذخیره و در پایان تابستان (فصل خشک) در وضعیت حداقل ذخیره قرار گیرد.

ب - گنجایش و ظرفیتی از مخزن که به مهار سیلاب تخصیص یافته، باید فقط آن قسمت از سیلاب را ذخیره کند که در صورت تخلیه و رها شدن به پائین دست سد، خسارات عمده‌ای پدید می‌آورد. بدین ترتیب بدیهی است چنانچه بتوان میزان تخلیه (مجاز) از سد را بالا برده و افزایش داد، طبعاً گنجایش کمتری برای ذخیره سیلابها مورد نیاز خواهد بود.

پ - تغییر دادن سرعت تخلیه سیلاب از مخزن باید آنچنان انجام گیرد که باعث بروز شرایط بحرانی در پائین دست نگردد. تغییرات جریان رها شده از سد حتی‌المقدور باید به مراتب کمتر از تغییرات آبدهی رودخانه باشد که بیش از احداث سد، وجود داشته است.

1- Stochastic

ت - در عمل شرایط و مواردی پیش می‌آید که منجر به تنزل کارایی بهره‌برداری از سدهای مهار سیلاب می‌شود. برای منظور نمودن شرایط مزبور، معمولاً سرعت تخلیه را کمتر از حداکثر تخلیه مجاز در نظر می‌گیرند و عملاً حدود ۸۰ درصد تخلیه مجاز را در طراحی و برنامه بهره‌برداری منظور می‌کنند. معهذا لازم است به این امر مهم توجه شود که حین اجرای برنامه بهره‌برداری باید کوشید تا از حداکثر قدرت تخلیه مجاز سد و بطور کامل استفاده گردد و از این طریق منافع حاصل از مهار سیل‌ها به حداکثر رسانده شود.

۶-۴ ملاحظات اقتصادی

ملاحظات اقتصادی طرحهای مهار سیلاب با احداث سدهای مخزنی بخشی از مبحث اقتصاد منابع آب بطور عام و جنبه‌ای از تحلیل اقتصادی طرحهای مهار سیلاب را بصورت خاص تشکیل می‌دهد که در اینجا مبانی آن مورد توجه قرار گرفته است.

در این گونه پروژه‌ها نیز همانند سایر کارهای مهار سیلاب دو عامل میزان هزینه و منافع حاصله (کاهش خسارت) مورد بررسی قرار می‌گیرد و حتی‌الامکان نقطه بهینه آن تعیین می‌گردد. طبق معمول طرحهای مهار سیلاب، تعیین وضعیت بهینه با تحلیل فراوانی منافع و خسارات ناشی از آن امکان‌پذیر می‌شود. به عبارت دیگر بدلیل ماهیت احتمالی پدیده سیلاب، باید هزینه‌ها و منافع حاصله نیز به صورت احتمالی مورد توجه قرار گیرد.

عموماً با افزایش دوره برگشت سیل و در نتیجه افزایش حجم مخزن، هزینه‌های سرمایه‌گذاری نیز افزایش پیدا می‌کند. اما خسارات موردانتظار بدلیل حفاظت بیشتر، کاهش پیدا می‌کند. برای تحلیل هزینه‌ها و منافع در پروژه‌های مهار سیلاب با احداث سدهای مخزنی عموماً باید عوامل زیر مورد توجه قرار گیرد:

- ظرفیت ذخیره
- کاهش اوج سیلاب
- هزینه کل پروژه
- هزینه در حجم واحد ذخیره
- ارزش حال[1] سودهای حاصله

بطورکلی حجم مخزن مورد نیاز هر واحد از آبدهی سیل بیشینه با بالارفتن «میزان کاهش خسارت مورد انتظار»، افزایش پیدا می‌کند. در صورتی که فرض شود یک آبنمود به شکل مثلث باشد، لذا ظرفیت ذخیره مورد نیاز برای کاهش یک سیل با بیشینه مشخص، با مجذور کاهش اوج سیل، تغییر می‌کند. بنابراین معمولاً با کاهش بیشتر اوج سیلاب، سود حاصله از یک واحد کاهش اوج کمتر می‌شود. دلیل این امر را می‌توان چنین تبیین کرد که هرچه اوج سیلاب بیشتر کاهش پیدا کند، آن قسمت از اراضی مورد حفاظت قرار می‌گیرد که خسارات وارده به آنها کمتر بوده و

1- Present Worth

به عبارت دیگر حفاظت به حد نهایی[1] نزدیک می‌شود. با وجود اینکه بطور معمول هزینه واحد حجم ذخیره در مخزن با افزایش حجم مخزن، کاهش پیدا می‌کند، لیکن در برخی موارد عکس این موضوع اتفاق می‌افتد.

در شکل ۴-۳ نتایج ترسیمی نحوه بررسی اقتصادی یک پروژه مهار سیلاب با احداث سد مخزنی نشان داده شده است. در این شکل منحنی A تغییرات هزینه واحد حجم ذخیره را با تغییرات ظرفیت ذخیره نشان می‌دهد. منحنی B نیز کاهش اوج سیلاب را نشان می‌دهد که می‌تواند برای ظرفیت‌های مختلف حاصل شود. با استفاده از دو منحنی یاد شده، منحنی C ترسیم شده که هزینه کل پروژه را برای یک مقدار معین کاهش اوج سیلاب نشان می‌دهد. در همان شکل منحنی D تغییرات ارزش حال سودهای حاصله (برآورد شده) از کاهش اوج سیلاب را نشان می‌دهد.

مطالعه شکل مذکور گویای این امر است که شرایط بهینه برای پروژه موردنظر عبارت است از کاهش اوج سیلاب به میزان ۶۰۰۰۰ فوت مکعب بر ثانیه معادل با ظرفیت ذخیره ۲۸۰۰۰۰ ایکرفوت. چراکه در این وضعیت بیشترین سود خالص حاصل می‌شود. باید توجه شود که سرمایه‌گذاری بعد از این نقطه سودهایی را حاصل می‌کند که کمتر از افزایش هزینه‌ها می‌باشد. لذا از دید اقتصادی، توسعه حجم مخزن برای ظرفیت بیشتر از ۲۸۰۰۰۰ ایکر فوت، قابل توجیه نیست.

۴-۷ فهرست مطالعات مخزن

در جدول ۴ـ۳ فهرست و گامهای مطالعات مورد نیاز برای مخزن در طرحهای مهار سیلاب به شیوه احداث مخزن از مرجع [۳۸] آمده است. در این باره چند نکته لازم به توضیح است.

الف - همانطوری که ملاحظه می‌شود، این مطالعات صرفاً مطالعات و طراحی غیر سازه‌ای بخش مخزن از یک طرح مهار سیلاب به شیوه احداث سدهای مخزنی را در برمی‌گیرد. از اینرو به سایر عناوین مطالعات مورد نیاز اعم از مطالعات پایه و تخصصی از قبیل مطالعات هیدرولوژی، هیدرولیک و پهنه‌بندی سیل و... پرداخته نشده است.

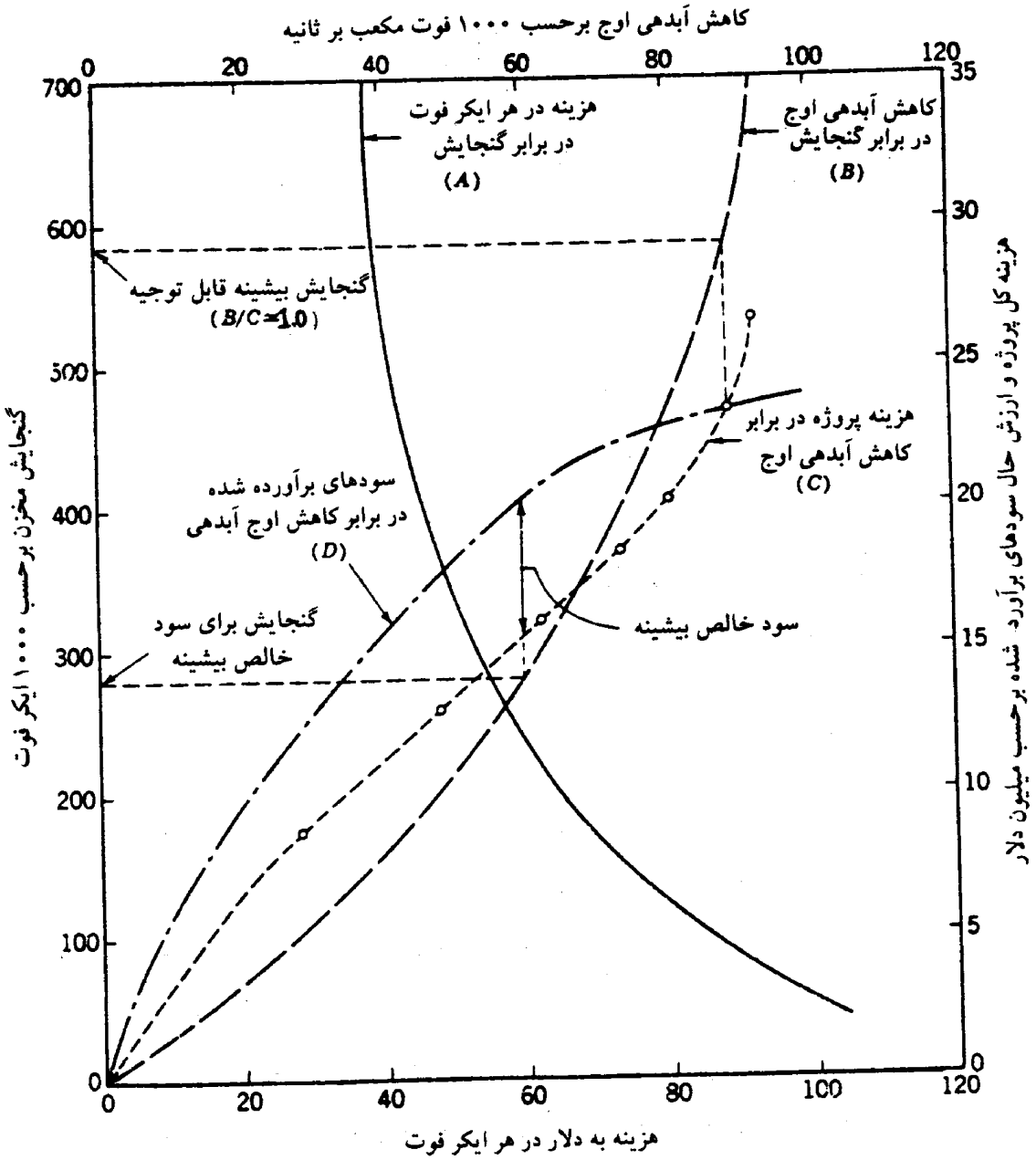
ب - نکته بعدی دیگر نحوه برخورد با موضوع است که خود ناشی از پیشرفتهای به عمل آمده در جنبه‌های مختلف تحلیل رخدادهای سیل و خسارات و... و عملکرد مخزن است. در این رابطه می‌توان با توجه به ماهیت تصادفی رخدادها و منظور کردن عدم قطعیتها در ارزیابی عملکردی و اقتصادی مخزن و بالاخره به شیوه تحلیل اقتصادی طرح براساس خطر اشاره نمود.

پ - توجه به اهمیت شرایط زیست‌محیطی منطقه مورد مطالعه و آثار زیست محیطی اجرای طرح به ویژه در جانمایی مولفه‌های طرح و بهینه کردن عوامل فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی از جمله نکات بارز فهرست یاد شده می‌باشد.

1- Marginal

جدول ۴-۳- فهرست مطالعات مورد نیاز برای مخزن

نوع و اجزاء مطالعه	موضوع
جانمایی طرح	ـ بررسی گزینه‌های ساختگاه سد با توجه به رابطه مساحت حوضه آبریز با ظرفیت مخزن ـ تعیین نواحی حساس حاشیه و محیط آبی رودخانه و سد به لحاظ زیست‌محیطی ـ شناسایی مراکز خسارات و خرابی، مشخص نمودن مناطق توسعه یافته و تعریف کاربری اراضی برای انتخاب ساختگاه ـ تعیین فرصتهای مربوط به همگرایی و همیاری عناصر سیستم با یکدیگر
اقتصاد	ـ تعیین میزان تعدیل تابع فراوانی بده و خسارات سیلاب در پایین‌دست در صورت اجرای پروژه برای شرایط حال و آینده ـ مشخص نمودن میزان عدم قطعیت در تابع فراوانی بده و خسارات سیلاب ـ فرمول‌بندی و ارزیابی دامنه خروجی‌های جریان از سد برای ظرفیتهای متفاوت با استفاده از روش تحلیل خطر.
عملکرد	ـ تعیین احتمال رخدادها در بعد سالانه ـ تعیین احتمال رخدادها در طول عمر طرح ـ توصیف نحوه بهره‌برداری برای دامنه‌ای از رخدادها و تحلیل حساسیت نقاط بحرانی ـ توصیف توالی رخدادهای بیش از ظرفیت طراحی ـ تعیین قابلیت اعتماد برای دامنه رخدادها ـ ارزیابی وضعیت پایداری سد
طراحی	ـ فرمول‌بندی و ارزیابی مقدماتی ترکیب و شکل سرریزها و خروجی‌ها در حالات مختلف ـ تحلیل رسوبگذاری مخزن ـ ارزیابی کلیه اثرات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی پایین‌دست ـ فرمول‌بندی طرح‌های بهره‌برداری مقدماتی مختلف
زیست‌محیطی ـ اجتماعی	ـ ارزیابی شرایط زیست‌محیطی حاشیه رودخانه و سد بعد از اجرای طرح ـ ارزیابی آثار زیست‌محیطی حاشیه و محیط آبی رودخانه و سد، شناسایی فرصتهای بهبود و تقویت آن ـ پیش‌بینی و شناسایی فرصتهای تفریحی ناشی از اجرای طرح



شکل ۴-۳- تحلیل هزینه‌ها برای سدهای مهار سیلاب

۵- محدودسازی سیلاب[1]

محدود کردن جریان سیلاب در یک عرض معین از رودخانه به کمک سازه‌هایی نظیر گوره‌ها[2] و دیواره‌های سیلبند[3] انجام می‌گیرد. این سازه‌ها از پخش شدن و گسترش سیلاب در زمینهای اطراف رودخانه جلوگیری کرده و آن را در یک مسیر و مجرای مشخص و محدود هدایت می‌کند.

ساخت گوره‌ها (خاکریزهای سیلبند) قدیمی‌ترین، رایج‌ترین و نیز یکی از مهمترین روشهای مهار سیلاب از دیرباز تاکنون بوده است. به عنوان مثال از حدود ۴۰۰۰ سال پیش گوره‌هایی در اطراف رودخانهٔ نیل ساخته شده‌اند. سایر رودخانه‌های مهم دنیا نیز مواردی مشابه داشته‌اند.

در گذشته در مسیر تاریخ تمدن بشر، نزاع بین اندیشه‌های مختلف در مورد مزایا و معایب محدود کردن سیلاب در بین گوره‌ها صورت گرفته است . اولین مدارک موجود در مورد چنین نزاع هایی به قرن سوم پیش از میلاد مسیح برمی‌گردد. در آن زمان این باور وجود داشت که محدودسازی به وسیلهٔ گوره‌ها تأثیر معکوس بر رژیم طبیعی رودخانه‌ها داشته و برای خاک نواحی پشت گوره‌ها (در سمت خشکی[4] گوره) زیانبار است و ایجاد شکاف درگوره‌ها در هنگام طغیان که منجر به خطرات جدی و از دست دادن جان انسانها می‌شد، باعث می‌گشت که ساخت گوره را توصیه نکرده و از کوشش برای یافتن سایر راههای جلوگیری از سیل حمایت بعمل آید.

ساخت گوره‌ها در غالب اوقات به وسیله مردمی که در سیلابدشت‌ها زندگی می‌کردند به عنوان یک اقدام حفاظتی اولیه مورد استفاده قرار می‌گرفت. به عبارت دیگر اولین گام در جهت حفاظت سیلاب معمولاً مشتمل بر ساخت گوره‌ها در سیلابدشت بود. اما کوشش برای جلوگیری از گسترش سیلاب (یعنی محدودسازی سیلاب) به عنوان یک فعالیت مهندسی، دربرگیرندهٔ همهٔ کارهای حفاظتی شامل سازه‌های مهار سیلاب، نگهداری مداوم و اصلاحات مورد نیاز، انجام اقدامات لازم برای حفاظت مستقیم از اثرات مخرب سیل و نیز انجام کارهای تخلیه بعد از سیلاب می‌باشد.

همچنین دیواره‌های سیلبند که از مصالح بتنی، سنگی، چوبی و ... ساخته می‌شوند بیشتر برای مناطق شهری یا سایر جاهایی که زمین ارزش زیادی دارد به کار می‌روند. زیرا این دیوارها برعکس گوره‌ها زمین کمتری را اشغال می‌کنند. به هر حال محدودسازی سیلاب به وسیلهٔ انواع گوره‌ها و دیوارهای سیلبند به همراه اقدامات وابسته نظیر نگهداری گوره‌ها، سیل ستیزی[5]، تسهیلات ارتباطی و سایر اقدامات صورت می‌گیرد.

1- Flood Confinement
2- Levees
3- Floodwalls
4- Landside
5- Flood Fighting

نظر به اینکه کاربردگوره‌ها بسیار گسترده‌تر از دیوارهای سیلبند می‌باشد، ابتدا به طور مفصل به بررسی محدودسازی سیلاب به وسیلهٔ گوره پرداخته و نکات طراحی، ساخت و نگهداری آن تشریح می‌گردد. سپس در انتها به معرفی و بررسی دیوارهای سیلبند پرداخته می‌شود.

۵-۱ گوره

گوره، بند خاکی کوتاهی است که در فواصل مختلف از کناره دو طرف رودخانه و در امتداد آن ساخته می‌شود تا به عنوان کناره‌های مصنوعی، در دوره‌های سیلابی که آب رودخانه از کناره‌های طبیعی خود بیرون می‌رود، زمین‌های اطراف رودخانه را از آب‌گرفتگی محافظت نماید. این روش از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روشهای مهار سیلاب می‌باشد و اصولاً در مناطقی که ارزش اقتصادی زمینهای اطراف رودخانه کمتر باشد توصیه می‌گردد زیرا عرض بستر انتخابی برای پای‌گوره زیاد است. هزینه ایجادگوره‌ها در اغلب اوقات نسبت به سایر راههای مهار سیلاب ارزانتر و نیز قابلیت اطمینان آن بیشتر است. این روش از جمله عمومی‌ترین و اقتصادی‌ترین روشها به ویژه در رودخانه‌های بزرگ بوده و در مواردی تنها راه‌حل می‌باشد (شکل ۵-۱).

مقاطع عرضی گوره‌ها از نقطه‌نظر طراحی عموماً شبیه به مقاطع عرضی سدهای خاکی بوده، اما مبانی طراحی آنها به دلایل زیر کمی متفاوت می‌باشد که عبارتند از:

- گوره‌ها در دو طرف رودخانه، فقط چند روز یا حداکثر چند هفته در طول سال (در هنگام وقوع سیل) با آب در تماس می‌باشند. در حالیکه سدهای خاکی بیشتر اوقات سال با آب در تماس هستند. این بدان معنی است که از نظر طراحی، مسألهٔ تراوش[1] و رگاب[2] درگوره‌ها کم‌اهمیت‌تر از سدهای خاکی است.
- محل استقرارگوره‌ها براساس نیازهای مهار سیلاب مشخص می‌شوند و این امر بدون توجه به شرایط مناسب و یا نامناسب شالوده خواهد بود. گاهی می‌توان برای دوری جستن از وضعیت نامطلوب شالوده، محل استقرارگوره‌ها را به مقدار جزئی (در صورت وجود فضای کافی) جابجا کرد. اما اغلب اوقات، محدودیت ایجاب می‌کند که از زمین نامناسب استفاده کرده و به جای تغییر در محل استقرارگوره‌ها، طراحی گوره را تغییر داده و یا در صورت امکان خاک شالوده را تقویت کرد.
- مصالحی که از آنها برای احداث گوره استفاده می‌شود از منابع قرضهٔ نزدیک به محل احداث فراهم می‌گردد. زیرا حجم عظیمی از مصالح برای خاکریزی و احداث گوره‌ها مورد نیاز است که تهیهٔ آن از محلی به غیر از مجاورت گوره‌ها غیراقتصادی می‌باشد. در حالیکه برای احداث سدهای خاکی مصالح، با دانه‌بندی و مشخصات مکانیکی خاص مورد نیاز است که در صورت لزوم حتی از فواصل نسبتاً دور نیز باید تأمین گردد.

1- Seepage 2- Piping

برای طراحی گوره باید تحقیق و بررسیهای لازم از جمله بررسیهای صحرایی، مطالعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک، بررسی منابع قرضه و مصالح ساختمانی، مطالعات مربوط به پایداری و تراوش و نیز مطالعات ریخت‌شناسی و هیدرولیکی به منظور شناخت نحوهٔ تغییرات رودخانه و رخداد فرسایش و چگونگی جریان آب در داخل رودخانه و سواحل اطراف صورت گیرد. سپس با توجه به مسایل ایمنی و اقتصادی و درجهٔ اهمیت طرح، بده[1] سیلاب طراحی انتخاب می‌شود. با استفاده از این بده و با توجه به روشهای مختلف تهیهٔ نیمرخ طولی سطح آب، برحسب فاصلهٔ گوره‌های دو طرف رودخانه از یکدیگر، تراز سطح آب در رودخانه به دست می‌آید. با افزودن ارتفاع آزاد و اضافه ارتفاع[2] ناشی از جریان در پیچ و درنظرگرفتن عوامل محتمل دیگر، ارتفاع نهایی گوره به دست می‌آید. با معلوم بودن این ارتفاع و با توجه به بررسی‌ها و مطالعات مورد نیاز که در بالا به آنها اشاره شد، اجزاء اصلی گوره طراحی می‌شود.

۵-۱-۱ عوامل مهم در طراحی گوره‌ها:

عواملی که باید در طراحی گوره‌ها درنظر گرفته شوند از پروژه‌ای به پروژهٔ دیگر برحسب شرایط ویژهٔ محل تغییر می‌کند، که اهم آنها عبارتند از:

- دیواره‌های گوره‌ها نظیر دیگر سازه‌های خاکی دراثر سرریز کردن در معرض تخریب و گسیختگی قرار می‌گیرند لذا محاسبهٔ ارتفاع مورد نیاز از اهمیت زیادی برخوردار است.
- ایجادگوره‌ها باعث افزایش سطح آب در بالادست و نیز افزایش سرعت و آبشستگی در محدودهٔ طرح و افزایش بده بیشینه[3] سیل در پایین‌دست نسبت به شرایط بدون‌گوره می‌شود.
- شیروانی گوره‌ها به علت فرسایش شدید ناشی از سرعت زیاد جریان به ویژه در محل پیچها نیاز به اقدامات حفاظتی با روشهای مناسب دارند.
- طراحی، بویژه برای گوره‌های با ارتفاع زیاد (بیش از ۳ متر)، باید آنچنان باشد که از پایداری شیبها و ایمنی کافی در مقابل شکست ناشی از زه یا رگاب در بدنه و شالوده اطمینان حاصل شود.
- گوره‌های با ارتفاع بیش از ۴ یا ۵ متر نیاز به تحلیل دقیق پایداری شیروانی و شالوده دارند. پایداری گوره به مقدار زیادی بستگی به شیب شیروانی گوره و جنس مصالح و تراز سیلاب دارد.
- مصالح خاکی بکار رفته درگوره بر طراحی آن اثر زیادی دارد. معمولاً مصالح از قرضه‌های نزدیک گوره و در سمت رودخانه[4] تأمین می‌گردد. لذا گاهی به دلایل فنی، اقتصادی و غیره استفاده از مصالح ضعیف اجتناب ناپذیر است که باید در طراحی، تمهیدات لازم درنظر گرفته شود.

1- Discharge
2- Super Elevation
3- Maximum Discharge
4- Riverside

- مسیرگوره معمولاً از موقعیت و وضعیت زمینها و تأسیسات متابعت می‌کند تا آنها حفظ شوند. اما باید محدوده‌ای کافی بین‌گوره‌ها برای طغیان سیل منظور شود تا تراز سیل به طور قابل توجهی بالا نیاید. زیرا در چنین حالتی بر اثر شکست‌گوره، خطر برای سیلابدشت بدتر از حالتی است که‌گوره وجود ندارد.
- دیواره‌های‌گوره مانع از زهکشی اراضی پشت خود می‌شوند از اینرو نیاز به اقدامات خاص به منظور تخلیه و هدایت آبهای اضافی و همچنین تخلیهٔ آبراهه‌های فرعی به رودخانه دارند (گروه مهندسین ارتش آمریکا [1]). [۱۴].
- مساحت زیادی از اراضی در حد فاصل‌گوره‌های دو سمت رودخانه تصرف شده و از امکان بهره‌برداری خارج می‌گردد. در اینصورت لازم است با تحلیل و بررسی اقتصادی، عرض بهینهٔ رودخانه را تعیین نمود. البته‌گاهی شرایط توپوگرافی و یا مسایل اجتماعی محدودکننده هستند.
- عامل مهم دیگر در طراحی‌گوره، روشی است که برای ساخت به کار می‌رود که عبارت از ساخت متراکم، نیمه‌متراکم، نامتراکم و هیدرولیکی می‌باشد. کاربری و ارزش زمین نیز بر انتخاب مقطع‌گوره تأثیر می‌گذارد. در نواحی پرارزش، زمینهای پراستفاده و شرایط خوب شالوده،گوره‌ها با تراکم خوب و شیبهای نسبتاً تند ساخته می‌شوند. در نواحی با ارزش کمتر، شالوده ضعیف، یا بارندگی زیاد در طول فصل ساخت، مقاطع نامتراکم یا نیمه‌متراکم با شیب شیروانی ملایم‌تر ساخته می‌شوند.

۵-۱-۲ مشخصه‌های اصلی‌گوره

۵-۱-۲-۱ راستای [2]گوره

اگر مسیر رودخانه مستقیم بوده و شرایط محلی اجازه دهد،گوره را می‌توان در فواصل مساوی در دو طرف رودخانه ساخت. اما معمولاً رودخانه‌ها پیچ و خم‌دار بوده و مناسب نیست که مسیرگوره از پیچ و خم‌های رودخانه تبعیت کند. ازاین‌روگوره باید تا آنجاکه ممکن است مستقیم و بدون پیچهای تند باشد به طوری‌که کمربندی [3]ازگوره در دو طرف رودخانه ایجاد شود (مطابق شکل ۵-۱). پهنای سرتاسری این کمربند، کم و بیش باید در سرتاسر طول رودخانه ثابت بماند. تغییر راستای‌گوره باید توسط انحناهای با شعاع زیاد صورت گیرد. عوامل مهمی که در تعیین راستای گوره مؤثرند عبارتند از:

الف - توپوگرافی : نحوهٔ استفاده از عوارض طبیعی حاشیهٔ رودخانه در محدودهٔ طرح، یکی از عوامل اصلی و مهم در انتخاب مسیرهای مختلف در گزینه‌ها می‌باشد. به این صورت که با عبور مسیرگوره بر روی زمینهای بلند حاشیهٔ رودخانه سعی می‌شود تا حتی‌الامکان حجم خاکریزی‌ها کاهش یابد. همین‌طور از استفادهٔ باتلاقها و دیگر گودیها برای محل استقرارگوره‌ها حتی‌الامکان باید پرهیز کرد.

1- U.S. Army Corps of Engineers (1978) 2- Alignment

3- Belt

ب - فاصلهٔ گوره‌ها : هر چه گوره‌ها به هم نزدیک‌تر باشند سطح مقطع عرضی کمتری برای عبور جریان وجود داشته و باعث بالا رفتن تراز سطح آب هنگام وقوع سیلاب خواهد شد. این موضوع منجر به ازدیاد ارتفاع گوره‌ها می‌شود. (شکل ۵ـ۲).

پ - مسیرسازی[1] (هدایت مسیر) : مسیرسازی به گونه‌های مختلف، باعث کم شدن طول مسیر رودخانه و در نتیجه کاهش طول گوره می‌شود. همچنین کوتاه‌تر شدن مسیر گوره‌ها خصوصاً در مناطقی که رودخانه دارای پیچ و خم زیاد و شاخه‌های غیرمفید می‌باشد، به دلیل حذف پیچ و خمها و شاخه‌های غیرمفید، می‌تواند هزینه‌های تثبیت رودخانه را کاهش دهد. با کم‌شدن طول رودخانه، شیب و در نتیجه سرعت افزایش یافته و تراز سیلاب و نتیجتاً ارتفاع گوره‌ها نیز کاهش می‌یابد.

ت - حریم و بستر قانونی، وجود روستاها و دیگر تأسیسات در حاشیهٔ رودخانه، از دیگر نکاتی است که مسیر گوره‌ها را مشخص می‌کند. درجهٔ اهمیت این موارد می‌تواند موجب انتخاب مسیرهای مختلف برای گوره‌ها گردد.

۵-۱-۲-۲ فاصله و ارتفاع گوره‌ها

همان بده‌ای که بین گوره‌های بلند و دارای فاصلهٔ کم از کناره رودخانه، عبور می‌کند، بین گوره‌های کوتاه با فاصلهٔ زیاد از کناره نیز عبور می‌کند (شکل ۵-۲)، ازاین‌رو فاصله و در نتیجه ارتفاع گوره‌ها به عوامل زیر بستگی دارد:

- اقتصاد: از نظر هزینهٔ اجرا،گوره‌های کوتاه ارزانتر ساخته می‌شوند. این موضوع نه تنها به علت حجم کمتری است که برای مصالح به‌کار می‌رود بلکه به این دلیل است که رقوم بلند و مرتفع برای ساخت خاکریزها، هزینهٔ بیشتری درپی دارد. چون هم حجم عملیات و هم ضرایب هزینهٔ کار در ارتفاع، افزایش می‌یابد. موقعیت صحیح برای جانمایی گوره‌ها از نظر اقتصادی آنست که جمع هزینهٔ گوره و ارزش (قیمت) زمینهای احیاء نشده (محافظت نشده) بین گوره‌ها را حداقل سازد.
- ایمنی: شکست گوره نه تنها به علت سرریز شدن آب ناشی از یک سیل استثنایی می‌باشد بلکه می‌تواند مربوط به مسایل فنی نیز باشد. از آنجا که توجه به مسایل ایمنی با ملاحظات اقتصادی جوردرنمی‌آید لذا باید یک طرح بهینه قبل از اتخاذ تصمیم نهایی تهیه گردد که در آن یک خطر[2] معقول پذیرفته شده باشد.
- هیدرولیک : برای یک بده معین، تراز آب در قسمت گوره‌بندی شده از دیگر قسمتها بلندتر خواهد بود. از این‌رو باعث پس‌زدن آب در بالادست آن قسمت می‌شود. بنابراین عمق آب محاسبه شده باید در تعیین ارتفاع گوره درنظر گرفته شده و ملاحظات کافی در مورد نیمرخ طولی پس‌زدگی آب در بالادست اعمال شود.
- ارتفاع آزاد[3]: ارتفاع گوره در بالای تراز بیشینه سطح آب، ارتفاع آزاد نامیده می‌شود. ارتفاع نهایی گوره با اضافه کردن ارتفاع آزاد به تراز بیشینه طراحی حاصل می‌شود.

1- Canalization

2- Risk

3- Free Board (F.B.)

معمولاً برای انتخاب فاصله بهینه بین گوره‌ها، گزینه‌های مختلف در نظر گرفته می‌شوند و براساس محاسبات هیدرولیکی، ارتفاع گوره‌ها تعیین و سپس هزینه‌ها برآورد می‌گردد. با مقایسه کردن بین گزینه‌ها، گزینه دارای هزینه کمتر انتخاب می‌گردد.

نکتهٔ بسیار مهم در رابطه با فاصله و ارتفاع گوره‌ها آن است که ادامهٔ شیب جانبی گوره نباید بستر رودخانه را قطع کند. همچنین برای اطمینان از حفاظت گوره‌ها در مقابل پیشروی و تخریب دیواره‌های رودخانه‌های بزرگ، حداقل فاصلهٔ پنجهٔ گوره از لبهٔ رودخانه (یا منابع قرضه) ۱۲ متر می‌باشد. [۱۴].

۵-۱-۲-۳ ارتفاع آزاد

فاصله بین تاج گوره و تراز بیشینه آب در سیلاب طرح، ارتفاع آزاد نامیده می‌شود. این ارتفاع اضافی برای اطمینان در مقابل سیلابهای بزرگتر از سیلاب طرح بوده و گوره را در مقابل امواج سیل محافظت می‌کند.
ارتفاع آزاد، اضافه ارتفاع گوره را برای عواملی که نمی‌توانند به‌طور مستدل و دقیق در محاسبات نیمرخ طولی سطح آب آورده شوند تأمین می‌کند و باید عواملی مثل ارتفاع ناشی از باد و موج، مسألهٔ نشست، اضافه ارتفاع ناشی از جریان آب در خم‌ها و امکان تخریب سطح فوقانی گوره را درنظر گرفت.

قسمت فوقانی خاکریز به اندازهٔ ۰/۴ تا ۲ متر بسته به جریان آب و امواج سطحی باید از تراز سطح آب بالاتر باشد. در بعضی از کتابها این ارتفاع اضافی را به اندازهٔ ۰/۵ تا ۱/۵ متر درنظر می‌گیرند (پاول پیتر، ۱۹۸۲)[1]. [۱۳].
حداقل مجاز ارتفاع آزاد معمولاً ۰/۶ متر برای گوره‌های واقع در زمینهای کشاورزی و ۱ متر برای گوره‌های واقع در نواحی شهری درنظر گرفته می‌شود (پترسن، ۱۹۸۶)[2]. [۳۳].

به هر حال حداقل ارتفاع آزاد برای گوره باید ۰/۵ متر باشد. همچنین باید توجه ویژه‌ای در انتخاب ارتفاع آزاد در جایی که سرعتها فوق بحرانی هستند، در نظر گرفته شود.

۵-۱-۲-۴ نشست

- در تعیین ارتفاع نهایی گوره، نشستی راکه بعد از تکمیل خاکریز و پدیده تحکیم روی می‌دهد باید منظور کرد. این نشست نهایی بستگی به خصوصیات مصالح، درجهٔ اشباع، روش اجرای گوره، ارتفاع گوره، نوع شالوده و باربری خاک شالوده دارد. کمیسیون رودخانهٔ می‌سی‌سی‌پی برای جبران نشست، اضافه ارتفاع به میزان ۱۵ درصد برای

1- Pavol Peter (1982)

2- Petersen , M . S . (1986)

کار کردن با اسکریپر، ۲۰ درصد برای کار کردن با واگن و ۲۵ درصد برای کار کردن با دراگ لاین و سایر ماشین‌آلات حفاری را لازم می‌داند، اما معتقد است گوره‌ای که خوب ساخته شده باشد تا این اندازه نشست نخواهد کرد.

- گروه مهندسین ارتش آمریکا اضافه ارتفاع لازم را برای مقابله با کاهش ناشی از نشست، بسته به نوع خاک برای خاکریزهای متراکم از ۰ تا ۵درصد، خاکریزهای نیمه‌متراکم ۵ تا ۱۰ درصد، خاکریزهای نامتراکم ۱۵درصد و ۵ تا ۱۰ درصد برای خاکریزی به روش هیدرولیکی درنظر می‌گیرد. چون باید ارتفاع‌گوره بعد از نشست، حداقل تا ارتفاع از قبل تعیین شده باشد، پس بهتر است که مقدار بیشینه نشست در محاسبات منظور شود.

۵-۱-۲-۵ ارتفاع نهایی گوره

ارتفاع نهایی‌گوره (H_t) را می‌توان با توجه به رابطهٔ زیر تعیین کرد:

$$H_t = h + F.B. \qquad (۱-۵)$$

$$F.B. = \Delta h + h_s + h_w + F.B._{min} \qquad (۲-۵)$$

h - ارتفاع تراز سطح آب در بدهٔ سیلاب طرح است که از محاسبهٔ نیمرخ طولی سطح آب بدست می‌آید،

F . B . - ارتفاع آزاد،

Δh - اضافه ارتفاع تراز سطح آب ناشی از جریان در پیچ (دیوارهٔ خارجی پیچ)،

hs - ارتفاع مربوط به نشست تاج‌گوره (کاهش رقوم تاج‌گوره)،

hw - ارتفاع ناشی از موج و باد، که برای آبراه‌ها و مسیرهای باریک این ارتفاع در ارتفاع آزاد گنجانده شده است و برای آبراه‌ها و رودخانه‌های پهن و جاهایی که احتمال امواج بزرگ وجود دارد باید جداگانه ارزیابی شود،

$F.B._{min}$ - حداقل ارتفاع آزاد مورد نیاز،

۵-۱-۲-۶ شیب شیروانی

- شیب شیروانی‌گوره از مهمترین اجزاء طراحی است که به خصوصیات مواد و مصالح تشکیل‌دهندهٔ‌گوره، روش اجرا و مدت زمان احتمال قرارگیری‌گوره در مقابل جریان سیلاب بستگی دارد.
- یک شیب جانبی ۱:۲ تندترین شیبی است که امکان انجام عملیات سنگ‌چینی را برای حفاظت ازگوره با استفاده از ماشین‌آلات فراهم‌کرده و همچنین تندترین شیبی است که پایداری پوشش سنگی را مطمئن می‌سازد. یک شیب جانبی ۱:۲/۵ تندترین شیبی است که روی آن حرکت ماشین‌آلات مطابق قواعد و به طور مناسب صورت می‌گیرد (پترسن، ۱۹۸۶). [۳۳].

- برای شیب‌گوره‌های بلند تحلیل پایداری خاک مورد نیاز است. معمولاً برای‌گوره‌هایی که ارتفاع آنها از ۴ تا ۵ متر تجاوز نمی‌کند و هیچ مشکل خاصی در مورد شالوده آنها وجود ندارد، شیب سمت رودخانه ۱:۳ تـا ۱:۳/۵ و شیب سمت خشکی ۱:۲ تا ۱:۲/۵ توصیه شده است. روی‌گوره‌های بلند، شیب مطابق شکـل (۵-۳) بـا یک پله[1] (سکو) شکسته می‌شود که باعث افزایش پایداری شیروانی‌ها شده و از فرسایش خاک ناشی از جریان آب سطحی حاصل از بارش مستقیم جلوگیری می‌کند (کینوری و موواراش، ۱۹۸۴). [۲۷].

۵-۱-۲-۷ شیب طولی

شیب طولی‌گوره براساس ارتفاع حداکثر سطح آب در طول مسیر رودخانه برای سیلاب طرح بـدست مـی‌آید. در مواردی که اطلاعات اندازه‌گیری در دسترس نمی‌باشد ارتفاع اشل مربوط به بده بیشینه طراحی که در نقاط مختلف رودخانه برآورد شده است را باید بکار برد. با نبودن این اطلاعات، شیب طولی‌گوره را برابر شیب‌کف رودخـانه انتخاب می‌کنند. اشکال‌کلی این انتخاب آن است‌که شیب سطح آب در یک رودخانهٔ در حال طغیان بیشتر از شیب کف و در هنگام فروکش کردن سیل کمتر از شیب‌کف می‌باشد و لذا شیب‌کف به عنوان یک شیب متوسط می‌تواند مورد قبول قرار گیرد مگراینکه تنگ‌شدگی‌های غیرقابل احترازی در مسیر، موجب انباشته شدن آب در بـالادست گردد.

۵-۱-۲-۸ تاج‌گوره

پهنای تاج‌گوره با توجه به حداقل عرض مورد نیاز براساس ضرورتهای دوره اجرا مانند انتخاب نوع ماشین‌آلات اجرایی، نیازهای دوره نگهداری و تعمیرات بویژه در زمان رخداد سیل انتخاب می‌شود. پهنای تاج‌گوره اساساً به میزان تردد روی آن بستگی دارد. به طورکلی این پهنای تاج در حدود ۲/۵ متر تا ۵ متر می‌باشد که غالباً ۳ مـتر انتخاب می‌شود زیرا پهنای ۳ متر به قدرکافی بزرگ است که بتوانـد تـرددهای سـبک را عـبور دهـد (کـینوری و موور اش،۱۹۸۴). [۲۷].

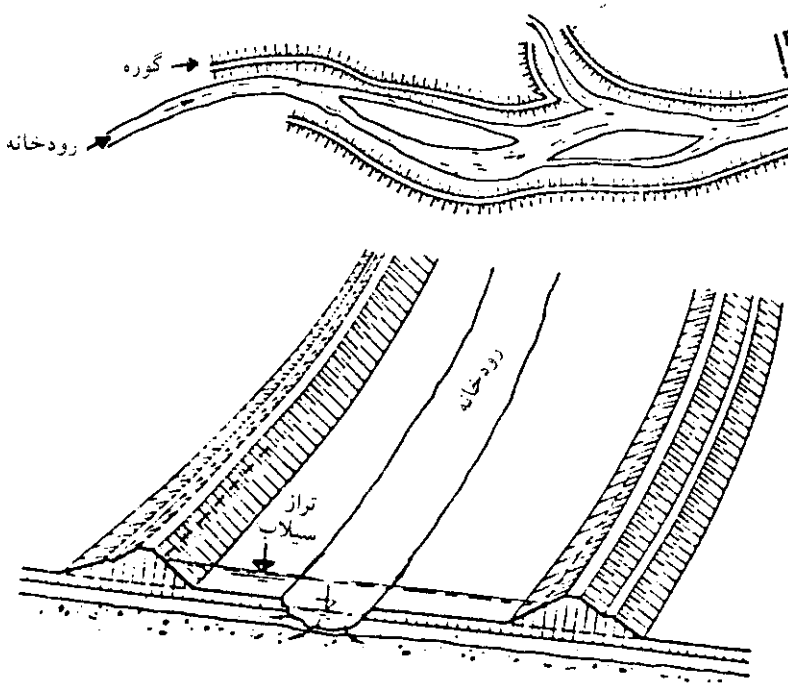
معمولاً حداقل پهنای ۳ تا ۴ متر برای عرض تاج بکار می‌رود. برای عبور و چرخش، گاه‌به‌گاه مکانهایی پهن‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که جاده‌های عمومی از روی تاج‌گوره عبورکند پهنای عریض‌تری برای تاج مورد نیاز است (پترسن، ۱۹۸۶). [۳۳].

از پهنای تاج هنگام طغیان رودخانه برای عبور و مرور و مهار اضطراری سیل (سیل ستیزی) استفاده می‌شود.

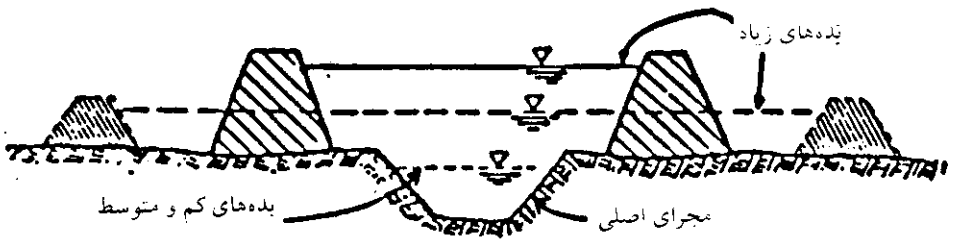
1- Berm

۵-۱-۳ انواع گوره‌ها

گوره‌ها عموماً برحسب نوع زمینهای مورد حفاظت (شهری، صنعتی وکشاورزی) و یا برحسب نوع کاربرد یا هدف (شاخهٔ اصلی، شاخهٔ فرعی،گورهٔ حلقوی[1]،گوره پشتیبان[2]،زیرگوره[3] وگوره آبشکن[4]) و یا برحسب روش ساخت آنها (کاملاً متراکم، نیمه‌متراکم، نامتراکم و هیدرولیکی) و یا برحسب شکل مقطع عرضی طبقه‌بندی می‌شوند. [۳۳].

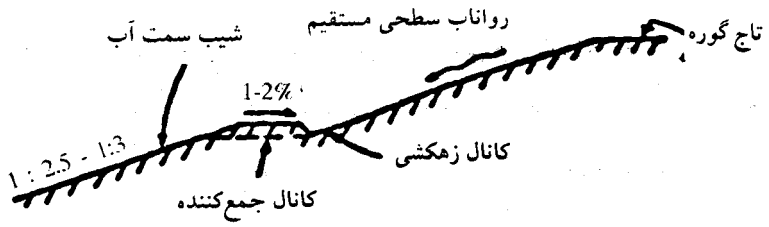


شکل ۵-۱- پلان و مقاطع عرضی رودخانه وگوره



شکل ۵-۲- تناسب بین فاصله و ارتفاع گوره‌ها در یک بده معین

1- Ring Levee
2- Set Back Levee
3- Sub Levee
4- Spur Levee



شکل ۵-۳- پله در روی گوره بلند

۵-۱-۳-۱ انواع گوره برحسب نوع کاربرد

- چنانچه گوره در امتداد شاخه اصلی رودخانه ایجاد شود آن را شاخه اصلی گوره و چنانچه در امتداد شاخه فرعی ایجاد شود آن را شاخه فرعی گروه می‌نامند.
- گوره حلقوی دور تا دور یک ناحیهٔ در معرض سیل‌گرفتگی ایجاد شده و آن را کاملاً از همهٔ جهات احاطه می‌کند.
- گوره پشتیبان در سمت غیر رودخانه‌ای گوره‌های موجود که شکافته شده‌اند و یا به وسیلهٔ فرسایش ناشی از جریان آب تهدید می‌شوند، در مجاورت گوره اصلی ساخته می‌شود.
- زیرگوره با هدف مهار زه تحتانی و جلوگیری از پدیده جوشش ماسه[1]، ناحیه‌ای در پشت یک گوره اصلی را احاطه می‌کند (به صورت خاکریز تقویتی در پشت گورهٔ اصلی بکار می‌رود).
- گوره آبشکن به صورت پیش‌آمدگی از یک شاخهٔ اصلی گوره به سمت ساحل رودخانه امتداد یافته و با انحراف جریان از بدنه گوره به سمت داخل رودخانه، مانند یک آبشکن، گوره اصلی را محافظت می‌کند (شکل ۵ـ۴).

۵-۱-۳-۲ انواع گوره برحسب محل کاربرد

گوره‌ها برحسب نوع زمینها و تأسیسات مورد حفاظت نیز طبقه‌بندی می‌شوند. طراحی گوره در داخل مناطق شهری و صنعتی به نحوی متفاوت از گوره در زمینهای کشاورزی است، زیرا املاک مورد حفاظت در مناطق شهری و صنعتی خیلی بیشتر ارزش داشته و در صورت تخریب ممکن است تلفات جانی دربر داشته باشد. به همین دلیل گوره‌های نواحی شهری و صنعتی دارای خاکریزهای متراکم بوده و تمهیدات ایمنی و پایداری در آنها با دقت بیشتر صورت می‌گیرد.

1- Sand Boil

۵-۱-۳-۳ انواع گوره از نظر ساخت

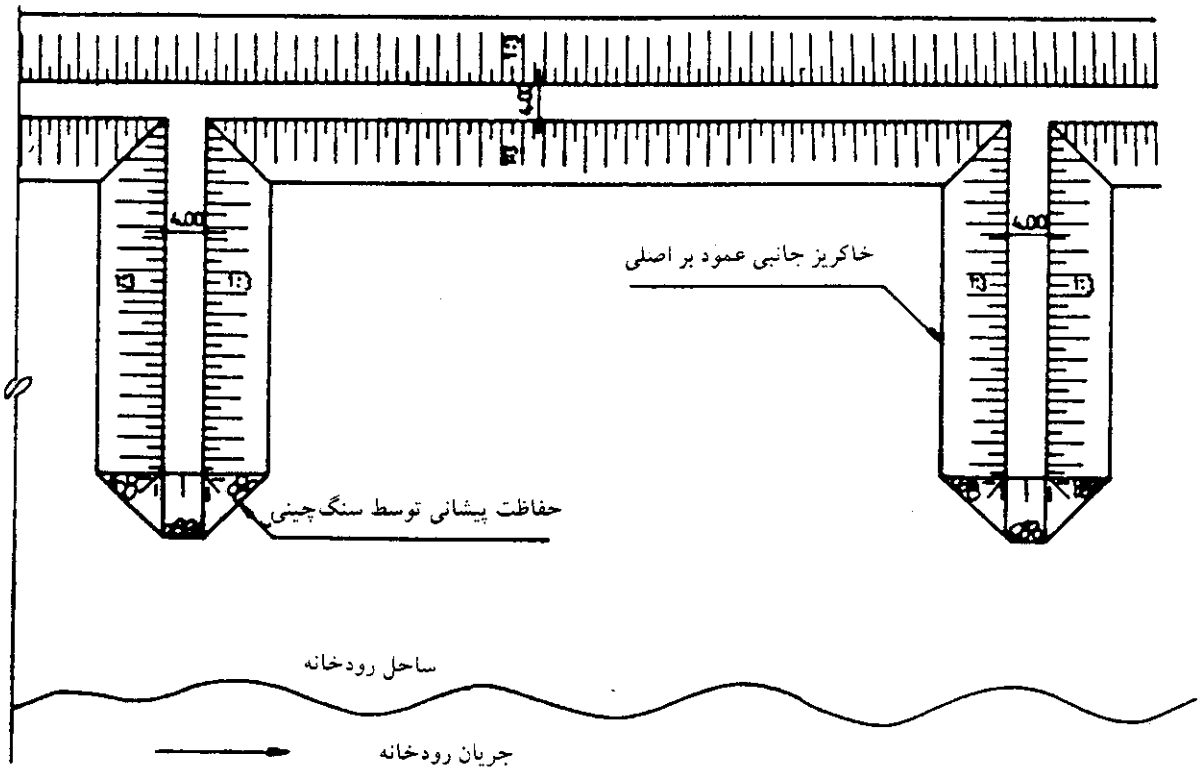
گوره‌ها بر اساس روش ساخت به صورت متراکم، نیمه متراکم، نامتراکم و هیدرولیکی طبقه‌بندی می‌گردند. در مورد ساخت گوره‌ها در ادامه به تفصیل بحث خواهد شد.

۵-۱-۳-۴ انواع گوره برحسب ترکیب مصالح مقطع عرضی

ـ گوره‌های همگن [1] از خاکهای با نفوذپذیری کم ساخته شده و ترجیحاً وقتی به کار می‌روند که روی خاک یا سنگ نفوذناپذیر ساخته شوند. البته در عمل اکثر گوره‌ها به صورت همگن ساخته می‌شوند (شکل ۵ـ۵).

ـ گوره‌های ناهمگن [2] که مقطع عرضی آنها از چند نوع خاک مختلف تشکیل می‌گردد و معمولاً خاک ریزدانه نقش مهار تراوش و آب‌بندی را ایفا می‌کند. (شکل ۵ـ۶)

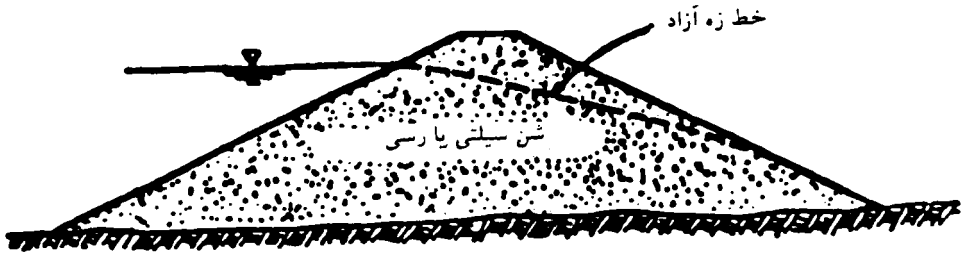
ـ گوره پوشش‌دار دارای مقطع عرضی همگن یا ناهمگن بوده و در روی شیروانی سمت رودخانه‌ای آنها پوشش مناسب برای جلوگیری از فرسایش و آبشستگی ایجاد می‌گردد. (شکل ۵ـ۷).



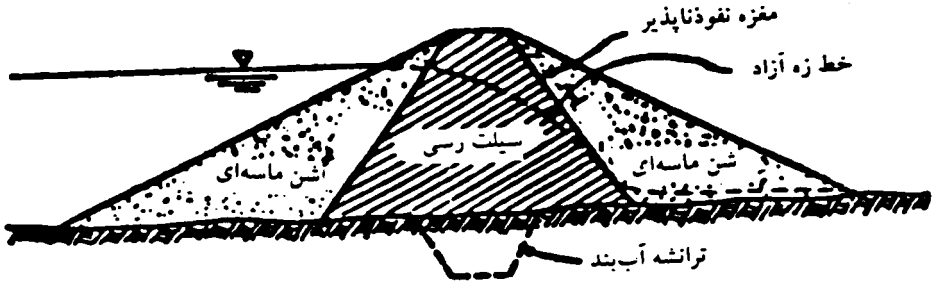
شکل ۵-۴- جانمایی گوره‌های آبشکن در ساحل رودخانه

1- Homogeneous

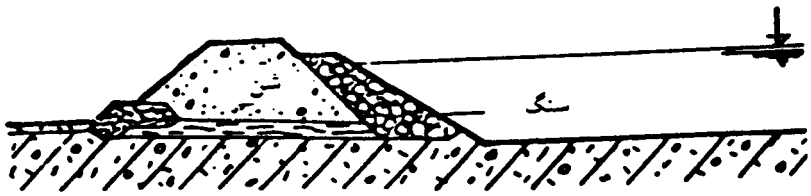
2- Heterogeneous



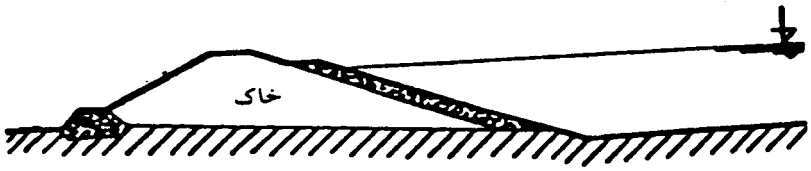
شکل ۵-۵- نمونه یک گوره همگن



شکل ۵-۶- نمونه یک گوره ناهمگن



الف - استفاده از پوشش سنگی درشت دانه برای حفاظت گوره



ب - استفاده از پوشش سنگی ریزدانه برای حفاظت گوره

شکل ۵-۷- چند نوع گوره همگن با پوششهای محافظ مختلف

۵-۱-۴ روشهای ساخت

گوره‌ها را می‌توان به صورتهای متراکم، نیمه‌متراکم، نامتراکم و هیدرولیکی اجراکرد (جدول ۵-۱). تمام مقطع عرضی یک‌گوره ضرورتاً با یک روش ساخته نمی‌شود. هستهٔ مرکزی ممکن است کاملاًمتراکم یا نیمه‌متراکم باشد و خاکریز پوسته نیمه‌متراکم یا نامتراکم باشد. کاربری زمین محل احداث نیز بر انتخاب روش ساخت و در نتیجه مقطع عرضی گوره‌ها تأثیر می‌گذارد. در نواحی پرارزش، زمینهای پراستفاده و شرایط مناسب شالوده،گوره‌ها با تراکم خوب و شیب شیروانی نسبتاً تند ساخته می‌شوند. در نواحی کم‌ارزش، زمینهای کم‌استفاده و شرایط نامناسب شالوده (شالوده ضعیف) و نیز در حالتی که در دورهٔ اجرا طرح بارندگی زیاد باشد،گوره‌ها با مقاطع نیمه‌متراکم یا نامتراکم و با شیب شیروانی نسبتاً کند ساخته می‌شوند. خاکریزهای هیدرولیکی به وسیلهٔ مصالح بدست آمده از لایروبی رودخانه‌ها یا کانالها ساخته می‌شوند و معمولاً دارای شیب شیروانی خیلی ملایم با فضای مورد نیاز خیلی زیاد می‌باشند. باید توجه داشت که‌گوره‌های با مقاطع باریکتر و شیب شیروانی تندتر (گوره‌های متراکم) اغلب به کاوشها و بررسیهای کاملتر نسبت به‌گوره‌های با مقاطع پهن‌تر و شیبهای کندتر (گوره‌های نیمه‌متراکم، نامتراکم و یا هیدرولیکی) نیاز دارند.
گوره‌ها با وسایل گوناگون از چرخ دستی گرفته تا انواع ماشین‌آلات پیشرفته نظیر دراگ لاین، لایروب هیدرولیکی، لودر،بولدوزر و غیره ساخته می‌شوند.

۵-۱-۵ منابع قرضه و مصالح ساختمانی

حجم زیادی از مصالح برای احداث‌گوره‌ها موردنیاز است که تهیهٔ آن ازمحلی به غیر از محدودهٔ‌گورهٔ در حال ساخت، غیراقتصادی است (بجز در موارد استثنایی). مصالح آبرفتی استخراج شده از بستر رودخانه غالباً برای این کار مناسب می‌باشد. محلهای قرضه بهتر است در سمت رودخانه‌ای[1]گوره باشد زیراعلاوه بر نزدیک بودن به محل احداث آن ، به ظرفیت عبور سیل نیز می‌افزاید. قرضه‌های سمت خشکی[2]گوره ممکن است منجر به تشدید پدیدهٔ تراوش و رگاب از زیرگوره‌شده و به ماندابی شدن آب در پشت‌گوره کمک کند. گودالهای قرضه با طول زیاد و پهنا و عمق کم به علت فاصلهٔ حمل کم و حداقل اثرات منفی زیست محیطی، مطلوب می‌باشند.

چالهای مورد نیاز قرضه نباید بلافاصله بعدازگوره قرار داشته باشند. زیراعلاوه برسست شدن شالوده پنجهٔ‌گوره، امکان ایجاد پدیدهٔ رگاب در زیرگوره وجود دارد. بهترین فاصله باید حدود ۵ تا ۱۰ برابر تراز بیشینه آب در مجاورت‌گوره و در هر حال نباید کمتر از ارتفاع‌گوره باشد (کینوری و موواراش، ۱۹۸۴). [۲۷]. این فاصله حدود ۱۲ متر گزارش شده است (گروه مهندسین ارتش آمریکا به نقل از پترسن، ۱۹۸۶).

1- River Side

2- Land Side

جدول ۵-۱- روشهای ساخت‌گوره (پترسن، ۱۹۸۶ به نقل از گروه مهندسین ارتش آمریکا، ۱۹۷۸) [۳۳].

نوع خاکریز	شرح	ملاحظات
متراکم	تعیین : - میزان رطوبت موجود با توجه به مقدار بهینه رطوبت طبق شرایط استاندارد - ضخامت خاک سست قابل برداشت - وسایل تراکم (غلتکهای پاچه‌بزی یا چرخ لاستیکی) - تعداد مرتبه عبور برای بدست‌آوردن درصد تراکم موردنظر مبتنی بر چگالی بیشینه استاندارد	- مقطع خاکریز حداقل فضا را اشغال کرده و دارای تراکم‌پذیری کم می‌باشد (چنانکه در مجاورت سازه‌های بتنی یا راههای اصلی روی تاج‌گوره مورد نیاز است) - احتیاج به شالوده قوی با تراکم‌پذیری کم دارد و مصالح خاکریز دارای رطوبت طبیعی که بطور معقول نزدیک به حدود رطوبت مورد نیاز باشد.
نیمه متراکم	- متراکم‌کردن با رطوبت طبیعی موجود (بدون هیچگونه وارسی رطوبت موجود) - با لایه‌هایی ضخیم‌تر از لایه‌های خاکریز در حالت متراکم (حدود ۳۰ سانتیمتر) - متراکم شده بوسیله حرکات کنترل شده تجهیزات هل‌دهنده و پخش‌کننده یا بوسیله تعداد عبور کمی از غلطک‌ها - تراکم ارزیابی شده مربوط به آزمایش تراکم ۱۵ ضربه‌ای	- معمولترین نوع سازه در جایی بکار رفته است که : هیچ محدودیت جدی از نظر فاصله وجود ندارد و خاکریز متراکم مورد نیاز نیست. شالوده‌های نسبتاً ضعیف نمی‌توانند خاکریز متراکم شده را تحمل کنند. - در شرایط زه‌تحتانی نیاز به یک خاکریز با قاعده پهن‌تر از حالت ساخت متراکم می‌باشد. - آب موجود در مصالح یا ریزش باران در طول فصل اجرا ساخت متراکم را توجیه نمی‌کنند.
نامتراکم	خاکریز درجا در لایه‌های ضخیم با مقداری کم و یا بدون پخش و تراکم، ریخته و انباشته می شود.	- خاکریز رویهم ریخته و انباشته شده، ابتدا برای کارهای اضطراری بکار می‌رود. هر دو روش برای ساخت سکو* بکار می‌رود.
هیدرولیکی	خاکریز از نوع هیدرولیکی بوده و بوسیله مصالح لایروبی ساخته می‌شود که اغلب از حفر کانال یا رودخانه بدست می‌آید.	- خاکریز به روش هیدرولیکی در بعضی حالات بکار می‌رود تا بدنه اصلی گوره‌ای ساخته شود که منجر به شیب شیروانی خیلی ملایم با فضای مورد نیاز خیلی زیاد می‌شود.

* Berm

به علاوه گذرگاه‌های دست نخوردهٔ طبیعی در فواصل بین محلهای قرضه جاگذاشته می‌شوند تا دسترسی را ممکن سازند و از امکان ایجاد جریان در مجاورت ساحل در محلهای قرضه که باعث فرسایش پنجهٔ گوره می‌شود جلوگیری به عمل آورند (شکل ۵-۸).

استفاده از مصالح ضعیف موجود در مجاورت گوره درمواردی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. عملاً طرح مقطع گوره بستگی به مصالح بکار رفته در آن داشته و لذا تحت تأثیر نزدیکی به مصالح خاصی قرار می‌گیرد. خصوصیات خاکهای مناسب برای گوره‌ها و طبقه‌بندی آنها درجدول (۵-۲) ذکر گردیده است.

۵-۱-۶ نکات مهم اجرایی

گوره‌ها، مانند سازه‌های خاکی دیگر، باید روی شالوده با خاک مرغوب ساخته شوند. این موضوع همیشه امکان‌پذیر نیست لذا باید اقدامهای مناسبی برای جلوگیری از پدیدهٔ رگاب در زیر خاکریز بکار رود. یک اقدام خوب مهندسی آن است که لایهٔ فوقانی شالوده را صاف و پاک کرده و آن را از گیاه، ریشه‌ها، علفهای هرز، قلوه‌سنگ‌های بزرگ، خاک سطحی و مواد آلی پاک سازیم. عمق این لایه باید برحسب موقعیت محل و نوع خاک تعیین شود. سطح شالوده نیز باید شیار زده شود تا اتصال بهتری بین شالوده و بدنهٔ گوره ایجاد شود. وقتی که گوره‌ها از میان باتلاقها، لجنزارها و نهرهای آب بگذرند که موادکف آنها نرم و ریزدانه و دارای مواد آلی زیاد باشد هزینهٔ جابجایی خاکهای شالوده ضعیف قابل توجیه نیست به ویژه اگر گوره کوتاه باشد. در چنین حالتی باید خاک را بر روی شالوده به صورت پیش‌رونده تخلیه کرد به طوریکه وزن خاکریز، خاکهای سست شالوده را جابجا کند. خاکریز باید با یک لبهٔ هادی به شکل V جلو برود تا مواد نرم به دو طرف جابجا شود. این نوع خاکریزها اساساً غیرمتراکم است.

درگوره‌های از نوع متراکم، خاکریزی باید در لایه‌های ۲۵ تا ۳۰ سانتیمتری پخش شده ودر رطوبت بهینه با غلتکهای مناسب کوبیده شود. خاکهای چسبنده زمان طولانی برای رسیدن به تحکیم نهایی احتیاج دارند. از این رو در تعیین ارتفاع آزاد اولیهٔ آنها این موضوع باید مدنظر قرار گیرد. در شالوده‌های نامناسب، اگر سرعت ساخت خاکریز بیش از سرعت زهکشی مصالح شالوده باشد می‌توان گوره را در بیش از یک مرحله ساخت. در آن صورت قبل از مرحلهٔ نهایی ساخت، تغییر شکلها به حداقل می‌رسد زیرا خاک شالوده و بدنه نشست لازم راکرده و تحکیم یافته است.

در جایی که مصالح قرضه دارای نفوذپذیری متفاوت باشند، باید مصالح نفوذپذیرتر در سمت خشکی و مصالح نفوذناپذیرتر در سمت رودخانه گوره بکار روند. همچنین باید مصالح نامرغوب در داخل بدنهٔ گوره و مصالح مرغوبتر در روی بدنهٔ گوره بکار روند . بیشتر گوره‌ها به علت اجرای نادرست و نه به علت مصالح نامرغوب خراب شده‌اند و بنابراین بیشترین مراقبت باید در اجرا به عمل آید تاگوره‌ای هر چه بهتر بامصالح موجود بدست آید.

جدول ۵-۲- طبقه‌بندی انواع خاکها (U.S.B.R) [۱۵]

نـــام گروههای خاک	گروه‌خاک	اولویت برای خاکریز همگن	خواص مهم فیزیکی			کارآیی به‌عنوان مصالح
			نفوذپذیری	مقاومت برشی	تراکم‌پذیری	
شن بادانه‌بندی مناسب،مخلوط شن و ماسه، با ریزدانه ناچیز	GW	–	نفوذپذیر	عالی	ناچیز	عالی
شن با دانه‌بندی نامناسب، مخلوط شن و ماسه، با ریزدانه ناچیز	GP	–	خیلی‌نفوذپذیر	خوب	ناچیز	خوب
شن لای‌دار، مخلوطی از شن و ماسه و لای با دانه‌بندی نامناسب	GM	۲	نیمه‌نفوذپذیر تا نفوذپذیر	خوب	ناچیز	خوب
شن رس‌دار، مخلوطی از شن و ماسه و رس با دانه‌بندی نامناسب	GC	۱	نفوذناپذیر	خوب‌تامتوسط	خیلی کم	خوب
ماسه با دانه‌بندی مناسب، ماسه شن‌دار، با ریزدانه ناچیز	SW	–	نفوذپذیر	عالی	ناچیز	عالی
ماسه با دانه‌بندی نامناسب، ماسه شن‌دار، با ریزدانه ناچیز	SP	–	نفوذپذیر	خوب	خیلی کم	متوسط
ماسه لای‌دار، مخلوط ماسه و لای با دانه‌بندی نامناسب	SM	۴	نیمه‌نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	خوب	کم	متوسط
ماسه رس‌دار، مخلوط ماسه و رس با دانه‌بندی نامناسب	SC	۳	نفوذناپذیر	خوب‌تامتوسط	کم	خوب
لای‌های غیرآلی، ماسه‌های خیلی ریز، آرد سنگ، ماسه‌های ریز لای‌دار و رس‌دار با پلاستیسیته کم	ML	۶	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	متوسط	متوسط	متوسط
رس‌های غیرآلی با پلاستیسیته کم تا متوسط، رسهای شن‌دار، رسهای ماسه‌دار،رسهای‌لای‌دار،رسهای‌ضعیف	CL	۵	نفوذناپذیر	متوسط	متوسط	خوب تا متوسط
لای‌های آلی، رس و لای آلی با پلاستیسیته کم	OL	۸	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	ضعیف	متوسط	متوسط
لای‌های غیرآلی،ماسه‌های‌ریزمیکایی یا دیاتومه‌ای یا خاکهای لای‌دار، لای‌های الاستیک	MH	۹	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	متوسط تا ضعیف	بالا	ضعیف
رس‌دارهای‌غیر آلی‌باپلاستیسیته‌بالا، رس‌های چرب	CH	۷	نفوذناپذیر	ضعیف	بالا	ضعیف
رس‌های آلی، با پلاستیسیته متوسط تا زیاد	OH	۱۰	نفوذناپذیر	ضعیف	بالا	ضعیف
خاکهای مردابی و تمام خاکهای کاملاً آلی	PT	–	–	–	–	–

۵-۱-۷ اقدامات اساسی برای جلوگیری از تخریب گوره‌ها

عوامل اصلی تخریب و شکست گوره‌ها عبارتند از:

- سرریزکردن[1] آب از روی گوره در حالت سیلابی
- فرسایش سطحی شیروانی گوره ناشی از جریان آب، برخورد امواج، بارندگی و غیره
- تراوش و رگاب در خاکریز و شالوده گوره
- لغزش و گسیختگی شیروانی خاکریز و شالوده
- تخریب گوره به وسیله حیوانات و انسان

قبل از ارائه راه‌حل برای عوامل مخرب فوق اشاره می‌شود که عدم دقت در رعایت نکات فنی مربوط به مکانیک خاک، ژئوتکنیک، مصالح و نحوهٔ اجرا منجر به تخریب بسیاری از گوره‌ها شده است.

۵-۱-۷-۱ بزرگسازی گوره[2]

ارتفاع ناکافی یکی از علل اساسی خراب شدن گوره‌ها می‌باشد. برای جلوگیری از جاری شدن آب از روی تاج گوره (سرریز شدن آب) و شستن بخشی از آن، ارتفاع گوره را باید افزایش داد یا اینکه شیروانی‌های جانبی و تاج گوره باید با مصالح دیگری تقویت شده تا از تخریب گوره جلوگیری شود. همچنین نشستهای غیرقابل انتظاری ممکن است در بعضی از نقاط اتفاق بیفتد که تاج گوره را پائین‌تر از ارتفاع مقرر بیاورد و لازم باشد که خاک بیشتری به گوره اضافه شود تا ارتفاع آن افزایش یابد. روشهای مختلفی برای بزرگسازی اضطراری[3] گوره وجود دارد. مثلاً ایجاد یک خاکریز اضطراری دربالای تاج گوره و یا انباشتن کیسه‌های شن وخاک برروی تاج و یا بکاربردن تیرهای چوبی و کیسه‌های شنی و گاهی نیز تیرهای چوبی با خاکریزی در میان آن از جملهٔ این روشها می‌باشد (شکل ۵-۹).

در این روشها بیشتر سعی می‌شود برای سرعت عمل و سهولت اجرا از خاک شیروانی سمت خشکی گوره استفاده گردد. در مواقعی که حالت اضطراری کمتر باشد دو روش اساسی برای بزرگسازی عبارت از بزرگسازی گوره با خاک و بزرگسازی گوره به کمک دیوارهای سیلبند می‌باشد. بزرگسازی گوره با خاک را می‌توان در سمت رودخانه، سمت زمین و یا در هر دو سمت انجام داد. دیوارهای سیلبند نیز با شکلهای مختلفی بر بالای تاج گوره نصب می‌شوند بویژه مواقعی که فضای کافی برای بزرگسازی با خاک وجود ندارد. شکل (۵-۱۰) روشهای بزرگسازی با خاک و شکل (۵-۱۱) روشهای بزرگسازی با دیوارهای سیلبند را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است از جمله مواقعی که بزرگسازی به کمک دیوارهای سیلبند ضرورت می‌یابد آن است که فضای کافی بر روی زمین برای بزرگتر کردن گوره با خاک وجود نداشته باشد.

1- Overtopping

2- Levee Enlargment

3- Emergency Enlargement

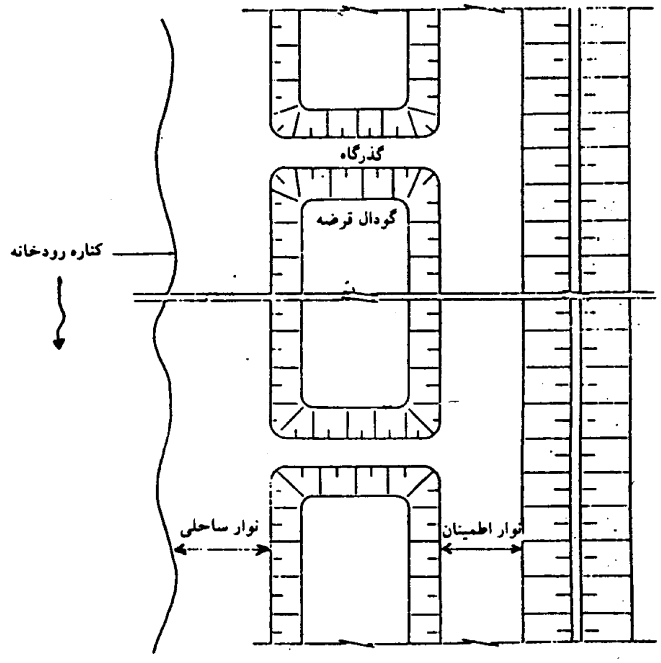
۵-۱-۷-۲ مهار فرسایش و حفاظت شیروانی گوره

شیروانی گوره در اثر جریان آب، برخورد امواج و دیگر عوامل مخرب در معرض فرسایش و تخریب قرار می‌گیرد. این موضوع در شیروانی گوره‌های واقع در مواضع بحرانی با سرعت زیاد و سمت خارجی پیچها و در مجاورت سازه‌های نزدیک یا متقاطع باگوره بیشتر پدیدار می‌گردد. در هر کجا که انتظار آبشستگی[1] و یا فرسایش توسط این عوامل می‌رود، حفاظت لازم در مقابل آن باید در اجرای گوره و شیروانی آن منظور گردد و اگر در بخشی از شیروانی گوره فرسایش رخ داد لازم است اقداماتی برای جلوگیری از تخریب آن به عمل آید. علاوه بر حفاظت شیروانی گوره، حفاظت پنجه و ساحل مجاورگوره نیز باید در صورت لزوم مدنظر قرار گیرد. زیرا اگر ساحل مجاورگوره در معرض فرسایش و تخریب قرار گیرد، به سمت گوره پیشروی کرده و باعث فرسایش پنجهٔ گوره یا از زیر خالی شدن گوره (پدیدهٔ غارکنی[2]) می‌شود. اگر سیلاب در مدت کوتاه و یا با سرعت کم در مجاورت گوره باشد پوشش گیاهی می‌تواند حفاظت کافی در مقابل فرسایش ایجاد کند. اما در هنگام وقوع سیلابهای شدید و درازمدت و یا اگرگوره بر روی کناره بالایی[3] رودخانه (بلافاصله در کنار رودخانه) قرار گرفته باشد و یا اینکه شیروانی گوره قسمتی از کناره آبراه اصلی را تشکیل دهد، در آن صورت انواع پوششهای[4] حفاظتی نظیر پوشش سنگریز یا سنگچین، پوشش تورسنگی، پوشش کیسه‌ای، پوشش بتنی، پوشش خاک سیمان، انواع روکشها[5] و سایر روشهای حفاظت ضروری است. پوشش‌های یاد شده تحت عنوان روشهای حفاظت مستقیم مطرح می‌باشد. در مواردی نیز برای مهار فرسایش و حفاظت شیروانی گوره، از روشهای غیرمستقیم نظیر آبشکنها[6] استفاده می‌شود. شکلهای (۵-۵) و (۵-۱۱) چند نوع پوشش برای حفاظت شیروانی گوره در مقابل فرسایش را نشان می‌دهد.

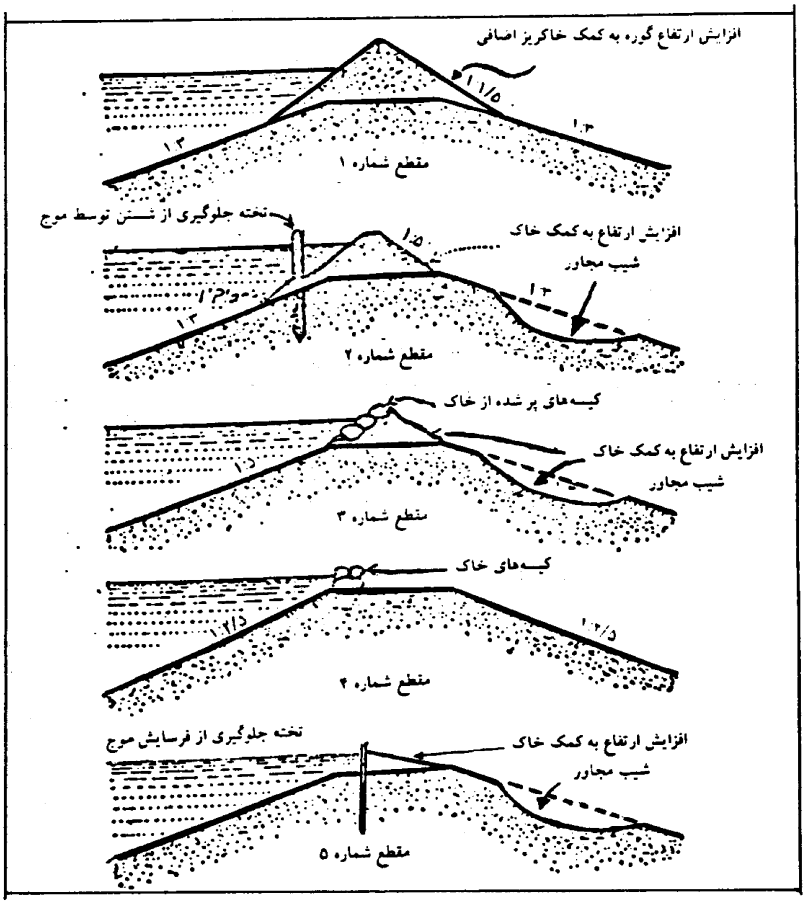
۵-۱-۷-۳ مهار تراوش و رگاب

شیروانی گوره‌ها در سمت رودخانه، تنها در مدت کوتاهی از چند روز تا چند هفته (در زمان وقوع سیل) در تماس با آب می‌باشد، درست بر خلاف سد خاکی که در بیشتر اوقات با آب در تماس می‌باشد. این بدان معنی است که مسئلهٔ تراوش و رگاب درگوره‌ها کم‌اهمیت‌تر از سدهای خاکی می‌باشد و اجرای تمهیدات لازم برای کاهش تراوش و رگاب در داخل بدنه و زیرگوره نسبتاً ساده‌تر است. اما در مواقعی که مدت سیل طولانی باشد و یا نواحی تحت حفاظت خیلی مهم و یا مسئلهٔ تراوش خطرآفرین باشد باید روشهای مهار تراوش را بکار برد. مهار تراوش شامل دو مقولهٔ اساسی است: یکی آب‌بندی است که مانع از نفوذ و نشت آب از داخل بدنه یا زیرگوره می‌شود و دیگری زهکشی است که آب نفوذ کرده به داخل بدنه یا شالوده را جمع‌آوری کرده و خطرات آن را کاهش می‌دهد.

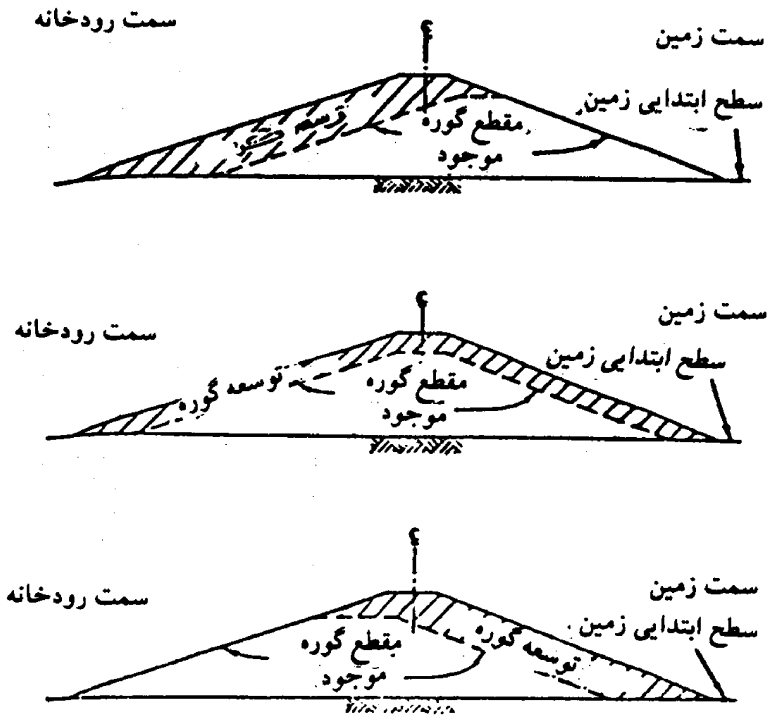
1- Scouring
2- Caving
3- Upper Bank
4- Revetments
5- Mattress
6- Groyne, Groin, Spurdike



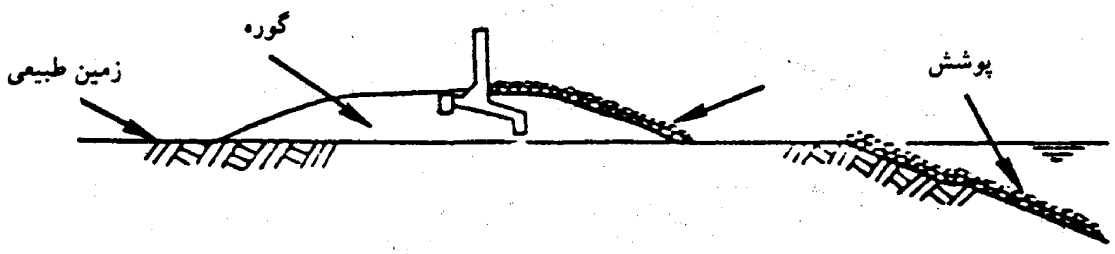
شکل ۵-۸ - محل قرضه در حاشیه رودخانه



شکل ۵-۹- بزرگسازی اضطراری گوره



شکل ۵-۱۰ - بزرگسازی گوره با خاک



شکل ۵-۱۱- بزرگسازی گوره به وسیله دیوارهای سیلبند بتنی و حفاظت شیب گوره و ساحل مجاور در مقابل فرسایش

زه تحتانی [1] در شالوده نفوذپذیر زیرگوره‌ها ممکن است منجر به ایجاد فشار هیدرواستاتیک اضافی در زیر یک لایهٔ نفوذناپذیر فوقانی در سمت خشکی‌گوره و یا منجر به پدیدهٔ جوشش ماسه [2] و یا رگاب در زیرگوره بشود مگر اینکه اقدامات مهار تراوش انجام گیرد. اقدامات اساسی برای مهار تراوش در شکل (۵-۱۲) نشان داده شده است(گروه مهندسین ارتش آمریکا، ۱۹۷۸). [۱۴].

اگر زه عبوری از بدنهٔ خاکریزگوره از شیروانی سمت زمین خاکریز بیرون بیاید، ممکن است منجر به پدیدهٔ پوسته‌ای‌شدن [3] یا ایجاد رگاب بشود. پس باید اقدامات ویژه‌ای برای زهکشی در مقطع عرضی‌گوره نظیر زهکشهای افقی یا مورب و یا زهکش پنجه‌ای انجام داد.

۵-۱-۷-۴ نگهداری گوره‌ها

گوره‌ها باید مرتب بازرسی شده و در همهٔ اوقات خوب نگهداری شوند. در جایی که آب و هوا اجازه دهد یک پوشش گیاهی مناسب باید بر روی شیروانی‌های خاکریز ایجاد شود و نواحی فرسوده باید تعمیر شده و سریعاً پر شوند. پوشش گیاهی روی‌گوره یا سکوهای زه [4] باید برای هدف زیبایی خوب نگهداری شود. اما بوته‌های وحشی و علفهای هرز که ممکن است برای‌گوره خطر داشته باشد باید کنده و حذف شوند. همهٔ سوراخها و پناهگاههای حیوانات کوچک باید با مصالح مناسب و متراکم در طول فصل خشک پر شوند.

یک علت رایج خرابی‌گوره، ریزش مصالح شیروانی سمت خشکی‌گوره ناشی از اشباع خاک یا شسته شدن ذرات ریزدانه توسط رگاب می‌باشد. ابتدا پدیدهٔ پوسته‌ای شدن و سپس لغزش شیب اتفاق می‌افتد و تا آن حد پیش می‌رود که فشار آب یک شکاف ایجادکرده‌که معمولاً غیر قابل مهار است. لغزش معمولاً به علت اجرای ضعیف است و برای مهار آن اگر در مراحل اولیه باشد، کانالهای کوچکی در قسمت پایین شیروانی‌گوره و به صورت افقی در جهت طولی آن در فواصل ۰/۶ تا ۲ متری برای خارج کردن آب تراوشی حفر می‌شود. حفر این کانالها به طرف بالای شیروانی گوره تا محل مورد نیاز ادامه می‌یابد. اگر اقدامات بیشتری لازم باشد، شیب را با تنهٔ درختان به صورت موازی شیب شیروانی‌گوره با بوته پوشانده و برای اینکه پایداری بیشتری به پوستهٔ سطحی داده شود، کیسه‌های خاک به فواصلی روی پوشش قرار داده می‌شود. روش دیگر، ریختن خاک روی شیروانی سمت رودخانه‌ای‌گوره می‌باشد. این خاک باعث پر کردن ترکها و سوراخها و کاهش میزان تراوش خواهد گردید.

1- Under Seepage
2- Sand Boil
3- Sloughing
4- Seepage Berm

هنگامی که یک شکاف درگوره به وجود آید، سریعاً تحت عمل جریان تند آب عریض و عمیق شده و بستن آن اگر غیرممکن نباشد، خیلی مشکل و پرخرج است. در عمل باید صبر کرد تا سیلاب فروکش کرده و سپس یک‌گورهٔ جدید دور تا دور محدودهٔ شکاف در پشت‌گورهٔ قدیمی و چسبیده به آن ساخته شود که به آن‌گوره پشتیبان گویند. اگر گوره نسبتاً کوتاه بوده و شکاف خیلی عریض نباشد و شالوده از خاک خوبی که به راحتی فرسایش نیابد تشکیل شده باشد، شکاف را هنگامی که آب رودخانه نیز زیاد است می‌توان بست. روش متداول عبارت از ساختن دیوارهٔ شمعی باز[1] در اطراف شکاف، ایجاد پوشش کف توسط کیسه‌های خاک یا مصالح دیگر برای جلوگیری از فرسایش و پر کردن فضای بین دیواره‌ها با خاشاک یا کیسه‌های خاک می‌باشد. در صورت استفاده از کیسه‌های خاک برای این منظور، ابتدا باید عمیق‌ترین قسمت دیواره‌ها پرشده و پرکردن به صورت افقی به طرف بالاادامه یابد تا بدین ترتیب تدریجاً از سرعت جریان آب کاسته شده و بدون فرسایش بیشتر شکاف بسته شود.

گوره‌های جدید به بازرسی مداوم و نگهداری عمومی قابل توجهی نیاز دارند، تا اینکه نشست‌گوره تمام شده و دیواره‌های آن توسط پوشش خوب گیاهی یا دیگر پوششهای مناسب حفاظت شود. بارشهای سنگینی که روی شیروانی‌های سست فرود می‌آید ممکن است موجب فرسایش عمیق خاک گشته و فرسایش خندقی[2] ایجاد کند که در این صورت احتیاج به تعمیر دارد. نگهداری اساسی‌گوره مربوط به زمان طغیان می‌باشد که باید با بزرگسازی‌گوره و تقویت شیروانی‌ها در نقاط بحرانی، مشکل را برطرف کرد.

۵-۱-۸ جاده‌های دسترسی[3] و شیبراه‌ها[4] (شیبهای دسترسی)

جاده‌های دسترسی بر دو نوعند: یکی جاده‌های دسترسی به‌گوره و دیگری جاده‌های دسترسی در روی تاج‌گوره. همهٔ جاده‌های دسترسی از هر دو نوع باید در فواصل نزدیک و مناسب برای بازرسی، نگهداری و سیل‌ستیزی ایجاد گردند. باید دقت کرد که سطح این جاده‌ها از مصالحی پوشیده شود که در هنگام طغیان سیل و یا بارندگیهای شدید، مشکلی برای عبور و مرور و بازرسی پیش نیاید. در روی تاج‌گوره باید جاهایی عریض درنظر گرفته شود تا اینکه دو وسیلهٔ نقلیه بتوانند روی جادهٔ دسترسی یک طرفه عبور کنند. این ایستگاه[5] (مشابه پارکینگ کنار جاده) برای این است که یک وسیلهٔ نقلیه بایستد تا وسیلهٔ نقلیهٔ دیگر بدون برخورد عبور کند. فواصل بین این ایستگاهها حدود ۸۰۰ متر می‌باشد، به شرط آنکه شیبراه در آن قسمتها وجود نداشته باشد. موقعیت دقیق این ایستگاهها بستگی به عواملی نظیر فاصلهٔ محوطه کارگاه، خصوصیت جاده، راستای‌گوره و علایق و نیازهای محلی دارد. همچنین باید محلهایی برای

1- Open Pile Dike
2- Gully
3- Access Road
4- Ramps
5- Turn Out

دور زدن[1] در روی تاج گوره و نیز انتهای همهٔ جاده‌های دسترسی به وجود آید. شکل (۵-۱۳) دو محل مورد یاد شده را نشان می‌دهد. همچنین شیبراه‌هایی نیز وجود دارند که توسط آنها دسترسی به تاج گوره امکان‌پذیر می‌شود. این شیبراه‌ها ممکن است در دو طرف گوره قرار بگیرند. شیبراه‌های گوره در سمت خشکی برای اتصال جاده‌های دسترسی روی گوره به جاده‌های دسترسی به گوره است. در مواردی نیز شیبراه در سمت رودخانه‌ای گوره برای مقاصد خاصی ایجاد می‌شود.

۵-۱-۹ تأسیسات جنبی و متقاطع

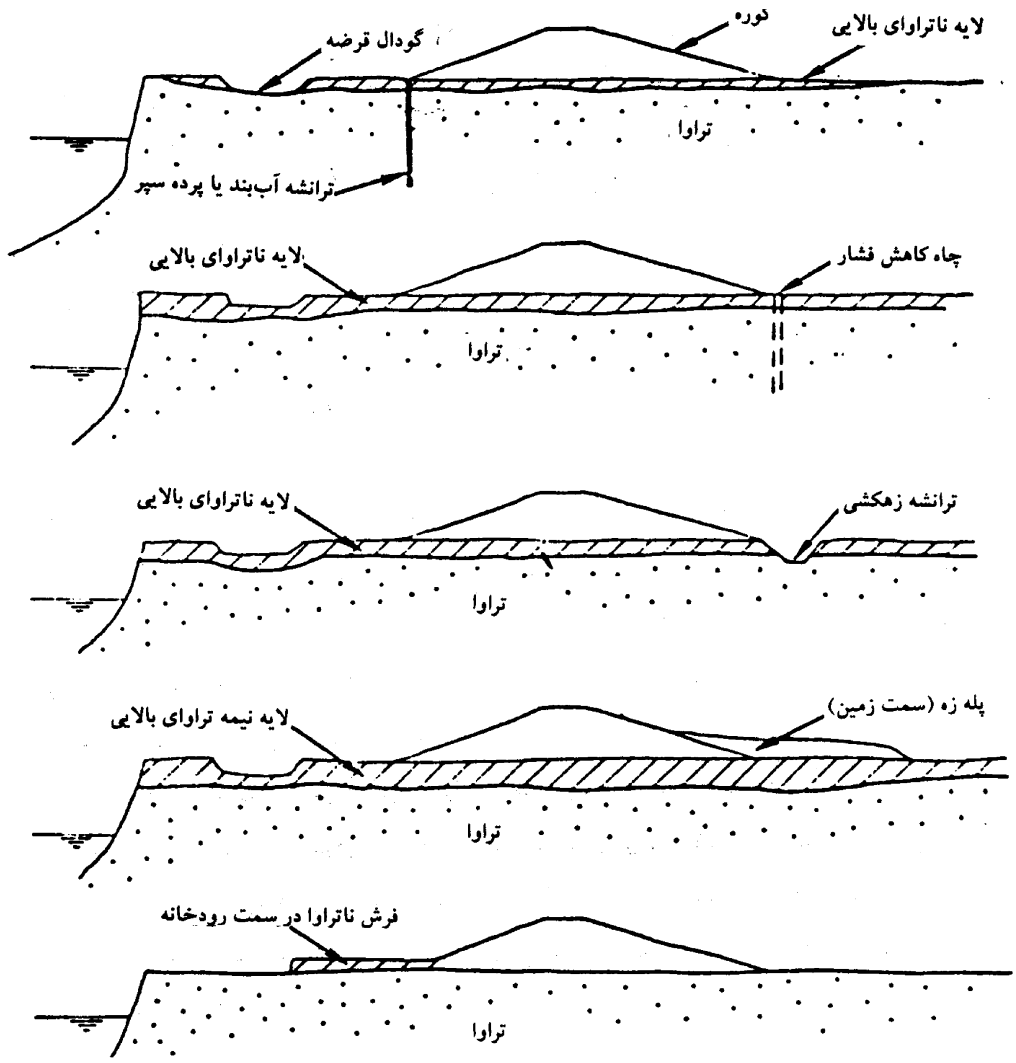
هر سازهٔ غیرخاکی مثل بتن، فولاد و غیره که از داخل گوره می‌گذرد از نقطه‌نظر پایداری گوره یک نقطه ضعف ایجاد می‌کند، همچنین باعث پدیدهٔ رگاب در طول سطح تماس خاک با سازهٔ عبوری می‌شود. این پدیده‌ها را می‌توان با اقدامهای مناسب رفع کرد. اکثر سازه‌ها و تأسیسات عبوری ازگوره بتنی می‌باشند و عمدهٔ مشکلات در اثر تماس و ناهماهنگی این دو جنس مختلف پیدا می‌شود. بنابراین باید بین گوره و سازه‌های بتنی پیوستگی برقرار شود. دیوارهای انتهایی سازهٔ بتنی مجاور نباید شیبی بیش از H ۱۰۷:۱ داشته باشد تا از استحکام تماس بتن با خاک اطمینان حاصل شود. یک شیب تندتر موجب ایجاد ترک در خاکریز و در نتیجه نشست خواهد شد. تراکم کامل یک خاکریز در محل اتصال باعث کاهش نفوذپذیری مصالح خاکریز شده و موجب اطمینان از استحکام تماس با سازه می‌شود. اگر مقداری خاک چسبندهٔ متورم‌شونده در محل اتصال گوره با بتن بکار برود در آن صورت وقتی آب به آن می‌رسد متورم شده و محل تماس را بیش از پیش آب‌بندی می‌کند. اقدامهای مشابهی باید برای عبور لوله‌های آب، گاز، نفت و غیره بکار رود. امکان نشستهای غیرمساوی نیز باید بین سازه‌های بتنی و یا لوله‌ها باگوره و شالوده درنظر گرفته شود و در صورت لزوم، پیش‌بارگذاری یا سایر تمهیدات لازم بکار رود.

۵-۱-۱۰ زهکشی اراضی پشت گوره‌ها

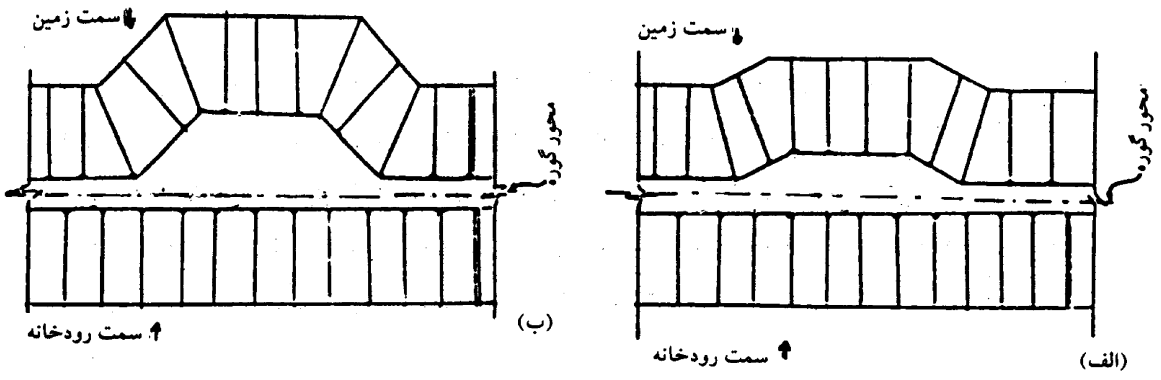
با احداث گوره‌ها در طرفین رودخانه، از زهکشی رواناب سطحی اراضی مجاور و ورود آن به داخل رودخانه جلوگیری شده و باعث غرقابی شدن موضعی اراضی دشت می‌گردند. راه‌حلهای کلی برای رفع این مشکل عبارتند از:

- روانابهای سطحی در محل پستی جمع‌آوری و از طریق پمپاژ به رودخانه تخلیه گردد.
- یک کانال زهکش در طول مسیر و در مجاورت پنجهٔ‌گوره (در سمت خشکی گوره) ساخته شود و رواناب سطحی توسط آن کانال جمع‌آوری و در پایین‌دست به محلی که امکان تخلیهٔ ثقلی آن به رودخانه یا جای دیگر وجود دارد، انتقال یابد.

1- Turn Around



شکل ۵-۱۲- اقدامات مهار تراوش در زیر گوره‌ها



شکل ۵-۱۳ - محلهای پهن بر روی تاج گوره الف - ایستگاه (برای ایست) و
ب - گردشگاه (برای دورزدن)

- در مواردی که شاخه‌های فرعی به رودخانه می‌پیوندد، آب حاصله را می‌توان به طور ثقلی توسط لوله‌هایی از زیر خاکریز به رودخانه تخلیه کرد.
- در مواردی می‌توان رواناب را در یک حوضچه یا استخر ذخیره کرده و با فراهم شدن امکان تخلیهٔ ثقلی، آنرا به رودخانه تخلیه نمود.
- می‌توان به کمک دریچه‌های کشندی (جزر و مدی) یک‌طرفه، در زمان کم‌آبی رودخانه، رواناب را به رودخانه تخلیه کرده و در زمان پرآبی رودخانه، از تخلیهٔ رواناب جلوگیری کرد.
- گوره در امتداد شاخه‌های فرعی ادامه داده شود.

برای شاخه‌های فرعی مهم، ارزانترین راه‌حل برای جلوگیری از سیل، ساخت گوره‌هایی در امتداد شاخه‌های فرعی می‌باشد که به گورهٔ اصلی متصل می‌شوند و به سمت بالادست شاخهٔ فرعی تا محدودهٔ تأثیر منحنی برگشت آب یا زمینهای بلند ادامه دارند (شکل ۵-۱۴). اما اگر تعداد شاخه‌های فرعی زیاد باشد باید چند شاخهٔ فرعی را به یکی از آنها به عنوان جمع‌کننده انحراف دهیم و فقط در امتداد این شاخهٔ جمع‌کننده، گوره تأسیس کنیم (شکل۵-۱۵). زیرگذرهای دارای دریچهٔ سیل فقط وقتی مؤثرند که تراز آب در رودخانهٔ اصلی پایین باشد.

۵-۱-۱۱ مثالهایی از مقاطع عرضی گوره‌های مختلف در دنیا

در کشورهای اروپایی مقطع عرضی همگن از نوع ماسه رسی یا شن ماسه‌ای همراه با ماده قوی لومی رواج پیدا کرده است. شکلهای نشان داده شده (شکل ۵-۱۶) بیانگر این نکته هستند که مقاطع عرضی گوره‌ها در همهٔ رودخانه‌های بزرگ اروپا کم تغییر می‌کند، به استثناء جاهایی که تاج گوره به عنوان یک راه یا تکمیل دیگر وظایف و مسئولیتها بکار می‌رود (برای مثال گوره‌های رودخانهٔ لوآر [1]).

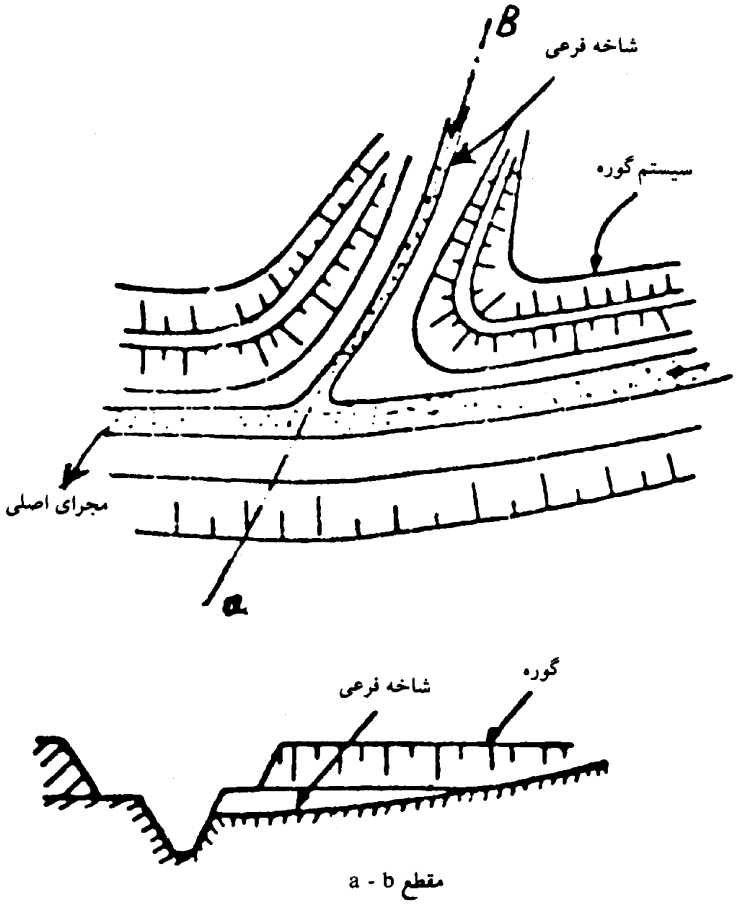
گوره‌ها در چکسلواکی دارای نیمرخهای عرضی رایج سنتی با شیروانی‌های ساده در دو طرف می‌باشند (شکل۵-۱۷). چون این گوره‌های همگن معمولاً از لوم ماسه‌ای درست می‌شوند، به نظر می‌رسد که شیب ۱:۲ یک شیب پایدار و مناسب برای شیروانی باشد، مگر اینکه ارتفاع آنها از ۳/۵ متر تجاوز کند. پهنای تاج گوره در چکسلواکی از ۲/۵ تا ۶ متر تغییر می‌کند که در محدودهٔ ۲/۵ تا ۳ متر برای رودخانه‌های کوچک و پهن‌تر از ۴ متر فقط برای مسیر رودخانه‌های بزرگ نظیر دانوب و موراوا و واه [2] بکار می‌رود.

- بعضی از مقاطع عرضی گوره‌های دانوب از نقطه نظر ابعاد و شکل با دیگر گوره‌ها فرق می‌کند. آنها دارای تاج یا سکوهای پهن هستند که اساساً برای خطوط ارتباطی (عبور و مرور) بکار می‌روند.

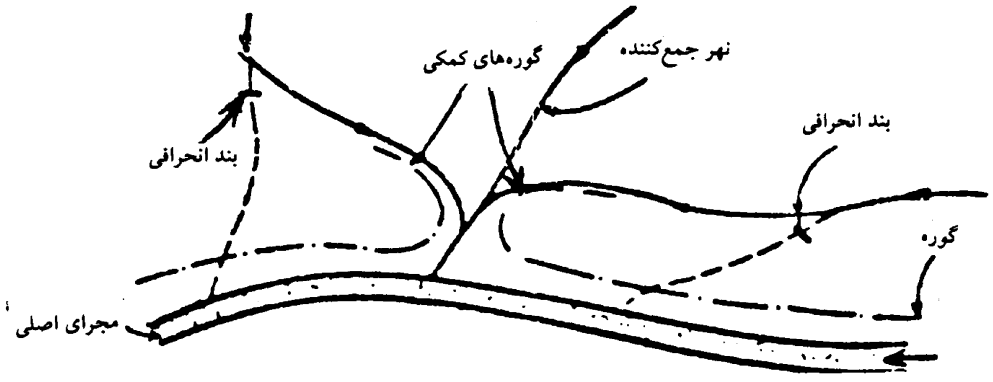
در شکل (۵-۱۸) مقاطع مختلفی از گوره‌های رایج در چین نشان داده شده است.

1- Loir

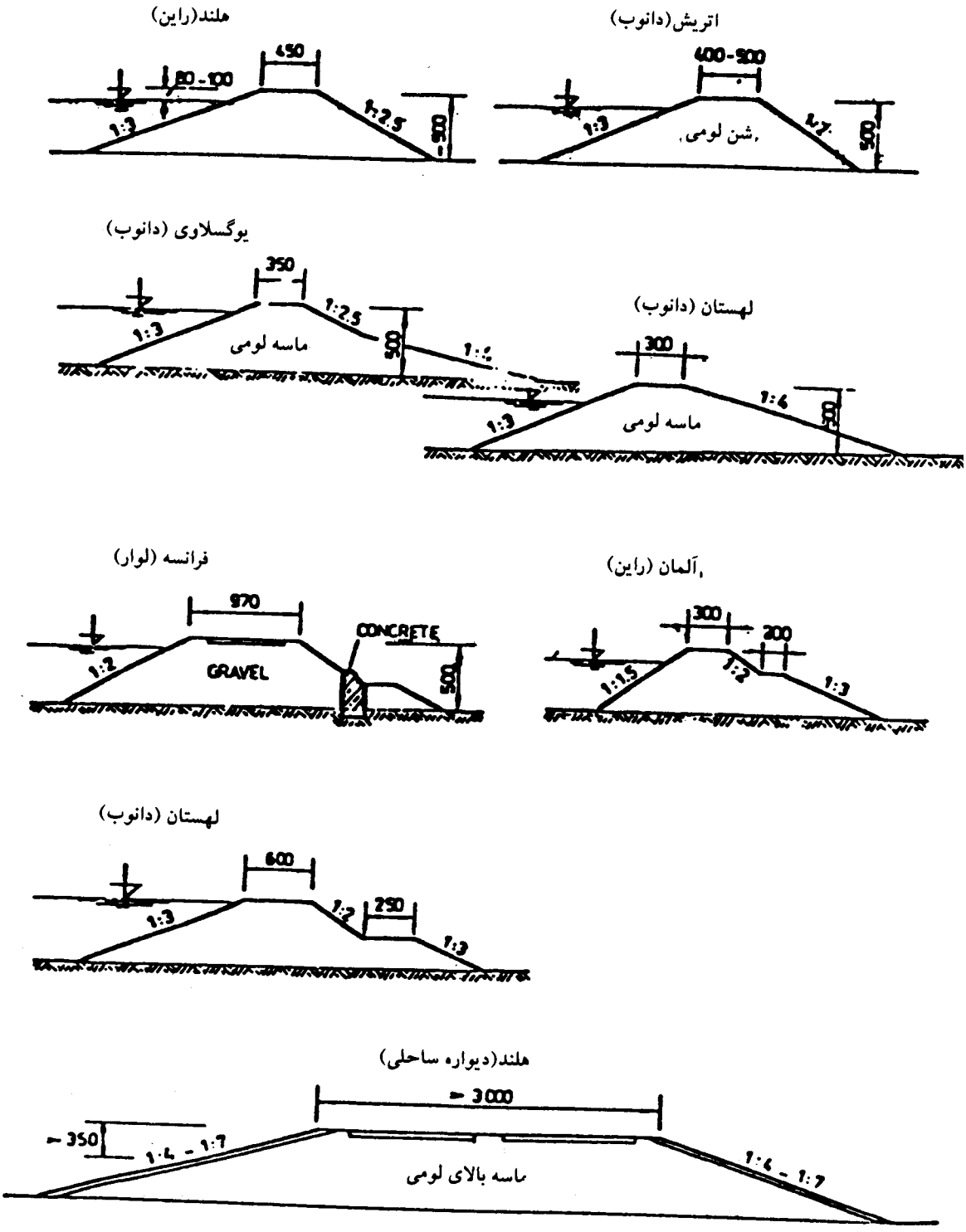
2- Danube , Morava , Vah



شکل ۵-۱۴- ترتیب گوره‌ها در ورودی یک شاخه فرعی



شکل ۵-۱۵- انحراف جریان چند شاخه فرعی به داخل نهر جمع‌کننده



شکل ۵-۱۶- مقاطع عرضی مختلف گوره‌ها در اروپا ۱ تا ۴- نیمرخهای یکنواخت، ۵- نیمرخ با دیوار اطمینان، ۶- نیمرخ کاملاً اقتصادی، ۷- تقویت نیمرخ با توجه به نرم‌بودن خاک زیرین، ۸- نیمرخ قوی چند منظوره

۵-۱-۱۲ خلاصه و جمع‌بندی

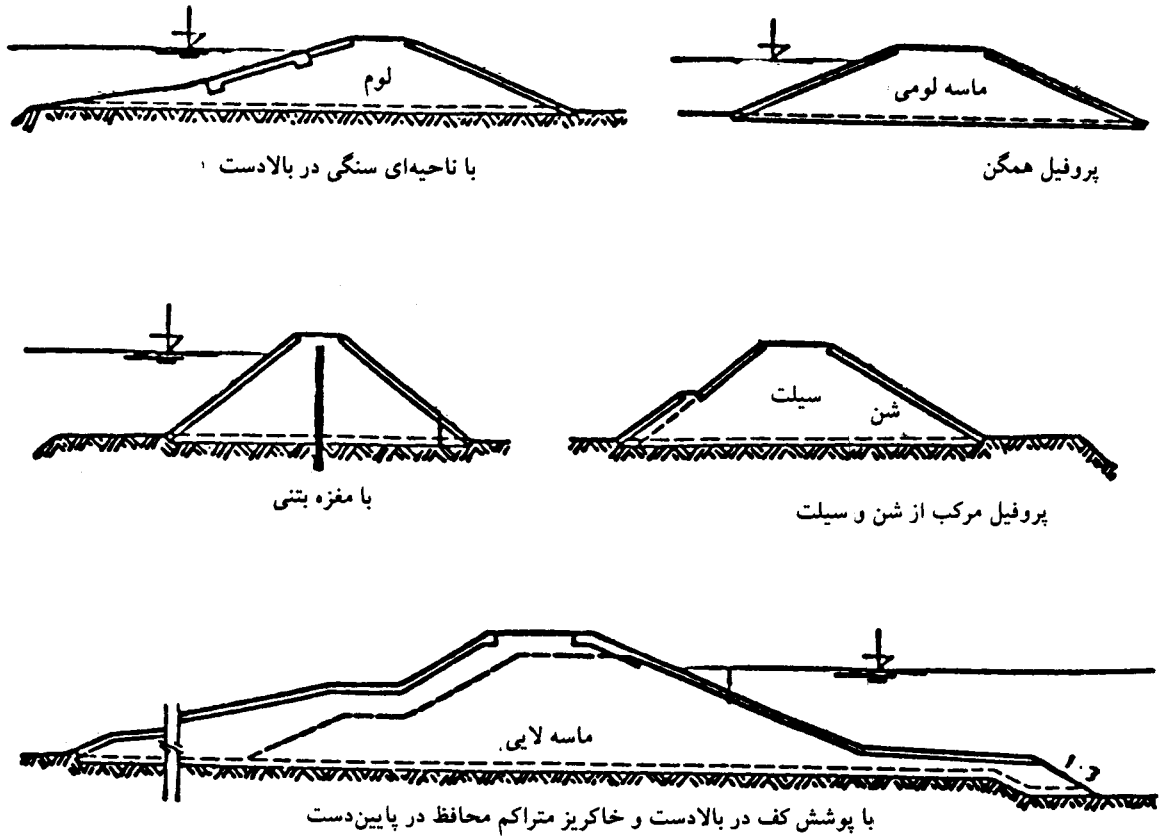
چنانکه گفته شد مهار سیلاب به وسیلهٔ گوره‌ها از قدیمی‌ترین و متداولترین روشهای مهار سیل می‌باشد و اصولاً در مناطقی که ارزش اقتصادی زمینهای اطراف رودخانه کم باشد توصیه می‌گردد، زیرا عرض پای گوره زیاد خواهد بود (نظیر زمینهای خارج از شهر، مناطق کشاورزی و ...). هزینهٔ ایجادگوره‌ها اغلب نسبت به سایر راههای مهار سیلاب ارزانتر و نیز قابلیت اطمینان آن بیشتر است، به ویژه برای گوره‌های کم‌ارتفاع که حداقل مطالعات را لازم داشته و کم‌هزینه می‌باشد. برای ساخت گوره از مصالح مجاور در محل استفاده می‌شود که این موضوع خود باعث سهولت اجرا و کاهش هزینه می‌گردد. از طرفی با محدود شدن جریان در رودخانه توسط گوره‌ها، سرعت بیشتر شده و فرسایش افزایش می‌یابد که در این حالت در صورت شکسته شدن گوره، خطر آن برای دشت‌های اطراف بیشتر از حالت وجود نداشتن گوره است. همچنین گوره‌ها اراضی دو طرف رودخانه را تصرف می‌کنند و هزینهٔ زهکشی دشت پشت گوره باعث افزایش هزینهٔ نهایی می‌شود. معایب فوق‌الذکر را می‌توان با رعایت اصول صحیح طراحی و اجرا کاهش داد.

مزایای دیگری نیز برای گوره‌ها می‌توان برشمرد از جمله اینکه قسمت مهمی از ساخت گوره به کمک ماشین‌آلات سنگین انجام می‌گیرد، از این رو نیروی متخصص ویژه‌ای نمی‌خواهد. همچنین وجودگوره‌ها در اغلب موارد (به جز در هنگام طغیان) رژیم رودخانه را چندان تغییر نمی‌دهد.

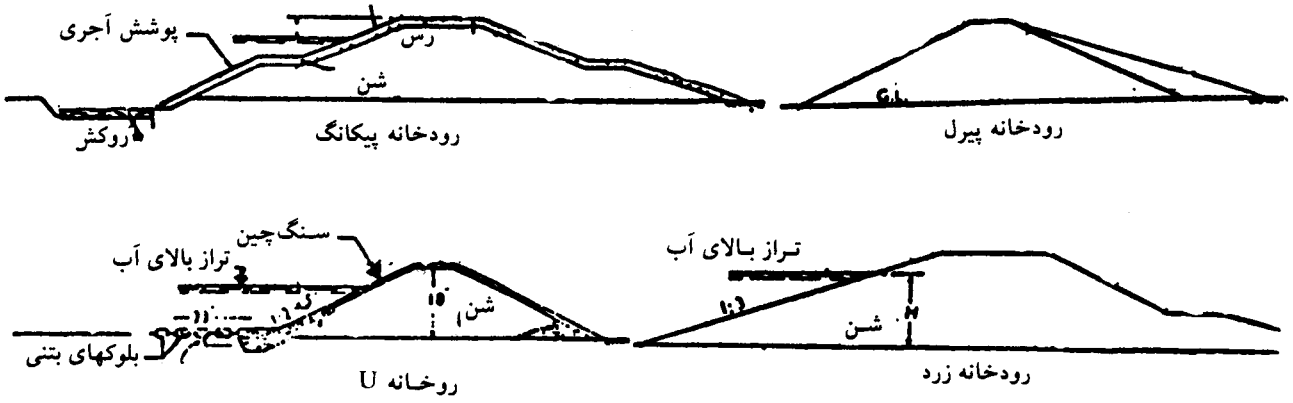
این روش به صورت گسترده‌ای به عنوان تنها کار مهندسی مهار سیلاب و حفاظت و یا به طور مشترک با دیگر روشهای مهار سیلاب و حفاظت کانالها و رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در موارد متعددی حفاظت به وسیلهٔ گوره به عنوان یکی از بهترین و اقتصادی‌ترین راه‌حلها مطرح بوده و بعضاً ملزم به کاربرد این روش می‌باشیم (نظیر رودخانه‌های بزرگ و سیلابی که در دشتهای وسیع ایران جریان دارند).

برای ساخت و نگهداری هر چه بهتر گوره‌ها و جلوگیری از تخریب و شکست آنها نکات زیر باید رعایت گردد:

- پاک کردن لایهٔ فوقانی شالوده از گیاهان، ریشه‌ها، علفهای هرز، قلوه‌های بزرگ و مواد آلی
- شیار زدن سطح شالوده برای ایجاد پیوستگی بهتر بین شالوده و بدنهٔ گوره
- ایجاد منابع قرضه در سمت رودخانه‌ای گوره و استفاده از چالهای دراز با پهنا و عمق کم و گذاشتن گذرگاه دست‌نخوردهٔ طبیعی در بین چالها و ایجاد فاصلهٔ حداقل ۱۰ متر بین گوره و چالهای قرضه
- رعایت جدی و دقیق نکات فنی مکانیک خاک، ژئوتکنیک، مصالح و ...
- در خاکریزهای از نوع متراکم، خاکریز لایه لایه ریخته شود و خوب متراکم گردد
- برنامه‌ریزی و اقدامات لازم برای مهار سرریز کردن جریان از روی گوره به کمک بزرگسازی گوره صورت گیرد.



شکل ۵-۱۷- مقاطع عرضی گوره‌ها در چکسلواکی



شکل ۵-۱۸- مقاطع عرضی گوره‌ها در چین

- تمهیدات مهار تراوش و رگاب به ویژه در زیرگوره در حالتی که تراز سیلاب در مدت زیادی بالا باشد صورت گیرد.
- مهار فرسایش شیروانی‌گوره به ویژه در قسمت پنجهٔ‌گوره و ساحل مجاور آن به‌کمک پوششها یا سایر اقدامات صورت گیرد.
- نشست‌گوره به وسیلهٔ اجرای مرحله‌ای یا سایر اقدامات مهار گردد.
- نواحی فرسوده تعمیر شده و ترکهای موجود و حفره‌های ایجاد شده توسط حیوانات به‌کمک مصالح متراکم و حتی به وسیلهٔ تزریق پر گردد.
- برای جلوگیری از غرقابی شدن اراضی پشت‌گوره‌ها، روانابِ سطحی اراضی اطراف، زهکشی و به رودخانه تخلیه گردد.
- اگر شکافی درگوره ایجاد شده و سیل به زمینهای اطراف سرازیر گردد امکان بستن‌گوره در آن حالت خیلی سخت است لذا تأکید می‌گردد تمام ضوابط نگهداری‌گوره‌ها قبل از ایجاد شکاف و جاری شدن سیل رعایت گردد.
- در ایجاد یا عبور سازه‌های بتنی و فولادی در داخل‌گوره و نیز مهار تراوش و رگاب در سطوح تماس آن سازه‌ها با خاک‌گوره، نهایت دقت به عمل آید.
- بازرسی دقیق و مرتب ازگوره‌ها یک اصل اساسی است، از اینرو بر ایجاد جاده‌های دسترسی به‌گوره و جاده‌های دسترسی در روی‌گوره تأکید می‌گردد. همچنین ایجاد ایستگاه برای ایست و دور زدن در روی تاج و نیز ایجاد شیبراه برای بالا و پایین رفتن ازگوره ضروری است.

۵-۲ دیوارهای سیلبند

۵-۲-۱ کلیات

دیوارهای سیلبند از جنس‌های مختلف از جمله بتنی، سنگی، آجری و غیره ساخته می‌شوند و بیشتر در نقاطی بکار می‌روند که فاصلهٔ رودخانه تا محل استقرار سیلبندها محدود بوده و جای کافی برای احداث‌گوره‌ها وجود نداشته باشد. از دیوارهای سیلبند نیز مانندگوره‌ها برای مهار سیلاب به صورت افزایش تراز سیل و محدود کردن آن در یک عرض معین استفاده می‌شود. این سیلبندها، دیوارهای طولی می‌باشند که با مصالح ساختمانی مناسب و محکم در مناطق شهری و سایر مناطقی که ارزش زمینها در آن زیاد است ایجاد می‌شوند. ارتفاع این دیوارهای سیلبند نیز همانندگوره‌ها با توجه به فاصلهٔ آنها از یکدیگر، محاسبهٔ نیمرخ طولی سطح آب و سایر عوامل تعیین می‌شود و چون در مناطق شهری ارزش زمین زیاد است لزوماً فاصلهٔ بین دیوارهای سیلبند (عرض بستر محدود بین دو دیوار

سیلبند) کم بوده و از اینرو ارتفاع آنها زیاد می‌باشد. پس باید از مصالح بسیار مرغوب استفاده شده و از نظر ساختمانی و تحمل فشارهای وارده کاملاً مستحکم طراحی شوند. اساساً تفاوت چندانی بین دیوارهای سیلبند با دیوارهای حایل[1] یا نگهبان وجود نداشته و در اکثر موارد با منظورهای یکسان ایجاد می‌گردند. دیوارهای حایل یا نگهبان در رودخانه‌ها برای جلوگیری از ریزش و تخریب و نیز مهار فرسایش کناره‌ها بکار می‌روند و همزمان با ایفای نقش فوق‌الذکر در صورت داشتن ارتفاع مناسب، نقش مهار سیلاب را نیز ایفا کرده و از اینرو به عنوان دیوارهای سیلبند شناخته می‌شوند. در مواردی نیز دیوارهای سیلبند هیچگونه نقش حایل یا نگهبان نداشته و اثری بر مهار فرسایش و تخریب کناره‌ها ندارند و این در صورتی است که دیوارهای سیلبند در محلی بغیر از مجاورت کنارهٔ رودخانه ساخته شوند. به عنوان مثال ساخت یک دیوارهٔ سیلبند در بستر عریض یک رودخانه، روی ساحل بالایی و یا در روی تاج گوره برای بزرگسازی آن مواردی از این قبیل می‌باشد (شکلهای ۵ـ۱۱ و ۵-۱۹). استفاده از دیوارهای سیلبند در شهرها و آبادیها به علت محدود بودن زمین و ارزش زیاد آن، متداولترین راه مهار سیلاب می‌باشد به ویژه آنکه هزینهٔ ساخت دیوارهای سیلبند نیز زیاد بوده و از این رو ساخت آن در محلهایی بجز شهرها، آبادیها و یا در مجاورت تأسیسات مهم، باصرفه نیست. این دیوارها همچنین در نزدیکی پلها برای حفاظت پل و نیز حفاظت سایر تأسیسات در بستر یا نزدیکی رودخانه، بکار می‌روند.

۵-۲-۲ مصالح مورد استفاده

چنانکه بیان گردید این دیوارها از مصالح مختلف نظیر بتن، سنگ، چوب، تورسنگ و غیره ساخته می‌شوند. از نظر اقتصادی باید مصالح مورد استفاده در این نوع دیوارها در نزدیکی محل وجود داشته باشد. همچنین این مصالح باید برای شرایط محیط مرطوب نیز مناسب باشند. قسمتهایی از این دیوارها دائماً در زیر آب قرار گرفته و سایر قسمتهای آن به طور متناوب تر و خشک می‌شوند و حتی در مناطق سردسیر امکان یخ زدن آنها هم وجود دارد. بنابراین کلیهٔ قسمتهای دیوار باید توانایی مقابله با چنین شرایطی را داشته باشند بدون اینکه خراب شوند و تهدیدی برای دیوار به حساب آیند. در زیر به بررسی مشخصات فنی بعضی از مصالح رایج در ساخت دیوارها می‌پردازیم:

- **سنگ :** سنگ که یکی از مصالح عمده در ساخت این دیوارهاست باید از نوع سنگهای فشرده و متراکم و معدنی مقاوم در مقابل آب و هوا، یخبندان و بارندگی انتخاب شود. از بکار بردن سنگهای ماسه‌ای و دیگر سنگهای خرد شده و هوازده در ساخت این دیوارها باید جداً خودداری شود.
- **بتن :** به علت سولفاته بودن خاک و مصالح پرکنندهٔ پشت دیوار و یا امکان سولفاته شدن آب رودخانه یا آبراه، استفاده از سیمان ضد سولفات در تهیه بتن توصیه می‌گردد. همچنین در صورتی که از بتن‌ریزی درجا برای ساخت دیوارها استفاده شده و شرایط اجرا به طور متناوب در اثر عوامل محیطی عوض شوند، پیشنهاد می‌گردد از افزودنیهای زودگیر برای بتن استفاده شود. در مواقعی که مقاومت زیاد مورد نیاز نباشد از سربارهٔ کورهٔ ذوب

1- Retaining Walls

آهن نیز می‌توان استفاده کرد. همچنین بلوکهای پیش‌ساختهٔ بتنی در انواع مختلف برای ساخت دیوارها بکار می‌رود.

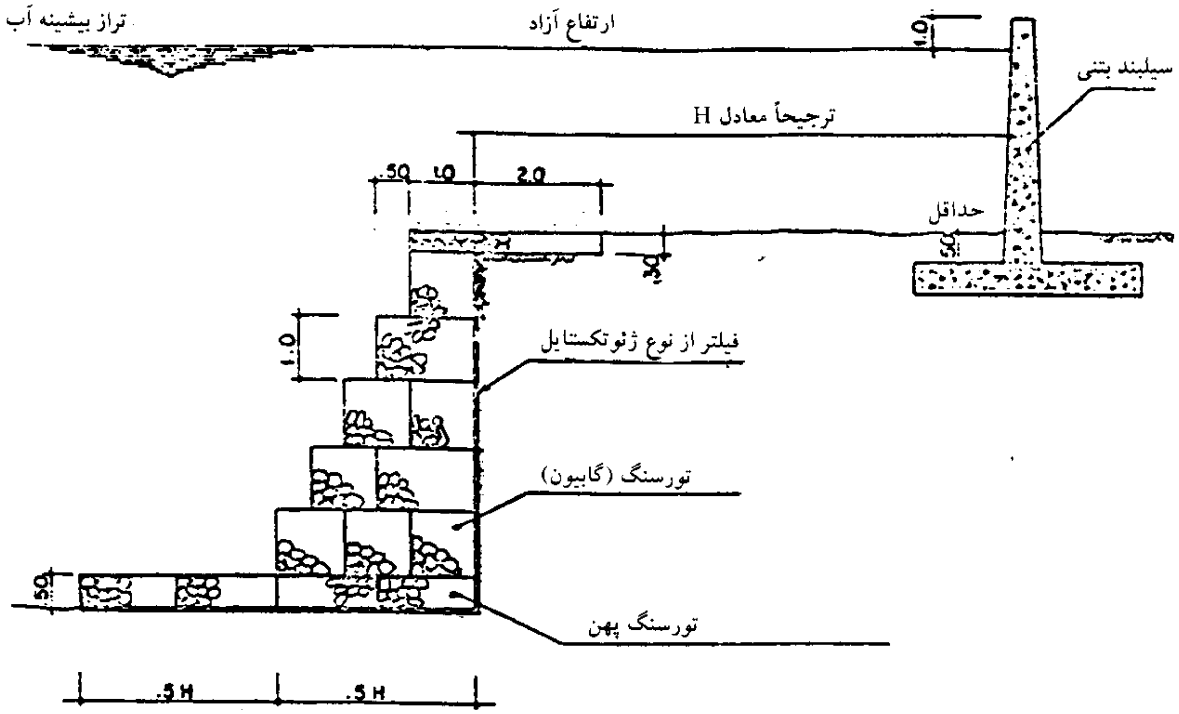
- **آجر :** آجرهای مناسب (با رس فشرده و میزان مشخص جذب آب و مقاومت معلوم) را می‌توان برای استفاده در دیوارها بکار برد. این آجرها مقاومت بهتری در مقابل یخبندان از خود نشان می‌دهند. همچنین در مقابل سولفاتها نیز مقاوم بوده و از این رو می‌توان از آنها برای مدت زمان طولانی‌تری در محیطهای مرطوب استفاده کرد به ویژه اگر رس موجود در آجرها شامل سولفات هم باشد.
- **ملات :** دوام ملات نباید کمتر از دوام آجر یا سنگی باشد که در دیوار استفاده می‌شود. برای اغلب دیوارها می‌توان از ملات قوی بدون آهک (با نسبت ۱ به ۳ سیمان به ماسه) استفاده کرد. این مخلوط معمولاً مقاومت خوبی در مقابل سولفاتها از خود نشان داده و حداقل میزان جذب آب را هم دارد.
- **تورسنگ**[1] **:** از انواع توری‌های سیمی برای ساخت دیوارهای تورسنگی استفاده می‌شود. در نوع جعبه‌ای[2] از جعبه‌هایی از جنس توری که به هم بافته شده یا جوش داده شده‌اند استفاده می‌شود تا قلوه‌سنگها را در درون خود نگاه دارند. روکشهای[3] تورسنگی نوع بخصوصی از این جعبه‌ها با ضخامت کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتر می‌باشند. از روکشها معمولاً در ساخت دیوار استفاده نشده و بیشتر برای ساخت پیش‌بند در مجاورت دیوار بکار می‌روند. مواد پرکنندهٔ تورسنگ‌ها معمولاً سنگها و قلوه‌سنگهای بادوام می‌باشند. این سنگها باید پس از قرار گرفتن در توریها، در مقابل عوامل جوی و فرسایش مقاومت کرده و شکسته نشوند.
- **چوب :** چوب از جمله مصالحی است که در مناطق جنگلی و سایر مناطقی که چوب ارزان و فراوان باشد بکار می‌رود. معمولاً از تنهٔ درختان یا الوار برای ساخت دیوارهای سیلبند استفاده کرده و از شاخه‌های انعطاف‌پذیر درختان برای اتصال قطعات بزرگ چوب به یکدیگر استفاده می‌شود.

۵-۲-۳ انواع دیوارهای سیلبند

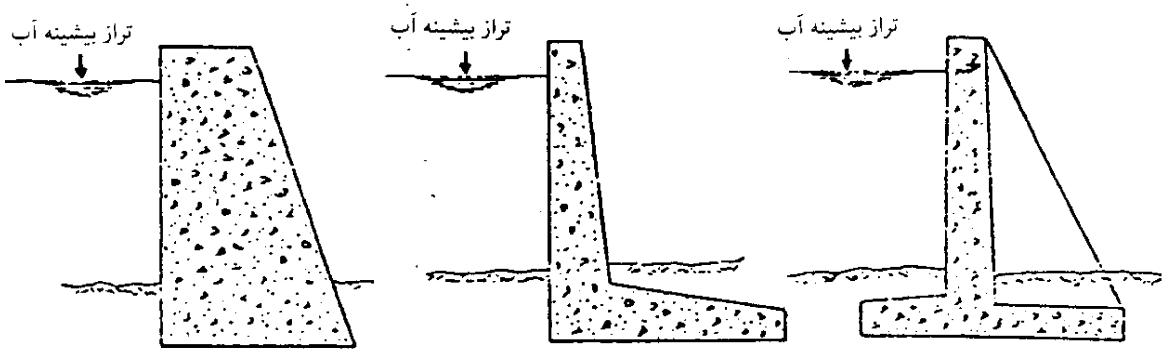
۵-۲-۳-۱ دیوار سیلبند بتنی

در اکثر موارد به ویژه در جاهایی که سنگ درشت در دسترس نباشد از دیوار بتنی ساده یا مسلح استفاده می‌شود. این سیلبندهای بتنی با مصالح مختلف و در شکلهای گوناگون ساخته شده و می‌توان از قلوه‌سنگ، از قطعات شکسته بتن، آجر یا سنگ به عنوان پر کننده در ساختن آنها استفاده کرد. در طراحی این دیوارها از انواع مختلف به صورت دیوار وزنی، دیوار طره‌ای، دیوار پشت بنددار، دیوار L شکل و غیره استفاده می‌گردد (شکل ۵-۲۰).

1- Gabion
2- Box
3- Mattress



شکل ۵-۱۹- دیوار سیلبند بتنی و دیوار حائل تور سنگی



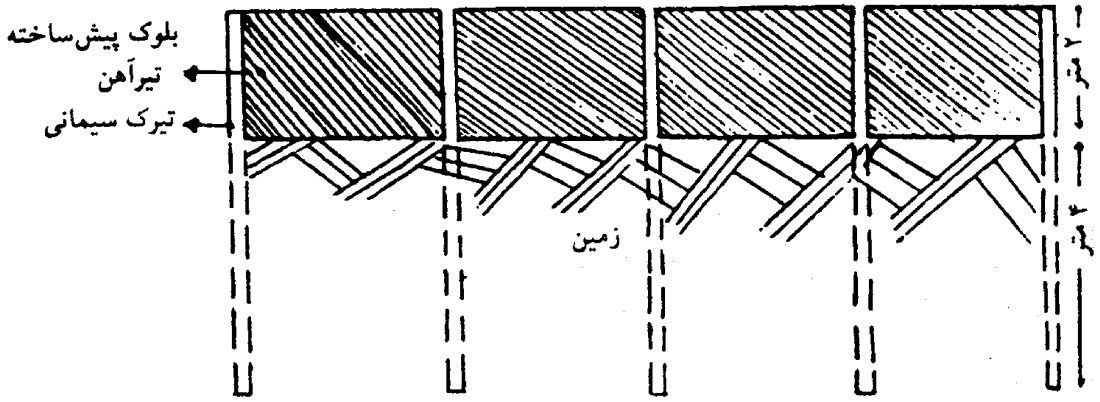
شکل ۵-۲۰-نمونه‌های مختلف دیوار سیلبند بتنی

۵-۲-۳-۲ دیوار سیلبند سنگی

دیوارهای سنگی نیز با استفاده از سنگهای مناسب که در مبحث مصالح بیان گردید ساخته شده و برای استحکام سنگها با یکدیگر از ملات مناسب استفاده می‌گردد.

۵-۲-۳-۳ دیوار سیلبند بلوکی

از سیلبندهای بلوکی نیز در مواردی استفاده می‌گردد. بدین صورت که بلوکهای پیش‌ساخته با ابعاد مناسب را بااستفاده از ملات به یکدیگر می‌چسبانند و معمولاً برای جلوگیری از ریزش بلوکها، آنها را در بین پایه‌های بتنی یا تیرآهن قرار می‌دهند به طوری که مجموعهٔ پایه‌ها و بلوکها به صورت یک دیوار عمل می‌کند. همچنین برای استحکام بیشتر بجای بلوکهای بتنی از صفحات بتنی نیز استفاده می‌شود (شکل ۵-۲۱). این روش برای بده‌های زیاد، مناسب بوده ولی هزینهٔ آن نسبتاً بالا می‌باشد. عمر آن طولانی بوده، سطح کمتری از اراضی را اشغال کرده و هزینهٔ نگهداری آن نیز کم می‌باشد. در مواردی که نیروی دینامیکی آب زیاد نباشد از نوع سادهٔ بلوکهای سیمانی پیش‌ساخته استفاده می‌شود. بدین صورت که بر اساس ارتفاع مورد نیاز و نیروی دینامیکی آب، بلوکها را روی هم چیده و از ملات مناسب استفاده می‌گردد و احتیاجی به پایه‌های بتنی و یا تیرآهن ندارد.



شکل ۵-۲۱- دیوار سیلبند بلوکی

۵-۲-۳-۴ دیوار سیلبند تورسنگی

دیوارهای سیلبند را می‌توان با جعبه‌های تورسنگی که با سنگ پر شده‌اند نیز ساخت. استفاده از سازه‌های تورسنگی معمولاً انعطاف‌پذیری بهتری نسبت به سازه‌هایی دارد که از مصالح بنایی، آجری، بتنی یا بلوک ساخته می‌شوند.

جعبه‌های تورسنگ با مواد پرکنندهٔ مناسب نظیر قلوه‌سنگها پر شده و به کمک بست‌هایی به یکدیگر متصل می‌گردند و به شکل مناسب در کنارهٔ رودخانه بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند تا به عنوان دیوار حایل یا دیوار سیلبند عمل کنند. این جعبه‌ها هم با ماشین و هم با دست پر می‌شوند. پر کردن ماشینی تورسنگها ارزانتر و سریعتر بوده اما دقت روش دستی را ندارد. در روش دستی معمولاً دیوار تمام شده ظاهر بهتری دارد. مصالح پرکننده باید کاملاً توری‌ها را پر کرده و به خوبی درون آن قرار بگیرند به طوری که فضای خالی میان سنگها به حداقل برسد و امکان جابجا شدن آن‌ها نیز باید کم باشد. لازم به ذکر است که از این نوع دیوار کمتر به عنوان سیلبند و بیشتر به عنوان دیوار حایل استفاده می‌شود. همچنین استفاده از دیوار سیلبند تور سنگی، علیرغم نفوذپذیر بودن، از این جهت قابل توصیه است که هدف ما را برای مهار سیلاب می‌تواند تا حدودی تأمین کند. زیرا جلو هجوم سیل (نه نفوذ سیل) را می‌گیرد و می‌تواند در کاهش خسارت سیل مؤثر باشد. علاوه بر این، با پرشدن درز و شکاف دیوار در طول زمان از رسوبات و گل و لای، میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد. ضمناً می‌توان پشت دیوار تورسنگی را خاک ریخته و از نفوذپذیری آن کاست.

اگر سایش یا سایر عوامل خارجی سبب تخریب روکش گالوانیزهٔ روی سیمها یا تخریب خود سیمها بشود عمر تورسنگ بشدت کاهش می‌یابد. همچنین امکان خوردگی توریها در آبهای با pH (اسیدیته) زیر ۷ یا بالای ۱۲ وجود دارد. لذا می‌توان برای جلوگیری از خوردگی از روکش پلی‌وینیل کلراید[1] برای سیمها استفاده کرد. آبهای شور و آبهای آلوده (نظیر آبهای آلوده به فاضلاب صنعتی یا خانگی) موجب خوردگی سیمهای گالوانیزه می‌شوند. عوامل اصلی که عمر سازه‌های تورسنگی را محدود می‌کنند عبارت از سایش[2]، خوردگی و خرابکاری توسط مردم می‌باشند.

چنانکه گفتیم جعبه‌های تورسنگی را در کنارهٔ رودخانه بر روی یکدیگر قرار داده و به کناره رودخانه و یکدیگر مهار می‌کنند. لذا یک سازهٔ مرکب ایجاد می‌گردد که انعطاف‌پذیر بوده و می‌تواند خود را با نشست شالوده هماهنگ کند. همچنین بهتر است سطح جلوی دیوارها کاملاً عمودی نباشد زیرا از نظر سازه‌ای می‌تواند موجب ناپایداری شده و نیز احساس ناخوشایندی ناشی از قائم بودن در بیننده ایجاد کند. لذا بهتر است سطح جلویی دیوار تورسنگی یک شیب ملایم (مثلاً ۱:۱۰) نسبت به حالت قائم داشته باشد که این شیب را می‌توان یا به صورت شیبدار کردن کلیهٔ گابیونها از بالا به پایین و به طور تدریجی اعمال کرد یا اینکه در اکثر موارد ردیفهای مختلف را به صورت پله‌ای روی هم قرار داد (شکل شماره ۵-۱۹). از جمله مزایای دیوارهای تورسنگی آن است که به علت نفوذپذیر بودن، هیچگونه مشکلی ناشی از اختلاف فشار هیدرواستاتیکی آب در دو طرف دیوار ندارند، ولی باید پشت دیوارها از یک لایه فیلتر مناسب استفاده گردد تا مواد ریزدانه کناره شسته نشده و پشت دیوار را سست نکنند.

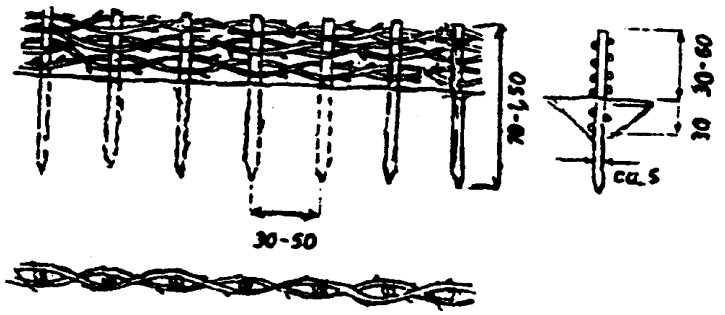
۵-۲-۳-۵ دیوار سیلبند چوبی

در مناطق جنگلی که چوب فراوان و ارزان بوده و سایر مصالح کمتر در دسترس می‌باشد می‌توان از دیوارهای سیلبند

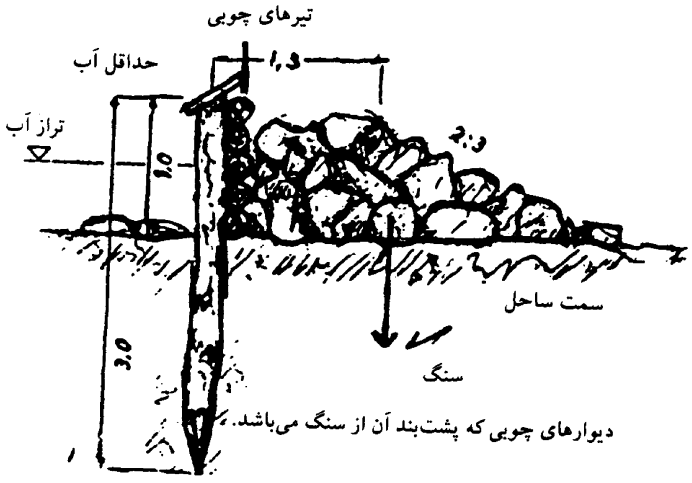
1- Polyvinyl Chloride

2- Corrosion

چوبی استفاده کرد. این سیلبندها در کنار رودخانه‌هایی بکار می‌روند که سیلاب آن کم می‌باشد. از تنهٔ درختان یا الوار در فواصل مناسب به عنوان پایه (شمع) استفاده کرده و فضای بین آنها با شاخه‌های انعطاف‌پذیر درختان بافته می‌شود. پایه‌های چوبی باید بقدر کافی در خاک فرو روند تا استحکام لازم به دست آید. در جاهایی که نیروی دینامیکی آب زیاد است می‌توان از دو یا چند ردیف از پایه‌های چوبی استفاده کرد. فاصلهٔ بین ردیفهای پایه‌ها از بسته‌های علفی پر شده تا آبگذری کاهش یابد. همچنین ردیفهای پایه‌ها به وسیلهٔ شاخه‌های درختان یا ساقه‌های مناسب به یکدیگر محکم می‌گردند. در مواردی از ترکیب پایه‌های چوبی و سنگ، دیوارهای چوبی سنگی بوجود می‌آید که برای بده‌های زیادتر مناسب بوده و هزینه آن نیز زیاد می‌باشد. ارتفاع پایه‌ها بستگی به بدهٔ سیلاب طراحی دارد. فاصلهٔ بین هر پایه با پایهٔ دیگر و نیز قطر پایه‌ها بستگی به جنس خاک کناره رودخانه، نیروی دینامیکی آب، بده سیلاب طراحی و سایر عوامل دارد. به علت هزینهٔ زیاد این نوع سیلبند، تنها در فاصله‌های کوتاه برای حفاظت مناطق پرارزش مثل تأسیسات، کارخانه‌ها و مناطق مسکونی بکار می‌رود. شکل (۵-۲۲) یک دیوار سیلبند چوبی را نشان می‌دهد که با استفاده از پایه‌های چوبی و شاخه‌های بید ساخته شده است و برای بده‌های کم و یا برای قسمتهایی از رودخانه که نیروی دینامیکی آب کم باشد بکار می‌رود. شکل (۵-۲۳) یک سیلبند چوبی را نشان می‌دهد که با پشت‌بند سنگی محکم شده است.



شکل ۵-۲۲- دیوار سیلبند چوبی

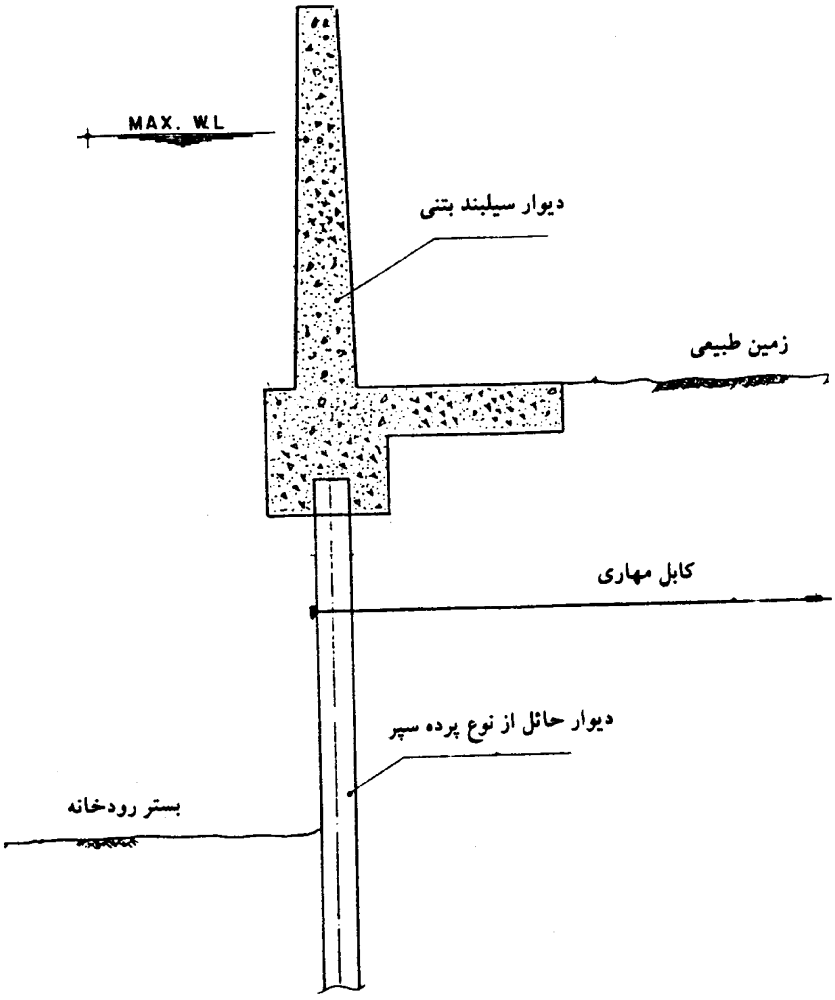


شکل ۵-۲۳- دیوار سیلبند چوبی با پشت بند سنگی

لازم به ذکر است که استفاده از دیوار سیلبند چوبی، علیرغم نفوذپذیر بودن آن، از این جهت قابل توجیه است که هدف مهار سیلاب را تا حدودی تأمین می‌کند. زیرا جلو هجوم سیل (نه نفوذ سیل) را می‌گیرد و می‌تواند در کاهش خسارت سیل مؤثر باشد. علاوه بر این با پر شدن درز و شکاف دیوار چوبی در طول زمان از رسوبات و گل و لای، میزان نفوذپذیری کاهش می‌یابد. ضمناً می‌توان پشت دیوار چوبی را با خاک مناسب پر کرد تا از نفوذپذیری آن کاسته شود.

۵-۲-۳-۶ دیوار سیلبند ترکیبی

در مواردی از دیوار حائل با مصالح مناسب برای حفاظت کناره رودخانه در مقابل فرسایش و نیز به عنوان پایه‌ای برای دیوار سیلبند استفاده شده و سپس دیوار سیلبند بر روی آن ساخته می‌شود. شکل (۵-۲۴) نمونه‌ای از این نوع دیوارها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۴- سیلبند بتنی روی سپر فلزی

۵-۲-۴ عوامل تخریب دیوارها و حفاظت آنها

مسایل حفاظتی دیوارهای سیلبند در مواردی شبیه گوره‌ها می‌باشد. در صورت داشتن جنس محکم، این دیواره‌ها کمتر خراب شده و در صورت سرریز شدن جریان از روی آنها، بدنهٔ دیواره خسارت زیادی نمی‌بیند. ضمناً می‌توان برای جلوگیری از سرریز شدن جریان از روی آنها، به کمک بزرگسازی دیواره از وقوع خسارت جلوگیری کرد. برای طراحی دیوارهای سیلبند باید آنها را در مقابل کلیهٔ حالتهایی که منجر به تخریب می‌شود ایمن کرد. عوامل مهم در تخریب این نوع دیواره‌ها عبارتند از:

- پدیدهٔ رگاب که در اثر تراوش جریان از زیر سازه رخ می‌دهد، سبب شسته شدن خاک زیر دیواره و پنجهٔ آن شده و شرایط واژگونی سازه را فراهم می‌سازد.
- شالوده ضعیف که منجر به جابجایی و نشست‌های نامساوی می‌شود.
- لغزش جانبی در اثر نبودن قیدهای لازم
- واژگونی در اثر کم بودن وزن دیوار یا بد قرار گرفتن آن و یا کافی نبودن نیروهای مقاوم
- واژگونی دیوار در اثر آبشستگی در محل پنجهٔ دیوار
- ناپایداری شیروانی خاکی کنارهٔ رودخانه که دیوار سیلبند به آن متکی است.
- خرابیهای سازه‌ای

در صورت نبودن عوامل مخرب بالا عمر این گونه دیوارها زیاد بوده و قدرت مهار آنها خوب می‌باشد. در جایی که خاک شالوده ضعیف باشد باید با استفاده از پاشنه و پنجه میزان فشار اعمال شده را با پخش آن بر روی یک سطح بزرگتر کاهش داد. سوراخهای درون دیوار (مربوط به تخلیهٔ آب زیرزمینی در پشت دیوارهای بتنی، سنگی با ملات و غیره) را معمولاً با لوله‌های پلاستیکی درست می‌کنند. برای کسب اطمینان بیشتر، پشت دیوارها در محل لوله‌های زهکش را با مصالح فیلتر پر می‌کنند تا از شسته شدن خاک پشت دیوار جلوگیری شود. نکات مربوط به طراحی و ساخت این دیوارها در مراجع مختلف بیان شده است. از این رو در اینجا از پرداختن به آن نکات خودداری می‌شود.

۵-۲-۵ جانمایی دیوارهای سیلبند

در صورتی که بخواهیم دیوار سیلبند را در قسمت بیرونی و فرسایش‌پذیر پیچ‌های رودخانه ایجاد کنیم، چون فرسایش در این نقاط پیشروی کرده و حتی در بعضی از نقاط به داخل مناطق مسکونی و تجاری می‌رسد، از اینرو محلی برای احداث دیوار سیلبند باقی نمی‌گذارد. در حقیقت چنین ساحل فرسایش‌پذیری نمی‌تواند شالوده پایداری

برای ساختن دیوارهای سیلبند بر روی آن باشد. لذا باید دیوار سیلبند در داخل رودخانه ساخته شود که مشکلات اجرایی متعددی به همراه دارد و یا باید دیوار سیلبند بر روی کناره بالایی (ساحل) ساخته شود که در آن صورت در مجاورت آن کنارهٔ فرسایش‌یافتهٔ عمودی رودخانه قرار داشته و خطر تخریب و واژگونی دیوار را به همراه دارد. در چنین وضعیتی اساساً دو روش عمده برای حل مسئلهٔ فوق وجود دارد. روش اول آن است که نواری از حاشیهٔ رودخانه را با تغییر مکان دادن منازل، تأسیسات و سایر موانع برای احداث سیلبند آماده کنند بدون آنکه نیاز به احداث دیوار حایل (که کار آن نگهداری کناره و بار ناشی از وزن دیوار سیلبند می‌باشد) باشد. در این روش باید کنارهٔ رودخانه به وسیلهٔ روشهای حفاظت کناره تثبیت گردد.

روش دوم آن است که کنارهٔ رودخانه را به کمک دیوار حایل تثبیت کرده و در مجاورت آن در ساحل بالای کناره، دیوار سیلبند ایجاد گردد (شکل ۵ـ۱۹). چنانچه چنین فاصله‌ای وجود نداشته باشد، دیوار حایل در فاصلهٔ کمی از کناره در داخل رودخانه ساخته می‌شود تا فضای کافی برای سیلبند فراهم گردد.

۶- انحراف سیلاب[1]

این روش مهار سیلاب عموماً در نواحی بالادست مناطق توسعه‌یافته، نظیر شهرها و مجتمع‌های صنعتی بکار می‌رود که فضای کافی برای بزرگسازی[2] (تعریض و تعمیق) آبراه یا ساخت گوره‌ها وجود ندارد و ساخت دیوارهای سیلبند نیز غیراقتصادی می‌باشد. در چنین حالت‌هایی قسمتی از سیلاب یا کل آن، ازطریق یک سیلراه از ناحیه مورد حفاظت دور می‌شود.

انحراف سیلاب رودخانه‌ها و آبراه‌ها شاید یکی از قدیمی‌ترین روشهای حفاظت سیلاب باشد و در صورت امکان انجام آن، معمولاً یکی از بهترین و ارزانترین روشهای مهار سیلاب می‌باشد. زیرا با این روش، جریان سیلاب و خطرات آن از رودخانه و آبراه دور شده و در نتیجه در بازه موردنظر از رودخانه یا آبراه تأمین کافی بوجود می‌آید. از اینرو تأثیر این روش خیلی زیاد می‌باشد. فرق این روش با سایر روشهای مهار سیلاب مثل گوره‌ها و دیوارهای سیلبند در این است که با احداث گوره یا دیوار سیلبند خطرات بالقوه ناشی از سیل در سرتاسر طول گوره‌ها و دیوارهای سیلبند باقی می‌ماند، در حالیکه با انحراف سیلاب، خطرات ناشی ازآن در سرتاسر بازه موردنظر از رودخانه یا آبراه برطرف می‌گردد.

امروزه در سیلابدشت‌های پرجمعیت، اساساً امکان کمی برای ساخت سیلراه‌های[3] بزرگ (نظیر زمانهای گذشته که کانالهای عریض در بالای تراز زمین با خاکریزی یاگوره‌بندی ایجاد می‌شدند و سیلاب را از رودخانه طغیانی دور کرده و مخازن ذخیره موقت برای آنها ایجاد می‌کردند) وجود دارد. به همین دلیل باید روشهای مختلف انحراف سیلاب، متناسب با شرایط محیطی و امکانات فنی و اقتصادی بررسی گردد.

سیلراه انحرافی از طریق یک سرریز ثابت، دریچه سیل[4] و یا سرریز خاکی[5] کم ارتفاع عمل می‌کند. در حالت اخیر وقتی تراز سیلاب در آبراه اصلی به تراز سیل طراحی می‌رسد، سیلاب از روی سرریز خاکی عبور کرده و آن را تخریب می‌کند و سپس در داخل سیلراه جریان می‌یابد. در دوره‌های غیرسیلابی، زمینهای داخل سیلراه به عنوان زمینهای کشاورزی و نیز برای سایر هدفهای محدود، می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

در ادامه این فصل، به بررسی و مقایسه روشهای انحراف سیلاب پرداخته می‌شود.

1- Flood Diversion
2- Enlargement
3- Floodways
4- Floodgate
5- Fuse plug

۶-۱ روشهای انحراف سیلاب

۶-۱-۱ انحراف به زمینهای پست (گود)

در این روش برای عملی ساختن انحراف سیلاب لازم است زمینهای پستی در مجاورت رودخانه وجود داشته باشد تا از آن طریق بتوان حجم سیلاب را در آنها موقتاً ذخیره کرد که به آن انحراف موقت گویند (شکل ۶-۱) و یا بطرف محل مناسبی (دریا، دریاچه، تالاب، باتلاق و غیره) انتقال داد که انحراف دائمی می‌باشد. چنین زمینهایی علاوه بر مناسب‌بودن شرایط توپوگرافی آنها، باید اراضی بایر غیرقابل کشت یا باارزش اندک باشند تا بتوان چنین انحرافی را ممکن ساخت و چنانچه زمین مناسبی با مشخصات ذکر شده در حوالی رودخانه نباشد، جریان سیلاب باید توسط یک سیلاه کنارگذر [1] طولانی به محل مناسب (دریا، دریاچه، تالاب، باتلاق و غیره) منتقل گردد. غالباً یک سیلاه طولانی بخاطر ابنیه حفاظتی لازم که در طول آن باید پیش‌بینی گردد و نیز قطع جاده‌ها و تأسیسات، بسیار پرهزینه خواهد بود.

وقتی که مخازن ذخیره موقت در داخل سیلابدشت موجود باشد، آسان‌ترین راه برای انحراف سیلاب حتی تا به امروز، ساختن یک دهانه آبگیر قابل تنظیم در بدنه خاکریزگوره یا کناره رودخانه و حفر یک سیلاه از دهانه به سمت محل مخزن می‌باشد. اگر آب ذخیره شده بتواند بعداً به رودخانه برگشت داده نشود، این راه‌حل آسان و فوق‌العاده مؤثر می‌باشد. سیلاه‌های انحرافی که سیلاب را به دریاچه‌های مجاور هدایت می‌کنند بهترین راه حل هستند، بویژه وقتی دریاچه آنقدر بزرگ باشد که به عنوان یک مخزن تسکین سیلاب، بدون افزایش قابل توجه در تراز آب عمل کند.

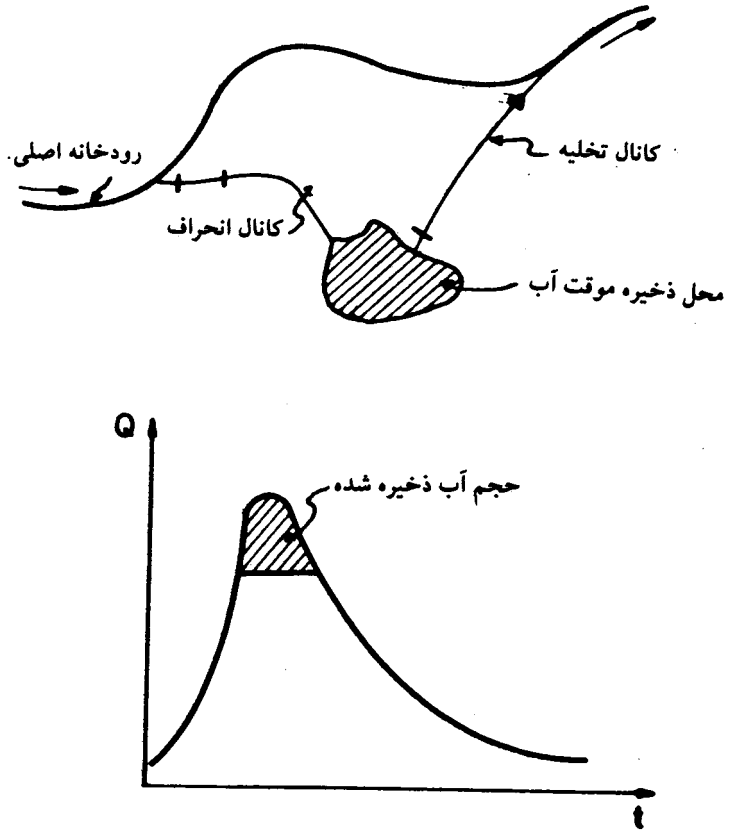
۶-۱-۲ سیلاه کنارگذر

در این روش قسمتی از سیلاب را قبل از اینکه به بازه خاصی از شاخه اصلی رودخانه برسد منحرف کرده و پس از گذشتن از محل خطر دوباره وارد رودخانه می‌کنند. این انحراف می‌تواند موقتی یا دائمی باشد و در مواردی بکار می‌رود که ظرفیت رودخانه محدود بوده و انحراف به خارج از حوضه یا محلهای دیگر دارای توجیه نباشد.

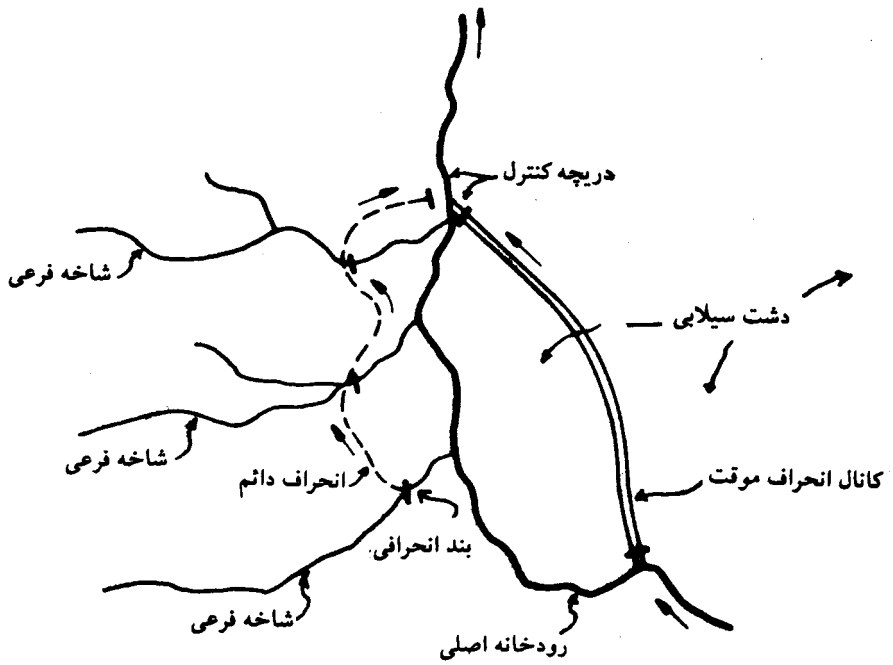
شاخه اصلی رودخانه که از سیلابدشت واقع در اراضی پست می‌گذرد، شاخه‌های فرعی منشعب از کوههای مجاور را دریافت می‌کند (شکل ۶-۲). شاخه اصلی می‌تواند جریانهای کم و متوسط را بدون خطر عبور دهد، اما در صورت افزایش بده باعث گسترش سیلزدگی می‌گردد. دو عامل زیر باعث تشدید این موقعیت می‌شوند :

- وقتی تطابق بین امواج سیلاب شاخه اصلی و یک یا چند شاخه فرعی رودخانه وجود داشته باشد یا به عبارت دیگر اوج [2] سیل آنها روی هم بیفتد، در آن صورت خسارت سیل ممکن است خیلی زیاد باشد.

1- Flood Bypass; Bypass Channel 2- Peak



شکل ۶-۱- انحراف سیلاب به زمینهای پست



شکل ۶-۲- انحراف موقت و دائم آب

- در طول بازه‌هایی از رودخانه اصلی، بستر آبراه به علت سالها رسوبگذاری، در ترازی بالاتر از تراز سیلابدشت قرار بگیرد و یا به هر دلیل دیگری ظرفیت آبگذری آن کم شده باشد.

بعد از بررسی گزینه‌های مختلف، راه حل رفع مشکل حالتهای بالا، به دو طرح انحرافی زیر بستگی دارد :

- کنارگذر موقت : برای شاخه اصلی، یک سیلراه انحرافی موقت در نظر می‌گیرند که در ابتدا و انتها دارای دریچه بوده و فقط در هنگام وقوع سیلاب شدید از آن برای عبور سیلاب مازاد بر ظرفیت رودخانه استفاده می‌شود. در بقیه اوقات، این سیلراه کنارگذر به عنوان یک کانال جمع‌کننده اصلی برای زهکشی سیلابدشت عمل می‌کند. در این روش یک سازه انحرافی کنترل شده (دارای دریچه) برای انحراف جریان از رودخانه به سیلراه کنارگذر ضروری است.
- کنارگذر دائم : برای شاخه‌های فرعی، یک آبراه انحرافی دائم در نظر می‌گیرند. این شاخه‌های فرعی در فاصله‌ای نه چندان دور از همریزگاه [1] مسدود شده و آب آنها بوسیله آبراه‌کنارگذر منحرف می‌شود تا در انتهای پایین دست سیلابدشت (پایین‌تر از ناحیه مورد حفاظت) به شاخه اصلی رودخانه بپیوندد (شکل ۶-۲).

سیلراه‌های کنارگذر که از چم‌های [2] رودخانه اصلی تبعیت نمی‌کنند و پس از انشعاب تقریباً با مسیری دارای پیچ‌وخم کمتر، به رودخانه اصلی برمی‌گردند، دارای طول کوتاهتری هستند و هنگامی که اختلاف ارتفاع بین محل انحراف و محل برگشت آن به رودخانه یکسان باقی بماند، دارای شیب خیلی تندتر از شیب رودخانه می‌گردند. در صورتی که این شیب تند منجر به بروز مشکلاتی برای سیلراه یا رودخانه اصلی (در محل تخلیه سیلاب) بگردد، برای غلبه بر چنین مشکلی، باید به کمک یک یا چند سازه شیب‌شکن در امتداد مسیر سیلراه‌کنارگذر، شیب آن را کندتر کرد.

برگشت سیلاب به داخل رودخانه اصلی در نقاط پایین‌دست، ناگزیر باعث پس‌زدن آب می‌گردد که اگر خیلی نزدیک به بازه مورد حفاظت باشد، خطرزاست. یک راه حل ساده، جابجایی نقطه برگشت سیلاب (همریزگاه) به محلی دورتر در پایین‌دست می‌باشد و این در حالیست که طولانی کردن سیلراه‌کنارگذر، مشکلات ویژه‌ای را در پی نداشته باشد. در غیر این صورت راه حل آن است که یک خاکریز (گوره) در امتداد طولی از رودخانه اصلی که تحت تأثیر پس‌زدن آب قرار می‌گیرد، ساخته شود تا بتواند اثرات پس‌زدن آب را در بالادست همریزگاه خنثی کند.

۶-۱-۳ انحراف بین حوضه‌ای (انحراف به رودخانه دیگر)

انحراف سیلاب یک رودخانه به رودخانه مجاور آن می‌تواند به عنوان یک راه حل مفید مطرح گردد. در این نوع انحراف باید دو شرط برقرار باشد:

- اوج سیلابهای دو رودخانه نباید رویهم قرار گیرد.

1- Confluence

2- Meanders

- رودخانه‌ای که قرار است سیلاب به آن منحرف شود (رودخانه گیرنده) باید به‌قدر کافی ظرفیت داشته باشد تا بتواند همه سیلاب انتقال یافته را عبور دهد.

در صورت برقرار بودن شرایط فوق، می‌توان با انحراف سیلاب از رودخانه مورد حفاظت به رودخانه دیگر، از شدت سیل کاست. در صورت نیاز می‌توان همین عمل را برای رودخانه دیگر نسبت به رودخانه اولی در محل‌های مناسب انجام داد (شکل ۶-۳). آبگیرهای خاص یا سدهای انحرافی، امکان انحراف جریانهای یک رودخانه با ظرفیت نامناسب را به رودخانه یا سیلراه با ظرفیت مناسب فراهم می‌سازند.

۶-۱-۴ انحراف به استخرها یا مخازن تأخیری[1]

در سالهای اخیر به علت تبدیل مناطق روستایی به مناطق توسعه‌یافته شهری و صنعتی، در جریان رودخانه‌ها تغییراتی ایجاد شده و کارهای موجود ساماندهی رودخانه‌ها بویژه برای مهار سیلاب کفایت نمی‌کند. زیرا توسعه شهری و صنعتی باعث نفوذناپذیری حوضه آبریز شده و متعاقباً در آبنمود سیلاب رودخانه تغییر ایجاد می‌کند. بطوری که بده حداکثر (بده سیلاب طراحی) که قبلاً پذیرفته شده و براساس آن تأسیسات طراحی شده‌اند، به مقدار زیادی افزایش می‌یابد و آبنمود سیلاب و اوج آن به سمت نقطه آغاز جابجا می‌گردد (شکل ۶-۴).

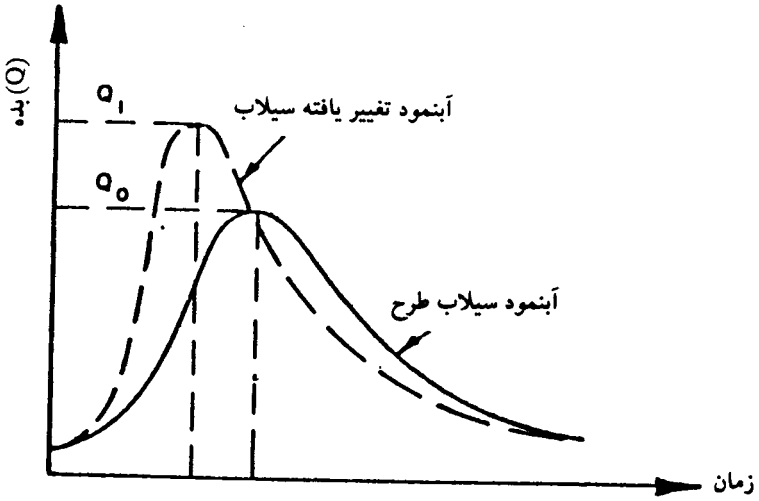
یک روش مفید در چنین حالاتی آن است که در صورت امکان، در امتدادگوره‌های ساخته شده در دو طرف رودخانه، استخرهای تأخیری بوجودمی‌آورند بطوریکه وقتی جریان سیلاب زیاد بوده و تراز آب در رودخانه بالا باشد، جریان به سمت این استخرهای تأخیری جاری شده و از شدت سیلاب در پایین دست می‌کاهد. سپس هنگامیکه شدت سیلاب در رودخانه کاهش یافته و تراز آب در رودخانه پایین آمد، جریان از استخرها به داخل رودخانه صورت می‌گیرد (شکل ۶-۵). موضوع مهم در این روش، طراحی آبگیری از رودخانه است. بطوریکه همیشه باید سطح آبگیر از ترازگوره‌های دو طرف آن کمتر باشد تا مانعی برای ورود و خروجی آب پیش نیاید. در شکلهای (۶-۶) و (۶-۷) جزئیات بیشتری از یک نمونه از این استخرهای تأخیری نشان داده شده است.

روش دیگر، مشابه روشی است که در مبحث انحراف آب به زمینهای پست مطرح گردید. یعنی با انحراف قسمتی از سیلاب به داخل زمینهای پست یا استخرهای تسکین، موقتاً آنها را ذخیره کرده (شکل ۶-۱) و پس از فروکش‌کردن سیلاب، مجدداً به داخل رودخانه برگشت داده می‌شود.

در هر دو حالت فوق با احداث یک دریچه مناسب در محل ورودی به آبراه یا بوسیله سرریز جانبی در رودخانه اصلی، می‌توان سیلاب منحرف شده را تنظیم کرد.

1- Detension Basin; Retarding Basin

شکل ۶-۳ -انحراف مازاد سیلاب به رودخانه مجاور



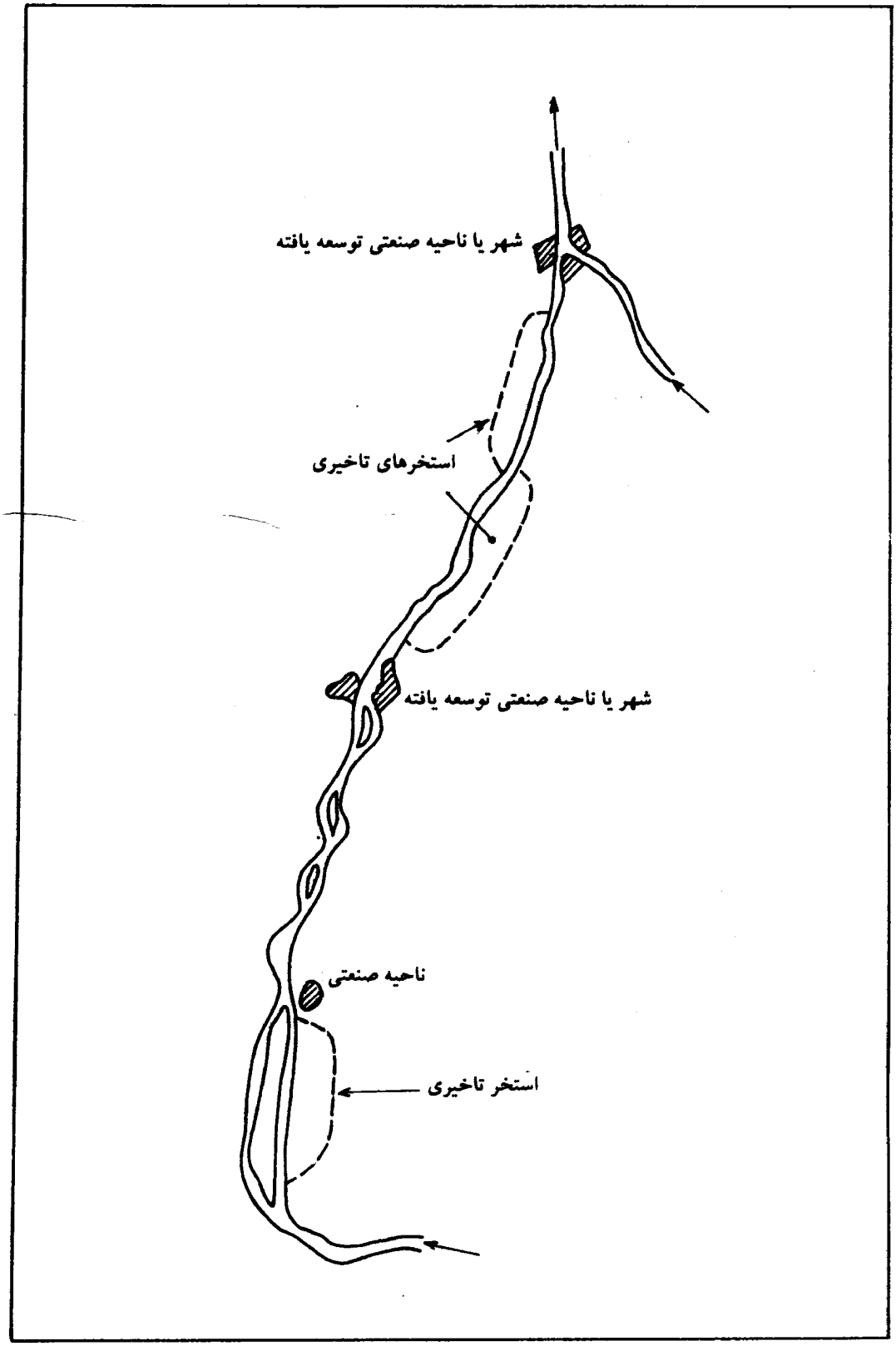
شکل ۶-۴- تغییر در آبنمود سیلاب

۶-۱-۵ انحراف سیلاب در پایین‌دست (افزایش شیب هیدرولیکی جریان)

با انحراف سیلاب در پایین‌دست محل مورد حفاظت، شیب خط انرژی جریان افزایش می‌یابد و تراز نیمرخ طولی سطح آب در بالادست کمتر از حالت قبل از انحراف سیلاب خواهد شد در نتیجه سیلابی که تراز سطح آن قبلاً از تراز کناره‌های رودخانه بالاتر می‌رفته و به اطراف سرریز می‌کرده است، در این حالت تراز آن پایین افتاده و در داخل رودخانه جریان می‌یابد. افزایش شیب خط انرژی S_f در پایین‌دست، با انحراف جریان و تخلیه آن در محلهای موردنظر، دو یا چند شاخه‌ای کردن رودخانه و افزایش کشش آن، حذف پیچ و خم‌ها و مستقیم‌کردن مسیر رودخانه، لایروبی و غیره انجام می‌گیرد که بجز روش انحراف جریان، بقیه روشها مربوط به مبحث بهسازی آبراه بوده و در فصل بعد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۶-۱-۶ انحراف به زمینهای کم ارزش

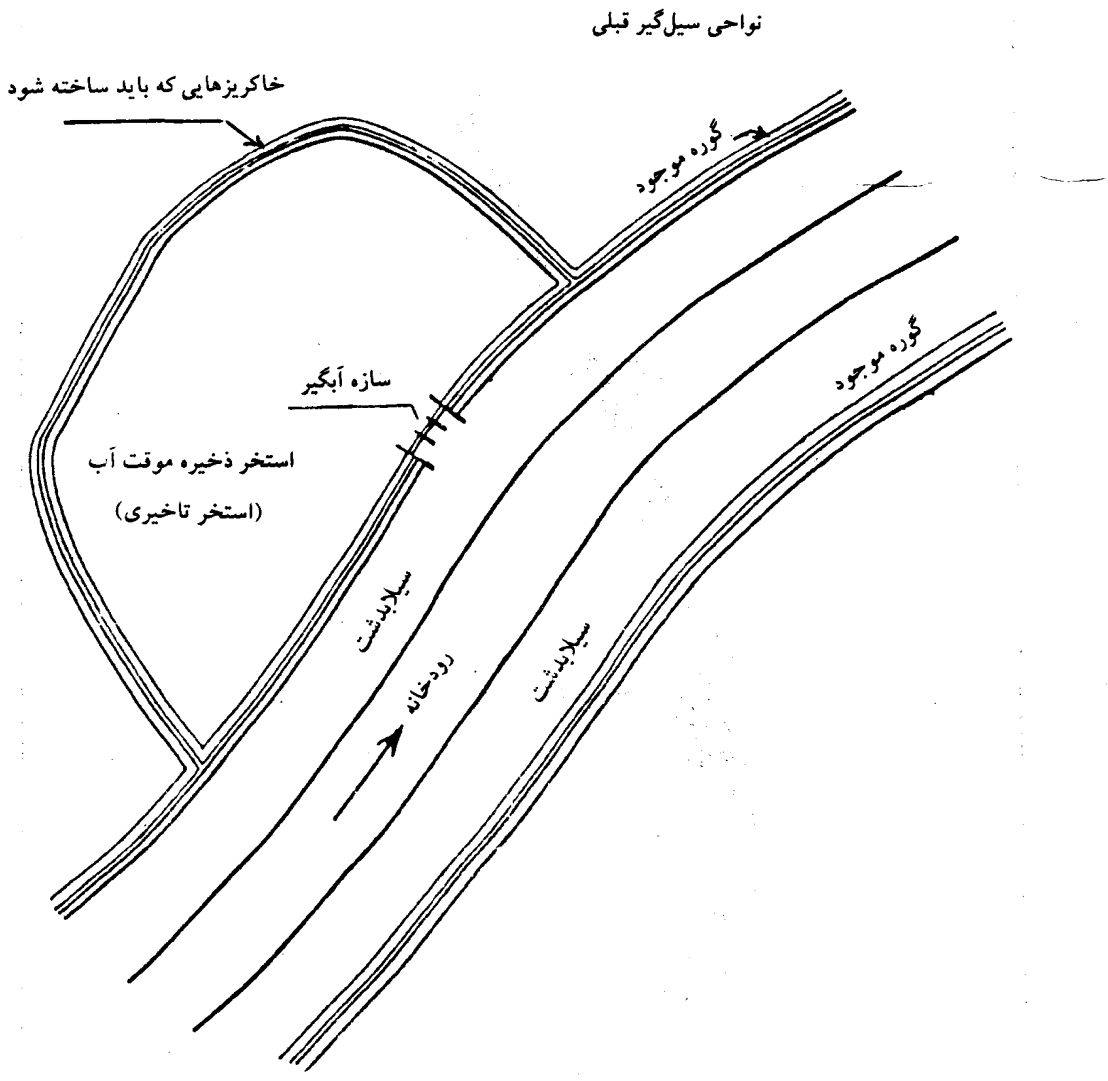
به غیر از مواردی که در روشهای بالا به آنها اشاره شد، در مواردی بویژه در رودخانه‌های کوچک، سرریزهای جانبی ثابت غیرقابل تنظیم در بدنه خاکریزها یا در کنار رودخانه کار گذاشته می‌شوند تا با انحراف قسمتی از سیلاب به سمت زمینهای کم‌ارزش سیلابدشت، زمینهای پرارزش در پایین‌دست را محافظت کنند. همچنین در مواردی این عمل را برای جلوگیری از ایجاد شکاف و تخریب گوره‌ها بکار می‌برند. چون اینکار باعث می‌شود تا از سرریزشدن سیلاب از روی گوره‌ها جلوگیری بعمل آید.



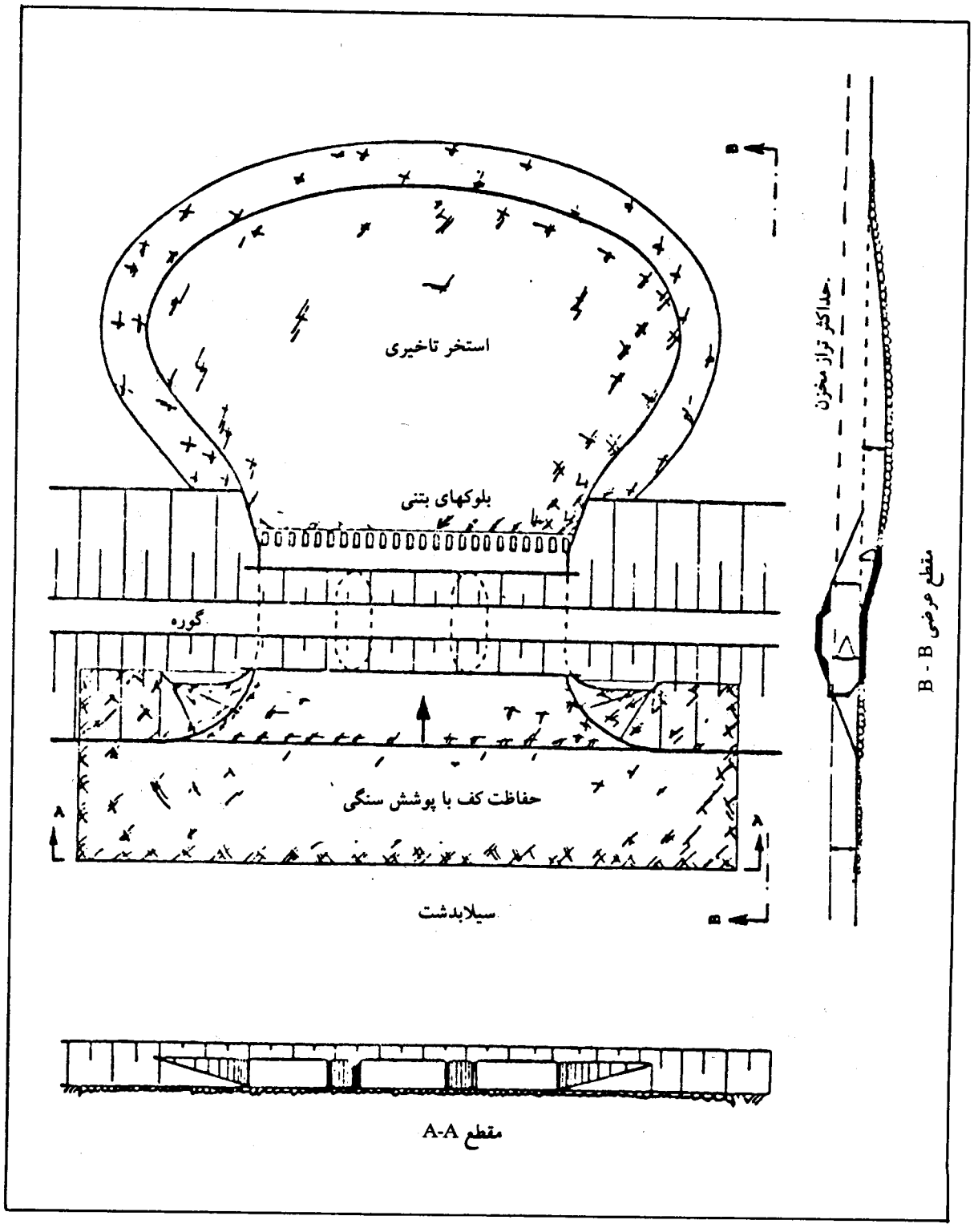
شکل ۶-۵- انحراف سیلاب به استخرهای تأخیری

۶-۲ ملاحظات لازم در انحراف سیلاب

در شرایطی که آبراه موجود یک رودخانه، توانایی گذردادن همه جریانهای عادی را داشته باشد ولی در شرایط سیلابی باعث سیلزدگی دشت مجاور بگردد، در آن صورت یک انحراف موقت از رودخانه برای مواقع سیلابی کفایت می‌کند. در اغلب اوقات، که سیلراه انحرافی قسمتی از آب را در حالت تراز بحرانی تخلیه کند، آبراه طبیعی رودخانه بخوبی عمل می‌کند. در حالت انحراف دائم، در حقیقت آبراه موجود اولیه با یک آبراه دیگر که از آن آب می‌گیرد جایگزین می‌شود (شکل ۶-۲) و یا همراه با آبراه موجود اولیه سیلاب را عبور می‌دهد.

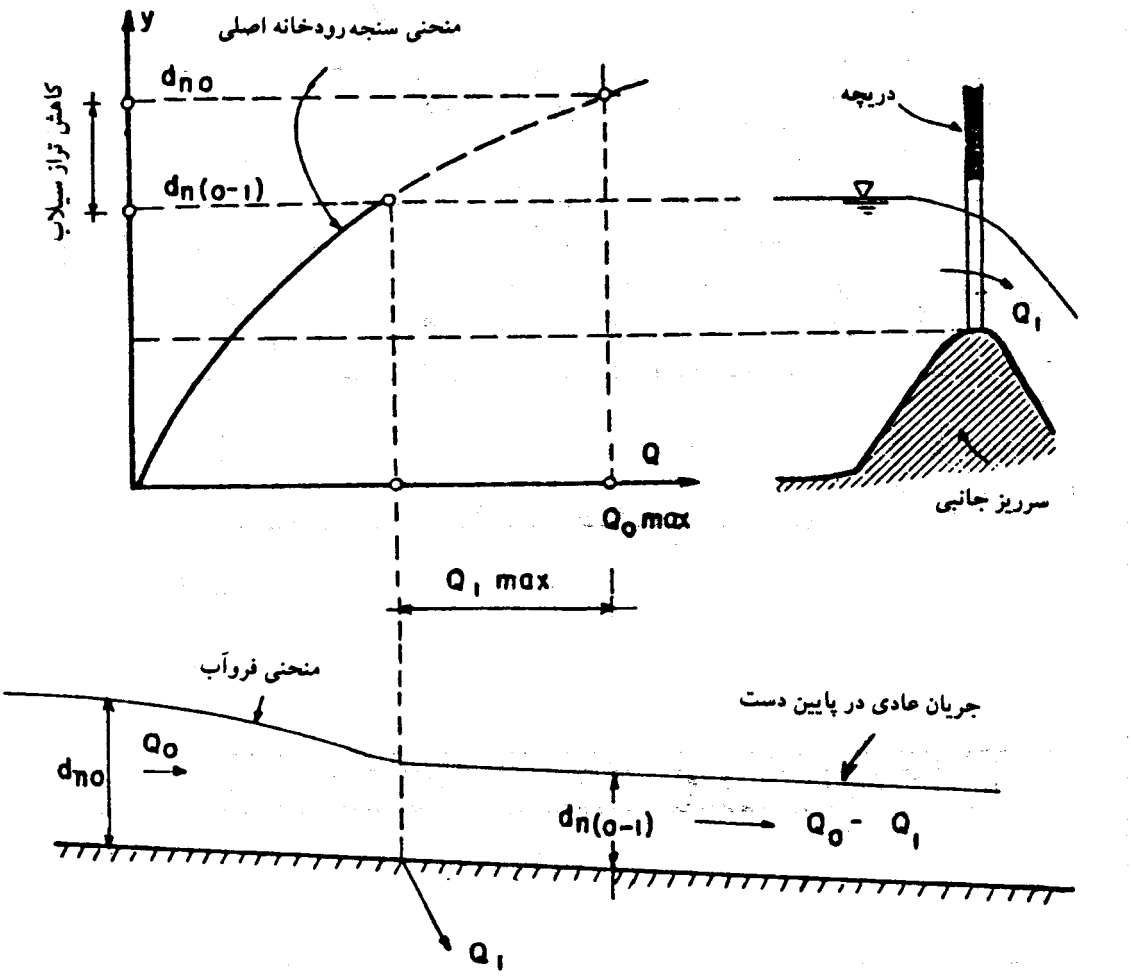


شکل ۶-۶- پلان عمومی یک استخر تأخیری



شکل ۶-۷- نمونه یک استخر تأخیری با جزئیات

به استثنای کارهای دائم انحراف آب، در ابتدای سیلاه انحرافی معمولاً یک سرریز ورودی وجود دارد که ورود سیلاب را به سیلاه انحرافی تنظیم می‌کند. تراز و پهنای تاج سرریز طوری تثبیت می‌شوند تا در هنگامی که موج سیلاب طرح در بالادست به اوج خود می‌رسد، بتواند حداکثر بده انحرافی را عبور دهد. قبل از رسیدن تراز آب به تراز تاج سرریز، آب رودخانه بطور معمولی در آبراه اصلی جریان دارد. اگر تراز آب از تراز تاج سرریز بالاتر رود، قسمتی از بده کل $Q_{\circ}$ شروع به تخلیه در سیلاه انحرافی می‌کند که تشکیل Q_{1} را می‌دهد. بدیهی است که در رودخانه در پایین‌دست محل انحراف آب، بده $(Q_{\circ} - Q_{1})$ جریان داشته و همزمان با $Q_{\circ max}$ به حداکثر مقدار خود می‌رسد. یک نمودار از چنین ترتیبی در شکل (۶-۸) نشان داده شده است.



شکل ۶-۸- انحراف به کمک سرریزهای جانبی

تغییرات ریخت‌شناسی[1] در رودخانه اصلی و سیلاه انحرافی که بعد از ساختن تأسیسات انحرافی بوجود می‌آید، ممکن است بعد از گذشت زمان بطور قابل توجهی کارایی انحراف را کاهش دهد. این امر اثر منطقی حالتی است که سرریز جانبی وجود داشته باشد. چون سرریز جانبی لایه بالایی موج سیلاب را می‌گیرد از اینرو نسبت رسوب به آب در رودخانه اصلی چندان تغییری نمی‌کند. در حالتی که سیلاه انحرافی بدون سرریز ورودی باشد عملاً بصورت یک دو شاخه[2] عمل می‌کند که در آن قسمتی از آب، برای کل عمق جریان، منحرف می‌شود. در آن صورت نسبت رسوب به آب می‌تواند تغییر کند و باعث رسوبگذاری در پایین‌دست بگردد. بهرحال اگر غلظت رسوب رودخانه زیاد باشد همیشه توصیه می‌شود که قبل از انجام کارهای انحراف، با یک طرح فراگیر ساماندهی رودخانه در بالادست محل انحراف، تا حد ممکن رسوب را کاهش دهیم، یا حداقل با اقدامات رسوب برگردان (دفع رسوب[3]) در محل انحراف، میزان رسوب انتقالی به پایین‌دست را به حداقل برسانیم.

در بهترین حالت تنها از ورود بخشی از بار شسته[4] (ذرات رس و لای) به داخل سیلاه جلوگیری می‌گردد. اگر غلظت رسوب سیلاب انحرافی زیاد باشد، در آن صورت در سیلاه امکان رسوبگذاری و تشکیل پشته‌های رسوبی وجود دارد. این انباشته‌های رسوبی از موادی تشکیل شده که آب را در خود نگهداشته و رشد گیاهان را سرعت می‌بخشد. همچنین ریشه‌ها و شاخه‌های درختان که از کناره به سمت داخل آب برآمدگی دارند، میزان رسوبگذاری را افزایش می‌دهند. در نتیجه ممکن است سیلاه بطور قابل توجهی باریک شود یا حتی سبب پس‌زدن آب بگردد. وقتی که بطور همزمان مقاومت آب بالا رود، نتیجتاً کاهش قابل توجهی در ظرفیت انتقال سیلاب در سیلاه صورت می‌گیرد. در این حالت عملیات رسوب برگردان (دفع رسوب) در محل انحراف، تأثیر کمی در بهبود شرایط سیلاه دارد و تنها اقدام مؤثر مهندسی، برگرداندن و اصلاح سیلاه به حالت و ابعاد اولیه آن می‌باشد.

۶-۳ انحراف سیلاب برای سایر اهداف

۶-۳-۱ انحراف سیلاب برای تأمین آب

این راه‌حل اساساً وقتی بکار می‌رود که سیلاه انحرافی، علاوه بر مهار سیلاب، برای تأمین مقدار معینی آب نیز بکار رود و شامل ساخت یک سد دریچه‌دار در عرض رودخانه اصلی و بلافاصله در پایین سیلاه انحرافی می‌باشد. از نظر مهار سیلاب، این راه حل امتیاز زیادی ندارد. مگر برای حالتی که سیلاه انحرافی به ناچار در زمین نسبتاً بلند حفر گردد. در این حالت با افزایش تراز سراب تا آنجا که با شرایط بالادست سازگار باشد می‌توان هزینه حفاری را کاهش داد. بطورکلی، مهار سرتاسری اوج سیلاب نسبت به حالت فوق انعطاف‌پذیرتر و سازگارتر می‌باشد.

1- Morphology
2- Bifurcation
3- Sediment Exclusion
4- Wash Load

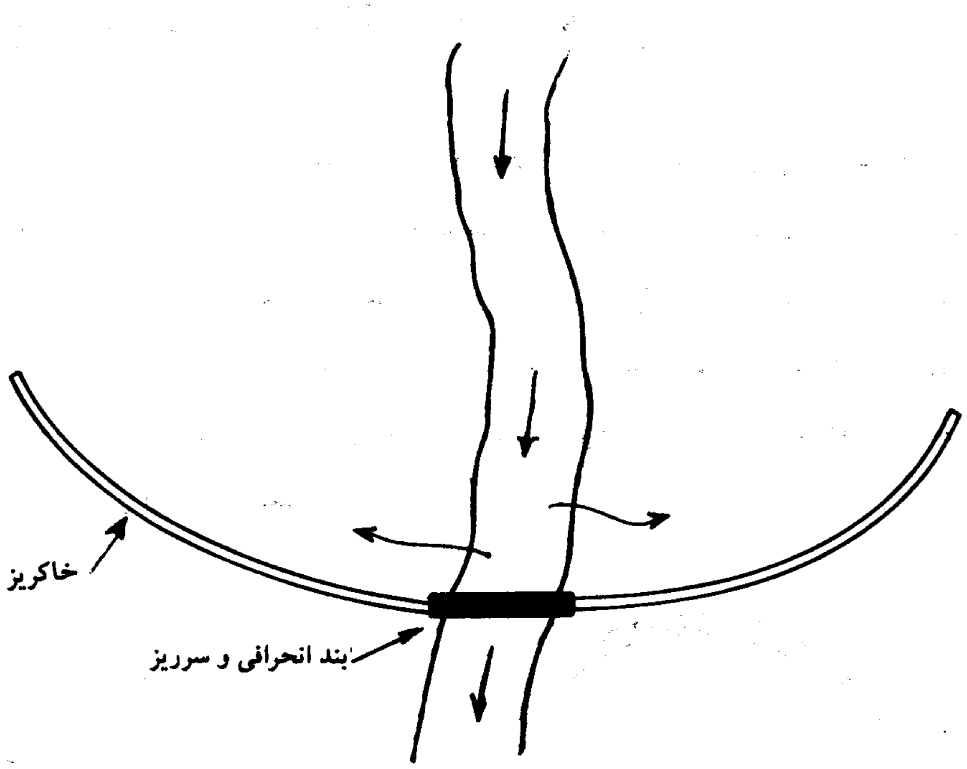
۶-۳-۲ انحراف سیلاب برای تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب

این راه‌حل یک روش انحراف سیلاب نیست بلکه هدف از آن استفاده از سیلاب انحرافی برای تغذیه سفره‌های زیرزمینی و بهبود پوشش گیاهی ناحیه موردنظر می‌باشد و بیشتر برای نواحی کم‌آب بکار می‌رود. برای عملی‌شدن این اقدام، سازه‌های کنترل و هدایت ویژه‌ای مانند دیگر روشهای انحراف مورد نیاز می‌باشد تا بتوان مقدار سیلاب موردنظر را به زمینهای مناسب هدایت کردو سپس با انجام عملیات پخش سیلاب و یا تغذیه مصنوعی، باعث پرآب‌ترشدن سفره‌های زیرزمینی، قناتها، چشمه‌ها و چاهها شد.

یکی از این نوع اقدامات استفاده از بند و سرریز در مسیر آبراه می‌باشد بطوریکه مخزن ایجاد شده در پشت بند به عنوان یک استخر تغذیه مصنوعی عمل کرده و باعث تغذیه مسیر آبراه می‌گردد. در حالت دیگر، از خاکریزهایی به عنوان دیواره مخزن استفاده می‌شود. این خاکریزها از یک طرف به بدنه‌بند متصل بوده و از طرف دیگر در اراضی حاشیه رودخانه امتداد دارند (شکل ۶-۹). این کار باعث گسترده‌ترشدن سطح تغذیه مصنوعی می‌گردد. در هر دو حالت فوق، آب اضافی در مسیر آبراه تخلیه می‌گردد و باعث تغذیه مسیر پایین‌دست بند نیز می‌شود. حسن این روش در آن است که سیلابهای سنگین را می‌تواند در امتداد مسیر آبراه اصلی تخلیه کند و آبهای با حجم کمتر را در بستر و نیز در زمینهای مجاور آبراه نفوذ دهد.

روش بعدی عبارت از انحراف سیلاب برای تأخیر در جریان سیل می‌باشد که با استفاده از استخرهای تأخیری صورت می‌گیرد با این تفاوت که به جای بند انحرافی و سرریز، تنها به تثبیت آبراهه پرداخته و یا از آستانه‌هایی[1] برای اینکار استفاده می‌شود. در این روش طراحی را طوری انجام می‌دهند که سیلاب با مقدار کم از مسیر آبراه می‌گذرد و هرچه که تراز سیلاب بالا می‌آید علاوه بر اینکه مقداری از سیلاب در مسیر جریان می‌یابد، مقداری نیز به داخل استخرهای جانبی یا سایر مخازن مجاور رودخانه هدایت می‌گردد. همینطور همراه با بالاآمدن تراز سیلاب در آبراه، سطح آب در استخرهای جانبی نیز بالا می‌آید و این عمل تا فروکش‌کردن سیلاب ادامه دارد. همراه با پایین‌آمدن تراز سیلاب در آبراه اصلی، سطح آب در استخرهای جانبی نیز شروع به پایین‌آمدن می‌کند و اگر نیاز به تغذیه مصنوعی در محل استخرها باشد می‌توان طراحی را طوری انجام داد که همیشه مقداری از آب در داخل استخرهای جانبی باقی بماند. این روش تا حدودی از لحاظ عملکرد مشابه روش قسمت ۶-۱-۴ می‌باشد با این تفاوت که در اینجا اهداف تغذیه مصنوعی نیز دنبال می‌شود.

1- Sill



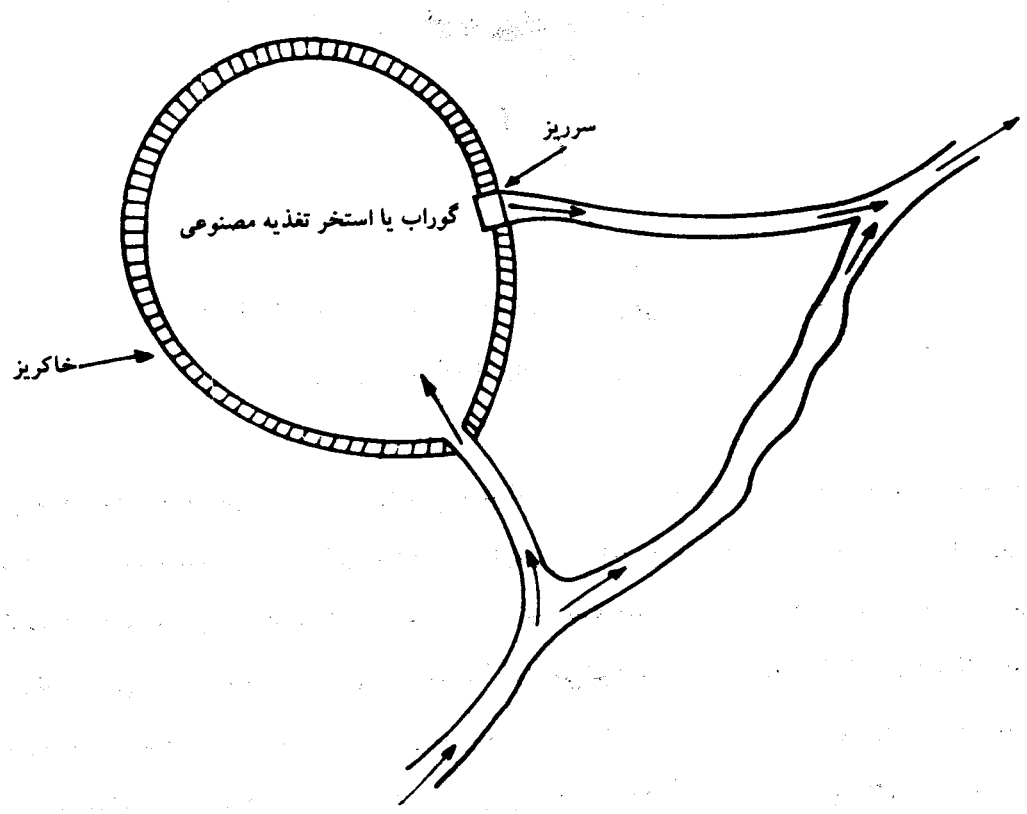
شکل ۶-۹- تغذیه مصنوعی به کمک بند انحرافی و سرریز در روی آبراه و زمینهای مجاور آن (استخرهای تغذیه جانبی)

روش دیگر تغذیه مصنوعی به کمک انحراف سیلاب آن است که با استفاده از سیلراه یا کانال، سیلاب را به سمت محل‌های مناسب مانند تپه ماهورها و غیره هدایت کرده و با زدن بندهای تغذیه، آب انحرافی را ذخیره و تغذیه می‌کنند. همچنین می‌توان سیلاب را به سمت استخرهای تغذیه مصنوعی هدایت کرد. این استخرها عموماً دارای شکل نعل اسبی بوده و اصطلاحاً به آنها ترکینست[1] گفته می‌شود. در بعضی از نقاط ایران نیز اصطلاحات خاص محلی برای این نوع استخرها بکار می‌رود. بعنوان مثال در استان یزد به آنها گوراب می‌گویند. از جمله محلهای مناسب برای این نوع انحراف سیلاب و تغذیه مصنوعی، مخروط افکنه‌ها و مناطق کوهپایه‌ای می‌باشد. نحوه عمل به این صورت است که ابتدا آب انحرافی را به کمک کانالهای انتقال به سمت استخرها هدایت کرده و پس از پرشدن استخر، سرریز مجاور استخر شروع به تخلیه سیلاب مازاد کرده و آنرا به استخرها بعدی انتقال می‌دهد و یا به رودخانه بر می‌گرداند. برای افزایش ظرفیت استخرها و کاهش هزینه اجرایی عموماً از خاک حفاری شده محل استخر، برای ساخت دیوارهای خاکریز اطراف آن استفاده می‌شود. این عمل باعث افزایش حجم آب ذخیره و تغذیه شده می‌گردد. پلان عمومی اینگونه استخرها مطابق شکل (۶-۱۰) می‌باشد.

1- Turkinest

در مواردی نیز با انحراف سیلاب بکمک تأسیسات خاصی، آنرا بر روی اراضی مساعد پخش می‌کنند. این اقدام علاوه بر تغذیه مصنوعی، عموماً در جهت بهبود وضعیت پوشش گیاهی منطقه نیز می‌باشد. بحث بیشتر در مورد روشهای پخش سیلاب خارج از محدوده کار این راهنما بوده و به مراجع مربوط ارجاع داده می‌شود.

از جمع‌بندی کلیه روشهای انحراف سیلاب با هدف تغذیه مصنوعی و پخش سیلاب، می‌توان نتیجه گرفت که اینگونه اقدامات دارای نتایج متعددی از جمله مهار سیلاب، تغذیه مصنوعی سفره‌های زیرزمینی و مهار رسوب بوده و می‌تواند منجر به استحصال آب برای کشاورزی، شرب و غیره بگردد. اکثراً این گونه اقدامات در مناطقی بالاتر از سیلابدشت و از جمله در حوضه آبریز سدها صورت می‌گیرد و می‌تواند علاوه بر مهار سیلاب، بهبود وضعیت کشاورزی و نیز کنترل و کاهش حجم رسوب انتقالی به پایین‌دست را نیز در پی داشته باشد و با افزایش جریان پایه [1]، استفاده از منابع آبی حوضه را بهبود ببخشد.



شکل ۶-۱۰- انحراف سیلاب برای تغذیه مصنوعی با استفاده از استخرهای تغذیه یا گوراب (Turkinest)

1- Base Flow

۷- بهسازی آبراه (رودخانه)[1]

این روش با هدف کاهش تراز سیلاب در یک بازه رودخانه به‌وسیله افزایش توان آبگذری آبراه رودخانه و سیلابدشت همراه با اصلاح راستا و تثبیت رودخانه صورت می‌گیرد و شامل کلیه کارهایی است که منجر به اصلاح مسیر و تعریض و تعمیق مقطع عرضی، تنظیم عمق جریان و شیب طولی، تغییر زبری بستر، حذف موانع زاید در مسیر جریان و تثبیت کناره‌ها و بستر رودخانه می‌شود و علاوه بر افزایش ظرفیت هیدرولیکی آبراه و کاهش تراز سیلاب، اهداف دیگری مانند مهار فرسایش رودخانه، بهبود شرایط کشتیرانی، حفاظت سازه‌ها و تأسیسات رودخانه‌ای را نیز تأمین می‌کند. ظرفیت آبگذری بازه یک رودخانه با کاهش زبری بستر رودخانه یا سیلابدشت، بزرگسازی مقطع عرضی آبراه، کوتاه‌سازی طول آبراه و در نتیجه تندکردن شیب آن افزایش می‌یابد. هرکدام از این بهسازی‌ها منجر به کاهش تراز آب در یک بازه موردنظر از رودخانه می‌شود. در محدوده شهرها که بیشتر اوقات امکان استفاده از روشهای دیگر فراهم نیست، این روش می‌تواند مؤثر واقع گردد. به‌ویژه آنکه در اثر توسعه، افزایش دوره بازگشت سیلاب طرح ضروری بوده و این روش می‌تواند بدون نیاز به افزایش ارتفاع گوره‌ها یا دیوارهای سیلبند، انحراف سیلاب و سایر روشها، به افزایش توان آبگذری و در نتیجه افزایش دوره بازگشت سیلاب طرح کمک کند.

۷-۱ عوامل کاهش توان آبگذری رودخانه

عوامل مختلفی در کاهش توان آبگذری رودخانه مؤثر می‌باشند که هریک به‌گونه‌ای با تأثیرگذاری بر جریان رودخانه و ویژگیهای هندسی آبراه، سبب تشدید حالت سیلابی می‌گردد. بعضی از این عوامل طبیعی بوده مانند وجود پیچ و خم‌های رودخانه و بعضی دیگر ناشی از دخالت بشر در بستر و حاشیه رودخانه‌ها می‌باشد. موانع موجود در مسیر رودخانه‌ها موجب افزایش زبری و مقاومت در مقابل جریان گردیده و با افزایش تراز آب، سرریز شدن آن را به همراه دارد. پشته‌های رسوبی، چم‌ها، پوشش گیاهی، سازه‌های رودخانه‌ای، ساخت و سازها و فعالیتهای عمرانی در حریم رودخانه‌ها و غیره از جمله عوامل کاهش توان آبگذری رودخانه می‌باشند.

۷-۲ عوامل و متغیرهای مؤثر در بهسازی آبراه

ارزیابی تأثیر متقابل متغیرها در سامانه رودخانه امر پیچیده‌ای می‌باشد. روس[2] (۱۹۵۰) برای شرح کیفی و ساده اثر متغیرها در اصلاح مسیر رودخانه از معادله مانینگ[3] برای بده و معادله دوبوی[4] برای بار بستر رودخانه استفاده نموده است: [۱]

1- Channel (River) Improvement
2- Rouse
3- Manning
4- Duboy

$$Q = \frac{1}{n} Bh^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (۱-۷)$$

$$Q_B = \frac{C'}{d^{\frac{3}{4}}} Bh^{2} S^{2} \qquad (۲-۷)$$

Q بده جریان، Q_B بده بار بستر، S شیب، B عرض، h عمق، d متوسط اندازه مواد بستر و C' ضریب ثابت است. این روابط در سیستم متریک برای رودخانه‌های عریض ($R \approx h$) نشان داده شده که R شعاع هیدرولیکی بوده و تغییرات هریک از عوامل به صورت زیر خلاصه می‌شود:

- تغییر در مقاومت جریان : برای یک بده معین، تغییر در عامل مقاومت و زبری بر h و s اثر می‌گذارد. اصلاح راستای رودخانه، بهسازی بستر از طریق حذف گیاهان و درختان و برداشتن موانع و پشته‌های رسوبی [1] باعث کاهش n و کاهش تراز سطح آب و خسارات سیلاب می‌گردد.
- تغییر در عرض : اگر با استفاده از اقدامات محدودسازی جریان در یک عرض معین مثلاً با احداث گوره‌ها و یا سری متوالی آبشکن، عرض رودخانه کاهش یابد در این صورت برای Q و S معین، عمق افزایش می‌یابد. در این حالت بار کف Q_B زیاد شده و آبشستگی پدید می‌آید. وقتی بازه رودخانه در شرایط رسوب‌گذاری است کاهش عرض، باعث افزایش سرعت جریان و در نتیجه سبب مهار افزایش تراز بستر می‌گردد.
- تغییر در شیب : اگر برای یک بده معین، شیب بازه بر اثر اصلاح راستا و کاهش ضریب مارپیچی یا با ایجاد میان‌بر [2] افزایش یابد، در آن صورت عمق کم و ظرفیت حمل رسوب زیاد شده و آبشستگی توسعه می‌یابد:

$$(Q_B \propto S^{\frac{-۷}{۵}} \quad , \quad h \propto S^{\frac{-۳}{۱۰}})$$

- تغییر در عمق : اگر بده و عرض ثابت باشد، افزایش عمق در اثر لایروبی [3] و حفاری بستر باعث کاهش شیب و بار بستر می‌شود ($Q_B \propto h^{\frac{-۱۴}{۳}}$, $S \propto h^{\frac{-۱۰}{۳}}$) ولی نتیجه نهایی آن ته‌نشینی مواد و بازگشت تراز کف به حالت اولیه است. از این‌رو عمل تعمیق [4]، بدون کاهش عرض مقطع، مؤثر نخواهد بود.
- تغییر دانه‌بندی مواد بستر : میزان بار بستر تابعی از متوسط اندازه مواد بستر است. با افزایش بده یا شیب و یا کاهش عرض، مواد ریزدانه بستر شسته شده و دانه‌بندی مواد بستر درشت‌تر می‌گردد. در این صورت بار بستر کاهش یافته و انرژی آب صرف آبشستگی در پایین دست بازه خواهد شد.

ظرفیت بده رودخانه از رابطه زیر نیز تعیین می‌شود :

$$Q = B.h.C\sqrt{hS} \qquad (۳-۷)$$

1- Bars (Sediment Bars)
2- Cut - off
3- Dredging
4- Deepening

به‌صورت تئوریکی افزایش بده از راههای زیر ممکن است :

- افزایش ضریب C (یعنی کاهش زبری بستر رودخانه به‌وسیله صاف‌کردن بستر رودخانه و حذف موانع و بارهای رسوبی و غیره).
- افزایش سطح مرطوب رودخانه (B.h) با عریض یا عمیق‌تر کردن بستر.
- افزایش شیب کف (S).

این روشها شامل افزایش شیب رودخانه و به تبعیت از آن افزایش سرعت جریان با کوتاه‌کردن طول رودخانه به‌وسیله بریدن بعضی از پیچ و خمهای رودخانه می‌باشد. با کاهش مقاومت یا کاهش اصطکاک وارده از طریق بستر و کناره‌های رودخانه بر جریان، می‌توان سرعت جریان را افزایش داد. این کار را با کم‌کردن پوشش گیاهی و برداشتن سایر موانع از مقابل جریان در این نواحی می‌توان انجام داد. همچنین افزایش سطح مقطع جریان به وسیله پهن یا گودکردن آبراه می‌تواند در افزایش ظرفیت آبگذری مؤثر باشد.

در روش بهسازی آبراه، انتخاب مقطع بهینه هیدرولیکی در جهت ایجاد شرایط مناسب برای جریان و کاهش اثرات منفی، بسیار مهم است. پهنای بهینه (عرض کنترل) برای هدایت جریان باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که مانع از فرسایش و یا رسوبگذاری درازمدت گشته و همچنین از ایجاد پدیده برگشت آب [1] (پس‌زدگی) جلوگیری کند.

در پیچان‌رودها که بستر دارای دانه‌بندی لای یا ماسه بوده و شرایط بستر فعال [2] برقرار می‌باشد، تعیین مشخصات مقطع جریان با استفاده از رابطه زیر که توسط هندرسون [3] [۱۰] ارائه شده بدست می‌آید:

$$B = \frac{۱۲۷ Q^{\frac{۵}{۶}} S^{۲}}{D^{\frac{۵}{۳}}} \qquad (۴-۷)$$

B = پهنای بهینه (عرض کنترل) برحسب فوت

Q = بده جریان برحسب فوت مکعب بر ثانیه

S = شیب رودخانه

D = قطر متوسط مواد بستر برحسب فوت

1- Backwater

2- Live Bed

3- Henderson

همچنین رابطه زیر نیز توصیه شده است [۱۰]

$$B = \frac{۱/۱۴QS^{\frac{۷}{۶}}}{D_{۷۵}^{\frac{۳}{۲}}} \qquad (۵-۷)$$

در رابطه بالا نیز عناصر معادله شبیه رابطه قبلی بوده ولی $D_{۷۵}$ قطر نظیر ۷۵ درصد مواد بستر برحسب فوت می‌باشد. با معلوم بودن B و با استفاده از رابطه مانینگ، مشخصات مقطع بهینه هیدرولیکی قابل دستیابی است:

$$Q = \frac{۱}{n}\ (Bxh)\left(\frac{Bxh}{۲h+B}\right)^{\frac{۲}{۳}} S^{\frac{۱}{۲}} \qquad (۶-۷)$$

در رابطه فوق مقادیر Q، B و h در سیستم متریک بوده و n ضریب مانینگ با توجه به شرایط رودخانه تعیین می‌شود. تنها مجهول رابطه بالا h می‌باشد. با استفاده از مبانی و تعاریف بالا، به بررسی روشهای گوناگون بهسازی آبراه پرداخته می‌شود.

۷-۳ روشهای بهسازی آبراه یا رودخانه

بهسازی آبراه شامل روشهای افزایش توان آبگذری به‌وسیله کاهش طول یا افزایش شیب، کاهش زبری و پاکسازی موانع و گیاهان، بزرگسازی مقطع، بهسازی هیدرولیکی سازه‌های رودخانه‌ای و ... و نیز روشهای جنبی مانند مهار فرسایش و حفاظت کناره‌ها و بستر و مهار رسوب ورودی به آبراه می‌باشد. در زیر به بررسی هریک از این روشها می‌پردازیم :

۷-۳-۱ افزایش توان آبگذری[۱]

۷-۳-۱-۱ کاهش طول[۲] و افزایش شیب[۳] (ایجاد میان‌بر)

اگرچه مسیر پیچ و خم‌دار یک رودخانه در اثر عملکرد طبیعی میان نیروهای وارده بین آب و بستر آن رودخانه شکل می‌گیرد، ولی تغییر بعضی از مسیرهای طبیعی در طرحهای مهار سیلاب یا کشتیرانی رودخانه‌ای ضروری می‌باشد. میان‌برها معمولاً مسیرهایی با طول کوتاه می‌باشند که درگلوگاه پیچ‌ها احداث می‌گردند. مسیر کانال میان‌بر از نقطه شروع انحنای پیچ آغاز و به صورت منحنی ملایمی به قسمت انتهایی انحنای پیچ متصل می‌گردد به صورتی که

1- Increase of Discharge Capacity

2- Shortening of the River Channel

3- Steepening the Channel Slope

ابتدای کانال میانبر با شروع انحنای پیچ رودخانه و پایان کانال میانبر با انتهای انحنای پیچ رودخانه، مماس باشد. میانبرها می‌توانند در پیچ‌های با درجه چرخش زیاد به صورت طبیعی و در طی سالیان متمادی در اثر فرسایش پدیدار گشته و یا برای مهار سیلاب، تنظیم تراز سطح آب و کشتیرانی به صورت مصنوعی احداث گردند. ایجاد میانبر هم در پیچ‌های منفرد و هم در پیچ‌های متوالی قابل انجام می‌باشد (شکل ۷-۱).

در احداث میانبر، سه هدف به شرح زیر موردنظر می‌باشد:

- ازدیاد کشش رودخانه از طریق کوتاه‌تر شدن مسیر رودخانه، زیرا در این محدوده بر اثر کوتاه‌تر شدن مسیر، شیب رودخانه افزایش می‌یابد که این خود باعث ازدیاد سرعت و در نتیجه افزایش ظرفیت آبگذری و کاهش تراز سطح آب می‌گردد.
- صرفه‌جویی در هزینه حفاظت کناره رودخانه در تمام طول پیچ و خم که مسیری به مراتب طولانی‌تر از کانال میانبر دارد.
- کوتاه‌شدن طول گوره‌های مهار سیلاب با کوتاه‌ترشدن طول مسیر رودخانه، که نهایتاً کاهش هزینه احداث گوره را نیز به دنبال خواهد داشت.

اجرای کانال میانبر به دو صورت زیر معمول می‌باشد :

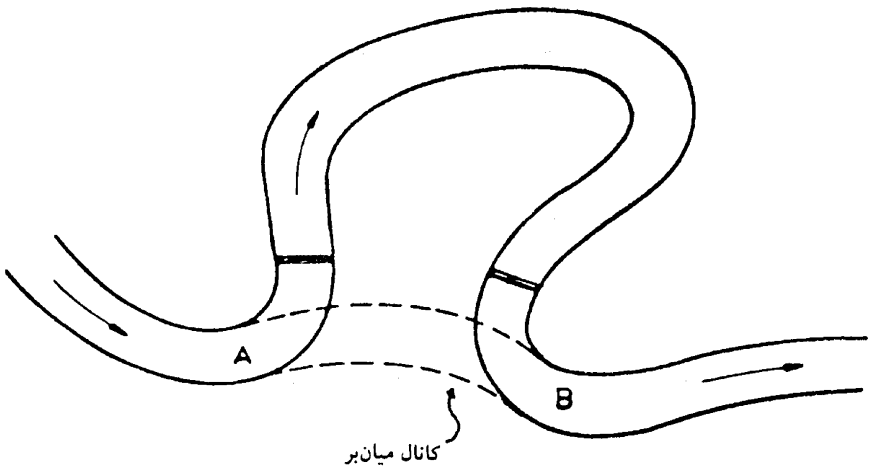
-روش اول : در این روش مسیر طراحی شده با مقطع عرضی موردنظر به صورت کامل بین نقاط A و B (شکل ۷-۱) خاکبرداری شده و رقوم کف این مسیر از میانگین رقوم کف رودخانه در نقاط A و B تبعیت می‌کند. سپس مسیر قدیمی رودخانه به وسیله خاکریز یا کار دیگری بسته می‌شود.

-روش دوم : در این روش اصلاح مسیر، با ایجاد میانبر راهنما [1] (هادی) در طول مسیر میانبر انجام می‌گیرد. ظرفیت میانبر راهنما طوری طراحی می‌شود تا بتواند درصدی (حدود ۱۰ درصد) از بده سیلاب طرح را عبور دهد. سپس حفر باقیمانده مسیر میانبر به خود رودخانه واگذار می‌گردد تا طی چند سال (که عموماً بین ۲ تا ۴ سال طول خواهد کشید) مقطع عرضی مناسب را به کمک فرسایش کناره و کف ایجاد کند.

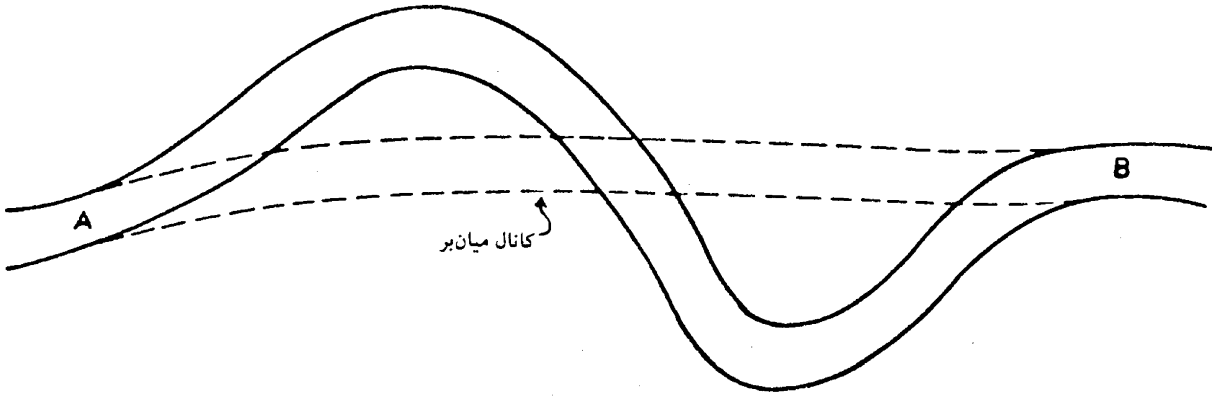
گاهی اوقات به این روند طولانی فرسایش، به‌وسیله حفاریهای اضافی (البته در مراحل بعدی) سرعت داده می‌شود. نکته قابل ذکر دیگر آن است که طراحی میانبر راهنما (نیمرخ طولی و مقطع عرضی آن) باید به گونه‌ای صورت گیرد که حتی در بده‌های کم نیز انتقال رسوب توسط آن انجام شود تا دهانه آن به وسیله رسوب بسته نشود. همچنین می‌توان مشکل فوق را با ایجاد یک آستانه خاکی کوتاه [2] در ابتدای میانبر راهنما برطرف کرد. این آستانه خاکی مانع از ورود آب در بده‌های کم به داخل میانبر راهنما شده تا از رسوبگذاری و بسته‌شدن دهانه آن جلوگیری شود و در بده‌های سیلابی، این آستانه خاکی به وسیله آب شسته شده و تمام مقطع میانبر راهنما برای عبور آب باز می‌شود.

1- Pilot Channel

2- Low Earth Sill



الف - میان‌بر برای یک پیچ



ب - میان‌بر برای دو پیچ متوالی

شکل ۷-۱ - احداث کانال میان‌بر

اجرای عملیات احداث میان‌بر که شرح آن در بالا آمده عملی است که رودخانه در محل گلوگاه بعضی از پیچهای با انحنای زیاد، به‌طور طبیعی و در طول سالهای متمادی بعلت فرسایش کناره و نزدیک‌تر شدن ابتدا و انتهای پیچها به هم انجام می‌دهد.

وجود مسیرهای نعل اسبی متعدد در طول پیچان‌رودها نشان می‌دهد که رودخانه در طول سالهای گذشته بعضی از پیچها را به‌طور طبیعی بریده و مسیرهای جدیدی را به‌وجود آورده است. در حقیقت با ایجاد میان‌بر به‌طور مصنوعی در بعضی از موارد در عمل بریده شدن پیچها تسریع حاصل خواهد گردید. فعال‌بودن پیچها و جابه‌جایی مکرر آنها باعث می‌شود تا نتوان از هم‌اکنون مسیری ثابت و دائمی برای آنها در نظر گرفت و با توجه به آن طراحی نهایی را انجام داد.

داده‌های تاریخی چنین وانمود می‌کنند که رودخانه می‌سی‌سی‌پی در حدود ۱۳ تا ۱۵ میان‌بر طبیعی را در طول یکصدسال درست کرده که معمولاً در سیلابهای با دوره بازگشت زیاد در رودخانه به‌وقوع پیوسته‌اند. در دهه ۱۸۷۰ پنج میان‌بر طبیعی به‌وقوع پیوست که طول رودخانه را در حدود ۸۰ کیلومتر کوتاه کرد (پترسن [1]، ۱۹۸۶). [۳۳] برای مدت چندین سال، در بازه پایینی رودخانه می‌سی‌سی‌پی، به‌وسیله ساختن پوشش برای حفاظت کناره از فرسایش و ساختن آبشکن برای جلوگیری از فرسایش ساحل در مسیرهای فرسایش‌یابنده گلوگاه باریک پیچها، با به‌وقوع پیوستن میان‌برهای طبیعی مقابله شده است. دلیل کوشش برای جلوگیری از به‌وقوع پیوستن میان‌برهای طبیعی براساس اطلاعات به‌دست آمده به شرح زیر بوده است که میان‌برهای طبیعی :

- رژیم موجود رودخانه را تغییر می‌دهد.
- تخریب و عقب‌نشینی ساحل در بالادست را بیشتر می‌کند.
- در نتیجه فرسایش ساحل، رودخانه در پایین دست‌کم عمق شده و بنابراین تناوب سیلابهای پایین‌دست افزایش پیدا می‌کند.
- باعث می‌شود که مسیر نامناسب شده و جریانهایی مزاحم برای کشتیرانی به‌وجود آید که در بعضی از موارد نیز مخاطره‌آمیز است.

در بعضی موارد در اروپا میان‌برهایی به‌وسیله انسان ساخته شده است، اما اینها کانالهایی بوده‌اند که در خشکی و با اندازه‌های کامل ساخته شده و سپس رودخانه به داخل این کانالها انحراف داده شده‌اند. موضوع حفاری یک میان‌بر راهنمای محدود با سطح مقطع نسبتاً کوچک که متعاقب آن، جریان رودخانه آن را وسیع و بزرگ سازد تا به اندازه‌های

1- Petersen

کامل آبراه برسد، برای اولین بار در سال ۱۹۳۰ به‌وسیله ژنرال فرگوسن[1] از افسران گروه مهندسین ارتش ایالات متحده مطرح گردید و سپس برای اولین بار در رودخانه می‌سی‌سی‌پی پایین تحت مدیریت وی، موقعی که رئیس کمیسیون رودخانه می‌سی‌سی‌پی بود، به مورد اجرا گذاشته شد (پترسن، ۱۹۸۶). [۳۳]

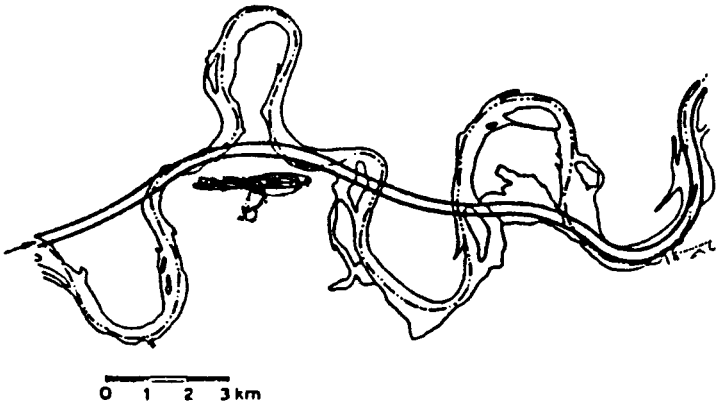
کینوری و موواراش[2] (۱۹۸۴) ظرفیت طراحی اولیه میان‌بر راهنما را معادل ۱۰ درصد سیل بیشینه رودخانه پیشنهاد می‌کند. پترسن (۱۹۸۶) این ظرفیت را در حدود ۱۰ تا ۳۵ درصد سیل بیشینه، اقتصادی‌تر گزارش نموده است. برای رسیدن به نتایج اقتصادی و بهینه در طراحی، گزینه‌های مختلف را مقایسه می‌کنند. برای این منظور مقادیر «نسبت تنش برشی[3] میان‌بر راهنما به مسیر قدیمی» را برای درصدهای مختلفی از بده بیشینه رودخانه محاسبه کرده و به‌صورت تابعی از عرض کف و شیب میان‌بر راهنما رسم می‌کنند و با تحلیل اقتصادی، گزینه برتر را انتخاب می‌نمایند. (پترسن، ۱۹۸۶). [۳۳]

در بعضی شرایط، همانند محلهایی که تغییرات سطح آب در گردنه (گلوگاه) یک خم کم است یا در محلهای کشندی (جزر و مدی) که تغییرات کشند کم است و یا جاهایی که خاکهای سطحی و زیرین در مقابل فرسایش مقاوم هستند، میان‌بر راهنما به‌طور مطلوب نمی‌تواند بزرگ شود و به‌طور کلی باید مقطع کامل میان‌بر حفاری گردد. همچنین اگر شرایط جریان طوری باشد که پس از بازشدن میان‌بر راهنما نتوان کشتیرانی را با استفاده از پیچهای قدیمی ادامه داد، لازم است که میان‌بر با ابعاد کامل حفاری گردد.

در شرایط بدون استفاده از میان‌بر راهنما تا زمان تکمیل حفاری، یک سربند[4] (آستانه) و یا سربندهایی در کانال حفاری جا گذاشته می‌شود. به‌عنوان مثال در می‌سی‌سی‌پی پایین، سربندها به‌وسیله انفجار برداشته شد. در بعضی میان‌برهای آرکانزاس، سربندها طوری طراحی شدند که با مقدار جریان خاص طراحی، آب توانست از روی آنها عبور کرده و در اثر شسته‌شدن سربند، آبراه باز گردید.

این روش به‌طورکلی با محدودیتهای طبیعی (از نظر زمین ریخت‌شناسی دشت) و مشکلات اجتماعی (به‌خاطر حذف بخش اعظمی از اراضی، نقص مالکیتها، تجاوز به محدوده‌های مسکونی یا واحدهای صنعتی، زراعی و خدماتی) روبرو بوده و از لحاظ فنی نیز نیازمند بررسیهای بیشتر، برای اطمینان لازم می‌باشد. در شکل (۷-۲) نمونه‌ای از بهسازی آبراه، ایجاد میان‌برهای متوالی و پیوسته نشان داده شده است.

1- H.B.Fergason
2- Kinori and Mevorach
3- Tractive Force
4- Plug



شکل ۷-۲- بهسازی آبراه با ایجاد میان‌برهای متوالی و پیوسته

۷-۳-۱-۲ بستن شاخه‌های غیرمفید

گاهی رودخانه دارای چندین شاخه متفاوت است که در مواردی این شاخه‌ها بستری به عرض چند کیلومتر را دربرمی‌گیرند. این شاخه‌ها که با گذشت زمان و خصوصیات ریخت‌شناسی خاص رودخانه پدید آمده‌اند مسیر ثابت و معینی نداشته و بررسیهای صحرایی و مقایسه نقشه‌های توپوگرافی سالهای مختلف نشان‌دهنده این موضوع است که شاخه‌های مذکور همواره در حال تغییر مسیر و جابه‌جایی می‌باشند. این امر حتی در بعضی از موارد باعث شده تا یک شاخه فرعی به مرور عریضتر گشته و به‌صورت شاخه اصلی رودخانه که بیشترین مقدار بده را در خود جاری می‌سازد درآمده و شاخه اصلی قبلی به‌مرور زمان خشک شده یا اینکه مقدار کمتری از بده رودخانه را عبور دهد. یکی دیگر از مشکلاتی که این شاخه‌های پر تغییر به‌وجود می‌آورند کاستن از وسعت زمینهای زراعی اطراف رودخانه و اضافه‌کردن مساحت حریم رودخانه می‌باشد. بدین‌صورت که با به‌وجود آمدن این شاخه‌ها یا فعال شدن آنها، دائماً بستر عریضتر شده و نیز با به‌وجود آمدن جزایری در داخل حریم رودخانه که غالباً نیز پوشیده از نیزار و بیشه‌های انبوه است، از وسعت زمینهای مرغوب زراعی کم می‌شود. این حالت به‌ویژه در زمانی که محدودسازی سیلاب به‌وسیله گوره‌ها در اطراف پهنه عریض رودخانه صورت گیرد، تشدید می‌یابد و یا به عبارت دیگر با قراردادن این شاخه‌ها در میان گوره‌های مهار سیلاب، برای همیشه اراضی وسیع قابل کشت جزء حریم رودخانه می‌گردند. از این‌رو می‌توان با بستن این شاخه‌ها و با داشتن گوره‌هایی با ارتفاع مناسب هم از هدررفتن زمینهای زراعی در محدوده طرح جلوگیری کرد و هم بستر اصلی رودخانه شکل شناخته شده‌تری برای انجام عملیات مهار سیلاب پیدا خواهد نمود.

برای شناسایی و انتخاب شاخه‌های غیرمفید که باید بسته شوند از راههای مختلف اقدام می‌گردد. بدین‌صورت که ابتدا به کمک عکسهای هوایی و نیز مقایسه نقشه‌های توپوگرافی قدیم با نقشه‌هایی که جدیداً برداشت شده است،

شاخه‌های غیرمفید انتخاب می‌گردند. سپس به کمک بازدید صحرایی و استفاده از قایق و ... انتخابها مورد ارزیابی مجدد قرار گرفته و شاخه‌های موردنظر به صورت نهایی انتخاب می‌گردند.

روش اجرای کار برای بستن شاخه‌های غیرمفید بدین‌صورت می‌باشد که شاخه موردنظر از دو طرف یعنی در ابتدای انشعاب از مسیر اصلی و نیز در قسمت انتهایی (در جایی که شاخه مجدداً به رودخانه اصلی می‌پیوندد) با خاکریزی بسته شود. محلی که برای بستن تعیین می‌گردد برای اینکه از پایداری کافی برخوردار باشد در دهانه انشعاب انتخاب نشده بلکه پس از طی مسافتی در داخل شاخه فرعی، خاکریزی موردنظر انجام خواهد گرفت تا هم از جریان اصلی رودخانه فاصله کافی داشته و هم اینکه به علت راکدماندن آب و کم شدن سرعت آب در فاصله بین مسیر اصلی تا محل بستن در مسیر شاخه غیرمفید، به مرور این فاصله از رسوبات پر شده و پایداری لازم ایجاد گردد. همچنین سعی گردد که محل بستن شاخه‌های غیرمفید تا حد امکان در محل عبورگوره‌ها از روی این شاخه‌ها قرار داشته باشد. شکل (۷-۳) یک مقطع عرضی نمونه برای خاکریز مخصوص بستن شاخه‌های غیرمفید را نشان می‌دهد. بدیهی است که از مقاطع مختلف دیگر نیز برحسب شرایط می‌توان استفاده کرد.

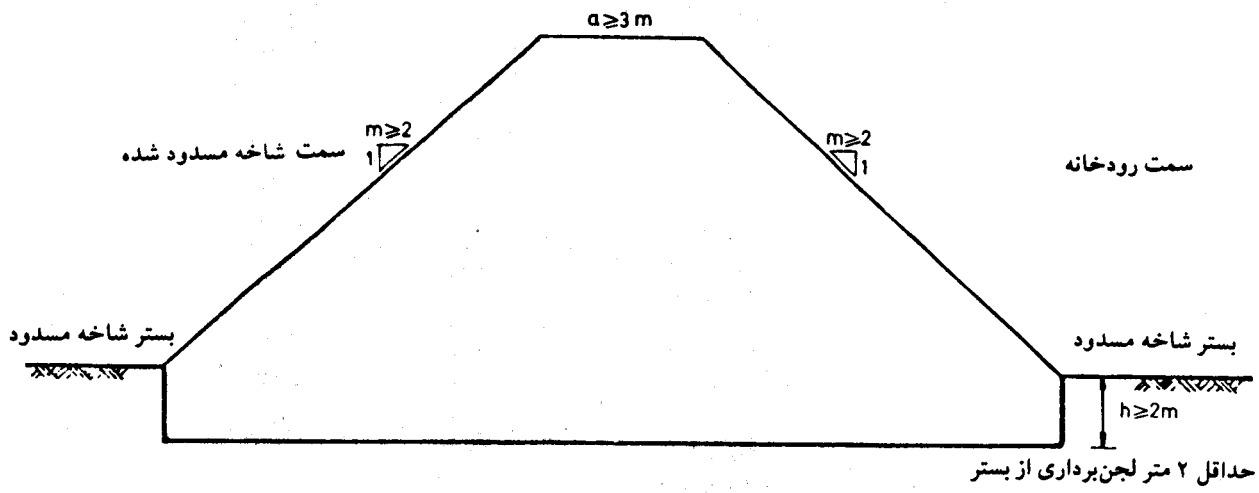
۷-۳-۱-۳ پاکسازی موانع و گیاهان[1]

این روش نیز یکی از کارهای بهسازی رودخانه یا سیلراه[2] (مسیل) می‌باشد که با برداشتن پشته‌ها و موانع رسوبی و پوشش گیاهی در مسیر جریان، باعث افزایش ظرفیت آبگذری می‌شود.

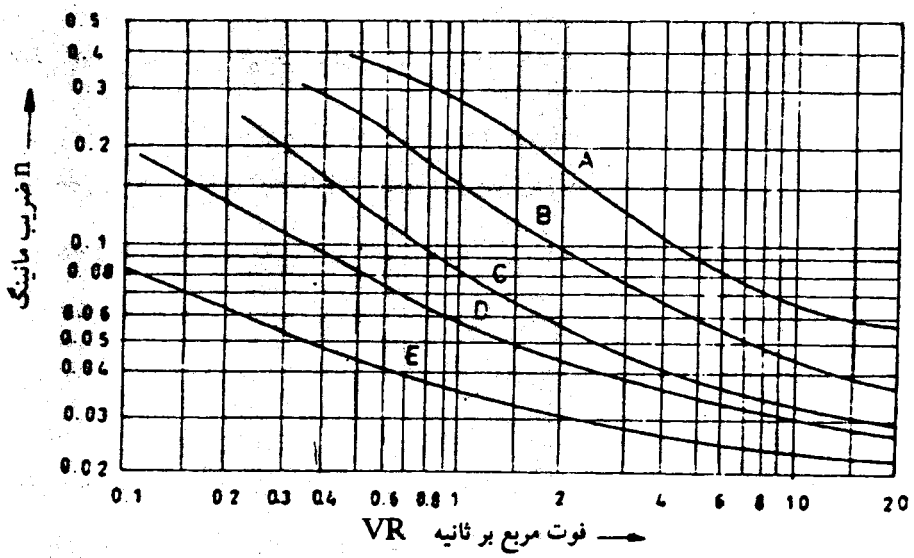
پشته‌ها و جزایر رسوبی به صورتهای مختلف در مسیر رودخانه تشکیل و باعث افزایش شدید مقاومت در مقابل جریان می‌گردد. این پشته‌ها علاوه بر افزایش تراز آب، موجب انحراف، پخش و یا تمرکز جریان گشته و با تشدید فرسایش بستر و کناره‌ها، باعث تغییر در ریخت‌شناسی رودخانه می‌گردد. توده‌های آشغال نیز مانند پشته‌ها و جزایر رسوبی، باعث کاهش ظرفیت آبگذری و در نتیجه تشدید سیلاب می‌شود.

پوشش گیاهی با ایجاد مقاومت در مقابل جریان باعث افزایش زبری و در نتیجه افزایش تراز سطح آب می‌گردد. این زبری با افزایش تراکم و ارتفاع پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. در شکل ۷-۴ نتایج حاصل از بررسیهای سازمان حفاظت خاک[3] آمریکا در مورد تأثیر پوشش گیاهی در مشخصات هیدرولیکی جریان نشان داده شده است. بررسیهای انجام گرفته توسط کلاسن و همکاران[4]، اهمیت و تأثیر درختان و پوشش گیاهی را به‌ویژه در سیلابدشت بر روی منحنی سنجه به‌خوبی نشان می‌دهد. شکل ۷-۵ چگونگی تأثیر پوشش گیاهی بر تراز سطح آب را نمودار می‌سازد.

1- Clearing (Cleaning) & Snagging
2- Floodway
3- Soil Conservation Service
4- Klassen et al.

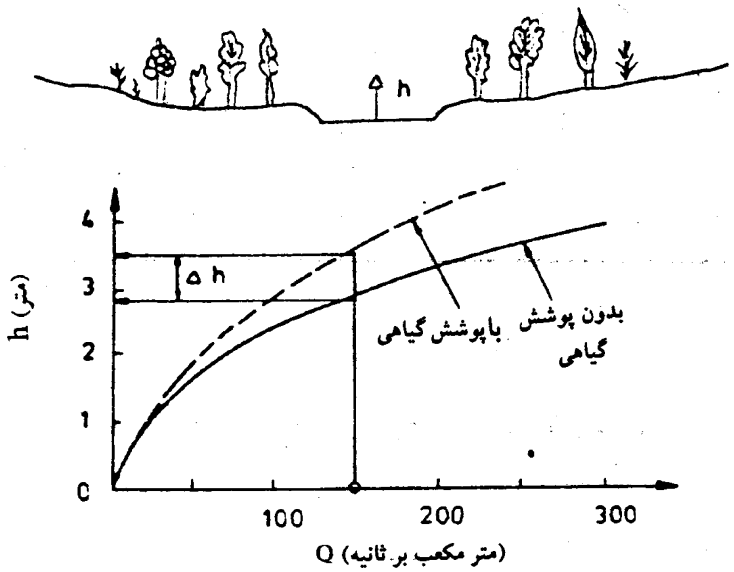


شکل ۷-۳- مقطع نمونه خاکریزی برای بستن شاخه‌های غیرمفید



شکل ۷-۴- تأثیر پوشش گیاهی در افزایش ضریب مانینگ[۱۰]

شماره منحنی	ارتفاع گیاه (سانتیمتر)	ملاحظات
A	> ۷۵	V
		سرعت جریان
B	۲۸-۶۰	R
C	۱۵-۲۵	شعاع هیدرولیکی
D	۵-۱۵	
E	< ۵	



شکل ۷-۵- نمایش چگونگی تأثیر پوشش گیاهی در افزایش تراز سطح آب رودخانه [۱۰]

چاو[1] عوامل مختلفی را که در مقدار n دخالت دارند به صورت زیر بیان کرده است:

$$n = k(n_1 + n_2 + n_3 + n_4)$$

که در آن :

n_1 = ضریب مانینگ ناشی از دانه‌بندی مواد رسوبی بستر

n_2 = ضریب مانینگ مربوط به شکل و تغییرات مقطع رودخانه

n_3 = ضریب مانینگ مربوط به موانع موجود در مسیر و بستر رودخانه مانند پشته‌های رسوبی، درخت و درختچه، پلها و سازه‌های متقاطع و موازی و همچنین تنگ‌شدگی طبیعی

n_4 = ضریب مانینگ ناشی از پوشش گیاهی

1- Ven. T. Chow

k = ضریب مربوط به درجه خمیدگی (انحناء) مسیر ناشی از خمها و چمها

n = ضریب مانینگ کل

افزایش ظرفیت آبگذری زمانی به‌دست می‌آید که با برداشتن پشته‌ها و جزایر رسوبی، آشغالها و سایر موانع و نیز کاهش پوشش گیاهی، بتوان ضریب n را کاهش داد. پاکسازی موانع و گیاهان، به‌ویژه اگر قبل از رخدادن سیل انجام گیرد، می‌تواند در مهار سیلاب و کاهش خسارات آن بسیار مؤثر واقع شود. فرق این روش با لایروبی رودخانه در آن است که در لایروبی رودخانه، بیشتر گود و پهن‌کردن (تعمیق و تعریض) مقطع عرضی موردنظر است. در حالیکه در این روش عملیات پاکسازی موانع و جزایر رسوبی و برداشتن آشغالها و حذف یا کاهش گیاهان و بیشه‌زارها، منجر به کاهش زبری مسیر و در نتیجه افزایش ظرفیت آبگذری رودخانه می‌گردد. البته باید به اثرات جنبی این نوع کارها توجه کافی بشود. زیرا برداشتن بیشه‌زارها و درختان از کناره‌های رودخانه، پایداری کناره را کاهش داده و اثرات فرسایش بر ساحل زیادتر می‌شود. همچنین سازه‌های مجاور رودخانه مانند سازه‌های مهار سیلاب، تأسیسات آبگیری و غیره در معرض فرسایش بیشتر قرار خواهند گرفت. جنبه‌های زیست محیطی برداشتن پشته‌ها و جزایر رسوبی، درختان، پوشش گیاهی و بیشه‌زارها باید در نظر گرفته شود.

۷-۳-۱-۴ بزرگسازی مقطع آبگذر [1]

این کار با گود و پهن‌کردن (تعمیق و تعریض) آبراه رودخانه و نیز پایین‌آوردن یا پهن‌کردن سیلابدشت امکان‌پذیر می‌باشد. مقطع عرضی بزرگسازی شده، به تدریج شروع به رسوبگذاری می‌کند تا اینکه تراز بستر و شیب رودخانه به حالت اولیه باز گردد. بنابراین، گودسازی آبراه در صورتی مؤثر است که بار رسوب کم باشد. در غیر این‌صورت بهسازی دائمی آبراه، تنها به کمک لایروبی [2] مداوم که منجر به کاهش تراز کف شود قابل دستیابی است. چنین راه‌حلی در صورتی از نظر اقتصادی قابل توجیه است که مواد حاصل از لایروبی در جاهای دیگر قابل استفاده باشد. گرچه در این روش پایداری سازه‌های هیدرولیکی، ممکن است به علت کاهش تراز کف، مورد خطر واقع شود.

همچنین پهن‌کردن (تعریض) آبراه رودخانه، در صورت کم‌بودن بار رسوب، می‌تواند موفقیت‌آمیز باشد. عریض کردن سیلابدشت به‌وسیله اصلاح مجدد مسیر و مستقیم‌کردن گوره‌های اصلی امکان‌پذیر می‌باشد، اما بسیاری از املاک و دارایی‌های موجود با چنین بهسازی‌ای، ممکن است در معرض خطر قرار گیرد.

گود و پهن‌کردن مقطع آبراه به‌وسیله لایروبی با هدف تأمین شرایط لازم برای کشتیرانی، افزایش ظرفیت آبگذری یا به‌دست آوردن مواد لایروبی شده برای استفاده در کشاورزی، کارهای ساختمانی و غیره انجام می‌گیرد. لایروبی به

1- Enlarging the Conveyance Cross Section 2- Dredging

معنای برداشت مواد رسوبی از بستر یا کناره‌های رودخانه و انتقال آن به بیرون از رودخانه یـا قسـمت دیگـری از رودخانه می‌باشد به‌طوری که احتمال معلق شـدن و حـمل مـجدد آن در بـازه مـوردنظر نـباشد. روش مـعمولی آن بدین‌ترتیب است که مواد بستر را به کمک ماشین‌آلات بهم‌زده و سست می‌کنند تا در هنگام وقوع سیلاب به‌وسیله جریان سیلابی حمل و به پایین‌دست انتقال یابد و یا به کمک ماشین‌آلات به خارج از رودخانه حمل گردد. امروزه با ماشین‌آلات خودکار ابتدا مواد را به‌صورت معلق درآورده و با روش هیدرولیکی و از طریق خـطوط لوله بـه مـحل مناسب دیگر پمپاژ می‌کنند. این روش علاوه بر حجم زیاد عملیات و هزینه‌های هنگفت، دو مشکل اساسی دارد: اول انتخاب محلی که از نظر ظرفیت و فاصله برای تخلیه مواد لایروبی شده مناسب باشد. دوم اثرات بد زیست محیطی و اکولوژیکی انتقال این مواد است. مواد لایروبی شده حاوی مواد آلی بسیاری است که انتقال مجدد آن به رودخانه باعث افزایش تیرگی آب [1]، تعلیق مواد آلوده و کاهش اکسیژن محلول در آب [2] می‌گردد. از این‌رو نمونه‌برداری و تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی مواد، علاوه بر ارزیابی نوع و میزان آلوده‌کننده‌ها [3]، در انتخاب محل و نیز روش مناسب لایروبی ضروری خواهد بود [۳۳]. تنها در رودخانه‌های بستر شنی می‌توان از عدم حضور مواد آلوده‌کننده مطمئن بود. محلهای تخلیه می‌تواند در پیچهای رودخانه در پایین‌دست، که سرعت زیاد است، یا در محدوده تلاقی اراضی دشت سیلابی و یا حد فاصل بین سازه‌های آبشکن باشد.

معمولاً لایروبی بستر رودخانه برای عبور سیلابهای متوسط و یا بزرگ مستلزم تغییرات اساسی یا بازسازی پلها، تغییر مسیر رودخانه، بزرگسازی مقطع، حفاظت از کناره‌ها، احداث ابنیه در خروجی زهکشها و انشعابات و شاخه‌های رودخانه می‌باشد. علاوه بر این در این روش، مطالعه بده جامد رودخـانه احـتیاج بـه آمـار درازمـدت و شـناخت ریخت‌شناسی رودخانه دارد. ضمناً لایروبی رودخانه در ابعاد وسیع موجب تـغییر رژیـم رودخـانه شـده و نـتایج ناشناخته‌ای در پی خواهد داشت و در نتیجه عمر مفید برای کارکرد این روش قابل پیش‌بینی نیست. بـه‌طورکـلی راه‌حلهای بزرگسازی مقطع هزینه زیادی در برداشته و در مقایسه با سایر راه‌حلها مانند راه‌حل مهار سیلاب به‌وسیله گوره‌ها، اقتصادی نمی‌باشد. حجم عملیات لایروبی رابطه مستقیمی با عرض رودخانه دارد ولی حجم خاکـریزی تابعی از ارتفاع آب رودخانه است. ناگفته نماند که خاکبرداری در بعضی از قسمتهای بستر رودخانه که کاهش ارتفاع، برای عملکرد بهتر یک زهکش، موردنظر باشد و یا در موارد بخصوص و در مقاطعی که ظرفیت آبگذری رودخانه کم بوده و نیمرخ طولی کف، اجازه لایروبی در آن ناحیه را بدهد، راه‌حل مورد بحث می‌تواند بهترین راه‌حل باشد.

۷-۳-۱-۵ بهسازی موضعی آبراه

وجود گلوگاه و یا بیرون‌زدگی کناره‌ها و بستر سنگی موجود در مسیر رودخانه، اغـلب مـوجب تـغییر در شـرایـط

1- Turbidity

2- Dissolved Oxygen

3- Contaminants

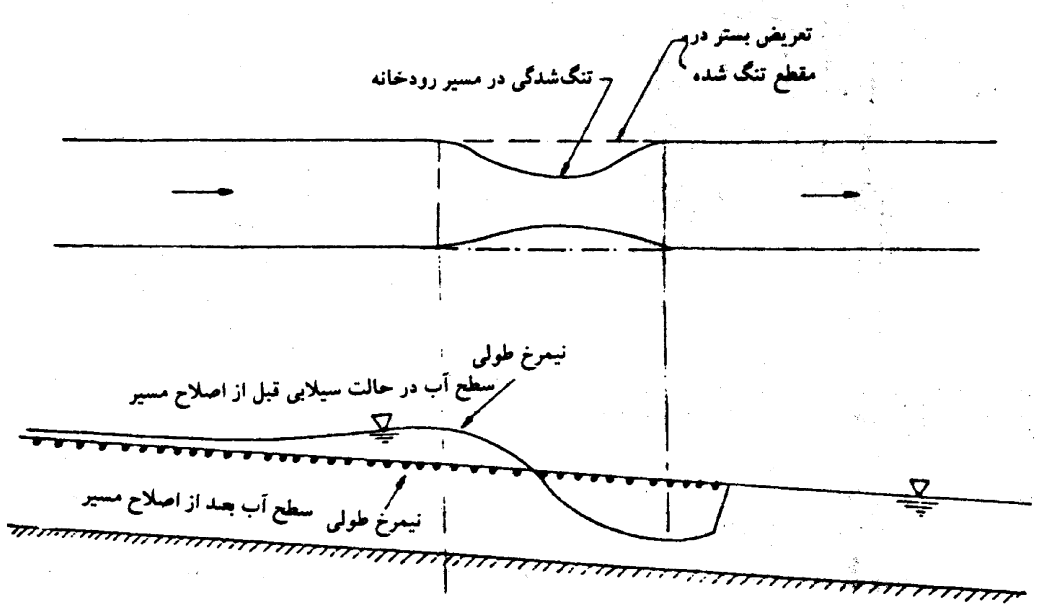
هیدرولیکی و پس‌زدن آب و در نتیجه افزایش تراز سطح آب در مواقع سیلابی می‌گردد. علاوه بر این، ناهنجاریهای ناشی از فرسایش و تخریب کناره‌ها، باعث افزایش مقاومت در مقابل جریان گشته و عاملی در جهت تشدید سیلاب و غرقابی شدن اراضی اطراف می‌باشد. در شکل (۷-۶) نمونه‌ای از چگونگی تأثیر تنگ‌شدگی مقطع در ایجاد پس‌زدگی و نیز انجام بهسازی برای ایجاد شرایط مطلوب نشان داده شده است.

در شکل (۷-۷) نیز بخشی از مسیر رودخانه که به علت وجود برآمدگی و یا کف‌بند سنگی (صخره‌ای)، باعث افزایش تراز سطح آب در بالادست شده است، نشان داده می‌شود. با برداشتن این برآمدگی یا کف‌بند سنگی، تراز سطح آب به حالت نسبتاً مطلوب باز می‌گردد.

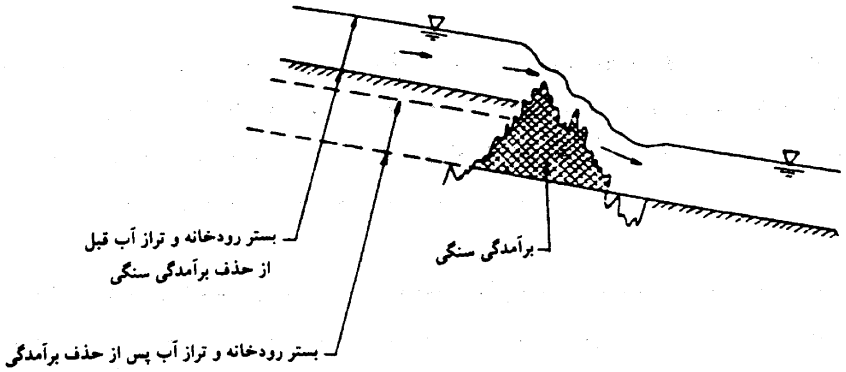
در بخشهایی از رودخانه نیز که با فرسایش و ریزش خاک کناره‌ها و یا به دلایل دیگر، شکل و مشخصات هندسی آبراه، غیرمطلوب می‌باشد، می‌توان با بهسازی کناره به کمک دیوارهای حفاظتی، پوششها و ...، آشفتگی جریان را کاهش داده و نیز با افزایش توان آبگذری، خطرات ناشی از سیل را کاهش داد [۱۰].

۷-۳-۱-۶ بهسازی هیدرولیکی سازه‌های رودخانه‌ای

وجود سازه‌های متقاطع مانند پلها و سازه‌های موازی مانند گوره‌ها، دیوارهای سیلبند، پوشش‌ها و جاده در امتداد کناره رودخانه، معمولاً به دلیل کاهش پهنای رودخانه، موجب بالاآمدن تراز سطح آب و تشدید سیل‌گرفتگی زمینها و مناطق اطراف رودخانه می‌گردد. از این‌رو لازم است برای مقابله با خطرات ناشی از سیل، در ساختار هیدرولیکی آنها اصلاحاتی اعمال شود.

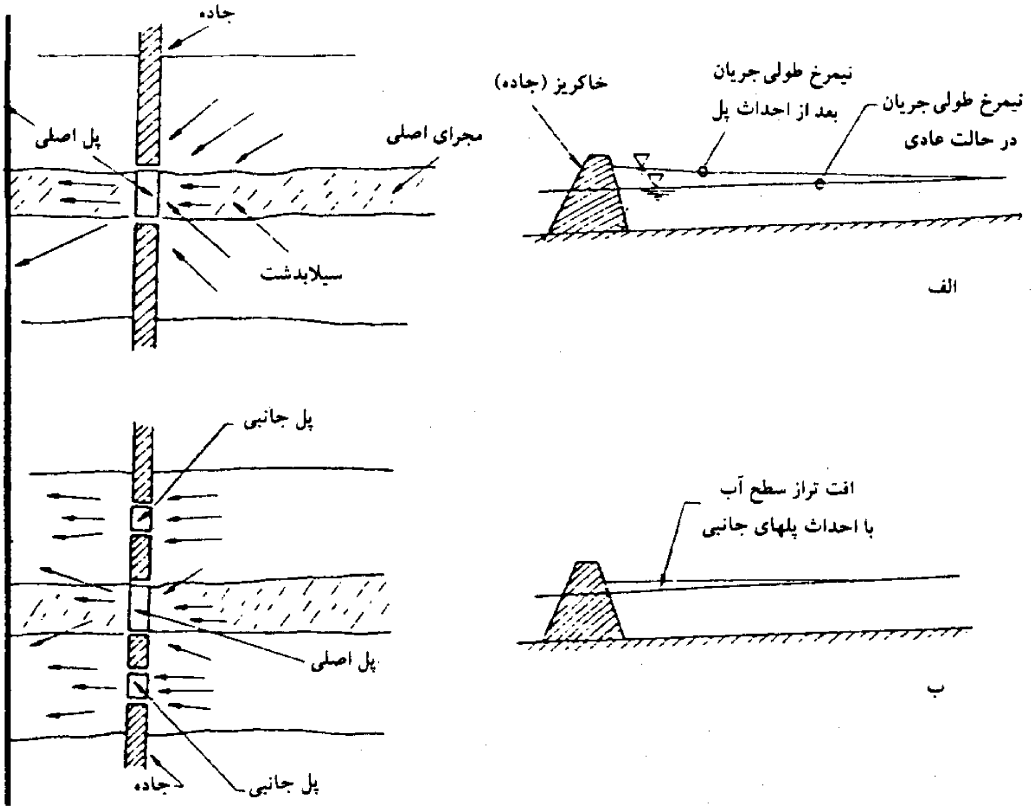


شکل ۷-۶- وقوع حالت پس‌زدگی ناشی از وجود گلوگاه و ایجاد شرایط مطلوب با اصلاح مسیر [۱۰]



شکل ۷-۷- اصلاح بستر رودخانه با حذف برآمدگی سنگی و تأثیر آن در پایین افتادن سطح آب [۱۰]

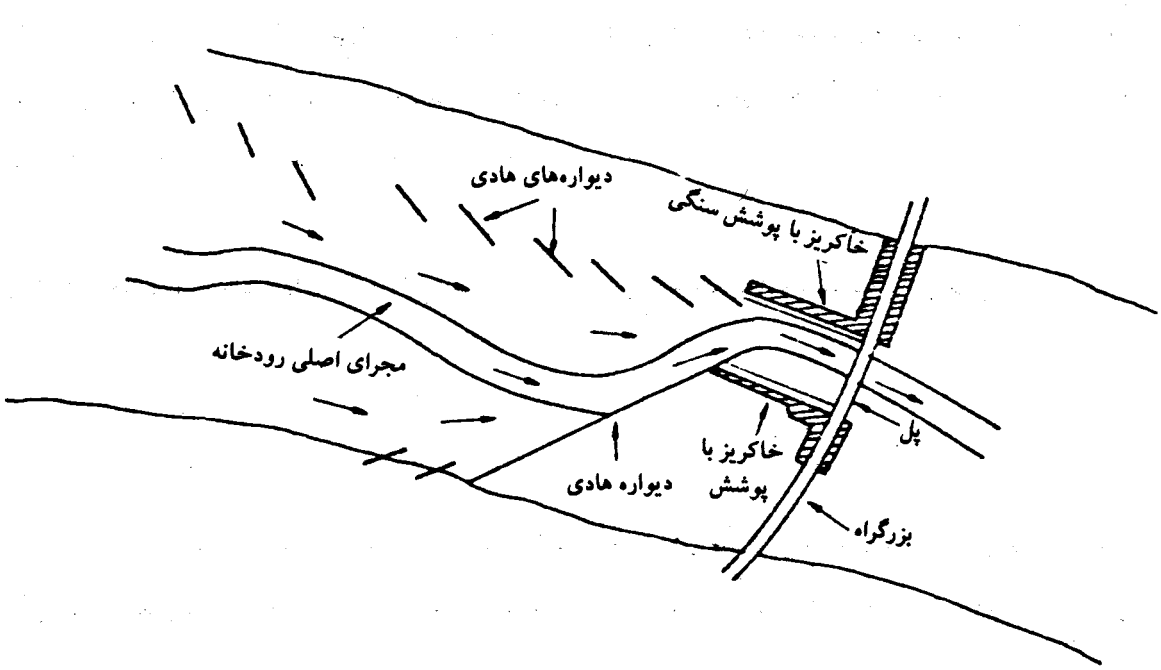
شکل ۷-۸- الف نمونه‌ای از تأثیر احداث پل و کاهش عرض جریان و در نتیجه پس‌زدن آب را نشان می‌دهد. در چنین مواقعی برای کاهش اثرات برگشت آب، می‌توان نسبت به احداث پلهای جانبی در دو طرف پل اصلی مطابق شکل ۷-۸- ب اقدام کرد. شکل ۷-۹ نمونه‌ای از مسیرسازی[1] و هدایت سیلاب به سمت دهانه پل با استفاده از دیواره هادی[2] و خاکریز پوشش‌دار را نشان می‌دهد[۱۰].



شکل ۷-۸- تأثیر احداث پل بر روی نیمرخ طولی سطح آب و کاهش تراز آب با احداث پلهای جانبی [۱۰]

1- Canalization

2- Guide Bank



شکل ۷-۹- نمونه‌ای از چگونگی هدایت جریان سیلاب به محدوده پل برای کاهش پیامدهای نامطلوب آن

۷-۳-۲ مهار فرسایش و رسوب (تثبیت رودخانه و مهار رسوب)

مهار فرسایش و تثبیت کناره‌ها و بستر رودخانه و نیز مهار رسوب ورودی به آبراه رودخانه هر چند جزء روشهای بهسازی آبراه می‌باشند ولی نقش آنها در مهار سیلاب جانبی است، زیرا کارهای مهار فرسایش در پایداری کناره‌ها و بستر رودخانه و حفظ سازه‌های مهار سیلاب مؤثر می‌باشد.

همچنین مهار رسوب ورودی از شاخه‌های فرعی و نیز مهار و هدایت رسوب در آبراه اصلی، باعث بهبود عملکرد کارهای مهار سیلاب و افزایش توان آبگذری رودخانه می‌گردد. در زیر به بررسی این روشها می‌پردازیم :

۷-۳-۲-۱ حفاظت کناره

در کنار حفاظت اراضی، شهرها، روستاها، تأسیسات و ... از خطر سیلاب، حفاظت کناره‌های رودخانه برای اطمینان یافتن از عملکرد صحیح کارهای مهار سیلاب ضروری است. زیرا فرسایش و تخریب کناره‌ها می‌تواند کارهای مهار سیلاب مانند گوره‌ها، دیوارهای سیلبند و ... را با خطر مواجه سازد. همچنین فرسایش و تخریب کناره‌ها باعث حالت ناپایداری آن شده و عاملی برای افزایش اصطکاک و زبری و آشفتگی در جریان می‌گردد.

تثبیت کناره‌های رودخانه باعث می‌شود که مسیر رودخانه به شکل دائمی، مطلوب و با پیچهای ملایم تبدیل شده و در نتیجه روند فرسایش و تخریب متوقف گشته و از هدررفتن زمینهای زراعی، تخریب تأسیسات عمرانی و نقاط مسکونی حاشیه رودخانه‌ها جلوگیری گردد.

روشهای مهار فرسایش و حفاظت کناره گسترده و متنوع بوده و با توجه به شرایط مختلف می‌تواند ترکیبی از روشهای زیر باشد :

الف - روش سازه‌ای [1]

در این روش با استفاده از مصالح ساختمانی و بنایی، انواع پوششهای حفاظتی ساخته می‌شود. این پوششها عموماً نیازمند مصالح و امکانات فنی وکارگاهی مناسب بوده و هزینه آنها نسبتاً زیاد می‌باشد ولی در شرایطی که فرسایش و تخریب شدید باشد کارآیی مؤثری دارند.

ب - روش طبیعی [2] یا بیولوژیک

در این روش با استفاده از پوشش گیاهی (چمن، بوته، درختچه و درخت) یا استفاده از چوب و ترکه به هم بافته شده، نوعی حفاظت طبیعی برای مهار فرسایش ایجاد می‌کنند. این روش گرچه از نظر بیولوژیک و زراعی، مسائل و مشکلات خاص خود را دارد، ولی از جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی گزینه مطلوبی می‌باشد و در شرایطی که سرعت جریان کم و فرسایش‌پذیری اندک باشد، کارآیی خوبی دارد. به‌هر حال عمر مفید و دوام این روش کم و نیازمند حفاظت و نگهداری پیوسته می‌باشد.

پ - روش ترکیبی (طبیعی - سازه‌ای)

در این روش مجموعه شرایط حفاظت سازه‌ای و تثبیت بیولوژیک فراهم می‌گردد. به عنوان مثال در قسمتی که فرسایش بیشتر است از پوشش‌های سازه‌ای و در قسمتی که فرسایش کمتر است از پوشش گیاهی استفاده می‌گردد. همچنین در بین پوششهای متخلخل و آبگذر [3] (نفوذپذیر) نظیر پوشش تورسنگ [4]، سنگریز و غیره، در اثر ته‌نشست رسوبات زمینه لازم برای حفاظت به‌وسیله پوشش گیاهی فراهم می‌گردد. این روش برای شرایط مختلف کاربرد داشته و به‌عنوان روشی اقتصادی و مؤثر مورد توجه بوده و از جنبه زیبایی و چشم‌انداز نیز برگزیده می‌باشد.

1- Structural Mean (Measure)

2- Natural Mean (Measure)

3- Pervious Revetment

4- Gabion

پوشش‌های سازه‌ای برحسب نوع مصالح و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آنها به دو گروه تقسیم می‌شوند :
گروه اول - پوشش‌های انعطاف‌پذیر یا صلب
گروه دوم - پوشش‌های آبگذر یا آب‌ناگذر [1]

به‌طورکلی پوشش‌های انعطاف‌پذیر بهتر از سازه‌های صلب هستند. زیرا اگر در اثر رخداد پدیده فرسایش یا رگاب و غیره، نشستهای غیریکنواخت رخ دهد یا قسمتی از کناره مجاور آن فرو ریزد، یک سازه صلب دچار ترک‌خوردگی شده و بخشهایی از آن تخریب می‌گردد و سرانجام کل سازه از هم گسیخته می‌شود. در حالی که سازه‌های انعطاف‌پذیر نسبت به تغییرات، قابلیت تطبیق و جابه‌جایی داشته و امکان مرمت و بازسازی مجدد دارند. پوشش آبگذر بر پوشش آب‌ناگذر (نفوذناپذیر) برتری دارد. زیرا این نوع پوشش باعث تلاطم موضعی و گردابی جریان شده و علاوه بر کاهش سرعت جریان اولیه (در جهت طولی رودخانه)، سبب گسترش جریان ثانویه [2] می‌گردد. از این طریق بدون اعمال نیروی قابل توجهی، بخشی از جریان حاوی رسوبات از پوشش عبورکرده و باعث ته‌نشین شدن رسوبات در محل درز و شکافها و پشت سازه شده و سبب تثبیت بیشتر آن می‌گردد و زمینه لازم برای ایجاد پوشش گیاهی را فراهم می‌آورد.

در یک تقسیم‌بندی کلی، روشهای مهار فرسایش به دو قسمت اصلی تقسیم می‌شود. روش اول حفاظت مستقیم [3] می‌باشد که در آن به کمک پوششهای حفاظتی از تماس مستقیم جریان آب با خاک کناره رودخانه جلوگیری کرده و بنابراین از فرسایش آن ممانعت به عمل می‌آید یا شدت آن را کاهش می‌دهد. روش دوم حفاظت غیرمستقیم [4] نام دارد که در آن جریان آب توسط آبشکن‌ها از کناره رودخانه دور شده یا به آرامی در مجاورت آنها جریان می‌یابد.

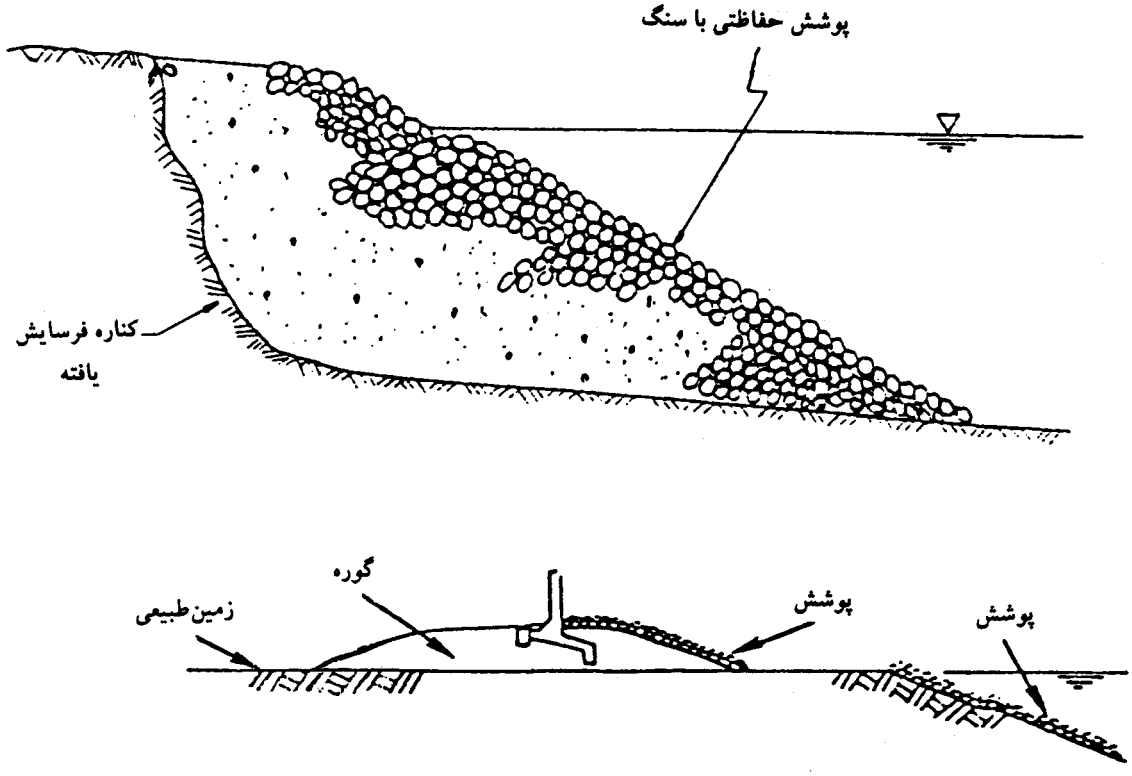
۷-۳-۲-۱-۱ حفاظت مستقیم به‌وسیله پوشش

در این روش پوشش‌های حفاظتی بر روی کناره رودخانه یا به موازات آن ایجاد می‌گردد. مقاومت مصالح به‌کار رفته در پوشش، در کارآیی آن بسیار مؤثر می‌باشد. پوشش، برای سرعت زیاد جریان و فرسایش‌پذیری شدید مناسب می‌باشد. برای حفاظت پنجه از فرسایش، پوشش باید تا عمق آبشستگی ادامه داده شود. در صورت استفاده از پوشش انعطاف‌پذیر، این پوشش باید حداقل ۱/۵ تا ۲ برابر عمق آبشستگی در عرض بستر گسترش یابد. کاربرد صافی مناسب در زیر پوشش سازه‌ای موجب جلوگیری از شسته‌شدن مواد ریزدانه خاک شده و پایداری بیشتری برای گوره و کناره رودخانه را فراهم می‌کند.

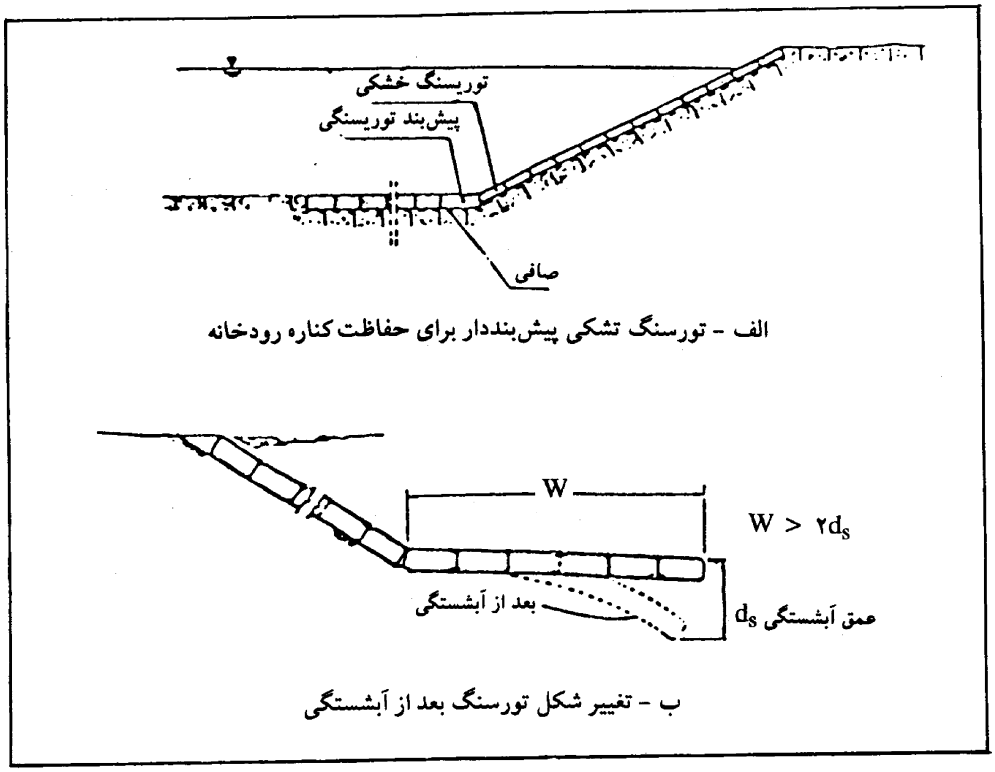
1- Impervious
2- Secondary Flow
3- Direct Protection
4- Indirect Protection

از انواع مصالح ساختمانی برای ایجاد پوشش می‌توان استفاده کرد که انتخاب آن علاوه بر رعایت معیارهای فنی مانند جنبه‌های هیدرولیکی و زیست محیطی، بستگی به فراوانی در منطقه طرح، سهولت دسترسی، روش اجرا و مهارت در ساخت و نگهداری با توجه به معیارهای اقتصادی دارد. از جمله این مصالح بتن، سنگ، آجر، خاک، مصالح فلزی، قیر و آسفالت، چوب، مواد پلاستیکی، تور سیمی و غیره می‌باشد.

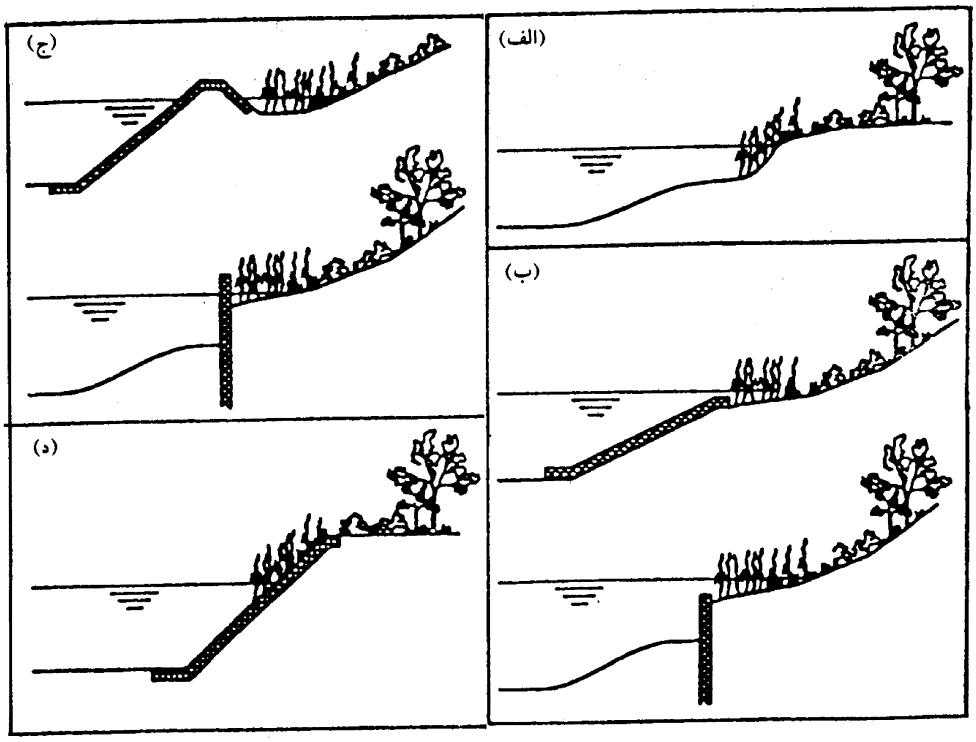
بعضی از انواع پوشش‌هایی که می‌تواند برای حفاظت شیروانی گوره‌ها و کناره‌های رودخانه به‌کار رود عبارت از پوشش سنگریز یا سنگچین، تورسنگ، کیسه‌ای، بتنی، آسفالتی، بلوک خاک سیمان و غیره می‌باشد. در شکلهای۷-۱۰ تا ۷-۱۲ چند نوع پوشش نشان داده شده است. برای بررسی بیشتر جزئیات هریک از روشها می‌توان به مراجع ذیربط مراجعه کرد.



شکل ۷-۱۰- چند نوع پوشش سنگی



شکل ۷-۱۱



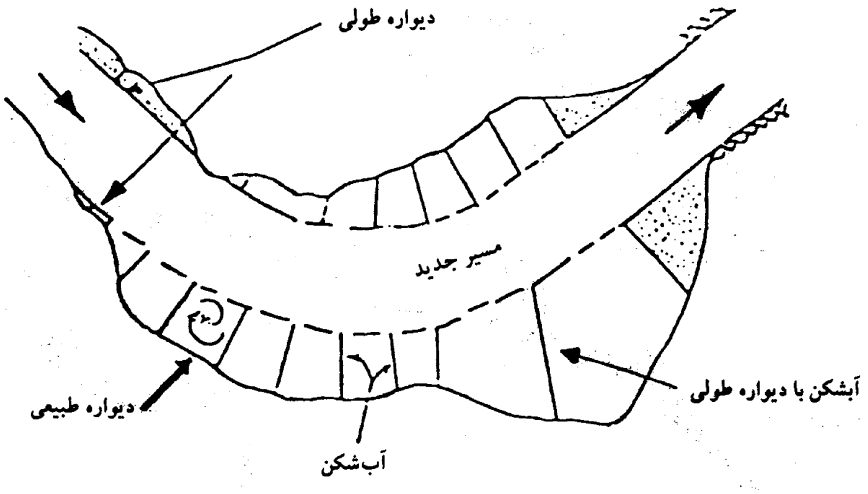
شکل ۷-۱۲- نمونه‌هایی از پوشش‌های طبیعی و طبیعی - سازه‌ای

۷-۳-۲-۱-۲ حفاظت غیرمستقیم (به‌وسیله آبشکن‌ها)

آبشکن‌ها از مصالح سنگی، تور سنگی، خاکی، شمعی، مصالح رودخانه‌ای و غیره و یا ترکیبی از مصالح مختلف ساخته می‌شوند. این آبشکن‌ها عمود بر کناره یا با زاویه‌ای نسبت به آن، از کناره به سمت داخل رودخانه ایجاد شده و در فواصل معینی از یکدیگر قرار می‌گیرند و با انحراف جریان آب از کناره و هدایت آن به سمت محور رودخانه، سبب حفاظت آن می‌گردند. شکل ۷-۱۳ کاربرد آبشکن و شکل ۷-۱۴ پلان و مقاطع آبشکن از نوع سنگریز را نشان می‌دهد.

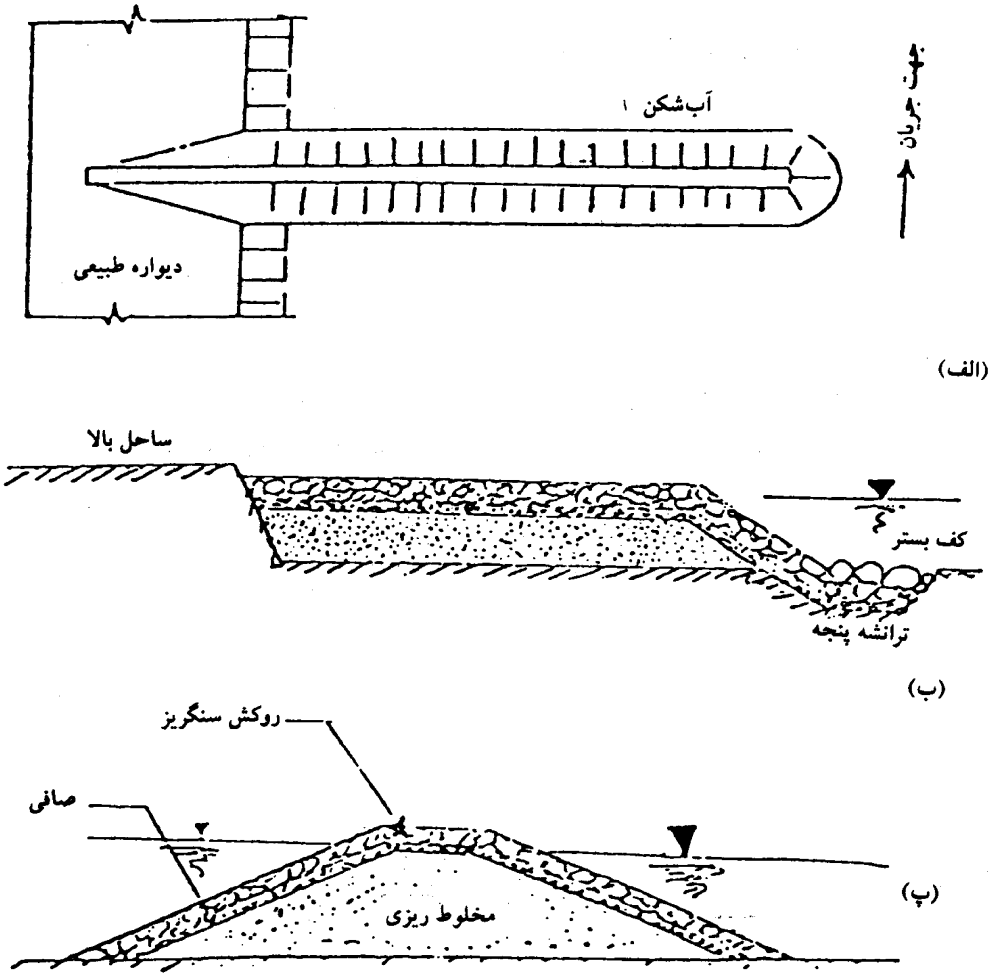
احداث آبشکن‌های متوالی از جریان یافتن آب با سرعت زیاد در نزدیکی کناره رودخانه جلوگیری کرده و مانع از فرسایش و آبشستگی آنها می‌گردد. در عین حال در برخورد آب با آبشکن‌ها سرعت جریان کم شده و منطقه‌ای بین آبشکن‌ها به‌وجود می‌آید که آب به صورت گردابی و با سرعت کم حرکت می‌کند. این مسئله باعث رسوبگذاری در منطقه مذکور شده و با گذشت زمان و جمع شدن رسوبات بر روی هم، ساحل جدیدی در بین آبشکن‌ها ایجاد می‌گردد.

آبشکن‌ها برای شرایط مختلف جریان و به خصوص سرعتهای بیش از ۳ متر بر ثانیه مؤثر و مناسب بوده و برای اصلاح مسیر رودخانه‌های عریض و شریانی[1] و دارای بار رسوبی زیاد، مناسب‌تر می‌باشند[۱]. این سازه در رودخانه‌های شریانی که به کمک گوره‌ها جریان در یک عرض مشخص محدود می‌گردد نیز کاربرد خوبی دارد.
برای بررسی بیشتر در مورد پوشش‌ها و آبشکن‌ها می‌توان به مراجع مربوط مراجعه کرد.



شکل ۷-۱۳- کاربرد آبشکن برای مهار فرسایش و اصلاح مسیر

1- Braided



شکل ۷-۱۴- پلان و مقاطع آبشکن نوع سنگریز؛ الف - پلان، ب - مقطع طولی، پ - مقطع عرضی

۷-۳-۲-۲ حفاظت بستر

گاهی به‌علت زیادبودن شیب رودخانه در یک بازه و بالابودن توان حمل بارکف، در بالادست بازه فرسایش رخ داده و حتی شنها و سنگریزه‌ها نیز با آب حمل می‌شود. زمانیکه این مصالح به نقاط کم‌شیب می‌رسند ته‌نشین می‌شوند که باعث بالاآمدن بستر و یا شریانی‌شدن رودخانه شده و در مواقع سیلابی ایجاد خطر می‌کنند. در این رابطه دو نوع سازه برای تنظیم شیب کف، ترازکف و تراز سطح آب و جلوگیری از بوجودآمدن پستی و بلندی درکف رودخانه و افت در بالادست به‌کار می‌روند که عبارتند از :

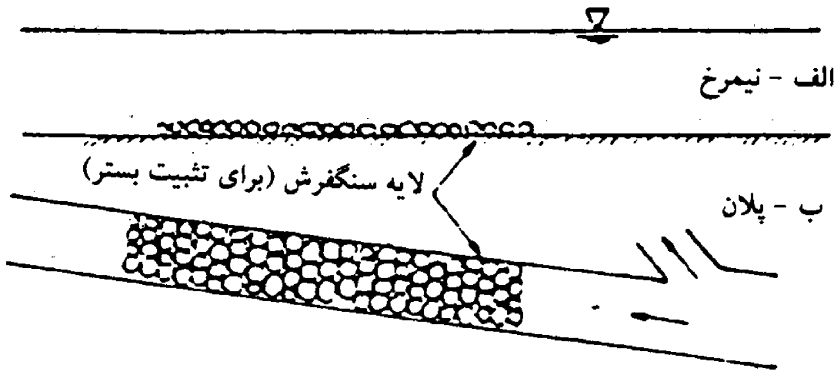
- تثبیت‌کننده‌های کف [1]
- شیب‌شکن‌ها [2] (کف‌بندها یا آستانه‌ها [3])

1- Bed Stabilizers

2- Drop Structures

هر دو نوع سازه برای یک منظور به‌کار رفته‌اند و تفاوت آنها در میزان کارشان برای به‌وجود آوردن افت انرژی می‌باشد. تثبیت‌کننده‌ها، پوشش‌هایی هستند که در عرض رودخانه ادامه داشته و برای محدود کردن آبشستگی و به‌وجود آمدن پستی و بلندی در کف رودخانه، تاج آنها تقریباً هم تراز کف رودخانه می‌باشد (شکل۷-۱۵). شیب‌شکن‌ها نیز اساساً بندهایی هستند که در عرض رودخانه ادامه داده می‌شوند و برای گرفتن انرژی به‌وسیله ایجاد یک افت در کف رودخانه و تراز سطح آب طراحی می‌شوند و بنابراین از افت سطح در بالادست جلوگیری می‌کنند. جت به‌وجود آمده در روی سازه به داخل یک حوضچه و یا یک پیش‌بند[۴] در پایین‌دست هدایت می‌شود. بنابراین با احداث شیب‌شکن‌ها، علاوه بر جلوگیری از فرسایش و حمل رسوب، به‌علت ایجاد تأخیر در جریان سیل، خطر آن کاهش یافته و نیز رسوبات کمتری به پایین‌دست انتقال می‌یابد. همچنین سرشاخه‌های مناطق خشک فرصت بیشتری به جریان برای تغذیه آبراه را به دست داده و نیز باعث افزایش بده پایه می‌گردد. مسائل فوق ضرورت کاربرد اینگونه روشها را به‌ویژه در حوضه‌های آبریز سدها آشکار می‌سازد. در شکلهای ۷-۱۶ و ۷-۱۷ نمونه‌هایی از شیب‌شکن‌ها برای تثبیت بستر نشان داده شده‌اند.

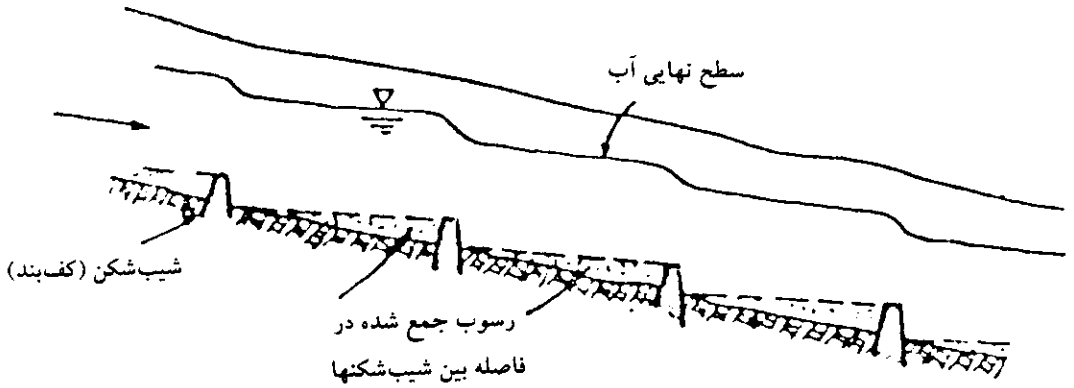
تثبیت بستر از فرسایش وگودافتادگی آن جلوگیری کرده و استحکام سازه‌های رودخانه‌ای مانند آبشکن‌ها، دیوارهای سیلبند، پوشش‌ها و ... را افزایش می‌دهد.



شکل ۷-۱۵- تثبیت بستر با استفاده از سنگچین

3- Sills

4- Apron

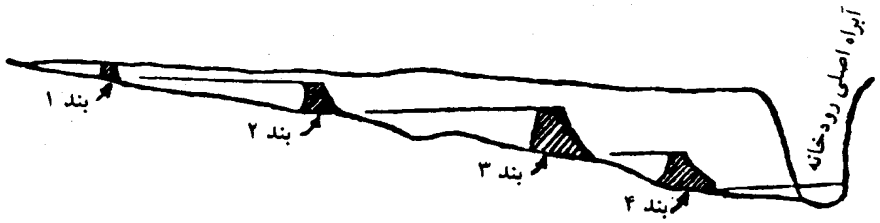


شکل ۷-۱۶- نمای کلی شیب‌شکنها برای جلوگیری از فرسایش بستر (ساخته شده بروی بستر رودخانه)

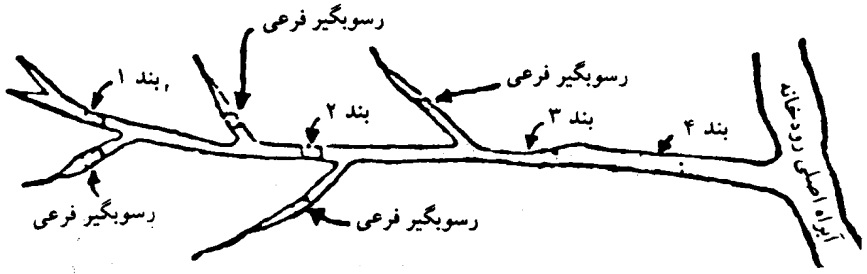
شکل ۷-۱۷- نمای کلی شیب‌شکن‌ها برای جلوگیری از فرسایش بستر (ساخته شده در زیر بستر رودخانه)

۷-۳-۲-۳ مهار رسوب

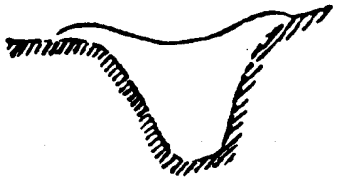
ورود مواد رسوبی از شاخه‌های فرعی که دارای توان زیاد حمل رسوب هستند موجب انباشته‌شدن رسوبات در رودخانه اصلی و تشکیل پشته‌های رسوبی می‌گردد. این پشته‌های رسوبی علاوه بر کاهش توان آبگذری رودخانه، در مواقعی نیز باعث انحراف جریان از آبراه رودخانه شده و موجب بروز یا تشدید سیلاب می‌گردد. برای جلوگیری از ورود رسوبات به آبراه اصلی باید از سدهای رسوبگیر، بندهای پلکانی، بندهای کوتاه خشکه‌چین و ... استفاده کرد. این بندها علاوه بر کاهش رسوب ورودی به آبراه، با ایجاد تأخیر در جریان و کاهش سرعت، باعث کاهش در فرسایش بستر و کناره‌های آبراه نیز می‌گردند. شکل ۷-۱۸ نمونه‌ای از این اقدامات را نشان می‌دهد.



(الف) ـ نمونه نیمرخ طولی



(ب) ـ پلان جانمایی بندهای رسوبگیر



شکل ۷ـ۱۸ نمونه کاربرد بندهای رسوبگیر

فهرست و منابع و مآخذ

۱- اصلاح مسیر و حفاظت دیواره رودخانه‌های سیلابی با روشهای مناسب ساختمانی و بیولوژیکی، مهدی یاسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۳۶۷.

۲- بررسی و مقایسه روشهای کنترل سیلاب، محمدحسن چیتی، منهدسین مشاور سازه پردازی ایران، ۱۳۷۱.

۳- خلاصه گزارش سیلخیزی کشور، معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی، ۱۳۷۴.

۴- طراحی گوره‌ها (Levees) برای رودخانه‌های ایران، محمدحسن چیتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۷۰.

۵- فرهنگ آبخیزداری، حسین سراج زاده، مؤسسه انتشارات مدیر، تهران، ۱۳۷۲.

۶- فرهنگ بین‌المللی هیدرولوژی، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب، وزارت نیرو، تهران، ۱۳۶۹.

۷- فرهنگ فنی آبیاری و زهکشی، انتشارات وزارت نیرو، تهران، ۱۳۷۶.

۸- فرهنگ فنی سدها، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب، وزارت نیرو، تهران، ۱۳۷۴.

۹- فرهنگ مهندسی رودخانه، محمدحسن چیتی و جمشید مصباحی، دفتر استانداردهای مهندسی آب، وزارت نیرو، ۱۳۷۷.

۱۰- مهار سیلاب رودخانه، مجموعه مقالات کارگاه آموزشی و تخصصی، انجمن هیدرولیک ایران، ۱۳۷۶.

۱۱- مروری بر ضوابط و استانداردهای سیلابهای طراحی سدها، استاندارد صنعت آب، ۱۳۷۰.

۱۲- کنترل سیلاب رودخانه کارون، مهندسین مشاور مهاب قدس، ۱۳۶۸.

13- " Canal and River Levees ", Pavol Peter, Slovak Technical Univ., Bratislava, Czechoslovkia, 1982.

14- "Desing and Construction of Levees ",. U.S. Army Corps of Engineers, 1978.

15- Earth Manual, U-S.B.R., 1974.

16- Flood Control in the World , K.K. Framji , New delhi, India, 1976.

17- Flood Flow Computation", The UNESCO Press, Studies and Reports in Hydrology, No. 22, 1976.

18- "Floods and Flood Management", A.J.Saul, Sheffield , U.K. 1992.

19- Dictionary of Water and water Engineering", A.Nelson and K.D. Nelson, Butterworths, London, 1973.

20- "Flood Proofing". S.C.S., technical Release No. 57, 1975.

21- Handbook of Applied Hydraulics, Third Edition, Calvin Victor Davis, Edition in Chief , Kennethe sorensen , Coeditor, Mc Graw Hill, 1970.

22- Handbook of Hydrology, David R.Maidment, Mc Graw Hill, 1993.

23- Hydrology for Engineers, SI Metric Edition, Ray K.Linsley, Max A.Kohler, Joseph L.H. Paulhus, Mc Graw Hill, 1988.

24- "Indian Standard, Glossary of terms Relating to River Valley Projects", Indian Standards Institution, New Delhi, 1986.

25- "Manual and Guidelines for Comprehensive Flood Loss Prevention and Management", ESCAP, 1991.

26- "Manual of Flood Control, Methods and Practices", Ed.K.K. Framji, I.C.I.D., 1983.

27- "Manual of Surface Drainage Engineering", Kinori, B.Z. and Mevorach, J., VOL.II, 1984.

28- "Manual on River Behaviour, Control and Training", Joglekar, D.V., Central Board of Irrigation and Power, India, 1971.

29- Methods of Hydrological Computation for water Projects, UNESCO Studies and reports in Hydrology, No.33, 1982.

30- "Principles of River Engineering", Jansen, P.P.H., et.al., Pitman Pub., London, 1979.

31- "Protection of River and Canal Banks", R.W. Hemphill and M.E. Bramley, CIRIA, London, 1989.

32- "River Behaviour, Management and Training", Varma, C.V.J., et.al. Central Board of Irrigation and Power, India, 1989.

33- "River Engineering", M.S. Petersen, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A., 1986.

34- "River Engineering", A.prins, Delf, The Netherlands, 1991.

35- "River Flood Hydraulics", 2nd International Conference, HR Wallingford Ltd., Jhon Wiley and Sons, 1994.

36- "River Training and Bank Protection", U.N., Bangkok, 1953.

37- "River Training techniques, Fundemental, Design and Applications", B.Przes Wojski & R.Blazegewski & K.W.Pilarczyk, A.A.balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1995.

38- Water Resources Handbook, Larry W.Mays, Editor in Chief, Mc Graw-Hill, 1996.

39- "Water Resources Engineering", Linsley, R.K. and Franzini, J.B., 1987.

Islamic Republic of Iran

Guideline for River Flood Control (Structural Measures)

No: 242

Management and Planning Organization
Office of the Deputy for Technical Affairs
Bureau of Technical Affairs and Standards

Ministry of Energy
Water Engineering Standards Plan
Iran Water Resourses Management Organization

2001/2002

این نشریه

با عنوان: «راهنمای مهار سیلاب رودخانه [روش‌های سازه‌ای]» و با هدف معرفی متداولترین روش‌های سازه‌ای برای مهار سیلاب و طغیان رودخانه‌ها، تهیه گردیده‌است.

در فصل‌های اول و دوم، کلیاتی در مورد سیل، تعاریف و مفاهیم اساسی، مبانی هیدرولوژیکی، اطلاعات پایه و روش‌های برآورد سیل ارائه شده است. فصل سوم به طبقه‌بندی کلی روش‌های مختلف مهار سیلاب شامل کارهای سازه‌ای و کارهای مدیریتی [غیرسازه‌ای] پرداخته است. از آن جا که هدف اصلی این راهنما بررسی روش‌های سازه‌ای مهار سیلاب رودخانه می‌باشد، از این رو در فصل‌های چهارم تا هفتم، روش‌ها و اقدامات مهم سازه‌ای شامل مهار سیلاب با استفاده از مخازن و سدها، محدود سازی سیلاب با گوره و دیوار سیلبند، انحراف سیلاب و سرانجام بهسازی آبراه یا رودخانه مورد بحث و بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

این نشریه با توجه به اهمیت، وضعیت، امکانات، ظرفیت‌ها، مسائل و مشکلات رودخانه‌ها و ضمن رعایت ملاحظات عمومی مهندسی رودخانه، براساس مطالعات و بررسی‌های کارشناسی و استفاده از مراجع داخلی و خارجی تهیه و تدوین گردیده است.

معاونت امور پشتیبانی
مرکز مدارک علمی و انتشارات

ISBN 964-425-318-3

9789644253188