

راهنمای مهار فرسایش و حفاظت رودخانه‌ها

راهنمای مهار فرسایش و حفاظت رودخانه‌ها

پیش‌گفتار

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

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از این رو دفتر استانداردها و معیارهای فنی شرکت مدیریت منابع آب ایران در جهت نیل به این هدف، با مشخص نمودن رشته‌های اصلی مهندسی آب اقدام به تشکیل مجامع علمی - تخصصی با عنوان کمیته‌های تخصصی نموده که نظارت بر تهیه این استانداردها را به عهده دارند.

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

- استفاده از تخصص و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
- پرهیز از دوباره کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه‌کننده استاندارد

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

ترکیب اعضای تهیه‌کننده، کمیته و ناظران تخصصی

این نشریه در انجمن هیدرولیک ایران توسط افراد زیر به ترتیب حروف الفباء تهیه شده است:

فوق‌لیسانس مهندسی آب	کارشناس آزاد	آقای وحید آراسته
فوق‌لیسانس هیدرولیک	شرکت سازه‌پردازی	آقای محمود افسوس
فوق‌لیسانس سازه‌های هیدرولیکی	شرکت سابیر	آقای علی امام
دکترای عمران آب	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	آقای فیروز بهادری
فوق‌لیسانس هیدرولیک	مرکز تحقیقات آب	آقای حسام فولادفر
فوق‌لیسانس هیدرولیک	شرکت سازه‌پردازی	آقای جمشید مصباحی

اسامی اعضای کمیته تخصصی مهندسی رودخانه و سواحل دفتر استانداردها و معیارهای فنی که بررسی و تأیید نشریه

حاضر را به عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفباء عبارتند از:

فوق‌لیسانس هیدرولیک	شرکت سازه‌پردازی	آقای محمود افسوس
دکترای مهندسی آب	دانشگاه تهران	آقای محمدابراهیم بنی حبیب
دکترای هیدرولیک	دانشگاه علم و صنعت ایران	آقای ابراهیم جباری
فوق لیسانس سازه‌های آبی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	آقای محمدحسن چیتی
دکترای سازه‌های دریایی	دانشگاه تربیت مدرس	آقای مهدی شفیعی فر
لیسانس راه و ساختمان	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	خانم کیاندرخت کباری
فوق لیسانس سازه‌های آبی	سازمان مدیریت منابع آب ایران	آقای جبار وطن فدا

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- کلیات
۱	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ هدف و ضرورت تهیه راهنمای مهار فرسایش و حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها
۲	۳-۱ دامنه کاربرد راهنما
۳	۴-۱ مروری بر تجربیات استفاده از روش‌های حفاظت کناره‌های رودخانه در ایران
۴	۲- مطالعات و اطلاعات مورد نیاز
۴	۱-۲ اطلاعات پایه مورد نیاز
۴	۱-۱-۲ مقدمه
۴	۲-۱-۲ آمار و اطلاعات عمومی منطقه طرح
۵	۳-۱-۲ آمار و اطلاعات هیدروکلیماتولوژی، هیدرولیک و ریخت‌شناسی
۶	۴-۱-۲ آمار و اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک
۶	۵-۱-۲ آمار و اطلاعات اجتماعی و اقتصادی
۷	۲-۲ مطالعات موردنیاز
۷	۱-۲-۲ مقدمه
۷	۲-۲-۲ بازدیدها و مطالعات صحرایی
۹	۳-۲-۲ مطالعات پایه
۱۳	۴-۲-۲ مطالعات تخصصی
۱۸	۳- انواع فرسایش کناره‌های رودخانه و علل و سازوکار آن
۱۸	۱-۳ مقدمه
۱۸	۲-۳ انواع فرسایش در کناره‌ها
۱۹	۱-۲-۳ فرسایش سطحی کناره
۲۱	۲-۲-۳ گسیختگی توده‌ای
۲۵	۳-۳ عوامل فرسایش
۲۶	۴-۳ ساز و کار (مکانیزم) فرسایش
۲۹	۴- نوع و کیفیت مصالح مورد نیاز
۲۹	۱-۴ مقدمه

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲۹	۲-۴ مصالح خام
۲۹	۱-۲-۴ خاک‌های ریزدانه رسی
۲۹	۲-۲-۴ خاک‌های درشت دانه
۳۰	۳-۲-۴ سنگ
۳۰	۴-۲-۴ چوب
۳۲	۳-۴ مصالح ترکیبی
۳۲	۱-۳-۴ بتن
۳۳	۲-۳-۴ فولاد
۳۳	۳-۳-۴ قیر و آسفالت
۳۴	۴-۳-۴ ژئوسنترها
۳۶	۵- روش‌های حفاظت مستقیم
۳۶	۱-۵ حفاظت قائم کناره رودخانه
۳۶	۱-۱-۵ مقدمه
۳۶	۲-۱-۵ دیوار وزنی
۴۰	۳-۱-۵ دیوارهای شمعی
۴۲	۴-۱-۵ سایر روش‌های حفاظتی قائم
۴۶	۲-۵ حفاظت‌های مایل
۴۶	۱-۲-۵ کلیات
۵۰	۲-۲-۵ پوشش‌های حفاظتی
۵۹	۳-۲-۵ روکش‌های حفاظتی
۶۴	۶- روش‌های حفاظت غیرمستقیم
۶۴	۱-۶ مزایا و معایب حفاظت غیرمستقیم
۶۴	۱-۱-۶ مزایای حفاظت غیرمستقیم
۶۴	۲-۱-۶ معایب حفاظت غیرمستقیم
۶۵	۲-۶ روش‌های انحراف‌دهنده جریان
۶۵	۱-۲-۶ آبشکن صلب (نفوذناپذیر)

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶۸	۲-۲-۶ موانع و نقاط سخت
۶۹	۳-۲-۶ آبشکن پره‌ای
۶۹	۳-۶ روش‌های آرام کردن جریان
۶۹	۱-۳-۶ نرده‌کشی
۷۰	۲-۳-۶ خرک فلزی
۷۲	۳-۳-۶ آبشکن‌های باز (آبشکن‌های شمع کوبی)
۷۴	۷- حفاظت طبیعی
۷۴	۱-۷ مزایا و معایب حفاظت طبیعی
۷۵	۲-۷ وظیفه و تأثیر روش‌های حفاظت طبیعی
۷۶	۳-۷ مراحل مطالعات و طراحی حفاظت طبیعی
۷۶	۴-۷ انتخاب منابع گیاهی مورد نیاز
۷۹	۵-۷ حفاظت ترکیبی و تلفیقی
۷۹	۱-۵-۷ استفاده از بلوک‌های بتنی و پوشش گیاهی
۷۹	۲-۵-۷ پوشش سنگ‌چین تقویت شده با قلمه گیاهی
۸۰	۳-۵-۷ روش سنگ‌چین و بسته‌های شاخه‌های گیاهی
۸۱	۴-۵-۷ سامانه‌های مسلح کردن خاک با استفاده از مصالح مصنوعی
۸۲	۵-۵-۷ پوشش ترکه‌های افقی
۸۴	۸- روش‌های مدیریتی حفاظت کناره‌های رودخانه
۸۴	۱-۸ مقدمه
۸۴	۲-۸ معرفی عوامل عمده در فرسایش کناره‌ها (دخالت‌های بشری)
۸۴	۱-۲-۸ عدم رعایت حریم رودخانه
۸۵	۲-۲-۸ احداث سازه‌های طولی یا عرضی در رودخانه
۸۵	۳-۲-۸ حمل و نقل در رودخانه
۸۵	۴-۲-۸ تغییر در هندسه رودخانه
۸۵	۵-۲-۸ ورود زه‌آب‌های اراضی به رودخانه

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۶	۳-۸ سازگاری با ماهیت دینامیکی و طبیعی رودخانه
۸۶	۴-۸ آموزش و ترویج
۸۷	۹- ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در روش‌های حفاظت کناره‌رودخانه‌ها
۸۷	۱-۹ مقدمه
۸۷	۲-۹ ملاحظات اقتصادی
۸۷	۱-۲-۹ ملاحظات غیرقابل بیان به صورت کمی
۸۸	۲-۲-۹ امکان‌پذیری اقتصادی و مالی
۸۸	۳-۹ ملاحظات اجتماعی
۸۹	۱-۳-۹ آثار اجتماعی مضر مرتبط با کارهای مهندسی رودخانه
۸۹	۴-۹ ملاحظات زیست‌محیطی
۹۰	۱-۴-۹ آثار زیست‌محیطی مضر مرتبط با کارهای مهندسی رودخانه
۹۱	۱۰- معیارهای انتخاب روش‌های مهار فرسایش و حفاظت کناره‌های رودخانه و اصول کلی طراحی
۹۱	۱-۱۰ تأثیرگذاری روش‌ها و گزینه‌ها
۹۲	۱-۱-۱۰ تأثیر دوام پروژه
۹۴	۲-۱-۱۰ تأثیر انطباق با آب‌شستگی یا لغزش کناره
۹۴	۳-۱-۱۰ تأثیر عمق جریان رودخانه
۹۵	۴-۱-۱۰ تأثیر محدودیت‌های ساحلی
۹۵	۵-۱-۱۰ پلان مسیر رودخانه
۹۵	۶-۱-۱۰ تأثیر روی هیدرولیک جریان
۹۶	۷-۱-۱۰ تأثیر روی فرسایش رودخانه در بالادست و پایین‌دست محل پروژه
۹۶	۲-۱۰ ملاحظات زیست‌محیطی
۹۶	۱-۲-۱۰ تأثیرات پتانسیلی محیط زیست
۹۸	۲-۲-۱۰ اهداف زیست‌محیطی
۹۸	۳-۱۰ عوامل اقتصادی
۹۸	۱-۳-۱۰ هزینه گزینه‌های تثبیت
۹۹	۲-۳-۱۰ منابع قابل دسترسی
۱۰۰	۳-۳-۱۰ امکان‌پذیری ساخت مرحله‌ای

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۰۱	۴-۱۰ روش کاربردی انتخاب بهترین روش
۱۰۳	۵-۱۰ جنبه‌های عمومی طراحی تفصیلی
۱۰۳	مقدمه ۱-۵-۱۰
۱۰۳	۲-۵-۱۰ اثر حفاظت کناره بر آبراه
۱۰۴	۳-۵-۱۰ مؤلفه‌های طرح حفاظت
۱۰۸	۴-۵-۱۰ پیش‌بینی راه دسترسی
۱۱۰	تعاریف پایه
۱۱۵	منابع مورد استفاده

۱- کلیات

۱-۱ مقدمه

به طور کلی، رودخانه‌ها در وضعیت طبیعی همواره در حال فرسایش و رسوبگذاری بوده و تا حد امکان باید از مهار این پدیده‌های طبیعی اجتناب نمود. زیرا مهار کناره‌ها ممکن است موجب توسعه و گسترش خساراتی جدی در پایین دست یا بالادست رودخانه گردد و به عبارتی دیگر سامانه رودخانه‌ای را از حالت تعادل طبیعی خود خارج نماید. البته امروزه از آنجایی که فرسایش کناره‌ها، موجب وارد آمدن لطمات اقتصادی به اراضی زراعی، از بین رفتن تأسیسات آبی، پایین آوردن کیفیت آب و غیره می‌گردد، معضل فرسایش کناره‌ها به صورت یکی از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین مسائل محیط زیستی در اکثر نقاط دنیا درآمده و دیگر فقط یک مشکل موضعی با برد تأثیرگذاری محدود نبوده و ممکن است نتایج محیط زیستی و اقتصادی گسترده‌ای را به دنبال داشته باشد.

عمده ضرورت‌هایی که به حفاظت کناره‌ها منجر می‌شود، به قرار زیر است :

- ممانعت از فرسایش کناره به منظور حفظ اراضی با ارزش اقتصادی زیاد در حاشیه رودخانه،
- ممانعت از فرسایش کناره در اطراف سازه‌های متقاطع به ویژه پل‌ها،
- ممانعت از فرسایش کناره به منظور حفاظت از گوره‌های مهار سیلاب و بی‌نیاز کردن از عملیات عقب‌نشینی دوره‌ای آنها،
- تثبیت پلان رودخانه و جلوگیری از تغییر مسیر و به وجود آمدن میان‌بر و چم‌های ناخواسته به منظور ایجاد یک آبراه کشتیرانی،
- کاهش ورود رسوبات به رودخانه و ممانعت از جزیره‌زایی و شریانی شدن رودخانه که موجب تشدید تخریب کناره‌ها می‌گردد،
- ممانعت از فرسایش کناره در اثر احداث جزیره‌های مصنوعی،
- ممانعت از فرسایش کناره در اثر حرکت شناورها،
- جلوگیری از کاهش ظرفیت رودخانه،
- اصلاح و بهبود مسیر و هندسه مقطع رودخانه به منظور کاهش تراز سطح سیلاب و بهبود شرایط کشتیرانی،
- جلوگیری از کاهش ظرفیت مخازن سدها،
- جلوگیری از ورود خاک‌های آلوده اراضی اطراف به محیط آبی رودخانه و ایجاد محیطی مناسب جهت رشد و تولیدمثل آبزیان و همچنین مصارف کشاورزی و شرب،
- ایجاد شرایط مناسب جهت افزایش سرمایه‌گذاری بخش‌های خصوصی به دلیل ایجاد فضای امنیتی در حاشیه رودخانه، و
- جلوگیری از بروز مشکلات اجتماعی و مهاجرت کشاورزان و روستاییان.

۱-۲ هدف و ضرورت تهیه راهنمای مهار فرسایش و حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها

ضرورت حفاظت کناره‌های رودخانه از یک سو و توجه به نکاتی که در زیر ارائه می‌شود از سوی دیگر، تهیه راهنمای مطالعات و طراحی مهار فرسایش و حفاظت کناره‌ها را طلب می‌نماید.

الف - عدم علم و اطلاع کامل و جامع به روش‌ها و تکنیک‌ها و محدوده قابلیت‌ها و دامنه کاربرد هر کدام .

کمبود مراجع فنی در زمینه روش‌ها و تکنیک‌ها و طراحی سامانه‌های حفاظت کناره‌های رودخانه و طبیعتاً کمبود کارشناسان متخصص در این زمینه، عامل مهمی در عدم موفقیت طرح‌های حفاظت بوده است.

ب - عدم توجه به شرایط محلی برای انتخاب روش مناسب حفاظت.

غالباً مشاهده شده که متعاقب اخذ نتیجه موفقیت‌آمیز از یک روش حفاظتی در یک ناحیه خاص، به اشتباه از آن برای سایر مناطق (بدون توجه به شرایط محلی) استفاده می‌شود که این امر، موجب طرح غیرمؤثر و در نهایت تخریب سازه خواهد گردید.

ج - عدم رعایت اصول طراحی سازه‌ای.

در بعضی مواقع، ممکن است که روش حفاظتی مناسبی نیز برای مکانی خاص انتخاب شود، اما به دلیل نادیده گرفتن اصول طراحی، طرح با شکست روبرو گردد.

د- طراحی دست بالا و پرهزینه.

این موضوع در واقع معلول ضرورت بند الف می‌باشد که باعث تحمیل هزینه‌های اضافی به سازمان‌ها شده و ممکن است به دلیل محدودیت‌های اعتباری، به صورت ناقص و نیمه‌تمام و در نتیجه آسیب‌پذیر رها گردد.

ه - نادیده گرفتن وضعیت پایداری رودخانه.

بررسی وضعیت پایداری رودخانه در شرایط فعلی و آتی، شناخت نوع پایداری رودخانه، شناخت عوامل ناپایداری رودخانه و آگاهی از پیامدهای کوتاه‌مدت و بلندمدت عوامل ناپایداری، تأثیر بسیار مهمی در چگونگی حفاظت کناره‌ها می‌گذارد که متأسفانه در کشور ما به آن توجه بسیار کمی می‌شود.

و- استفاده از راهنماها و استانداردهای سایر کشورها.

همان‌گونه که قبلاً نیز بدان اشاره شد، مفاهیم مرتبط با تثبیت کناره‌ها مانند کاهش قدرت جریان، افزایش مقاومت کناره‌ها جهان شمول بوده و می‌توان آنها را برای کلیه رودخانه‌ها مورد استفاده قرار داد. ولی روش‌ها و تکنیک‌ها، روابط و ضوابط غالباً قابل انتقال از رودخانه‌ای به رودخانه دیگر نمی‌باشد. بنابراین در رابطه با حفاظت کناره‌ها نمی‌توان به طور کامل استانداردها، روابط و ضوابط سایر کشورها را پذیرفت و مورد استفاده قرار داد.

۱-۳ دامنه کاربرد راهنما

این راهنما تحت عنوان "راهنمای مهار فرسایش و حفاظت رودخانه‌ها" با نگرشی کلی بر کلیه روش‌های حفاظت کناره و سواحل رودخانه‌ها تهیه شده است. بنابراین محدوده کاربرد آن در رابطه با شناخت روش‌های ممکن حفاظت رودخانه و ویژگی‌های هر روش و به‌طور کلی مطالعات مراحل شناخت و یک خواهد بود. بدیهی است که در این راهنما، اشاره‌ای به جزئیات طراحی و معیارهای آن نخواهد شد بلکه خصوصیات کلی روش‌های حفاظت کناره‌ها و تقسیم‌بندی آن از جمله به روش‌های حفاظت مستقیم و غیرمستقیم، قائم و پوشش‌ها، روش‌های حفاظت بیولوژیک و تلفیقی پرداخته شده است. این راهنما مرجع مفیدی برای استفاده در مطالعات طرح‌های مهندسی و ساماندهی رودخانه‌ها، تثبیت و حفاظت کناره‌ها، مهار سیل و فرسایش و حفاظت از اراضی حاشیه رودخانه‌ها خواهد بود که در مراحل مختلف مطالعاتی می‌تواند مورد استفاده کارشناسان ذیربط و مهندسین مشاور و دستگاه‌های اجرایی مرتبط با پروژه‌های رودخانه‌ای قرار گیرد.

۴-۱ مروری بر تجربیات استفاده از روش‌های حفاظت کناره‌های رودخانه در ایران

موارد زیر، بیانگر مجموعه بررسی‌های انجام شده در زمینه استفاده از روش‌های حفاظت کناره در کشور می‌باشند.

به‌طور کلی طرح‌های اجرا شده در زمینه تثبیت کناره‌ها را به سه گروه عمده می‌توان تقسیم نمود:

الف- طرح‌های موضعی و اضطراری و با هدف تثبیت بازه‌ای کوتاه از رودخانه در نواحی آسیب دیده،

ب - طرح‌های جامع تثبیت کناره رودخانه با اهداف کوتاه‌مدت و درازمدت، و

پ - طرح‌های تحقیقاتی.

در ارتباط با گروه «الف»، طرح‌های موضعی و اضطراری فراوانی توسط سازمان‌های مختلف به ویژه سازمان‌های آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی و بعضاً توسط دفاتر ستادی اجرا شده است. این‌گونه طرح‌ها به ویژه طرح‌های اجرا شده تا قبل از سال ۱۳۷۵، غالباً بدون پشتوانه مطالعاتی می‌باشد. طرح حفاظت کناره با کیسه گونی (خاک و سیمان) در رودخانه هریرود، طرح حفاظتی توسط دیوار وزنی در رودخانه میناب، طرح حفاظتی سنگ و سیمان مهران‌رود و طرح ساماندهی رودخانه شهر چای در محدوده شهر میانه، نمونه‌هایی از این نوع طرح‌ها است. این طرح‌ها به دلیل ضعف مطالعاتی یا به دلیل ضعف در رعایت اصول طراحی، با شکست مواجه شده و یا به دلیل طراحی دست بالا غیر اقتصادی بوده‌اند. قابل یادآوری است که طرح تثبیت رودخانه حله از معدود طرح‌های قدیمی است که با رعایت نسبی اصول مطالعاتی و طراحی اجرا شده است.

طی سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۷۶ (که سال‌های پرآبی رودخانه‌های کشور بوده است)، طرح‌های اضطراری متعددی مطرح شده و مطالعاتی متناسب با آنها انجام گرفته است. طرح‌های اضطراری ساماندهی رودخانه سفیدرود در محدوده روستای قاضیان، ساماندهی رودخانه اترک در محدوده روستای عشق آباد، ساماندهی رودخانه قزل اوزن در محدوده برون قشلاق، نمونه‌های از این‌گونه طرح‌ها می‌باشند. لازم به یادآوری است، از آنجایی که یک بازه از رودخانه فقط بخشی از سامانه پویای رودخانه‌ای می‌باشد، بنابراین مطالعه آن بدون در نظر گرفتن کل سامانه رودخانه با اصول مطالعاتی سامانه‌های پویا مانند دینامیک رودخانه مطابقت نداشته و اجرای هرگونه طرحی، حتی در بازه‌ای کوتاه باید در چارچوب مطالعات جامع سامانه رودخانه‌ای انجام گیرد.

در مورد طرح‌های گروه «ب»، طی سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸، طرح‌هایی مطرح شده که مطالعات مراحل مختلف آن با رعایت سلسله مراتب مطالعاتی انجام گردیده و یا در حال انجام است.

طرح ساماندهی رودخانه زرینه‌رود و سیمینه‌رود، طرح حفاظتی کناره‌های هامون دشت سیستان (طرح جامع کنترل سیل سیستان)، ساماندهی رودخانه کارون با هدف ترابری آبی، ساماندهی رودخانه قزل‌اوزن، ساماندهی رودخانه سفیدرود، ساماندهی رودخانه کر، ساماندهی رودخانه حله، کنترل سیل رودخانه هیرمند، ساماندهی رودخانه قره‌سو و ساماندهی رودخانه شاهرود از جمله این‌گونه طرح‌ها است. لازم به یادآوری است که به جز رودخانه هیرمند که مدتی است از دوره عملیات اجرایی آن می‌گذرد، سایر طرح‌های مذکور در مرحله مطالعاتی شناسایی و توجیهی و ندرتاً مرحله طراحی تفصیلی قرار دارند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که در سال‌های اخیر (به‌خصوص در دو سال گذشته) مراحل مختلف مطالعاتی (اعم از شناسایی، توجیهی و طراحی تفصیلی) در طرح‌های مطرح شده، سیر مثبت داشته و آگاهی و ذهنیت لازم بر لزوم انجام مراحل مختلف مطالعاتی طرح‌ها ایجاد شده است.

در رابطه با طرح‌های تحقیقاتی در بعضی از رودخانه‌های کشور، توسط مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌ها، طرح‌هایی اجرا شده است. طرح حفاظت کناره رودخانه با صفحات مستغرق که در رودخانه کرخه اجرا شده است، نمونه‌ای از این نوع طرح‌ها می‌باشند. در حال حاضر، طرح‌های تحقیقاتی زیادی در چارچوب تهیه و تدوین آخرین دستاوردها و روش‌های بدیع در خصوص تثبیت کرانه‌ها در حال انجام می‌باشد. از جمله این طرح‌ها، می‌توان به تثبیت بیولوژیکی رودخانه‌ها و کاربرد مصالح خاص محلی اشاره نمود.

در ارتباط با طرح‌های تحقیقاتی آزمایشگاهی نیز، کارهایی در مراکز تحقیقاتی کشور انجام شده است. انجام آزمایش‌های تحقیقاتی متعدد در خصوص آبسکن‌های بسته و باز و صفحات مستغرق، از جمله این‌گونه طرح‌ها می‌باشند.

۲- مطالعات و اطلاعات مورد نیاز

۱-۲ اطلاعات پایه مورد نیاز

۲-۱-۱ کلیات

وجود و استفاده از آمار و اطلاعات دقیق و کامل در انجام اموری که به برنامه‌ریزی و طراحی اولیه نیازمند است، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. در طرح‌های مهندسی و بخصوص در مطالعات طرح‌هایی که در ارتباط با پدیده‌های طبیعی بوده و طراحی آنها بر روش‌های تحلیلی یا تجربی استوار می‌باشد، وجود آمار و اطلاعات کافی دارای نقش بسیار حساس‌تری است، به‌گونه‌ای که فقدان یا حتی کمبود آمار و اطلاعات لازم، مطالعه، اجرا یا بهره‌برداری از این‌گونه طرح‌ها را با مشکلات و مخاطرات جدی مواجه می‌سازد. در مهندسی آب و به ویژه در مهندسی رودخانه که با یکی از عناصر پیچیده طبیعت به نام رودخانه سر و کار داشته و عوامل و متغیرهای متعددی در رخدادها و پدیده‌های مرتبط با آن دخیل می‌باشند، دستیابی به آمار و اطلاعات ثبت شده اهمیت زیادی دارد. بدیهی است در ابتدای مطالعات هر طرحی، باید این عوامل تأثیرگذار را شناسایی کرد و با توجه به میزان تأثیر هر یک در وقوع پدیده‌های طبیعی مرتبط، آنها را اولویت‌بندی نمود و بر حسب مورد، حد و مرز اطلاعات مورد نیاز هر عامل را نیز تعیین کرد.

آمار و اطلاعات مورد نیاز طراحی و اجرای روش‌های مهار فرسایش کناره‌های رودخانه‌ها، در ادامه آورده شده است [۱].

۲-۱-۲ آمار و اطلاعات عمومی منطقه طرح

آمار و اطلاعات عمومی منطقه طرح به‌طور عمده شامل موارد زیر می‌باشد:

- نقشه‌های راه‌ها و موقعیت عمومی منطقه طرح با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰۰،
- نقشه‌های توپوگرافی اراضی اطراف رودخانه به پهنای حداقل ۵۰۰ متر از کناره رودخانه به مقیاس از ۱:۵۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰ بر حسب مورد برای شناسایی عمومی منطقه طرح،
- نقشه‌های توپوگرافی رودخانه و اراضی حاشیه آن حداکثر با پهنای ۱۰۰ متر از کناره رودخانه با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰ و معمولاً ۱:۲۰۰۰ برای تعیین جانمایی روش حفاظتی،
- عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰ از محدوده طرح و در صورت امکان با فواصل مناسب زمانی (معمولاً ۱۰ تا ۳۰ سال) برای بررسی تغییرات پدید آمده در منطقه طرح و مطالعات ریخت‌شناسی رودخانه،
- برای رودخانه‌های کشندی (جزر مدی) نیز لازم است عکس‌های هوایی در فواصل زمانی مناسب و حتی‌المقدور در فصول مختلف تهیه شود،
- تصاویر و اطلاعات ماهواره‌ای از منطقه طرح با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰۰،
- اطلاعات و گزارش‌های موجود در ارتباط با وضعیت عمومی منطقه طرح،

- آمار و اطلاعات مربوط به فرسایش کناره‌های رودخانه در محدوده طرح و روش‌های مختلف مهار فرسایش کناره‌ها که در گذشته اجرا گردیده‌اند،
- اطلاعات مربوط به تأسیسات و ابنیه موجود در حاشیه و یا در تقاطع با رودخانه مانند سدها، بندهای انحرافی، پل‌ها، جاده‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط لوله، دکل‌های برق، کانال‌ها و ساختمان‌ها،
- اطلاعات مربوط به سایر طرح‌های در دست مطالعه یا در دست اجرا در حاشیه و یا مرتبط با رودخانه، و
- نقشه موقعیت جاده‌های ارتباطی و دسترسی منطقه طرح در مقیاس ۱:۵۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰ .

۳-۱-۲ آمار و اطلاعات هیدروکلیما تولوژی، هیدرولیک و ریخت‌شناسی

آمار و اطلاعات مربوط به شرایط اقلیمی و هیدرولوژیک منطقه طرح و ویژگی‌های هیدرولیک و ریخت‌شناسی رودخانه، داده‌های مورد نیاز مطالعات و بررسی‌های هیدرولیکی را مهیا خواهد نمود. برای این منظور آمار و اطلاعات زیر مورد نیاز می‌باشد:

- گزارش‌های هواشناسی، هیدرولوژی، هیدرولیک و ریخت‌شناسی موجود و مرتبط با منطقه طرح،
- آمار و اطلاعات مربوط به شرایط اقلیمی منطقه مانند میزان بارش، دما، میزان تبخیر و تعرق، سرعت و جهت باد و تغییرات رطوبت نسبی در طول فصول سال،
- آمار و اندازه‌گیری‌های انجام شده در زمینه بده جریان و تغییرات سطح آب رودخانه در سال‌های گذشته و به ویژه در مواقع سیلابی در محدوده طرح،
- آمار کیفیت آب شامل کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی،
- آمار و اطلاعات مربوط به نوع، میزان و مشخصات بار رسوبی معلق و بستر رودخانه،
- نقشه‌های توپوگرافی رودخانه با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰، نیمرخ‌های طولی در محورهای خط‌القدر و لبه‌های فوقانی کناره‌های چپ و راست رودخانه با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰ و همچنین مقاطع عرضی رودخانه با مقیاس ۱:۱۰۰ تا ۱:۱۰۰۰ طولی و ۱/۱۰ تا ۱/۱۰۰ ارتفاعی و به فواصل ۵۰ تا ۲۰۰۰ متر که به عوارض و تغییرات مقطع و طول رودخانه بستگی دارد. معمولاً این نقشه‌ها بر اساس دقت مورد نیاز و طبق ضوابط موجود تهیه خواهد شد.
- در رودخانه‌های کشندی (جزر و مدی)، آمار و اطلاعات مربوط به تغییرات کشند (جزر و مد) و بخصوص شرایط خاص حداکثرهای برکشند (مد)، حداقل زیر کشند (جزر) و غیره در گذشته، به منظور پیش‌بینی تغییرات در آینده مورد نیاز خواهد بود. بدیهی است اگر چنین آماری موجود نباشد، بر اساس دستورالعمل‌های تهیه شده باید تغییرات کشند در فواصل ۳۰ دقیقه یا ۱ ساعت و برای مدت حداقل ۳۰ روز انجام شود.
- در رودخانه‌های منتهی به دریا یا دریاچه، تغییرات سالانه سطح آب دریا یا دریاچه مورد نیاز است.

۲-۱-۴ آمار و اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک

روش‌های حفاظت رودخانه، به منظور حفاظت کناره‌های فرسایش‌پذیر و ناپایدار، روی بستر یا کناره رودخانه و ترجیحاً با مصالح محلی، طرح و اجرا خواهند شد. بنابراین به منظور بررسی امکان و پتانسیل فرسایش‌پذیری کناره‌های رودخانه و نیز آگاهی از خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک کناره و همچنین شناخت انواع و کیفیت و کمیت مصالح محلی، جمع‌آوری آمار و اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک به شرح زیر ضروری خواهد بود:

- نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناختی منطقه طرح در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و در صورت عدم وجود در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰،
- گزارش‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک موجود و مرتبط با طرح‌های اجرا شده قبلی و در دست اجرا و سایر طرح‌های مطالعاتی در منطقه طرح،
- آمار و اطلاعات مربوط به تغییرات سطح آب زیرزمینی و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در حاشیه رودخانه،
- آمار و اطلاعات مربوط به مشخصات زلزله‌های واقع شده در منطقه و وضعیت گسل‌ها و ترائشه‌های موجود در محدوده طرح،
- آمار و اطلاعات مربوط به زمین‌لغزه‌ها و گسستگی‌های ناشی از روانگرایی ناحیه‌ای و محلی، فرونشست‌های منطقه‌ای، تورم‌پذیری خاک و لایه‌های ضعیف در مسیر کناره،
- مشخصات و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی لایه‌های زمین کناره رودخانه (محل‌های مورد نظر برای حفاظت) و همچنین مصالح منابع قرضه مانند طبقه‌بندی خاک، میزان رطوبت، حدود اتربرگ، تراکم‌پذیری، تحکیم‌پذیری و مقاومت برشی برای خاک‌های ریزدانه چسبنده و همچنین طبقه‌بندی و وزن مخصوص، دانه‌بندی، میزان نفوذپذیری، تحکیم‌پذیری و مقاومت برشی برای خاک‌های درشت‌دانه و مشخصاتی مانند هوازدگی، خردشدگی و وزن مخصوص برای سنگ‌ها، و
- عمق و نوع لایه‌های خاک زیرزمینی در مسیر کناره و به ویژه خاک‌های سست و مسئله‌دار مانند خاک‌های واگرا^۱، خاک‌های رمبنده^۲ و خاک‌های پس‌مانده معدنی و همچنین سنگ کف.

۲-۱-۵ آمار و اطلاعات اجتماعی و اقتصادی

تخریب کناره‌های رودخانه و از بین رفتن اراضی کشاورزی و تهدید تأسیسات و ساختمان‌های مسکونی، صنعتی و غیره، تبعات اجتماعی و اقتصادی فراوانی را به دنبال خواهد داشت، بنابراین ضروری است اطلاعات جامعی از وضعیت اجتماعی و اقتصادی منطقه طرح جمع‌آوری گردد تا با استفاده از این اطلاعات بتوان گزینه‌ای را برای حفاظت کناره‌های رودخانه در مقابل فرسایش

1 - Dispersive
2 - Collapsible

انتخاب و طراحی نمود که علاوه بر رعایت معیارهای فنی و زیست‌محیطی، دارای توجیه اجتماعی و اقتصادی لازم نیز باشد. اطلاعات مورد نیاز به‌طور عمده شامل موارد زیر می‌باشد:

- آمار جمعیت ساکن در مناطق اطراف رودخانه و چگونگی ترکیب و پراکندگی این جمعیت،
- منابع کاری و درآمدی و میزان در آمد حاصل از کارهای مختلف جمعیت ساکن،
- وسعت و ارزش اراضی، تأسیسات و ابنیه واقع در اطراف رودخانه با توجه به نوع استفاده از اراضی مذکور،
- موقعیت مراکز روستایی، شهری، صنعتی و زراعی و وسعت و ارزش هر یک به تفکیک،
- چگونگی و میزان استفاده از آب رودخانه به منظور مصارف کشاورزی، صنعتی و شرب، و
- برنامه‌های توسعه در اراضی حاشیه رودخانه و حدود سرمایه‌گذاری‌های پیش‌بینی شده.

۲-۲ مطالعات موردنیاز

۱-۲-۲ کلیات

مطالعات موردنیاز طرح‌های حفاظت کناره‌های رودخانه مانند سایر طرح‌ها، در سه مرحله شناسایی (مرحله صفر)، توجیهی (مرحله ۱) و تفصیلی (مرحله ۲) انجام می‌گیرد. برای آشنایی با بخش‌های مختلف مطالعات هر مرحله می‌توان به مراجع [۲]، [۳] و [۴] مراجعه نمود. با توجه به اهمیت بازدیدها و بررسی‌های صحرایی در مطالعات طرح‌هایی که با طبیعت محل ارتباط مستقیم دارند، ابتدا مطالبی در زمینه مطالعات صحرایی و نکات مورد توجه در این زمینه، بیان گردیده و سپس به بحث پیرامون مطالعات پایه و تخصصی در مطالعات مراحل شناسایی و توجیهی پرداخته می‌شود. لازم به یادآوری است، مطالعات مرحله تفصیلی عمدتاً به طراحی و محاسبات ساختمانی و تهیه نقشه‌های اجرایی طرح اختصاص دارد.

۲-۲-۲ بازدیدها و مطالعات صحرایی

بازدیدهای صحرایی در مطالعات مهندسی رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد به شکلی که می‌تواند به عنوان یک عامل مهم در گزینه‌یابی و ارائه راه حل مطلوب، قلمداد گردد. با انجام بازدیدها و مشاهدات صحرایی، قسمتی از ضعف مطالعات که ناشی از انجام کار صرفاً دفتری می‌باشد، برطرف می‌گردد و یک نگرش معقول، منطقی و واقعی به طراح می‌دهد. چگونگی و میزان دقت بازدید برحسب نوع مسئله مورد بررسی متفاوت می‌باشد.

در نگاهی کلی، موارد زیر باید در منطقه مورد توجه قرار گیرد [۸]:

- توپوگرافی منطقه و نوع آن از نظر پستی‌ها و بلندی‌ها،
- نوع منطقه (کاربری اراضی) از نظر شهری مدرن، روستایی و زراعتی بودن و یا ترکیبی از نواحی مذکور،
- پوشش گیاهی منطقه،
- نوع زراعت منطقه،
- حیات وحش منطقه،

- حیوانات اهلی و دام‌های منطقه،

- فعالیت‌های انسانی، و

- وضعیت راه‌های دسترسی به کناره‌های رودخانه.

علاوه بر موارد کلی بالا و نیز مذاکره و تبادل نظر با اهالی منطقه و مسئولین ذیربط در رابطه با وضعیت رودخانه از نظر سابقه سیل، فرسایش کناره‌ها و از بین رفتن اراضی، سابقه حفاظت‌های کناره‌ای که در گذشته انجام شده است و سایر نکاتی که از گفتگوهای طرفین به دست می‌آید، باید از قسمت‌های مختلف رودخانه بازدید کرده و اقدامات زیر انجام پذیرد :

- در مرحله شناسایی :

• شناسایی و بررسی بازه‌ها یا نقاط فرسایش‌پذیر و تهیه کروکی از وضعیت موجود رودخانه،

• شناسایی آبراهه‌های فصلی، مسیل‌ها و زهکش‌های ورودی به رودخانه،

• شناسایی، بررسی و ارزیابی عملکرد سیل در گذشته،

• شناسایی و بررسی سازه‌ها و تأسیسات اطراف و داخل رودخانه به ویژه از دیدگاه فرسایش و رسوبگذاری،

• بررسی خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه،

• جمع‌آوری اطلاعات اولیه به کمک بررسی‌های صحرایی شامل: ایستگاه‌های آبسنجی (هیدرومتری)، اطلاعات

هیدرولیکی، ریخت‌شناسی، سیل، فرسایش، زمین‌شناسی، رسوبات بستر رودخانه و جنس دیواره، منابع قرضه و مصالح و

همچنین اطلاعات کلی در مورد حوضه آبریز، و

• بررسی و شناسایی امکانات فنی و اجرایی محل.

- در مرحله توجیهی :

• برنامه‌ریزی جزییات بازدیدهای صحرایی،

• بازدید از رودخانه در محدوده طرح و یافتن تغییراتی که از پایان مرحله شناسایی تا شروع مطالعات مرحله توجیهی در

منطقه اتفاق افتاده است و تعیین نوع، میزان و شدت تغییرات واقع شده،

• تهیه کروکی جدید از شبکه آبراهه‌ها و رودخانه‌های منطقه تحت مطالعه و نشان دادن تغییرات واقع شده در محدوده

طرح، و

• بازدید و بررسی ایستگاه‌های آب‌سنجی، هواشناسی و رسوب‌سنجی منطقه به منظور ارزیابی کیفیت و چگونگی کارکرد

این ایستگاه‌ها و تغییرات واقع شده در آنها.

همچنین تخمینی از ابعاد (عرض و عمق) رودخانه در مقاطع مختلف، شکل ظاهری رودخانه، وجود تغییرات شدید

ریخت‌شناسی در رودخانه، تراز سطح آب و داغ آب سیلاب‌ها در زمان بازدید نسبت به مبدأ مشخص مانند کناره رودخانه، الگوی

ظاهری جریان، وجود اغتشاش و نیز سرعت سطحی جریان، کیفیت آب و بار رسوبی و ... در مطالعات بعدی بسیار مفید خواهد

بود.

۲-۲-۳ مطالعات پایه

مطالعات پایه در مرحله شناسایی شامل مطالعات زیر می‌باشد:

- موقعیت جغرافیایی و وضعیت فیزیوگرافی،
- هواشناسی و هیدرولوژی،
- زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناسی،
- ریخت‌شناسی رودخانه،
- مشخصه‌های عمومی خاک و پوشش گیاهی اراضی حاشیه رودخانه،
- هیدرولیک جریان رودخانه،
- فرسایش و رسوب،
- سیلاب و آثار آن،
- کیفیت آب،
- آثار زیست‌محیطی، و
- اجتماعی و اقتصادی.

در مرحله توجیهی نیز مطالعات پایه زیر مورد نیاز است:

- هواشناسی،
- هیدرولوژی،
- بهره‌برداری از آب رودخانه،
- زمین‌شناسی،
- ژئوتکنیک،
- کیفیت آب،
- منابع قرضه و مصالح ساختمانی قابل دسترس در منطقه، و
- اجتماعی و اقتصادی.

در ادامه، به بیان توضیحاتی مختصر پیرامون این مطالعات پرداخته خواهد شد. لازم به یادآوری است در مراجع [۲] و [۳] فهرست مواردی که در هر یک از عناوین مذکور باید مطالعه گردد، آمده است.

۲-۲-۳-۱ موقعیت جغرافیایی و وضعیت فیزیوگرافی

اهداف این بخش از مطالعات عبارت است از:

- کسب اطلاع از محدوده حوضه آبریز رودخانه، سرچشمه‌های آن و سرشاخه‌های فرعی و اصلی آن،
- بررسی راه‌های دسترسی به مناطق مختلف مسیر رودخانه و همچنین سایر مناطق مرتبط با طرح، و

- محاسبه و مشخص کردن پارامترهای فیزیوگرافی (مانند وسعت، شیب، ارتفاع حوضه آبریز) موردنیاز سایر مطالعات (مانند مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی).

۲-۲-۳-۲ هواشناسی و هیدرولوژی

اهداف این بخش از مطالعات عبارت است از:

- بررسی چگونگی تغییرات پارامترهای هواشناسی مانند بارندگی، دما، رطوبت، باد، ... این بررسی‌ها علاوه بر آنکه به عنوان داده‌های ورودی مطالعات هیدرولوژی، سیلاب و بعضاً هیدرولیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، می‌تواند برای برنامه‌ریزی زمان بازدیدها و همچنین برنامه‌ریزی زمان اجرای عملیات ساخت بسیار مفید واقع شود.
- تهیه داده‌های ورودی مطالعات هیدرولوژی مانند برآورد میزان متوسط ماهانه و سالانه بارندگی منطقه که در برآورد یا محاسبه متوسط بده ماهانه و سالانه مورد استفاده می‌باشد و یا تهیه گروه منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی و ارتفاع - سطح - مدت برای ایستگاه معرف منطقه که نهایتاً در برآورد مقادیر بده سیلاب‌ها برای دوره‌های بازگشت متعارف مورد استفاده خواهد بود.
- برآورد بده جریان‌های متوسط ماهانه، سالانه، و مطالعه رژیم آبی رودخانه و نیز برآورد مقادیر بده سیلاب‌ها برای دوره‌های بازگشت متعارف ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله. مقادیر جریان‌های مذکور در محاسبات هیدرولیک، هیدرولیک رسوب و سایر مطالعات مورد استفاده می‌باشد.
- بررسی وضع موجود بهره‌برداری از رودخانه.

۲-۳-۳-۲ زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی

- زمین‌شناسی از مطالعات پایه و ضروری برای مهندسی رودخانه و طراحی سازه‌های مختلف مربوط به آن می‌باشد. در این زمینه، مطالعات زیر انجام می‌گیرد:
- بررسی تشکیلات زمین‌شناسی سطحی منطقه و بخصوص بستر و کناره‌های رودخانه در محدوده مورد مطالعه از نظر میزان حساسیت آنها به فرسایش، لغزش و ریزش.
 - بررسی خصوصیات مربوط به درز و شکاف‌ها، گسل‌ها و دیگر عوارض زمین‌شناسی از نظر مشکلاتی که ممکن است در مرحله اجرای طرح پدید آورند.
 - بررسی خصوصیات زمین‌شناسی آبخوان‌های زیرزمینی محدوده طرح مانند تشکیلات آهکی، کارستی و یا آبرفتی و نیز موقعیت، عمق و دامنه گسترش هر یک از این تشکیلات. این سازندها علاوه بر آنکه ممکن است به دلیل سستی بر پایداری طرح حفاظتی کناره تأثیرگذار باشند، به دلیل قدرت ذخیره آب‌های زیرزمینی در خود، ممکن است پایداری سازه‌ها را با مشکلاتی مواجه نمایند.
 - بررسی نوع و شکل عوارض سطحی زمین و موقعیت این عوارض از نظر آثار آنها بر اهداف طرح.

- بررسی عوامل زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که ممکن است بر کیفیت آبها تأثیرگذار باشند. این مطالعه به منظور بررسی احتمال تأثیر این‌گونه آبها بر سازه حفاظتی انجام می‌پذیرد. به عنوان مثال سولفات‌ها شدن آبها ممکن است بر بتن تأثیرگذار بوده و شورشیدن آب خطرآفرینی را برای فلزات به کار رفته در سازه حفاظتی به وجود آورد.

۲-۳-۴ مشخصه‌های عمومی خاک و پوشش گیاهی اراضی حاشیه رودخانه

مطالعه مشخصه‌های عمومی خاک به منظور شناخت خصوصیات فیزیکی (بافت و ساختمان) و شیمیایی (اسیدیته و هدایت الکتریکی) و تعیین گروه‌های بزرگ خاک (براساس طبقه‌بندی جدید خاک‌ها) در اراضی حاشیه رودخانه انجام می‌شود. آگاهی از میزان فرسایش‌پذیری و ارائه نگرشی اولیه از مقاومت خاک و نیز تأثیر آن در کیفیت آب، از نتایج این مطالعه خواهد بود. بررسی پوشش گیاهی اراضی حاشیه رودخانه و شناسایی تیپ‌های گیاهی موجود و کمیت و کیفیت آنها نیز به نتایج زیر منجر خواهد شد:

- آگاهی از گیاهان بومی منطقه از نظر مسائل زیست‌محیطی،
- آگاهی از وضعیت پوشش گیاهی اراضی حاشیه رودخانه از نظر ایجاد حفاظت‌های طبیعی در مقابل فرسایش کناره‌ها، و
- بررسی امکان بذرپاشی یا بوته‌کاری در این اراضی برای افزایش تراکم یا تغییر گونه‌های موجود به گونه‌هایی که بهترین خاک را در برابر فرسایش محافظت می‌کنند.

۲-۳-۵ کیفیت آب

بررسی کیفیت آب رودخانه از نظر تعیین کاربری برای مصارف گوناگون مانند شرب، کشاورزی و صنعت و نیز از جهت مسائل زیست‌محیطی حایز اهمیت می‌باشد. اما آنچه مطالعه کیفیت آب را در طرح‌های حفاظت کناره‌های رودخانه، الزامی می‌سازد، تأثیر مستقیم کیفیت آب بر طول عمر سازه حفاظتی است؛ بنابراین بررسی تغییرات کیفیت آب در طول سال و تعیین ماه‌ها یا فصولی که کیفیت آب در بدترین حالت است و نیز تعیین مقادیر متوسط، حداکثر، حداقل و میانگین شاخص‌های کیفیت شیمیایی آب مانند هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، نسبت جذب سدیم، میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD)^۱، سختی کل^۲، ... و نیز تعیین رابطه بین میزان بده رودخانه و شدت آلودگی هر یک از عوامل و شاخص‌های کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک ضروری می‌باشد. مطالعات کامل‌تر شامل موارد زیر است:

- بررسی و مشخص کردن خصوصیات فیزیکی شامل: رنگ، بو و تیرگی،
- بررسی خصوصیات بیولوژیکی شامل: عوامل باکتریولوژی، حلزون‌ها و سخت‌پوستان،
- بررسی و تعیین علل کاهش کیفیت آب و مشخص کردن سهم هر یک از عوامل طبیعی و فعالیت‌های انسانی در آلودگی آب رودخانه مورد مطالعه،
- تعیین منابع آلوده کننده متمرکز (نقطه‌ای) یا گسترده رودخانه مورد مطالعه، و
- بررسی توان خودپالایی رودخانه در محدوده موردنظر.

1 - Biochemical Oxygen Demand

2 - Total Hardness

برای شناخت دقیق لایه‌های مختلف زمین تا عمق مناسب، به‌منظور طراحی و اجرای سازه‌های حفاظتی، تعیین وضعیت دقیق مناطق مشکل‌زا و مشخصات مکانیک خاک در محدوده مورد مطالعه، لازم است مطالعات ژئوتکنیک و مکانیک خاک انجام شود.

قبل از انجام آزمایش‌ها، بررسی مشخصات و روش‌های مطالعات ژئوتکنیک و مکانیک خاک مورد نیاز طرح، شامل نوع، تعداد و محل آزمایش‌های صحرایی، درجا و آزمایشگاهی با اهداف زیر انجام می‌شود:

- تعیین دانه‌بندی مصالح بستر، کناره‌ها و اراضی حاشیه رودخانه و تعیین ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی لایه‌های خاک تا عمق مناسب،
 - تعیین ساخت و بافت سنگ‌ها و خاک‌های محل سازه‌ها و نیز طبقه‌بندی توده سنگ‌ها و لایه‌های خاک برای تشریح ویژگی‌های دوام، رفتار و خواص مکانیکی آنها، و
 - تعیین مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی آب‌های زیرزمینی در محدوده پی و اطراف سازه‌های در دست طراحی.
- پس از انجام آزمایش‌ها نیز بررسی و تحلیل نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و آزمایش‌های انجام شده با هدف برآورد وضعیت پایداری شالوده سازه‌های حفاظتی در مقابل نشست و لغزش، تعیین آب‌گذری شالوده و نیز ارزیابی منابع قرضه، با توجه به اهداف و گزینه‌های پیش‌بینی شده و همچنین بررسی وضعیت گسل‌ها و نقاط ناپایدار، انجام می‌گردد.
- لازم به یادآوری است، بررسی‌های زیرزمینی در دو مرحله انجام می‌گیرد که ممکن است به‌طور مجزا و متوالی انجام شده و یا در یکدیگر ادغام شوند. بررسی‌های زیرزمینی در مرحله مقدماتی با هدف مشخص شدن انواع لایه‌های تشکیل‌دهنده زمین، ضخامت آنها، تغییرات مقاومت در عمق و نیز عمق و مقاومت لایه‌های نگه‌دارنده انجام می‌شود. این مرحله تقریباً به‌طور کامل از طریق حفاری و گرفتن نمونه‌های دست‌خورده و گودال‌های حفر شده به وسیله بیل مکانیکی، بولدوزر، تراکتورهای کشاورزی و غیره انجام می‌شود. بررسی‌های زیرزمینی در مرحله تفصیلی نیز شامل نمونه‌برداری‌های دست‌خورده و دست‌نخورده بوده و ممکن است شامل روش‌های ژئوفیزیک نیز باشد. گاهی اوقات نمونه‌های دست‌نخورده برای انجام آزمایش‌ها ممکن است توسط نمونه‌های بلوک دستی از گوده‌های آزمایشی به‌دست آیند، ولی استفاده از روش‌های حفاری دورانی و فشاری معمول‌تر است.

۲-۳-۷ منابع قرضه و مصالح ساختمانی قابل دسترس در منطقه

بررسی و انتخاب منابع قرضه، یکی از بخش‌های مطالعات پایه را تشکیل می‌دهد و بررسی کامل و دقیق آن، علاوه بر تأثیر بر برآورد اقتصادی و برنامه‌ریزی اجرایی طرح، نقش به‌سزایی در انتخاب روش حفاظتی کناره منطبق با شرایط منطقه طرح، خواهد داشت. در انتخاب منابع قرضه و مصالح ساختمانی، علاوه بر در نظر گرفتن نوع، کیفیت و کمیت و فاصله حمل مواد، باید مواردی مانند جنبه‌های زیست‌محیطی، افزایش ارزش زمین و غیره مدنظر قرار گیرد.

مصالح مورد نیاز در ساخت روش‌های حفاظتی کناره می‌تواند شامل انواع مختلف سنگ و طبقات گوناگون خاک باشد که در فصل ۴ پیرامون خصوصیات مصالح مورد نیاز بحث به عمل خواهد آمد.

۲-۳-۱ اجتماعی و اقتصادی

اهداف مطالعات اجتماعی و اقتصادی عبارتند از:

- شناخت الگوهای اجتماعی و اقتصادی منطقه شامل الگوهای مذهبی، فرهنگی، جمعیتی، معیشتی و فعالیت‌های اقتصادی، تفریحی، بهره‌برداری از رودخانه و اراضی حاشیه و شناخت وضعیت فعلی به منظور:
- برنامه‌ریزی چگونگی ادامه مطالعات منطقه شامل برقراری ارتباط با ساکنین منطقه برای ایجاد زمینه‌های مناسب تحقق، استفاده از خاطرات، تجربیات، نظرات و برنامه‌ریزی برای استفاده از امکانات محل (نیروی انسانی، مصالح، ماشین‌آلات)،
- انتخاب طرح‌های مناسب و منطبق با الگوهای اجتماعی و اقتصادی به نوعی که علاوه بر کارآیی‌های فنی، از قابلیت پذیرش بالایی در منطقه برخوردار باشد،
- ایجاد تسهیلات فرهنگی در زمان برپایی کارگاه و اجرای طرح به شکلی که کمترین تنش‌های محلی ایجاد گردد، و
- برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهینه و تعمیر و نگهداری طرح و منطبق با الگوهای اجتماعی و اقتصادی منطقه.
- بررسی چگونگی مشارکت مردم و نهادها در مراحل مختلف.
- بررسی نوع و میزان ضررها و احتمالا منافع حاصل از فرسایش کناره‌های رودخانه از دیدگاه مردم و نیز از دید مهندسی رودخانه و همچنین بررسی خسارات اجتماعی حاصل از آن مانند مسائل و مشکلات فرهنگی، رفاهی و تشدید مهاجرت‌ها.
- بررسی آثار اجرای طرح در وضعیت اقتصادی و اجتماعی منطقه از دید منافع ملی (اقتصاد کلان) و نیز جنبه‌های حقوقی حاصل از آن و تهیه جدول سود به هزینه اجتماعی و اقتصادی هر یک از گزینه‌ها.
- پیشنهاد بهترین گزینه از نظر اجتماعی و اقتصادی.

۲-۳-۴ مطالعات تخصصی

در مطالعات تخصصی، موارد زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

- هیدرولیک،
 - فرسایش و رسوب،
 - سیلاب و آثار آن،
 - ریخت‌شناسی رودخانه،
 - آثار زیست‌محیطی، و
 - حمل و نقل در آبراه.
- در ادامه، به بیان توضیحاتی مختصر پیرامون هر یک از عناوین مطالعات بالا پرداخته خواهد شد. لازم به یادآوری است که در مراجع [۲] و [۳]، فهرست مواردی آمده که در هر یک از عناوین مذکور باید مطالعه گردد.

۲-۴-۱-۲ هیدرولیک جریان

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های تمامی طرح‌های مهندسی رودخانه، مطالعات هیدرولیک رودخانه است که نتایج حاصل از آن، علاوه بر کاربرد مستقیم، به عنوان اطلاعات ورودی مورد نیاز سایر بخش‌های مطالعات تخصصی نقش به‌سزایی داشته و حتی می‌تواند تأثیر تعیین‌کننده‌ای در انتخاب روش حفاظتی و تعیین مبانی طراحی پروژه داشته باشد. مشخصات هندسی مقاطع و نیمرخ طولی رودخانه، موانع و سازه‌های موجود در بازه مورد مطالعه، اطلاعات هیدروگراف‌های مختلف به‌دست آمده از مطالعات هیدرولوژی، مشخصات زبری بستر، کناره‌ها و سیلاب دشت و منحنی بده - سنج (دبی - اشل) مقطع ورودی یا خروجی بازه مطالعاتی (بر حسب نیاز) از اطلاعات ورودی محاسبات هیدرولیک جریان می‌باشند.

انجام محاسبات و مطالعات هیدرولیکی، معمولاً با استفاده از مدل‌های ریاضی یا فیزیکی (در صورت لزوم) و در دو حالت جداگانه شامل شرایط طبیعی رودخانه و نیز شرایط پس از اجرای طرح و گزینه‌های مورد نظر انجام می‌شود.

در مطالعات هیدرولیک به‌طور معمول، شرایط عمومی جریان و مشخصات آن مانند سرعت و عمق، تراز و شیب سطح آب (نیمرخ طولی)، گستره سیلاب‌های مختلف به ویژه سیل، طراحی و نیز منحنی‌های سنج در مقاطع مورد نیاز تعیین می‌گردد. در صورت وجود موانع یا تغییرات ناگهانی در مسیر جریان مانند سد، بند انحرافی، پل، پیچ‌های تند، آبشار، گشادشدگی یا تنگشدگی مقطع، تلاقیگاه و دو شاخگی، باید شرایط خاص جریان و تأثیر این موانع یا تغییرات آن را بررسی نمود زیرا چنین مواردی علاوه بر آنکه بر مشخصات جریان به‌صورت موضعی تأثیرگذار خواهند بود، وضعیت جریان در بالادست یا پایین‌دست را متأثر کرده و موجب تغییر تراز سطح آب می‌گردد. علاوه بر این موارد، بررسی آثار برداشت آب از رودخانه در رفتار هیدرولیکی آن در نقاط بحرانی نیز باید مد نظر قرار گیرد.

۲-۴-۲-۲ فرسایش و رسوب

فرسایش کناره‌های رودخانه، لزوم استفاده از روش‌های مهار فرسایش را به شرط داشتن توجیهات کافی، ایجاب می‌نماید.

فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه، در مفهوم عام آن، باعث ایجاد پدیده‌های زیر خواهد شد:

- تغییرات ریخت‌شناسی در رودخانه و در نتیجه تغییر پلان که در نهایت به از بین رفتن اراضی حاشیه رودخانه و در معرض تهدید و تخریب قرار گرفتن تأسیسات ایجاد شده در حریم رودخانه (به‌صورت غیرمستقیم) منجر خواهد شد،
- تهدید پایداری پل‌ها، سازه‌های حفاظتی و دیگر سازه‌های از این نوع،
- تغییر رقوم بستر که تغییر رقوم سطح آب را به دنبال خواهد داشت. افزایش بیش از حد سطح آب به سرریزی آب از رودخانه و ایجاد سیل گرفتگی و تهدید پایداری سازه‌های متقاطع، موازی و حاشیه‌ای رودخانه منجر شده و پایین افتادن بیش از حد سطح آب نیز در برنامه‌های بهره‌برداری از آب رودخانه، اختلال ایجاد خواهد کرد، و
- در صورت وجود سدها یا تأسیساتی که ورود رسوب به آنها، عملکردشان را مختل خواهد کرد، فرسایش و رسوبگذاری در بازه‌های بالادست آنها، باعث کاهش عمر مفید و نیز افزایش هزینه‌های بهره‌برداری خواهد شد.

مطالعات فرسایش و رسوب در بخش محاسبات و در حالت کلی به دو قسمت هیدرولوژی رسوب و هیدرولیک رسوب تقسیم می‌گردد. در بخش هیدرولوژی رسوب به پتانسیل فرسایش‌پذیری و انتقال رسوب قسمت‌های مختلف حوضه آبریز و زیر شاخه‌ها، تعیین مقادیر غلظت رسوب آب رودخانه اصلی یا زیر شاخه‌های آن و نیز بار رسوب معلق حمل شده با توجه به بده آب در دوره‌های زمانی مختلف (ماهانه، سالانه، ...) پرداخته می‌شود. در بخش محاسبات هیدرولیک رسوب نیز، ظرفیت انتقال رسوب در بازه‌های موردنظر با استفاده از معادلات انتقال رسوب، تعیین میزان بار کف و نسبت آن به کل رسوب سالانه و نهایتاً میزان رسوب ماهانه و سالانه رودخانه به‌دست خواهد آمد.

در بازدیدهای صحرایی از رودخانه که در بخش مطالعات فرسایش و رسوب انجام می‌گیرد، توجه به موارد زیر ضروری است:

- بررسی بار رسوب کف و دانه‌بندی و تغییرات آن در طول رودخانه،
 - بررسی انواع، شدت و عوامل فرسایش در طول رودخانه و شاخه‌های آن، به منظور تعیین نقش آنها در میزان رسوب‌دهی رودخانه و طبقه‌بندی بازه‌های فرسایش‌پذیر آن،
 - شناسایی مناطق مختلف برای برداشت مصالح رودخانه‌ای و تعیین محل، چگونگی و میزان مناسب برداشت،
 - بررسی آثار برداشت مصالح رودخانه‌ای بر فرسایش و حمل رسوب در رودخانه،
 - تعیین آثار اقدامات ساماندهی یا احداث تأسیسات متقاطع مانند سد، پل و سایر تأسیسات کنترل، انحراف و برداشت آب در آب‌شستگی عمومی و موضعی رودخانه یا رسوبگذاری (در بالادست و پایین‌دست)،
 - بررسی میزان فرسایش عمومی و موضعی در رودخانه که به تغییر عرض و تراز بستر رودخانه منجر می‌شود،
 - بررسی احتمال وقوع جریان‌های غلیظ و جریان گل و آثار آنها در عملکرد سازه‌های کنترل جریان، و
 - بررسی روش‌های مهار فرسایش و اقدامات ساماندهی رودخانه با توجه به اقدامات تثبیت خاک انجام شده در حوضه.
- لازم به یادآوری است با توجه به اهداف نهایی مطالعات، مطالعه کامل و صحیح فرسایش و رسوب در رودخانه از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

۲-۲-۴-۳ ریخت‌شناسی رودخانه

انتخاب، طراحی و اجرای روش‌های مهار فرسایش کناره‌های رودخانه بدون توجه به ریخت‌شناسی آن، می‌تواند کاری بیهوده و موجب اتلاف سرمایه و وقت باشد. پس شناخت خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه، از جمله الزامات مطالعات و بررسی روش‌های مهار فرسایش کناره‌های رودخانه است. مطالعه ریخت‌شناسی رودخانه شامل بررسی و تعیین نوع و مشخصات تغییرات مهم ریخت‌شناسی رودخانه در گذشته و بررسی عوامل مؤثر در آن، شناخت وضعیت فعلی و بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات ریخت‌شناسی در آینده و آثار ناشی از آنها بر رودخانه و محیط اطراف می‌باشد. در این راستا، بررسی‌های زیر ضروری است و به شناخت بازه‌هایی که به حفاظت کناره نیاز دارد و نیز نوع حفاظت موردنیاز، کمک فراوانی می‌نماید:

- بررسی بازه یا بازه‌های ناپایدار رودخانه از نظر فرسایش بستر و دیواره‌ها و چگونگی جابه‌جایی مسیر آن،
- شناسایی پیچاب‌های ناپایدار و بررسی ضرورت تثبیت آنها با روش‌های مناسب،

- بررسی چگونگی تغییر شیب بستر رودخانه در محدوده مورد مطالعه و تأثیر آن بر ریخت‌شناسی رودخانه،
- بررسی تأثیر ساختار لایه‌های سطحی، دانه‌بندی و پدیده‌های تکتونیکی بستر رودخانه بر خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه،
- بررسی آثار برداشت مصالح رودخانه‌ای بر ریخت‌شناسی رودخانه،
- پیش‌بینی تغییرات خصوصیات ریخت‌شناسی ناشی از افزایش و یا کاهش سطح آب دریا، دریاچه، تالاب و رودخانه‌های مرتبط با رودخانه مورد مطالعه،
- تعیین آثار ناشی از اجرای سازه‌های متقاطع با رودخانه و همچنین اقدامات ساماندهی رودخانه بر ریخت‌شناسی آن، و
- بررسی آثار و پیامدهای احتمالی اجرای طرح‌های تنظیم جریان، برداشت آب و مهار رسوب رودخانه بر خصوصیات ریخت‌شناسی آن.

۲-۴-۴-۲ سیلاب

بررسی‌های مربوط به سیلاب، اگر چه معمولاً در تمامی مطالعات مهندسی رودخانه و حتی کلیه طرح‌های آن ضروری است، با این حال در مطالعه روش‌های حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها به نوعی می‌توان آنرا در رده مطالعات فرعی محسوب نمود که مهم‌ترین اهداف آن، بررسی امکان وقوع سیل در بازه مورد نظر و آثار وقوع آن بر فرسایش کناره، تعیین سیلاب طراحی طرح و نیز تعیین میزان خسارات وارده بر طرح در اثر وقوع سیل، می‌باشد. مشخص کردن بازه‌های طغیانی و نقاط سیل‌گیر رودخانه، تعیین حداکثر بده قابل عبور در بازه مورد نظر قبل و پس از اجرای طرح و مقایسه آن با بده طراحی و ارائه پیشنهادهایی که از غرقاب شدن سازه‌های حفاظتی اجرا شده به هنگام وقوع سیل جلوگیری نماید، از مجموعه مطالعاتی است که نتایج آن در مراحل مختلف طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های حفاظتی، کاربرد دارد. برای انجام مطالعات بیشتر می‌توان به فهرست خدمات مطالعات مراحل شناسایی و توجیهی طرح‌های مهندسی رودخانه (مراجع [۲] و [۳]) مراجعه نمود.

در صورتی که علاوه بر حفاظت کناره‌های رودخانه در بازه مورد نظر در مقابل فرسایش، مهار سیلاب نیز مدنظر باشد، تعیین سیلاب طراحی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند زیرا تأثیر بسیار زیادی بر هزینه اجرای طرح دارد. در انتخاب سیلاب طراحی باید یک احتمال خطر معقول یا به عبارت دیگر یک دوره بازگشت مناسب در نظر گرفته شود، بنابراین تصمیم‌گیری در این مورد، اهمیت زیادی داشته و باید براساس ملاحظاتمانند شکل هیدروگراف سیل، مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز، اهمیت مناطق تحت حفاظت، محدودیت‌های فنی و اقتصادی و ملاحظات اجتماعی و زیست‌محیطی و غیره صورت گیرد. لازم به یادآوری است انتخاب سیلاب طراحی عمده‌تاً در طرح سازه‌های حفاظتی قائم که در آنها ارتفاع مطرح است، معنی پیدا می‌کند. انتخاب سیلاب طرح معمولاً براساس یکی از دو روش معیار تحلیل اقتصادی (نسبت سود به هزینه) و استاندارد عملکرد انجام می‌گیرد. در روش انتخاب سیلاب طرح با روش معیار تحلیل اقتصادی، هزینه‌های انواع گزینه‌ها در مقایسه با خسارات ناشی از عدم اجرای طرح، برآورد شده و نهایتاً پس از انجام تحلیل‌های لازم، سیلاب طرح براساس حداکثر نسبت سود به هزینه و یا حداقل نسبت بزرگ‌تر از ۱ انتخاب می‌شود. توضیحات بیشتر در مورد این روش، در کتاب‌های مرجع آورده شده است.

کمبود آمار و اطلاعات منظم و قابل اعتماد در کشور ما و بسیاری از کشورهای دیگر جهان، باعث می‌شود انتخاب سیلاب طرح با روش تحلیل اقتصادی تا حدی غیرعملی، غیر قابل اعتماد و احياناً گمراه کننده باشد. از این رو، ناگزیر سیلاب طرح، با روش‌های تجربی و براساس استاندارد عملکرد، انتخاب می‌شود. در این روش، معیار انتخاب سیلاب طرح براساس استانداردهای متداول جهان می‌باشد که برای تحقق اهداف خاص طرح، مناسب تشخیص داده شده‌اند. استانداردهای سیلاب طرح در تعداد زیادی از کشورهای دنیا و نیز توسط سازمان‌های بین‌المللی بررسی و تدوین شده است. معمولاً انتخاب سیلاب طرح به چهار گروه اصلی شامل مناطق کشاورزی، روستایی، صنعتی و شهری تقسیم می‌گردد که هر کدام از موارد، خود، به چند گروه مانند توسعه یافته، توسعه نیافته و غیره طبقه‌بندی می‌شود [۱].

۲-۲-۴-۵ آثار زیست‌محیطی

یکی از موارد مطالعاتی که در سال‌های اخیر، تقریباً در تمامی پروژه‌های عمرانی مدنظر قرار گرفته و بر آن تأکید شده است، بررسی آثار زیست‌محیطی ناشی از اجرای طرح می‌باشد. این آثار می‌تواند موجب آلودگی‌های مختلف بوده و گیاهان، جانوران یا ساکنین منطقه طرح یا مناطق مجاور را متأثر گرداند. بنابراین هدف اصلی این بخش از مطالعات، بررسی و پیش‌بینی آثار احتمالی اجرای طرح بر شرایط موجود زیست‌محیطی، شامل آثار کاهش کیفیت آب بر محیط زیست حاشیه رودخانه و آبیان، کاهش یا افزایش بیماری‌ها، تعیین آثار غیرقابل محاسبه و غیرقابل برگشت ناشی از اجرای طرح و ارزیابی کلی آثار زیست‌محیطی، اعم از مثبت و منفی، مستقیم و غیرمستقیم، کوتاه‌مدت و بلندمدت، می‌باشد. بدیهی است آثار احتمالی حاصل از اجرای گزینه‌های مختلف طرح بر محیط زیست منطقه، باید مورد مقایسه قرار گیرد. ارائه پیشنهادی لازم به منظور کاهش آثار منفی اجرای گزینه‌های مختلف طرح‌های حفاظتی کناره و نیز ارائه پیشنهادها و تدوین برنامه مدیریتی و آموزش به منظور حفظ یا بهبود شرایط محیط زیست پس از اجرای طرح، از دیگر مباحث این بخش از مطالعات خواهد بود.

۲-۲-۴-۶ حمل و نقل در آبراه

تردد شناورها، یکی از علل بروز فرسایش کناره است، بنابراین مطالعه حمل و نقل شناورها در آبراه‌هایی که از آنها برای حمل و نقل استفاده می‌شود، الزامی است. برای برآورد فرسایش ناشی از گذر شناورها، می‌توان به کتاب‌های مرجع هیدرولیک رودخانه [۸] مراجعه نمود. همچنین در بند ۳-۲-۱ توضیحات بیشتری در مورد فرسایش و تشکیل امواج در اثر حرکت شناورها ارائه شده است.

در مطالعه حمل و نقل در آبراه، موارد زیر باید مورد بررسی قرار گیرد:

- ابعاد شناورها (طول، عرض، ارتفاع و آبخور)،
- وزن شناورها،
- قدرت شناورها،
- سرعت متوسط و حداکثر شناورها،
- ترافیک (آمار تردد) شناورها و مقررات و ضوابط موجود،
- امکان پهلوگیری شناورها، و
- شکل هندسی آبراه از نظر وضعیت مانور شناورها.

۳- انواع فرسایش کناره‌های رودخانه و علل و سازوکار آن

۱-۳ کلیات

فرسایش کناره رودخانه‌ها عامل ناپایداری، جابه‌جایی و انتقال ذرات یا توده‌های خاک کناره می‌باشد. اگرچه فرسایش در رودخانه‌ها به صورت فرسایش کف و کناره‌ها توأمأ دیده می‌شود، ولی رخداد فرسایش در کناره‌ها به صورت عمومی‌تر و رایج‌تر و موجب بروز مشکلات بیشتری نسبت به فرسایش کف می‌گردد. فرسایش کناری، موجب معضلات فراوانی در حاشیه رودخانه‌های آبرفتی می‌شود. تعریض بستر رودخانه‌ها، تخریب اراضی کشاورزی، تخریب راه‌های مجاور ساحل رودخانه‌ها، افزایش شدید غلظت رسوب و آلودگی آب رودخانه و تهدید پایداری سازه‌های احداث شده، بخشی از مشکلات ناشی از فرسایش کناری است. فرسایش کناری رودخانه‌های کشور، هر ساله زیان‌های جبران‌ناپذیری را وارد می‌کند.

فرسایش کناره، عموماً به صورت‌های گوناگون و با شدت و ضعف متفاوتی در رودخانه‌های آبرفتی به‌طور طبیعی دیده می‌شود؛ به ویژه در هنگام سیلاب و پرابی رودخانه تغییرات سریع‌تری در مقطع رودخانه و کناره‌ها رخ خواهد داد. ولی دخالت‌ها و اقداماتی که بشر در حاشیه و بستر رودخانه‌ها انجام می‌دهد، در بسیاری مواقع موجب تشدید روند فرسایش و منشأ بسیاری از خسارت‌های هنگفت شده است. بنابراین فرسایش در کناره‌ها می‌تواند یک پدیده طبیعی باشد و یا آنکه این پدیده، عارضی به دلیل تغییرات به وجود آمده توسط انسان در بستر رودخانه یا حاشیه آن است. فرسایش کناری در رودخانه‌های قابل کشتیرانی نیز حایز اهمیت است و به تدریج از قابلیت آن می‌کاهد.

منافع اقتصادی و حفظ شرایط زیست‌محیطی، اقتضا می‌کند که با اقدامات حفاظتی، روند فرسایش و تخریب کناره‌ها را مهار نموده و بستر رودخانه تثبیت گردد. این مسئله، همواره مورد نظر افراد ساکن در حاشیه رودخانه‌ها بوده است. سابقه تاریخی اقدامات مهار فرسایش کناری، به زمان‌های بسیار قدیم برمی‌گردد که از جمله می‌توان به حدود ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد در بین‌النهرین، ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد در چین و همچنین کارهای روم قدیم اشاره کرد. [۹]

۲-۳ انواع فرسایش در کناره‌ها

کلیه تخریب‌ها و جداسازی مواد که به نوعی بر کناره‌ها انجام می‌پذیرد، به دو شکل کلی زیر می‌باشد:

الف - فرسایش سطحی کناره^۱ که ناپایداری ذرات خاک در سطح کناره بر اثر جریان آب در رودخانه است و به تدریج به فرسایش و انتقال مواد به بازه‌های پایین‌دست منجر می‌شود. این نوع فرسایش، عمدتاً تابع شرایط هیدرولیکی جریان رودخانه می‌باشد.

ب - گسیختگی توده‌ای کناره^۲ که ناپایداری بخش قابل ملاحظه‌ای از خاک کناره و جابه‌جایی ناگهانی آن به صورت توده‌ای از مواد و ریزش آن به درون رودخانه می‌باشد؛ و معمولاً توسط جریان‌های بعدی رودخانه، توده خاک گسیخته شده

1 - Surface Erosion of Bank

2 - Mass Failure of Bank

- به تدریج به بازه‌های پایین دست منتقل می‌گردد. این نوع فرسایش عمدتاً تابع شرایط ژئوتکنیکی و مشخصات خاک کناره و وضعیت آب‌های زیرسطحی می‌باشد. جنس مصالح کناره، عامل مهمی در تعیین نوع فرسایش است. از نظر زمین‌شناسی، کناره رودخانه‌ها به انواع زیر تقسیم‌بندی می‌شود:
- کناره چسبنده که در آن مقدار نسبتاً زیادی رس وجود دارد،
 - کناره غیرچسبنده که در واقع دارای چسبندگی ناچیزی است. مصالح کناره دارای مقادیر کمی از خاک رس و عمدتاً تشکیل شده از ماسه و شن می‌باشد، و
 - کناره مرکب که دارای ساختمان لایه‌ای می‌باشد. برای مثال ممکن است لایه‌ای از خاک چسبنده روی لایه غیرچسبنده‌ای قرار گرفته باشد.

۳-۲-۱ فرسایش سطحی کناره

فرسایش سطحی کناره یا جابه‌جایی ذرات خاک کناره که به صورت تدریجی انجام می‌شود، به شکل‌های گوناگونی مشاهده می‌شود. متداول‌ترین انواع فرسایش سطحی کناره، عبارت است از فرسایش ناشی از جریان آب و فرسایش ناشی از امواج.

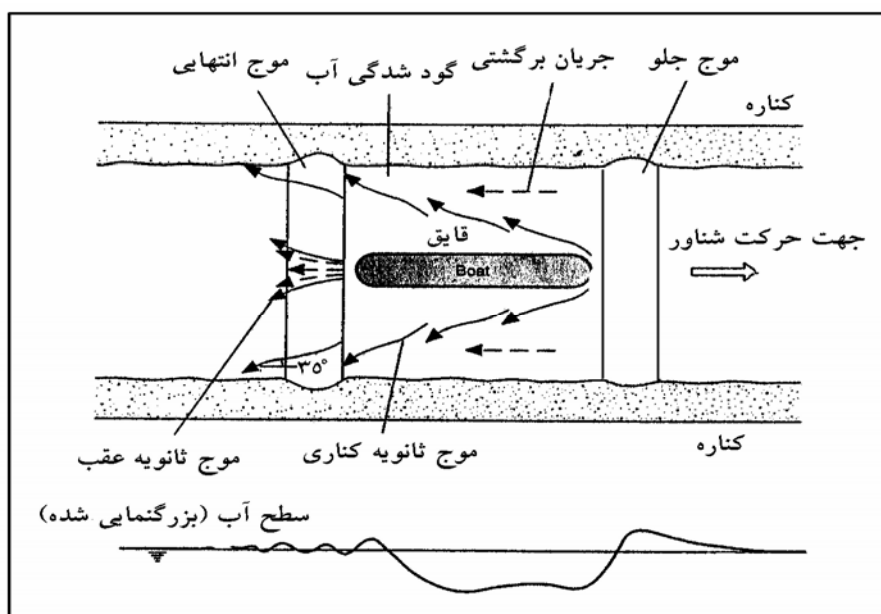
۳-۲-۱-۱ فرسایش ناشی از جریان آب

جریان آب روی کناره، نیروهایی را به ذرات خاک وارد می‌کند که می‌تواند موجب ناپایداری و حرکت و جابه‌جایی آن ذرات گردد. نیروهای اثرکننده بر ذرات خاک، ناشی از تنش برشی جریان است که در یک آبراهه عریض و مستقیم، تنش برشی کف از رابطه $\tau = \gamma ds$ محاسبه می‌شود. در این رابطه: γ = وزن مخصوص آب، d = عمق جریان، s = شیب سطح آب (شیب کف) و τ = تنش برشی می‌باشد. نیروهای مقاوم در برابر تنش برشی، به ابعاد ذرات خاک و دانه‌بندی آن بستگی دارد. در مصالح درشت‌دانه مانند شن و ماسه، نیروهای مقاوم عمدتاً شامل وزن ذرات و نیروی اصطکاک بین ذرات است که در برابر ناپایداری ایستادگی می‌کند. در رسوبات ریزدانه مثلاً کناره‌های متشکل از لای و رس، نیروی مقاوم به دلیل چسبندگی بین ذرات و وزن آن می‌باشد.

۳-۲-۱-۲ فرسایش ناشی از امواج

برخورد امواج تشکیل شده در سطح آب رودخانه به کناره‌ها، باعث فرسایش می‌شود. امواج تأثیرگذار بر فرسایش کناره‌ها، عمدتاً برخاسته از وزش باد یا حرکت شناورها است. وزش باد روی سطح آب، باعث تشکیل امواج سطحی می‌شود. بزرگی امواج به سرعت باد و عرض رودخانه در مسیر وزش بستگی دارد. در طبیعت، معمولاً موج‌های تشکیل شده از وزش باد به صورت نامنظم و با طول موج‌ها و ارتفاع متفاوت به صورت پی در پی خواهد بود. برخورد متناوب امواج با کناره، فرسایش خاک را به دنبال خواهد داشت. پدیده فرسایش امواج حاصل از وزش باد در رودخانه‌های عریض قابل ملاحظه خواهد بود و در رودخانه‌های کوچک اهمیت چندانی ندارد.

امواجی که به وسیله حرکت شناورها تشکیل می‌شود، به اندازه و ابعاد آبراهه، شکل و اندازه، سرعت و جهت حرکت قایق و شناور بستگی دارد. تشکیل این امواج، باعث تغییراتی در سطح آب در مقطع آبراهه در محدوده اطراف شناور می‌گردد. همان‌طور که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است، در قسمت جلو شناور، ارتفاع و تراز آب اضافه شده و پس از آن در فاصله عبور شناور، تراز آب کمتر از تراز اولیه آبراهه می‌شود. در انتهای شناور نیز سطح آب با شیب تندی افزوده می‌گردد [۱۴]. کاهش سطح آب در فاصله جلو و عقب شناور به علت تشکیل جریان‌های برگشتی^۱ است که در جهت خلاف حرکت شناور جریان می‌یابد. تغییرات ایجاد شده در سطح آب در اطراف شناور، عامل ایجاد امواج متعددی است که می‌تواند باعث فرسایش شدید در کناره‌های رودخانه گردد. [۸]



شکل ۱-۳ - تشکیل امواج و تغییرات سطح آب ناشی از حرکت شناور

علاوه بر فرسایش کناره‌ها بر اثر جریان آب و حرکت امواج سطحی، فرسایش به شکل‌های دیگری نیز در کناره‌ها دیده می‌شود که از جمله می‌توان به فرسایش از نظر یخ‌زدگی و آب‌شدن کناره، حرکت و فعالیت حیوانات و انسان، جریان زه‌آب از کناره به داخل رودخانه، جریان رواناب سطحی روی کناره به سمت داخل رودخانه و همچنین فرسایش ناشی از برخورد قطرات باران به سطح خاک کناره رودخانه اشاره نمود.

۳-۲-۲ گسیختگی توده‌ای

فرسایش توده‌ای عبارت است از انفصال توده‌ای از خاک کناره بر اثر نوساناتی که در شرایط تعادل بین نیروی وزن توده و نیروهای مقاوم (اصطکاک و چسبندگی) به وجود می‌آید. در واقع، عامل اصلی گسیختگی توده‌ای، نیروی وزن است که موجب ریزش حجمی از خاک به داخل رودخانه می‌شود. عوامل دیگری که در تسریع فرسایش توده‌ای مؤثر است عبارت است از:

- افت سریع سطح آب که باعث به‌وجود آمدن جریان زه‌آب در کناره شده و به دنبال آن تنش مؤثر خاک کناره کاهش می‌یابد،

- نفوذ آب به کناره بر اثر رواناب ناشی از بارش که بر سطح کناره جریان می‌یابد. به ویژه نفوذ آب در ترک‌ها و شکاف‌ها موجب افزایش وزن واحد مواد کناره و همچنین افزایش فشار آب حفره‌ای^۱ می‌گردد،

- شیب تند دیواره کناره، عامل مهمی در شروع گسیختگی است. وجود فرسایش سطحی و همچنین فرسایش پنجه کناره دو عامل اساسی در افزایش شیب کناره‌ها هستند،

- نیروهای سربار روی سطح و سواحل رودخانه‌ها که به صورت دائمی یا موقت وارد می‌شود، و

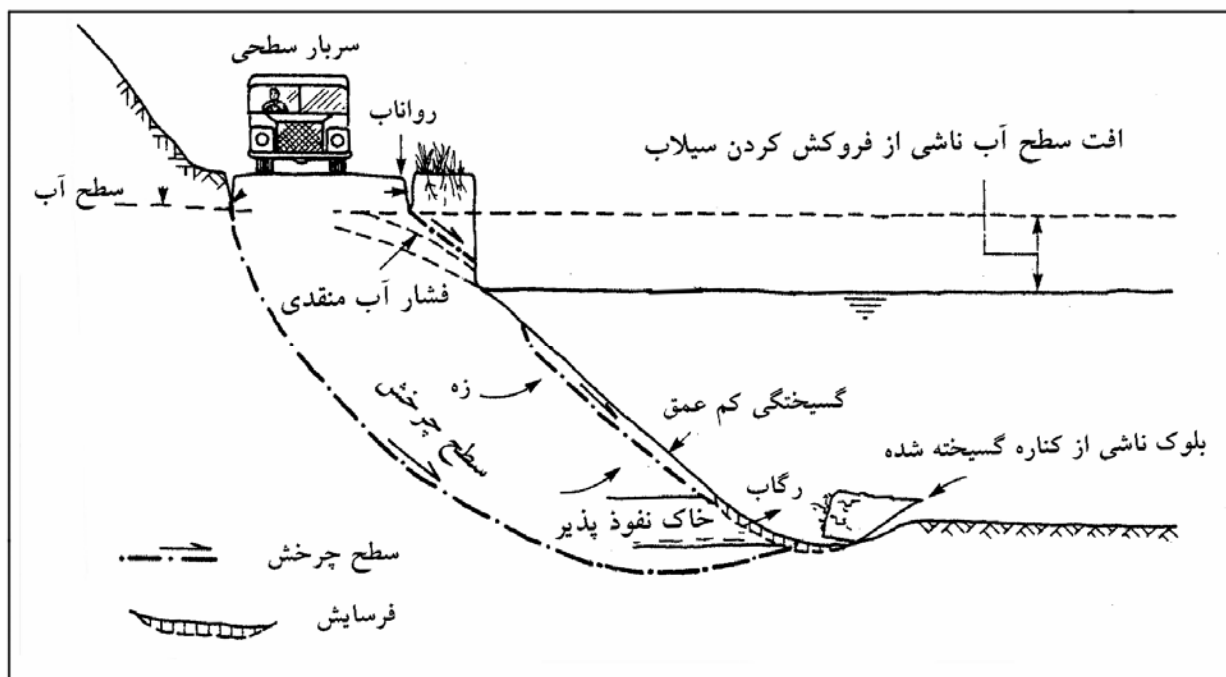
- ترک‌های کششی^۲ در ساحل رودخانه که معمولاً موازی خط کناره است به گسیختگی توده‌ای و ناپایداری کناره کمک می‌کند خصوصاً در زمانی که این ترک‌ها به وسیله رواناب‌های سطحی پر می‌شود، کاهش پایداری کناره محسوس‌تر است ترک‌های کششی در خاک‌های چسبنده تشکیل می‌شود.

ریشه گیاهانی که بر کناره‌ها می‌روید، می‌تواند نقش مفیدی در بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک کناره داشته باشد. نفوذ ریشه در خاک، موجب تقویت مقاومت برشی^۳ و توان کششی^۴ خاک گردد. بنابراین پوشش گیاهی می‌تواند عاملی برای جلوگیری از ایجاد ترک‌های کششی روی سطح کناره و نهایتاً کمک به حفظ پایداری آن نماید. از طرفی دیگر، تخریب پوشش گیاهی می‌تواند شرایط کناره را برای گسیختگی توده‌ای آماده نماید. وجود درخت در کناره، اگرچه پایداری و تثبیت آبراهه‌ها را بیشتر می‌کند، ولی در اثر جریان‌های شدید سیلابی و یا تندبادها، ممکن است درختان از محل خود شکسته شده و داخل رودخانه سقوط نماید که به دنبال آن به فرسایش کناری شدید منجر خواهد شد. [۸]

فرسایش توده‌ای، بسته به جنس مواد کناره‌ها، میزان شیب عرضی، آب زیرسطحی و ... به شکل‌های مختلفی دیده می‌شود.

مهم‌ترین شکل‌های فرسایش توده‌ای شامل لغزش^۵ در یک سطح عمیق، لغزش کم عمق و سطحی^۶ و گسیختگی بلوکی^۷ است. شکل ۳-۲-۳ نمایی از انواع گسیختگی توده‌ای در کناره رودخانه را نشان داده است. [۸]

1 - Pore Pressure
2 - Tension Crack
3 - Shear Strength
4 - Tensile Strength
5 - Sliding
6 - Shallow Slips
7 - Block Failure



شکل ۳-۲- انواع گسیختگی توده‌ای در کناره رودخانه

گسیختگی توده‌ای در کناره‌ها، به ویژه در شرایطی که فرسایش سطحی به طور فعالی وجود دارد، و یا فرسایش پنجه کناره رخ می‌دهد یا آنکه نیروی سربار به طور ناگهانی به کناره اعمال می‌شود به وقوع می‌پیوندد. همچنین بسیاری از ریزش‌های توده‌ای در کناره‌ها در زمان بارندگی شدید اتفاق می‌افتد. وسعت و نوع گسیختگی متناسب با نوع خاک کناره و رژیم جریان در رودخانه بسیار متنوع است و به شکل‌های مختلفی دیده می‌شود. شکل ۳-۲ متداول‌ترین حالت‌های وقوع فرسایش توده‌ای در کناره‌های آبراهه‌ها و رودخانه‌های طبیعی را نشان می‌دهد. مشخصات عمومی هر یک از شکل‌های فرسایش توده‌ای، در ادامه مطلب آمده است.

۳-۲-۱ گسیختگی کم عمق^۱

این نوع گسیختگی، در کناره‌های با شیب کم و به صورت گسیختگی لایه سطحی و در خاک‌های غیرچسبنده اتفاق می‌افتد؛ سطح گسیختگی به طور معمول تقریباً موازی شیب کناره می‌باشد.

۳-۲-۲ گسیختگی بلوکی^۱

در این حالت، کناره رودخانه در طول یک مسیر مسطح و یا انحنای ملایم گسیخته می‌شود. این نوع گسیختگی در خاک‌های چسبنده یا مصالحی که در سطح آن ترک‌های کششی عمیق به وجود آمده، دیده می‌شود. در شرایطی که در سطح کناره ترک‌های عمیقی تشکیل شده، گسیختگی به صورت جدا شدن قطعات بزرگی از خاک کناره به صورت بلوکی و لغزش آن به درون رودخانه اتفاق می‌افتد.

۳-۲-۳ گسیختگی چرخشی^۲

این نوع از گسیختگی، در کناره‌ها با شیب زیاد و نسبتاً مرتفع و با مصالح چسبنده مشاهده می‌شود. چگونگی گسیختگی بدین صورت است که حجمی از خاک کناره در مسیر انحنایی (دایره‌ای یا منحنی لگاریتمی) به سمت داخل رودخانه لغزش می‌کند. توده خاک فرسایش یافته در این حالت بسیار حجیم است. غالباً ترک‌های کششی در امتداد موازی با کناره در ساحل رودخانه‌ها مشاهده شده و معمولاً موقعیت ترک‌ها، نقطه بریدگی و محل شروع دایره گسیختگی را مشخص می‌کند.

۳-۲-۴ گسیختگی فرسایش سطحی^۳

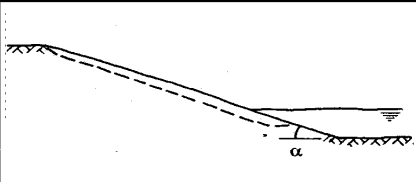
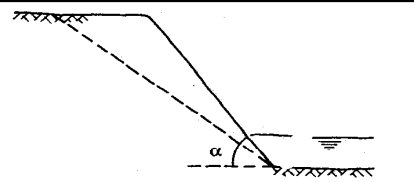
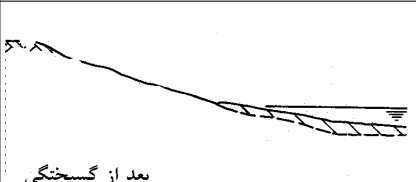
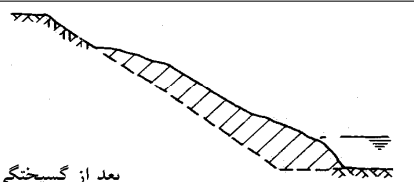
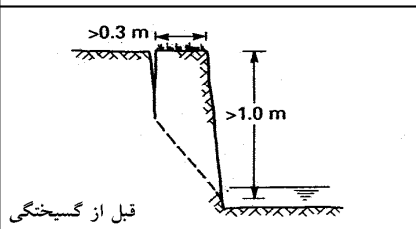
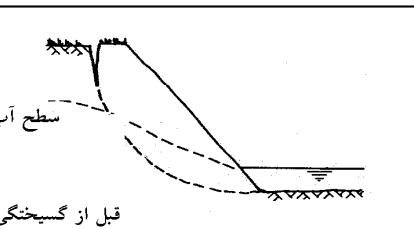
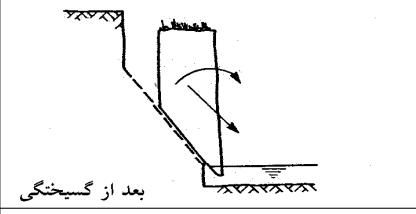
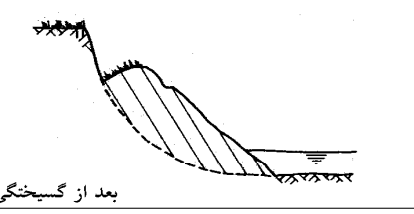
در کناره‌های چسبنده و با شیب زیاد، در خلال مدت زمانی که وضعیت آب و هوا گرم و خشک است، در سطح کناره، شبکه‌ای از ترک‌ها و به دنبال آن قطعات کوچک و متعدد بلوک‌های خاکی با عمق حدوداً ۲۰ میلی‌متر ایجاد می‌شود؛ به دنبال آن، در طی شرایط یخبندان و آب‌شدگی، این بلوک‌ها از بستر خود منفصل شده و اتصال آن بسیار ضعیف می‌گردد که در موقعیت‌های بعدی، بلوک‌های کوچک به داخل رودخانه ریزش می‌نمایند و یا در جریان رودخانه مستغرق می‌شوند. ادامه چنین فرسایشی، موجب تندتر شدن شیب کناره‌ها شده که شرایط را برای گسیختگی‌های حجیم بعدی آماده می‌کند.

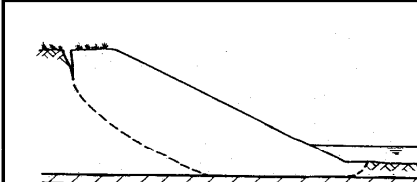
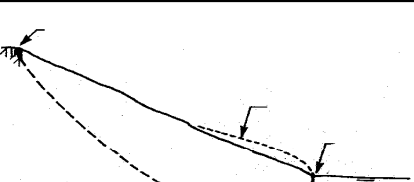
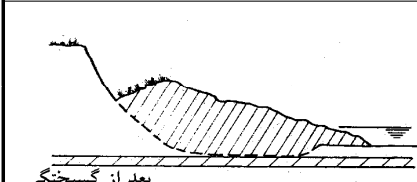
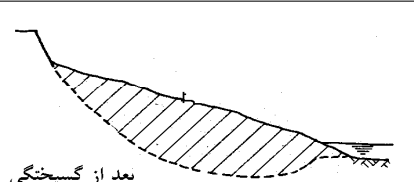
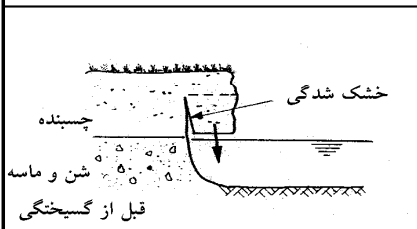
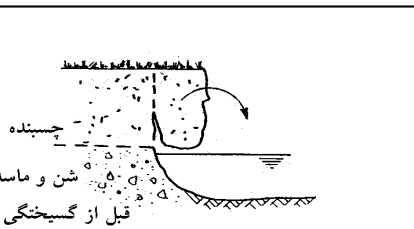
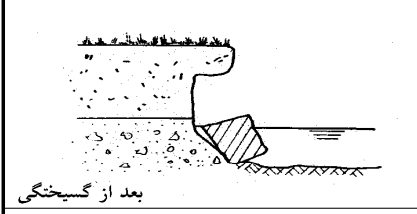
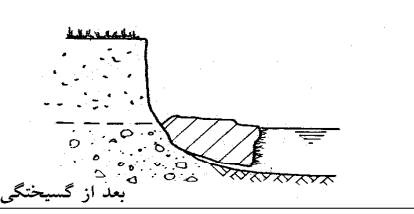
۳-۲-۵ گسیختگی کناره‌های مرکب^۴

در کناره‌هایی که از چند لایه متفاوت خاکی تشکیل شده، لایه زیرین بیشتر در معرض جریان است و در نتیجه موجب زیرشویی لایه بالایی و به صورت طره‌ای شدن آن می‌گردد. توده لایه رویی که زیر آن خالی شده است، پس از تشکیل ترک‌های کششی از محل خود گسیخته شده و به درون رودخانه به صورت لغزش یا چرخشی سقوط می‌کند. این نوع فرسایش در کناره‌هایی که لایه رویی آن چسبنده و لایه زیرین آن غیرچسبنده است، معمول می‌باشد.

مثال‌هایی از وقوع فرسایش توده‌ای با مشخصات گفته شده در بالا، در شکل ۳-۳ آمده است. [۸]

-
- 1 - Planar Failure
 - 2 - Rotational Failure
 - 3 - Surface Erosion Failure
 - 4 - Failure of Composite Banks

	
قبل از گسیختگی	قبل از گسیختگی
	
بعد از گسیختگی	بعد از گسیختگی
گسیختگی کم عمق	گسیختگی بلوکی
	
قبل از گسیختگی	قبل از گسیختگی
	
بعد از گسیختگی	بعد از گسیختگی
گسیختگی بلوکی	گسیختگی چرخشی در خاک یکنواختی

	
قبل از گسیختگی	قبل از گسیختگی
	
بعد از گسیختگی	بعد از گسیختگی
گسیختگی چرخشی در ناحیه ضعیف	گسیختگی چرخشی حجم
	
قبل از گسیختگی	قبل از گسیختگی
	
بعد از گسیختگی	بعد از گسیختگی
گسیختگی کناره مرکب (چندلایه)	گسیختگی کناره مرکب

شکل ۳-۳- مثال‌هایی از فرسایش توده‌ای

۳-۳ عوامل فرسایش

عوامل متعدد و متنوعی روی ناپایداری، فرسایش و گسیختگی بستر و کناره‌های رودخانه‌ها مؤثر می‌باشد. این عوامل که چگونگی و نوع فرسایش، سرعت فرسایش و چگونگی تغییرات مقطع رودخانه‌ها را مشخص می‌سازد، از جنبه‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند. در زیر، این عوامل به طور خلاصه مورد بررسی قرار گرفته است:

الف - عوامل هیدرولیکی که شامل مشخصات سیال از جمله وزن مخصوص و ویسکوزیته و مشخصات جریان مانند بده و تغییرات آن، سرعت و توزیع آن، شدت آشفتگی جریان^۱، تنش برشی^۲، نیروی کششی^۳ و نیروی بالابر^۴ است. مشخصات جریان، مهم‌ترین عواملی هستند که بر فرسایش و برای مطالعه و تحلیل آن مؤثر می‌باشد. تمام شکل‌های مختلف ناپایداری کناره‌های رودخانه به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به بده جریان، مدت و پریود آن بستگی دارند.

ب - مشخصات مواد بستر که شامل اندازه، شکل و وزن مخصوص دانه‌ها و دانه‌بندی آن در کف و کناره‌ها می‌باشد. همچنین عواملی از قبیل نفوذپذیری خاک، درصد پوکی آن و میزان ضریب اصطکاک و چسبندگی آن مهم می‌باشند. به‌طور کلی چسبنده یا غیرچسبنده بودن بافت خاک کناره‌ها، نقش مهمی در فرسایش خواهد داشت. شیب کف، شیب جانبی کناره‌ها و ارتفاع کناره‌ها به ناپایداری دانه‌های خاک کمک می‌کند.

اندازه یک دانه رسوب، در فرآیند مقاومت در برابر حرکت تأثیر مهمی خواهد داشت. بدیهی است که هرچه اندازه و وزن دانه‌های رسوب بزرگ‌تر باشد، مقاومت آنها در برابر فرسایش بیشتر خواهد بود. اندازه دانه‌ها، همچنین زبری و سختی^۵ بدنه آبراهه را مشخص می‌سازد. وقتی اندازه دانه‌های رسوب بزرگ‌تر باشد، زبری و مقاومت بدنه در برابر جریان بیشتر بوده و در نتیجه باعث کاهش سرعت و افزایش عمق آب می‌گردد، در حالی که وجود دانه‌های کوچک رسوب عکس این شرایط را نتیجه می‌دهد. اثر دیگر اندازه دانه‌ها این است که وضعیت رسوب را از نظر چسبندگی^۶ و غیرچسبندگی^۷ تعیین می‌کند. دانه‌های بسیار ریز مانند رس و سیلت در رسوبات کف و کناره‌های رودخانه، بیانگر مقاومت برشی چسبندگی خواهد بود.

پ - عوامل بیولوژیکی از قبیل نوع پوشش گیاهی و تراکم آن، نوع درختان و بوته‌ها در سواحل و کناره‌های رودخانه از نظر استحکام و پایداری و مقاومت در برابر فرسایش حایز اهمیت است. پوشش گیاهی در کناره‌های یک رودخانه، از تماس مستقیم تنش برشی جریان با دانه‌های خاک جلوگیری کرده و مانند یک لایه مسلح و محافظ عمل می‌کند. البته باید

1 - Turbulence
2 - Shear Stress
3 - Drag Force
4 - Uplift Force
5 - Roughness
6 - Cohesive
7 - Non Cohesive

توجه داشت که پوشش گیاهی به ویژه در قسمت سیلابدشت^۱ رودخانه باعث افزایش برگشت آب^۲ و ارتفاع جریان می‌شود. همچنین پوشش گیاهی در خاک‌های سست (مثلاً مارن) و وجود درختانی که دارای ریشه‌های مناسب و مستحکم نیستند، فرسایش توده‌ای کناره‌ها باعث سرنگون شدن درختان در رودخانه‌ها و تجمع آن در پشت سازه‌های آبی خواهد شد که این مسئله به نوبه خود، خطری برای پایداری سازه‌ها خواهد بود. زیست بعضی حیوانات در حاشیه رودخانه‌ها که می‌تواند شکاف و نقب‌هایی در کناره‌ها و در خاکریزهای سیل‌بند^۳ ایجاد کنند، نشت آب و فرسایش و گسیختگی خاک را افزایش می‌دهد.

ت - از جمله عوامل انسانی که از طریق دخالت بشر در رودخانه‌ها به وجود می‌آید، می‌توان به تغییرات سطح آب به علت عملکرد سدها، امواج حاصله از حرکت قایق، کشت و کار در سواحل، برداشت مصالح و مواد رسوبی، احداث هر نوع سازه که به نوبه خود مانعی برای جریان محسوب می‌شود اشاره کرد. عوامل انسانی می‌تواند موجب ایجاد آشفته‌گی جریان یا تشدید فرسایش خاک کناره‌ها گردد.

ث - عوامل اقلیم و آب و هوایی نقش زیادی در بروز فرسایش کناری به ویژه در مناطقی که دامنه تغییرات دمای محیط زیاد است، ایفا می‌کند. در مدت زمان یخبندان، سطح رویی خاک در معرض یخ‌زدگی قرار می‌گیرد. آب نفوذی به درون حفره‌های خاک، تحت تأثیر هوای سرد، یخ می‌زند. لایه یخ که در میان خاک کناره تشکیل شده، به مرور زمان توسعه می‌یابد. فشار ناشی از لایه یخ، موجب تورم سطح خاک خواهد شد. در زمانی که با گرم شدن هوا، لایه یخ ذوب می‌گردد، سطح خاک متورم شده در شرایط سست و ضعیفی دوباره به موضع اولیه نشست می‌کند، در حالی که تحت جریان آب رودخانه به راحتی فرسایش یافته و از کناره منتقل می‌شود. علاوه بر تغییرات دما، بارش شدید و ممتد باران نیز سطح خاک کناره را آماده فرسایش تحت جریان رودخانه می‌کند. [۹]

۴-۳ ساز و کار (مکانیزم) فرسایش

ساز و کارهای متداولی که به شکل‌های گوناگون، موجب فرسایش سطحی و توده‌ای می‌شود توسط گروه مهندسين ارتش آمریکا، در جدول ۳-۱ خلاصه شده است. [۱۴]

1 - Flood Plain
2 - Back Water
3 - Dikes

جدول ۳-۱ - ساز و کارهای فرسایش کناره‌های رودخانه

توصیف	ساز و کار
مصالح خاکی به وسیله باد یا یون کلویید همراه آب جاری حمل شده و ذرات سطحی خاک را جابه‌جا می‌نمایند. سایش، همچنین در ضمن حرکت پوشش یخ زمستانی ایجاد می‌گردد.	سایش
نمونه‌های آن تخریب سطح کناره در ضمن چریدن و لانه‌سازی حیوانات است.	بیولوژیک (حیوانات)
در حالت عادی، گیاهان موجب کمک به پایداری سطحی می‌شوند؛ موارد استثنا در ضمن فاسد شدن ریشه گیاهان و قطع درختان یا پوشش‌های گیاهی ظاهر می‌شود که موجب تمرکز یا ایجاد آشفستگی در جریان‌های جاری روی دیواره یا جریان رودخانه می‌گردد.	بیولوژیک (گیاهان)
آب و اسیدهای موجود در آن، بر چسبندگی و سایر انواع اتصالات ذره به ذره تأثیر می‌گذارند؛ مصالح دیواره در اثر تجزیه کنده می‌شوند.	شیمیایی
واریزه موجب کنده شدن یا خراشیده شدن مصالح از سطح دیواره و نیز ایجاد آشفستگی و تمرکز جریان می‌گردد.	واریزه
حرکت ذرات خاک در اثر جریان‌های سطحی دیواره و جریان آبراهه عامل بزرگ خرابی سطح کناره است. مقدار جریان، ظرفیت جابه‌جایی، آشفستگی، جریان‌های ثانویه و تأثیر موج در نرخ و موقعیت کنده‌شدگی ذرات سطح مشارکت دارند. جریان‌های تراوشی، موجب حرکت ذرات سطحی و نیز تأثیرگذاری بر گسیختگی‌های توده‌ای دیوار می‌باشند.	جریان (آب)
تغییرات سیکلی دما به علت انقباض و انبساط فراوان و خرد شدن سنگ‌ها در اثر یخ‌زدگی و آب‌شدگی مکرر رطوبت درون دیواره موجب تخریب آن می‌گردد.	یخ‌زدگی - آب‌شدگی
شیب پایدار یک دیواره بدون چسبندگی، به پایداری ثقلی بستگی دارد؛ ذرات سطحی در شیب‌های تندتر به پایین شیروانی می‌غلطند.	نیروی ثقل
بعضی از دخالت‌های انسان موجب لطمه به دیواره‌ها می‌شود. سست کردن مصالح سطح دیواره در اثر کشت و کار یا دیگر عملیات مکانیزه نمونه‌ای از آن است. کارهای دیگری می‌توانند بر ساز و کار طبیعی تأثیرگذار باشند. تخریب یک پوشش گیاهی محافظ در اثر چراندن احشام یک نمونه است. کارهای فراوان دیگری ممکن است صورت پذیرد.	دخالت‌های انسان (در دیواره)
نمونه‌هایی از دخالت‌های مستقیم انسان عبارتند از لایروبی و برداشت شن و ماسه از رسوبات رودخانه. نمونه‌های دخالت‌های غیرمستقیم نیز عبارتند از ایجاد سازه‌ها و تأثیر حرکت پروانه کشتی که موجب آشفستگی جریان رودخانه می‌گردد. کارهای فراوان دیگری نیز ممکن است صورت پذیرد.	دخالت‌های انسان (در کانال رودخانه)

ادامه جدول ۳-۱- ساز و کارهای فرسایش کناره‌های رودخانه

توصیف	ساز و کار
موجب محدود شدن کانال و تأثیر بر جریان‌های رودخانه و جریان‌های جاری بر کناره می‌گردد.	یخبندها ^۱
ضربه قطرات باران یا تگرگ همچون دوره‌های عبور جریان شدید از رودخانه و جریان جاری بر روی دیواره موجب تخریب سطحی می‌شود.	بارش
امواج ناشی از باد یا رفت و آمد کشتی‌ها موجب خرابی سطحی دیواره مجاور سطح آب رودخانه شده که نتیجه آن سست‌شدگی ذرات سطحی خاک می‌باشد.	امواج
خرابی سطح باد در مقایسه با جریان آب در حالت عادی ناچیز است؛ به هر صورت امواج ناشی از باد در خرابی سطحی مشارکت دارند .	باد

۴- نوع و کیفیت مصالح مورد نیاز

۱-۴ کلیات

در طرح‌های حفاظت کناره‌های رودخانه، مانند سایر امور مهندسی، استفاده از مصالح مناسب و با کیفیت، از اهمیتی همچون طرح مناسب، اجرای مطلوب و بهره‌برداری صحیح برخوردار است. بنابراین در این فصل، به معرفی مصالحی که در طرح‌های حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها به کار می‌روند، پرداخته می‌شود.

در یک نگاه کلی، مصالح مورد استفاده در طرح‌های حفاظتی به دو گروه مصالح خام و مصالح ترکیبی تقسیم می‌شوند. مصالح خام، مصالحی هستند که به همان صورتی که در طبیعت یافت می‌شوند گاهی با تغییر ابعاد یا شکل هندسی، استفاده می‌شوند. مصالح ترکیبی نیز مصالحی هستند که با انجام فرآیندهای فیزیکی یا شیمیایی، روی مواد موجود در طبیعت به دست می‌آیند و احتمالاً دارای مشخصات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی متفاوت از اجزای اولیه خواهند بود.

۲-۴ مصالح خام

خاک‌های ریزدانه رسی، شن و ماسه، سنگ، چوب و روکش‌های گیاهی در این دسته از مصالح جای دارند.

۱-۲-۴ خاک‌های ریزدانه رسی

خاک‌های ریزدانه رسی، با توجه به خواص تراکم‌پذیری، انعطاف‌پذیری و نفوذناپذیری آنها، در ساخت هسته‌های نفوذپذیر و نیز پیش‌بندهای^۱ خاکریزها و گوره‌ها، پرمودن شکاف‌های به وجود آمده در هنگام خشک شدن گوره‌ها و نیز پوشش و درزگیری کانال‌ها بخصوص در خاک‌های نفوذپذیر، به صورت مستقیم به کار می‌رود [۱۱]. این خاک‌ها همچنین به صورت ماده خام در ساخت آجرها و نیز در ترکیب پوشش‌های حفاظتی مانند خاک - سیمان به کار می‌روند. برای اطلاع از مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک‌های رس، می‌توان به کتاب‌های مرجع مکانیک خاک مراجعه نمود.

۲-۲-۴ خاک‌های درشت‌دانه

خاک‌های درشت‌دانه یا شن و ماسه در ساماندهی رودخانه‌ها در موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- پرکننده اجزای سازه حفاظتی مانند کیسه‌ها^۲، توری‌سنگی‌ها، بسترهای ترکه^۳، ... ،
- لایه فیلتر زیر پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی آب‌گذر،
- پرکننده فضاهای خالی پشت سازه‌های حفاظتی که امکان زهکشی در آنها مورد انتظار است، و
- پرکننده در انواع محصولات بتنی در سازه‌های حفاظتی ساخته شده در بتن.

مصالح درشت‌دانه مورد استفاده به عنوان فیلتر و لایه زهکش و نیز مصالحی که به عنوان پرکننده در بتن به کار می‌رود، باید مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مورد نیاز پروژه موردنظر را طبق مشخصات بیان شده در کتاب‌های مرجع (مکانیک خاک، بتن، ...) داشته باشد [۱۱].

1 - Apron
2 - Bags
3 - Fascine

۴-۲-۳ سنگ

سنگ یکی از مصالح ساختمانی است که در کارهای ساماندهی رودخانه‌ها و طرح‌های حفاظتی کناره فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنگ‌های گردگوشه برگرفته از بستر رودخانه‌ها معمولاً در توری‌سنگی‌ها و سنگ‌های حاصل از معادن در ساخت پوشش‌های سنگی، دیوارهای سنگی، پوشش آبشکن‌ها، نقاط سخت و غیره به کار می‌روند.

در به کاربردن سنگ‌ها باید به مشخصات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آنها توجه نموده و بخصوص از به کاربردن مصالح سبک و متخلخل و مستعد زوال اجتناب نمود. حداقل آزمایش‌ها برای سنگ‌ها شامل چگالی تر و خشک، جذب آب و مقاومت می‌باشد.

وزن مخصوص سنگ‌ها معمولاً بین ۲/۵ تا ۲/۷ در نظر گرفته می‌شود. تخلخل سنگریزه‌های با اندازه یکنواخت حدود ۴۰ درصد و تخلخل سنگریزه‌های خوب دانه‌بندی شده نیز می‌تواند تا حدود ۱۵ درصد باشد. در جدول ۴-۱ توصیه‌هایی پیرامون کاربرد سنگ‌های مختلف در ساخت سازه‌های حفاظتی و کارهای ساماندهی آورده شده است.

۴-۲-۴ چوب

مصالح چوبی متنوعی از درختان گوناگون به صورت زنده یا غیرزنده در روش‌های مختلف حفاظت کناره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. منظور از چوب زنده، درختان و بوته‌های مقاوم در آب به صورت مستغرق یا غیرمستغرق و نیز بخش‌های قابل تکثیر آنهاست. چوب زنده بخصوص در بیومهندسی به دلیل دوام و خصوصیات طبیعی آن، بسیار مفید است ولی عموماً به منظور اجتناب از کاهش قابل توجه ظرفیت آبراه، نیازمند حذف بخش‌های اضافی می‌باشد. از این‌رو چوب‌های زنده کمتر در آبراه‌های کوچک قابل استفاده است. درختانی مانند کاج و صنوبر که از زیر هرس می‌گردند، گاهی اوقات به عنوان اولین حفاظت در مقابل فرسایش کناره و روشی ساده برای پرکردن حفره‌های فرسایشی نزدیک کناره مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۱].

الوار و دیگر مصالح چوبی غیرزنده، در حفاظت کناره‌ها به صورت دیرک یا میله^۱، میخ چوبی^۲، شمع^۳، تیر^۴، توفال یا ترکه^۵، کنده^۶ و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. بلوط، کاج و صنوبر در نواحی میان عرض جغرافیایی و بامبو یا دیگر چوب‌های محلی مناسب در مناطق آب و هوایی گرمسیر یا نیمه گرمسیری، بهترین مصالح را برای شمع‌ها، میخ‌های چوبی و غیره به دست می‌دهد. در نواحی غنی از الوار چوبی و سنگ نیز، صندوقه‌های چوبی ساخته شده از کنده درختانی که با مهارهای فولادی به هم بسته شده و با سنگ یا شن پر می‌شوند، ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. صندوقه‌ها معمولاً در ساماندهی رودخانه‌های کوهستانی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

-
- 1 - Pole
 - 2 - Stake
 - 3 - Pile
 - 4 - Beam
 - 5 - Batten
 - 6 - Log

جدول ۴-۱- کاربرد سنگ‌ها برای احداث کارهای ساماندهی و حفاظتی بر طبق استاندارد لهستان (۱۹۷۶) [۱۱]

اجزای کارهای ساماندهی و حفاظت																		چگالی	سنگ‌ها	
دیوارهای حایل	سدهای آشتاگاب	سازه‌های یکپارچه	آستانه‌ها	شاورها	پوشش‌های سنگی	روی شیب پوشش سنگی خاکریزهای اتصال				پوشش فوقانی سنگ‌چین	تاج سنگ‌چین	قسمت فوقانی پوشش سنگی	تاج پوشش سنگی	توری‌سنگی	رول‌ها	رودکش‌ها	حفاظت‌های برس مانند			
						بالای سطح آب	زیر سطح آب	بالای سطح آب	زیر سطح آب											
+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	۲/۵۱	گرانیت	سنگ‌های آذرین
+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	۲/۷۶	سینیت	
+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	۳/۰۴	بازالت	
+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	۲/۶۰	اندزیت	
+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	۲/۵۰	ملافری	
+	+	+	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	۲/۴۰	پرفری	
+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	۲/۸۰	دیاباز	
-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۴۰	ماسه سنگ سخت	سنگ‌های رسوبی
-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۰۸	ماسه سنگ متوسط	
-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۰۰	ماسه سنگ نرم	
-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۱/۸۰	واک خاکستری	
-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۶۵	سنگ آهک سخت	
-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۵۰	سنگ آهک سخت	
-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۱/۵۵	سنگ آهک نرم	
-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۵۰	دولومیت	
-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۳۰	تراورتن	
-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۷۴	مرمر	سنگ‌های دیگرگون
+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	۲/۷۰	کوارتزیت	

+ توصیه می‌گردد.

- توصیه نمی‌گردد.

هنگام استفاده از چوب‌های غیرزنده، به تأثیر منفی تغییرات تراز سطح آب، و تر و خشک شدن چوب‌ها باید توجه نمود. مقاومت چوب در مقابل تغییرات درصد رطوبت، عامل بسیار مهم و تأثیرگذاری در عمر کارهای چوبی است. از این نظر، به هم فشردگی نسوج چوب، یکی از مشخصات فیزیکی آب می‌باشد. به عبارتی این چوب‌ها نباید دارای گسیختگی یا ترک‌های فراوان باشد.

مقاومت در مقابل فشار، کشش، برش و خمش از مشخصات مکانیکی مهم چوب‌ها است که هنگام طراحی و استفاده از آنها باید مدنظر قرار گیرند. مقاومت چوب‌ها در مقابل فشار و کشش، در جهت موازی نسوج آن بسیار بیشتر از جهت عمود بر آن می‌باشد. برعکس، مقاومت آنها در مقابل برش در جهت عمود بر نسوج بسیار بیشتر است. چوب‌ها در مقابل خمش که ترکیبی از فشار و کشش است نیز بسیار مقاوم هستند. عامل پیچش، کمتر در طراحی چوب‌ها مدنظر قرار می‌گیرد [۸].

۳-۴ مصالح ترکیبی

بتن، فولاد، قیر و آسفالت و انواع ژئوسنتزها، در این دسته از مصالح جای دارند.

۱-۳-۴ بتن

با توجه به مقاومت حاصل از ترکیب شیمیایی حاصل از سنگدانه‌ها و سیمان در مجاورت آب، انواع محصولات بتنی به صورت و شکل‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. انواع بلوک‌های بتنی منفرد یا متصل، دال‌های بتنی در جاریز، کیسه‌های پر شده از بتن و دیوارهای وزنی یا طره‌ای بتنی، نمونه‌هایی از روش‌های حفاظت کناره‌ها مبتنی بر خواص استحکامی بتن می‌باشند. برای طراحی و ساخت بتن، ویژگی‌های مقاومتی موردنظر، استفاده از مصالح درشت‌دانه، آب و سیمان با کیفیت مناسب و نیز به کارگیری طرح اختلاط مناسب، ضروری است. به این منظور، لازم است به کتاب‌های مرجع طراحی و ساخت بتن مراجعه گردد.

علاوه بر موارد بالا که هنگام ارائه طرح اختلاط بتن باید مورد توجه قرار گیرد، با توجه به نوع سازه حفاظتی، درجه اهمیت آن و آب و هوا و سایر مشخصات و ویژگی‌های محلی منطقه طرح و شرایط اجرا، باید به ویژگی‌های اصلی بتن به هنگام ساخت، ریختن و نگهداری توجه مخصوص به عمل آید. کارایی^۱، یکنواختی^۲، اسلامپ^۳، روانی^۴ و زمان گیرش، از جمله این ویژگی‌ها هستند که باید با رعایت تدابیر و ملاحظات خاص به نحوی مورد توجه قرار گیرند که نهایتاً بتن با خواص مقاومتی موردنظر طرح و با دوام مورد انتظار حاصل گردد. در صورتی که برای احداث طرح حفاظتی، بتن‌ریزی در زیر آب ضروری باشد، باید ضمن در نظر گرفتن شرایط اجرا در طرح اختلاط بتن، از روش‌های خاص بتن‌ریزی در زیر آب مانند به کار بردن لوله‌های ترمی، استفاده نمود. استفاده از سیمان ضد سولفات قویاً توصیه شده است. حتی در صورتی که خاک محل بدون سولفات باشد، احتمال عبور جریان‌های حاوی سولفات از آبراه وجود دارد [۱۱]. لازم به یادآوری است که رعایت ضوابط مندرج در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) همواره ضروری می‌باشد.

1 - Workability

2 - Uniformity

3 - Slump

4 - Consistency

۴-۳-۲ فولاد

فولاد یکی از مصالح ساختمانی است که به دلیل مقاومت بالا و الاستیسیته آن، از دیر باز مورد استفاده قرار گرفته است. متأسفانه فولاد در مقابل زنگ‌زدگی و خوردگی شیمیایی بسیار آسیب‌پذیر بوده و در مواردی که خارج از پوشش بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید با مواد مقاوم در مقابل خوردگی مانند روی، قلع، پی‌وی‌سی و غیره پوشش داده شود. البته گفتنی است که در استفاده از فولادهای روکش‌دار، باید به مسائل اقتصادی توجه خاص نمود.

در طرح‌های حفاظت کناره رودخانه‌ها، شکل‌های مختلف فولاد در موارد زیر کاربرد دارد:

- سیم‌ها یا مفتول‌ها،
- شبکه‌های سیمی توری‌سنگی‌ها،
- شبکه‌بندی سیمی آبشکن‌های نفوذپذیر،
- مفتول‌ها و کابل‌های مهار برای اتصال بلوک‌های بتنی در روکش‌های انعطاف‌پذیر،
- به صورت میلگرد در سازه‌های ساخته شده از بتن مسلح مانند شمع‌ها، دال‌ها، تیرها و غیره،
- پرده سپری‌ها، و
- پره‌های ایجاد کننده جریان‌های ثانویه.

در استفاده از فولاد در کارهای ساماندهی رودخانه‌ها، توجه به مشخصات فیزیکی و مکانیکی فولاد الزامی است و فولاد مورد استفاده، همواره باید مشخصات و فرضیات مورد استفاده در طراحی را دارا باشد. همچنین ضعف فولاد در مقابل عوامل خوردنده و مخرب موجود یا محتمل در خاک، آب‌های زیرزمینی و جریان‌های رودخانه‌ای مورد توجه قرار گرفته و با انجام بررسی‌های آزمایشگاهی کامل، تدابیر لازم برای تضمین طول عمر سازه، به کار گرفته شود [۱۱]. برای اطلاع از مشخصات فیزیکی و مکانیکی فولاد و روش‌های طراحی سازه‌های فولادی، باید به کتاب‌های مرجع در این زمینه مراجعه شود.

۴-۳-۳ قیر و آسفالت

مواد قیری، مواد چسبنده و لزج و غیرفراری هستند که از ترکیبات هیدروکربن‌ها و مشتقات آنها و به عنوان محصولات خروجی از پالایشگاه‌های نفت، حاصل می‌گردند. خواص مذکور (لزجت و غیرفرار بودن) و خاصیت نفوذناپذیری، به همراه خواص تغییرشکل‌پذیری ترموپلاستیک آنها، زمینه‌های استفاده از این مواد را در انجام عملیات ساختمانی و از جمله در احداث طرح‌های حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها فراهم آورده است. خاصیت ترموپلاستیک بودن تغییرشکل‌پذیری آنها، به این معنی است که درجه حرارت و مدت تداوم بارگذاری، عوامل تأثیرگذار اصلی در خاصیت تغییرشکل‌پذیری می‌باشند [۱۱].

انواع مختلف قیر، توسط یک آزمایش نفوذ استاندارد تعریف می‌گردد. در این آزمایش، نفوذ یک میله استاندارد به داخل نمونه در یک زمان و حرارت استاندارد اندازه‌گیری می‌شود که این میزان نفوذ، شاخص معرف قیر می‌باشد.

در طرح‌های حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها، قیر به سه صورت مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- به صورت یک لایه پوشش به عنوان عایق رطوبتی آبنگزر یا به عنوان ماده پوششی ضد خوردگی در اجزای فولادی سازه‌های حفاظت کناره‌ها. لازم به یادآوری است پوشش‌های قیری، یک لایه انعطاف‌پذیر ایجاد می‌نمایند که دارای مقاومت بسیار در برابر بارگذاری هیدرولیکی است،
- به عنوان ملات یا دوغاب چسباننده مصالحی مانند قطعات سنگ در پوشش‌های سنگی، و
- برای تولید انواع آسفالت و استفاده در پوشش‌های آسفالتی حفاظت کناره. آسفالت‌ها ترکیبی از انواع مختلف قیر و سنگدانه‌های معدنی هستند. نسبت ترکیب و نوع قیر و سنگدانه، خواص آسفالت را تعیین می‌نماید. خواص ویسکوالاستیک آسفالت عبارتند از: صلیبیت تحت بارگذاری‌های کوتاه‌مدت و انعطاف‌پذیری تحت بارگذاری‌های درازمدت [۱۱].

انواع مختلف مخلوط آسفالتی و خصوصیات آنها در فصل پنجم (پوشش‌های آسفالتی) مورد اشاره قرار گرفته است.

۴-۳-۴ ژئوسنتزها

ژئوسنتزها، مواد مصنوعی ساخته شده از ترکیبات آلی همچون پلی‌آمید، پلی‌استر، پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پی‌وی‌سی، قیر اتنوکوپلیمر و کلرینات پلی‌اتیلن می‌باشند. تمامی مواد مذکور، ترموپلاستیک هستند. از میان مواد مذکور، چگالی پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن کمتر از ۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب است.

ژئوسنتزهای مورد استفاده در طرح‌های حفاظت کناره‌ها، به دو گروه ژئوممبرین‌ها و ژئوتکستایل‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند.

۴-۳-۴-۱ ژئوممبرین‌ها

ژئوممبرین‌ها مواد مصنوعی هستند که برای استفاده به عنوان پوشش آبنگزر کانال‌ها و کنترل تراوش، توسعه داده شده‌اند. بعضی از انواع آنها را که با مقاومت و دوام بالا ساخته شده‌اند، می‌توان بدون هیچ‌گونه پوشش محافظ دیگری به کار برد که در این صورت، علاوه بر وظیفه کنترل تراوش، عملکرد کنترل فرسایش نیز خواهند داشت. با این حال، به دلیل امکان بلند شدن ژئوممبرین‌ها تحت تأثیر فشار آب‌های زیرزمینی، کارکرد کنترل فرسایش آنها توصیه نمی‌گردد [۸]. برای آشنایی بیشتر با این نوع مصالح، با توجه به تغییرات مداوم محصولات آن در بازار و همچنین جدیدبودن آن می‌توان به کاتالوگ‌های واردکننده رجوع نمود.

۴-۳-۴-۲ ژئوتکستایل‌ها

ژئوتکستایل‌ها مواد مصنوعی هستند که در طرح‌های حفاظت کناره‌های رودخانه به عنوان بخشی از لایه محافظ و به همراه دیگر مصالح یا قطعات مورد استفاده قرار می‌گیرد که به این ترتیب، با قرار گرفتن روی کناره‌ها به صورت روکش، سازه حفاظتی پایداری ایجاد خواهد گردید.

ژئوتکستایل‌ها به شکل‌های ورقه‌ای^۱، جامه‌ای^۲، شبکه‌ای^۳، کیسه‌های سبدي^۴ و ديگر اجزای سازه‌ای، در طرح‌های ساماندهی رودخانه و حفاظت کناره به کار می‌روند. گاهی نیز به صورت ترکیبی با ديگر مصالح، مورد استفاده قرار می‌گیرند که ژئوتکستایل - قیر و ژئوتکستایل - بتن از این نوع می‌باشند. همچنین با توجه به شکل و خواص آنها، امکان رشد پوشش گیاهی روی آنها وجود دارد [۱۱].

ژئوتکستایل‌ها در حفاظت کناره‌ها به شکل‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند:

الف - به عنوان یک تک لایه که با قرار گرفتن روی خاک کناره، عملکرد حفاظت مستقیم خاک کناره را در مقابل فرسایش انجام می‌دهند (ژئوتکستایل‌های دو بعدی و سه بعدی).

ب - به صورت لایه‌ای تشکیل شده از سلول‌های کوچک قابل پرشدن با خاک طبیعی یا سایر مواد و ایجاد امکان رشد و نمو گیاهی. در این حالت، لایه ژئوتکستایل، پایداری کناره را در مقابل گسیختگی کم عمق افزایش خواهد داد (سامانه‌های شبکه‌ای محدود).

ج - به عنوان پارچه‌گونه برای ساخت شکل‌های ديگر حفاظت مانند کیسه‌های سبدي پر شده از سایر مصالح (ژئوتکستایل‌های دو بعدی). لازم به یادآوری است، در به کاربردن ژئوتکستایل‌ها باید به نکات زیر توجه نمود [۸] و [۱۱].

- با توجه به آنکه ژئوتکستایل‌های ساخته شده از بعضی از انواع پلیمرها، دارای وزن مخصوص کمتر از ۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشند، در صورتی که زیر تراز نرمال آب مورد استفاده قرار گیرند و یا در صورت وجود فشار آب زیرزمینی، باید به مسئله پایداری آنها توجه نمود.

- با توجه به امکان تردد احشام در کناره رودخانه‌ها، توصیه شده است، ژئوتکستایل‌ها به صورت نمایان مورد استفاده قرار نگیرند.

- با توجه به عدم مقاومت مناسب بیشتر پلیمرها در مقابل نور فرابنفش و امکان زوال آنها، توصیه شده است ژئوتکستایل‌ها با ديگر مواد پوشانده شوند.

مشخصات بیشتری از ژئوتکستایل‌ها و شکل استفاده از آنها در حفاظت کناره‌ها در مقابل فرسایش، در فصل پنجم (حفاظت مستقیم روکش‌ها) آورده شده است.

1 - Sheets
2 - Clothes
3 - Netting
4 - Bags Basket

۵- روش‌های حفاظت مستقیم^۱

حفاظت مستقیم به اقداماتی گفته می‌شود که مستقیماً روی کناره‌های رودخانه انجام می‌گیرد تا مانع از فرسایش و تخریب آن توسط جریان آب، اثر موج و غیره گردد. از طریق حفاظت مستقیم، در واقع سطح خاک فرسایش‌پذیر در برابر نیروهای جریان تقویت می‌شود. نمونه‌هایی از اقدامات حفاظت مستقیم را می‌توان به پوشش‌ها، دیواره‌های حایل و پوشش‌های گیاهی اشاره نمود. روش‌های حفاظت مستقیم کناره‌ها به دو دسته حفاظت قائم کناره و حفاظت مایل کناره تقسیم می‌شود. در این فصل، این روش‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۵-۱ حفاظت قائم کناره رودخانه

۵-۱-۱ کلیات

حفاظت قائم به نوعی حفاظت مستقیم گفته می‌شود که سازه حفاظتی به صورت عمود بر افق در کناره رودخانه و در راستای آن احداث شده و وظیفه جلوگیری از فرسایش کناره و تثبیت آن را انجام دهد. دیوارهای وزنی، شمعی، خاک مسلح، ژئوتکستایل از جمله این سازه‌ها می‌باشند.

در صورتی که کناره یک آبراه با شیب تند نیاز به حفاظت بلندمدت داشته باشد، حفاظت فیزیکی قائم خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمامی شکل‌های حفاظت قائم خاک کناره به گونه‌ای طراحی خواهند شد که نه تنها می‌توانند در مقابل نیروهای فرساینده درون آبراه مقاومت نمایند، بلکه در مقابل فشارهای ناشی از خاک و آب‌های زیرزمینی که از کناره آبراه وارد می‌شود، مقاوم خواهند بود.

نیروهای وارده از طرف خاک، معمولاً بسیار بزرگ‌تر از نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از امواج یا جریان‌ها بوده و معمولاً نیروهای هیدرودینامیکی وارده بر سطح دیوارهای حایل، در طراحی سازه‌های حفاظتی کناره‌های با شیب تند یا قائم به حساب نمی‌آیند. بنابراین روش طراحی سازه‌های حفاظتی قائم، مشابه طراحی دیوارهای حایل استاندارد خواهد بود، با این تفاوت که شرایط نهایی حاصل از تراز سطح آب زیرزمینی یا سطح آب داخل آبراه، باید مد نظر قرار بگیرد [۸].

۵-۱-۲ دیوار وزنی^۲

دیوارهای وزنی از وزن خود و همچنین نیروی عکس‌العمل و اصطکاک ایجاد شده در سطح تماس با خاک، برای مقاومت در مقابل نیروهای اعمال شده بهره می‌گیرند. در صورتی که بخشی از دیواره مسلح نباشد، ابعاد آن معمولاً به گونه‌ای انتخاب می‌شود که در شرایط بارگذاری عادی هیچ‌گونه نیروهای کششی در دیوار ایجاد نگردد. نیروهای محدود کششی گاهی در شرایط حدی^۳ تحمل می‌شوند.

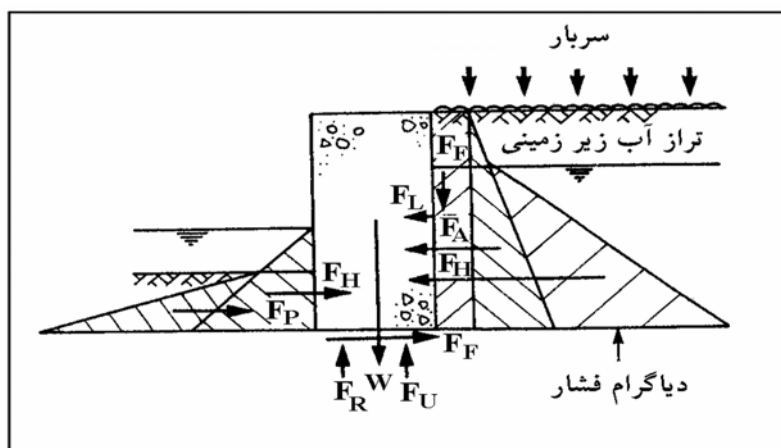
دیوارهای وزنی ممکن است یکپارچه بوده (مانند دیوارهای بتنی) و یا به صورت ترکیبی ساخته شوند. دیوارهای آجری یا ساخته شده از مصالح بنایی، همراه با ملات یا سبدهای توری سنگی مثال‌هایی از دیوارهای وزنی ترکیبی می‌باشند.

1 - Direct Protection
2 - Gravity Wall
3 - Extreme Condition

عمده‌ترین محدودیت دیوارهای وزنی، در آبراهه‌های کم‌عرض مشاهده می‌شود. به طوری که این دیوارها در آبراهه‌های کم‌عرض و به طور کلی در هر محلی که محدودیت زمین از نظر وسعت با هزینه اعمال می‌گردد، قابل اجرا نمی‌باشد. علاوه بر آن، صلبیت دیوارهای وزنی در استفاده از آنها در زمین‌های با میزان نشت زیاد محدودیت‌هایی را ایجاد خواهد کرد. از مزیت‌های اصلی دیوارهای وزنی، راحتی اجرا و نیز استفاده از مصالحی است که معمولاً در مناطق مختلف به فراوانی یافت می‌شود. گاهی اوقات هزینه نسبتاً زیاد، به دلیل حجم زیاد مصالح مورد استفاده و نیز اشغال سطح وسیعی از اراضی، به عنوان معایب این روش به شمار می‌رود. ظاهر نه چندان مطلوب را نیز می‌توان به عنوان معایب این روش در نظر گرفت [۸].

۵-۱-۳-۱ ملاحظات طراحی دیوار وزنی

نمودار نیروهای اصلی که بر دیوارهای وزنی اعمال می‌گردند، در شکل (۵-۱) نشان داده شده است. توجه شود که فشارهای هیدرواستاتیک می‌توانند نقش مهمی در افزایش پایداری دیوار ایفا نمایند. هر اقدامی که فشارهای هیدرواستاتیک را کاهش دهد، باعث افزایش هزینه‌های طرح خواهد گردید.



$$W = \text{وزن دیوار}$$

$$F_F = \text{نیروی اصطکاک، معمولاً از آن صرف‌نظر می‌شود.}$$

$$F_P = \text{نیروی مقاوم خاک، به حرکت محدود دیوار بستگی دارد.}$$

$$F_L = \text{نیروی افقی ناشی از سربار}$$

$$F_A = \text{نیروی محرک خاک}$$

$$F_H = \text{نیروی هیدرواستاتیک}$$

$$F_U = \text{زیر فشار، به شبکه جریان تراوش بستگی دارد.}$$

$$F_R = \text{عکس‌العمل پی}$$

شکل ۵-۱- نیروهای مؤثر بر دیوار وزنی، دیاگرام نیروی ساده شده برای خاک بدون چسبندگی

زاویه اصطکاک داخلی خاک نیز با اهمیت بوده و افزایش مقدار آن باعث کاهش نیروهای اعمال شده بر خاک خواهد شد. در هر روش مورد استفاده برای مهار فشار هیدرواستاتیک پشت دیوار، تعبیه مصالح با زهکشی مناسب مجاور سطح پشتی دیوار، الزامی است. اغلب، برای این منظور خاک‌های دانه‌ای استفاده می‌شود. لایه‌های دارای زهکشی آزاد باید دارای ضخامت کافی بوده و آگذری آن به گونه‌ای باشد که امکان حرکت قائم آب در پشت دیوار بدون افت بار هیدرولیکی قابل ملاحظه میسر گردد. استفاده از مواد دانه‌ای در پشت دیوار و جایگزینی آن با مصالح ضعیف با زاویه اصطکاک داخلی کمتر، ترجیح داده می‌شود.

توزیع نیروی زیر فشار زیر پی دیوار را می‌توان با استفاده از یک دیوار آب‌بند مناسب اصلاح نمود. این دیوار، گرادیان هیدرولیکی جریان تراوشی را کاهش خواهد داد که خود سبب کاهش احتمال گسیختگی به دلیل پدیده‌های رگاب^۱ یا آب‌شستگی می‌شود. دیوار آب‌بند ممکن است از نوع دیواره‌های پرده‌سپری یا زائده‌ای از خود دیوار باشد. معمولاً روش نسبت خزش وزنی لین^۲ برای تخمین گرادیان تراوش ایمن در انواع مختلف خاک‌ها بکار می‌رود، اگرچه می‌توان از روش شبکه جریان پیشرفته‌تر نیز در مطالعه گرادیان خروجی بحرانی در لایه‌های زیرین خاک و در محل پنجه دیوار استفاده نمود. برای طراحی دیوارهای وزنی، پس از اقدامات لازم برای کاهش فشار خاک و هیدرواستاتیک، باید پایداری آنها را در مقابل پدیده‌های زیر کنترل نمود:

- پدیده رگاب و شسته شدن مصالح نگه‌دارنده پی پنجه دیوار،
- جابه‌جایی‌های غیرمجاز در نتیجه ظرفیت باربری کم خاک پی،
- لغزش ناشی از فقدان قیود جانبی مانند اصطکاک روی پی یا واکنش مقاوم خاک،
- واژگونی در اثر ناکافی بودن وزن دیوار یا نیروهای مهارکننده آن،
- آب‌شستگی پنجه که به واژگونی منجر می‌شود،
- گسیختگی دورانی عمیق خاک اطراف دیوار، و
- گسیختگی‌های سازه‌ای ناشی از ترک‌های کششی در سطح پشت دیوار که به شستن ملات‌ها یا جدایی و تجزیه مصالح منجر می‌گردد.

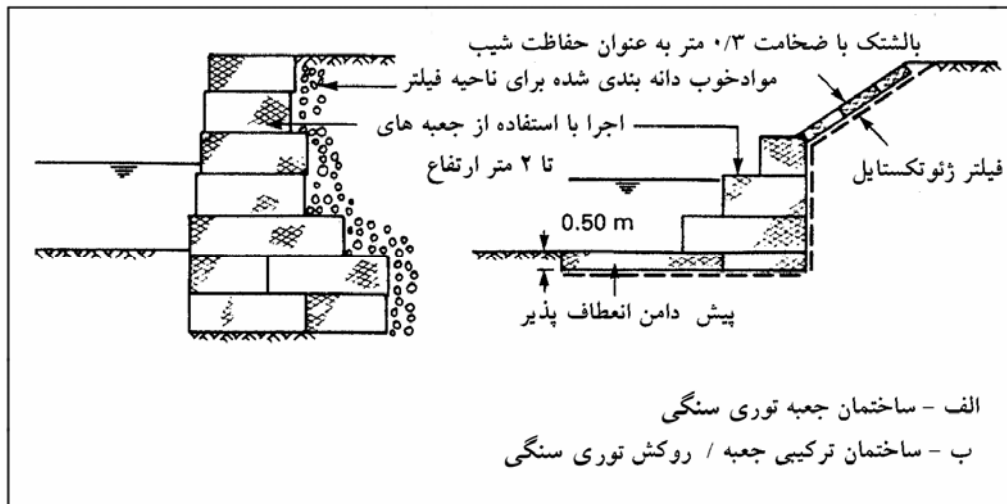
۵-۱-۲- دیوارهای وزنی توری سنگی

دیوارهای توری سنگی قائم، حالتی از دیوارهای وزنی قائم است که به صورت جعبه‌های توری سنگی ساخته شده و از سنگ پر می‌شوند. این شکل از سازه‌ها تا حدودی انعطاف‌پذیر بوده و نشست یا تحکیم شالوده پس از ساخت را تحمل خواهند نمود. به دلیل احتمال وقوع تغییر مکان‌های افقی کوچک ناشی از نشست یا تحکیم، پیشنهاد می‌شود سطح جلویی آن قائم نباشد، زیرا ممکن است پی در پی و به آرامی به سمت جلو خم گردد. حتی در صورتی که سازه کاملاً پایدار باشد، این امر باعث می‌شود

1 - Piping

2 - Lanes Weighted Creep Ratio Method

دیواره ظاهر ناخوشایند و نامطلوبی پیدا کند، بنابراین پیشنهاد می‌شود سطح جلویی دیوارهای توری‌سنگی با شیب ملایمی حدود ۱ : ۱۰ (نسبت به خط قائم) اجرا گردند. این شیب را می‌توان به صورت یکنواخت یا پله‌ای ایجاد نمود (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲- دیوارهای توری‌سنگی

دیوارهای توری‌سنگی به دلیل آب‌گذری نسبی خود، معمولاً مصون از مشکلات ایجاد شده به دلیل اختلاف فشار هیدرواستاتیک دو طرف دیوار می‌باشند. ولی از طرفی، این سازه‌های آب‌گذر به ذرات ریز پشت دیوار اجازه عبور داده که در نتیجه پتانسیل نشست را افزایش داده و تشکیلات متخلخل ایجاد خواهد کرد. مگر آنکه از فیلتر مناسب در پشت دیوار استفاده شود. در صورتی که مصالح پشت دیوار خوب دانه‌بندی شده باشد و یا خود، به عنوان فیلتر عمل نماید، نیازی به لایه فیلتر دیگری نخواهد بود. ضرورت وجود فیلتر، به ضخامت دیوار بستگی دارد. در دیوارهای عریض، بسته به مصالح کناره، فیلتر ممکن است با ریختن مصالح ریزتر در بخش داخلی جعبه‌ها، ساخته شود. امروزه در صورت ضرورت وجود فیلتر، اغلب از فیلترهای ژئوتکستایلی بافته نشده استفاده می‌شود؛ هرچند که عموماً فیلترهای دانه‌ای مرسوم اقتصادی‌تر خواهد بود. به دلیل شکل متخلخل توری‌سنگ‌ها، رشد گیاهان در خاک درون یا روی آنها میسر می‌باشد. علاوه بر آن، ممکن است ریشه‌های گیاهان از توری‌سنگ عبور نموده و درون خاک پشتی یا زیر آن جای گیرد. رشد گیاهان می‌تواند تا حدی جعبه‌های توری‌سنگی را از شکل اولیه خود خارج کند ولی رشد ریشه درختان، این سازه‌ها را کاملاً تخریب می‌نمایند. این سازه‌ها از دو بخش تشکیل شده‌اند: جعبه و مواد پرکننده.

الف - جعبه‌های توری سنگی

جعبه‌ها شبکه‌ای از مفتول‌های فولادی یا مصنوعات پلیمری می‌باشد که سنگ‌های ریخته شده را درون خود نگه می‌دارند. جعبه‌های مفتولی به صورت شبکه‌های بافته شده یا جوش داده شده می‌باشند که هر دو نوع را می‌توان گالوانیزه نمود. علاوه بر آن، مفتول‌های بافته شده ممکن است با پی‌وی‌سی^۱ پوشش داده شود.

سازه‌های توری سنگی ساخته شده از شبکه‌های بافته شده، انعطاف‌پذیرتر از جعبه‌های ساخته شده از مفتول‌های جوش داده شده می‌باشند. به این ترتیب، در شرایط مختلف بارگذاری یا نشست، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. استفاده از جعبه‌های ساخته شده از مفتول فولادی یا شبکه‌های پلیمری، اغلب در حالت شکل‌های غیر استاندارد مانند خم‌های تند یا محل‌هایی که نشست قابل ملاحظه‌ای محتمل است و یا به عبارتی، در حالت‌هایی که تغییر شکل بدون کاهش مقاومت اتفاق می‌افتد، ارجحیت دارد.

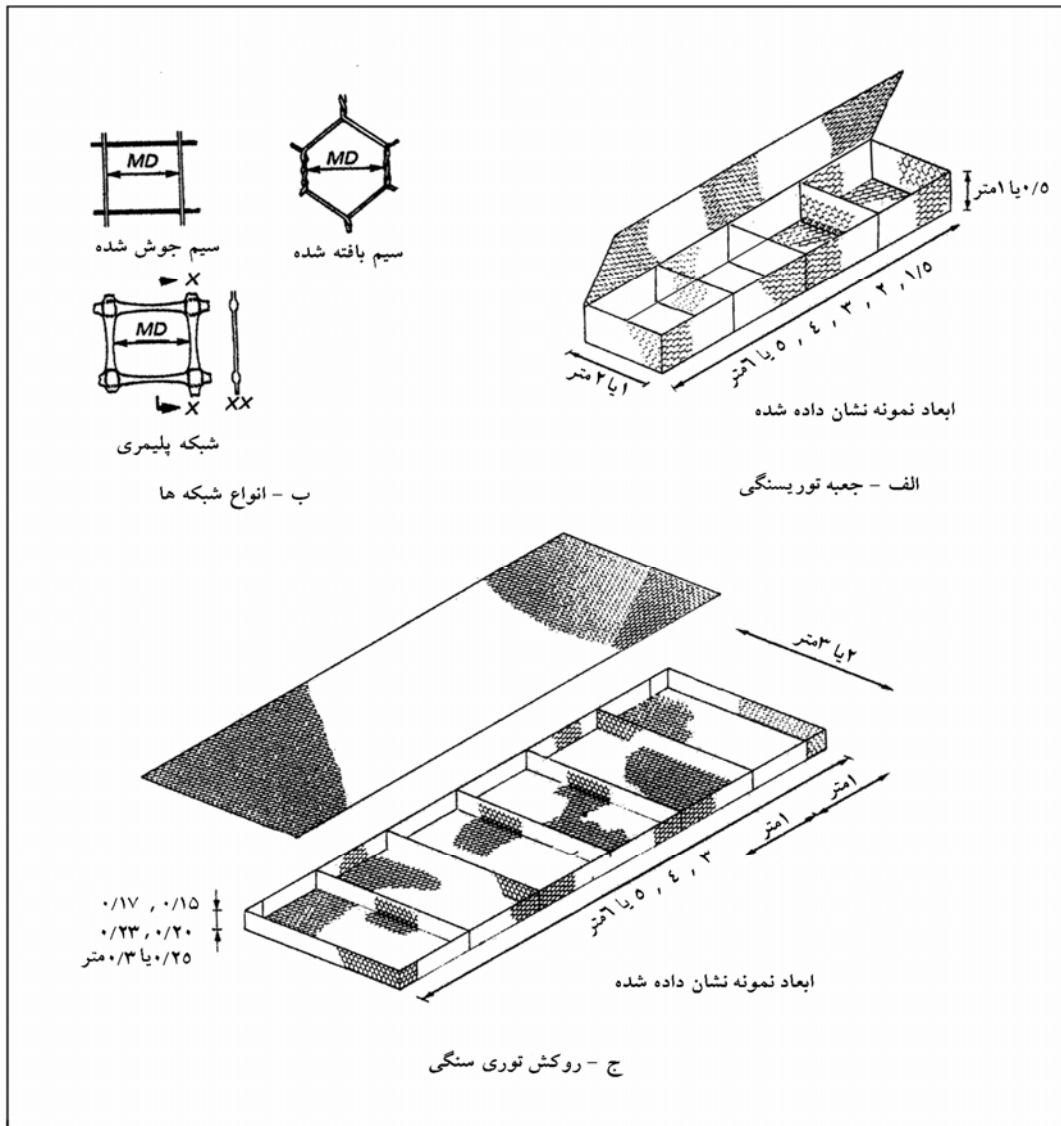
ب - مواد پرکننده

مواد پرکننده باید سنگ‌های بادوامی باشند که در مقابل هوازدگی مقاوم بوده و در اثر فرسایش درون جعبه‌ها سریع شکسته نشوند. شکل‌های مختلف سنگ‌ها، خصوصیات متفاوتی به جعبه‌های توری سنگی می‌دهد. سنگ‌های گوشه‌دار به خوبی در یکدیگر قفل شده و توری سنگ پر شده، نسبتاً در مقابل تغییر شکل مقاوم خواهد بود. این توری‌سنگ‌ها در دیوارهای حایل بزرگ برای تأمین مقاومت برشی کافی، کارایی بالایی دارند. از طرف دیگر، سنگ‌های گرد گوشه برای ایجاد مفصل در سازه‌ها مناسب می‌باشد. اندازه مواد پرکننده باید به طور متوسط $1/5$ برابر ابعاد متوسط شبکه باشد. اندازه هر دانه نیز نباید از ابعاد اسمی شبکه کوچک‌تر باشد و ابعاد اسمی آن عموماً از ۲۰ سانتی‌متر بزرگ‌تر نخواهد بود. ابعادی که برای حداقل اندازه سنگ‌ها بیان گردید، در مورد مصالحی که در هسته توری سنگ و در فاصله‌ای دورتر از سطوح خارجی آن قرار می‌گیرند، می‌توان اعمال نمود. ابعاد افقی شبکه جعبه‌های بافته شده معمولاً بین 5×7 سانتی‌متر تا 10×12 سانتی‌متر متغیر است (شکل ۵-۳).

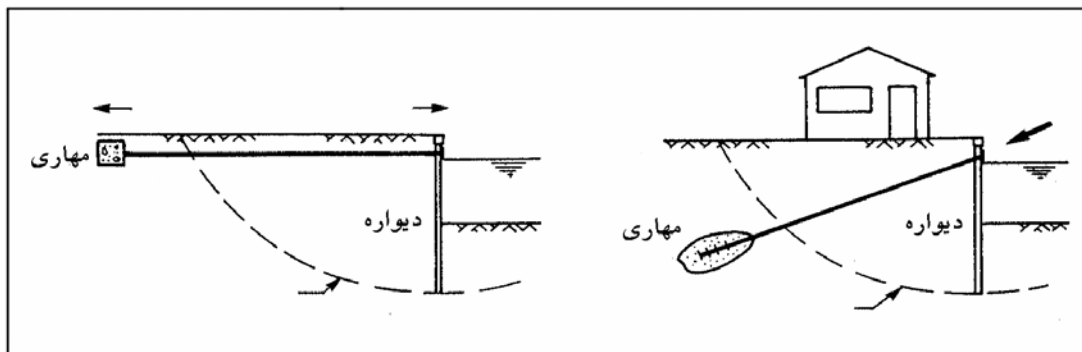
۵-۱-۳ دیوارهای شمعی^۲

دیوارهای شمعی یکی از روش‌های حفاظت قائم کناره‌های آبراه است. این سازه‌ها را می‌توان به دو روش طره‌ای^۳ و مهار شده^۴ طبقه‌بندی نمود. شکل (۵-۴) شکل‌های نمونه‌ای ساخت این سازه‌ها را نشان می‌دهد. برای اجرای دیوارهای شمعی، خشک کردن کارگاه یا احداث بندهای موقت^۵ مورد نیاز نمی‌باشد. علاوه بر آن، شمع کوبی در جایی که فضا برای عملیات اجرایی محدود است، قابل اجرا می‌باشد.

-
- 1 - PVC
 - 2 - Piling
 - 3 - Cantilevered Wall
 - 4 - Anchored Wall
 - 5 - Cofferdams



شکل ۵-۳- ابعاد جعبه های توری سنگی



شکل ۵-۴- دیوارهای شمعی

۵-۱-۳-۱ دیوارهای شمعی طره‌ای

دیوارهای طره‌ای برای پایداری خود، به خاکی که در آن جای گرفته‌اند، متکی است، بنابراین کمترین فضای جانبی را نیاز دارند. لنگر خمشی در این دیوارها با افزایش ارتفاع دیوار افزایش خواهد یافت. به گونه‌ای که برای دیوارهای بیش از ۲/۵ متر، دیوارهای مهار شده احتمالاً اقتصادی‌تر خواهند بود.

در دیوارهای طره‌ای، تنها نیروی نگه‌دارنده وارد بر شمع‌ها، فشار مقاوم خاک است. برای تحریک فشار مقاوم خاک، شمع باید جابه‌جایی محدودی به طرف خاک داشته باشد. در خاک‌های سخت و متراکم، معمولاً فقط یک تغییر مکان خیلی کوچک لازم است. اما در طول قسمتی از دیوار که بارگذاری و خصوصیات خاک هر دو متغیر می‌باشند، تغییر مکان‌های متغیر صفحات کوبیده شده معمولاً در منطقه‌ای به وجود می‌آید که خاک پیرامون صفحه حرکت می‌کند. این حرکت‌ها در قسمت‌های فوقانی دیوار بیشتر بوده و ظاهر ناخوشایند به دیوار می‌دهند، اگرچه ممکن است دیوار از نظر سازه‌ای پایدار بماند.

۵-۱-۳-۲ دیوارهای شمعی مهاربندی شده

دیوارهای حایل شمعی مهاربندی شده، دارای یک مهار در نزدیکی بالای دیوار می‌باشند و بدین ترتیب در بالا و پایین مقید شده‌اند. این امر، حداکثر لنگر خمشی دیوار را در مقایسه با دیوارهای طره‌ای با ارتفاع مشابه کاهش داده و امکان استفاده از شمعی با مقطع اقتصادی‌تر را فراهم می‌آورد.

طول مهار باید به اندازه‌ای باشد که تکیه‌گاه مهاری خارج از محدوده سطح گسیختگی قرار گیرد. گاهی ممکن است فضای موجود، امکان استفاده از دیوارهای ساخته شده با مهارهای بلوک بتنی معمولی و یا پرده سپری را ندهد. در این شرایط، باید دیوارهای طره‌ای یا مهارهای ویژه زمینی که توسط حفاری زیرزمینی نصب می‌گردند، مورد استفاده قرار گیرد. دو روش موجود که برای طراحی دیوارهای حایل مهاربندی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد، عبارتند از: روش تکیه‌گاه آزاد^۱ و روش تکیه‌گاه گیردار^۲. روش تکیه‌گاه آزاد قابل مقایسه با تیر ساده دو سر مفصل می‌باشد که خاک دربرگیرنده سرپایینی دیوار و میله مهار افقی به عنوان دو تکیه‌گاه آن عمل می‌نمایند. روش تکیه‌گاه گیردار، لنگر مقیدکننده‌ای است که توسط خاک پای دیوار اعمال می‌شود و علاوه بر حرکت شمع، چرخش شمع حول پای خود را نیز در نظر می‌گیرد.

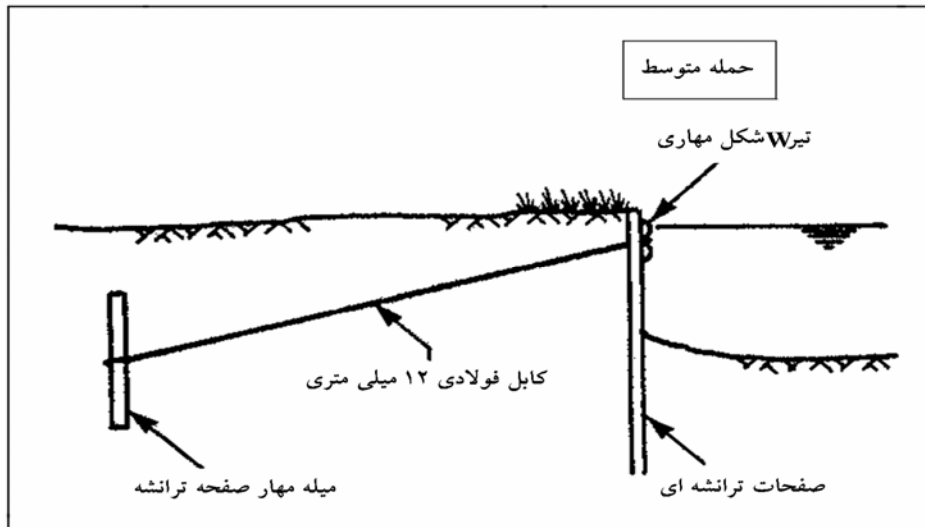
۵-۱-۴ سایر روش‌های حفاظتی قائم

۵-۱-۴-۱ واحدهای پیش‌ساخته بتنی^۳

این واحدها به شکل T معکوس بوده و از بتن مسلح و مطابق نیازهای هر محل خاص در ابعاد، ظرفیت باربری و پرداخت‌های مختلف ساخته می‌شوند. نیروهای اعمال شده بر این دیواره‌ها، مشابه نیروهایی است که بر دیوارهای وزنی عمل می‌نمایند. با این تفاوت که جرم مقیدکننده بیشتری توسط خاک، وارد عمل می‌شوند (شکل ۵-۵).

برای نصب این واحدها، آماده‌سازی شالوده ضروری است که این کار احتیاج به محیطی خشک داشته و در صورت کار در یک آبراه فعال، استفاده از سدهای موقت یا هر سامانه انحراف آب دیگری مورد نیاز خواهد بود.

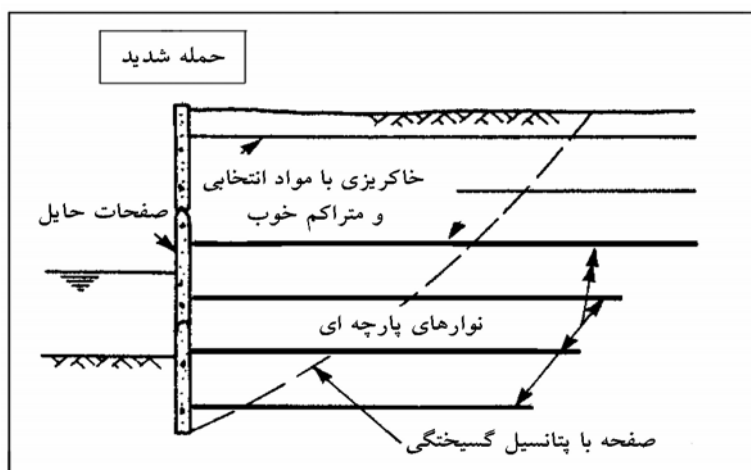
1 - Free earth support
2 - Fill earth support
3 - Precast Concrete Units



شکل ۵-۵- صفحات ترانشه‌ای مورد استفاده در کانال‌ها

۵-۴-۱- خاک مسلح^۱

در این روش، از یک سازه مرکب استفاده می‌شود. این سازه از یک سطح نگهدارنده (معمولاً از جنس پانل‌های بتنی) تشکیل شده که توسط تارهای نواری شکل بلند به درون جسم کناره‌های کانال دوخته می‌شوند. این نوارهای باریک و طویل به طور افقی در خاک متراکم شده، پشت صفحه نگهدارنده مدفون می‌شوند (شکل ۵-۶)؛ همچنین می‌توان از سازه‌های توری‌سنگی یا شبکه‌های ژئوتکستایل به عنوان سطح نگهدارنده استفاده نمود [۸].

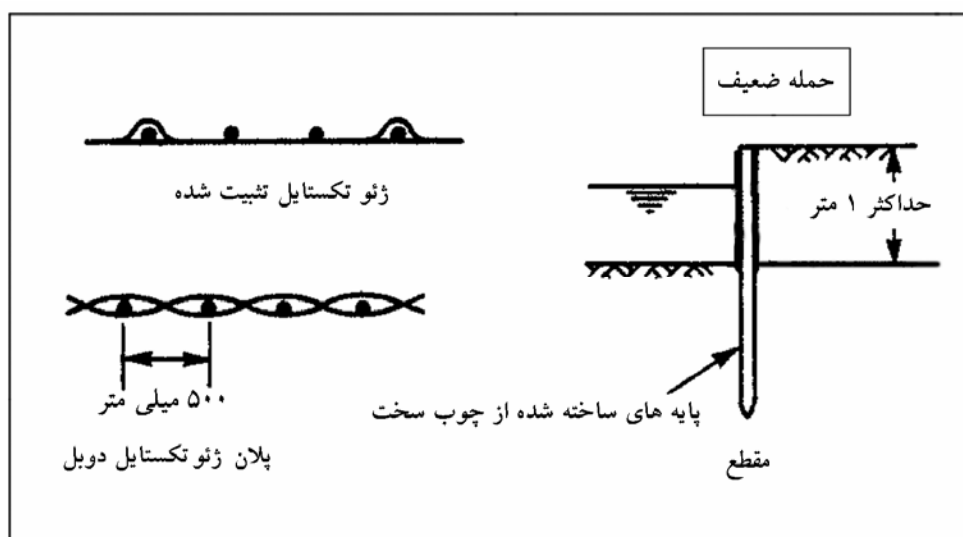


شکل ۵-۶- خاک مسلح

اصطکاک میان تارها و خاک، به سادگی از حرکت سطوح نگه‌دارنده جلوگیری می‌نماید. بنابراین طول این تارها باید به اندازه کافی بلند باشد تا بتواند مقاومت اصطکاکی لازم را در کلیه شرایط و با هر سطح پتانسیل گسیختگی تأمین نماید. زهکشی مناسب خاک نگهداری شده بسیار مهم است زیرا فشار آب منفذی بالا، موجب کاهش نیروی اصطکاک می‌شود. همچنین باید مواظب حمله شیمیایی محیط خاک - آب بر تارهای درون خاک و صفحه نگه‌دارنده بود.

۵-۱-۴-۳ ژئوتکستایل‌های نگه‌دارنده^۱

بعضی از ژئوتکستایل‌های مخصوص کارهای سنگین را می‌توان به عنوان قسمت نگه‌دارنده (البته با ارتفاع محدود) استفاده نمود. مثالی از یک ژئوتکستایل دو لایه مخصوص کارهای سنگین، که توسط شمع‌هایی از جنس چوب‌های بادوام نگهداشته شده در شکل (۵-۷) نشان داده شده است. این نوع سازه‌ها ممکن است در ابتدا ظاهر خوشایندی نداشته باشند، اگرچه در بلندمدت، گیاهان ممکن است درون یا روی ژئوتکستایل رشد نمایند.

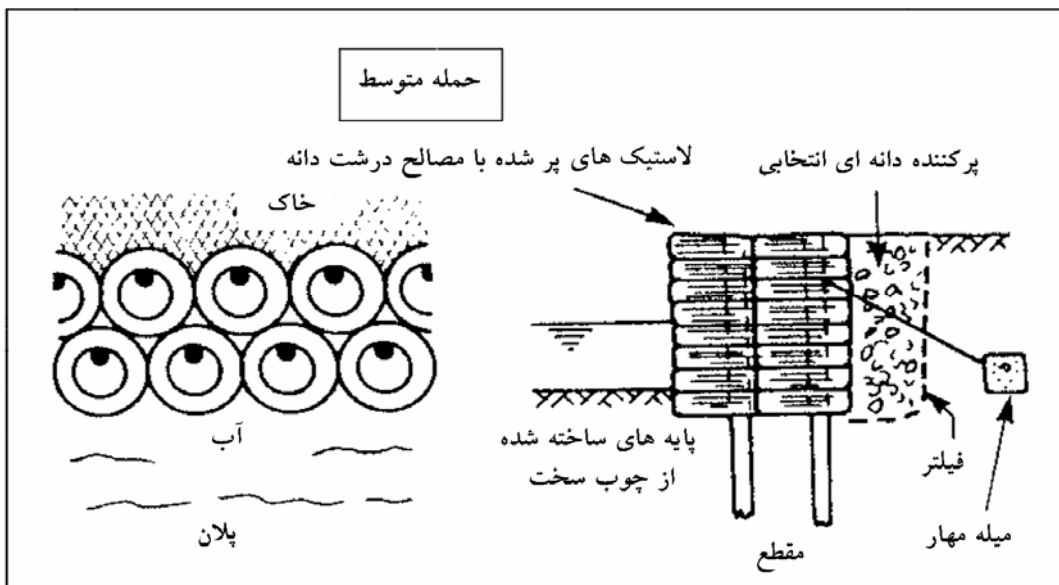


شکل ۵-۷- دیوار حایل ژئوتکستایلی

پایداری این سازه‌ها اساساً به پایداری و مقاومت شمع چوبی استفاده شده بستگی دارد. استفاده از این روش در خاک‌های سست یا در خاک‌هایی که پشت دیواره تحت بارگذاری زیادی قرار دارند، مناسب نیستند، اگرچه می‌توان با مهار نمودن قسمت بالایی هر یک از شمع‌ها، این پایداری را تأمین نمود.

۵-۱-۴-۴ لاستیک‌های فرسوده خودرو^۱

این روش عموماً برای جایی که ارتفاع کم است، مناسب می‌باشد. میزان مفید بودن این نوع دیوارها، به شمع‌های چوبی بستگی دارد که لاستیک‌ها روی آنها جای می‌گیرند. برای اطمینان از تأمین حفاظتی پیوسته، بهتر است از دو ردیف لاستیک استفاده شود. شکل (۵-۸) نمونه‌ای از این نوع حفاظت را نشان می‌دهد. بدیهی است که این روش، از نظر زیبایی جذاب نبوده ولی روش نسبتاً ارزان‌قیمتی می‌باشد.



شکل ۵-۸- دیوار ساخته شده از لاستیک‌های فرسوده

همچنین می‌توان تایرهای فرسوده خودروها را کنار یکدیگر روی شیب کناره چیده و توسط سیم یا طناب مقاوم و یا گاهی تیوب‌های فرسوده به هم وصل کرد. شیب دیوار، حداقل عمودی ۱: افقی ۲ بوده و برای جلوگیری از لغزش یا شناور شدن روکش، هر واحد از تایرهای به هم بافته را از طریق یک لنگرگاه و سکوسازی در ساحل یا روی کناره، قفل و بست می‌کنند. طول واحدها معمولاً حداکثر ۱۲/۵ متر بوده و گاهی میخ‌های چوبی به فواصل ۱ متری در لابلای تایرها کوبیده می‌شود. استفاده از روکش تایر ماشین در بسیاری موارد موفق بوده و عموماً پیشنهاد می‌شود که حفاظت بخش زیرین کناره (زیر سطح متوسط کم‌آبی) با روکش توری سنگی انجام یافته و حفاظت سطح بالای کناره از طریق لاستیک‌های خودرو انجام گیرد. در این روش، به تدریج با جذب رسوبات در فضای خالی تایرها و تثبیت طبیعی و گیاهی آن، قابلیت حفاظتی افزایش می‌یابد.

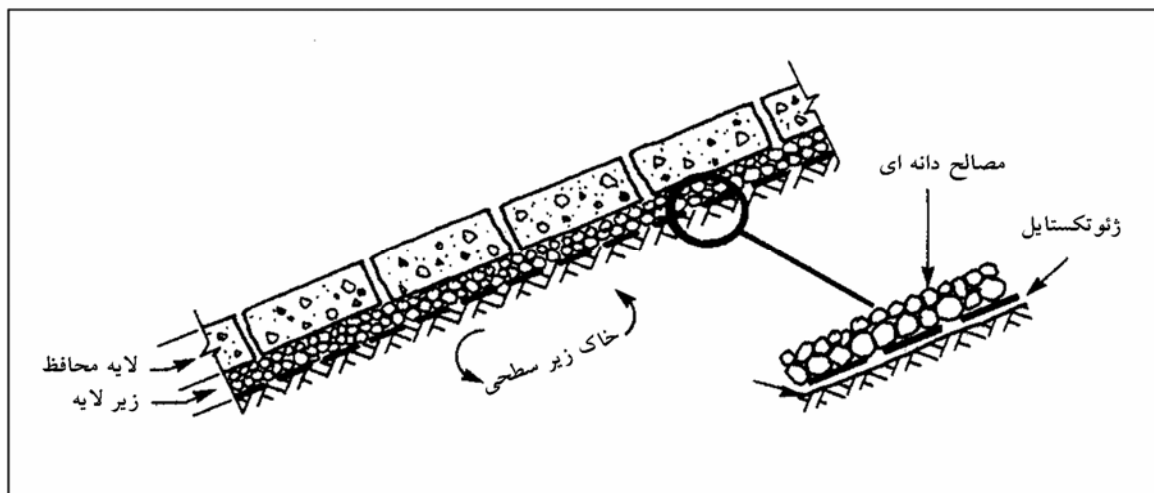
۱-۲-۵ کلیات

حفاظت مایل به نوعی حفاظت مستقیم گفته می‌شود که سازه حفاظتی به صورت پوشش یا روکش مایل (غیرعمود) در کناره رودخانه و در راستای آن اجرا گردیده و از فرسایش کناره جلوگیری می‌نماید. انواع پوشش‌ها^۱ و روکش‌های^۲ حفاظتی در این طبقه جای می‌گیرند. در ادامه این فصل، ابتدا به بیان کلیات و خصوصیات مشترک پوشش‌ها و روکش‌ها پرداخته شده و از هر دوی آنها با نام کلی "پوشش" یاد می‌شود. پس از آن نیز به معرفی مشخصات، کاربرد، مزایا و معایب، محدودیت‌ها و توصیه‌های لازم برای طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری هر کدام از این سازه‌های حفاظتی پرداخته می‌شود [۸].

پوشش‌های حفاظتی، به منظور تأمین پایداری خاک کناره‌های شیب‌دار رودخانه‌ها و حفاظت آنها در مقابل فرسایش حاصل از جریان‌ها و تأثیر امواج ساخته می‌شوند. پوشش سطحی باید تأمین کننده زهکشی آب سطحی، حرکت آب زیرزمینی و زهکشی خاک زیر سطحی^۳ در لایه تحتانی کناره باشد.

۲-۲-۵ اجزای پوشش‌های حفاظتی

اجزای تشکیل‌دهنده نمونه‌ای از پوشش‌های حفاظتی به صورت شماتیک در شکل (۵-۹) نشان داده شده است. پوشش‌ها شامل دو بخش لایه محافظ و زیر لایه می‌باشند و اجرای آنها علاوه بر تأثیرپذیری از ساختار و عملکرد لبه فوقانی، پنجه و لبه‌های کناری، به طبیعت خاک زیرسطحی نیز بستگی دارد.



شکل ۵-۹- اجزای تشکیل دهنده نمونه‌ای از پوشش‌های حفاظتی

- 1 - Revetments
- 2 - Mattresses
- 3 - Subsoil

الف - لایه محافظ

لایه محافظ، یک لایه پوشش حفاظتی را در مقابل نیروهای فرسایشی مستقیم حاصل از جریان، عمل موج و یا دیگر عوامل خارجی ایجاد می‌نماید. همچنین با اعمال تنش متوسط و مثبت روی خاک شالوده، پایداری آنرا در مقابل گسیختگی کم عمق^۱ افزایش می‌دهد.

دو مشخصه اصلی مهندسی که در عملکرد لایه محافظ در مقابل کنش جریان و امواج تأثیرگذار می‌باشند، عبارتند از:

- آب‌گذری: که تعیین کننده میزان تأثیرپذیری زیر لایه و خاک زیرین از حرکت آب و فشار ناشی از جریان‌ها و امواج می‌باشد.

- انعطاف‌پذیری: که لایه محافظ را قادر می‌سازد تغییر شکل‌های جزئی حاصل از نشست یا شستگی مواد زیر لایه را تحمل نموده و با آن همساز شده و از این طریق سلامتی پوشش را تأمین نماید.

نوع لایه محافظ، تفکیک کننده پوشش‌ها و روکش‌ها از یکدیگر می‌باشد که در بخش‌های بعدی مورد بحث قرار خواهند گرفت.

ب - زیر لایه

زیر لایه تمامی مواد بین لایه محافظ و تشکیلات خاک زیر سطحی را شامل می‌شود و ممکن است نوعاً از مواد دانه‌ای، ژئوتکستایل و یا به صورت ترکیبی باشد. ترکیب مواد زیر لایه عموماً به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که یک یا چند مورد از عملکردهای زیر را دارا باشد. بنابراین بخش اصلی فرآیند طراحی، تشخیص صحیح عملکردهای ویژه‌ای است که از زیر لایه مورد انتظار می‌باشد.

هرچند پوشش‌ها گاهی به دلیل تخریب لایه محافظ در شرایط حدی بارگذاری دچار خرابی می‌شوند، ولی معمولاً علت اصلی تخریب آنها گسیختگی زیر لایه است که عموماً حاصل تأثیر نیروهای هیدرولیکی روی آنها و برآورد اشتباه این نیروها به هنگام طراحی می‌باشد.

عملکردهایی که زیر لایه‌ها ممکن است دارا باشند عبارتند از:

- ایفای نقش یک فیلتر برای جلوگیری از حرکت و خروج خاک شالوده به همراه حرکت آب،
- ایجاد یک منطقه زهکش به موازات شیب پوشش حفاظتی برای کمک به زهکشی زیر لایه و خاک زیرسطحی،
- حفاظت از ساختار (ساختمان) خاک در مقابل فرسایش سطحی حاصل از جریان به موازات شیب پوشش حفاظتی،
- تنظیم سطح ناهموار خاک برای ایجاد یک شالوده هموار به منظور اجرای پوشش حفاظتی،
- جداسازی لایه محافظ و دیگر بخش‌های زیر لایه از خاک زیر سطحی،
- ایجاد حفاظتی ثانویه در حالتی که لایه محافظ از بین برود، و
- استهلاک انرژی جریان‌های داخلی در زیر لایه ناشی از عمل موج و جریان. این عملکرد معمولاً زمانی به عمل می‌آید که حفاظت کناره برای مقابله با تأثیر امواج و جریان‌های شدید به کار رود.

1 - Shallow failure

۳-۲-۵ مراحل طراحی

طراحی پوشش‌ها معمولاً باید مطابق مراحل زیر انجام گیرد:

- شناسایی شرایط طراحی (بارهای طراحی، عملکرد حفاظت، ...)
- انتخاب مقدماتی نوع پوشش،
- ارزیابی پایداری ژئوتکنیکی کناره،
- کنترل ظرفیت باربری خاک زیرین،
- طراحی لایه محافظ،
- طراحی لایه‌های زیرین، و
- طراحی جزییات تاج، پنجه و لبه پوشش.

۴-۲-۵ انواع محافظ و روش طراحی

انواع لایه‌های محافظ زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

الف - سنگی

- لایه محافظ سنگ‌چین گاهاً دوغاب‌ریزی شده،
- سنگ‌های دست‌چین،
- مصالح بنایی، و
- توری سنگی یا روکش‌های با شبکه مفتولی.

ب - بتنی

- بلوک‌های سطحی پیش‌ساخته با درز باز یا دوغاب‌ریزی شده گیردار،
- بلوک‌های با کابل بسته شده یا با ژئوتکستایل مقید شده،
- دال‌های درجا ریز و سازه‌های یکپارچه، و
- ظروف کارخانه‌ای^۱.

ج - ژئوتکستایلی

- ترکیبات گیاهی، روکش‌ها^۲، بافته‌ها^۳ و شبکه‌های توری^۴،
- روکش‌ها و شبکه‌های حایل سه بعدی، و
- بافته‌های دو بعدی.

د - آسفالتی

- روکش‌های ژئوتکستایلی باز پر شده با آسفالت سنگ^۵، و
- آسفالت سنگ باز یا متراکم^۶.

-
- 1 - Fabric containers
 - 2 - Mats
 - 3 - Fabrics
 - 4 - Meshes
 - 5 - Open stone asphalt – filled geotextile mat
 - 6 - Open or dense stone asphalt

مدل‌های تحلیلی تعیین ابعاد پوشش، هنوز برای اهداف عمومی طراحی، توسعه نیافته‌اند. بنابراین عموماً طراحی براساس روابط تجربی به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی، تجارب صحرایی و قضاوت مهندسی صورت می‌گیرد.

۵-۲-۵ انواع زیر لایه و روش طراحی

قبل از تصمیم‌گیری در مورد ترکیب یا خواص زیر لایه، عملکردهای متعدد مورد انتظار از آن باید شناخته شود. مطالعات اخیر^۱، مشخص کرده که اجرای نامناسب زیر لایه بیش از گسیختگی مستقیم لایه محافظ، در گسیختگی پوشش‌ها تأثیرگذار است. اگرچه ژئوتکستایل‌ها امروزه به عنوان فیلتر و به منظور مهار فرسایش و همچنین سایر عملکردهای دیگر مورد استفاده وسیع قرار می‌گیرند، با این حال مصالح دانه‌ای برای تنظیم، استهلاک انرژی و اهداف حفاظت ثانویه عموماً بیشتر مورد استفاده واقع می‌شوند. خصوصیات مختلف ژئوتکستایل‌ها و مصالح دانه‌ای که به عنوان زیر لایه مورد استفاده قرار می‌گیرند در جدول (۵-۱) مختصراً بیان گردیده‌اند. در برخی کاربردها، ممکن است ترکیبی از ژئوتکستایل و مواد دانه‌ای، راه حل بسیار مفیدتری باشد.

جدول ۵-۱- خصوصیات مختلف ژئوتکستایل و مواد دانه‌ای مورد استفاده به عنوان زیر لایه

ژئوتکستایل	مواد دانه‌ای
محاسن	
هزینه مقاومت کششی صفحه‌ای ضخامت محدود	قابلیت خود التیامی در بعضی شرایط عموماً بسیار بادوام تغییر شکل‌پذیری، باقی ماندن سطح تماس خوب در سطح بالایی و پایینی، سهولت تعمیرات
معایب	
عدم قطعیت در رفتار بلندمدت لزوم محافظت دقیق لبه‌ها سهولت خسارت دیدن و صعوبت تعمیر لزوم طراحی و نصب دقیق برای انطباق با نشست‌ها یا شکل‌های ناهموار	لزوم کنترل دقیق برای دستیابی به دانه‌بندی و ضخامت مشخص شده صعوبت تراکم روی شیب‌های تند کنترل صعوبت ساخت در زیر آب

برای طراحی فیلترها می‌توان به کتاب‌های مرجع مکانیک خاک و نیز کتب خاص این نوع سازه‌ها و به‌ویژه کتاب‌های کاربردی در زمینه حفاظت کناره‌ها، مراجعه نمود.

1 - PIANC, 1987a & Hewlett et.al. 1987

گاهی اوقات، ژئوتکستایل به صورت یک لایه جداکننده برای اجتناب از نفوذ یا خروج مواد پوشش به داخل خاک زیرسطحی به کار می‌رود. استفاده از ژئوتکستایل به عنوان محافظ لایه ریپ ریپ و در مواقعی که خاک زیرین دارای ظرفیت باربری اندک می‌باشد، نیز صورت می‌گیرد.

۵-۲-۶ جنبه‌های ساختمانی (اجرایی)

نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- رواداری^۱ در خط و تراز خاکبرداری کناره و اقدامات آماده‌سازی ساختمان (تشکیلات) تا حدی، به شکل و حالت اجرایی انتخاب شده بستگی دارد. در صورتی که ژئوتکستایل به عنوان فیلتر یا محافظ در برابر فرسایش مورد استفاده قرار گیرد، وجود سطح هموار و تماس مطلوب بین ژئوتکستایل و خاک زیرسطحی با اهمیت خواهد بود.
- ژئوتکستایل‌ها باید مطابق جهت غالب جریان یا حمله موج قرار گیرند.
- درزهای بین صفحات ژئوتکستایل مجاور باید همپوشانی داشته یا متناوباً دوخته شده و یا به یکدیگر مقید و پیوسته گردند. بعد از جایگذاری ژئوتکستایل، درزهای همپوشان باید توسط پین‌های محکم‌کننده و یا خرده سنگ^۲ نگه‌داشته شوند.
- مشخصات مورد نیاز ژئوتکستایل برای تطبیق با بارهای ساختمانی، باید تعیین گردد.
- مواد دانه‌ای غالباً به صورت مؤثر در لایه‌های کمتر از حدود ۷۵ میلی‌متر قابل ریختن و اجرا نمی‌باشند. حداقل ضخامت هر لایه دانه‌ای معمولاً ۲ تا ۳ برابر حداکثر اندازه ذرات می‌باشد. هر جا عملی باشد، مواد دانه‌ای باید برای به حداقل رساندن تحکیم پس ساخت^۳ متراکم گردد. در غیر این صورت، تحکیم و جابه‌جایی موضعی باید در طراحی مجاز شمرده شده و مد نظر قرار گیرد.
- اگر مد نظر است که از جدایی بخش‌های ریز و درشت اجتناب شود، مواد دانه‌ای نباید ریخته شود.
- ضخامت هر بخش باید با مواد قرار داده شده در بالای آن سازگار باشد. در صورتی که سنگ‌های صخره‌ای (درشت) روی یک لایه دانه‌ای قرار گیرد، ضخامت زیر لایه نباید از نصف اندازه اسمی (D_{۵۰}) مواد لایه رو، کمتر باشد.

۵-۲-۷ پوشش‌های حفاظتی

پوشش‌های حفاظتی، سازه‌هایی هستند که در مجاورت ساحل رودخانه یا به موازات جریان احداث گشته و به منظور حفاظت کناره‌های فرسایش‌پذیر به کار می‌روند و یک خط کناره ملایمی را شکل می‌دهند. ضمناً از آنها برای حفاظت شیب خاکریزها و گوره‌ها، آبشکن‌ها و غیره نیز استفاده می‌شود. از انواع آن می‌توان به پوشش‌های سنگی، توری‌سنگ، بتنی، آسفالتی، حصاربندی، کیسه‌ای و غیره اشاره کرد.

1 - Tolerances

2 - Ballast

3 - Post – construction consolidation

۱-۷-۲-۵ پوشش سنگی

پوشش سنگی اصطلاحی است که به حفاظت سنگی دانه‌ای آزاد و مهار نشده که معمولاً از معدن سنگ به دست می‌آید گفته شده و در حفاظت کناره‌ها فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پوشش به صورت معمول توسط ماشین‌آلات در خشکی اجرا می‌گردد؛ گرچه می‌توان آنرا به صورت مرتب و حتی به صورت دست‌چین برای نیل به تراکم بهتر یا برای ثابت نمودن و بستن سنگ‌های بزرگ‌تر به زیر لایه یا خاک زیر سطحی اجرا نمود (شکل ۵-۱۰).

مزایای پوشش سنگی ریپرپ عبارتند از:

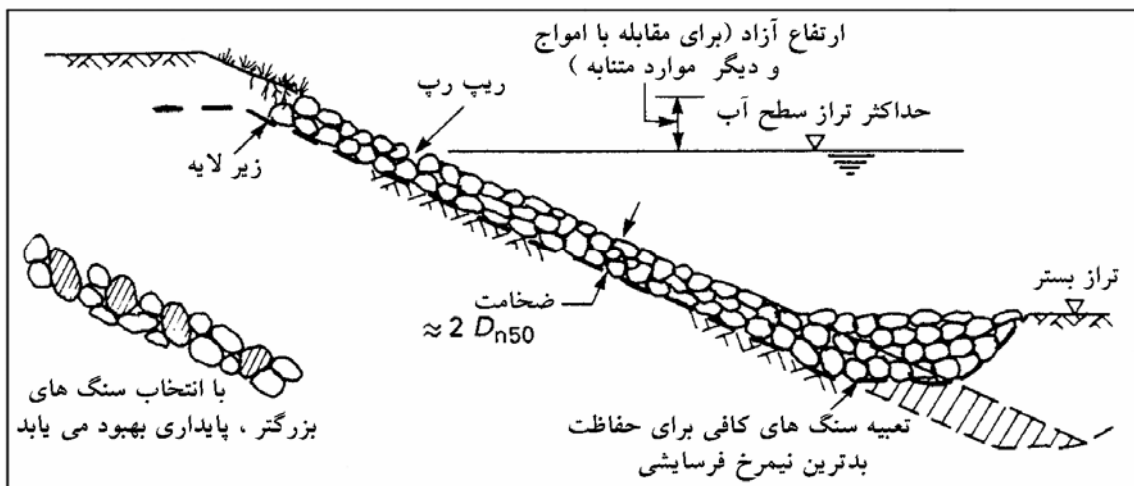
- سهولت اجرا و قابلیت اجرا در آب،
 - انعطاف‌پذیری،
 - زبری هیدرولیکی بالا برای استهلاک امواج و جریان‌ها،
 - سهولت نگهداری و تعمیر و خاصیت خود تعمیر،
 - دوام، و
 - داشتن قابلیت تثبیت پوشش گیاهی.
- عدم امکان اجرا روی شیب‌های تند و نیز نیاز به وجود فضای کافی برای اجرا، از عوامل محدودکننده این نوع پوشش به شمار می‌روند.

پوشش سنگی باید دارای منحنی دانه‌بندی نرم و خوب دانه‌بندی شده باشد. سنگ‌های گوشه‌گرد نسبت به سنگ‌های زاویه‌دار پایداری کمتری دارند و برای بهترین پایداری باید دارای شکل بلوکی باشند. در محاسبه ابعاد قطعات پوشش سنگی، پایداری دانه‌ها، هم در مقابل حمله جریان و هم در برابر حمله امواج باید مورد توجه قرار گیرد. در هر دو حالت، قطعات سنگ اولاً باید به میزان کافی بزرگ باشند تا توسط جریان جابه‌جا نشوند، ثانیاً سرعت جریان عبوری از میان خلل و فرج پوشش باید به میزان کافی کم باشد تا آب‌شستگی زیر لایه یا خاک زیر سطحی را باعث نگردد.

زبری هیدرولیکی کناره حفاظت شده نباید به صورت معنی‌داری کمتر از زبری هیدرولیکی کناره طبیعی باشد، در غیر این صورت، ممکن است در انتهای پایین‌دست قسمت حفاظت شده، به دلیل افزایش سرعت جریان مجاور کناره‌ای، آب‌شستگی به‌وجود آید.

به جز در آبراه‌های با شیب تند، سرعت جریان طولی درون پوشش سنگی معمولاً برای فرسایش مواد زیر لایه کافی نیست؛ با این حال از عدم فرسایش مواد زیر لایه در اثر جریان‌های طولی مذکور، باید اطمینان به‌دست آورد.

به هنگام ریختن ماشینی پوشش سنگی، رها کردن قطعات سنگ‌ها باید به‌گونه‌ای انجام گیرد که تا حد ممکن به موقعیت نهایی آنها نزدیک باشد. پخش سنگ‌ها (مثلاً با بولدوزر) باعث افزایش شکستگی، جدایی و زبری سطوح آنها خواهد شد.



شکل ۵-۱۰- مثالهایی از پوشش سنگی ریپ رپ

همان گونه که گفته شد، پوشش های سنگی ریپ رپ، به نوعی دارای خاصیت خود تعمیر می باشند و این امر اجازه می دهد تا کار تعمیر و نگهداری در مقایسه با سامانه های حفاظتی دیگر مانند بلوک های بتنی که به هنگام ایجاد یک گسیختگی موضعی برای مقابله با گسترش گسیختگی به تعمیر فوری نیاز دارند، در یک روال عادی انجام گیرد. با این وجود، مهم خواهد بود که تعمیر و نگهداری انجام گیرد زیرا به سطوح غیر هم تراز و ناصاف در بخش هایی که سنگ ها از دست رفته یا جابه جا شده اند، نیروهای هیدرودینامیکی بیشتری اعمال می گردد.

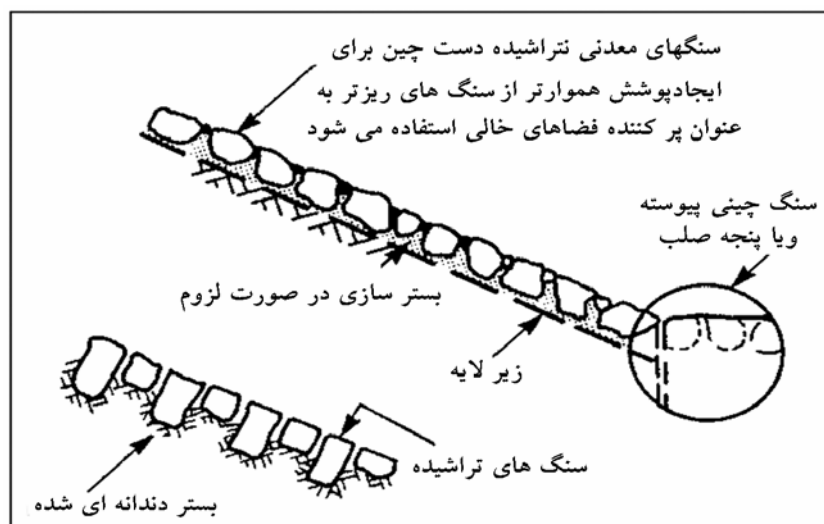
۵-۲-۷-۲ پوشش سنگی دست چین

پوشش های سنگی دست چین، متفاوت از پوشش های سنگی ریخته شده می باشند زیرا در این پوشش ها، سنگ ها با دست چیده شده و معمولاً نسبتاً هم اندازه هستند (شکل ۵-۱۱).

معایب استفاده از این روش، به خصوص در مقایسه با استفاده از پوشش سنگی ریپ رپ عبارتند از:

- سختی اجرا و هزینه نسبتاً گران،
- کاهش زبری هیدرولیکی به دلیل سطح نسبتاً صاف سنگ چین ها و در نتیجه افزایش ارتفاع بالاروی امواج،
- عدم انعطاف پذیری لایه سنگ اجرا شده،
- عدم امکان اجرا زیر تراز آب (بدون استفاده از بند موقت و ... برای خشک کردن کارگاه)، و
- نیاز به بازرسی، تعمیر و نگهداری منظم برای اجتناب از گسیختگی پیش رونده.

این نوع سنگفرش، معمولاً به صورت تک لایه اجرا می شود؛ به گونه ای که سطح فوقانی صافی ایجاد شود. بنابراین معمولاً به سنگ هایی با ساختمان خاص مانند بازالت احتیاج می باشد که دارای قابلیت شکسته شدن و ایجاد بلوک هایی با سطوح صاف باشند.



شکل ۵-۱۱- پوشش سنگی دست چین

در صورت استفاده از سنگ‌های با اندازه یکنواخت، می‌توان پوشش پایداری ایجاد نمود. اگر سنگ‌چین‌ها در یکدیگر قفل شده و خوب روی بستر قرار بگیرند، می‌توان اندازه مورد نیاز سنگ‌ها را کاهش داد. سطح فوقانی خاک زیرین یا زیر لایه سنگ‌چین باید دارای شکل خوبی برای سنگ‌چینی باشد. پس از چیدن سنگ‌ها، بهتر است فضای خالی با شن یا با سنگ‌های گوه‌شکل که به داخل فضای خالی رانده می‌شود، پر گردد. سنگ‌چینی به ویژه وقتی گوه در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبتاً انعطاف‌ناپذیر بوده و ممکن است برای خاک‌های در معرض تغییر شکل یا جابه‌جایی مناسب نباشد. سنگ‌چین به بازرسی، تعمیر و نگهداری منظم نیاز دارد به‌گونه‌ای که در صورت جابه‌جایی حتی یک سنگ، برای اجتناب از گسیختگی پیش‌رونده، باید سریعاً نسبت به تعمیر آن اقدام نمود.

۵-۲-۷-۳ سنگ و مصالح بنایی دوغاب‌ریزی شده

سنگ‌های دست‌چین به جای در همدیگر قفل شدن، به وسیله سنگ‌های کوچک‌تر، ممکن است با ملات سیمان، آسفالت ماستیک یا توسط قیر، دوغاب‌ریزی شده و به همدیگر پیوسته گردند. به طور کلی دوغاب‌ریزی، پایداری سنگ‌های سست را در مقابل حمله امواج و جریان‌ها افزایش می‌دهد. با دوغاب‌ریزی و بسترسازی مناسب و کامل، پوشش سنگی یکپارچه‌ای از تاج تا پاشنه ایجاد خواهد شد.

مزایای استفاده از این نوع پوشش عبارتند از:

- امکان استفاده از سنگ‌های سست‌تر یا اندازه‌های کوچک‌تر،
- ایجاد ظاهر بهتر، دوام بیشتر پوشش و در نتیجه مطلوبیت بیشتر برای استفاده در مناطق شهری و نیمه روستایی،
- کاهش زبری هیدرولیکی، و
- امکان اجرا روی شیب‌های تندتر، نسبت به آنچه برای پوشش‌های سنگی معمولی لازم است.

پوشش سنگی یا مصالح بنایی با ملات (دوغاب) اغلب به عنوان حفاظت ورودی و خروجی سازه‌های هیدرولیکی آبراه به کار می‌روند. خواباندن سنگ‌ها همچون سایر پوشش‌های سنگی، به صورت دست‌چین بوده و زیر لایه‌ای برای هدایت آب‌های زیرزمینی به مجاری زهکشی تعبیه می‌شود. سنگ‌ها به روش‌های زیر دوغاب‌ریزی می‌شوند:

- اندودکردن یک مخلوط خشک ملات سیمان روی سطح سنگی به شکلی که کلیه حفره‌ها پر شود، پس از آن طبیعتاً ملات محکم خواهد شد. در این روش، از باقی‌ماندن ملات روی سطح سنگ جلوگیری می‌شود.
 - پاشیدن یا ریختن ملات سیمان آبدار روی سطح سنگ به نوعی که کلیه حفره‌ها پر شود. این روش کلی، سطح سنگ را با ملات می‌پوشاند و چسبندگی بهتری را بین اجزا ایجاد می‌نماید.
 - پرکردن حفره‌ها بین سنگ‌ها با دست. این روش، مشخصاً پر زحمت‌ترین و گران‌ترین راه برای محکم کردن اجزا به یکدیگر می‌باشد. در عوض، مطمئن‌ترین روش بوده و بهترین سطح ظاهری را مهیا می‌کند.
- پوشش با دوغاب و ملات، به دلیل صلب بودن، به پی پنجه محکمی نیاز دارد. به همین دلیل کوبیدن شمع فولادی یا پرده سپری به عنوان پنجه، در زمانی که شرایط خشک قابل دسترس نباشد، معمول می‌باشد. این نوع شمع‌ها را می‌توان در تابستان به آرامی از بالای سطح نرمال آب کوبید. چون این ساختمان غیر قابل نفوذ است، باید تدبیری برای زهکشی اندیشیده شود. این امر، با حذف پوشش دوغاب در بعضی نقاط و ایجاد حفره‌ها امکان‌پذیر است.
- در مقابل، دوغاب قیر پوشش انعطاف‌پذیرتری را نسبت به دوغاب سیمان مهیا می‌نماید. این دوغاب‌ریزی باید در محیط خشک اجرا شود. اگرچه آسفالت قیری را می‌توان در زیر آب ریخت، ولی این روش تنها در صورتی مطلوب است که برای دوغاب‌ریزی در سنگ‌های سست مورد استفاده قرار گیرد.

۵-۲-۷-۴ بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته^۱

بلوک‌های بتنی، از مدت‌ها پیش برای حفاظت سواحل و سدهای خاکی در مقابل حمله امواج و همچنین با وسعت استفاده‌ای کمتر برای حفاظت کناره‌های آبراه‌ها به ویژه کانال‌های کشتیرانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

انواع بلوک‌های بتنی عبارتند از:

- بلوک‌های با درز باز^۲ یا بلوک‌های دوغاب‌ریزی شده^۳،
 - بلوک‌های گیردار^۴، و
 - بلوک‌های متصل شده با کابل^۵ یا بلوک‌های متصل شده با ژئوتکستایل^۶.
- بلوک‌های نوع ۱ و ۲ در طبقه‌بندی، در حیطه پوشش‌های حفاظتی بوده و بلوک‌های نوع سوم، روکش به حساب می‌آیند.

1 - Precast Concrete blocks

2 - Open Joint blocks

3 - Grouted blocks

4 - Interlocking blocks

5 - Cable – tied blocks

6 - Geotextile – bonded blocks

بلوک‌های بتنی باید دارای حداقل مقاومت در برابر خردشدگی بوده و با درصد سیمان مناسبی تعیین شود. دانه‌بندی آن هم از دوام خوبی برخوردار باشد. خوب بودن کیفیت بتن برای دوام درازمدت و مقاومت در برابر یخ‌زدگی مهم می‌باشد. عمل‌آوری دقیق بتن بسیار با اهمیت است.

قراردادن مستقیم بلوک‌ها روی خاک رس زیر سطحی، تنها در صورتی باید انجام گیرد که مصالح هم به شکل مناسبی متراکم یا تحکیم شده و همگن باشند و بستری نرم و غیرشکننده که بلوک‌ها روی آنها قرار گیرند، آماده شده باشد. استفاده از نوعی حفاظت پنجه نیز معمول است.

۵-۲-۵ بلوک‌های با درز باز یا دوغاب‌ریزی شده

ساده‌ترین شکل حفاظت با بلوک، بلوک‌های پیش‌ساخته مسطحی است که بدون هر جزء زائده‌مانندی در اتصال داخلی با بلوک‌های مجاور، روی شیب قرار داده می‌شوند. در این حالت، پایداری لایه محافظ به پایداری تک تک بلوک‌ها بستگی بسیار دارد، بجز در حالتی که به دلیل ایجاد اصطکاک تماسی، جابه‌جایی نسبی بین بلوک‌های مجاور ممکن است تا حدی محدود گردد. این نوع بلوک‌ها همچنین بسیار مستعد تخریب عمده بوده و کارهای بلوکی با درز باز، نسبتاً انعطاف‌پذیر می‌باشند.

دوغاب‌ریزی بین بلوک‌ها با مواد دانه‌ای، پایداری آنان را از طریق جوش دادن و متصل کردن به یکدیگر افزایش می‌دهد ولی از طرف دیگر، انعطاف‌پذیری پوشش، کاهش می‌یابد. همچنین ممکن است بلوک‌ها را با ماستیک، دوغاب‌ریزی نمود ولی در صورتی که بلوک‌ها روی زیر لایه دانه‌ای قرار گیرند، باید شکاف‌هایی برای آزاد شدن فشار بین درزهای دوغاب‌ریزی شده باقی گذارد. با این حال، دوغاب‌ریزی کامل برای بلوک‌هایی که روی شیب‌های غیرقابل نفوذ (مانند رس مرغوب) قرار می‌گیرند، می‌تواند مطلوب باشد.

هم در بلوک‌های با درز باز و هم در بلوک‌های دوغاب‌ریزی شده با مصالح دانه‌ای، بازرسی منظم معمولاً لازم می‌باشد. هم بلوک و هم مصالح دانه‌ای، قابلیت جابه‌جایی داشته و برای اجتناب از گسیختگی عمده پیش‌رونده، تعمیر آن بدون تأخیر الزامی خواهد بود. کارهای نگهداری (اصلاح و جابه‌جایی بلوک‌ها و تزریق شن) نسبتاً به راحتی قابل انجام بوده و به نیروی متخصص نیاز ندارد.

۵-۲-۶ بلوک‌های گیردار

برای ایجاد گیرداری بهتر، انواع مختلفی از بلوک‌های گیردار، هم از نظر شکل و هم در ارتفاع ساخته شده‌اند. در بیشتر انواع این بلوک‌ها، انعطاف‌پذیری لایه محافظ تا حدی محدود می‌گردد. این بلوک‌ها به دو شکل مسطح و سلولی وجود دارد.

بلوک‌های گیردار مسطح با درزهای V شکل یا زبانه‌ای و شیاری، برای ایجاد لایه محافظ کاملاً غیرقابل نفوذ می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. استفاده از این بلوک‌ها، بیشتر برای حفاظت سواحل دریا که نسبت به حفاظت‌های آبراه‌ها تحت اثر حمله امواج قوی‌تر هستند، معمول می‌باشد. بلوک‌های گیردار را می‌توان علاوه بر دست، با تجهیزات مخصوص چید. در صورت نیاز به چیدن بلوک‌ها روی کناره شیبداری که در پلان دارای انحنایی قابل توجه است، به گونه‌ای که مشکل اتصال داخلی ضعیف

و ظاهر نامناسب نداشته باشد، هندسه و ابعاد فیزیکی تک تک بلوک‌ها باید مورد توجه قرار گیرد. نشست یا دیگر حرکت‌های خاک زیرسطح، ممکن است مشکلات مشابهی را به وجود آورد.

۵-۲-۷-۲ دال‌های بتنی درجا^۱ و سازه‌های یکپارچه

دال‌های بتنی درجاریز همان‌گونه که از اسم آنها مشخص است، روی کناره، قالب‌بندی و بتن‌ریزی می‌شوند. بتن درجاریز سلولی در ظروفی قالب‌ریزی می‌شوند که پس از سفت شدن بتن، آنرا می‌سوزانند. سلول‌هایی که بدین‌گونه شکل گرفته‌اند را می‌توان با خاک و گیاه پر نمود. بتن سلولی می‌تواند مسلح باشد و یک لایه محافظ آب‌گذر ایجاد نماید.

کاربرد بتن درجاریز (دال یا سلولی) در حفاظت آبراه‌ها، مستلزم اجرا در شرایط محیطی خشک یا استفاده از لوله‌های بتن‌ریزی ترمی^۲ می‌باشد.

پوشش بتنی درجاریز، بیشتر زمانی استفاده می‌شود که استحکام، طول عمر یا قابلیت تطابق با هندسه سطحی متغیر، ملاحظات طراحی مهمی باشند. چنین کاربردهایی عبارتند از:

- مناطق استراتژیک که طول عمر زیاد و حداقل تعمیر و نگهداری، لازمه‌های آن است،
- نواحی دسترسی،
- تبدیل‌های^۳ مجاور سازه‌ها، و
- آبراه‌های زهکشی فاضلاب‌های سطحی.

هزینه اولیه زیاد و ظاهر مسطح در مقایسه با دیگر شکل‌های ساخت، استفاده از بتن درجاریز را محدود می‌کند. در مرحله طراحی، تطبیق با جابه‌جایی مورد انتظار باید مدنظر قرار گیرد. این جابه‌جایی ممکن است به دلیل نشست پی بوده و یا نتیجه انقباض و تغییر مکان حرارتی در سازه بتن باشد. با ایجاد درز جابه‌جایی^۴ می‌توان تا حدی انعطاف‌پذیری ایجاد نمود. بتن درجاریز، مسطح ناتراوا است. بنابراین مهم است که پیش‌بینی مناسبی برای انطباق با جریان آب‌های زیرزمینی انجام گیرد (توسط ایجاد سوراخ‌های زهکشی).

در صورت طراحی و ساخت صحیح و جزییات لبه‌ای خوب، بتن پوشش خوبی ایجاد می‌نماید که تا حد زیادی نیاز به تعمیر و نگهداری ندارد مگر زمانی که به تعویض درزگیر در درزهای جابه‌جایی نیاز باشد.

۵-۲-۷-۱ کیسه‌های پر شده از بتن

کیسه‌های پر شده از بتن، دارای قدمت استفاده‌ای طولانی برای ساخت و تعمیر کناره رودخانه‌ها و کانال‌ها می‌باشند. کیسه گونی‌های قدیمی، هنوز معمولاً ترجیح داده می‌شوند اگرچه کیسه‌های بافته شده مصنوعی نیز در حال حاضر در دسترس می‌باشند. کیسه گونی‌های قدیمی دارای این مزیت است که حفره‌های باز بافت آن، اجازه می‌دهد دوغاب سیمان پس از پر شدن

1 - Cast in - situ

2 - Tremie pipe

3 - Transition

4 - Movement Joint

کیسه از حفره‌ها گذر کرده و همچنین این کیسه‌ها به مرور زمان پوسیده شده و بتن محتوی آنها برجای بماند. کیسه‌ها معمولاً با مخلوط خشک بتن پر می‌شوند.

ساخت کیسه‌های بتنی، بسیار مناسب، سریع و راحت بوده و تعمیر آنها نیز راحت و سریع می‌باشد ولی با این حال، نصب آنها پر زحمت بوده و به‌خاطر هزینه جایگذاری و ظاهر نامطلوبشان، عموماً در کارهای موقتی و تعمیراتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای دستیابی به سطح تماس کافی بین ردیف‌های کیسه، نباید آنها را کامل پر نمود. برای جلوگیری از جابه‌جایی، کیسه‌ها ممکن است با استفاده از میلگردهای فولادی نرم به قطر ۱۲ میلی‌متر که از هر سه کیسه گذرانده می‌شود، به یکدیگر متصل گردند. شکل‌های مشابه ساخت را می‌توان با پر کردن کیسه‌ها از خاک رس یا ماسه به‌دست آورد؛ اگرچه این نوع ساخت‌ها عمر کوتاه‌تری خواهند داشت و از این رو معمولاً برای اهداف اضطراری مانند کنترل سیلاب و حفاظت تأسیسات مهم از خطر سیلاب به کار می‌روند. تنها کیسه‌هایی که از مخلوط خاک - سیمان یا ماسه - سیمان پر شده‌اند، برای حفاظت درازمدت دیواره‌ها توصیه می‌شود.

۹-۷-۲-۵ پوشش آسفالتی

به هر نوع ترکیبی از قیر و سنگدانه‌های معدنی، آسفالت گفته می‌شود. خواص ویسکوالاستیک آسفالت عبارتند از:

- صلیبیت تحت بارگذاری‌های کوتاه مدت
- انعطاف‌پذیری تحت بارگذاری‌های درازمدت. این خواص، موارد استفاده بالقوه‌ای در ساخت پوشش‌ها برای این ماده به‌وجود آورده است. مخلوط آسفالت را می‌توان به صورت آب‌گذر یا آب‌ناگذر طراحی نمود. استفاده از آسفالت، عموماً به دلیل در دسترس بودن گزینه‌های مختلف دیگر و نیز طبیعت تخصصی طرح، اختلاط و پخش آن، گستره وسیعی ندارد.

۱۰-۷-۲-۵ انواع مخلوط آسفالتی

آسفالت ماسه‌ای^۱ و آسفالت سنگی باز^۲، جزء مخلوط‌های آسفالتی آب‌گذر و آسفالت ماستیکی^۳، بتن آسفالتی^۴ و آسفالت سنگی متراکم^۵، جزء مخلوط‌های آسفالتی آب‌ناگذر می‌باشند.

- آسفالت ماسه‌ای: شامل ترکیب ماسه با ۳ تا ۵ درصد وزنی قیر می‌باشد.
- آسفالت سنگی باز: از اختلاط ماستیک با سنگ تشکیل می‌گردد، به‌گونه‌ای که سطح سنگ را کاملاً بپوشاند. یک مخلوط نرمال از نظر وزنی، باید شامل ۸۰ درصد سنگ و ۲۰ درصد ماستیک باشد. مزیت آسفالت سنگی باز، قابلیت رشد پوشش گیاهی روی آنهاست.
- آسفالت ماستیکی: شامل مخلوطی متراکم از ماسه، پرکننده و قیر می‌باشد.

1 - Sand asphalt
2 - Open Stone asphalt
3 - Mastic asphalt
4 - Asphaltic concrete
5 - Dense stone asphalt

- بتن آسفالتی: مخلوطی است کاملاً متراکم از شن، ماسه، پرکننده و قیر به میزان ۶ تا ۹ درصد وزنی که هدف از تولید آن مخلوطی متراکم، پایدار و با کمترین مقدار ممکن نسبت تخلخل می‌باشد.
- آسفالت سنگی متراکم: شامل مخلوطی کاملاً پر از ماستیک و سنگ می‌باشد که می‌توان آنرا در حالت داغ ریخت که پس از ریختن، در اثر وزن خودش متراکم می‌شود. چنین مخلوطی باید شامل ۵۰ تا ۷۰ درصد وزنی سنگ و ۳۰ تا ۵۰ درصد وزنی ماستیک باشد.
- آسفالت سنگی باز می‌تواند لایه محافظی آب‌گذر ایجاد نماید، در صورتی که استفاده از بتن آسفالتی، سبب ایجاد لایه محافظی بسیار با دوام و آب‌ناگذر خواهد شد. هر دو نوع این لایه‌ها باید در شرایط خشک ریخته و پخش شده و دقت گردد که عملکرد زیر لایه از ریختن مخلوط داغ متأثر نگردد.
- آسفالت سنگی متراکم را نیز می‌توان به عنوان محافظ آب ناگذر زیر آب قرار داد. ریختن آسفالت ماسه‌ای به عنوان پرکننده حجم یا مواد زیر لایه، چه در شرایط خشک و چه زیر آب امکان‌پذیر است.
- PIANC (۱۹۸۷a) ملاحظات عملی زیر را برای ضخامت لایه محافظ در آسفالت‌های سنگی باز ارائه نموده است:
(جدول ۵-۲)

جدول ۵-۲ - ضخامت لایه محافظ آسفالت سنگی

ضخامت لایه محافظ	نوع آبراه
۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر	رودخانه‌های کوچک با کشتیرانی محدود
۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر	رودخانه‌های بزرگ و آبراه‌های کشتیرانی

برای لایه‌های محافظ نازک‌تر از ۱۲۰ میلی‌متر، ابعاد سنگ در محدوده ۱۶mm تا ۲۲mm و برای لایه‌های ضخیم‌تر، ابعاد سنگ در محدوده ۲۰mm تا ۴۰mm پیشنهاد شده است.

۵-۲-۷-۱۱ دوغاب ماستیک

از دوغاب ماستیک می‌توان همراه حفاظت‌هایی مانند پوشش سنگی ریپرپ، سنگ‌چین، روکش‌های توری‌سنگی و حفاظت‌های انجام شده با بلوک بتنی استفاده کرد. دوغاب ماستیک نسبت به ملات سیمان انعطاف‌پذیری بیشتری برای پوشش ایجاد می‌نماید. استفاده مؤثر از این کاربرد دوغاب، مانند بسیاری از دیگر استفاده‌های دوغاب‌ریزی، نیازمند تجربه و قضاوت مهندسی است.

کاربرد ماستیک با هریک از مواد محافظ یاد شده، می‌تواند به سه صورت انجام پذیرد:

- پر نمودن کامل درزها و ترک‌های موجود در پوشش به گونه‌ای که لایه محافظ را آبنگذر نماید که به آن دوغاب‌ریزی کامل گفته می‌شود.
- پوشاندن یکنواخت سطح پوشش ولی نه به گونه‌ای که دوغاب به درون آن نفوذ کند. در این صورت، پوشش اندکی نفوذپذیر باقی می‌ماند که به آن دوغاب‌ریزی سطحی گفته می‌شود.
- دوغاب‌ریزی در بخشی از پوشش به صورت موضعی و سایر قسمت‌ها بدون دوغاب‌ریزی، که به آن دوغاب‌ریزی نمونه‌ای یا ناقص^۱ (ظاهری) گفته می‌شود.

۵-۲-۱ روش‌های حفاظتی

روش یک نوع پوشش محافظ انعطاف‌پذیر است که روی کناره رودخانه قرار داده شده و تا بستر آن ادامه یافته و برای پوشاندن سطحی که در معرض فرسایش قرار دارد به کار می‌رود. انواع روش‌ها از مصالحی مانند قطعات بتنی مسلح یا غیرمسلح (که به کمک سیم یا میله به هم متصل شده باشد)، قطعات سنگ، توری‌سنگ، آسفالت یا شاخ و برگ درختان و چوب و الوار و غیره ساخته می‌شود.

۵-۲-۱-۱ روش‌های توری‌سنگی^۲

توری‌سنگی برای کارهای حفاظتی کناره بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گونه روش‌ها به لایه محافظ سنگی استحکام بیشتری می‌بخشند، به طوری که نسبت به آنچه در پوشش سنگی استفاده می‌شود می‌توان ابعاد و ضخامت کوچک‌تری برای سنگ انتخاب نمود. با این حال، بسیاری از خصوصیات مطلوب استفاده از سنگ‌های طبیعی (مانند در دسترس بودن، انعطاف‌پذیری و غیره) باقی خواهد ماند. کوچک‌تر بودن ابعاد سنگ‌ها به معنی کمتر بودن سرعت جریان در لایه محافظ است که خود موجب کاهش لازمه‌های حفاظت در مقابل فرسایش در سطح مشترک با لایه‌های زیرسطحی و همچنین کاهش زبری هیدرولیکی خواهد شد. شکل (۵-۱۲) نمونه‌ای از روش‌های توری‌سنگی را نشان می‌دهد.

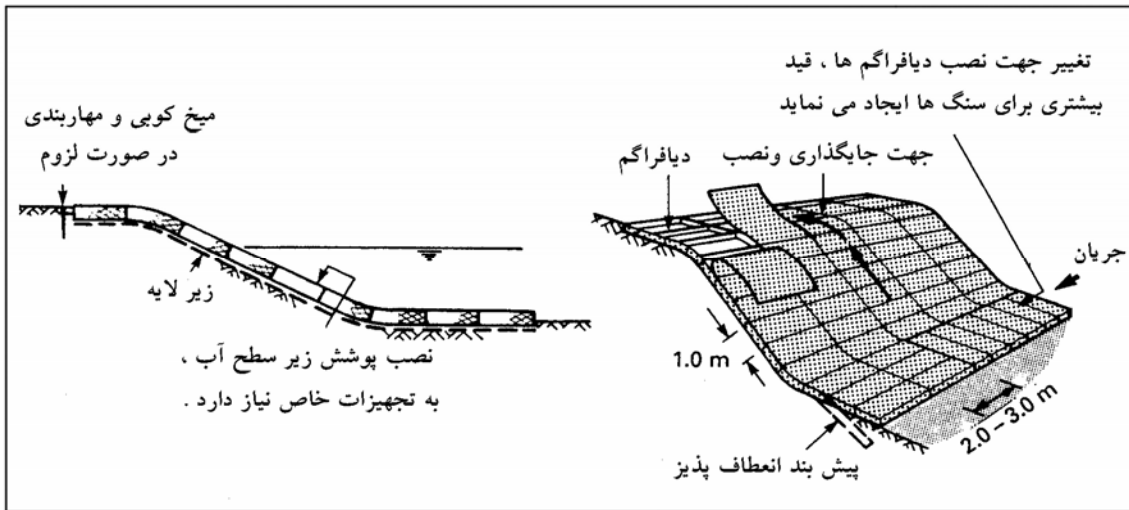
روش‌های توری‌سنگی می‌توانند حفاظت مناسبی در مقابل فرسایش حاصل از امواج ملایم ناشی از حرکت قایق یا وزش باد باشند. این روش‌ها معمولاً روی شیب‌های کمتر از ۱ به ۱/۵ اجرا می‌گردند.

پایداری روش‌های توری‌سنگی را می‌توان با تزریق جزیی یا کامل آسفالت ماستیکی که جابه‌جایی منفرد سنگ‌ها را محدود می‌کند، افزایش داد.

روش‌های توری‌سنگی را می‌توان در آب کم‌عمق به صورت درجاریز پر نمود ولی در صورتی که عمق بیش از ۰/۵ متر باشد، جعبه‌های آنها باید قبل از جایگذاری توسط جرثقیل یا لغزاندن از روی سکوی مناسب، پرشود. جایگذاری ممکن است از روی کناره یا در صورت لزوم از روی بارج انجام پذیرد. برای جایگذاری نوع از پیش پر شده، روش باید استحکام و انعطاف‌پذیری کافی داشته باشد.

1 - Pattern grouting

2 - Gabion mattress revetment



شکل ۵-۱۲- روکش های توری سنگی

۲-۱-۲-۵ روکش های توری سنگی لوله ای^۱

توری سنگی های لوله ای منفرد جایگذاری و ساخته شده از شبکه پلیمری با مدول زیاد^۲ را می توان برای ایجاد نوعی روکش روی شیب کناره قرار داد. این روش حفاظت که توسط هال^۳ (۱۹۸۴) معرفی گردید، کاربرد زیادی ندارد.

۳-۱-۲-۵ بلوک های بتنی پیش ساخته با اتصال کابلی^۴ یا ژئوتکستایلی

در این نوع حفاظت، اتصال کابلی در یک یا دو جهت صفحه روکش انجام می گیرد. کابل ها ممکن است فولادی و یا از رشته های مصنوعی مانند پلی پروپیلن باشند. نوع دوم کابل ها، مرسوم تر است زیرا کابل های مصنوعی ارزان ترند و کمتر از کابل های فولادی در معرض خوردگی قرار دارند.

در سامانه های اتصال ژئوتکستایلی، بلوک ها مستقیماً به لایه ژئوتکستایل متصل می گردند که این امر یا به صورت ساختن بلوک ها داخل اتصال دهنده های ثابت شده روی ژئوتکستایل بوده و یا پس از ساختن بلوک ها به وسیله چسب و خارهای اتصال دهنده، می باشد. ژئوتکستایل ساخته شده باید مقاومت کافی را به عنوان یک اتصال دهنده داشته و نیز بعضی وظایف یک زیرلایه را انجام نماید.

بلوک هایی که برای تشکیل یک روکش بزرگ انعطاف پذیر با کابل به یکدیگر بسته شده اند و یا به ژئوتکستایل اتصال یافته اند، می توانند نسبت به سایر انواع بلوک ها مزیت های زیر را داشته باشند:

- انعطاف پذیری بیشتر که موجب حفظ پیوستگی بلوک ها، برای محدود ساختن شرایط ناشی از بارگذاری های فوق العاده می گردد،

1 - Tubular gabions
2 - High - modulus
3 - Hall (1984)
4 - Cable - tied

- کاهش احتمال گسترش گسیختگی موضعی در اثر بارگذاری فوق‌العاده یا تغییر شکل،
 - چیدن ساده‌تر در زیر آب، و
 - سرعت چیدن بیشتر، از جمله در دوختن سامانه به لایه زیر سطحی خاک.
- ساخت این سامانه‌ها در پیچ‌های تند رودخانه‌ها مشکل است و در چنین شرایطی در صورت امکان باید از به‌کاربردن این روکش‌ها اجتناب نموده و از پوشش‌های نایستا یا بلوک‌های پرکننده استفاده کرد. در چنین شرایطی، استفاده از بلوک‌های درگیر یا پوشش سنگی آسان‌تر است.
- در مورد کابل‌های مصنوعی که برای اتصال بلوک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، ملاحظات زیر باید مدنظر قرار گیرد:
- مقاومت درازمدت،
 - عدم ساییدگی، و
 - امکان کارگذاری مجدد در صورت خرابی.
- هنگامی که روکش زیر آب ساخته می‌شود، دقت در آماده‌سازی بستر ضروری است به نوعی که اتصال خوبی بین خاک زیرسطحی و کلیه بلوک‌ها فراهم آید. همچنین باید دقت کافی برای اطمینان از بی‌عیب بودن لایه‌های حفاظ واقع در محل‌های اتصال لایه‌های هم‌جوار به عمل آید، خصوصاً در مواقعی که این لایه‌ها به یکدیگر اتصال فیزیکی نداشته باشند.

۴-۱-۲-۵ روکش‌های پرشده با دوغاب

انواع مختلفی از روکش‌های مصنوعی خاص در دسترس است که می‌توان آنها را پس از جایگذاری با پمپاژ دوغاب یا بتن پر نمود. روکش‌ها مانند ظرفی عمل می‌نمایند که پرکننده خود را در برگرفته و در مدت جایگذاری از آن محافظت می‌نمایند. تداوم طولانی‌مدت مواد سطحی این نوع روکش در محیط کناره باید مدنظر قرار گیرد. اگر مقاومت کششی موردنیاز باشد، در این صورت داخل روکش برای نگه‌داشتن بتن باید مسلح شده باشد. بعضی بافته‌های پلی‌استری که روکش‌ها از آنها ساخته می‌شوند، ممکن است توسط بازهای قوی تولید شده توسط بتن سخت شده مورد حمله و آسیب قرار گیرند.

۵-۱-۲-۵ ژئوتکستایل‌ها^۱

این بخش کاربردهایی از روکش‌ها را شامل می‌شود که ژئوتکستایل، بخش اصلی لایه محافظ می‌باشد. مواد مصنوعی مختلفی برای استفاده به عنوان پوشش ناتراوای آبراه برای مهار نشت ساخته شده است. بعضی از آنها با مقاومت بالا و طول عمر زیاد ساخته شده و می‌توانند گاهی بدون حفاظت سطحی بیشتری مورد استفاده قرار گیرند. چنین مواد پوششی مصنوعی، ژئوتکستایل آب‌ناگذر بوده و به غشاءها^۲ معروفند.

ژئوتکستایل‌ها به صورت روکش‌های سه‌بعدی، سامانه‌های شبکه‌ای محدود و شبکه‌های دو بعدی تولید می‌گردند. در ادامه، مشخصات هریک از تولیدات مذکور تشریح می‌گردد.

1 - Geotextiles
2 - Geomembranes

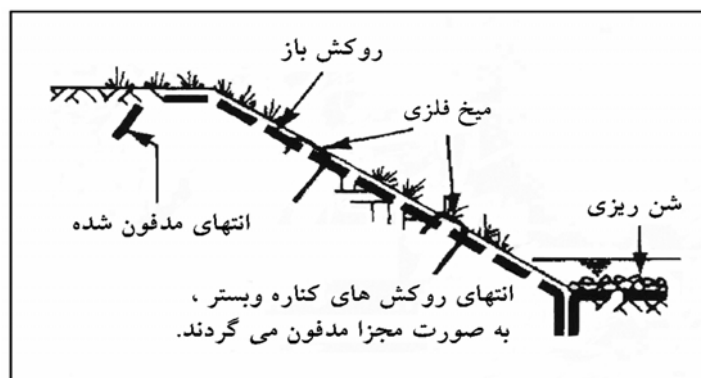
۵-۲-۱-۵-۱ روکش‌های سه بعدی

روکش‌های ژئوتکستایلی که برای حفاظت آبراه به کار می‌روند، عموماً از رشته‌های کربن سیاه که برای ایجاد مواد ساخته شده باز با بیش از ۹۰ درصد فضای آزاد استفاده می‌گردند، ساخته می‌شوند. ضخامت روکش‌های موجود، معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر است. برای حفاظت زیر سطح نرمال آب، بافت ساخته شده باز، پس از جایگذاری در محل، با شن پر شده و یا روکش قبلاً با مواد آسفالت سنگی باز پر می‌شود. در هر دو حالت، در سطح بالای تراز آب، می‌توان پوشش گیاهی به وجود آورد.

روکش بازی را که با شن پر می‌شود، می‌توان تا حدی به عنوان قیود اضافی دانه‌های سنگ در نظر گرفت. روکش‌های از پیش پر شده می‌توانند لایه محافظ پایداری را در مقابل بارگذاری هیدرولیکی ملایم با سرعت‌های تا حدود ۲ متر بر ثانیه ایجاد نمایند. انواع خاصی از این گونه ژئوتکستایل‌ها با وزن‌های ظاهری مختلف (نوعاً حدود ۲۰ کیلوگرم بر متر مربع) تولید می‌شود. طراحی آنها تا حد زیادی تجربی است و توصیه‌های سازنده با تأکید بر داده‌های در دسترس اجرایی، باید مورد توجه قرار گیرد. تجارب عملی پیرامون آبراه‌های با پوشش گیاهی مسلح به ژئوتکستایل (هیولت و دیگران ۱۹۸۷) نشان داده است که روکش‌های ژئوتکستایلی در جریان‌های با سرعت بالا تمایل به ناپایداری نشان می‌دهند.

روکش‌های سه بعدی به صورت رول‌هایی با عرض مشخص به کار می‌روند. در صورت لزوم، برای حفاظت کناره در بالا و پایین سطح آب، روکش‌های ترکیبی که بخشی از آنها از قبل پر می‌شود استفاده می‌گردد. در صورت دسترسی مناسب و تمیز بودن آبراه، روکش‌ها به راحتی نصب خواهند شد. لبه روکش در بالای شیب، درون ترانشه‌ای محکم شده و پایین آن نیز در صورت لزوم نگه‌داشته می‌شود (شکل ۵-۱۳). میخ‌های فلزی روی شیب در فواصل منظم (۱ تا ۲ متر) برای ایجاد تماس در نزدیک روکش و خاک‌های زیرسطحی استفاده می‌گردد. روکش‌های از پیش پر شده را می‌توان زیر آب و در شرایط جریان‌های ملایم (تا ۱ متر بر ثانیه) استفاده نمود.

دقت لازم برای جلوگیری از خسارت دیدن روکش توسط گله‌های حیوانات، چه زیر سطح آب و چه قبل از ایجاد پوشش گیاهی در بالای سطح آب، باید به عمل آید.



شکل ۵-۱۳- حفاظت با روکش ژئوتکستایل

۲-۵-۱-۲-۵ سامانه‌های شبکه‌ای محدود^۱

سامانه‌های شبکه‌ای محدود برای افزایش مقاومت کناره در مقابل گسیختگی کم‌عمق قابل استفاده می‌باشند. این ژئوتکستایل‌ها از مواد مصنوعی مانند پلی‌اتیلن و به شکل شانه‌عسل عمیق، از ساختمان‌های پرشده سلولی ساخته می‌شود. چنین سامانه‌ای خود به تنهایی قیدی در مقابل لغزش به طرف پایین شیب ایجاد نموده و ساختمان سلولی نیز می‌تواند برای لایه‌های سطحی، مقاومت بیشتری را در مقابل فرسایش توسط جریان‌های موازی شیب ایجاد نماید. مواد باقی‌مانده می‌توانند شن، مواد قیری یا خاک ساده برای رشد پوشش گیاهی کناره باشند.

۳-۵-۱-۲-۵ شبکه‌های دو بعدی

شبکه‌های دو بعدی بافته شده و بافته نشده را می‌توان برای ایجاد حفاظت‌های کوتاه‌مدت خاک کناره در نواحی با بار هیدرولیکی کم به کار گرفت. اندازه مناسب حفره‌ها انتخاب گردیده و تماس مناسب بین ژئوتکستایل و خاک زیرین حفظ می‌گردد. در جاهایی که ژئوتکستایل در معرض نور فرابنفش قرار دارد، باید مواد بادوام مناسب انتخاب شود. کیسه‌های ژئوتکستایلی برای کارهای موقتی و دائمی، و به روشی مشابه کیسه‌های پر شده از بتن، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۶-۱-۲-۵ روکش‌های آسفالتی پیش ساخته

روکش‌های آسفالتی پیش ساخته را می‌توان زیر آب قرارداد ولی دقت لازم برای آماده‌سازی بستر برای ایجاد تماس بهتر بین روکش و بستر، باید اعمال گردد. برای آبراه‌های اصلی، روکش باید مسلح به فلز یا پلیمر ساخته شود. درزهای زیر آب باید مورد توجه قرار گرفته و با همپوشانی یا تزریق ماستیک، آنها را از بین برد. (PIANC (۱۹۸۷a) ملاحظات عملی زیر را برای ضخامت لایه محافظ در روکش‌های آسفالتی پیش ساخته ارائه نموده است: (جدول ۳-۵)

جدول ۳-۵ - ضخامت روکش آسفالتی پیش ساخته

نوع آبراه	ضخامت روکش آسفالتی پیش ساخته
رودخانه‌های کوچک با کشتیرانی محدود	۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر
رودخانه‌های بزرگ و آبراه‌های کشتیرانی	۱۵۰ میلی‌متر

وقتی مصالح ماسه‌ای در رودخانه و نیز فرآورده‌های نفتی و قیری موجود باشد این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد. نفوذناپذیری سازه و اعمال نیروی تراوش آب، از معایب این نوع روکش‌ها است.

۶- روش‌های حفاظت غیرمستقیم^۱

حفاظت غیرمستقیم کناره رودخانه‌ها، به عملیاتی گفته می‌شود که در داخل رودخانه باعث کاهش نیروی جریان در برخورد با کناره‌ها می‌شود. در حقیقت این روش‌ها با کاهش سرعت جریان در نزدیکی کناره‌ها یا با انحراف جریان از کناره به داخل رودخانه از نیروهای هیدرولیک جریان در تماس با کناره فرسایش‌پذیر می‌کاهد به نحوی که میزان آن، کمتر از نیروهای لازم برای فرسایش خاک کناره گردد.

۱-۶ مزایا و معایب حفاظت غیرمستقیم

حفاظت غیرمستقیم، در مقایسه با حفاظت مستقیم دارای مزایا و معایبی است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

۱-۱-۶ مزایای حفاظت غیرمستقیم

- عدم نیاز به آماده‌سازی کناره‌ها، در نتیجه کناره‌ها کمتر دستخوش تغییر قرار می‌گیرد. این مسئله از نظر کاهش هزینه‌ها و محیط زیست حایز اهمیت است.
- مسیر رودخانه^۲ یا مقطع جریان^۳، در هنگام حفاظت غیرمستقیم، می‌تواند اصلاح و بهسازی شود؛ اگرچه اصلاح مسیر و مقطع ممکن است قابل پیش‌بینی و سودمند نباشد.
- حفاظت غیرمستقیم معمولاً پایداری ژئوتکنیکی خاک کناره را تقویت می‌کند و علت آن رسوبگذاری در پنجه کناره است؛ اگرچه روند رسوبگذاری ممکن است بسیار کند باشد.

۲-۱-۶ معایب حفاظت غیرمستقیم

- در کناره‌هایی که فرسایش ناشی از رواناب سطحی مشکل اساسی است، حفاظت غیرمستقیم راه حل مناسبی برای آن نخواهد بود.
- سازه‌های حفاظت غیرمستقیم تأثیرات عمده‌ای روی مسیر جریان، مقطع هندسی رودخانه، ضریب زبری و سایر عوامل هیدرولیکی خواهد گذاشت، بنابراین باید تغییرات مورفولوژیکی آبراهه مورد توجه قرار گیرد.
- بعضی از سازه‌های حفاظت غیرمستقیم در رودخانه‌هایی که برای کشتیرانی یا اهداف تفریحی^۴ مورد استفاده قرار گیرد، یک مانع خطرآمیز خواهد بود. همچنین از نظر حفظ زیبایی طبیعت نیز بعضی از این سازه‌ها مطلوب نمی‌باشد.
- از آنجا که روش‌های غیرمستقیم حفاظت در داخل رودخانه احداث می‌شود، از نظر ساخت، خصوصاً در زمان‌های پرآبی، ممکن است با مشکلات اجرایی روبرو شود. پس از اجرا نیز، چون همواره این‌گونه سازه‌ها با جریان‌های سیلابی مواجه است، در طول عمر سازه باید به طور مستمر مورد بازرسی و نگهداری قرار گیرد [۶].

1 - Indirect Protection
2 - Channel alignment
3 - Geometry
4 - Recreation

حفاظت غیرمستقیم بر مبنای تأثیری که روی جریان می‌گذارد، به دو دسته کلی روش‌های انحراف‌دهنده^۱ و روش‌های آرام‌کننده جریان^۲ تقسیم می‌شود.

۲-۶ روش‌های انحراف‌دهنده جریان

نقش این سازه‌ها، انحراف و دورسازی جریان از کناره‌های رودخانه و هدایت آن به سمت محور جریان می‌باشد. این روش‌ها مبتنی بر ساخت سازه‌های عرضی در بستر رودخانه هستند که از کناره رودخانه به سمت محور جریان گسترش می‌یابد. آبشکن صلب (نفوذناپذیر^۳) و آبشکن کوتاه^۴ از مهم‌ترین سازه‌های انحراف‌دهنده جریان می‌باشند.

۱-۲-۶ آبشکن صلب (نفوذناپذیر)

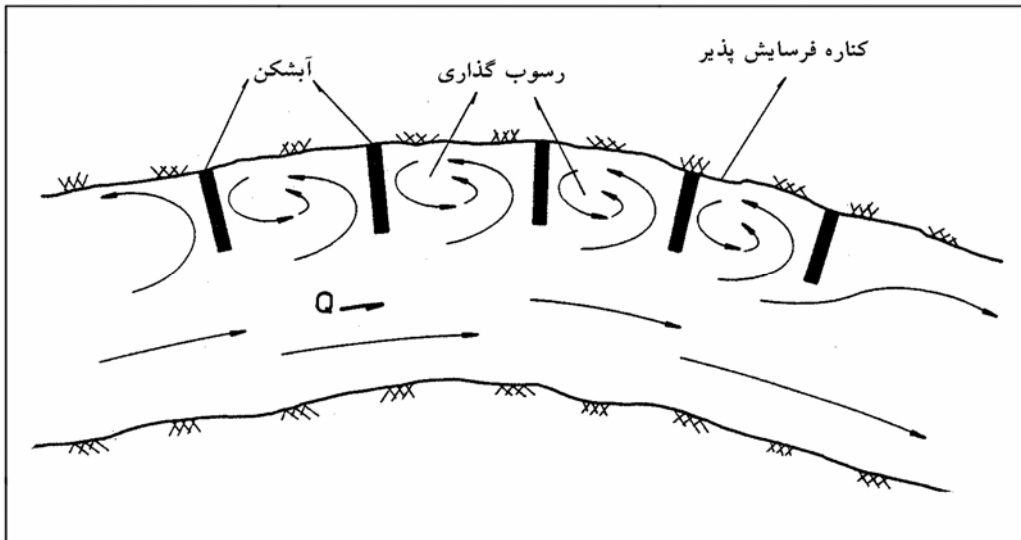
آبشکن‌ها، سازه‌هایی هستند که از مصالح مختلفی مانند سنگ، شن، خاکریز و بتن به صورت مورب نسبت به جریان رودخانه ساخته شده و از ساحل به سوی رودخانه امتداد می‌یابد. ابتدای آن به نام ریشه در ساحل رودخانه و انتهای آن به نام سرآبشکن^۵ داخل رودخانه قرار می‌گیرد.

هدف از احداث آبشکن‌ها، انحراف و تغییر مسیر جریان از نواحی بحرانی و حفاظت کناره‌ها از فرسایش می‌باشد. علاوه بر آن آبشکن‌ها، برای اهداف کنترل سیل، بهسازی بستر و مسیر آبراهه برای کشتیرانی و حفاظت از سازه‌های رودخانه‌ای به کار می‌رود.

آبشکن‌ها به طور کلی به نوع باز یا نفوذپذیر^۶، و توپر^۷ یا نفوذناپذیر^۸ تقسیم می‌شود. آبشکن نفوذناپذیر که معمولاً از توده سنگ‌چین و با یک هسته خاکی ساخته می‌شود، به عنوان دفع و انحراف جریان از کناره‌ها به کار می‌رود، در حالی که آبشکن نفوذپذیر به علت عبور جریان از بدنه آن، باعث آرام‌شدن جریان در مجاورت کناره‌ها می‌گردد. بنابراین آبشکن‌های نفوذناپذیر از روش‌های انحراف‌دهنده جریان و آبشکن نفوذپذیر آرام‌کننده جریان می‌باشند.

جریان رودخانه در محدوده بین دو آبشکن نفوذناپذیر متوالی با کاهش سرعت و چرخش مواجه است. در فضای محصور بین آبشکن و کناره رودخانه، وضعیت جدا شدن خطوط جریان از مسیر اصلی و چرخش آن مهم‌ترین عاملی است که جریان را در این نواحی آرام می‌نماید؛ در ضمن سرعت جریان بسیار کم خواهد بود. آرام شدن جریان علاوه بر آنکه موجب فرسایش نخواهد شد، بلکه باعث رسوبگذاری و تثبیت کناره نیز می‌گردد. شکل (۱-۶) وضعیت جریان در بین آبشکن‌های صلب و شکل (۲-۶) نمایی از یک آبشکن نفوذناپذیر با مصالح سنگی را نشان می‌دهد.

-
- 1 - Flow deflectors
 - 2 - Flow retarders
 - 3 - groyne
 - 4 - hard point
 - 5 - head
 - 6 - Permeable
 - 7 - Solid
 - 8 - Impermeable



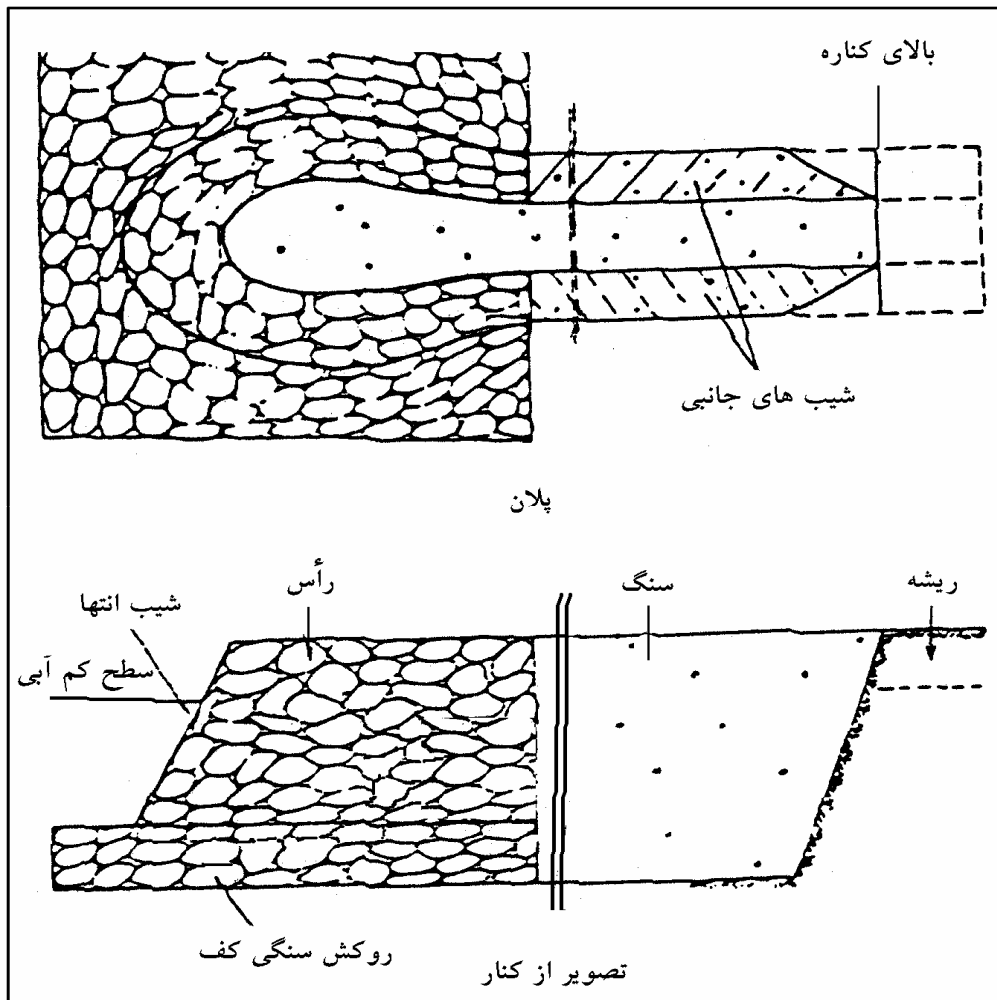
شکل ۶-۱- وضعیت جریان و رسوبگذاری در بین آبشکن

۶-۱-۲-۱ انواع آبشکن صلب

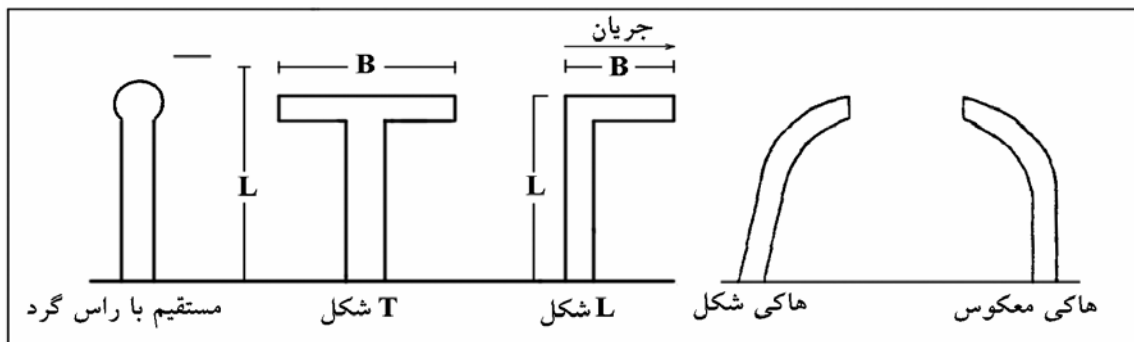
آبشکن‌های نفوذناپذیر، برحسب تراز تاج آن (نسبت به عمق آب) به نوع مستغرق و غیرمستغرق تقسیم می‌شود. تراز تاج آبشکن مستغرق، پایین‌تر از سطح آب نرمال بوده و معمولاً در طول سال در زیر آب قرار می‌گیرد. به‌طور کلی کاربرد آبشکن مستغرق محدود می‌باشد و برای رودخانه‌هایی که سطح آب در آنها در طول سال تغییرات زیادی ندارد مناسب می‌باشد. در آبشکن غیرمستغرق، تراز تاج، بالاتر از سطح آب نرمال رودخانه است و غالباً آبشکن‌ها به صورت غیرمستغرق احداث می‌شود.

آبشکن‌ها برحسب شکلی که در پلان دارند، به انواع زیر تقسیم‌بندی می‌شوند شکل (۶-۳):

- آبشکن‌های مستقیم، با زاویه‌ای نسبت به کناره قرار می‌گیرند و دماغه آنها حجم و سطح بیشتری را برای حفاظت در مقابل آب‌شستگی انتهایی بیرونی فراهم می‌سازد،
- آبشکن‌های T شکل دارای یک ساق مستقیم با یک پره عمود بر آن در انتهای بیرونی می‌باشند. زاویه در سمت کناره معمولاً ۹۰ درجه است،
- آبشکن‌های L شکل رسوب بیشتری را تله‌اندازی می‌کنند، آب‌شستگی کمتری در پای آنها رخ می‌دهد و حفاظت بیشتری را برای کناره‌ها فراهم می‌کنند. در مواردی نیز که طول آنها ۴۵ تا ۶۵ درصد فاصله بین آبشکن‌ها باشد، در ساماندهی رودخانه برای مقاصد ناوبری کارایی بیشتری دارند، و
- در آبشکن‌های چوگانی شکل، مساحت حفره‌های آب‌شستگی بیشتر از آبشکن‌های T شکل است و به نظر می‌رسد این نوع آبشکن‌ها مزیتی نسبت به سایر آبشکن‌ها نداشته باشد [۱۲].



شکل ۶-۲- نمای از یک آبشکن نفوذ ناپذیر با مصالح سنگی



شکل ۶-۳- انواع مختلف آبشکن از نظر شکل پلان

آبشکن‌های مستقیم، ممکن است عمود بر محور کناره، و یا تحت زاویه کمی به سمت بالادست یا پایین‌دست رودخانه متمایل باشد. آبشکن‌هایی که به طرف پایین‌دست متمایل شده‌اند آبشکن جذب‌کننده^۱ نامیده می‌شود که جریان رودخانه را به سمت آبشکن و کناره جذب می‌کند. آبشکن‌هایی که به سمت بالادست رودخانه قرار گرفته آبشکن دفع‌کننده^۲ نامیده شده و جریان را از کناره و آبشکن منحرف می‌سازد.

آبشکن‌هایی که متمایل به سمت بالادست هستند، گودال فرسایش را از کناره رودخانه دور کرده و شرایط بهتری را برای تثبیت کناره ایجاد می‌کند [۱۲].

۲-۱-۲-۶ ملاحظات طراحی آبشکن‌ها

طراحی و انتخاب نوع و ابعاد آبشکن به طور طبیعی به شرایط محلی، مصالح در دسترس، ملاحظات اقتصادی و اهداف طرح بستگی دارد. مهم‌ترین اجزا و ابعادی که در طراحی آبشکن باید مد نظر قرار گیرد، عبارتست از [۱۲]:

- تعیین نوع آبشکن از نظر نفوذپذیری و مستغرق بودن،
- تعیین مصالح ساخت با توجه به ویژگی‌های طرح،
- انتخاب شکل پلان و زاویه استقرار آن نسبت به محور جریان،
- طول آبشکن با در نظر گرفتن عرض رودخانه،
- فاصله بین آبشکن‌ها،
- تعیین تراز تاج آبشکن با توجه به هیدرولیک جریان، و
- عمق حداکثر فرسایش پنجه آبشکن.

۲-۲-۶ موانع و نقاط سخت^۳

این سازه‌ها که از قرار دادن قطعات سنگ، بنا خواهند شد، از کناره به داخل رودخانه با طول کمی قرار داده می‌شوند. قسمتی که در داخل آبراهه‌ها به عنوان مانع جریان است با قسمت ریشه سازه که ادامه سنگ‌چین سازه در درون کناره است تکمیل می‌گردد. از آنجایی که قسمت پایینی سازه در داخل آب و قسمت بالایی (که در کناره نفوذ نموده) سطح آن با خاک و پوشش گیاهی پوشیده می‌شود، قسمت زیادی از سازه نمایان نیست. این سازه‌ها برای بازه‌های طولانی و مستقیم و قوس‌های ملایم که مستقیماً در معرض برخورد جریان نیستند مناسب است. در چنین بازه‌هایی، خطوط جریان تقریباً موازی خط کناره‌ها می‌باشد. تراز تاج موانع سخت را معمولاً هم‌سطح تراز آب نرمال قرار می‌دهند. موانع سخت در واقع یک آبشکن با طول کوتاه است، بنابراین عملکرد آن مانند رفتار آبشکن‌ها می‌باشد [۱۰].

1 - Attracting groyne
2 - Repelling groyne
3 - Hard point

۳-۲-۶ آبشکن پره‌ای^۱

آبشکن پره‌ای سازه‌های کوتاهی هستند که برای هدایت جریان به سمت خلاف کناره‌های فرسایش‌پذیر طراحی می‌شوند. این سازه‌ها از قطعات تخته سنگ یا هر مصالحی که در برابر فرسایش مقاوم باشد ساخته شده و سطح تاج آن، پایین‌تر از سطح نرمال آب قرار داده می‌شود. غالباً این سازه‌ها که تقریباً موازی جریان ساخته می‌شود، برای افزایش عمق آب در گذرگاه‌ها^۲ به منظور افزایش عمق برای کشتیرانی به کار می‌رود. آبشکن پره‌ای علاوه بر آنکه موازی خط کناره و خط جریان ساخته می‌شود، تحت زاویه‌ای به طرف کناره یا به طرف وسط جریان نیز به کار برده می‌شود [۱۰].

۳-۳-۶ روش‌های آرام کردن جریان

در این روش‌ها، سازه‌های نفوذپذیر در کناره‌های رودخانه قرار گرفته و با افزایش زبری و مقاومت جریان، سبب جذب رسوبات و مواد جامد و شناور می‌گردد. در نتیجه، کناره رودخانه به تدریج قابلیت تثبیت طبیعی را می‌یابد؛ به همین دلیل، این روش‌ها جزو روش‌های طبیعی - ساختمانی به حساب می‌آید.

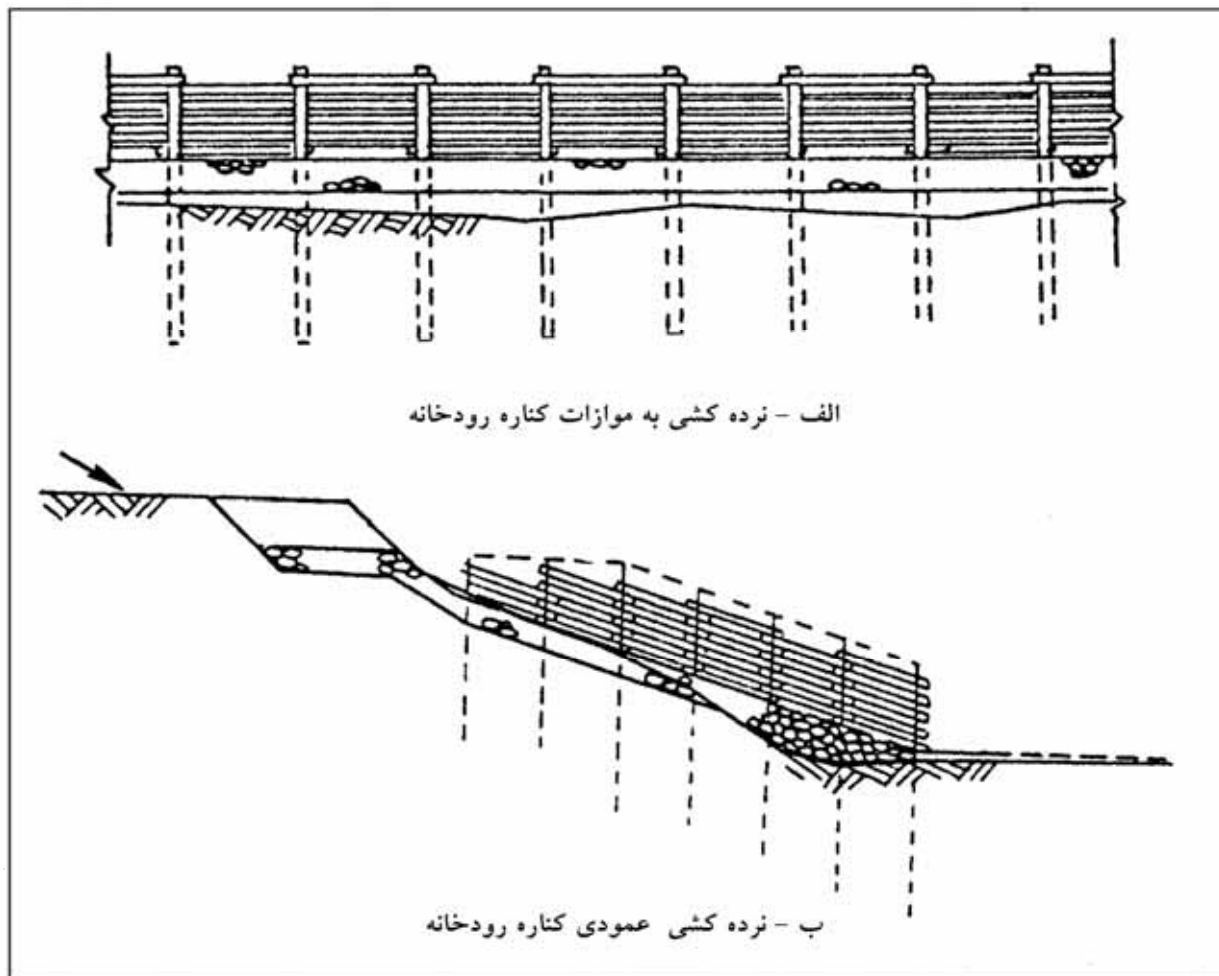
۳-۳-۶-۱ نرده‌کشی^۳

یکی از روش‌های متداول و با این حال، ساده و اقتصادی برای حفاظت کناره‌ها، به ویژه در رودخانه‌های با شیب کم، استفاده از دیواره‌های نفوذپذیر به شکل نرده می‌باشد. در این روش، از یک سازه مرکب با تیرک‌های چوبی یا فلزی که در یک یا دو ردیف موازی با دیواره و نیز در ردیف‌های عرضی و متقاطع احداث می‌شوند، استفاده می‌گردد شکل (۴-۶). اندازه چشمه توری‌ها معمولاً ۳۰ سانتی‌متر بوده و فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۱۵-۵ متر می‌باشد. در صورتی که از تیرک‌های آهنی و توری سیمی استفاده شود، ابعاد چشمه‌های توری ۱۰ سانتی‌متری پیشنهاد شده است [۱۰]. شمعک‌ها یا تیرک‌ها تا سطح متوسط کم آبی در بستر کوبیده می‌شوند تا در مواقع سیلابی صدمه نبینند. نرده‌ها باعث کاهش سرعت‌های موضعی، ترسیب واریزه‌های در پشت آنها و تسهیل در رسوبگذاری و رشد گیاهان می‌شوند.

از انواع مصالح در نرده‌کشی کناره‌های رودخانه می‌توان استفاده کرد، از جمله: چوب، ریل، تیر، لوله و بتن. در بعضی موارد، دو ردیف نرده به موازات کناره ساخته شده و بین آنها از موادی از قبیل بوته، لاستیک‌های مستعمل خودرو، سنگ یا علف پر می‌شود تا رسوبات را تله‌اندازی کنند. در مناطقی که کناره‌ها بلند بوده و شیب تندی دارند، معمولاً فقط یک ردیف نرده قرار داده می‌شود و مواد پرکننده در حد فاصل نرده‌ها و کناره قرار می‌گیرند.

این روش، برای رودخانه‌های با شیب کم ولی بار رسوبی معلق زیاد و حاوی مواد شناور مناسب می‌باشد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که این روش برای بازه‌های مستقیم (حتی با یک ردیف طولی) مؤثر بوده ولی در دیواره خارجی پیچ‌ها ضربه‌پذیر است، مگر آنکه در پشت ردیف شمع کوبی شده، مصالح سنگریزه‌ای ریخته شود [۱۰] (شکل ۴-۶).

1 - Van dike
2 - Crossing
3 - Fencing



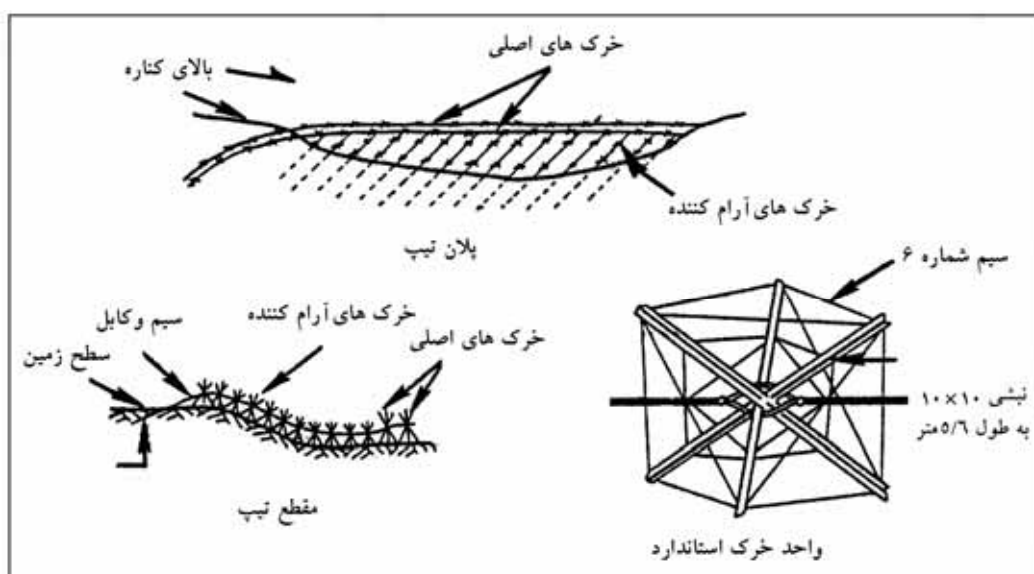
شکل ۶-۴- شکل شماتیک نرده کشی

۶-۳-۲ خرک فلزی^۱

خرک‌ها غالباً از فولاد ساخته می‌شوند؛ اگرچه بعضی از انواع آن از الوارهای چوبی تشکیل شده است. خرک‌های فلزی را از سه قطعه نبشی فلزی که در نقطه وسط آنها به هم پیچ شده‌اند می‌سازند. انتهای نبشی‌ها به وسیله سیم به هم بسته می‌شود. شکل (۶-۵). همچنین مجموعه‌ای از خرک‌ها به وسیله کابل به هم متصل شده که به مجموعه آن، جتی کلنر^۲ گفته می‌شود. خرک‌ها در بستر و نزدیک کناره رودخانه‌هایی که بستر آنها ماسه‌ای است و معمولاً احداث سایر روش‌های حفاظت پرهزینه است، به کار می‌رود. چگونگی قرار گرفتن خرک‌ها در مجاورت کناره همان‌طور که در شکل (۶-۵) مشاهده می‌شود، در دو جهت موازی با کناره که جتی اصلی^۳ و تحت زاویه‌ای بین ۴۵ تا ۷۰ درجه با کناره و به سمت پایین‌دست که جتی

1 - Steel Jacks
2 - Kellner Jetty
3 - Mainline Jetties

آرام‌کننده^۱ نامیده می‌شود قرار می‌گیرد. چگونگی عمل خرک‌ها بدین‌صورت است که با قرار گرفتن و گیرکردن اجسام معلق رودخانه در محدوده شبکه خرک‌ها، جریان رودخانه از کناره فرسایش‌پذیر فاصله گرفته و سرعت جریان در پشت خرک‌ها که در مجاورت کناره است به شکلی آرام می‌شود که در این ناحیه، رسوبگذاری آغاز می‌گردد. به همین دلیل، خرک‌ها را چندمتر جلوتر از کناره‌ها مستقر می‌کنند تا شرایط مساعدی برای رسوبگذاری در پنجه کناره ایجاد شود. بسیاری اوقات با قرار دادن قطعات چوب و بوته‌های گیاه در پشت خرک‌ها، تأثیر آن در حفاظت از کناره بیشتر می‌شود [۹]. البته الوار و قطعات چوبی که بدین‌منظور در پشت خرک‌ها قرار داده می‌شود، بهتر است توسط میخکوبی به بستر محکم شود زیرا در غیر این صورت ممکن است در مواقع سیلابی، این اجسام به طرف پایین‌دست جریان یافته و موجب مسدود شدن رودخانه و خطرات بعدی گردد. خرک‌ها غالباً به صورت شش وجهی هستند ولی این سازه‌ها به صورت چهار وجهی که از دو قطعه نبشی یا الوار تشکیل شده نیز ساخته می‌شود. جک‌های چهار وجهی برای رودخانه‌های با بار رسوبی زیاد و مواد جامد و شناور مناسب می‌باشد. همچنین کاربرد خرک‌ها برای رودخانه‌های با عمق کمتر از ۲ متر، بهترین عملکرد را داشته و اقتصادی است و برای رودخانه‌های با عمق بین ۲ تا ۳ متر نیز مناسب است ولی برای عمق بیشتر از ۳ متر، با توجه به ابعاد استاندارد خرک‌ها توصیه نمی‌شود [۷].



شکل ۶-۵- ابعاد خرک‌ها و شکل قرار گرفتن آن

۳-۳-۶ آبشکن‌های باز (آبشکن‌های شمع‌کوبی)

آبشکن‌های باز یا نفوذپذیر می‌توانند جریان را از بدنه خود عبور داده و باعث کند شدن جریان گردند. این نوع آبشکن‌ها از شمع‌های چوبی ساخته شده و عمدتاً در رودخانه‌های آبرفتی با مقادیر قابل توجه بار بستر و غلظت رسوب، کارایی بهتری دارند و باعث تسریع رسوبگذاری در اطراف خود می‌شوند؛ به این ترتیب موجبات حفاظت دیواره‌های رودخانه را فراهم می‌سازد. این رسوبگذاری در اثر ایجاد مانع در برابر جریان و کاهش سرعت آن اتفاق می‌افتد. علاوه بر این، از این آبشکن‌ها در رودخانه‌های با غلظت رسوب نسبتاً کم برای استهلاک نیروی فرسایشی جریان و حفاظت کناره‌ها استفاده می‌شود. این روش، به طور کلی برای رودخانه‌های بزرگ و با عمق زیاد و بار رسوبی کم مناسب نبوده ولی در رودخانه‌های عریض و کم‌عمق مؤثر می‌باشد. همچنین کاربرد این روش در رودخانه‌های با بستر شنی با مشکل شمع‌کوبی مواجه بوده و توصیه نمی‌گردد. برای حفاظت در مقابل آب‌شستگی، شمع‌ها تا عمق زیادی در بستر کوبیده می‌شود ولی روش معمول آن، سنگریزی در محدوده پی شمع می‌باشد.

آبشکن‌ها ممکن است طوری ساخته شوند که مستغرق یا غیرمستغرق باشند. این موضوع، به شکل طراحی آنها مربوط می‌شود، ولی معمولاً چون آبشکن‌های باز، اغتشاش زیادی را در برابر جریان اعمال نمی‌کنند، آنها را مستغرق می‌سازند. ارتفاع شمع‌ها تا سطح متوسط کم آبی یا ارتفاع متوسط دیواره‌ها یا براساس سطح آب نیمی از بده مقطع پر انتخاب می‌شود [۱۰]. شکل (۶-۶) طرح عمومی آبشکن باز یا نفوذپذیر را نشان می‌دهد.

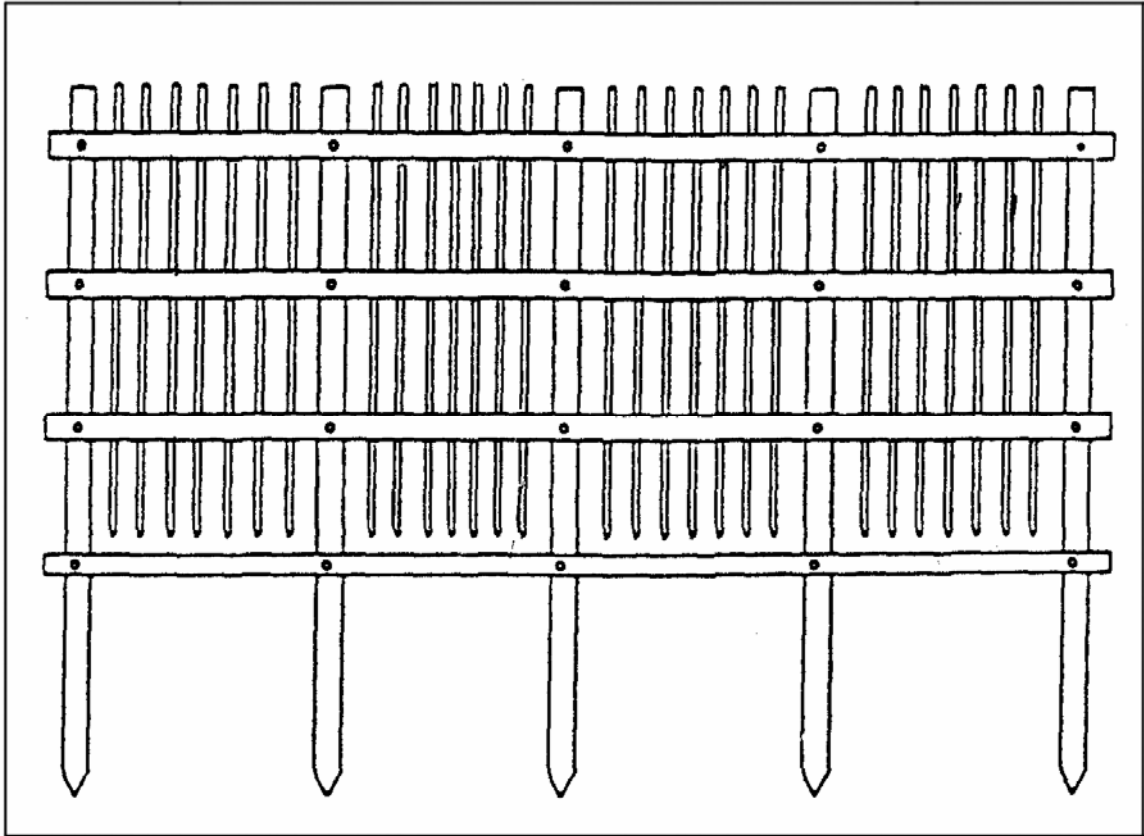
۴-۳-۶ معایب آبشکن‌های باز

- این آبشکن‌ها در برابر نیروهای وارد از رسوبات و یخ، مانند آبشکن‌های بسته استحکام ندارند.
- اگر این آبشکن‌ها را کوتاه بسازند، در مواقع پر آبی برای کشتیرانی ایجاد مزاحمت می‌کنند و اگر بخواهند آنها را بلند بسازند هزینه زیاد شمع‌های بلند مانع از این کار می‌شود.
- بهترین نوع آبشکن‌های باز آن است که با شمع ساخته می‌شوند، ولی در رودخانه‌هایی که بستر آنها از شن و قلوه‌سنگ است، استفاده از شمع توجیه ندارد.

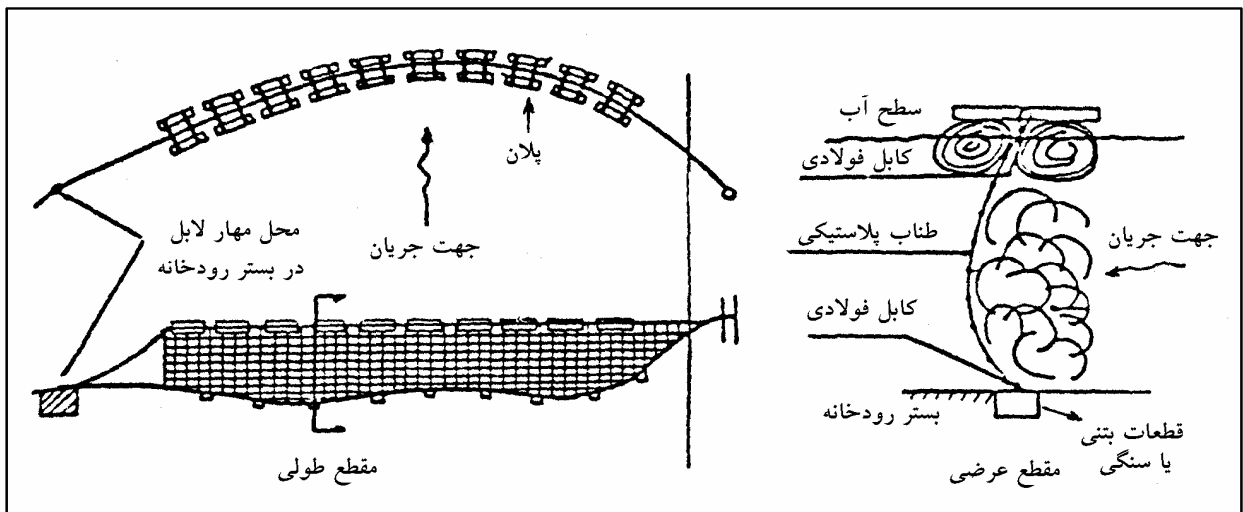
نوع دیگری از آبشکن باز و نفوذپذیر، آبشکن کابلی^۱ است. این نوع آبشکن، بیشتر برای مسدود نمودن شاخه‌های فرعی یک آبراهه استفاده می‌شود ولی با توجه به اینکه باعث افزایش ضریب زبری و ایجاد برگشت آب^۲ می‌شود، شرایط مساعدی را برای حفاظت کناره‌ها ایجاد می‌کند. آبشکن کابلی از حداقل دو رشته کابل فولادی افقی در بالا و پایین آبشکن تشکیل شده که از دو انتها به دو نقطه محکم بسته می‌شود. در بین این دو رشته کابل فولادی، از شبکه‌ای از کابل پلاستیکی (به صورت توری) استفاده می‌گردد تا مانعی برای عبور اجسام شناور در آب شود (شکل ۶-۷).

1 - Steel Cable groyne

2 - Back Water



شکل ۶-۶- نمای تپ آبشکن نفوذپذیر



شکل ۶-۷- آبشکن کابلی

۷- حفاظت طبیعی^۱

استفاده از پوشش گیاهی یا مواد گیاهی مانند چوب، به عنوان روش‌های طبیعی، دارای قابلیت‌های زیادی در حفاظت کناره‌های رودخانه‌ها و طرح‌های مهار فرسایش و ساماندهی می‌باشد. ویژگی‌های خاص این روش‌ها از نظر مقاومت، زیبایی و زیست‌محیطی، باعث استفاده وسیعی از آن در طرح‌های حفاظت کناره‌ها شده است. حفاظت طبیعی شامل پوشش‌های گیاهی به صورت چمنی، بوته‌ای، درختچه و درختی به عنوان مصالح زنده و یا استفاده از مواد گیاهی مانند چوب، ترکه و بقایای گیاهی به عنوان مواد مرده است که برای حفاظت کناره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده ترکیبی از مواد گیاهی و پوشش گیاهی (مواد مرده و زنده) در بسیاری از حالت‌ها بهترین نتیجه را در برخواهد داشت.

پوشش گیاهی، هم به عنوان یک لایه پوشش حفاظتی (حفاظت مستقیم) و هم به صورت حفاظت غیرمستقیم به کار می‌رود. پوشش چمنی و علفی و ریشه بوته‌ها و درختان، مانند یک لایه مسلح^۲ عمل می‌کنند در حالی که بوته‌ها و درختان به صورت حفاظت غیرمستقیم رفتار خواهند کرد. ریشه گیاهان همچنین ممکن است موجب تقویت خاک کناره و افزایش درجه پایداری ژئوتکنیکی آن گردد و مقاومت آنرا در برابر فرسایش توده‌ای و لغزش اضافه نماید [۶].

به دلیل حساسیت‌های زیادی که گیاهان در برابر عوامل مختلفی از خود نشان می‌دهند، کاربرد این گونه مصالح، علاوه بر آنکه به دانش مهندس متخصص نیاز دارد، به اطلاعات مربوط به گیاهان مانند ساختمان، ارتفاع و سختی ساقه‌ها، عمق و تراکم و توزیع ریشه‌ها، میزان و زمان رشد گیاه، مقاومت در برابر استغراق در آب و یا مدفون شدن در خاک، مقاومت کششی و غیره نیاز می‌باشد. بنابراین کاربرد پوشش‌های گیاهی، مستلزم همکاری متخصص منابع طبیعی و استفاده از نظرات آن در انتخاب گیاه مناسب و شرایط مطلوب برای رشد و نمو است [۱۱].

۷-۱ مزایا و معایب حفاظت طبیعی

روش‌های حفاظت طبیعی و پوشش گیاهی در مقایسه با روش‌های ساختمانی دارای، محاسن و معایبی است که در زیر به آنها اشاره می‌گردد.

مزایای حفاظت طبیعی عبارتند از:

- از نظر محیط زیست دارای طبیعت و چشم‌انداز بهتری است،
- معمولاً از هزینه‌های نسبتاً پایینی برخوردارند و اجرای آن نیز به امکانات محدودی نیاز دارد،
- روش‌های طبیعی به راحتی با روش‌های حفاظت ساختمانی قابل تلفیق می‌باشد،
- پوشش گیاهی به طور طبیعی قابلیت تجدید حیات و بازسازی خود را دارد،
- ریشه گیاهان باعث افزایش مقاومت خاک و مسلح شدن آن می‌شود و اندام‌های هوایی گیاه نیز موجب افزایش زبری کناره رودخانه و کاهش سرعت در آن ناحیه می‌گردد، و
- با گذشت زمان مقاومت پوشش گیاهی بیشتر می‌شود.

1- Natural Protection

2 - Armour

معایب حفاظت طبیعی عبارتند از:

- این روش‌ها در شرایط هیدرولیکی شدید، قابل کاربرد نیستند (به نسبت روش‌های ساختمانی)،
- روش‌های بیولوژیک به شدت تابع شرایط طبیعی است خصوصاً در زمان‌های اولیه پس از اجرا که به‌طور کامل استقرار نیافته است،
- استقرار کامل روش‌های گیاهی مستلزم زمان بیشتری است،
- اثرپذیری این روش‌ها در فصول مختلف سال، متفاوت است و در فصل زمستان کاهش می‌یابد،
- رشد زیاد گیاهان در پوشش گیاهی موجب کاهش ظرفیت آب‌گذری رودخانه می‌شود، و
- در سال‌های بهره‌برداری به نگهداری مداوم نیاز دارد.

۲-۷ وظیفه و تأثیر روش‌های حفاظت طبیعی

کاربرد روش‌های حفاظت طبیعی در برابر حفاظت سازه‌ای، دارای تأثیراتی است که از جنبه‌های مختلف قابل بررسی می‌باشد. این تأثیرات از جنبه‌های ژئوتکنیکی، زیست‌بومی^۱، اقتصادی و زیبایی محیط می‌تواند در نظر گرفته شود. جدول (۱-۷) تأثیرات روش‌های طبیعی را در مقایسه با روش‌های سازه‌ای نشان می‌دهد [۱۵].

جدول ۱-۷- وظیفه و تأثیرات کاربرد روش‌های حفاظت طبیعی

ژئوتکنیکی	<ul style="list-style-type: none"> • حفاظت کناره‌ها و سواحل در برابر فرسایش ناشی از جریان و موج • حفاظت سطح شیب کناره در مقابل فرسایش ورقه‌ای^۲ ناشی از باران، باد و شبنم • افزایش پایداری شیب کناره از طریق نفوذ ریشه گیاهی در خاک و تعدیل در رطوبت درون خاک • حفاظت در برابر باد و ریزش سنگ
زیست بومی	<ul style="list-style-type: none"> • تعدیل در دمای شدید محیط و رطوبت هوا در حوالی منطقه حفاظت شده • اصلاح روابط آب و خاک به وسیله زهکشی و ذخیره آب • افزایش میزان تشکیل خاک آلی • ایجاد شرایط مساعد محیطی برای جانوران و گیاهان • ایجاد سایه روی کناره، از طریق پوشش بوته‌ها و درختان و محیط مناسب برای تخم‌ریزی ماهیان • تصفیه و بهبود کیفیت آب از طریق نگهداشت آلودگی‌ها در محیط ریشه‌ها
اقتصادی	<ul style="list-style-type: none"> • کاهش هزینه‌های اجرا و نگهداری • ایجاد مناطقی برای استفاده‌های کشاورزی و تفریحی
زیبایی محیط	<ul style="list-style-type: none"> • برقراری چشم‌انداز یکنواخت و زیبا در طول مسیر رودخانه • ارائه شرایط جذاب‌تر محیطی با قرار گرفتن سایر سازه‌ها در چشم‌انداز پوشش گیاهی

1 - Ecology

2 - Sheet Erosion

۳-۷ مراحل مطالعات و طراحی حفاظت طبیعی

از آنجا که عوامل طبیعی مانند آب و هوا، زمانبندی، کیفیت خاک و وضعیت جریان رودخانه نقش اساسی بر حفاظت طبیعی دارد (به طوری که غالب این عوامل، خارج از کنترل طراح می باشد) بنابراین بررسی های کارشناسی و دقیق و توجه به جزئیات طرح، برای موفقیت طرح حفاظت طبیعی لازم است. تشخیص و انتخاب گونه گیاهی مناسب برای حفاظت و روش اجرا و کشت آن، از نکات اساسی این موفقیت است. مراحل مطالعه و طرح یک پوشش حفاظتی با استفاده از مواد زنده، گیاهی به ترتیب زیر می باشد [۱۵]:

- تهیه نقشه های توپوگرافی و عکس های هوایی و نقشه پوشش گیاهی منطقه،
- بازدید صحرایی از مسیر رودخانه و بررسی مقاطع طولی و عرضی،
- ارزیابی مطالعات زمین شناسی و آب های زیرزمینی،
- ارزیابی نتایج آنالیز خاک کف و کناره و پایداری شیب کناره،
- ارزیابی هیدروگراف سیلاب و تغییرات تراز آب،
- ارزیابی بررسی های پوشش گیاهی منطقه و محیط زیست آن،
- ارزیابی اطلاعات موجود در مورد اکولوژی و زیست بوم آبی^۱ منطقه،
- تعیین علل و عوامل فرسایش و تخریب،
- تعیین هدف نهایی طرح مورد نظر،
- انتخاب مواد گیاهی زنده و مرده به منظور استفاده در طرح،
- انتخاب طرح حفاظت و روش اجرا،
- ارزیابی مسائل حقوقی مانند مالکیت ها، نظام بهره برداری و کاربری اراضی،
- ارزیابی جزئیات طرح از دیدگاه مهندسی آب، و
- انتخاب نهایی روش اجرای پوشش گیاهی.

۴-۷ انتخاب منابع گیاهی مورد نیاز

همان طور که قبلاً گفته شد، از مهم ترین عوامل مؤثر در موفقیت یک طرح حفاظت طبیعی، انتخاب گونه گیاهی مناسب است. انتخاب صحیح مواد گیاهی بر پایه چهار اصل زیر استوار است که باید گونه مورد نظر توازنی بین این اصول برقرار نموده باشد:

- هدف و موضوع مورد نظر طرح،
- خصوصیات زیست بومی گیاه (عکس العمل آن به محیط)،
- خصوصیات بیوتکنیکی گیاه (توانایی در تحمل فشارهای وارده از جریان آب)، و
- نژاد و ریشه گیاه.

با توجه به این اصول، خصوصیات لازم برای انتخاب یک گیاه برای استفاده در طرح‌های حفاظتی، به شرح زیر است:

- سازگاری مناسب با شرایط محیطی،
- سرعت مناسب رشد (به‌ویژه در مراحل اولیه رشد)،
- ساختار ریشه‌ای مناسب به صورتی که دارای سرعت رشد بالای ریشه و ریشه‌ها به صورت عمودی باشد،
- سهولت در زادآوری و تجدید حیات،
- توان بالای پوشانیدن سطوح،
- دارای مقاومت نسبی خوب در برابر خطرات و صدمات مکانیکی،
- دارای مقاومت خوب در برابر بیماری‌ها و آفت‌ها،
- از گیاهان مرغوب و غیرسمی باشد، و
- تا حد امکان از گیاهان بومی منطقه باشد.

استفاده از گونه‌های علفی، بوته‌ای، درختچه‌ای و درختی در کناره و حاشیه رودخانه‌ها نیز با توجه به خصوصیات هر نوع با توجه به میزان تغییرات سطح آب تعیین می‌شود. شکل (۷-۱) مناسب بودن گونه‌ها را برای هر ناحیه از سطوح آب نشان می‌دهد [۱۱] و [۱۵].

در ناحیه بین سطح آب متوسط و متوسط کم آبی، بهترین گونه‌ها استفاده از نی^۱ و گیاهان بوته‌ای^۲ است. برگ و ساقه‌های نی‌ها در زیر سطح آب، باعث آشفتگی جریان و کاهش سرعت و افت انرژی شده و محیطی برای رسوبگذاری ایجاد می‌کند. ریشه نی‌ها نیز موجب تثبیت خاک می‌گردد. نی‌ها بهترین نوع گیاه برای حفاظت کناره‌ها و سواحل و دریاچه‌ها در برابر فرسایش می‌باشند. نی‌ها مقاومت خوبی در برابر سرعت‌های زیاد جریان آب از خود نشان می‌دهد و موج‌های ناشی از حرکت شناورها را به خوبی تحمل می‌کند. از طرفی دیگر، توان تکثیر در نی‌ها نیز زیاد است و در حالتی که تراکم نی‌ها در سطح کناره زیاد باشد ریشه‌های آن به هم تائیده شده و نفوذ آن در خاک کناره آنرا مسلح و مقاوم می‌کند.

در ناحیه بالای سطح متوسط آب که جریان به طور فصلی در حال تغییر است، در برابر امواج آب و ضربات یخ بسیار آسیب‌پذیر می‌باشد. در این ناحیه، استفاده از درختچه‌ها، بیدهای کوتاه و پوشش علفی ترجیح داده می‌شود. درختچه‌ها در این ناحیه موجب کاهش سرعت جریان در نزدیکی سواحل رودخانه می‌شود. شاخه‌ها از ضربه قطعات یخ به کناره جلوگیری می‌کند. باید توجه داشت که شاخه و تنه گونه‌های گیاهی که در این ناحیه استفاده می‌شود، باید نرم و انعطاف‌پذیر باشد زیرا شاخه و تنه‌های سخت در برابر جریان‌های سیلابی باعث ایجاد آشفتگی شدید جریان و گرداب شده و فرسایش کناره را به دنبال خواهد داشت.

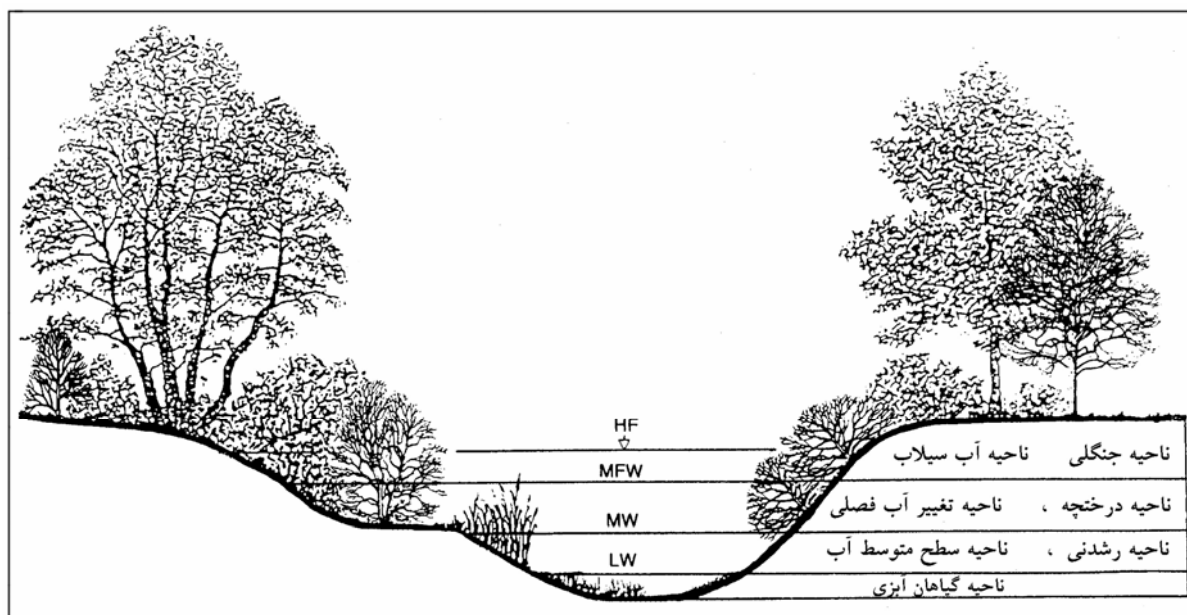
کاربرد گونه‌های علفی و چمنی^۳ نیز در این ناحیه بسیار مؤثر خواهد بود. مزیت بزرگ پوشش علفی این است که محدودیتی برای عبور سیلاب ایجاد نمی‌کند. پوشش‌های علفی، به سرعت رشد و تکثیر شده عمر آنها زیاد بوده و از هزینه کمتری نسبت

1 - Reed
2 - Shrub
3 - Grass

به سایر گونه‌ها برخوردار است. یک پوشش علفی می‌تواند برای مدت طولانی در برابر سرعت جریان تا ۱/۸ متر بر ثانیه مقاومت کرده و برای زمان‌های کوتاه تا ۴/۵ متر بر ثانیه از خود مقاومت نشان دهد.

در ناحیه‌ای از کناره که محدوده سیل‌گیری و بالای متوسط تراز سیلاب است، استفاده از گونه‌های درختی توصیه شده است. یکی از تأثیرات وجود درخت در سواحل رودخانه‌ها، ایجاد سایه روی کناره و کنترل رشد و تکثیر نی‌ها می‌باشد.

در ناحیه گیاهان آبی که همواره جریان آب برقرار است، ریشه‌ها مستغرق می‌باشند و برگ‌ها و ساقه‌ها نیز ممکن است مستغرق بوده یا روی سطح آب شناور باشند. گیاهان آبی می‌توانند ظرفیت آبراه را بسیار کاهش دهد که در این صورت، آثار مفید آنها در حفاظت کناره محدود می‌شود. معمولاً گیاهان آبی در عمق‌های بیش از ۲ متر دارای رشد کمی می‌باشند زیرا برای رشد به شرایط آرام و نور کافی نیاز دارند.



شکل ۷-۱- گونه‌های گیاهی مناسب در نواحی تغییرات سطح آب رودخانه

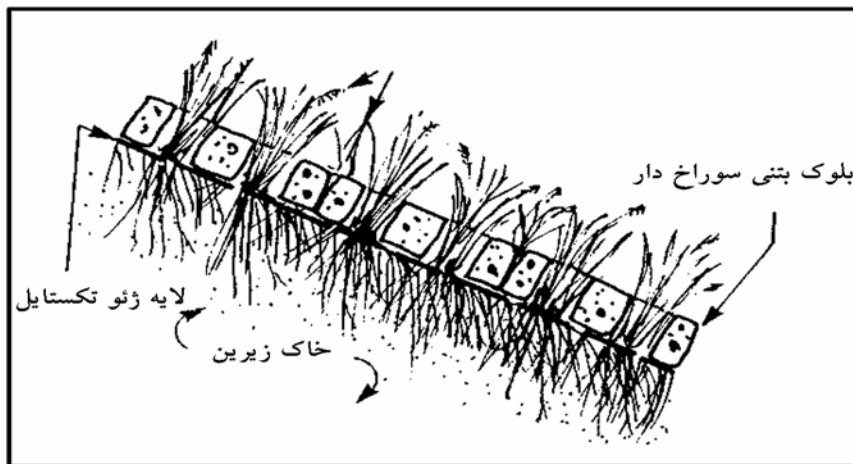
کاربرد پوشش‌های گیاهی برای حفاظت کناره‌ها، باید از پایین‌ترین قسمت شیب کناره تا جایی که ممکن است، انجام گیرد تا از فرسایش در پنجه کناره جلوگیری شود. فرسایش پنجه موجب تخریب قسمت‌های بالایی کناره خواهد شد. اقدامات حفاظتی که محدود به قسمت‌هایی از کناره در بالای سطح متوسط آب رودخانه است مؤثر و مفید نخواهد بود.

۵-۷ حفاظت ترکیبی و تلفیقی

برای افزایش کارایی و استحکام و زیبایی پوشش‌های حفاظتی، از ترکیب مواد گیاهی زنده و مرده و همچنین تلفیقی از روش‌های طبیعی و سازه‌ای حفاظت استفاده می‌شود. چگونگی طرح ترکیبی، به ذوق و دیدگاه طراح بستگی داشته و به شکل‌های بسیار متنوعی می‌توان برای حفاظت کناره از آنها استفاده نمود. در ادامه این فصل، به چند روش ترکیبی اشاره شده است.

۱-۵-۷ استفاده از بلوک‌های بتنی و پوشش گیاهی

معمول‌ترین روش‌های تلفیقی حفاظت کناره رودخانه‌ها، استفاده از بلوک‌های بتنی سلولی و سوراخدار است. بلوک‌های بتنی به شکل‌های مختلف و به صورت منفرد یا گردار با حفره‌هایی برای کاشت گونه‌های گیاهی ساخته می‌شود. معمولاً برای استحکام بیشتر لایه حفاظت، می‌توان از لایه‌ای از مصالح مصنوعی به عنوان فیلتر در زیر بلوک‌های بتنی استفاده کرد. در داخل حفره‌های بلوک‌ها از خاک مناسب انباشته شده و گونه‌های گیاهی علفی یا چمنی برای پوشش حفره‌ها نیز استفاده می‌شود (شکل ۷-۲). ترکیب بلوک‌های بتنی و پوشش گیاهی علفی، منظره زیبایی را روی کناره رودخانه ایجاد می‌کند.

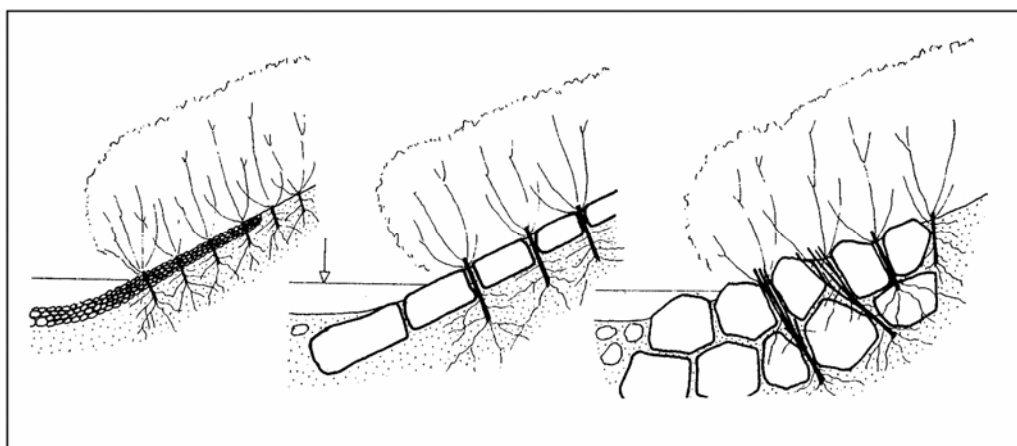


شکل ۷-۲- استفاده از ترکیب پوشش گیاهی و بلوک‌های بتنی [۸]

۲-۵-۷ پوشش سنگ چین تقویت شده با قلمه گیاهی

در این روش، پوششی از سنگ روی شیب کناره به همراه قلمه‌هایی از گیاهان بوته‌ای اجرا می‌شود (شکل ۷-۳). قطعات سنگ در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف و با توجه به شرایط هیدرولیکی جریان تهیه و به صورت دستچین روی شیب کناره قرار داده می‌شود. در قسمت‌هایی از کناره که بالاتر از سطح نرمال آب و یا در بالای سطح آب در تابستان است، ترکیبی از سنگ و

قلمه‌های گیاهی به کار می‌رود. در این ناحیه، برای استقرار قلمه‌ها حفره‌هایی در بین پوشش سنگی ایجاد می‌شود. این حفره‌ها در فاصله هر ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر قرار داده شده و قلمه گیاهانی که قبلاً با توجه به شرایط منطقه تهیه شده در حفره‌ها قرار داده می‌شود؛ طول قلمه‌ها بین ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر است. پس از استقرار قلمه‌ها، کلیه سوراخ‌ها از خاک پر می‌گردد. کشت گیاهان، در زمان فصل خواب آن انجام می‌شود. پس از کاشت قلمه‌ها، ریشه و جوانه آن در زمان کوتاهی رشد می‌کند. رشد ریشه‌ها و به هم بافته شدن آن موجب استحکام و تقویت پوشش سنگی می‌شود و با رشد گیاه و ضخیم‌تر شدن ساقه‌ها و ریشه‌ها، به تدریج پوشش وضعیت مستحکم‌تری به خود می‌گیرد. سیلاب‌های فصلی ممکن است موجب تخلیه خاک حفره‌ها شود و به دنبال آن، بعضی از نهال‌ها از بین بروند. بدین جهت در سال‌های اولیه استقرار آن، به نگهداری و دقت بیشتری در مرمت گیاهان نیاز می‌باشد. از مزیت این روش، سادگی اجرا و استفاده از گیاهان بومی (گیاهان بوته‌ای و نی‌ها) می‌باشد. شیب کناره‌ای که با این روش مورد حفاظت قرار می‌گیرد، سطح مقاومی در برابر جریان‌های تند و امواج حاصل از تردد شناورها ایجاد می‌کند [۱۵].

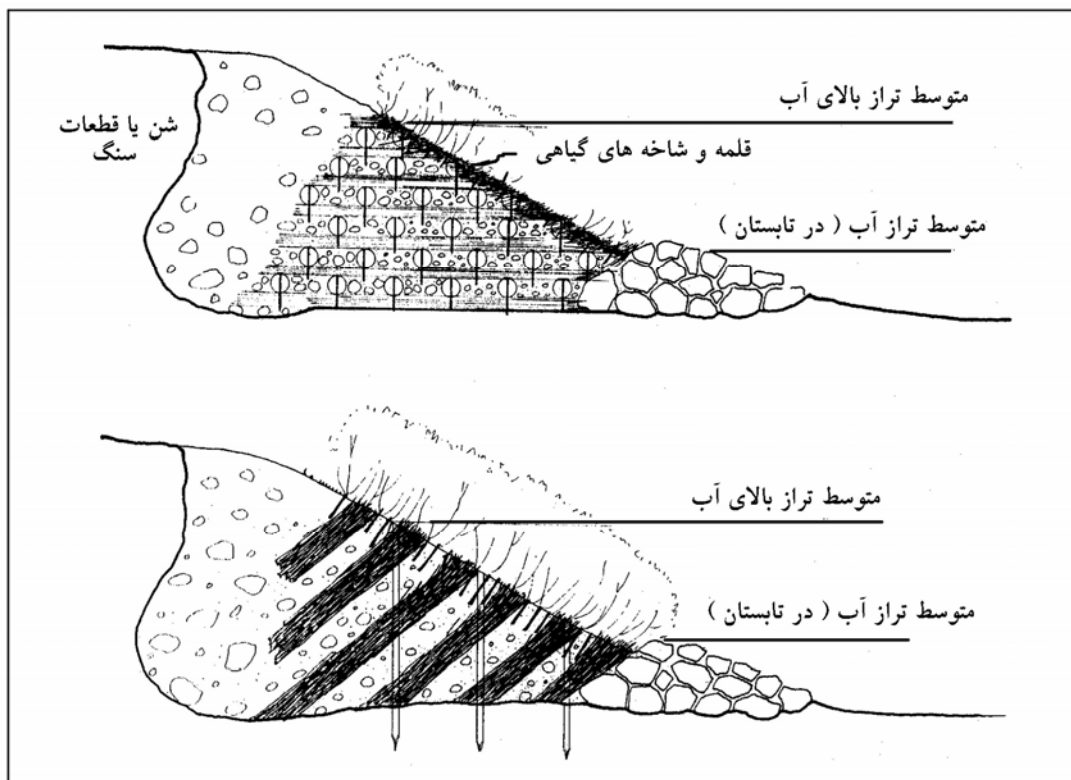


شکل ۷-۳- استفاده از قلمه‌های گیاهی در بین لایه سنگ چین

۷-۵-۳ روش سنگ چین و بسته‌های شاخه‌های گیاهی

این روش، در کناره‌هایی که قبلاً تخریب شده استفاده می‌شود. همان‌طور که در شکل (۷-۴) دیده می‌شود، در ناحیه زیر متوسط سطح آب (در تابستان) از توده‌ای از سنگ چین به عنوان پاشنه طرح استفاده می‌شود و در فاصله سطح متوسط آب و سطح متوسط پر آبی، از شاخه‌های بید به صورت زنده و مرده استفاده می‌گردد. در نتیجه سطح شیب‌داری تشکیل می‌شود و در پشت آن تا سطح بالای کناره، مصالح سنگی شن درشت به کار می‌رود. ابتدا میخ‌های چوبی به طول ۸۰ سانتی‌متر و در فواصل ۱ متری در کف کوبیده و بسته‌هایی از شاخه‌های گیاهی زنده در بین میخ‌ها بسته می‌شود. توده شاخه‌ها در دو حالت به صورت افقی و مایل مانند شکل (۷-۴) قرار داده می‌شود. روی سطح شیب نیز نهال‌ها و قلمه‌هایی از گیاهان بومی مستقر می‌شود. در بین شاخه‌های بسته شده از خاک، مخلوط محلی انباشته شده تا وضعیت پایدار و مستحکمی به وجود آید. این روش، علاوه بر

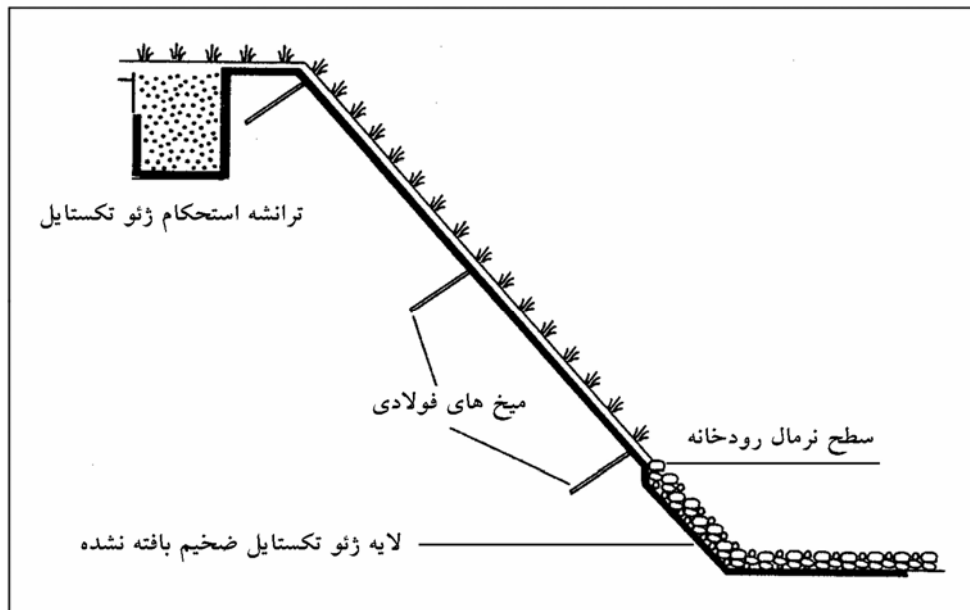
آنکه پس از احداث، در برابر جریان‌های رودخانه‌ای مقاومت می‌کند، با طی زمان، استحکام آن نیز بیشتر می‌شود. این روش، برای اصلاح کناره‌های تخریب شده بسیار مناسب است. [۱۵].



شکل ۷-۴- استفاده از شاخه‌های درختان برای اصلاح کناره تخریب شده

۷-۵-۴ سامانه‌های مسلح کردن خاک با استفاده از مصالح مصنوعی

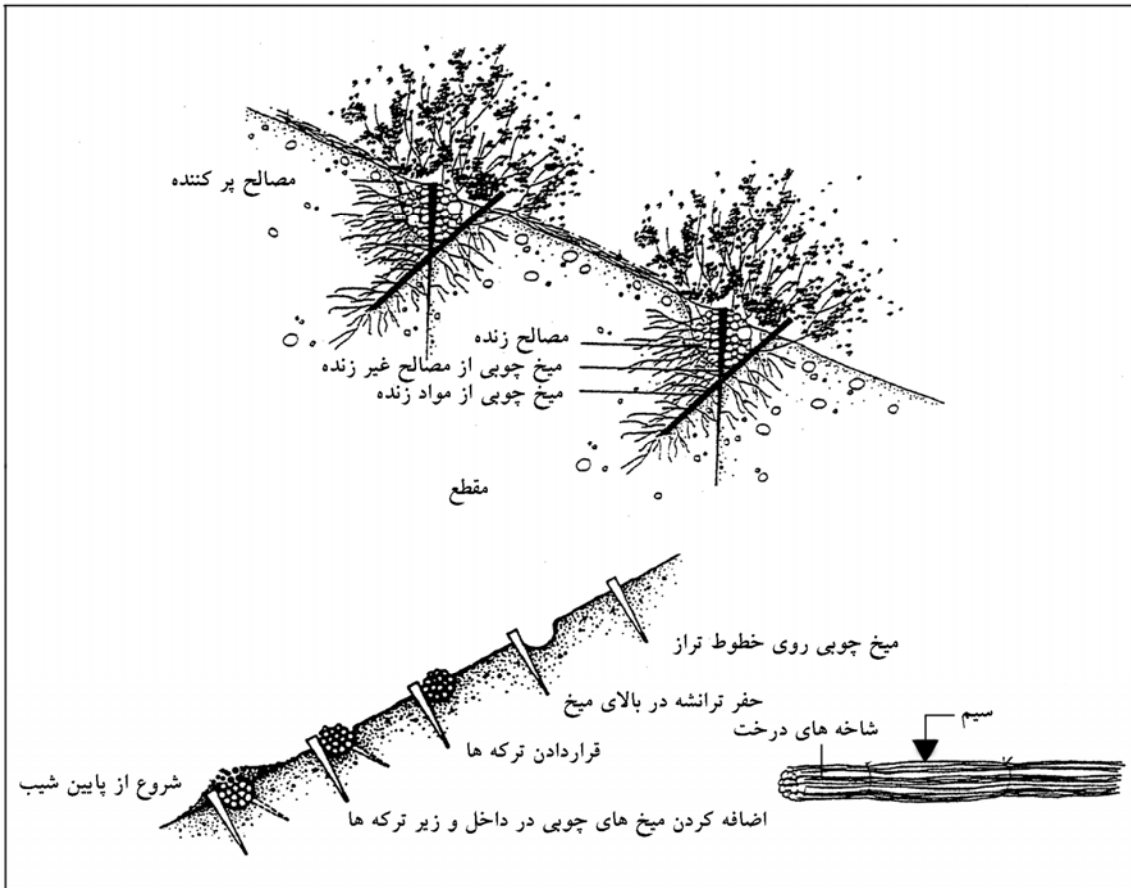
روش‌های متعددی برای تقویت سطح خاک کناره با استفاده از مصالح مصنوعی وجود دارد که به عنوان نمونه، شکل (۷-۵) یکی از روش‌ها را نشان داده است. در این روش، با استفاده از لایه ژئوتکستایل به عنوان فیلتر مصنوعی سطح شیب کناره پوشیده شده و امتداد لایه فیلتر روی سطح کناره توسط ترانشه‌ای محکم می‌شود. لایه ژئوتکستایل که معمولاً از مواد پلی‌اتیلن ساخته می‌شود، دارای ضخامتی در حدود ۳ میلی‌متر و نسبتاً متراکم است و به گونه‌ای طراحی می‌شود که ریشه گیاهان به راحتی در آن نفوذ کنند. در این روش، در زیر سطح نرمال آب، از پوشش سنگی و در قسمت بالای آن پس از قراردادن در حدود ۲۵ سانتی‌متر خاک مناسب، روی لایه مصنوعی، با کاشت دانه گیاهان علفی و بوته‌ای شرایط برای رشد پوشش چمنی و بوته‌ای آماده می‌شود. لایه‌های ژئوتکستایل به وسیله پین‌های فولادی با فواصل ۱ متر به سطح کناره دوخته شده که با لایه‌های مجاور باید در حدود ۱۰ سانتی‌متر هم‌پوشانی داشته باشد [۸].



شکل ۷-۵- مسلح کردن خاک کناره با استفاده از مصالح مصنوعی و پوشش گیاهی

۷-۵-۵ پوشش ترکه‌های افقی

این روش روی کناره‌هایی که در معرض فرسایش شدید قرار دارد و سرعت جریان بیش از ۲/۵ متر بر ثانیه است مناسب خواهد بود. ترکه‌های تشکیل شده از شاخه‌های درختان بید، به صورت موازی با جریان روی کناره، مدفون می‌شود و به وسیله میخ‌های چوبی محافظت می‌گردد. روش اجرای کار در شکل (۷-۶) نشان داده شده است. ابتدا میخ‌های چوبی به طور متناوب در طول شیب کناره کوبیده می‌شود، سپس ترکه‌های چوبی به صورت موازی با جریان در پشت میخ‌ها داخل گودال‌های حفر شده قرار داده شده و برای استحکام بیشتر ترکه، این ترکه‌ها به وسیله میخ‌های چوبی یا شاخه‌های زنده به زمین قفل می‌گردد. پس از آن روی ترکه، به ضخامت ۵ سانتی‌متر خاک ریخته می‌شود. این نوع روش حفاظت، برای جلوگیری از فرسایش ناشی از رواناب روی کناره (به دلیل بارندگی)، عمل باد و تخریب‌های ناشی از حرکت حیوانات روی کناره مناسب خواهد بود. در قسمت بین ترکه‌ها می‌توان با بذرپاشی، پوشش علفی ایجاد نمود. سایر مشخصات این روش، در شکل (۷-۶) مشاهده می‌شود. [۶]



شکل ۶-۷- پوشش ترکه های افقی

۸- روش‌های مدیریتی حفاظت کناره‌های رودخانه

۸-۱ کلیات

روش‌های مدیریتی مهار فرسایش کناره‌های رودخانه، به روش‌هایی گفته می‌شود که بدون انجام اقدامات سازه‌ای و فقط با برنامه‌ریزی و اجرای امور مدیریتی، از فرسایش کناره‌ها جلوگیری نمایند. یکی از مبانی این روش‌ها، مقابله با دخالت بشر در سامانه رودخانه‌ای در جهت کاهش فرسایش کناره‌ها است. معمولاً هرگونه دخل و تصرف در حریم رودخانه، اعم از احداث طرح‌های توسعه منابع آب در مسیر رودخانه، توسعه شهری یا روستایی شامل عملیات عمرانی یا گسترش اراضی کشاورزی در حاشیه رودخانه، تغییر در هندسه رودخانه، ایجاد حمل و نقل آبی و ... می‌تواند در نهایت بر روند و میزان فرسایش کناره‌ها تأثیرگذار باشد. [۸]

از مبانی دیگر این روش‌ها، سازگاری با ماهیت دینامیکی و طبیعی رودخانه و همراستا نمودن برنامه‌های توسعه‌ای با ماهیت طبیعی رودخانه است. [۱۳].

از نظر دیگر، می‌توان آموزش، اطلاع‌رسانی و ترویج فرهنگ حفظ و حراست از حیات رودخانه و کناره‌های آن را، از دیگر پایه‌های روش‌های مدیریتی دانست [۱۶].

در ادامه این مبحث، ابتدا عمده عواملی که در اثر عدم مطالعه و بررسی دقیق، پیامدهای آن موجب فرسایش کناره‌ها در مقیاس‌های متفاوت می‌شوند، و در ادامه، رویکرد مدیریتی انطباق و سازگاری با رودخانه، و در انتها، نقش آموزش و ترویج در حفاظت کناره‌ها مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۸-۲ معرفی عوامل عمده در فرسایش کناره‌ها (دخالت‌های بشری)

۸-۲-۱ عدم رعایت حریم رودخانه

حریم رودخانه به محدوده‌ای از عرض و حاشیه رودخانه گفته می‌شود که محل گذر جریان‌ها یا سیل‌های عادی (تا دوره برگشت ۲۵ سال) بوده و هرگونه دخل و تصرف در این محدوده شامل توسعه شهری یا روستایی (عملیات عمرانی، گسترش اراضی کشاورزی، ...)، آثاری را در مشخصات جریان به دنبال خواهد داشت. (آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها مصوب ۱۳۷۹). چگونگی تأثیر این گونه اقدامات در افزایش روند فرسایش کناره‌ها، می‌تواند به یکی از صورت‌های زیر باشد:

- به هم زدن و سست کردن بافت خاک در هنگام انجام عملیات (ساختمانی، کشاورزی، ...) و در نتیجه افزایش روند فرسایش کناره در محدوده عملیات،
- افزایش بار وارده بر خاک کناره و در نتیجه افزایش امکان وقوع لغزش‌های توده‌ای و در نتیجه افزایش فرسایش کناره،
- کمک به استحکام بافت خاک در بخشی از کناره و در نتیجه تغییر فرآیندهای فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه و در نهایت افزایش فرسایش کناره‌ای در بخشی دیگر از رودخانه، و

- انسداد مسیر رودخانه توسط دپوی نخاله‌های ساختمانی، زباله، مصالح رودخانه‌ای در هنگام برداشت و ... نیز از مواردی است که نوعی دخل و تصرف در حریم رودخانه محسوب شده و کاهش سطح مقطع، افزایش سرعت جریان و در نتیجه افزایش فرسایش کناره‌ها را به دنبال خواهد داشت.

۱-۲-۲ احداث سازه‌های طولی یا عرضی در رودخانه

احداث سازه‌های طولی یا عرضی مانند سازه‌های حفاظتی، پل‌ها، سدها و بندها و ... به دلیل تغییر رژیم جریان و رسوب، در فرآیندهای ریخت‌شناختی رودخانه از جمله روند فرسایش کناره‌ها، تأثیرگذار می‌باشد. به عنوان مثال، احداث سازه‌های حفاظتی کناره در بخشی از رودخانه به دلیل تأثیرگذاری در سازوکارهای فرسایشی کناره‌های دیگر بخش‌های رودخانه و نیز سدهای احداثی در مسیر رودخانه، به دلیل تأثیرگذاری در سازوکارهای فرسایش و رسوبگذاری بستر و تأثیر نهایی آن در فرسایش کناره، در فرآیندهای ریخت‌شناختی رودخانه تأثیر به‌سزایی خواهند داشت؛ بنابراین مطالعه و بررسی دقیق آثار هر یک از این اقدامات و برنامه‌ریزی انجام و بهره‌برداری بهینه از این گونه سازه‌ها و بخصوص از سدهای مخزنی در راستای کاهش فرآیندهای ریخت‌شناختی، امری ضروری است.

۱-۲-۳ حمل و نقل در رودخانه

امواج حاصل از حرکت انواع شناورها، یکی از عوامل مؤثر در فرسایش کناره‌ها است. مشخصات این امواج به شکل، ابعاد، سرعت و جهت حرکت شناور بستگی دارد. در صورتی که در نظر باشد در رودخانه مورد نظر خط کشتیرانی یا ترابری آبی ایجاد شود، در طراحی آبراه کشتیرانی و شناورهای طرح و نیز تهیه دستورالعمل‌های حرکت شناورها، باید به‌گونه‌ای عمل گردد که ترجیحاً بدون نیاز به اجرای حفاظت‌های کناره‌ای، میزان فرسایش کناره‌ها در اثر امواج حاصله به حداقل برسد.

۱-۲-۴ تغییر در هندسه رودخانه

تغییر در هندسه رودخانه می‌تواند به صورت موضعی یا عمومی، باعث تغییر مشخصات جریان گردیده و در نتیجه تغییر در روند فرسایش کناره را به دنبال داشته باشد. برداشت مصالح از بستر رودخانه، لایروبی و حذف مواد زائد، تنه و ریشه درختان و سایر پوشش‌های گیاهی، اصلاح مسیر و حذف پیچاب‌ها و هرگونه اقدامی که هندسه رودخانه را، حتی به مقطعی خاص تغییر دهد، می‌تواند به تغییرات ریخت‌شناسی در رودخانه منجر شده و فرسایش کناره و تغییر پلان رودخانه را به دنبال داشته باشد. بدیهی است مطالعه و بررسی دقیق آثار هر یک از این اقدامات و برنامه‌ریزی انجام آن به گونه‌ای که کمترین میزان آثار تخریبی کناره را به دنبال داشته باشد، امری ضروری است.

۱-۲-۵ ورود زه‌آب‌های اراضی به رودخانه

یکی از عوامل تخریب و فرسایش کناره‌ها، ورود زه‌آب‌های اراضی حاشیه رودخانه (زه‌آب‌های ایجاد شده توسط بارش یا آب مازاد کشاورزی سرریز شده از مزارع) به داخل رودخانه است که این امر عموماً با فرسایش‌های شیاری یا خندقی کناره همراه

بوده و می‌تواند نقش به‌سزایی در فرسایش کناره اعمال نماید. توجیه کشاورزان اراضی حاشیه رودخانه در زمینه آثار آبیاری مازاد بر نیاز و سرریز شدن آن، به رودخانه و نیز ایجاد شبکه‌های زهکشی مناسب برای تخلیه زه‌آب‌های کشاورزی و بارشی به رودخانه، اقداماتی ضروری در راستای جلوگیری از فرسایش کناره‌ها به شمار می‌رود.

۳-۸ سازگاری با ماهیت دینامیکی و طبیعی رودخانه

همان‌گونه که قبلاً گفته شد، یکی از روش‌های بسیار مهم مدیریتی، سازگار نمودن برنامه‌های توسعه‌ای حاشیه رودخانه و سیلابدشت با ماهیت طبیعی و دینامیکی رودخانه می‌باشد. با این رویکرد، مدیریت بر رودخانه، با در نظر گرفتن شدت، میزان فرسایش و جابه‌جایی طبیعی رودخانه و پهنه‌بندی و بازه‌بندی رودخانه، توصیه‌های لازم را برای کاربری و محدوده استفاده از اراضی و فضای حاشیه رودخانه ارائه می‌نماید. به عنوان مثال اگر تمایل طبیعی رودخانه، جابه‌جایی عمومی در جهت خاصی از منطقه باشد، با توجه به آهنگ جابه‌جایی رودخانه و همچنین عمر مفید مستحذات، پیشنهادهای لازم و مقتضی در خصوص توسعه مستحذات در منطقه مقابل آن، ارائه می‌گردد.

در این رابطه، نیاز به ابزار و روش‌های قوی و مناسب برای آنالیز و پیش‌بینی رفتار طبیعی رودخانه اجتناب‌ناپذیر است. علم به فرآیندهای ژئومورفولوژیکی در این خصوص و استفاده از مدل‌های مفهومی و ریاضی و داده‌های رقومی، تصویری و تاریخی، کمک مؤثری به شناخت رفتار و پیش‌بینی چهره عمومی و بازه‌ای رودخانه در کوتاه‌مدت و درازمدت خواهند بود [۱۳].

۴-۸ آموزش و ترویج

یکی دیگر از رویکردهای مدیریتی حفاظت کناره‌ها، آگاه نمودن مردم از چگونگی برخورد صحیح و ارائه آموزش‌های لازم در این زمینه می‌باشد. به عنوان مثال، اراضی حاشیه رودخانه، معمولاً به دلیل وجود آب و نیز پوشش گیاهی مناسب، محل مناسبی برای چرای دام به شمار می‌رود. اما این امر، علاوه بر تخریب پوشش گیاهی، سست شدن شیروانی‌های خاک کناره حاصل از عبور احشام را به دنبال دارد. آگاهی دادن به دامداران در این زمینه مؤثر خواهد بود.

به‌طور کلی، در صورت عدم جلب حمایت، مشارکت و همکاری مردم در خصوص حفاظت کناره‌ها، نمی‌توان طرحی در این راستا را موفق دانست.

چنانچه مردم، به این مرحله از انگیزه، آگاهی و شناخت نایل آیند که در واقع خود را دیدبان و نگهبان رودخانه بدانند، می‌توان تخریب و فرسایش کناره‌ها را در مقابل عوامل بشری به حداقل رساند. در این حال، مردم خود را ملزم می‌دانند که از کلیه فعالیت‌های مرتبط با تغییر کاربری اراضی مانند کشاورزی، چرای احشام، آبیاری، برداشت بی‌رویه شن و ماسه، ساخت و سازهای غیراصولی و سایر مواردی که به نوعی برای رودخانه آثار منفی دارند، دوری جسته و آنرا به اطلاع مسئولین محلی خواهند رساند [۱۶].

۹- ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در روش‌های حفاظت کناره‌رودخانه‌ها

۹-۱ کلیات

ساخت، اجرا و نگهداری سازه‌های مهندسی، دارای نتایج و آثار متعدد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌باشد. در گزینه‌های مختلف، هر طرح پیشنهادی حفاظت کناره، مانند سایر طرح‌های مهندسی، باید کلیه آثار مثبت و منفی گزینه‌ها مطالعه و ارزیابی شده و نهایتاً طی یک فرآیند علمی و منطقی، بهترین گزینه مشخص گردد.

برای ارزیابی آثار یک طرح، ابتدا باید پارامترهای شاخص را مشخص نمود و سپس فرآیند ارزیابی با مقایسه وضعیت کمی یا کیفی این پارامترها تحت شرایط آینده و در دو حالت «با اجرای طرح» یا «بدون اجرای طرح» انجام گردد. در مطالعات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، همواره سعی بر آن است تا با تعریف پارامترها و اصطلاحات کمی، آثار گزینه‌ها را در زمینه‌های مذکور، از نظر کمیتی قابل بیان نمود تا با مقایسه گزینه‌های مختلف، انتخاب گزینه نهایی برای مهندسین و مدیران امکان‌پذیر گردد. با این حال، بخصوص در بخش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی، بسیاری از آثار، از نظر کمی غیر قابل بیان می‌باشند. همچنین پاره‌ای از آثار نیز غیرمستقیم یا غیرملموس بوده و مشاهده و ارزیابی بخش‌های مختلف مردم از این آثار، متفاوت است [۱۰].

۹-۲ ملاحظات اقتصادی

سود خالص اقتصادی یا به عبارتی، مازاد سود بر هزینه، عموماً به عنوان یکی از شاخص‌های کارایی اقتصادی طرح‌ها مطرح می‌باشد. از دیدگاه اقتصادی نیز، سود خالص حداکثر، اغلب به عنوان معیار تعیین ابعاد یک طرح یا تراز توسعه آن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای تعیین ابعاد یک طرح، میزان افزایش سود خالص اقتصادی برآورد می‌شود. افزایش ابعاد یک طرح در صورتی توجیه‌پذیر است که سود حاصل از اجرای طرح نسبت به هزینه افزایش یابد. افزایش‌هایی نیز که به ازای آنها سود و هزینه برابر می‌گردد، افزایش‌های نهایی است. ابعاد نهایی یک طرح نیز به ازای افزایش ابعادی که سود خالص اقتصادی حداکثر را ایجاد می‌نماید، به دست می‌آید [۱۰].

۹-۲-۱ ملاحظات غیرقابل بیان به صورت کمی

تحلیل اقتصادی، تنها بخشی از فرآیند تعیین ابعاد طرح می‌باشد. در صورتی که شکست یک طرح باعث خسارت‌های قابل توجهی از نظر اقتصادی، اجتماعی یا زیست‌محیطی گردد، در طراحی و محاسبات طرح، ریسک شکست باید مد نظر قرار گیرد. چنین ملاحظاتی می‌تواند ابعاد یا محل طرح، نوع ساخت طرح یا دیگر جنبه‌های همراه طرح را تعیین نماید [۱۰].

۹-۲-۲ امکان‌پذیری اقتصادی و مالی

به‌طور معمول، در تنظیم و تأیید طرح دو ارزیابی ریالی مورد استفاده قرار می‌گیرد: تحلیل اقتصادی و تحلیل مالی. تحلیل اقتصادی شاخصی از امکان‌پذیری طرح می‌باشد و متناظر با بالغ بودن سود بر هزینه یا مساوی بودن آنها است. از طرف دیگر، امکان‌پذیری مالی بر این موضوع متمرکز است که آیا سرمایه کافی برای اجرای طرح در دسترس می‌باشد و نیز آیا طرح در دوره بازپرداخت، درآمد کافی برای بازپرداخت هزینه‌های ساخت، نگهداری و بهره‌برداری را دارد؟ هر دو تحلیل مذکور، شدیداً متأثر از نرخ بهره مورد استفاده در ساخت طرح و تورم موجود و آینده می‌باشند. لازم به یادآوری است که بهره و تورم، هر دو، هم در محاسبه هزینه‌های طرح و هم در محاسبه سودهای آن باید مد نظر قرار گیرند تا تحلیل صحیحی از توجیه‌پذیری اقتصادی طرح انجام شود [۱۰].

۹-۳ ملاحظات اجتماعی

اصولاً برنامه‌های توسعه یک منطقه، در امور اجتماعی مانند فعالیت‌های بازرگانی، صنعتی و کشاورزی تأثیرگذار بوده و طبیعتاً به ایجاد فرصت‌های شغلی (هنگام و بعد از اجرای طرح توسعه)، جابه‌جایی جمعیت (اجباراً یا در جهت دستیابی به منافع طرح) و به طور غیرمستقیم، تجزیه و تغییر الگوهای اجتماعی و فرهنگی و مانند آنها، منجر خواهد گردید. علاوه بر آن، این طرح‌ها بخصوص اگر مرتبط با توسعه منابع آب و حواشی آن باشند، از یک طرف زمینه‌های ایجاد مراکز تفریحی آبی را ایجاد نموده و از طرف دیگر موجبات بهبود زیبایی منطقه و نیز ایجاد یا تثبیت پوشش گیاهی را فراهم خواهند آورد.

طرح‌های حفاظت کناره رودخانه‌ها با توجه به نقشی که در تثبیت کناره و جلوگیری از فرسایش ایفاء می‌نمایند، از تخریب اراضی حاشیه رودخانه که عموماً اراضی حاصل‌خیز و مستعد کشاورزی می‌باشند و تشکیل آنها نیازمند طی هزاران سال است، جلوگیری نموده و به عبارتی باعث ایجاد امنیت شغلی و اقتصادی برای کشاورزان خواهد گردید. همچنین در صورت وجود هرگونه تأسیساتی در حاشیه رودخانه، طرح کنترل فرسایش، باعث حفاظت این تأسیسات خواهد شد.

از طرف دیگر، حفاظت کناره در مقابل فرسایش، به معنی حفاظت اراضی و تأسیسات پایین‌دست در مقابل رسوبگذاری می‌باشد که این امر، خود دارای آثار مضر اجتماعی در زمینه‌های گفته شده در بالا خواهد بود.

آثار اجتماعی، عموماً به صورت متمرکز در یک محل نمودار می‌گردد ولی گاهی نیز ممکن است این آثار، یک استان و یا کل یک کشور را متأثر سازد. همچنین ممکن است این آثار در هنگام ساخت طرح، بلافاصله پس از تکمیل آن، هنگام شروع بهره‌برداری یا در زمانی پس از بهره‌برداری ظاهر شوند. با این حال، این آثار ممکن است زودگذر، کوتاه‌مدت یا بلندمدت باشد. هرگاه امکان‌پذیر باشد، این آثار باید در قالب عبارات ریالی ارزیابی گردند [۱۰].

۹-۳-۱ آثار اجتماعی مضر مرتبط با کارهای مهندسی رودخانه

آثار اجتماعی مضر مرتبط با کارهای مهندسی رودخانه با منطقه و نوع پروژه تغییر می‌نماید ولی آنهایی که معمولاً مشاهده می‌گردند و باید مدنظر قرار گیرند عبارتند از [۱۰]:

- تغییر کاربری‌های علمی، آموزشی یا تفریحی رودخانه،
- مهاجرت کارگران ساختمانی و فشار بر تأسیسات سکونت و آموزشی،
- فزونی بار اعمال شده بر تأسیسات حمل و نقل از ظرفیت آن در اثر مهاجرت کارگران،
- تبدیل اراضی آزاد و زمین‌های کشاورزی به کاربری‌های شهری و صنعتی،
- تنزل جنبه‌های زیبایی‌شناسی،
- نابودی یا خسارت به منابع^۱، باستان‌شناسی^۲ و تاریخی، و
- نفوذ آثار فعالیت‌های انسانی در مناطق طبیعی.

۹-۴ ملاحظات زیست‌محیطی

برنامه‌های توسعه یک منطقه، عموماً دارای آثار زیست‌محیطی است که این امر در سلامت آب، خاک، هوا و در نتیجه در سلامت انسان، حیات وحش و آبزیان و پوشش گیاهی و نیز چشم‌انداز و زیبایی منطقه مؤثر می‌باشد. در طرح‌های حفاظت کناره رودخانه‌ها نیز باید آثار اجرای طرح در منابع زیست‌محیطی مذکور مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. برای این منظور، پس از تعیین و انتخاب شاخص‌های زیست‌محیطی در هر مورد، باید مقادیر شاخص‌ها تحت شرایط «بدون اجرای طرح» و شرایط «با اجرای طرح» و برای شرایط آینده «محتمل‌تر» در طول عمر پروژه، برآورد و بررسی شوند [۱۰]. با این حال، کلر^۳ توصیه کرده که کارهای آینده مهندسی رودخانه (به طور عام) تنها در مواقع ضروری و منحصر به کوتاه‌ترین طول ممکن از رودخانه بوده و کمترین مقدار کنترل مصنوعی الزامی را برای رسیدن به اهداف طرح، طلب نماید.

مهندسی رودخانه نوین، رشد انواع مختلف گیاهان را مینا قرار می‌دهد، بنابراین هنگام طراحی و اجرای سازه‌های ساماندهی باید توجه بیشتری به شکل و انتخاب صحیح مصالح ساختمانی مبذول گردد. به عنوان مثال در ساخت سازه‌های بتنی، باید در حد امکان، از تضاد نامطلوب ظاهر این سازه با چشم‌انداز طبیعی اجتناب گردد [۱۰]. جدول (۹-۱)، روش‌های حفاظت کناره مناسب با هر هدف خاص زیست‌محیطی را ارائه می‌کند.

1 - Paleontological
2 - Archaeological
3 - Keller , 1976

جدول ۹-۱- روش‌های حفاظت کناره مناسب با اهداف خاص زیست‌محیطی^۱ [۱۱]

هدف خاص زیست‌محیطی	روش‌های حفاظت کناره مناسب
● نگهداری یا گسترش زیستگاه‌های خاکی ساحل رودخانه	● پوشش‌های مسلح، حفاظت پنجه، شیب دادن پنجه و مرمت پوشش گیاهی، ایجاد پوشش گیاهی ● حصارکشی و جمع‌آوری گیاهان شناور
● ایجاد زیر لایه‌ای پایدار برای حیات بی‌مهرگان	● پوشش سنگ‌چین، توری‌سنگی‌ها یا نقاط سخت ^۲
● ایجاد یا نگهداری زیستگاه‌های ماهی‌ها	● پوشش درختی، خاکریزهای هسته خاکی، نقاط سخت، آرام نمودن جریان با کاشت درختان
● گسترش یا نگهداری منابع زیبایی	● پوشش گیاهی، ترکیب پوشش گیاهی و سازه‌ها (پوشش‌های ترکیبی)، آبسکن‌های دارای هسته خاکی، حصارکشی
● ایجاد دسترسی به رودخانه برای تفریحات و حیات وحش	● پوشش‌های ترکیبی، حفظ و اصلاح سکوها، شیب دادن کناره‌ها و ایجاد مجدد پوشش گیاهی و اصلاح مسیر آبراه

۹-۴-۱ آثار زیست‌محیطی مضر مرتبط با کارهای مهندسی رودخانه

آثار زیست‌محیطی مضر مرتبط با کارهای مهندسی رودخانه، با منطقه و نوع پروژه تغییر می‌کند ولی آنهایی که معمولاً مشاهده می‌گردند و باید مدنظر قرار گیرند عبارتند از [۱۰]:

- تبدیل زیست‌گاه‌های ساحلی به اراضی زراعی،
- تبدیل اراضی آزاد و زمین‌های کشاورزی به کاربری‌های شهری و صنعتی،
- تغییر در مشخصه‌های ریخت‌شناسی رودخانه و در نتیجه از بین رفتن یا ایجاد خسارت به زیستگاه‌های آبزیان
- در صورت افزایش تراز آب رودخانه و در نتیجه افزایش تراز آب زیرزمینی، تلاقی جریان رودخانه با خروجی‌های فاضلاب و سایر جریان‌ات آلوده،
- نابودی محل سکونت و مناطق تخم‌ریزی شیلات، جدایی و تفرق زنجیره غذایی و کاهش محصولات رودخانه‌ای،
- تغییر در گونه‌ها، تبدیل از محیط زیست رودخانه‌ای به محیط زیست باتلاقی،
- تلفات منابع حیات وحش ناشی از غرقاب شدن یا نابودی زیستگاه‌ها،
- تلفات زیستگاه‌های ساحلی، مردابی و اراضی مرطوب به دلیل تغییر به کاربری‌های کشاورزی و صنعتی و شهری،
- نابودی زیستگاه‌های اصلی برای حیوانات و گیاهان کمیاب و در معرض خطر،
- افزایش سر و صدا هنگام ساخت و همچنین توسط گردشگران،
- افت بالقوه کیفیت هوا ناشی از فعالیت‌های ساختمانی، وسایل نقلیه گردشگران و سوزاندن مواد سوختی هنگام ساخت،
- نفوذ آثار فعالیت‌های انسانی در جنبه زیبایی‌شناختی مناطق طبیعی، و
- جابه‌جایی نواحی سبز ناشی از توسعه شهری و روستایی.

1 - Genetti, 1989

2 - Hard Points

۱۰- معیارهای انتخاب روش‌های مهار فرسایش و حفاظت کناره‌های رودخانه و اصول

کلی طراحی

این فصل، راهکاری منطقی برای چگونگی انتخاب روش مهار فرسایش برای یک بازه خاص را ارائه می‌نماید. به‌طور کلی، چهارچوب انتخاب در قالب سه مورد زیر قابل تعریف است:

- تأثیرگذاری روش‌ها و گزینه‌ها،
- ملاحظات زیست‌محیطی، و
- عوامل اقتصادی.

منطق به‌کارگیری این چارچوب، تأثیر خصوصیات روش‌های تثبیت و مشخصه‌های فیزیکی بازه مورد تثبیت روی انتخاب مناسب گزینه می‌باشد. در این ارتباط، باید میان کلمه انتخاب مناسب که متأثر از عوامل ذاتی می‌باشد و کلمه کفایت که متأثر از تصمیم‌گیری در طراحی می‌باشد، اختلاف و تمایز قایل شد. به عبارت دیگر، در مرحله انتخاب، روی مناسب بودن گزینه تمرکز شده، در صورتی که در مرحله طراحی، روی کفایت گزینه تمرکز صورت گرفته است؛ هر دوی این موضوعات، میزان تأثیرگذاری روش را تعیین می‌نمایند.

بسیاری از روش‌ها و گزینه‌ها، برای حل معضل پایداری در مقابل نیروهای فرسایشی و تخریب‌های ژئوتکنیکی قابل طراحی می‌باشد. آنچه برای یک مهندس مهم است، تعیین مناسب‌ترین و مؤثرترین راه‌حل‌ها و تشخیص روشی با بیشترین بازدهی در مقابل قوی‌ترین فرآیندهای فرسایش و بحرانی‌ترین ساز و کارهای تخریب می‌باشد. عوامل اقتصادی و زیست‌محیطی نیز، عوامل دخیل در انتخاب می‌باشند، هرچند راه حل انتخابی، باید ابتدا نیاز کناره‌ها را از نظر تثبیت مرتفع نماید، در غیر این صورت توصیف‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، جایگاهی نخواهند داشت.

۱۰-۱ تأثیرگذاری روش‌ها و گزینه‌ها

عوامل زیر، روی انتخاب روش تثبیت برای یک ناحیه خاص تأثیرگذار می‌باشند:

- دوام،
- انطباق با آب‌شستگی یا لغزش،
- عمق جریان در رودخانه،
- محدودیت‌های ساحلی،
- پلان مسیر رودخانه،
- تأثیر روی هیدرولیک جریان، و
- تأثیر روی فرسایش رودخانه در بالادست و پایین‌دست محل پروژه.

۱-۱-۱۰ تأثیر دوام پروژه

عوامل زیر باید در ارزشیابی دوام گزینه‌ها مورد بررسی قرار گیرند:

- عمر مورد انتظار پروژه،
- پایش و نگهداری،
- شرایط آب و هوایی،
- مواد شناور روی جریان آب،
- خوردگی و سایش، و
- سایر مخاطرات.

۱-۱-۱-۱۰ دوام مورد انتظار پروژه

این عامل، تعیین کننده درجه اهمیت دوام گزینه‌ها برای یک پروژه خاص می‌باشد. در عمل، معمولاً به ارزیابی کیفی عمر مورد انتظار پروژه بسنده می‌شود؛ یک انتخاب کیفی بین دوام کوتاه‌مدت یا دوام بلندمدت.

دو مثال از نیاز به پروژه‌های با دوام کوتاه، به قرار زیر است:

- تثبیت اضطراری در طی وقوع غیرعادی یک حادثه، که به اقدام فوری در شرایط غیرعادی نادر نیاز می‌باشد.
 - تثبیت موضعی نواحی از رودخانه که هجوم عوامل فرسایشی و تخریبی در طی یک دوره کوتاه، حادث شده و احتمال هجوم این‌گونه عوامل در آینده کم بوده یا در حد قابل قبول باشد.
- نیاز به تثبیت با دوام بلندمدت، معمول‌ترین وضعیت‌ها است. به‌طور کلی، در زمان وجود شبهه در انتخاب گزینه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت، بهتر است گزینه‌های بلندمدت انتخاب شوند، زیرا هزینه‌های کارگری و ماشین‌آلات، معمولاً گران‌ترین قسمت پروژه می‌باشند.

پروژه‌های میان‌مدت نیز قابل تعریف می‌باشند که در حالت‌های خاص زیر مناسب خواهند بود:

- زمانی که ناحیه فرسایشی رودخانه تثبیت می‌شود؛ با این فرض که در آینده، پروژه‌های دیگری باعث تغییر مسیر رودخانه یا سازه‌های در معرض خطر می‌شوند.
- زمانی که یک پروژه تثبیت در معرض مخاطرات (از پایین دست مانند فرسایش عمودی رودخانه یا از بالادست مانند مهاجرت قوس‌ها) می‌باشد.

۱-۱-۱-۲ پایش و نگهداری

اگر مدیر پروژه، توانایی پایش شرایط پروژه و نگهداری مورد نیاز آنرا داشته باشد، روش و گزینه کم‌دوام‌تری نیز قابل استفاده می‌باشد.

۱۰-۱-۱-۳ شرایط آب و هوایی

شرایط آب و هوایی مانند عوامل زیر، بر دوام پروژه تأثیرگذار می‌باشند:

- تناوب ذوب و انجماد،
- تورم،
- تناوب خشک و تر شدن، و
- نور خورشید.

آسیب‌پذیری سنگ در مقابل تناوب ذوب و انجماد، تأثیر تورم، تأثیر خشک و تر شدن (به‌انضمام خسارت‌های وارد شده توسط رشد باکتری‌ها و موربانه‌ها روی مؤلفه‌های چوبی) و تأثیر نور خورشید روی مصنوعات حفاظتی، از جمله عواملی هستند که در میزان دوام پروژه نقش مهمی دارند.

۱۰-۱-۱-۴ مواد شناور روی جریان آب

مواد شناور به شکل تنه درختان یا یخ‌های شناور، ممکن است موجب خسارت‌های عمده‌ای شوند.

۱۰-۱-۱-۵ خوردگی و سایش

این ساز و کارها باعث کاهش دوام سازه‌های دارای مصالح فلزی می‌گردند. عوامل بحرانی عبارتند از: شیمی آب، کیفیت هوا، تمرکز و سرعت رسوبات درشت‌دانه که به مصالح فلزی هجوم می‌برند. چنانچه مصالح فلزی به کار برده شوند، آسیب‌پذیرترین سازه‌ها به قرار زیر می‌باشند: سازه‌های انعطاف‌پذیر مانند بلوک‌های بتنی، توری‌سنگ‌ها، لاستیک‌های فرسوده و چوب و همچنین سازه‌های عرضی و سازه‌های تأخیری.

سه روش اجتناب از تخریب در یک محیط سایش و خوردگی عبارتند از:

- انتخاب روش یا گزینه‌ای که در مقابل خوردگی و سایش دارای مقاومت زیاد می‌باشند مانند:
- سنگ یا دیگر آرمورهای خود انطباقی،
- توری‌سنگ‌هایی که آسفالت یا بتن در آن تزریق شده باشد،
- بالشتک‌های انعطاف‌پذیر بدون اجزا فلزی، و
- گوره‌های سنگی.

- استفاده از مؤلفه‌های ویژه که در مقابل بدترین شرایط دارای مقاومت بسیار زیادی می‌باشند، مانند: آهن گالوانیزه یا فلز و سیم پوشش شده با PVC و مواد ساختمانی.

- کاربرد مفهوم ناحیه‌بندی، یعنی در ناحیه زیر سطح آب در زمان کم‌آبی، مواد مورد استفاده باید در مقابل رسوبات خورنده مقاومت داشته باشند و مواد بین حداقل سطح آب و گیاهان دائمی، باید در مقابل عوامل خورنده آبی و هوایی و با درجه کمتری خوردگی توسط رسوبات، مقاومت نمایند. مواد بالای پوشش گیاهی دائمی، نیاز به مقاوم سازی ندارند.

۱۰-۱-۱-۶ سایر مخاطرات

حادثه‌های زیر در بعضی حالت‌ها، ممکن است دوام پروژه را در معرض تهدید قرار دهند.

- سرقت،
- جانوران مانند موریانه، و
- آتش.

۱۰-۱-۲ تأثیر انطباق با آب‌شستگی یا لغزش کناره

به طور کلی، روش‌هایی که قادر به انطباق با آب‌شستگی یا لغزش کناره باشند، دارای مزیت قابل توجهی نسبت به روش‌های غیرقابل انعطاف می‌باشند. پس روش‌های صلب، در صورت لزوم، باید به دقت طراحی و ساخته شوند و یا حتی در نقاط بحرانی، از مصالح انعطاف‌پذیر استفاده شود.

۱۰-۱-۳ تأثیر عمق جریان رودخانه

عمق جریان آب رودخانه در ناحیه پروژه در طی دوره ساخت، در انتخاب روش‌های مناسب تأثیر مهمی دارد. ساده‌ترین شرایط، زمانی است که یک پروژه در یک رودخانه فصلی ساخته می‌شوند.

شرایط پیچیده‌تر اجرایی، زمانی است که رودخانه دائمی بوده و جریان آب برای مدتی طولانی از سال، مقطع رودخانه را کاملاً پر نموده و حتی در زمان بده پایه نیز، دارای عمق قابل ملاحظه‌ای باشد. در این وضعیت نیز، دامنه انتخاب روش گسترده می‌باشد، ولی انتخاب مصالح برای ناحیه زیر آب، بحرانی است. بهترین روش، استفاده از تکنیک چندگانه است که در آن، طرح قابل اطمینان اجرایی برای ناحیه زیر آب و طرح ارزان‌تر برای ناحیه بالای سطح آب پیشنهاد می‌شود.

مشکل‌ترین یا حداقل گران‌ترین وضعیت، معمولاً در رودخانه‌های بزرگ با عمق جریان بیشتر از چند متر حتی در نواحی با جریان پایه و با شیب‌های کناره بسیار ملایم است که باعث فاصله گرفتن پنجه کناره از لبه رودخانه شده و به راحتی توسط ماشین‌آلات زمینی قابل دسترسی نمی‌باشند.

در این شرایط دو راه حل وجود دارد:

- کار در داخل رودخانه؛ با استفاده از ماشین‌آلات مستقر روی بارج‌ها جهت استقرار سنگ، بالشتک‌های انعطاف‌پذیر یا سازه‌های صلب در زیر آب و انجام کار حفاظتی در ناحیه بالای سطح آب با روش‌های ارزان‌تر، و
- کار در ساحل رودخانه؛ با استفاده از کارگذاری سنگ در یک مسیر پلان ملایم در پشت کناره موجود رودخانه. زمانی که کناره در اثر فرسایش و تخریب به سنگ‌های کار گذاشته شده نزدیک می‌شوند، سنگ‌ها روی کرانه ریزش نموده و سطح کرانه را تثبیت می‌نمایند.

۱۰-۱-۴ تأثیر محدودیت‌های ساحلی

اگر تنظیم شیب کناره‌های رودخانه به منظور پایداری ژئوتکنیکی و ایجاد سطح مناسب برای استقرار لایه حفاظتی پر هزینه و یا به دلیل وجود سازه‌هایی در مجاورت کناره و یا به دلیل محدودیت‌های حقوقی عملی نباشد، روشی باید انتخاب کرد که به حداقل تنظیم شیب کناره نیاز داشته باشد. دو راه حل که در این شرایط مناسب می‌باشند به قرار زیر است:

- چنانچه تنظیم شیب کناره حتی به صورت محدود نیز وجود نداشته باشد، معمولاً از دیوارهای حایل یا سنگ چینی طولی استفاده می‌شود.
- چنانچه تنظیم شیب کناره به صورت محدود وجود داشته باشد، روش تسطیح قابل کاربرد است.

۱۰-۱-۵ پلان مسیر رودخانه

اجتناب از تغییر مسیر کلی رودخانه و تطبیق با پلان مسیر موجود، کم هزینه‌تر و دارای مزایای بیشتری از دیدگاه تغییر در مشخصه‌های هیدرولیکی می‌باشد. هرچند که ملاحظات ترابری، حضور سازه‌های موجود یا شرایط هیدرولیکی غیرمطلوب که در اثر قوس‌های با شعاع بسیار کم ایجاد می‌شود، ممکن است نیاز به تغییر پلان مسیر را ضروری نماید.

۱۰-۱-۶ تأثیر روی هیدرولیک جریان

با تغییر هندسه رودخانه یا پلان مسیر و طول رودخانه در یک پروژه تثبیت، هیدرولیک جریان تغییر خواهد کرد. از آنجایی که تغییرات غالباً کم اهمیت می‌باشند و یا اینکه با دیگر عوامل مانند مخازن بالادست، کانالیزه کردن و یا تغییرات در کاربری حوضه تداخل می‌نمایند، ارزیابی کمی قابل اعتماد از پتانسیل تأثیر پروژه تثبیت امکان‌پذیر نمی‌باشد. هر چند حساسیت تأثیرات پتانسیلی و دامنه آن قابل ارزیابی می‌باشد خوشبختانه، برای بیشتر پروژه‌های تثبیت، تأثیرات قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌شود. در رودخانه‌های با جریان‌های سیلابی، تأثیرات پتانسیلی پروژه تثبیت روی ضریب انتقال رودخانه باید به دقت بررسی شود. روش‌های مستقیم حفاظتی، باعث کاهش ضریب انتقال جریان نمی‌شوند. در صورتی که دایک‌های عرضی و طولی (روش‌های غیرمستقیم) باعث کاهش انتقال جریان می‌گردند. هر چند با وجود این سازه‌ها، انطباق رودخانه با شرایط جدید ممکن است اتفاق بیفتد و تعمیق در رودخانه تثبیت شده حادث گردد.

پیش‌بینی دقیق تأثیر نهایی تثبیت با روش‌های غیرمستقیم ممکن نیست. هر چند حساسیت یک پروژه با محاسبه پروفیل‌های جریان قبل و بعد از طرح تثبیت قابل تعریف و بررسی می‌باشد. در این رابطه، بهترین روش، استفاده از مدل‌های عددی است؛ خوشبینانه‌ترین روش در خصوص تأثیر نهایی تثبیت به صورت زیر است:

- هیچ‌گونه تعمیقی در رودخانه تثبیت شده اتفاق نمی‌افتد،
- رسوبگذاری قابل ملاحظه‌ای در محدوده طرح حادث می‌شود، و
- کناره‌های تثبیت شده، نهایتاً دارای پوشش سبزینه‌ای در وضعیتی مشابه کناره‌های طبیعی پایدار خواهند گردید و یا در حالت‌های به تله‌اندازی رسوبات، پوشش گیاهی قوی‌تری نسبت به حالت طبیعی ایجاد خواهد شد.

۱۰-۱-۷ تأثیر روی فرسایش رودخانه در بالادست و پایین دست محل پروژه

مرحله نهایی ارزیابی تأثیر گزینه‌های تثبیت، بررسی تأثیرات پتانسیلی روی فرسایش رودخانه در بالادست و پایین دست محل پروژه تثبیت می‌باشد.

خوشبختانه، پیش‌بینی این تأثیرات راحت‌تر از پیش‌بینی تأثیر روی ظرفیت رودخانه می‌باشد. البته نه به این دلیل که تأثیرات روی فرسایش در بازه‌های مجاور قابل پیش‌بینی باشند، بلکه به این دلیل که میدان پاسخ رودخانه محدودتر بوده و تأثیرات غالباً موضعی می‌باشند؛ بنابراین حساسیت پیش‌بینی از درجه بحران کمتری برخوردار می‌باشند.

به‌طور خلاصه، برای پیش‌بینی تأثیرات تثبیت روی فرسایش رودخانه در بالادست و پایین دست، باید از مفاهیم زمین‌ریخت‌شناسی بهره‌گیری نمود. هرچه گزینه‌های تثبیت پیشنهادی پلان مسیر رودخانه موجود و هندسه آن را کمتر تغییر دهند، تغییرات ریخت‌شناسی، پیچیدگی کمتری خواهند داشت.

۱۰-۲ ملاحظات زیست‌محیطی

در اینجا، عوامل محسوس زیست‌محیطی که بر انتخاب گزینه تثبیت تأثیرگذار می‌باشند، مورد بحث قرار می‌گیرند. ارزشیابی نهایی موفقیت یا عدم موفقیت، به تأثیرات زیست‌محیطی آنها بستگی دارد، زیرا تأثیرات زیست‌محیطی، غالباً توسط گستره وسیع‌تری از افکار، مورد بررسی و ملاحظه قرار می‌گیرد. ملاحظات زیست‌محیطی به صورت زیر قابل تجزیه و تحلیل می‌باشند:

- تأثیرات پتانسیلی زیست‌محیطی،
- اهداف زیست‌محیطی، و
- تشخیص روش‌های سازگار با محیط زیست.

۱۰-۲-۱ تأثیرات پتانسیلی محیط زیست

تأثیرات پتانسیلی پروژه تثبیت، به صورت دو شکل زیر قابل شرح می‌باشد:

- حفاظت مستقیم کناره معمولاً به آماده‌سازی کناره نیاز دارد. این کار، باعث از بین رفتن مقداری پوشش گیاهی در مجاورت کناره می‌شود.
- روش‌های حفاظت غیرمستقیم، وضعیت موجود حیات آبی و خاک را تغییر نمی‌دهد و حتی غالباً به عنوان عامل گسترش و بهبود وضع حیات آبی از طریق تغییر شرایط هیدرولیکی تلقی می‌گردند. هر چند رسوبگذاری متوالی ممکن است باعث نابودی این وضع بهبود یافته گردد، اما رشد و نمو پوشش گیاهی که متعاقب رسوبگذاری ایجاد می‌شود، باعث رشد و بهبود وضع حیاتی خشکی شده و به صورت یک منبع مواد ارگانیک درمی‌آید. چنانچه رسوبگذاری توسعه یافته و در معرض سیل‌گیری قرار نداشته باشد، قابل تبدیل به اراضی کشاورزی نیز می‌باشد. بنابراین در این گونه حفاظت‌ها، حیات آبی در یک انتقال چند مرحله‌ای به اراضی کشاورزی تبدیل می‌شود. تأثیرات پتانسیلی را در قالب دو دسته زیر می‌توان مورد بررسی قرار داد:
- وضع موجود حیات آبی، و
- وضع موجود حیات خشکی.

۱۰-۲-۱-۱ وضع موجود حیات آبی

وضع موجود حیات آبی، ممکن است در اثر پروژه‌های تثبیت، بهبود یا خسارت یابند. تأثیرات پتانسیلی به صورت زیر می‌باشد:

الف - کیفیت آب

- افزایش در گل‌آلودگی در طی ساخت،
- کاهش در گل‌آلودگی بعد از ساخت، به دلیل کاهش یافتن ورودی رسوبات حاصل از فرسایش کناره و تخریب،
- افزایش در درجه حرارت آب در صورت امحای عوامل ایجاد سایه،
- کاهش درجه حرارت آب در صورت ایجاد پوشش گیاهی در نواحی جدید، و
- وجود عناصر شیمیایی قابل انتشار در مواد به کار رفته جهت تثبیت.

ب - وضع موجود ماهیان

- تغییرات در مقدار و توزیع سرعت‌های جریان،
- تغییرات در مقدار و نوع پوشش در کف بستر رودخانه، و
- تغییرات در عمق جریان.

ج - وضع موجود جانوران ریز آبی

- مواد طبیعی کف کناره رودخانه با مواد به کار رفته در کارهای تثبیت جایگزین می‌شوند. این مورد، ممکن است برای گونه‌های جانوران ریز آبی که به زنجیره غذایی حساس می‌باشند، بحرانی باشد.

۱۰-۲-۱-۲ وضع موجود حیات در خشکی

تأثیر روی وضع موجود حیات در خشکی، ممکن است جدی‌تر و مداوم‌تر از ظاهر قضیه باشد. سکونت‌گاه‌های حاشیه رودخانه، مؤلفه بسیار مهمی از یک زیست بوم^۱ می‌باشد و نتایج اکولوژیکی تغییرات در آنجا ممکن است در فواصل طولانی نیز گسترش داشته باشد. عناصر ارگانیک موجود در خشکی حاشیه رودخانه (گیاهان و مورچه‌ها) که در آب می‌افتند، به عنوان منبعی از انرژی برای زیست بوم آبی تلقی می‌شوند.

فعالیت‌های ساختمانی ممکن است به طور موقتی، تحرک موجودات سکونت‌گاه‌ها را مختل نموده و مانع از حرکت طبیعی موجودات شوند. این موضوع، زمانی به صورت جدی و غیرقابل قبول مطرح می‌گردد که گونه‌های تحت تأثیر، کمیاب و یا در معرض انقراض باشند.

۱۰-۲-۲ اهداف زیست‌محیطی

تأثیرات پتانسیلی زیست‌محیطی تشریح شده را می‌توان در قالب اهداف زیر تبیین نمود:

- حفظ یا بهبود وضع موجود حیاتی در حاشیه رودخانه،
- اجتناب از اغتشاش در زندگی ماهیان در طی دوره‌های حساس،
- حفظ یا بهبود فرصت‌های تفریحی، و
- حفظ زیبایی‌های طبیعی.

۱۰-۳ عوامل اقتصادی

عوامل اقتصادی زیر، در انتخاب گزینه‌های تثبیت برای یک بازه خاص مؤثر می‌باشند:

- هزینه گزینه‌های تثبیت،
- منابع موجود و قابل دسترس، و
- امکان‌پذیری ساخت به صورت مرحله‌ای.

۱۰-۳-۱ هزینه گزینه‌های تثبیت

از آنجایی که هزینه‌ها نسبت به زمان و مکان تغییرات گسترده‌ای دارند، بنابراین بحث در این خصوص به بیان مفاهیم عمومی محدود شده است. یکی از روش‌های مناسب، استفاده از ماتریس می‌باشد که در قسمت بعدی ارائه شده است.

در برآورد نهایی، مواردی مانند جنبه‌های حقوقی، مهندسی و طرح، نظارت و بازرسی سازه، عملیات و نگهداری و هزینه‌های غیرقابل پیش‌بینی در نظر گرفته می‌شود. گاهی اوقات این موارد به صورت درصدی از هزینه ساخت در نظر گرفته می‌شوند. در مرحله انتخاب گزینه، معمولاً اختلافی در موارد مذکور (در خصوص گزینه‌های مطرح) وجود ندارد. به هر حال در موارد زیر تفاوت‌هایی ملاحظه می‌شود:

- تفاوت‌های مهم در هزینه مربوط به موارد حقوقی ممکن است زمانی اتفاق بیفتد که در یک روش، اجرای طرح تثبیت در داخل رودخانه انجام می‌شود. اما در روش دیگر، نیاز به حل موارد حقوقی حاشیه رودخانه، به دلیل اجرای طرح تثبیت در حاشیه رودخانه می‌باشد.
- ممکن است تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای در هزینه مهندسی و طرح وجود داشته باشد؛ به عنوان مثال اگر برای روش‌ها و گزینه‌های مورد بررسی، استانداردهایی وجود داشته باشد، هزینه‌های مهندسی و طرح، کمتر از زمانی است که به دلیل نبود استاندارد طراحی نیاز به صرف هزینه‌های بیشتری می‌باشد. همچنین داده‌های مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل و طرح، در روش‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. برای مثال، طرح دقیق ریپ‌راپ، به آنالیز هیدرولیکی و هیدرولوژیکی نیاز دارد و طرح دقیق ژئوتکنیکی، به کارهای پرهزینه صحرایی احتیاج دارد.

- روش‌هایی که به یک دوره زمانی طولانی سخت نیاز دارند، و یا روش‌هایی که به کنترل کیفیت گسترده‌ای احتیاج دارند، (مانند کارگذاری سنگ در زیر آب)، به صرف هزینه‌های هنگفت نظارت و بازرسی نیاز دارند در صورتی که این‌گونه هزینه‌ها، برای روش‌هایی که با حداقل نظارت، سریع اجرا می‌گردند، بسیار پایین است.
- در عمل، هزینه عملیات و نگهداری برای یک کار خوب طراحی شده معمولاً کم است، بنابراین مقایسه کمی روش‌های مختلف از این دیدگاه مشکل می‌باشد. مگر این‌که روش مورد بررسی به پایش و نگهداری زیادی نیاز داشته باشد.
- هزینه‌های غیرقابل پیش‌بینی، معمولاً به صورت درصدی از هزینه برآوردی در نظر گرفته می‌شود. اما اگر تغییرات غیرقابل پیش‌بینی در شرایط منطقه و یا مصالح و هزینه‌های سوخت، روی بعضی از گزینه‌ها نسبت به بعضی دیگر، بیشتر اثرگذار باشد، در انتخاب درصد وزنی این‌گونه هزینه‌ها باید دقت بیشتری مبذول داشت.

۱۰-۳-۲ منابع قابل دسترسی

منابع مالی و انسانی که برای ساخت پروژه تثبیت مورد نیاز می‌باشند، عبارتند از: سرمایه ثابت، نیروی انسانی، مصالح و ماشین‌آلات.

برای هر پروژه، یک یا چند مورد از موارد گفته شده، به عنوان قید بحرانی و مهم تلقی خواهد گردید.

۱۰-۳-۱ سرمایه اولیه

معمولاً سرمایه ثابت موجود، بزرگ‌ترین و مهم‌ترین قید در انتخاب گزینه و روش تثبیت می‌باشد. انتخاب یک گزینه ناقص به دلیل قرار داشتن هزینه‌های اجرای آن در محدوده سرمایه اولیه موجود، کاری اشتباه است. این وظیفه مهندس طراح است که روی طرح با کفایت مناسب پافشاری نماید. حتی اگر طرح اهداف نمایشی و تحقیقی داشته باشد و یا حتی اگر مسئولین پروژه اجازه تسریع در کار را داده باشند، طرح نباید از مرز کفایت طرح خارج گردد.

۱۰-۳-۲ کارگر و نیروی انسانی

در صورت وجود نیروی انسانی داوطلب و یا دسترسی به کارگر ارزان، می‌توان آنرا برای جبران کمبود سرمایه اولیه در نظر گرفت. روش‌هایی که به کارگر زیاد نیاز دارند، به قرار زیر می‌باشد:

- غالب سازه‌های طولی و عرضی،
- بلوک‌ها و سنگ‌های دست‌چین شده،
- کیسه‌های پر شده با مخلوط سیمان یا دیگر مصالح،
- بالشتک‌های توری‌سنگی، لاستیک‌های فرسوده،
- ایجاد پوشش گیاهی.

۱۰-۳-۳-۳ مصالح

استفاده از مصالح محلی قابل دسترس به جای مصالح وارد شده از مناطق دیگر، می تواند کمبود سرمایه اولیه را جبران نماید. در این رابطه، مثال های زیر قابل ارائه است:

- ایجاد پوشش حفاظتی از بلوک های بتنی، کیسه خاک - سیمان یا چوب،
- بالشتک ها از لاستیک های فرسوده یا مصالح چوبی،
- توری سنگ های پر شده با مصالح رودخانه ای،
- سازه های طولی و عرضی از چوب یا فلز،
- خاکریز با هسته مصالح محلی، و
- پوشش گیاهی.

۱۰-۳-۳-۴ ماشین آلات

دسترسی به ماشین آلات برای پروژه هایی که برای اجرا به مناقصه گذاشته می شوند، فاکتور چندان مهمی نیست، در صورتی که برای پروژه هایی که توسط سازمان ها اجرا می شوند، ماشین آلات، نقش مهمی در انتخاب گزینه تثبیت دارد. در چنین مواردی، مهندس طراح باید با گروه اجرایی در مرحله طراحی مشورت نماید تا روش های غیر عملی را حذف نماید.

۱۰-۳-۳-۱ امکان پذیری ساخت مرحله ای

هزینه اجرایی پروژه تثبیت یا سرمایه اولیه را می توان از طریق ساخت پروژه به صورت مرحله ای در دو حالت عمودی و افقی کاهش داد. لازم به یادآوری است که طرح با رویکرد مرحله ای و طرح ناقص را باید از هم متمایز نمود. طرح با رویکرد مرحله ای با تکمیل تدریجی، نتیجه مطلوب را ارائه می نماید، در صورتی که طرح ناقصی که بعداً در هنگام بهره برداری ناگزیر از تکمیل آن باید گردید، نامطلوب بوده و مناسب نیست.

۱۰-۳-۳-۱-۱ ساخت مرحله ای عمودی

در این رویکرد، از روش هایی که در مرحله اول باعث تله اندازی رسوبات در بین سازه های تثبیت گردیده و شرایط مناسبی را فراهم می نماید تا باقی مانده ساخت را با هزینه کمتری انجام داد، استفاده می شود.

این رویکرد، هم در سرمایه اولیه و هم در زمان ساخت به انعطاف پذیری نیاز داشته اما بسیار مفید و اقتصادی می باشد. این روش، می تواند ارتفاع سازه های تثبیت را کاهش داده و زمینه کاشت پوشش گیاهی را در یک فصل مطلوب برای رشد و تسریع در رسوبگذاری فراهم نماید.

این رویکرد، در شرایط زیر امکان پذیر است:

- در شرایطی که یک روش حفاظتی غیرمستقیم برای ناحیه مناسب تشخیص داده شود. البته در روش حفاظت ناحیه تحتانی کناره و استقرار پوشش گیاهی در ناحیه فوقانی نیز می توان این رویکرد را به کار برد.
- در شرایطی که ناپایداری کناره چندان زیاد نباشد و بنابراین تأخیر در تکمیل کار، خطری را برای کار مرحله اولیه ایجاد ننماید.

۱۰-۳-۲ ساخت مرحله‌ای افقی

در این رویکرد، تثبیت مرحله اول فقط محدود به طولی از کناره که بیشترین تقدم را دارد، انجام می‌شود و در مرحله بعد، باقی‌مانده طول کناره پروژه با یک تأخیر زمانی انجام می‌شود. این رویکرد، کل هزینه ساخت را کاهش نمی‌دهد. در واقع هزینه کل پروژه بیشتر شده ولی هزینه‌ها در زمان طولانی‌تری توزیع می‌شوند.

۱۰-۴ روش کاربردی انتخاب بهترین روش

این قسمت، برای تشخیص و انتخاب بهترین گزینه تثبیت برای یک پروژه پیشنهادی، روشی منطقی را ارائه می‌نماید. این روش، ابزاری را برای بررسی همه عوامل مرتبط با انتخاب تأمین نموده، همچنین مبنایی را برای تصمیم‌گیری فراهم می‌نماید. یک ماتریس، عضو اساسی این روش می‌باشد. ماتریس، شامل عوامل تأثیرگذاری، ملاحظات زیست‌محیطی، اقتصاد و بیمه گزینه‌های تثبیت می‌باشد. محتویات ماتریس و تعریف عوامل به منظور ارضای یک پروژه خاص قابل تغییر می‌باشد. ماتریس را می‌توان به چند زیرماتریس برای یک پروژه خاص توسعه داد. همچنین در بعضی حالت‌ها، بهتر است که کناره رودخانه را به چند ناحیه ارتفاعی (برای انتخاب روش‌های مرکب) تقسیم‌بندی نمود.

یک ماتریس کلی پیشنهادی در جدول (۱۰-۱) نشان داده شده است. نقطه شروع برای کاربرد این جدول برای یک پروژه پیشنهادی، حذف عوامل غیرمرتبط و امحای روش‌های غیرعملی برای پروژه می‌باشد.

برای مثال، اگر پروژه پیشنهادی در رودخانه‌های بی‌دوام یا کم عمق باشد، فاکتور نامناسب، «کاربرد در آب عمیق» می‌باشد. تعداد عوامل و تعداد گزینه‌هایی که در تکرار اولیه حذف خواهند شد، بسته به پیچیدگی شرایط پروژه و تجربه ارزشیابی متفاوت می‌باشد.

تکرار دوم، شامل بررسی کیفی گزینه‌های باقی‌مانده برای هر یک از عوامل باقی‌مانده می‌باشد. شکل بررسی کیفی به صورت علامت "+" برای ارزشیابی مطلوب، و علامت "-" برای ارزشیابی نامطلوب می‌باشد. علامت "0" برای ارزشیابی خنثی یا برای عاملی که با روش خاصی تناسب ندارد و علامت "?" برای وضعیتی که ارزشیابی امکان‌پذیر نمی‌باشد به کار می‌رود. لازم به یادآوری است که در این گونه بررسی‌ها، اهمیت هر عامل قابل تشخیص نیست.

چنانچه روش بهینه در این مرحله تکرار، قابل تشخیص نبود، مرحله تکرار نهایی شامل ارزشیابی عددی و کمی باقی‌مانده گزینه‌ها می‌باشد. برای هر گزینه‌ای، برای هر یک از عوامل تأثیرگذاری، زیست‌محیطی و اقتصاد، عددی در نظر گرفته می‌شود. مقیاس عددی برای این مرحله از ارزشیابی‌ها، اختیاری است، اما در عمل، ثابت شده که بهتر است تا ۵ سطح عددگذاری گردد؛ برای مثال: عدد (۱) برای ضعیف یا حداقل مطلوبیت تا عدد (۵) برای عالی یا حداکثر مطلوبیت.

جدول ۱۰-۱- ماتریس انتخاب روش حفاظت کناره‌های رودخانه در مقابل فرسایش

اقتصاد				تأثیرات زیست‌محیطی		تأثیر گذاری												
پس‌انداز به دلیل ساخت مرحله‌ای	هزینه			ضوابط	مردم	تأثیر روی :				استفاده در آب عمیق	تطابق یا آب‌خشستگی	تداوم						
	ابزار	مواد	کارگر			بالادست پایین دست	ظرفیت	پلان مسیر	کناره رودخانه			سرعت و غیره	آتش	خوردگی سایش	آسب مواد شناور	خشک و ترشدن	یخ‌زدگی آب‌شدگی	نگهداری ناقص
																		پوشش سنگی ریپ راپ سنگ ریسه ترانشه سنگی
																		سایر پوشش‌های انعطاف پذیر پوشش کیسه‌ای بلوک‌ها لاستیک‌های فرسوده
																		پوشش‌های صلب بتن آسفالت ریپرپ تزریق شده خاک - سیمان یخ
																		روکش‌های انعطاف پذیر نوری سنگ بلوک بتنی محصولات فابریک چوب
																		دایک‌ها دایک نفوذ پذیر دایک نفوذناپذیر
																		آبشکن‌ها نفوذ پذیر نفوذناپذیر
																		پوشش سبزینه‌ای

علاوه بر آن، بهتر است برای هر عامل، منطبق با اهمیت آن در موفقیت پروژه و مبتنی بر شرایط طرح و قابلیت‌ها و نیازهای مدیر طرح، به صورت عددی وزن داده شود. همچنین، برآورد تقریبی هزینه‌ها برای هر گزینه باقی‌مانده مفید خواهد بود.

اغلب پیشنهاد می‌شود که یک زیر ماتریس زیست‌محیطی، برای انتخاب گزینه مناسب تثبیت تهیه شود.

۱۰-۵ جنبه‌های عمومی طراحی تفصیلی

۱۰-۵-۱ کلیات

این بخش، جنبه‌های عمومی طراحی تفصیلی کلیه روش‌های حفاظت کناره را پوشش می‌دهد. در این مرحله از فرآیند طراحی، فرض می‌گردد که:

- شرایط طراحی به درستی مشخص شده است. به عنوان مثال دلیل به وجود آمدن مسئله برای کناره‌های موجود یا نیازهای حفاظتی یک کناره جدید معلوم می‌باشد.
- بررسی‌های محلی و مطالعات طراحی مقدماتی برای تعیین پارامترهای طراحی انجام گردیده است.
- عوامل عمومی مهندسی، زیست‌محیطی و اقتصادی برای انتخاب گزینه مناسب مدنظر قرار گرفته است.
- نتایج اصلی مرحله طراحی تفصیلی نقشه‌های اجرایی، همراه با محاسبات طراحی و توضیحات لازم می‌باشد. جز در حالتی که طراح بر کفایت نیروی کار لازم برای ساخت یا نگهداری حفاظت کناره، کنترل مستقیم دارد، ضروری خواهد بود در جهت حمایت نقشه‌های ساخت و محاسبات طراحی، مشخصات مورد نیاز برای ساخت و نگهداری، به صورت مکتوب درآید.
- انواع متفاوت سازه‌های حفاظتی، ضروریات مختلفی را برای بازرسی و نگهداری طلب می‌کند. طراح باید مشخصات عمومی نگهداری را برای کارفرما به گونه‌ای تهیه نماید، که نشان‌دهنده موارد زیر باشد:
- نوع و تناوب بازرسی‌های نگهداری،
- وظایف مورد انتظار نگهداری شامل تناوب محتمل و رویه عمومی اتخاذ شده (مانند دوغاب‌ریزی مجدد^۱)، و
- بودجه نگهداری طرح.

۱۰-۵-۲ اثر حفاظت کناره بر آبراه

هر طرح حفاظت کناره‌ای، فصل مشترکی را با محیط زیست طبیعی به وجود می‌آورد. طرح مؤثر باید:

- پایداری کناره را در شرایط محیطی تأمین نماید، و
- به گونه‌ای باشد که به آبراه تأثیر معکوس نداشته باشد.

الف - تأثیر در ظرفیت آبراه

حفاظت کناره می‌تواند با تغییر ابعاد هندسی آبراه و نیز زبری هیدرولیکی آن بر ظرفیت آبراه، تأثیرگذار باشد.

زبری هیدرولیکی انواع مختلف حفاظت کناره، می‌تواند از سطوح بسیار صاف مانند بتن تا سطوح زبر مانند ریپرپ و یا برحسب ضریب زبری مانینگ از ۰/۱۵ تا ۰/۰۴ تغییر نماید. لازم به یادآوری است که در آبراه‌های با پوشش گیاهی، ظرفیت باید با در نظر گرفتن حداکثر رشد گیاهان، برآورد شود.

اگر طرح حفاظتی، آبراهی با زبری مرکب تشکیل دهد، خصوصیات هیدرولیکی مقطع مرکب باید برآورد شود. برای تخمین این ضریب در مقاطع مرکب و همچنین برآورد تأثیر زبری مرزی و شکل هندسی مقاطع در توزیع تنش برشی در سطح مقطع، به کتاب‌های مرجع هیدرولیک مراجعه شود.

اگر ابعاد و زبری هیدرولیکی آبراه محافظت شده، با آبراه موجود تفاوت بسیاری داشته باشد، ظرفیت آبراه باید دوباره برآورد شود. تخمین تراز آب، سرعت متوسط یا تنش‌ها در بازه حفاظت شده و یا در نواحی حد فاصل بین آبراه موجود و مقاطع حفاظت شده، باید با در نظر گرفتن نیمرخ جریان متغیر تدریجی در ناحیه مذکور، انجام گردد.

ب - اثر بر فرسایش موضعی

هر نوع حفاظت کناره باعث ایجاد یک الگوی جریان موضعی می‌شود که ممکن است با آبراه طبیعی اندرکنشی داشته باشد. تأثیر این جریان موضعی عموماً در بخش انتهایی ناحیه حفاظت شده و به صورت فرسایش موضعی ناشی از جریان آشفته حاصل از تعدیل گرادیان سرعت موضعی دیده می‌شود.

تأثیر عمل امواج می‌تواند به دلیل جریان انعکاسی ایجاد شده توسط حفاظت کناره، افزایش یابد. این امر، هم در حفاظت‌های قائم و هم در حفاظت‌های مایل، به وقوع پیوسته و می‌تواند باعث فرسایش بستر در پای کناره شود.

۱۰-۵-۳ مؤلفه‌های طرح حفاظت

توجه دقیق باید به جزئیات لبه سازه حفاظتی در تاج و پنجه آن و نیز در محل اتصال بخش حفاظت شده آبراه با بخش بدون پوشش آن و یا دیگر سازه‌ها به عمل آید.

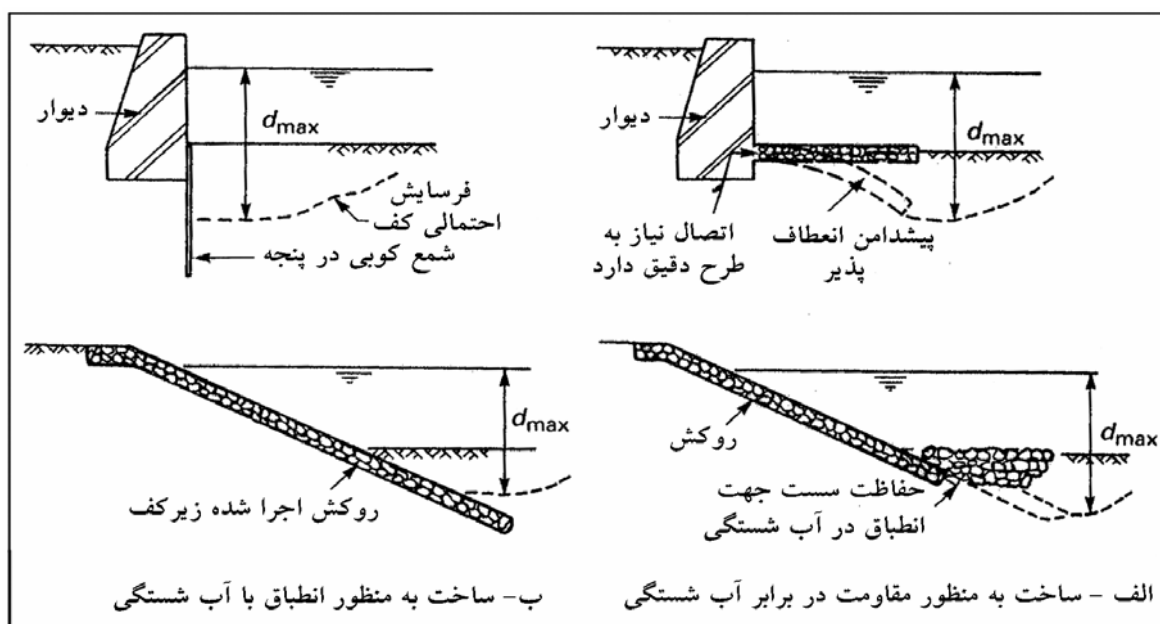
الف - حفاظت پنجه

پنجه سازه حفاظت کناره باید در مقابل آب‌شستگی بستر حاصل از جریان رودخانه، عمل امواج یا تراوش حفاظت گردد. حفاظت پنجه از دو طریق امکان‌پذیر است:

- با ساخت یک دیواره آب‌بند^۱ مقاوم در مقابل آب‌شستگی. این دیواره باید تا حداکثر عمق آب‌شستگی برآورد شده ادامه یابد. دیواره آب‌بند برای افزایش مسیر خطوط پتانسیل تراوش نیز قابل استفاده است.

- با تعبیه آنچه به نام‌های پارچه محافظ^۱، کف‌بند^۲، حفاظت انعطاف‌پذیر^۳ نامیده شده و از پنجه کناره به داخل بستر اجرا می‌گردد و می‌تواند میزان آب‌شستگی را تعدیل نماید.

روش‌های بالا در شکل (۱۰-۱) ارائه شده و اصول حفاظت پنجه راه، هم برای دیوار و هم برای پوشش‌ها نشان می‌دهد. کف‌بندهای انعطاف‌پذیر روی بسترهای بدون چسبندگی که مصالح زیر لایه‌های آن دچار آب‌شستگی شده و به یک شیب یکنواخت تغییرشکل می‌دهند، بهتر اجرا می‌شوند. در بسترهای با خاک چسبنده، فرآیند آب‌شستگی، یک شیب یکنواخت ایجاد نمی‌کند بنابراین سازه باید تا حداکثر عمق آب‌شستگی تخمینی ادامه یابد.

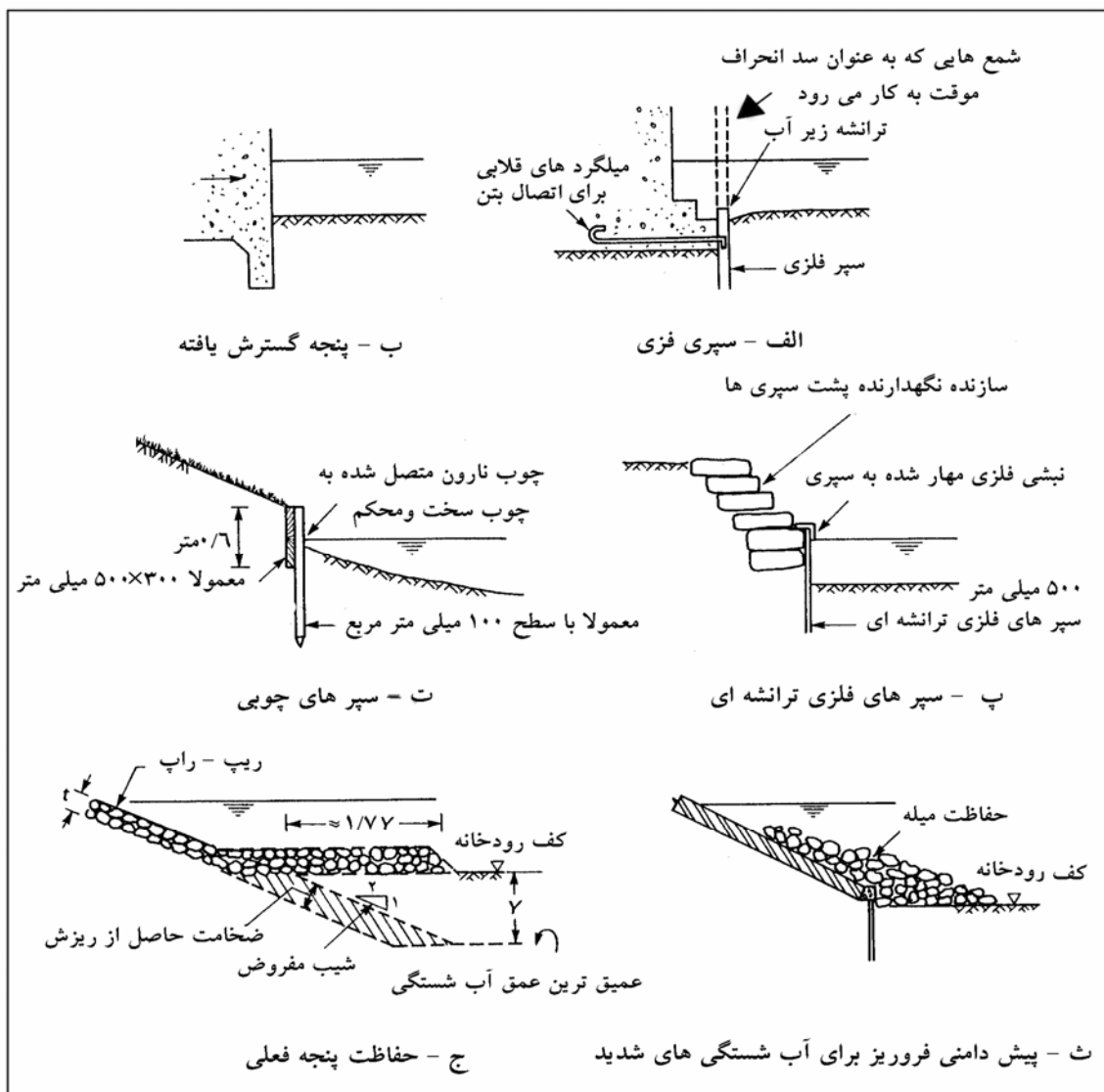


شکل ۱۰-۱ - انواع اصلی حفاظت پنجه (d_{max} عمق آب‌شستگی تخمینی است).

عمق آب‌بند باید با حداکثر عمق آب‌شستگی مورد انتظار فاصله مناسب داشته (حداقل ۵۰ درصد) یا تا سنگ بستر ادامه یابد. عمق آب‌شستگی باید بر پایه مصالح بستر و الگوی جریان پس از نصب حفاظت کناره برآورد شود. در صورتی که عامل اصلی در ایجاد فرسایش امواج ناشی از تردد کشتی‌ها باشد (نه سرعت جریان آب)، عمق آب‌شستگی در پای سازه را نباید کمتر از حداکثر ارتفاع موج حاصله نسبت به تراز نرمال آب در نظر گرفت. بدیهی است با افزایش عمق آب، اهمیت آب‌شستگی ناشی از موج کاهش می‌یابد.

- 1 - Skirt armour
- 2 - Apron
- 3 - Flexible protection

در عمل، پهنای اسمی مجاز برای حداقل ۱ متر آب‌شستگی انتخاب می‌شود. روش‌های فراوان دیگری نیز برای ساخت پنجه و تعیین جزییات آن ارائه گردیده است. شکل (۱۰-۲) مثال‌هایی را نشان می‌دهد که در آنها از مصالح مختلف و عموماً در دسترس استفاده شده است.



شکل ۱۰-۲- مثال‌هایی از جزییات پنجه

در حالت حفاظت پنجه انعطاف‌پذیر، اگر حفاظت کناره انعطاف‌پذیر باشد، می‌توان آنرا در جهت ساده‌سازی به راحتی درون بستر ادامه داد. پیش‌بند باید کاملاً انعطاف‌پذیر بوده و به نحوی، مناسب طراحی گردد به طوری که در طول خط پنجه دچار گسیختگی نگردد. در بعضی حالت‌ها، امتداد دادن حفاظت کناره به درون بستر، بسیار اقتصادی خواهد بود. در چنین حالت‌هایی از حفاظت کامل آبراه، ممکن است از ضرورت انعطاف‌پذیری صرف‌نظر شود.

ب - جزئیات تراز فوقانی سازه حفاظتی

تاج یا تراز فوقانی حفاظت کناره، باید بتواند موارد زیر را تحمل نماید:

- سرریزی در زمان وقوع سیلاب‌های حدی،

- آثار ترافیک (وسایل نقلیه، انسان، گله‌های دام)، و

- خرابکاری.

همچنین باید به پوشیده بودن مناسب ژئوتکستایل‌ها یا مهارها توجه کافی مبذول گردد. جانمایی تاج نیز نباید به گونه‌ای باشد که زهکشی موضعی آب‌های سطحی را به تأخیر انداخته یا مانع آن شود. در ضمن باید در مقابل آب‌شستگی ناشی از سرریزی نیز مقاوم باشد.

ترازی که حفاظت اصلی در آن به پایان می‌رسد، لزوماً تراز فوقانی کناره نخواهد بود. این تراز، بر مبنای تراز سطح آب دوره بازگشت داده شده و یا ترازوی که بالاروی موج به‌ندرت از آن بیشتر می‌شود، انتخاب می‌گردد.

ج - حد حمله موج

بالاروی مؤثر بالای تراز متوسط آب از حدود $4H$ برای سطوح صاف مانند دال بتنی یا آسفالت و برای سطوح زیر مانند پوشش سنگی تا حدود $2H$ برای پوشش سنگی ریپ ریپ تغییر می‌نماید که H ارتفاع موج مؤثر برای امواج تصادفی یا ارتفاع موج غیرمترقبه برای موج‌های منظم است. حد پایینی حمله موج، حدود $2/5H$ زیر تراز متوسط سطح آب تخمین زده می‌شود.

د - اتصال با آبراه بدون پوشش یا دیگر سازه‌ها

به طور معمول، سازه حفاظتی باید در آبراه تا جایی ادامه یابد که آبراه پوشش در معرض فرسایش نمی‌باشد. مطالعات طرح مقدماتی (مانند مشاهدات صحرایی، عکس‌های هوایی، محاسبات هیدرولیکی و مطالعات مدل) باید نشان‌دهنده این امر باشد. اگر کناره‌ها در معرض حمله سنگین موج باشد، باید به تدریج کاهش‌هایی در نوع یا ابعاد حفاظت ناحیه انتقالی نسبت به ناحیه اصلی حفاظت شده داده شود.

در تلاقی حفاظت کناره با سازه‌های هیدرولیکی، اقدامات حفاظتی باید تا جایی در پایین‌دست سازه‌ها ادامه یابد که آثار الگوهای جریان موضعی محو گردد. در صورت عدم وجود اطلاعات صحرایی خاص، حفاظت کناره باید حداقل تا $2/5$ برابر عمق جریان در پایین‌دست سازه‌هایی مانند آبگذر^۱ و تا 4 برابر عمق جریان در صورت وجود آشفتگی شدید ادامه یابد. در کناره خارجی پیچ‌ها معمولاً اقدامات حفاظتی به اشتباه در فاصله‌ای دور در بالادست خاتمه داده می‌شود. در صورت عدم وجود اطلاعات صحرایی، حفاظت کناره در پایین‌دست پیچ باید تا $1/5$ برابر پهنای آبراه ادامه یابد.

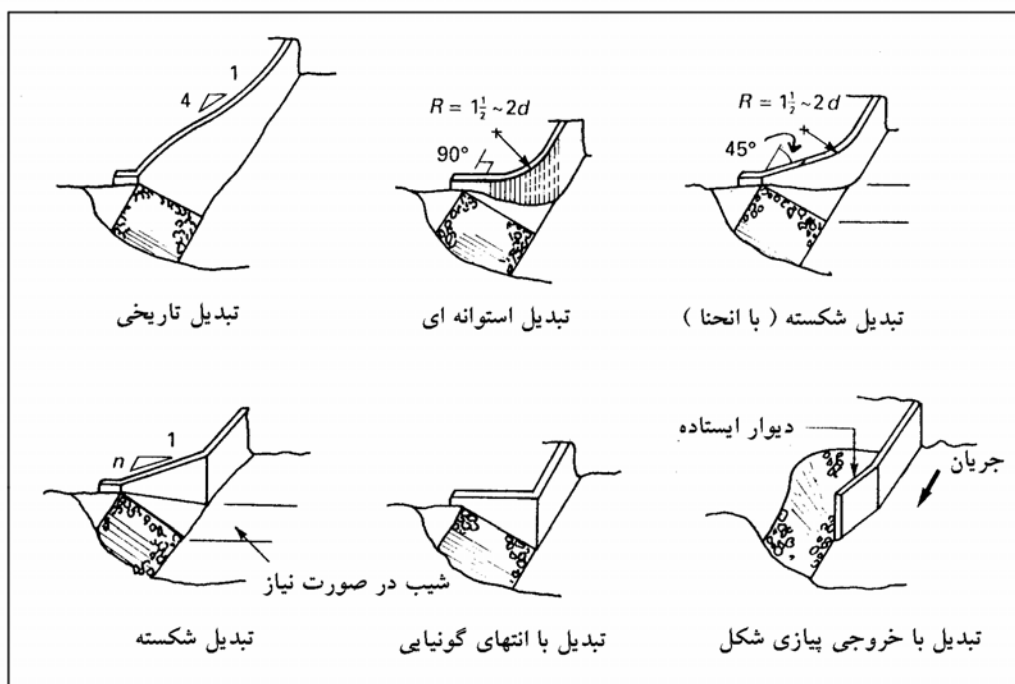
برای مقابله با آب‌شستگی موضعی، معمول است که ناحیه‌ای از کناره را بین کناره حفاظت شده و کناره طبیعی با سامانه‌ای که زبری هیدرولیکی متوسط (و بنابراین انتقالی را در گرادیان سرعت به وجود می‌آورد)، حفاظت نمایند. به عنوان مثال، ممکن

است از روکش توری سنگی در پایانه پایین دست پوشش بتنی نرم استفاده شود. در پایین دست آن نیز اگر زمین دست خورده و آشفته باشد، لایه ژئوتکستایل یا شن را می توان برای حفاظت کناره تا ایجاد پوشش گیاهی مورد استفاده قرار داد. علاوه بر تعبیه چنین سامانه حفاظت انتقالی، برگرداندن قسمت انتهایی حفاظت کناره به درون کناره برای ممانعت از وقوع آبشستگی در پشت آن، اقدام مناسبی است. این اقدام بخصوص در صورت استفاده از حفاظت قائم، از اهمیت خاص برخوردار است. به طور مشابه، زمانی که طولی از پوشش یا حفاظت طبیعی در معرض فرسایش شدید است، "نقاط قوی" مخفی را می توان به صورت عمود بر خط کناره و پشت پوشش ساخت تا گسترش فرسایش محدود شده و از تخریب پوشش جلوگیری به عمل آید.

در جاهایی که حفاظت کناره اصلی قائم بوده و یا حفاظت مایل به سازه ای متصل می گردد، ایجاد ناحیه انتقالی تدریجی از ناحیه قائم به کناره مایل برای جلوگیری از افت بار هیدرولیکی، عموماً غیراقتصادی است. هر انتقال شدیدتری نیز، باعث ایجاد جریان های گردابی موضعی تحت شرایط جریان رودخانه می شود که در طراحی باید مدنظر قرار گیرد. مثال هایی از نواحی انتقالی بین کناره های قائم و مایل در شکل (۱۰-۳) نشان داده شده است.

۱۰-۵-۴ پیش بینی راه دسترسی

اقدام انسان یا حیوانات برای دسترسی به آب رودخانه، معمولاً خساراتی را بر کناره اعمال خواهد نمود. در مناطقی که چنین خسارت هایی ایجاد گردیده یا محتمل است که به وجود آید، مهندسين به جای در نظر گرفتن اقدامات مدیریتی یا کنترلی، برای جلوگیری از تخریب کناره، باید ایجاد راه های دسترسی برای عبور و مرور، احداث سکو و ... را مد نظر قرار دهند.



شکل ۱۰-۳- مثال هایی از نواحی انتقالی بین کناره های قائم و مایل

گاهی اوقات نیز دسترسی به رودخانه برای بازرسی، نگهداری یا تعمیر سازه‌ها ضروری خواهد بود. در صورت وجود حفاظت‌های با سطوح صاف مانند دال بتنی، تعبیه پله در فواصل منظم و نیز در جایی که احتمال عبور اشخاص برای دسترسی به رودخانه زیاد است، ضروری می‌باشد.

چنانچه کناره‌ها دارای پوشش حفاظتی علفی (چمنی^۱) باشند، باید نسبت به کوتاه کردن و نگهداری از آن اقدام شود. شکل شیب کناره‌ها و سکوه‌های دسترسی باید اجازه کارهای تعمیراتی را بدهد. تجهیزات دستی را در صورت استفاده، با دقت می‌توان در شیب‌های تا ۱ به ۲/۵ به کار گرفت، در صورتی که استفاده از تجهیزات متصل شده به تراکتور از روی سکوی دسترسی یا در شیب‌های کمتر از ۱ به ۴ امکان‌پذیر می‌باشد.

تعاریف پایه

معمولاً در هر بحث تخصصی، اصطلاحاتی اصلی وجود دارد که آشنایی قبلی با آنها زمینه استفاده مطلوب‌تر از مطالب ارائه شده را فراهم می‌سازد. براین اساس، در این فصل، به تعریف این اصطلاحات و مفاهیم پایه در موضوع مورد بحث پرداخته شده و تلاش گردیده تا در این زمینه، مسئله اختصار رعایت شود.

مهندسی رودخانه^۱: به مراحل مختلف برنامه‌ریزی، مطالعه و طراحی، اجرا و بهره‌برداری از عملیات مختلفی گفته می‌شود که به منظور بهبود وضعیت رودخانه در جهت استفاده بهتر از آن انجام می‌گیرد. استفاده حداکثر از رودخانه‌ها برای تأمین نیازهای زندگی انسان و به حداقل رساندن خطرات آنها، یکی از اهداف مهندسی رودخانه است.

عملیات مهندسی رودخانه را در چهار گروه می‌توان تقسیم‌بندی کرد:

الف - اصلاح و تنظیم مقاطع طولی یا عرضی آبراه^۲،

ب - اصلاح و تنظیم بده جریان^۳،

ج - اصلاح و تنظیم سطح تراز آب^۴، و

د - حفاظت کناره‌ها و مهار سیل.

ریخت‌شناسی رودخانه^۵: علم شناخت سامانه رودخانه از نظر شکل کلی، مشخصه‌های هیدرولیکی، راستا و پروفیل طولی

بستر و نیز روند و ساز و کار تغییرات آن می‌باشد. از طریق بررسی آن می‌توان شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن را در آینده بهتر درک کرد.

ساماندهی رودخانه^۶: شامل مجموعه عملکردهایی است که به منظور تثبیت آبراه در امتداد یک مسیر معین با مقطع

عرضی مشخص برای تحقق یک یا چند مورد از اهداف زیرصورت می‌پذیرد:

الف - گذردهی سریع و ایمن جریان سیلاب،

ب - انتقال مطلوب رسوبات بستر و رسوبات معلق،

ج - پایدارسازی مسیر با حداقل فرسایش دیواره،

د - تأمین عمق و مسیر مناسب برای کشتیرانی، و

ه - هدایت جریان در یک امتداد مشخص تعریف شده از رودخانه.

حفاظت رودخانه^۷: به مجموعه عملیاتی گفته می‌شود که برای حفظ شرایط موجود رودخانه در یک طول یا بازه مشخص،

با جلوگیری از فرسایش بستر و دیواره و به منظور استفاده بهینه از آن صورت می‌پذیرد.

1 - River Engineering
2 - Channel Regulation
3 - Discharge Regulation
4 - Water Level Regulation
5 - River Morphology
6 - River Training
7 - River Protection

حفاظت سیلاب^۱: به مفهوم به کارگیری کلیه روش‌هایی است که برای مهار بده مازاد بر ظرفیت رودخانه به کار می‌رود و بهتر است که از عبارت «کاهش خسارات سیل» در این زمینه استفاده شود، زیرا مهار سیل همیشه امکان‌پذیر نبوده و غالباً غیراقتصادی و غیرعملی است.

فرسایش^۲: فرآیند پیچیده‌ای است که با گذشت زمان، موجب تغییر هندسه رودخانه می‌شود. عوامل عمده مؤثر در ایجاد آن عبارتند از:

الف - مشخصه‌های هیدرولیکی جریان رودخانه،

ب - مشخصه‌های مصالح سازنده بستر و دیواره‌ها،

ج - مشخصات دیواره‌ها،

د - جریان‌های زیرسطحی^۳،

هـ - امواج ناشی از باد و حرکت قایق،

و - عوامل آب و هوایی،

ز - عوامل بیولوژیکی، و

ح - دخالت‌های انسان در رودخانه.

آب‌شستگی^۴: نوعی از فرسایش است که در اثر عبور جریان از مقطع رودخانه صورت می‌پذیرد و می‌توان آنرا به دو دسته کلی آب‌شستگی عمومی و آب‌شستگی موضعی تقسیم کرد.

آب‌شستگی عمومی^۵: نوعی از آب‌شستگی است که موجب پایین‌افتادگی سطح بستر و تراز آب می‌گردد و معمولاً ناشی از عوامل زیر است:

الف - رسوب‌زدایی جریان به وسیله مخازن یا برداشت شن و ماسه در رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی،

ب - تنگ‌شدگی طولانی مقطع رودخانه،

ج - افزایش بده، عمق و شیب رودخانه در طی وقوع سیلاب‌های مکرر طی سالیان متمادی، و

د - افزایش شیب به دلیل کاهش زبری در نتیجه تنظیم آبراه، حذف یا تخریب پله‌ها^۶، سرریزها^۷ و غیره.

آب‌شستگی موضعی^۸: افت موضعی تراز بستر رودخانه در نتیجه اندرکنش مابین جریان با سرعت زیاد و بستر سست، و تغییر و تبدیل حاصل در الگوی جریان، به آب‌شستگی موضعی موسوم است. معمولاً می‌توان این پدیده را در شرایط زیر مشاهده کرد:

الف - تنگ‌شدگی موضعی رودخانه،

1 - Flood Protection
2 - Erosion
3 - Subsurface Flows
4 - Scour
5 - General Scour
6 - Drops
7 - Weirs
8 - Local Scour

ب - در مجاورت سازه‌ها و موانع ایجاد شده در حریم رودخانه،

ج - در دیواره مقعر (خارجی) پیچ رودخانه، و

د - برخورد جت‌های سریع خروجی از سرریزها و دریاچه‌ها با مصالح سست آبرفتی.

بده غالب^۱: در کارهای مهندسی، انتخاب یک بده پایه که از نظر ریخت‌شناسی متناسب با شرایط نسبی پایدار رودخانه باشد، اهمیت دارد. این بده پایه را بده غالب می‌نامند. با توجه به توضیح بالا، برای بده غالب تعریف دقیقی نمی‌توان ارائه داد، به طوری که بسیاری از محققان این رشته، تعریف‌های متفاوتی از آن ارائه کرده‌اند. هندرسون^۲ (۱۹۶۶) آنرا بده لبریز (مقطع پر) می‌داند که عبارت از جریانی می‌باشد که با تغییرات متناوب بده و رسوب، شکل و مقطع اصلی رودخانه را می‌سازد. لئوپلد و لمن^۳ (۱۹۵۷) نیز مقدار این بده را در محدوده سیل بیشینه ۱ تا ۲ ساله به دست آورده‌اند.

جریان ثانویه^۴: تحقیقات محققان نشان داده که در مجاری بسته و باز، اعم از مستقیم یا غیرمستقیم علاوه بر جریان طولی، یک حرکت چرخشی نیز در جهت عرضی وجود دارد. این حرکت چرخشی با عنوان جریان ثانویه شناخته می‌شود. **پیچانرود^۵:** پیچانرودها در پلان، شامل یک سری پیچ و خم‌های متناوب است که توسط بازه‌های مستقیم به یکدیگر می‌پیوندند. پیدا کردن مشخصه‌ای که بتواند به طور واضح رودخانه‌های مستقیم را از پیچانرود متمایز سازد، کار دشواری است. معمولاً برای این منظور از مفاهیمی مانند نسبت خمیدگی یا پیچش^۶ استفاده می‌شود. نسبت خمیدگی یک رودخانه عبارت است از نسبت طول خط محور رودخانه به طول دره‌ای است که رودخانه در آن جریان دارد. براساس تعریف لئوپلد و ولمن (۱۹۵۷)، رودخانه‌های با نسبت خمیدگی بزرگ‌تر از ۱/۵، پیچانرود به حساب می‌آیند. یافته‌های این محققان نشان داد که در اغلب رودخانه‌های پیچانرودی، نسبت شعاع انحنا به عرض رودخانه در محدوده ۲ تا ۳ قرار دارد.

رودخانه شریانی^۷: رودخانه‌ای است با بستر بسیار عریض و کم‌عمق که در آن، آب در دو یا چند آبراه که با جزایر آبرفتی از یکدیگر جدا شده‌اند، جریان دارد. مقایسه خصوصیات هیدرولیکی آنها با سایر رودخانه‌ها نشان می‌دهد که برای یک رودخانه شریانی، شیب تندتر، عرض مقطع بزرگ‌تر و عمق کمتر است. به طوری که نسبت شیب یک رودخانه شریانی به شیب یک پیچانرود یا رودخانه مستقیم، از ۱/۳ تا ۲/۳ تغییر می‌کند. همچنین نسبت عرض این دو از ۱/۰۵ تا ۲/۰ متغیر است. مطالعات فردسو^۸ (۱۹۷۸) نیز نشان داده است که در رودخانه‌های شریانی، نسبت عرض به عمق متوسط بازه بزرگ‌تر از ۶۰ می‌باشد.

میان‌بر^۹: پدیده‌ای است که در روند رخداد آن، جریان در یک رودخانه آبرفتی در طول پیچ و خم‌ها، مسیر یک پیچ خاص را رها کرده و در طول یک آبراه نسبتاً کوتاه‌تر و مستقیم‌تر حرکت نموده و کانال جدیدی را ایجاد می‌کند؛ در نتیجه به حذف پیچ مذکور منجر می‌شود. در مواردی، به منظور اصلاح مسیر رودخانه کانال، میان‌بر به صورت مصنوعی ایجاد می‌گردد. در مجموع منافع زیر را می‌توان برای میان‌برها نام برد:

الف - خارج‌سازی انحنای زیاده از حد از مسیر رودخانه که انتظار حفظ سازه‌های تنظیمی در آنها نمی‌رود،

1 - Dominant Discharge

2 - Henderson (1966)

3 - Leopold and Lemans (1957)

4 - Secondary Flow

5 - Meandering River

6 - Sinuosity

7 - Braided River

8 - Fredso (1978)

9 - Cutoff

- ب - ایجاد آبراه جدید که با تندسازی شیب آن به دلیل کوتاه‌شدگی مسیر، آب، یخ و رسوبات را از خود عبور می‌دهد (از تشکیل مرداب و ته‌نشینی رسوبات در آن جلوگیری می‌شود)،
- ج - تسهیل کشتیرانی، کمک به فروکش سیلاب‌ها، از بین بردن خطر ایجاد انسداد مجرا ناشی از یخ‌های شناور،
- د - دستیابی به محلی برای ساخت بزرگراه‌ها، خط آهن و سازه‌های دیگر، فراهم‌سازی اهداف موضعی دیگر که با مقاصد کلی و اصول تنظیم رودخانه‌ها مغایرتی ندارند، و
- ه - تغییر دهانه رودخانه که برای دستیابی به شیب تندتر و سرعت بیشتر جریان ضروری است. میان‌برها همچنین به حفاظت از سازه‌های قرار گرفته در دیواره مقعر رودخانه با تقسیم جریان به دو کانال کمک می‌نمایند.
- پوشش‌های حفاظتی^۱**: سازه‌هایی در مجاورت ساحل رودخانه و موازی با جریان هستند که معمولاً به منظور پایدارسازی و حفاظت دیواره‌های فرسایش‌پذیر رودخانه از آنها استفاده می‌شود. از مهم‌ترین و مورد استفاده‌ترین انواع پوشش‌های حفاظتی، می‌توان از پوشش سنگی^۲، توری سنگ^۳، سطوح بتنی و مخلوط خاک - سیمان نام برد.
- روکش‌های حفاظتی^۴**: روکش، یک نوع پوشش محافظ انعطاف‌پذیر است که روی کناره رودخانه قرار داده شده تا بستر آن ادامه می‌یابد و معمولاً از شاخ و برگ یا سرشاخه‌های درختان، چوب یا الوار به‌هم یافته شده و یا از مصالح دیگری مانند قطعات بتنی مسلح و یا غیرمسلح، قطعات سنگ، توری سنگ، آسفالت و غیره ساخته می‌شود.
- توری سنگ**: متشکل از سنگ‌هایی است که در داخل سبدهای سیمی یا پلاستیکی ریخته شده‌اند. متداول‌ترین نوع سبدها، سبدهای ساخته شده از سیم‌های فولادی بافته شده یا جوش داده شده است. برای جلوگیری از زنگ‌زدگی، آنها را معمولاً ضدزنگ انتخاب کرده و یا با پوششی از جنس PVC (تنها برای سیم‌های بافته شده) می‌پوشانند.
- پوشش سنگی**: اصطلاحی است که برای یک لایه پوششی با اجزای غیرمتصل به یکدیگر به کار می‌رود که از سنگ استخراجی از معادن تشکیل و به صورت تصادفی چیده شده باشد. سنگ‌چین از جمله معمول‌ترین انواع لایه‌های پوششی در سرتاسر جهان است. از مزایای آن نسبت به سایر انواع پوشش‌ها می‌توان موارد زیر را نام برد:
- الف - امکان اجرای نسبتاً آسان (از جمله در نقاط زیر آب)،
- ب - انعطاف‌پذیری و تا حدی خود ترمیمی،
- ج - نیاز اندک به نگهداری و امکان ترمیم آسان،
- د - پایایی،
- ه - زبری زیاد به دلیل کاهش تأثیر امواج و جریان‌ها، و
- و - با نمود طبیعی و زیست‌محیطی قابل قبول.
- ژئوتکستایل^۵**: ژئوتکستایل‌ها مصنوعات ساخته شده از فیبر هستند که نخستین بار در دهه ۱۹۵۰ در هلند مورد استفاده قرار گرفت. از ژئوتکستایل‌ها برای منظوره‌های زیر در سازه‌های مختلف استفاده می‌شود:
- الف - جداسازی: ژئوتکستایل تا حد زیادی لایه‌های با دانه‌بندی مختلف را از هم جدا می‌کند،

1 - Revetments
2 - Riprap
3 - Gabion
4 - Mattresses
5 - Geotextile

- ب - فیلترکردن: ژئوتکستایل به بعضی از ذرات اجازه عبور داده و بعضی دیگر را حفظ می‌نماید،
- ج - مسلح سازی: ژئوتکستایل پایداری جسم خاک را افزایش می‌دهد،
- د - زهکشی: ژئوتکستایل به خودی خود به عنوان یک زهکش عمل می‌نماید، زیرا نفوذپذیری آن از مصالح اطراف بیشتر است، و
- ه - جلوگیری از عبور آب و ذرات: غشاها^۱ دو لایه را به گونه‌ای از هم جدا می‌کنند که ذرات و آب امکان عبور نمی‌یابند.
- خاک مسلح** : از مصالح مسلح‌کننده مختلفی در سازه‌های موقتی و دائمی برای اصلاح مقاومت برشی خاک استفاده می‌شود. با مسلح‌سازی می‌توان سازه‌های خاکی را روی خاک‌های ضعیف ساخت، پایداری شیروانی‌ها را افزایش داد (عمدتاً ایمنی در برابر لغزش) و در نتیجه موجب حفظ مصالح و کاهش هزینه‌ها شد.

منابع مورد استفاده

- ۱- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان مدیریت منابع آب ایران، طراحی، ساخت و نگهداری گوره‌ها، نشریه شماره ۲۱۴، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۰.
- ۲- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان مدیریت منابع آب ایران، فهرست خدمات مطالعات مرحله شناسایی طرح‌های مهندسی رودخانه، نشریه شماره ۱۹۰، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۷۷.
- ۳- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان مدیریت منابع آب ایران، فهرست خدمات مطالعات مرحله توجیهی طرح‌های مهندسی رودخانه، نشریه شماره ۱۹۱، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۷۷.
- ۴- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان مدیریت منابع آب ایران، فهرست خدمات مطالعات مرحله تفصیلی (مرحله دو) طرح‌های مهندسی رودخانه، نشریه شماره ۱۹۲، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۷۷.
- ۵- مصباحی، جمشید و محمدحسن چیتی، فرهنگ مهندسی رودخانه، سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر مهندسی رودخانه و سواحل، ۱۳۷۷.
- 6- Biedenharn. D.S, C.M. Elliot, C.C.Watson, The WES Stream Investigations, Stream Bank Stabilization Handbook, U.S. Army Corps of Engineers, 1997.
- 7- Bondurant. D.C, Sediment Control Methods, Sedimentation Engineers, ASCE, New York, 1975.
- 8- Hemphill, R.W, M.E.Bramley, Protection of River and Canal Banks, Butterworth, London, 1989.
- 9- Jones, P.M, A Review of Causes of River Erosion Including Methods of Analysis and Prevention, California State University, 1988.
- 10- Petersen. M, River Engineering, Prentice Hall, 1986.
- 11- Przedwojski. B, R.Blazejewski, K.W.Pilarczyk, River Training Techniques, A.A.Balkema, Rotterdam, 1995.
- 12- Richardson, E.V et al. The Design of Spurs for River Engineering, 15th Congress of IAHR, 1997.
- 13- Brizga.S, B.Finlayson, River Management, The Australian Experiences, John Wiley & Sons LTD, 1999.
- 14- Scaramia.M, River and Channel Revetments, Thomas Telford, London, 1998.
- 15- Schiecht, H.M, R.Stern, Water Bioengineering Techniques, Blackwell Science Ltd, 1994.
- 16- WWW. Rivers.gov.au.
- 17- Petersen. M. “River Engineering”, Prentice Hall, 1986.
- 18- Praedwojski, B., Blazejewski, R., Pilarczyk, “River Training Techniques, Fundamental , Design and Applications”, K.W., A.A. Balkema, 1995.