جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور

راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه

نشریه شماره ۳۳۲

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها
وکاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
http:// tec.mporg.ir/

وزارت نیرو
سازمان مدیریت منابع آب ایران
دفتر استانداردها و معیارهای فنی
http:/www.wrm.or.ir/standard

جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه

نشریه شماره ۳۳۲

معاونت امور فنی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و

کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

وزارت نیرو

شرکت مدیریت منابع آب ایران

دفتر استانداردها و معیارهای فنی

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۴/۰۰/۱۰۸

۱۳۸۴

فهرست‌برگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، دفتر استانداردها و معیارهای فنی.- تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات، ۱۳۸۴.

VII ، ۱۶۱ص.: مصور، جدول، نمودار.- (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ نشریه شمار ۳۳۲) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۸۴/۰۰/۱۰۸)

ISBN 964-425-692-1

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۱/۱۳۲۴۰۳ مورخ ۱۳۸۴/۷/۳۰

کتابنامه: ص. ۱۵۹-۱۶۱

۱. مهندسی رودخانه. ۲. رسوبهای رودخانه‌ای – اندازه‌گیری. ۳. فرسایش. ۴. آبشکنها. الف. شرکت مدیریت منابع آب ایران. دفتر استانداردها و معیارهای فنی. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۴ ش.۳۳۲ ۲۴س/ ۳۶۸ TA

شابک ۱-۶۹۲ - ۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-692-1

راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات

چاپ اول، ۲۰۰۰ نسخه

قیمت: ۲۱۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۴

لیتوگرافی: صبا

چاپ و صحافی: چاپ مهنا

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی ، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :** ۱۰۱/۱۳۲۴۰۳
	تاریخ : ۱۳۸۴/۷/۳۰

موضوع :

راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی ، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت ۱۴۸۹۸هـ ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) به پیوست نشریه شماره ۳۳۲ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان ، با عنوان ***«راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه»*** از نوع گروه سوم ، ابلاغ می‌گردد .

دستگاه‌های اجرایی ، مهندسان مشاور ، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روش‌ها ، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتری در اختیار داشته باشند ، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست .

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها ، روش‌ها و یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان ، ارسال دارند .

فرهاد رهبر
معاون رییس جمهور و رییس سازمان

بسمه تعالی

پیشگفتار

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

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

باتوجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای صنعت آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امورفنی،تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) براساس ماده ۳۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

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

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

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

معاون امور فنی

تابستان ۱۳۸۴

ترکیب اعضای تهیه‌کننده، کمیته و ناظران تخصصی

این استاندارد توسط افراد زیر به ترتیب حروف الفباء تهیه شده است:

آقای محمود افسوس	شرکت سازه‌پردازی	فوق‌لیسانس هیدرولیک
آقای‌فیروزبهادری خسروشاهی	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	دکترای عمران آب
آقای مهدی تاری‌نژاد	شرکت سازه‌پردازی	فوق‌لیسانس آب
آقای سجاد احمد حمیدی	شرکت سازه‌پردازی	فوق‌لیسانس سازه‌های آبی
آقای مصطفی سعیدفر	شرکت سازه‌پردازی	فوق‌لیسانس‌پوشش‌گیاهی‌ومرتع‌داری
آقای رضا فولادفر	مرکز تحقیقات آب	فوق‌لیسانس هیدرولیک
آقای کاظم مرادی	شرکت سازه‌پردازی	فوق‌لیسانس مهندسی و ژئوتکنیک
آقای جمشید مصباحی	شرکت سازه‌پردازی	فوق‌لیسانس هیدرولیک

گروه نظارت که مسئولیت نظارت تخصصی بر تدوین این پیش‌نویس را به عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفباء عبارتند از :

آقای علی پاک‌نژاد	شرکت طرح نواندیشان	فوق‌لیسانس عمران خاک و پی
آقای محمدحسن چیتی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	فوق لیسانس سازه های آبی
آقای مسعود قدسیان	دانشگاه تربیت‌مدرس	دکترای هیدرولیک

اسامی اعضای کمیته تخصصی مهندسی رودخانه و سواحل دفتر استانداردها و معیارهای فنی که بررسی و تأیید استاندارد حاضر را به عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفباء عبارتند از :

آقای محمدابراهیم بنی حبیب	مرکزتحقیقات حفاظت خاک‌وآبخیزداری	دکترای مهندسی آب
آقای ابراهیم جباری	دانشگاه علم و صنعت ایران	دکترای هیدرولیک
آقای علی چاوشیان	سازمان مدیریت منابع آب ایران	فوق‌لیسانس عمران
آقای محمدحسن چیتی	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	فوق لیسانس سازه های آبی
آقای مهدی شفیعی فر	دانشگاه تربیت‌مدرس	دکترای سازه های دریایی
خانم کیاندخت کباری	دفتر استانداردها و معیارهای فنی	لیسانس راه و ساختمان
آقای جبار وطن فدا	سازمان مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس سازه های آبی

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
۱- هدف و دامنه کاربرد	۲
۱-۱ هدف	۲
۱-۲ دامنه کاربرد	۲
۱-۳ کلیات	۲
۱-۳-۱ فرسایش در رودخانه‌ها	۲
۱-۳-۲ عوامل فرسایش رودخانه‌ای	۳
۱-۳-۳ مکانیزم فرسایش	۴
۱-۳-۴ انواع فرسایش در رودخانه ها	۶
۱-۳-۴-۱ فرسایش در کناره‌ها	۶
۱-۳-۴-۲ فرسایش در کف	۸
۲- مهار فرسایش در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها	۱۰
۲-۱ ضرورت حفاظت رودخانه‌ها و مهار فرسایش	۱۰
۲-۲ ضرورتهای محوری حفاظت بستر و سواحل رودخانه	۱۰
۲-۳ روشهای مهار فرسایش رودخانه	۱۱
۲-۳-۱ حفاظت مستقیم کناره	۱۲
۲-۳-۲ حفاظت غیرمستقیم کناره	۱۴
۳- انواع پوششها	۱۵
۳-۱ طبقه‌بندی پوششها از نظر موضع کاربرد	۱۵
۳-۱-۱ پوشش کناره	۱۶
۳-۱-۲ پوشش کف	۱۶
۳-۱-۳ پوشش گوره‌ها	۱۶
۳-۱-۴ پوشش آبشکنها	۱۷
۳-۲ طبقه‌بندی پوششها از لحاظ عملکرد	۱۷
۳-۲-۱ پوششهای صلب و انعطاف پذیر	۱۷
۳-۲-۲ پوشش های نفوذپذیر و نفوذناپذیر	۱۹
۳-۳ طبقه‌بندی پوششها از نظر نوع پوشش و مصالح ساخت	۲۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۴ انواع پوششهای سازه‌ای (ساختمانی)	۲۳
۳-۴-۱ پوشش سنگی	۲۳
۳-۴-۱-۱ پوشش سنگی ریزشی	۲۳
۳-۴-۱-۲ پوشش سنگی دستچین (سنگچین)	۲۴
۳-۴-۱-۳ سنگچین با ملات	۲۵
۳-۴-۱-۴ پوشش سنگریسه	۲۶
۳-۴-۲ پوشش تور سنگی	۲۷
۳-۴-۳ پوششهای بتنی	۲۹
۳-۴-۳-۱ پوشش بتنی درجا	۲۹
۳-۴-۳-۲ پوشش بتنی پیش ساخته	۳۰
۳-۴-۳-۳ بلوکهای پیش ساخته بتنی	۳۰
۳-۴-۴ پوشش آسفالتی	۳۵
۳-۴-۴-۱ آسفالت ماسه‌ای	۳۶
۳-۴-۴-۲ آسفالت سنگی	۳۶
۳-۴-۴-۳ آسفالت ماستیک	۳۶
۳-۴-۴-۴ بتن آسفالتی	۳۶
۳-۴-۴-۵ آسفالت سنگی متراکم	۳۷
۳-۴-۵ روکشها	۳۷
۳-۴-۶ لاستیکهای فرسوده	۳۷
۳-۴-۷ پوشش کیسه‌ای	۳۹
۳-۴-۸ پوشش خاک سیمان	۳۹
۴- عوامل مؤثر بر طراحی پوششها	۴۱
۴-۱ تأثیر شرایط آب و هوایی بر روی پوششها	۴۱
۴-۱-۱ پوششهای گیاهی	۴۱
۴-۱-۲ پوششهای مصنوعی (سازه‌ای)	۴۲
۴-۲ بررسی آثار هیدرولیکی در طراحی حفاظتهای مصنوعی	۴۳
۴-۲-۱ بازه‌های مستقیم رودخانه	۴۳
۴-۲-۲ بازه‌های پیچ و خم‌دار رودخانه	۴۷

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۴-۳ زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و منابع قرضه	۴۸
۴-۳-۱ نقش مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک در طراحی و احداث پوششهای رودخانه‌ای	۴۹
۴-۳-۲ نقش مطالعات منابع قرضه در طراحی و احداث پوششهای رودخانه‌ای	۵۰
۴-۴ تأثیر عوامل زیست محیطی	۵۱
۴-۵ تأثیر عوامل اقتصادی	۵۲
۴-۵-۱ هزینه اجرای گزینه‌ها	۵۳
۴-۵-۲ منابع قابل دسترس	۵۴
۴-۵-۲-۱ اعتبارات مالی	۵۴
۴-۵-۲-۲ نیروی انسانی	۵۴
۴-۵-۲-۲ مصالح ساخت	۵۴
۴-۵-۲-۳ تجهیزات	۵۵
۴-۵-۳ بررسی امکان فاز بندی اجرا	۵۵
۴-۵-۴ منافع طرح	۵۵
۵- مطالعات مورد نیاز برای طراحی پوششها	۵۶
۵-۱ بازدیدها و بررسیهای صحرایی	۵۷
۵-۲ مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک	۵۸
۵-۲-۱ بررسیهای مقدماتی (مطالعات مقدماتی زمین شناسی)	۵۸
۵-۲-۲ بازدید مقدماتی صحرایی	۶۲
۵-۲-۳ بررسیهای تفصیلی صحرایی	۶۲
۵-۲-۴ بررسیهای ژئوفیزیکی	۶۳
۵-۲-۵ حفاریهای اکتشافی	۶۴
۵-۲-۶ ثبت داده‌ها و آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی	۶۵
۵-۳ مطالعات هیدرولوژی	۶۷
۵-۴ مطالعات هیدرولیک جریان	۷۲
۵-۴-۱ تحلیل هیدرولیکی جریان	۷۳
۵-۴-۲ روشهای مطالعات هیدرولیک رودخانه	۷۵
۵-۴-۳ اطلاعات مورد نیاز در مطالعات هیدرولیک	۷۵

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۴-۴ واسنجی مدلهای هیدرولیکی	۷۶
۵-۴-۵ فرایند انتخاب مدل مطالعات هیدرولیک	۷۷
۵-۵ مطالعات فرسایش	۷۷
۵-۵-۱ تعیین موقعیت حدود بالادست و پایین‌دست پوشش	۷۷
۵-۵-۲ کمترین طول حفاظت شده	۷۸
۵-۵-۳ نکات قابل توجه در انتخاب حدود بالادست و پایین‌دست	۷۸
۵-۵-۴ تشخیص فرسایش و انواع آن	۸۰
۵-۵-۵ تأثیر رسوب‌گذاری در طراحی پوششها	۸۳
۵-۵-۶ پیش‌بینی فرسایش پنجه	۸۳
۵-۶ مطالعات زیست‌محیطی	۸۴
۵-۶-۱ اهمیت مطالعات زیست‌محیطی	۸۴
۵-۶-۲ تعریف آثار زیست محیطی و ارزیابی آثار	۸۴
۵-۶-۳ قابلیتهای بروز آثار سوء زیست محیطی	۸۵
۵-۶-۴ اهداف مطالعات ارزیابی زیست‌محیطی	۸۶
۵-۶-۵ ابعاد ارزیابی آثار زیست محیطی	۸۶
۵-۶-۶ مراحل مطالعات ارزیابی زیست محیطی	۸۷
۵-۷ منابع قرضه و مصالح ساخت	۸۸
۵-۷-۱ بررسیهای مقدماتی و شناسایی محلی	۸۹
۵-۷-۲ بررسیهای تفصیلی	۸۹
۶- طراحی پوششها	۹۶
۶-۱ مبانی طراحی	۹۷
۶-۲ معیارهای طراحی	۹۸
۶-۲-۱ پوشش سنگی	۹۸
۶-۲-۱-۱ پوشش سنگی ریزشی و سنگ‌چین	۹۸
۶-۲-۱-۲ پوشش سنگ‌چین با ملات	۱۰۷
۶-۲-۱-۳ پوشش سنگریسه	۱۰۹

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۶-۲-۲ پوششهای تورسنگی	۱۱۰
۶-۲-۲-۱ تورسنگی تشکی	۱۱۰
۶-۲-۲-۲ تورسنگی جعبه‌ای	۱۱۰
۶-۲-۲-۳ تورسنگی کیسه‌ای	۱۱۲
۶-۲-۳ پوششهای بتنی	۱۱۳
۶-۲-۳-۱ پوشش بتنی درجا	۱۱۳
۶-۲-۳-۲ پوشش بتنی پیش ساخته	۱۱۳
۶-۲-۳-۳ بلوکهای پیش‌ساخته بتنی	۱۱۵
۶-۲-۴ پوششهای آسفالتی	۱۱۸
۶-۲-۴-۱ آسفالت ماسه‌ای	۱۱۸
۶-۲-۴-۲ آسفالت سنگی	۱۱۸
۶-۲-۴-۳ آسفالت ماستیک	۱۱۹
۶-۲-۴-۴ بتن آسفالتی	۱۱۹
۶-۲-۴-۵ آسفالت سنگی متراکم	۱۲۰
۶-۲-۵ روکشها	۱۲۰
۶-۲-۵-۱ روکش بلوکهای خاک و سیمان	۱۲۰
۶-۲-۵-۲ روکشهای فابریک (محصولات ساختگی)	۱۲۱
۶-۲-۶ پوشش لاستیکهای فرسوده اتومبیلها	۱۲۱
۶-۲-۷ پوشش کیسه‌ای	۱۲۲
۶-۲-۸ پوشش خاک سیمان	۱۲۳
۶-۳ طراحی حفاظت پنجه پوشش	۱۲۵
۶-۴ طرح فیلتر	۱۲۶
۶-۴-۱ فیلترهای دانه‌ای	۱۳۱
۶-۴-۱-۱ خصوصیات فیلتر دانه‌ای	۱۳۱
۶-۴-۱-۲ ضوابط و معیارهای طراحی فیلتر دانه‌ای	۱۳۱
۶-۴-۲ فیلترهای مصنوعی	۱۳۴

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۷- ساخت پوششها	۱۳۷
۷-۱ اصول حاکم بر ساخت پوششها	۱۳۷
۷-۱-۱ دسترسی به مصالح مورد نیاز	۱۳۷
۷-۱-۲ دسترسی به ماشین‌آلات و نیروی کار متخصص	۱۳۷
۷-۱-۳ دسترسیها و موقعیت کارگاه	۱۳۷
۷-۱-۴ مسایل زیست‌محیطی	۱۳۸
۷-۱-۵ زمان‌بندی اجرا	۱۳۸
۷-۱-۶ رعایت اصول ایمنی در طراحی و ساخت	۱۳۹
۷-۱-۷ کنترل کیفیت در هنگام ساخت	۱۳۹
۷-۲ روشهای ساخت	۱۳۹
۷-۳ اجرای پوششها در زیر آب	۱۴۰
۷-۴ ماشین‌آلات ساخت	۱۴۰
۸- نگهداری پوششها	۱۴۳
۸-۱ عوامل تخریب پوششها	۱۴۳
۸-۲ بازرسی و رفتار سنجی	۱۴۴
۸-۳ اصول نگهداری و تعمیرات ادواری	۱۴۴
۸-۴ تعیین روش تعمیرات	۱۴۵
۹- پوشش گیاهی	۱۴۶
۹-۱ کلیات	۱۴۶
۹-۲ تعریف پوشش گیاهی	۱۴۶
۹-۳ ویژگیهای پوششهای گیاهی	۱۴۷
۹-۳-۱ مزایای پوششهای گیاهی	۱۴۷
۹-۳-۲ معایب پوششهای گیاهی	۱۴۷
۹-۴ انواع پوششهای گیاهی	۱۴۷
۹-۵ عوامل مؤثر بر انتخاب پوششهای گیاهی [۱۴] [۱۵]	۱۵۰
۹-۶ طراحی پوششهای گیاهی	۱۵۰
۹-۶-۱ مطالعات پایه مورد نیاز	۱۵۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۹-۶-۲ عوامل مؤثر بر طراحی	۱۵۱
۹-۶-۳ ویژگیهای منابع گیاهی مورد نیاز [۳۵] [۳۹]	۱۵۱
۹-۶-۴ تجهیزات و امکانات مورد نیاز	۱۵۲
۹-۶-۵ هزینه‌ها و توجیه اقتصادی طرح	۱۵۲
۹-۷ روشهای اجرای پوششهای گیاهی	۱۵۳
۹-۷-۱ تهیه مقدمات اجرای طرح [۱۵] و [۳۹]	۱۵۳
۹-۷-۲ چگونگی اجرای طرح [۳۵] و [۴۲]	۱۵۳
۹-۷-۲-۱ رودخانه‌های دائمی	۱۵۴
۹-۷-۲-۲ رودخانه‌های فصلی	۱۵۴
۹-۷-۲-۳ رودخانه‌های جزر و مدی	۱۵۵
۹-۸ نگهداری پوششهای گیاهی [۳۵]	۱۵۶
۹-۸-۱ عوامل مؤثر در تخریب پوششهای گیاهی	۱۵۶
۹-۸-۲ عوامل مؤثر درحفظ و نگهداری پوششهای گیاهی [۳۵]	۱۵۷
۹-۸-۲-۱ مرحله استقرار پوشش گیاهی	۱۵۷
۹-۸-۲-۲ مرحله رشد و توسعه پوشش گیاهی	۱۵۷
منابع مورد استفاده	۱۶۱

مقدمه

جریان رودخانه‌ها در بستر آبرفتی[1]، همواره با فرسایش و انتقال رسوب همراه بوده است. وقوع فرسایش، در بستر رودخانه‌ها به صورت تدریجی یا توده‌ای، متضمن تغییراتی در شکل و مسیر و ظرفیت رودخانه‌هاست که ممکن است خسارات یا مشکلات مختلفی را به دنبال داشته باشد. ملاحظات اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی و بهره‌برداری مطلوب از رودخانه‌ها ایجاب می‌کند که در بسیاری از مواقع، با اقدامات مناسب روند فرسایش به نوعی مهار و کاهش یابد. روشهای بسیار متعددی برای مهار فرسایش در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و بر حسب نوع مصالح، طول عمر، انعطاف‌پذیری، نفوذپذیری و ... به انواع گوناگونی تقسیم می‌شود.

اقدامات حفاظت بستر رودخانه‌ها به دو دسته مستقیم و غیر مستقیم تقسیم می‌شود. روشهای حفاظت مستقیم اقداماتی است که مستقیماً روی کناره‌های رودخانه انجام گرفته تا مانع از فرسایش و تخریب آن توسط جریان آب، اثر موج و غیره گردد. این اقدامات به کمک احداث پوششها، دیوارهای حائل، پوششهای گیاهی و غیره صورت می‌پذیرد. روشهای حفاظت غیر مستقیم، کارهایی است که در جلوی کناره رودخانه و به منظور کاهش قدرت تخریبی جریان از طریق انحراف جریان از ساحل، کاهش سرعت جریان یا فراهم آوردن موجبات ته‌نشست رسوبات در مقابل کناره‌ها انجام می‌شود. احداث آبشکنها، پره‌ها، صفحات مستغرق و خاکریزها از این قبیل کارهای حفاظتی می باشد [۳].

استفاده از پوششها[2] که از نظر عملکرد و اجرا، ساده‌تر از سایر روشهای حفاظتی است، یکی از متداول‌ترین اقداماتی است که برای حفاظت مستقیم از سواحل و کف رودخانه‌ها انجام می‌شود. پوششها آثار مستقیمی در حفاظت بستر فرسایش‌پذیر دارند به طوری که با تقویت سطح فرسایشی که در برابر جریان رودخانه از مقاومت لازم برخوردار نیست، شرایط مورد نیاز برای مقاومت و تثبیت دانه‌های خاک ایجاد می‌شود.

در این راهنما روشهای گوناگون پوشش رودخانه‌ای که از نظر اجرایی، وجود مصالح و تطبیق با وضعیت اقلیمی، متناسب با شرایط کشور باشد، بطور مختصر تشریح گردیده و ضمن معرفی و بیان ویژگیهای آن روشها، به نکات طراحی و اصول کلی اجرا و نگهداری آن در حد منابع موجود اشاره شده است.

1 - Alluvial
2 - Revetments

۱- هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف

هدف از تهیه راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوششها در کارهای مهندسی رودخانه، فراهم آوردن یک منبع علمی است که حاوی روشهای متنوع پوششهای حفاظتی رودخانه‌ها بوده بنحوی که با استفاده از مراجع گوناگون و معتبر مربوط به مراکزی که در این رابطه تجربه و تحقیقات ارزشمندی را از خود به یادگار گذاشته‌اند بتوان به راحتی به مجموعه‌ای از روشهای ساده حفاظت دست یافت و الگویی اولیه برای طرحهای مطالعاتی و اجرایی و حتی تحقیقاتی مورد استفاده قرار داد

۱-۲ دامنه کاربرد

راهنمای حاضر برای کلیه افرادی که بنحوی با پروژه‌های رودخانه‌ای مرتبط می‌باشند، قابل استفاده می‌باشد. در پروژه‌هایی که مستقیماً در رابطه با ساماندهی و مهندسی رودخانه است، برای بررسیهای حفاظت و تثبیت کناره‌ها و مهار فرسایش رودخانه‌ای، این راهنما می‌تواند برای تشخیص روشهای قابل استفاده و تعیین گزینه‌های حفاظت مورد بهره‌برداری قرار گیرد. بنابراین مهندسین مشاوری که در زمینه طرحهای ساماندهی و مهندسی رودخانه فعالیت دارند، بخوبی از این راهنما می‌توانند در مطالعات پروژه‌های ذیربط استفاده نمایند. علاوه بر آن، نکات اجرایی ذکر شده در این راهنما، در مراحل نظارت و اجرای پروژه‌های رودخانه‌ای، برای مهندسین مشاور، پیمانکاران و دستگاههای اجرایی حائز اهمیت و مفید خواهد بود.

۱-۳ کلیات

۱-۳-۱ فرسایش در رودخانه‌ها

یکی از عوامل انتخاب نوع سازه پوشش، چگونگی فرسایش و مکانیزم آن است. به همین دلیل، شناخت کلی از فرسایش و حالتهای آن و همچنین مکانیزم وقوع فرسایش در رودخانه‌ها در اقدامات حفاظتی ضروری می‌باشد.

به طور کلی، فرسایش به فرایندی گفته می‌شود که طی آن، ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شود؛ در صورتی که عامل جداکننده ذرات از بستر و انتقال آنها، آب باشد، به آن فرسایش آبی گفته می‌شود[۴]. فرسایش آبی به شکلهای گوناگون مانند فرسایش بارانی[۱]، ورقه‌ای[۲]، شیاری[۳]، خندقی[۴] و آبراهه‌ای[۵] (رودخانه‌ای) در طبیعت مشاهده می‌شود.

فرسایش آبی شامل فرآیندهای جداسازی (ناپایداری)، انتقال و رسوب‌گذاری است. فرسایش رودخانه‌ای عمدتاً مترادف با آب‌شستگی است . مهمترین شکلهای آبشستگی در رودخانه‌ها به صورت فرسایش بستر در اثر عبور جریان آب، فرسایش کف

1 - Splash erosion
2 - Sheet erosion
3 - Rill erosion
4 - Gully erosion
5 - Stream channel erosion

در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی به علت شدت جریان زیاد و فرسایش بستر در اثر به وجود آمدن جریانهای متلاطم موضعی دیده می‌شود [۱۰].

علاوه بر آبشستگی که ناشی از عبور جریان و شدت و تلاطم آن است، در رودخانه ها فرسایش توده‌ای[1] به‌صورت گسیخته شدن حجمی از توده‌های خاک کناره هم دیده می‌شود. عامل رخداد فرسایش توده‌ای، نیروی وزن می‌باشد. به ویژه هنگامی‌که شیب دیواره کناره‌ها زیاد می‌شود، با افزایش نیروهای وزن و هیدرواستاتیک نسبت به نیروهای مقاومت اصطکاک و چسبندگی خاک، فرسایش توده‌ای بوقوع می‌پیوندد. بنابراین، فرسایش در رودخانه‌ها به دو شکل کلی زیر وجود دارد :

- آبشستگی در کف و کناره‌ها، و
- فرسایش توده‌ای در کناره‌ها.

۱-۳-۲ عوامل فرسایش رودخانه‌ای

عواملی که به ایجاد فرسایش رودخانه‌ای و تشدید آن کمک می‌کند، می‌توان به‌طور خلاصه و به شرح زیر نام برد [۲۶].

الف- عوامل هیدرولیکی که شامل مشخصات سیال مانند وزن مخصوص و ویسکوزیته، مشخصات جریان مانند بده جریان و تغییرات آن، سرعت و توزیع آن، شدت آشفتگی و تلاطم[2]، تنش برشی[3] و غیره می‌باشد. مشخصات جریان، مهم‌ترین عاملی است که روی فرسایش مؤثر است. تمام شکلهای مختلف ناپایداری کناره‌های رودخانه به طور مستقیم به میزان بده جریان، مدت و توالی آن بستگی دارد.

ب- مشخصات مواد بستر که این عامل شامل اندازه، شکل و وزن مخصوص دانه‌های خاک و دانه‌بندی آن در کف و کناره‌ها می‌باشد. همچنین مشخصاتی مانند نفوذپذیری خاک، درصد پوکی، ضریب اصطکاک و چسبندگی آن نیز مهم می‌باشد.

ج- عوامل بیولوژیکی از قبیل پوشش گیاهی و تراکم آن، نوع گونه‌ها و بوته‌های گیاهی در سواحل و کناره‌ها از نظر استحکام و پایداری و مقاومت در برابر فرسایش دارای اهمیت است.

باید توجه داشت که پوشش گیاهی، به ویژه در قسمت سیلابدشت[4] رودخانه باعث افزایش میزان برگشت آب[5] و ارتفاع جریان می‌شود. همچنین پوشش گیاهی در خاکهای سست (مارن) و وجود درختانی که دارای ریشه‌های عمیق و مستحکم نیستند، با فرسایش توده‌ای کناره به درون رودخانه سرنگون شده و باعث تجمع آنها در پشت سازه‌های آبی خواهد شد.

وجود بعضی حیوانات در حاشیه رودخانه‌ها که موجب شکاف و نقبهایی در کناره‌ها و در خاکریزهای سیل‌بند می‌شود، مسایل نشت آب، فرسایش و گسیختگی خاک را افزایش می‌دهد.

د- عوامل انسانی که تأثیرات اساسی و تشدید کننده روی فرسایش خواهد گذاشت. این تأثیرات از طریق دخالت در رودخانه‌ها و از جمله تغییرات سطح آب به علت عملکرد سدها، امواج حاصله از حرکت قایقها و شناورها در رودخانه،

---

1 - Mass erosion
2 - Turbulence
3 - Shear stress
4 - Flood plain
5 - Back water

کشت و کار و چرای دام در حاشیه رودخانه، برداشت مصالح و مواد رسوبی و احداث هر نوع سازه در بستر و حریم رودخانه‌ها که به‌نوبه خود مانعی برای جریان محسوب می‌شود، حاصل می‌گردد.

هـ- عوامل اقلیمی که نقش مهمی در فرسایش رودخانه‌ای ایفا می‌کند. به ویژه در نقاطی که دامنه تغییرات دما زیاد است، در شرایط یخبندان، سطح رویه کناره رودخانه‌ها به شدت آسیب‌پذیر می‌گردد. در این شرایط، آب نفوذی به خاک بدنه، در لایه رویی منجمد شده و فشار ناشی از افزایش حجم آب منجمد شده باعث جدا شدن و متورم گشتن لایه سطحی خاک می‌گردد که در برابر جریانهای بعدی به راحتی فرسایش می‌یابد.

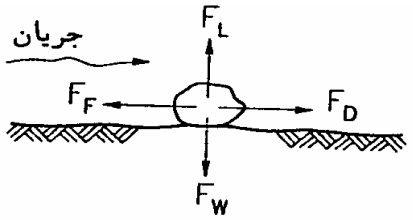
۱-۳-۳ مکانیزم فرسایش

چگونگی وقوع فرسایش رودخانه‌ای تحت جریان با توجه به چسبنده یا غیر چسبنده بودن خاک بستر رودخانه، متفاوت است. در خاکهای چسبنده بعلت طبیعت پیچیده آن، به درستی نمی‌توان مکانیزم فرسایش را در آن بیان نمود. ذرات ریز رسوب چسبنده تمایل دارند تا با پیوستن به دیگر ذرات، تشکیل واحدهای بزرگتری بنام فلاک[1] دهد که میزان آن بستگی به غلظت رسوب خواهد داشت. تجمع این فلاکها نیز در غلظتهای زیاد رسوب، شبکه ای از فلاکها را تشکیل می دهد. مشاهدات نشان داده است که فرسایش خاکهای چسبنده در دو صورت سطحی و حجمی (لایه‌ای) انجام می گیرد. هنگامی که تنش برشی حاصل از جریان از تنش برش بحرانی ذرات[2] خاک و یا فلاکها بصورت منفرد و یا از شبکه فلاکها بیشتر می شود ، فرسایش سطحی وجود خواهد داشت و در صورتیکه تنش برشی جریان به اندازه کافی بزرگ شود، به شکلی که از توان برشی توده[3] خاک چسبنده افزوده شود، لایه‌ای از خاک چسبنده فرسایش می‌یابد [۲۶].

فرسایش درخاکهای غیر چسبنده، ناشی از نیروهای رانشی اعمال شده بر ذرات و دانه‌های خاک می‌باشد. شکل ۱-۱ نیروهای وارد به یک دانه از خاک روی بستر رودخانه را نشان می‌دهد. هنگامی‌که مجموع نیروهای محرک شامل نیروی رانشی[4] (F_D) و نیروهای بالابر[5] (F_L)، از مجموع نیروهای مقاوم شامل نیروی وزن (F_W) و نیروی اصطکاک بین ذرات (F_F) بیشتر شود، دانه خاک ناپایدار شده و از محل خود جابه‌جا می‌شود. بنابراین مادامی که نیروهای محرک وارد بر دانه‌های خاک بدنه رودخانه از نیروهای مقاوم بیشتر باشد، فرسایش سطحی ادامه خواهد یافت.

در فرسایش موضعی نیز روند فرسایش دارای مکانیزم و مراحل خاصی است. فرسایش موضعی ناشی از تشدید تلاطم و آشفتگی های موضعی در جریان آب پدید می‌آید و معمولاً موجب حفر گودالی در ناحیه‌ای می‌شود که جریان بطور ناگهانی آشفته شده است. مراحل و مکانیزم فرسایش موضعی و ایجاد گودال فرسایش در پایین‌دست بندها در شکل ۱-۲ نشان داده شده است که به ترتیب زیر توضیح داده شده است[۳۱].

1 - Flocs
2 - Critical shear stress
3 - Bulk shear strength
4 - Drag force
5 - Lift force



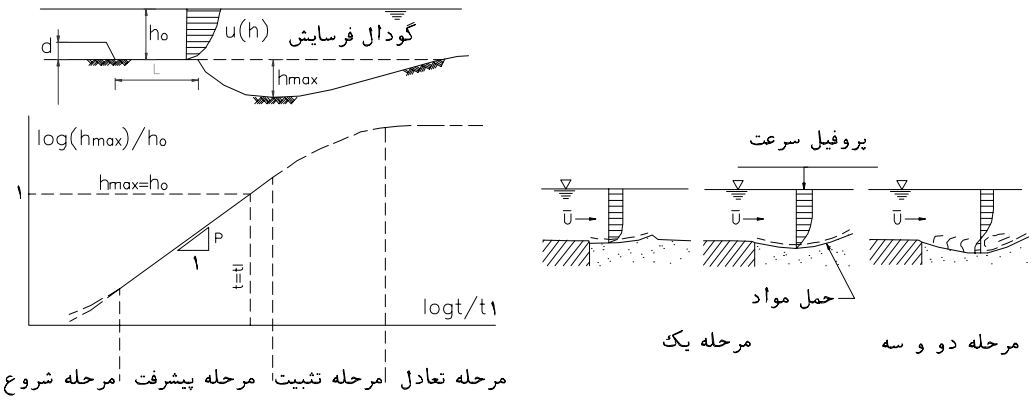
شکل ۱-۱- نیروهای وارده بر دانه‌های خاک

مرحله یک: ظرفیت حمل رسوب، در ابتدا به حدی است که باعث حمل رسوب از کف اولیه شده و در نتیجه فرسایش تدریجی در پایین‌دست انتهای لایه حفاظت را به دنبال دارد. این مرحله از نظر زمانی کوتاه است. فرسایش در این مرحله موجب شروع تشکیل گودال فرسایش می‌گردد.

مرحله دو: ابعاد گودال فرسایش در حدی رشد نموده که موجب تشکیل پدیده ادی و جدا شدن جریان در گودال شود. بنابراین از توان فرسایشی جریان همزمان با بزرگ‌تر شدن ابعاد گودال کاسته می شود. این مرحله معمولاً در زمان طولانی‌تری نسبت به مرحله یک انجام می شود.

مرحله سه: عمق گودال فرسایش آنقدر توسعه می‌یابد که سرعت در حوالی کف گودال به سرعت بحرانی (سرعت شروع فرسایش) نزدیک می‌شود و در نتیجه از انتقال رسوب کاسته می‌شود. توسعه گودال در این مرحله، معمولاً به کندی انجام می‌گیرد.

مرحله چهار: سرعت آب در کف گودال به زیر سرعت بحرانی می‌رسد و جریان در گودال دیگر توانایی انتقال رسوب را به خارج از گودال ندارد، در نتیجه گودال به شرایط تعادل دینامیکی دست یافته است. به عمق گودال در این مرحله عمق تعادل گفته می‌شود.



شکل ۱-۲- مکانیزم و مراحل تشکیل گودال فرسایش (فرسایش موضعی)

۱-۳-۴ انواع فرسایش در رودخانه ها

فرسایش و جابه‌جایی مواد بستر رودخانه‌ها به صورتهای مختلفی دیده می‌شود. جابه‌جایی مواد ممکن است از مصالح کف رودخانه یا از کناره‌ها انجام شود. به همین دلیل، فرسایش در رودخانه‌ها به فرسایشهای کناره و کف تقسیم می‌شود. در هر حالت، با توجه به شکل و عوامل فرسایش انواع دیگری را به خود اختصاص داده که با شناخت جامعی از آن می‌توان تحلیل مناسبی از روند فرسایش و علل آن و اقدامات متناسب برای حفاظت به دست آورد.

۱-۳-۴-۱ فرسایش در کناره‌ها

در حقیقت فرسایش و جابه‌جایی مواد کناره رودخانه‌ها، یا به صورت فرسایش کناره ناشی از جریان[1] خود را نشان می‌دهد یا بصورت گسیختگی کناره رودخانه[2] [۴۰].

فرسایش در کناره ناشی از عبور جریان، که فرسایش کناری خوانده می شود، به یک روند هیدرولیکی مرتبط می‌شود که در تحت آن نیروی کششی[3] حاصل از جریان موجب جدا شدن ذرات خاک کناره می‌گردد. نیروی کششی جریان، با افزایش سرعت و عمق جریان، زیادتر شده و در نتیجه توان فرسایشی در جریانهای شدیدتر بیشتر می‌باشد. گسیختگی کناره رودخانه‌ها یا فرسایش توده‌ای باعث ناپایدار شدن بخش بزرگی از کناره و به دنبال آن لغزش و ریزش آن به داخل رودخانه می‌گردد. فرسایش توده‌ای در حقیقت بعنوان یک مسئله ژئوتکنیکی در نظر گرفته می‌شود.

انواع مختلف فرسایش کناری (فرسایش ناشی از جریان)، به طور خلاصه در زیر آمده است:

- فرسایش جریان موازی[4] که شامل فرایند جداسازی و انتقال ذرات خاک از روی سطح کناره به علت تماس با خطوط جریان می‌باشد. خطوط جریان در امتداد رودخانه و به موازات سطح کناره در حرکت است.
- فرسایش برخورد جریان[5] که عبارت است از جداسازی و انتقال ذرات به علت برخورد و ضربه جریان به کناره. خطوط جریان در این حالت با زاویه نسبتاً تندی نسبت به امتداد کناره، به آن برخورد می‌کند. این نوع فرسایش در رودخانه‌های شریانی (جایی که پشته‌های رسوبی[6] در مقابل حرکت آب قرار می‌گیرند)، در قوس ها (در کناره خارجی آن) و به طور کلی در موقعیتهایی از رودخانه که موانعی در برابر جریان واقع شده و باعث انحراف و جدایی خطوط جریان از مسیر عادی آن می گردد، مشاهده می‌شود. کناره‌هایی که در معرض این‌گونه فرسایش قرار گرفته‌اند، دارای سطحی ناهموار و بدون پوشش گیاهی است.
- فرسایش رگابی[7] که بعلت خروج زه‌آبهای زیر سطحی از سطح کناره، باعث جداسازی ذرات خاک و انتقال آن به داخل رودخانه می‌شود. نمود این گونه فرسایش در لایه زیرین کناره، به ویژه اگر لایه زیرین ماسه‌ای باشد، به خوبی ظاهر

---

1 - Bank erosion
2 - Stream bank failure
3 - Tractive force
4 - Parallel flow erosion
5 - Impinging flow erosion
6 - Braid - bar
7 - Piping erosion

می‌گردد. باید توجه داشت که ممکن است فرسایش رگابی با فرسایش ناشی ازامواج و تنشهای حاصل از حرکت قایق و کشتی اشتباه گرفته شود.

- فرسایش انجماد و ذوب یخ[1] که روی سطح کناره و در شرایط افت دمای محیط به زیر صفر ایجاد می‌شود. یخزدگی و ذوب متناوب آبهای نفوذی در سطح کناره‌ها، باعث سستی و فرسایش پذیری شدید می‌گردد که در جریانهای بعدی رودخانه به راحتی لایه سطحی کناره فرسایش یافته و منتقل می‌شود.
- فرسایش ورقه‌ای که بوسیله هرزآبهای سطحی و عدم ساماندهی و کانالیزه کردن آن به درون رودخانه سرازیر شده و موجب فرسایش لایه سطحی کناره می‌شود. نتیجه این گونه فرسایش در رودخانه‌ها بصورت شره شدن رواناب سطحی روی کناره، کاهش پوشش گیاهی و تجمع گل و رسوبات در قسمتهای پایینی کناره و در پاشنه آن مشاهده می‌گردد.
- فرسایش شیاری در سطح کناره‌های رودخانه هنگامی اتفاق می‌افتد که رواناب سطحی (که به علت عدم وجود زهکش مناسب روی کناره سرازیر شده) به اندازه کافی زیاد باشد، و به تدریج نهرهای کوچکی روی سطح کناره حفر شود. ادامه فرسایش شیاری و توسعه شیارها، موجب تشکیل گالی و در نتیجه فرسایش خندقی در سطح کناره می‌گردد. معمولاً این نوع فرسایش درکنار ساختمانها، تاسیسات و پارکینگ وسایل نقلیه رخ می‌دهد.
- فرسایش امواج بادی[2] که باعث فرسایش قابل ملاحظه‌ای بر اثر برخورد امواج حاصل از وزش باد بر کناره خصوصاً در رودخانه‌های عریض می‌گردد، موجب تشکیل تراسهای کوچک و متناوبی در کناره می‌شود.
- فرسایش نیروهای شناور آبی[3] که می‌تواند به روشهای مختلفی فرسایش کناری را به دنبال داشته باشد. عمومی‌ترین حالت آن، تشکیل امواج بر اثر حرکت شناور در سطح آب و برخورد آن با کناره فرسایش‌پذیر است. اگر شناورها نزدیک کناره حرکت کنند، ممکن است چرخش پروانه‌های آن مستقیماً عاملی برای فرسایش و کندن مواد کناره باشد.
- فرسایش یخهای شناور[4] که از طریق برخورد قطعات یخ شناور در رودخانه به کناره‌ها حاصل می‌شود.

در زیر به انواع فرسایش توده‌ای یا گسیختگی کناره نیز، اشاره شده است [۴۰].

- ریزش خاک و سنگ[5] که در کناره‌های با شیب زیاد به صورت ریزش ذرات یا توده‌ای از خاک به داخل رودخانه اتفاق می‌افتد. این نوع فرسایش روی کناره‌های با شیب تند و با خاک فرسایشی و با چسبندگی کم دیده می‌شود به ویژه در کناره‌هایی که بوسیله جریان قسمت پایینی کناره در معرض فرسایش قرار گرفته، ریزش خاک و سنگ بیشتر می‌شود.
- لغزش سطحی (کم عمق[6]) که به صورت گسیختگی لایه نازکی از روی سطح شیب کناره و موازی با آن به وجود می‌آید. چنین لغزشی روی کناره‌هایی که دارای خاک ضعیف و با چسبندگی کم می‌باشند رخ می‌دهد. لغزش کم عمق، غالباً به عنوان گسیختگی ثانویه، پس از لغزش چرخشی یا گسیختگی بلوکی دیده می‌شود.

1 - Freezing - Thawing erosion
2 - Wind waves erosion
3 - Vessel forces erosion
4 - Ice rafting erosion
5 - Soil & rock fall
6 - Shallow slide

- لغزش چرخشی[1] که بیشترین نوع فرسایش توده‌ای در کناره‌ها است، به صورت گسیختگی یک لایه عمیق در طول سطح انحنادار رخ می‌دهد. این‌گونه گسیختگیها روی کناره‌های مرتفع متشکل از خاکهای با چسبندگی زیاد و شیبهای کمتر از ۶۰ درجه دیده می‌شود.
- گسیختگی بلوکی[2] به صورت لغزش یا رمبیدن توده ضخیمی از خاک کناره به داخل آبراهه دیده می‌شود. غالباً ترکهای کششی عمیقی در پشت بلوکهای گسیختگی تشکیل می‌شود. گسیختگی بلوکی در کناره‌های با مواد چسبنده و با شیبهای بیشتر از ۶۰ درجه واقع می‌شود.
- گسیختگی طره‌ای[3] عبارت است از ناپایداری و سقوط توده‌ای از خاک کناره که به علت فرسایش لایه‌های زیرین به صورت کنسول درآمده است. فرسایش طره‌ای درکناره‌های چند لایه‌ای، به طوری که لایه رویی از مواد مقاوم و قوی و لایه زیرین از مواد با مقاومت کم‌تر تشکیل شده به وقوع می‌پیوندد. لایه زیرین ممکن است از طریق زیرشویی به وسیله جریان، پدیده رگاب، امواج سطحی و یا گسیختگیهای موضعی فرسایش یافته و موجب خالی شدن زیر لایه رویی گردد.
- گسیختگی بیرون‌زدگی موضعی[4] که نتیجه اشباع لایه خاک کناره و جریان زه شدید در نیمه زیرین سطح خاک کناره با خاک چسبنده می‌باشد. جریان زه باعث بیرون‌زدگی موضعی حجمی از خاک کناره می‌گردد.
- گسیختگی رگابی[5] که گسیختگی قسمتی از کناره به علت فشار زه شدید آب زیرزمینی می‌باشد. این حالت در واقع حالت توسعه یافته فرسایش رگابی است که قبلاً توضیح داده شده است.
- جریان ماسه خشک[6] در کناره‌های با مواد درشت‌دانه و غیر چسبنده، هنگامی که شیب سطح کناره در حدود زاویه ایستایی است رخ می‌دهد. با افزایش شیب کناره از زوایه ایستایی، سطحی از ذرات و دانه‌های خاک با چرخش یا لغزش به سمت پایین سقوط می‌کند.
- جریان گل و لای[7] که عبارت است از گسیختگی قسمتی از خاک کناره به علت کم شدن مقاومت آن در اثر اشباع شدن. این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که نفوذ آب به درون لایه خاک کناره (در زمان بارندگی طولانی، ذوب برف و ...) موجب سنگین‌تر شدن لایه و کاهش مقاومت آن شده و لایه خاک مانند یک سیال غلیظ جاری شود.

۱-۳-۴-۲ فرسایش در کف

به طور کلی، فرسایش در کف رودخانه‌ها که ناشی از تنش یا اغتشاشات جریان است در دو حالت آب‌شستگی عمومی و موضعی مشاهده می‌شود. آب‌شستگی عمومی در بازه‌های طولانی و به علت افزایش ظرفیت حمل رسوب در زمان سیل یا به علت تغییراتی که توسط بشر در رودخانه‌ها داده می‌شود رخ می‌دهد. تغییرات ایجاد شده در رودخانه‌ها ممکن است باعث افزایش

1 - Rotational slip
2 - Slab – type block
3 - Cantilever failure
4 - Pop – out failure
5 - Piping failure
6 - Dry granular flow
7 - Wet earth flow failure

ظرفیت حمل رسوب یا کاهش ناگهانی در رسوب رودخانه گردد. آب‌شستگی عمومی معمولاً به کاهش تراز کف[1] و حتی تراز سطح آب ختم می‌گردد.

آب‌شستگی عمومی معمولاً ناشی از عوامل زیر است[۳۱]:

- کاهش رسوب جریان رودخانه از طریق احداث مخزن در بالادست بازه مورد نظر و یا برداشت مصالح شن و ماسه،
- تنگ‌شدگی مقطع رودخانه در بازه‌ای طولانی که باعث افزایش بده ویژه و سرعت جریان می‌شود،
- افزایش بده جریان، عمق و شیب کف در زمان سیلاب، و
- افزایش شیب به سبب کاهش زبری که ممکن است به علت اقدامات بهسازی انجام گیرد.

فرسایش موضعی در بازه‌ای کوتاه از رودخانه در اثر اغتشاشات موضعی در جریان پدید می‌آید. موانع موجود در مسیر رودخانه (اعم از موانع طبیعی و یا سازه های رودخانه‌ای مانند پلها، بندها و آبشکنها) مهم‌ترین عامل وقوع فرسایش موضعی است. وجود موانع در مسیر جریان، موجب به هم ریختگی خطوط جریان از حالت طبیعی خود و به وجود آمدن جریانهای ثانویه و پدیده‌هایی همچون آشفتگی[2]، جریان گردابی[3] و مارپیچی[4]، جریان تلاطمی[5] و خلاءزایی[6] می‌گردد. مکانهایی که در بستر رودخانه، اشکال مختلف فرسایش موضعی را می‌توان مشاهده کرد، شامل موارد زیر می‌گردد:

- اطراف پایه پلها که جریان گردابی و مارپیچی (نعل‌اسبی) تشکیل می‌شود.
- پایین‌دست سازه‌های آبی مانند بند و سرریزها که به علت تغییرات جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی و تشکیل پرش هیدرولیکی، آشفتگی و تلاطم شدیدی در جریان ایجاد می‌شود.
- دماغه آبشکنها که محل برخورد با جریان است، در جریان آشفتگی ایجاد می‌کند.

1 - Degradation
2 - Turbulence
3 - Vortex
4 - Horseshoe vortex
5 - Eddy
6 - Cavitation

۲- مهار فرسایش در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها

۲-۱ ضرورت حفاظت رودخانه‌ها و مهار فرسایش

سطح تماس آب و زمین، همواره از اهمیت خاصی در فعالیتهای بشری برخوردار بوده است. وقتی سطح زمین از جنس سازندهای سخت باشد فرسایش قابل طرح نیست ولی در صورتی‌که سطح زمین از مصالح ریزدانه تشکیل شده باشد، فرسایش‌پذیر خواهد بود.

در وضعیت طبیعی، رودخانه‌ها در حال رسوبگذاری و فرسایش بوده و این امر پدیده‌ای کاملاً طبیعی است و به طور کلی نباید اقدام به تثبیت آن نمود، مگر این‌که ضرورت حفاظت ایجاب نماید. به عبارتی دیگر، پدیده فرسایش شبیه علفهای خودرو می‌باشد. مادامی‌که به محصول و سایر سبزینه‌ها خسارت وارد نیاورد، برای امحای آن عملیاتی مورد نیاز نیست. از سوی دیگر، احداث یک سامانه حفاظتی در بدنه رودخانه ممکن است رفتار طبیعی رودخانه را برای رسیدن به شرایط تعادل آن مختل نموده و باعث توسعه و گسترش خساراتی جدی در پایین‌دست گردد.

بنابراین ضروری است که در صورت امکان، مرز فعالیتهای اقتصادی در حاشیه رودخانه را با توجه به عمر مفید آنها در فاصله‌ای مطمئن از لبه رودخانه در نظر گرفت. البته باید توجه داشت، از آنجایی که حفاظت سطح بستر رودخانه، غالباً بخشی از یک پروژه بزرگ‌تر و به منظور نیل به اهدافی مهم‌تر از تثبیت دیواره‌ها می‌باشد، بنابراین باید در قالب یک طرح جامع و یکپارچه، برای کرانه‌های رودخانه سامانه حفاظتی در نظر گرفت.

در ادامه، ضرورتهای محوری که به حفاظت کرانه‌ها منجر می‌شوند ارائه می‌گردد:

۲-۲ ضرورتهای محوری حفاظت بستر و سواحل رودخانه

به طور کلی نیاز به حفاظت کرانه‌ها از دو جنبه قابل بررسی است: مستقیم و غیر مستقیم.

نیازهای مستقیم به آن گروه از ضرورتهایی گفته می‌شود که تثبیت کرانه‌ها و ممانعت از جابه‌جایی فیزیکی رودخانه را ایجاب نماید و نیازهای غیر مستقیم به ضرورتهایی گفته می‌شود که جلوگیری از عوارض ناشی ازجابه‌جاییهای کرانه‌ها را توجیه می‌نماید.

الف – ضرورتهای مستقیم

- جلوگیری از فرسایش کناره، به منظور حفظ اراضی با ارزش اقتصادی زیاد در حاشیه رودخانه،
- جلوگیری از فرسایش کرانه و کف بستر رودخانه در اطراف سازه‌های متقاطع، به ویژه پله،
- جلوگیری از پدیده بازخوردی[1] فرسایش کناره رودخانه که ناشی از تأثیر متقابل جریان و کناره رودخانه می‌باشد. بدین معنی که هر فرسایشی موجب تشدید روند فرسایشهای بعدی کناره می‌گردد،

1 - Feedback process

- جلوگیری از فرسایش کناره به منظور حفاظت از گوره‌های[1] مهار سیلاب و بی نیاز کردن از عملیات عقب‌نشینی دوره‌ای آن،
- تثبیت پلان رودخانه و جلوگیری از تغییر مسیر و به‌وجود آمدن میان‌بر[2] و چمهای[3] ناخواسته برای ایجاد آبراه کشتیرانی،
- کاهش ورود رسوبات به رودخانه و جلوگیری از وقوع پدیده پشته‌های رسوبی نقطه‌ای[4] و شریانی شدن رودخانه که موجب تشدید تخریب کرانه‌ها در بازه‌هایی می‌گردد که قبلاً پایدار بوده‌اند،
- جلوگیری از فرسایش کرانه و کف بستر در اثر احداث جزیره‌های مصنوعی در بستر رودخانه،و
- جلوگیری از فرسایش کرانه‌ها در اثر حرکت شناورها.

ب – ضرورتهای غیرمستقیم

- 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 تولید مثل آبزیان و همچنین مصارف کشاورزی و شرب،
- ایجاد شرایط مناسب برای افزایش سرمایه‌گذاری بخشهای خصوصی به‌دلیل ایجاد فضای امنیتی در حاشیه رودخانه، و
- جلوگیری از بروز مشکلات اجتماعی و مهاجرت کشاورزان و روستاییان.

۲-۳ روشهای مهار فرسایش رودخانه

به‌طورکلی، حفاظت کناره رودخانه را می‌توان به دو نوع عمده تقسیم نمود. حفاظت مستقیم[5] و حفاظت غیر مستقیم[6]. منظور از مستقیم، اقداماتی حفاظتی است که مستقیماً روی کناره‌های رودخانه انجام می‌گیرد تا مانع از فرسایش و تخریب آن توسط جریان آب، اثر موج و غیره گردد[۳].

حفاظت غیرمستقیم مجموعه اقدامات حفاظتی است که مستقیماً روی کناره‌ها انجام نمی‌گیرد، بلکه در داخل رودخانه و به منظورکاهش قدرت تخریبی جریان از طریق انحراف آن از ساحل، کاهش سرعت جریان یا فراهم آوردن موجبات ته‌نشست رسوبات در مجاورت کناره‌ها انجام می‌شود[۳].

در هر دو حالت حفاظت مستقیم و غیرمستقیم، بر اساس دوام، عملیات حفاظتی را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود:

- حفاظت موقت،
- حفاظت نیمه دائمی،
- حفاظت دائمی،

---

1 - Levees
2 - Cutoff
3 - Meander
4 - Point bars
5 - Direct bank protection
6 - Indirect bank protection

۲-۳-۱ حفاظت مستقیم کناره

حفاظت مستقیم را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود [۳۴]:

الف- حفاظت ناحیه فوقانی کناره رودخانه

ناحیه فوقانی کناره رودخانه اگر تحت تأثیر جریان قوی نباشد، توسط پوشش سبزینه‌ای مانند چمن، حفاظت خواهد شد. در چنین حالاتی، ایجاد یک پوشش موقتی با استفاده از روکش[۱] مناسب برای یک یا دو سال اول لازم است. چنانچه جریان مجاور ناحیه فوقانی قوی باشد، پوشش کناره با مصالح و سازه‌های مقاوم در برابر فرسایش ضروری است. پوشش توسط لاشه‌سنگ یا سنگچین[۲]، معمول‌ترین نوع به کار رفته در غالب مناطق می‌باشد. پوشش ناحیه فوقانی باید رابطه‌ای قوی به‌صورت موضعی یا پیوسته با پوشش پنجه کناره داشته باشد.

هنگامی که ساحل در معرض حمله موج است، (مانند آبراه های کشتیرانی) این پوششها نه تنها باید در مقابل حمله موج مقاومت نماید، بلکه باید در مقابل مکش ایجاد شده که در زمان عقب‌نشینی موج اتفاق می‌افتد نیز تحمل داشته باشد.

ب – حفاظت پنجه[۳] (ناحیه تحتانی) کناره

حفاظت ناحیه تحتانی با ناحیه فوقانی متفاوت است، زیرا ناحیه تحتانی به‌طور مداوم در زیر آب بوده و بنابراین پنچه کناره بطور دائمی در معرض آب‌شستگی قرار دارد. حفاظت ناحیه تحتانی از مکانی در نزدیکی تراز پایینی سطح آب آغاز و تا فاصله‌ای به اندازه دو برابر عمق احتمالی آب‌شستگی در بستر رودخانه ادامه می‌یابد. آب‌شستگی پنجه را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود:

- آب‌شستگی عادی،
- آب‌شستگی غیر عادی،
- آب‌شستگی بسیار شدید و غیر عادی،
- آب‌شستگی مکشی،

آب‌شستگی عادی پنجه در یک بازه مستقیم معمولی، بوسیله سرعت زیاد جریان و در هنگام وقوع سیلاب ایجاد می‌شود. آب‌شستگی بسیار شدید، توسط گردابه‌های قوی در مواضعی مانند پایین‌دست سدها بوجود می‌آید. آب‌شستگی مکشی، توسط مکش امواج عرضی حاصل از حرکت شناورها و یا جزر و مد ایجاد می‌شود. برای حفاظت پنجه در مقابل انواع آب‌شستگی مذکور، سه راه حل مختلف وجود دارد. معمول‌ترین روش، ایجاد یک روکش انعطاف‌پذیر روی بستر رودخانه می‌باشد. دومین روش، استفاده از مصالح مقاوم نظیر سنگ برای تثبیت محل آب‌شستگی و سومین روش حفاظت پنجه با استفاده از صفحات مستغرق[۴]، دیوار حائل، شمعهای ورقه‌ای و غیره می‌باشد. مکانهایی که آب‌شستگی خیلی زیاد نباشد، شمعهایی با مقطع دایره در نزدیکی هم کوبیده می‌شوند.

---

1 - Mattress
2 - Pitching
3 - Toe protection
4 - Submerged panels

در یک دسته‌بندی دیگر، حفاظت مستقیم را به سه گروه زیر می‌توان تقسیم‌بندی نمود [۲۳]:

الف – حفاظت طبیعی کناره

در این نوع حفاظت، از پوشش گیاهی استفاده می‌شود. حفاظت طبیعی کناره‌ها را از دو دیدگاه می‌توان بررسی نمود، یکی دیدگاه مدیریتی و نگهداری کناره‌های حفاظت شده با پوشش گیاهی که به صورت طبیعی و در طول زمان ایجاد شده‌اند و دیگری طراحی و اجرای پوشش گیاهی روی کناره‌های فرسایش‌پذیر.

روشهای حفاظت طبیعی معمولاً هزینه اولیه کمتری در مقایسه با راه‌حلهای مهندسی مرسوم دارند ولی به دلیل نیاز به بازرسی منظم، هرس کردن و مرمت در برخی موارد، هزینه‌های نگهداری بالاتری را طلب می‌نمایند.

یکی از معایب حفاظت طبیعی کناره، آن است که تا رشد کامل پوشش و به حد کاملاً مؤثر رسیدن آن، زمان نسبتاً زیادی لازم است و ممکن است برای دستیابی به استاندارد مطلوب حفاظت، گذشت چند فصل رشد و نمو لازم باشد.

ب – حفاظت قائم کناره

حفاظت قائم، به نوعی حفاظت پوششی کناره‌های رودخانه گفته می‌شود که شیب سازه‌های حفاظتی تندتر از زوایه اصطکاک داخلی کناره رودخانه باشد بنابراین کارهای حفاظتی از این دست، باید آنچنان استحکام داشته که در مقابل فشار خاک و همچنین در برابر نیروهای هیدرودینامیکی در جلوی آن مقاومت کافی داشته باشند. [۳۴] دیوارهای وزنی[۱]، شمعی[۲]، پرده سپری[۳]، توری سنگی قائم[۴]، و ... در این طبقه جای می‌گیرند.

ج – حفاظت مایل کناره

حفاظت مایل، به نوعی حفاظت مستقیم گفته می‌شود که سازه حفاظتی به صورت پوشش یا روکش مایل (غیر عمود) در کناره رودخانه و در راستای آن اجرا گردیده و از فرسایش دیواره جلوگیری نماید. به عبارتی علمی‌تر، چنانچه زاویه شیب سازه حفاظتی برابر و یا کمتر از زاویه اصطکاک داخلی باشد، نوع حفاظت مایل نامیده می‌شود. [۳۴]

بنا به تعریف، پوششهای حفاظتی، سازه هایی هستند که در مجاورت ساحل رودخانه و یا به موازات جریان احداث شده و به منظور حفاظت کناره‌های فرسایش‌پذیر بکار رفته و خط کناره ملایمی را شکل می‌دهند. ضمناً از آنها برای حفاظت شیب خاکریزها، گوره‌ها، آب‌شکنها و غیره نیز استفاده می‌شود. از انواع آن می‌توان به پوششهای سنگی، توری سنگی، بتنی، آسفالتی، حصاربندی، کیسه‌ای و غیره اشاره کرد [۳].

روکشهای حفاظتی یک نوع پوشش محافظ انعطاف‌پذیر می‌باشند که روی کناره رودخانه قرار گرفته و تا بستر آن ادامه می‌یابد و معمولاً از شاخ و برگ یا سرشاخه‌های درختان و چوب یا الوار ساخته می‌شود که به هم بافته شده و یا به صورت دیگری به هم بسته می‌شوند و برای پوشاندن سطحی که در معرض فرسایش قرار دارد به کار می‌رود . روکش بوسیله تخته

1 - Weighted retaining wall
2 - Pile
3 - Sheet pile
4 - Verticed wire meshed (Verticed gabion)

سنگ، بلوکهای بتنی یا لایه‌ای از سنگ و غیره سنگین می‌شود و یا به گونه‌ای دیگر در محل استقرار می‌یابد. سایر انواع روکشها از مصالح دیگری مانند قطعات بتنی مسلح یا غیر مسلح (که به کمک سیم یامیله به هم متصل شده باشد)، قطعات سنگ، توری سنگ، آسفالت و غیره ساخته می‌شوند[۳].

۲-۳-۲ *حفاظت غیرمستقیم کناره*

حفاظت غیرمستقیم یا ناپیوسته کناره ها بطور کلی ارزان‌تر از حفاظت مستقیم یا پیوسته می‌باشد. به طور کلی، این روشها به دو دسته کلی روشهای آرام‌کننده جریان و روشهای انحراف دهنده جریان تقسیم می‌شوند[۳۴].

الف – روشهای مبتنی بر آرام نمودن جریان[1] و ایجاد شرایط رسوب‌گذاری در جلوی کناره

غالب سازه‌های آبگذر، در این دسته قرار دارند. در واقع سازه‌های آبگذر در دسته سازه‌های نیمه دائمی قرار دارند. از آنجایی که در بین این سازه‌ها رسوب‌گذاری انجام می‌شود بنابراین نیازی به استفاده از مصالح مستحکم نیست.

این سازه‌ها ممکن است در ابتدا خیلی کوتاه ساخته شوند و بعد از رسوبگذاری مجدداً ترفیع گردند.

ب – انحراف جریان[2] از کناره‌ها با استفاده از آب‌شکنهای[3] انحراف دهنده [۳۴]

آب‌شکنهای انحراف دهنده، دارای هدف اصلی انحراف جریانها از کناره یا حفاظت از کناره با ایجاد بازوی قوی در جلوی آن می‌باشند. این آب‌شکنها باید دارای دماغه قوی برای مقاوت در برابر حمله مستقیم جریان باشند که معمولاً از مصالح سنگی یا خاکریز با پوشش سنگی ساخته می‌شوند. میزان آب‌شستگی معمولاً از دماغه به کناره کاهش می‌یابد بنابراین حفاظت شیب آب‌شکنها را از دماغه به کناره می‌توان کاهش داد.

از آنجایی که دماغه‌ها همیشه در معرض حمله جریان هستند، هر سال به تعمیر دماغه نیاز دارند؛ این گونه آب‌شکنها ممکن است دائمی، نیمه دائمی یا موقت ساخته شوند. این آب‌شکنها معمولاً به صورت گروهی ساخته می‌شوند. اولین آبشکن باید از استحکام بسیار زیادی برخوردار باشد زیرا قدرت حمله جریان به این آب‌شکن از سایر آب‌شکنها بیشتر است.

1 - Flow retarders
2 - Flow deflector
3 - Groyne

۳- انواع پوششها

پوششها سازه‌هایی هستند که روی شیب کناره‌ها و بستر رودخانه‌ها، مسیلها، کانالها و همچنین روی خاکریزهای سیل‌بند و سدهای خاکی، برای حفاظت و تثبیت آن در برابر فرسایش ناشی از جریان، موج، بارش باران و تراوش زهاب زیرزمینی ساخته می‌شوند. به طور کلی، پوششها به دو دسته کلی نفوذپذیر[۱] و نفوذناپذیر[۲] تقسیم می‌گردند. پوششهای نفوذپذیر معمولاً از دو لایه تشکیل شده که لایه رویی، «لایه سپر»[۳] و لایه زیرین، «لایه فیلتر» می‌باشد. در حالی‌که در پوششهای نفوذناپذیر معمولاً نیازی به لایه فیلتر نمی‌باشد[۳۱].

سازه‌های پوششی یا برای حفاظت و پوشش کل بدنه یک آبراهه یا بازه‌ای از رودخانه بکار رود و یا می‌توانند عملیات پوشش محدود به کناره و یا کف شوند. پوشش، راه حل مناسبی برای حفاظت ناپایداریهای ناشی از عوامل ژئوتکنیکی مانند فرسایش توده‌ای نبوده و نمی‌توان انتظار داشت که مانند یک دیواره حائل عمل نماید.

در مواقعی که نیاز به حفاظت مستمر و طولانی کناره‌ها می‌باشد، ممکن است احداث پوشش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد و در صورتی‌که از نظر محدودیت عرض رودخانه، احداث آبشکن نیزمقدور نباشد، در این‌صورت می‌توان از سازه‌های حفاظتی دیگر مانند مجموعه‌ای از نقاط سخت[۴] که نوعی آبشکن کوچک است، استفاده کرد [۱۹].

کاربردهای پوششها را می‌توان بر حسب زمینه ها و اهداف مورد استفاده، به کاربردهای اصلی و فرعی تقسیم نمود.

کاربردهای اصلی پوشش ها عبارتند از:

- حفاظت شیب کناره رودخانه در برابر فرسایش و تخریب،
- حفاظت پنجه کناره در برابر فرسایش موضعی،
- حفاظت بستر رودخانه در پایین‌دست سازه های آبی،
- حفاظت شیب گوره‌ها و آبشکنها در برابر فرسایش، و

کاربردهای فرعی پوششها را نیز می‌توان به شرح زیر برشمرد:

- تثبیت کناره خارجی در قوس رودخانه و جلوگیری از توسعه خم،
- کاهش افت آب ناشی از زهکش شدن جریان از کانال به خاک زیرین، و
- بهبود کیفیت آب از طریق جلوگیری از زهکش آب زیر سطحی از خاک زیرین به درون کانال.

۳-۱ طبقه‌بندی پوششها از نظر موضع کاربرد

اصولاً پوششها برای حفاظت از هر سطحی که در معرض فرسایش رودخانه‌ای است، می تواند کاربرد داشته باشد. سطوح فرسایش‌پذیر از جمله شیب کناره‌ها و بدنه سازه‌های رودخانه‌ای و همچنین سطوح کف، به وسیله لایه پوشش در برابر توان فرسایشی جریان حفاظت می‌شود.

---

1 - Permeable
2 - Impermeable
3 - Armour layer
4 - Hard point

۳-۱-۱ پوشش کناره[1]

جریان آب در پای کناره‌ها، بستر کنی و عمیق‌تر شدن بستر رودخانه در مواقع سیلاب و طغیان رودخانه‌ها، از عوامل اصلی و اساسی تخریب و فرسایش کناره‌ها و اراضی حاشیه رودخانه‌ها است.

پوشش کناره به‌ویژه در قوسها بعنوان اقدامی مؤثر برای جلوگیری از فرسایش سطحی و بهسازی مقطع رودخانه یا کانال خاکی به کار می‌رود. پوشش کناره ها موجب تثبیت مسیر و کنترل جابه‌جاییهای عرضی رودخانه خواهد شد. علاوه بر اینها، پوشش کناره در راستای بهسازی مسیر، عاملی برای پاکسازی و حذف رسوبات جمع شده در کناره می‌باشد.

به طور کلی، تثبیت و حفاظت کناره رودخانه‌ها با استفاده از پوششها بدون اطمینان از شرایط مناسب هیدرولیکی بازه مورد نظر، اقدامی موضعی بوده که عمدتاً تأثیرات مطلوب خود را نخواهد داشت. در صورتی‌که تثبیت و حفاظت دیواره رودخانه از الگوی مناسبی پیروی کند، حریم و بستر سیلابی رودخانه به ویژه با کاربرد سازه‌های طولی و ساحلی مانند گوره‌ها یا خاکریزهای موازی با راستای جریان سیلاب، کنترل و تثبیت خواهد شد [۳۱].

۳-۱-۲ پوشش کف

انواع سازه‌های پوشش مانند سنگچین، تورسنگ و بلوکهای بتنی در کف رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، در اطراف پایه‌های پل و در پایین‌دست بندهای انحرافی برای حفاظت از بستر و جلوگیری از فرسایش موضعی بکار می‌رود. پوشش کف عموماً بصورت موضعی اجرا می‌شود و در بازه‌های طولانی از نظر ملاحظات اقتصادی کاربردی ندارد. معمولاً برای کنترل کف کنی که در بازه طولانی رخ می‌دهد، از سازه‌های تثبیت کننده مانند کف بندها استفاده می‌شود. پوشش کف رودخانه در اطراف آبشکنها، به‌ویژه در اطراف پاشنه آنها، از دیگر کاربردهای آن است که از فرسایش و حفر گودال و تخریب آبشکن جلوگیری کرده و یا روند فرسایش را کندتر می‌کند.

۳-۱-۳ پوشش گوره‌ها

برای تأمین ایمنی در برابر فرسایش ناشی از بارندگیهای شدید، جریان رودخانه و برخورد دائم امواج آب به گوره‌ها ، حفاظت و پوشش شیب جانبی گوره‌ها امری لازم است که در صورت عدم وجود آن، در اثر پدیده زیر کنی و وقوع لغزشهای توده‌ای، بدنه گوره‌ها فرو خواهد ریخت و اراضی اطراف در معرض خطر سیل گرفتگی و تخریب و خسارات قرار خواهد گرفت.

برای تقویت گوره‌ها می‌توان از انواع پوششهای حفاظتی ساختمانی و طبیعی یا تلفیقی از آنها استفاده نمود.

پوششهای ساختمانی مانند سنگ‌چینی، سنگریزی، توری سنگها، کیسه‌های ماسه سیمان یا خاک سیمان، پوشش آسفالتی، بلوکهای بتنی و پوششهای طبیعی یا پوششهای سازه‌ای – گیاهی برای حفاظت گوره‌ها در شرایط مختلف مناسب می‌باشد. برای حفاظت از سواحل رودخانه‌هایی که در معرض سیلابهای با مدت دوام و شدت کم قرار دارند توصیه شده که از پوشش گیاهی استفاده شود. به علت طولانی بودن مسیر گوره‌ها و نیاز به حجم مصالح زیاد برای پوشش حفاظتی، استفاده از مصالح موجود در منطقه اقتصادی‌تر خواهد بود [۱۳] و [۶].

---

1 - Bank revetment

۳-۱-۴ پوشش آبشکنها[1]

از دیگر کاربردهای سازه‌های پوشش، حفاظت شیب دیواره دو طرف آب‌شکنها و به خصوص پنجه و انتهای آنها است. آب‌شکن سازه‌ای است که در مسیر رودخانه از کناره به طرف داخل رودخانه ساخته می‌شود تا با انحراف جریان از کناره رودخانه، از فرسایش آن جلوگیری شود. آب‌شکنها از مصالح مختلفی ساخته می‌شود که از آن جمله از مصالح سنگی و رودخانه‌ای، خاک و سنگریزه استفاده می‌شود. با توجه به اینکه آب‌شکن در مسیر جریان رودخانه قرار دارد، امکان فرسایش بدنه و به‌ویژه پنجه یا پاشنه آن بسیار زیاد است و دائماً در معرض تخریب قرار می‌گیرد. لذا برای حفظ پایداری آن لازم است تا سطح آبشکن با لایه‌ای مقاوم تقویت شود. عمومی‌ترین روش تقویت آب‌شکنها، استفاده از لایه پوشش است. اجرای پوشش در بخشی از آبشکن که در مقابل جریان قرار گرفته و همچنین در اطراف دماغه آن[2] حائز اهمیت بیشتری می‌باشد. دماغه آبشکن در معرض شدیدترین ضربه‌های جریان رودخانه قرار دارد و به همین دلیل، مهم‌ترین بخشی است که باید حفاظت آن مد نظر قرار گیرد. تشریح چگونگی حفاظت شیب آبشکن ها و نوع طراحی آن، در منابع مختلفی که در ارتباط با آب‌شکنهاست آمده است.

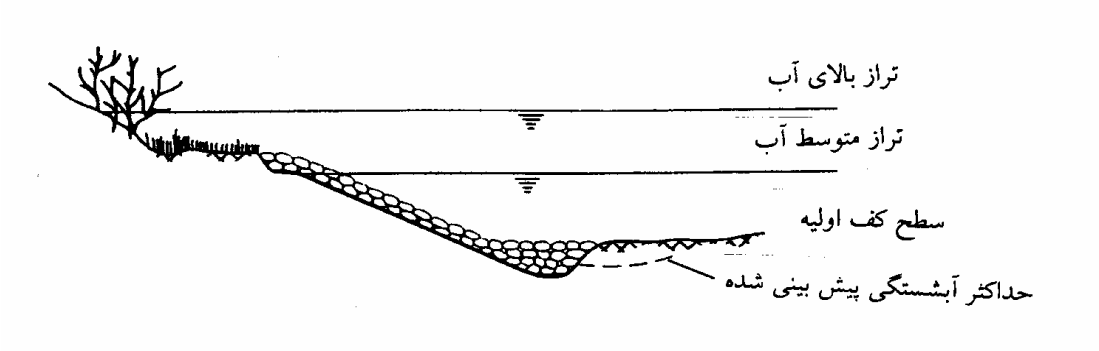
۳-۲ طبقه‌بندی پوششها از لحاظ عملکرد

۳-۲-۱ پوششهای صلب[3] و انعطاف پذیر[4]

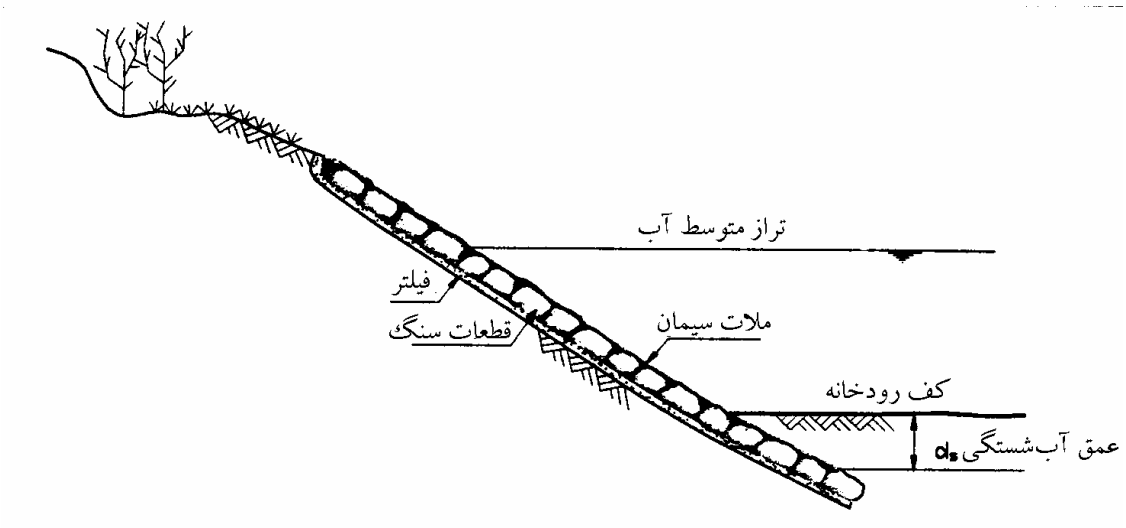
پوششهای حفاظتی رودخانه یا صُلب هستند یا به نسبتهای متفاوتی انعطاف‌پذیر می‌باشند. منظور از پوشش انعطاف‌پذیر، پوششی است که با گذشت زمان، امکان انطباق با تغییرات کف و دیواره‌های رودخانه، ناشی از نشست یا آب‌شستگی را دارد. پوششهای صُلب یا انعطاف‌ناپذیر، پوششهایی هستند که امکان جابه‌جایی در آنها وجود ندارد و در صورت جابجایی ناشی از نشست، فرسایش یا رگاب، به سازه پوشش آسیب وارد می‌گردد. در واقع هر گونه حرکتی در آنها با تخریب و گسیختگی بخش اعظم یا کل سازه حفاظت همراه است[۳] . در شکل ۳-۱ چگونگی عملکرد یک پوشش انعطاف‌پذیر در حفاظت پاشنه شیب نشان داده شده است.

از رایج‌ترین پوششهای صُلب، می‌توان بتن مسلح، مخلوط خاک و سیمان و سنگ‌چین با ملات را نام برد. مواردی چون توری سنگ، سنگ‌چین و پوششهای کیسه‌ای، جزء پوششهای انعطاف‌پذیر به حساب می‌آیند. شکل ۳-۲ نمونه‌ای از پوشش صُلب از نوع سنگ‌چین با ملات را نشان می‌دهد.

1 - Groynes , groins, spurs , spur dikes
2 - Head
3 - Rigid revetments
4 - Flexible revetments



شکل ۳-۱- عملکرد پوشش انعطاف پذیر در حفاظت پاشنه شیب



شکل ۳-۲- پوشش صلب کناره

بسته به شرایط هر یک از پوششهای انعطاف‌پذیر و صُلب مزایا و معایبی دارندکه باید مورد توجه قرار گیرد. در ذیل به برخی از موارد مهم مربوط به پوششهای صُلب وانعطاف پذیر اشاره می شود [۲۱]:

- پوششهای صلب در مواردی که سرعت جریان زیاد است، مناسب‌ترین روش می‌باشند و پایداری بیشتری نسبت به پوششهای انعطاف پذیر دارند.
- در جاهایی که هیچ‌گونه امکان فرسایشی و افت کف وجود ندارد، پوششهای صلب بهترین گزینه می‌باشند.
- در جاهایی که ارزش زمین زیاد است، پوششهای صُلب به علت سطح مقطع کوچک‌تر و شیب تندتر کناره‌ها اقتصادی‌تر می‌باشند.
- عمرمفید پوششهای صُلب بسیار بیشتر است و از نظر نگهداری، هزینه‌های کمتری را دربردارند.
- به طور معمول، پوششهای صلب هزینه اولیه بیشتری نسبت به پوششهای انعطاف‌پذیر دارند.

- پوششهای صُلب، بر عکس پوششهای انعطاف پذیر معمولاً بدون علائم قبلی تخریب می‌شوند و تعمیر و بازسازی مجدد آنها گران و مشکل است.
- پوششهای صُلب از نظر اجرا در زیر آب، معمولاً به تکنولوژی پیشرفته‌تری نیاز دارند.
- پوششهای صُلب، ممکن است باعث مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی مانند تغییر زیبایی منطقه، تغییر محل سکونت حیوانات وحشی و تغییر در پوشش گیاهی حاشیه رودخانه شوند، در حالی که اغلب پوشش های انعطاف‌پذیر همخوانی بیشتری با محیط و اطراف خود دارند.

همچنین نکته‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد، این است که پوششهای صُلب، معمولاً نسبت به پوششهای انعطاف‌پذیر زبری کمتری دارند که این عامل، باعث افزایش سرعت جریان می‌شود. در این صورت احتمال فرسایش در قسمتهای پایین‌دست که ممکن است حفاظتهای ضعیف‌تری داشته باشند، زیاد می‌باشد. به همین دلیل، باید انتخاب نوع حفاظت در قسمتهای مختلف یک رودخانه به صورت هماهنگ و کامل بررسی شود.

۳-۲-۲ پوشش های نفوذپذیر و نفوذناپذیر

وجود آبهای زیرزمینی، پایین افتادن سریع سطح آب رودخانه در شرایط سیلابی یا جزر و مدی و امواج سطحی، از جمله عواملی هستند که باعث افزایش فشار آب حفره‌ای و گردایان هیدرولیکی در خاک می‌شوند. سرعت حرکت آب در دیواره ها به گرادیان هیدرولیکی و نفوذپذیری خاک بستگی دارد. اگر گردایان هیدرولیکی در خروجی بالا باشد، احتمال آب‌شستگی و تخریب در سواحل رودخانه وجود دارد. در مواردی که مصالح کناره ها نفوذپذیری کافی دارد، سطح آب زیرزمینی سریعاً با تغییرات سطح آب رودخانه تغییر می‌کندکه در نتیجه گرادیان هیدرولیکی بزرگی ایجاد نخواهد شد. ولی در ریزدانه‌ها بانفوذپذیری کم، افت سطح آب رودخانه باعث افزایش گرادیان هیدرولیکی و احتمالاً جابه‌جایی دانه‌های خاک می‌شود.

انتخاب نوع پوشش کناره‌ها از نظر نفوذپذیری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پوشش نفوذپذیر یا تراوا، نوعی پوشش حفاظتی است که قابلیت نفوذ یا عبور جریان آب زیر زمینی به داخل رودخانه و یا جریان آب رودخانه را به لایه آبهای زیرزمینی دارا می‌باشد؛ پوششهایی که از قطعات سنگی یا بتنی، شمعهای مختلف و توری سنگی ساخته می‌شوند از این گروه می‌باشند. در مقابل پوششهایی چون قطعات بتنی پیش ساخته یا درجا، آسفالت و مخلوط خاک سیمان جزء پوششهای نفوذناپذیر هستند[۳].

در مواردی که کناره ها در معرض نوسانات سریع سطحی آب رودخانه باشد، باید با بکارگیری پوششهای نفوذپذیر امکان زهکش شدن سریع آب فراهم شود در غیر این‌صورت، وجود فشار آب حفره‌ای در پشت پوشش حفاظتی، ممکن است به تخریب کناره‌ها و پوشش منتهی شود. پوشش نفوذپذیر، باید ضمن فراهم آوردن شرایط عبور آب، از حرکت دانه‌های ریز خاک جلوگیری کند. به همین دلیل، از یک لایه فیلتر در زیر پوشش استفاده می‌شود. امروزه با توسعه ژئوتکستایلها[1] به عنوان لایه فیلتر، امکان ساخت و کارایی پوششهای نفوذپذیر بسیار بیشتر شده است[۲۳]. در جدول۳-۱، خصوصیات بعضی از پوششها در ارتباط با نفوذپذیری، انعطاف‌پذیری، زیبایی ظاهر و زیست محیطی ارائه شده است.

1 - Geotextiles

۳-۳ طبقه‌بندی پوششها از نظر نوع پوشش و مصالح ساخت

روشهای حفاظت سواحل رودخانه‌ها، با توجه به مصالح به‌کار رفته در آن، به انواع زیر تقسیم می‌شود:

الف – روش ساختمانی

در این روش، با استفاده از مصالح ساختمانی، انواع پوششهای سازه‌ای مقاوم برای کنترل و حفاظت سطحی کناره‌ها طرح و انتخاب می‌گردد. در شرایطی که عوامل فیزیکی و هیدرولیکی در تخریب دیواره‌ها شدید باشد، این روش از کارآیی مؤثری برخوردار است. از این رو پوششهای ساختمانی برای شرایط سرعت زیاد جریان و فرسایش‌پذیری شدید دیواره ها مؤثر هستند.

این نوع سازه های حفاظتی، عموماً نیازمند مصالح و امکانات فنی و کارگاهی بوده و نسبت به روشهای دیگر هزینه‌های بالاتری دارند .نمونه هایی از روش ساختمانی حفاظت رودخانه‌ها با استفاده از سنگ، سنگ و ملات، بتن، آسفالت و توری فلزی می‌باشد.

ب- روش طبیعی

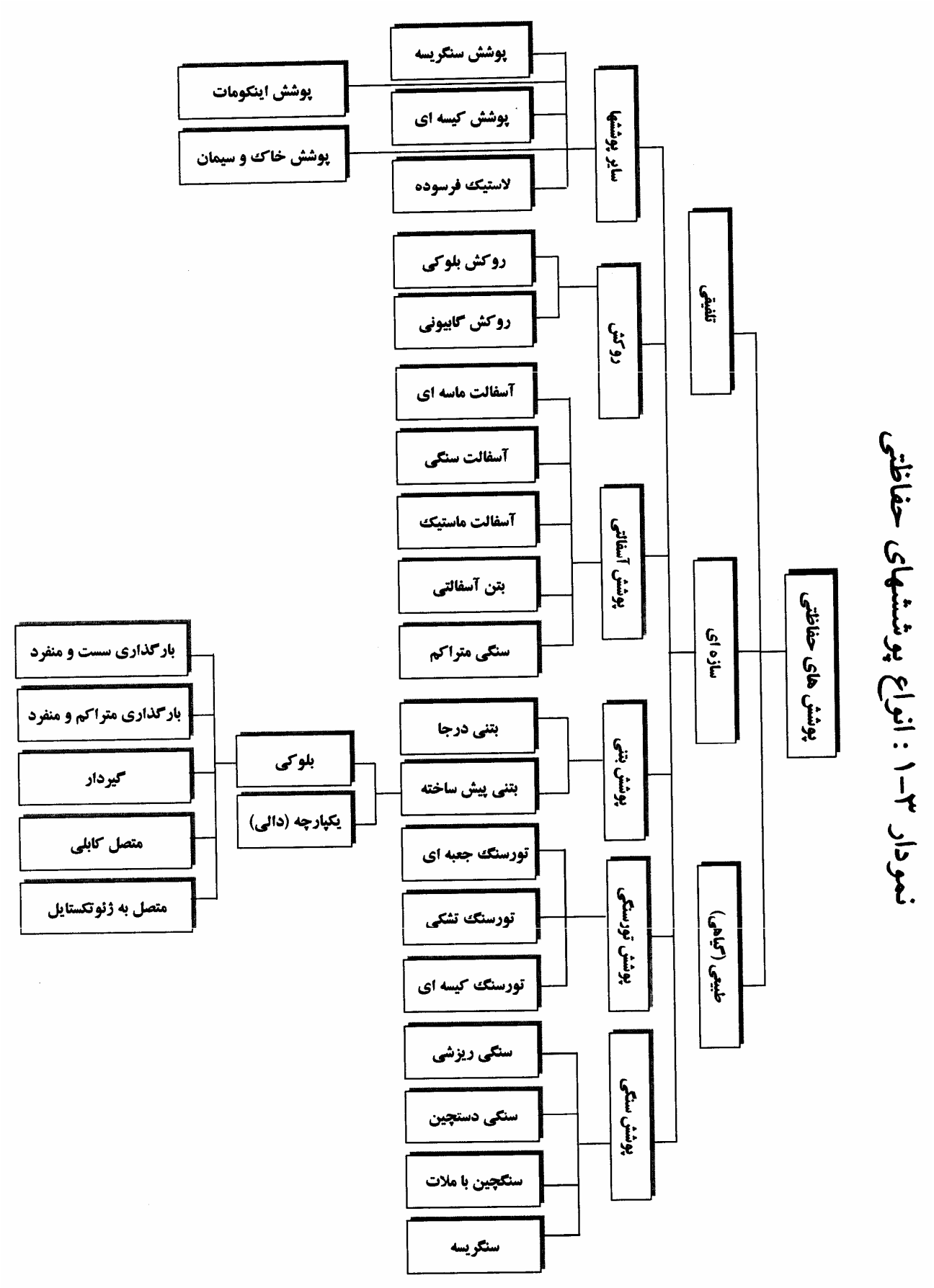
در این روش، با استفاده از منابع طبیعی مانند پوشش گیاهی (چمن، بوته، درختچه و درخت) یا استفاده از قطعات چوب و الوار، حفاظت و تثبیت بیولوژیکی روی سطح دیواره‌های رودخانه و اراضی ساحلی و محدوده حریم آن صورت می‌پذیرد . این روش، از جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی غالباً گزینه برتر می‌باشد و این در شرایطی است که سرعت جریان کم و شرایط فیزیکی دیواره ها مناسب بوده ولی باید توجه داشت که عمر مفید و دوام آنها کم و نیازمند حفاظت و مرمت مستمر می‌باشد . ویژگیها و مسایل مربوط به طراحی، ساخت و نگهداری روشهای طبیعی با عنوان پوشش گیاهی در فصل ۸ همین گزارش به‌طور جداگانه آمده است.

ج- روش طبیعی – سازه‌ای (تلفیقی)

پوششهای استفاده شده، با ترکیبی از مصالح طبیعی و ساختمانی بصورت روش تلفیقی عمل می‌کند. جنبه‌های مختلف روشهای تلفیقی بسیار متنوع است؛ یکی از حالت ها این گونه است که پوشش کناره‌ها تا سطح جریان کم آبی حفاظت ساختمانی و در حد بالاتر از آن پوشش گیاهی باشد؛ حالت دیگر آن پوششهای سلولی با استفاده از بلوکهای بتونی تو خالی است که در میان بلوکها گونه‌های گیاهی کاشت می‌شود. این روش علاوه بر جنبه‌های اقتصادی و مؤثر آن، معمولاً از جنبه زیبایی نیز مناسب‌تر از سایر روشها است.

انواع مختلف سازه‌های پوشش با استفاده از مصالح متنوع، دامنه وسیعی را در کارهای مهندسی رودخانه در کشورهای مختلف به خود اختصاص داده است در این راهنما، به مجموعه‌ای از این روشها که در مکانهایی مختلف اجرا شده و ویژگیهای آن به‌عنوان پوشش حفاظتی ارائه شده پرداخته خواهد شد . نمودار ۳-۱ تقسیم بندی روشهای مختلف پوشش و به‌خصوص نوع سازه‌ای را نشان داده که عمدتاً در بخشهای بعدی توضیحات ضروری برای هر یک ارائه خواهد شد. همچنین در جدول ۳-۱ خصوصیات کلی پوششها بطور مقایسه‌ای بیان شده است.

نمودار ۳-۱ : انواع پوششهای حفاظتی



جدول ۳-۱- خصوصیات پوششهای حفاظتی [۱۹]

نوع مصالح پوشش	انعطاف‌پذیری	نفوذ پذیری	نیاز به نگهداری	چشم‌انداز	زیست‌محیطی
سنگ	زیاد	زیاد	متوسط/ کم	مناسب/ قابل قبول	مناسب/ قابل قبول
– سنگریز پوشش سنگی ریزشی	متوسط	متوسط	کم	مناسب/ قابل قبول	مناسب/ قابل قبول
– سنگ‌چین بلوکی	کم	کم	متوسط	مناسب/ قابل قبول	مناسب/ قابل قبول
– سنگ‌چین (منظم دستی)	کم	کم	کم	نامناسب	نامناسب
– سنگ‌چین با ملات (سیمان)					
بتن					
– پوشش درجا	کم	کم	کم	نامناسب	نامناسب
الف– تو پر	متوسط	متوسط	کم	قابل قبول	قابل قبول/ نامناسب
ب– سلولی (سوراخدار)	متوسط	کم	کم	نامناسب	نامناسب
– پیش ساخته					
توری سنگ	متوسط	زیاد	کم / متوسط	مناسب	مناسب
– توری سنگ جعبه ای	زیاد	زیاد	کم / متوسط	مناسب	مناسب
– روکش توری سنگ					
بلوکهای بتنی	متوسط	کم/ متوسط	متوسط	نامناسب/ قابل قبول	نامناسب/ قابل قبول
– بلوکهای منفرد و آزاد گیردار	متوسط	کم/ متوسط	متوسط	نامناسب/ قابل قبول	نامناسب/ قابل قبول
– بلوکهای متصل به‌هم					
آسفالت	زیاد	زیاد	متوسط	مناسب/ قابل قبول	مناسب/ قابل قبول
– آسفالت ماسه‌ای	زیاد	زیاد	کم	مناسب / قابل قبول	مناسب/ قابل قبول
– آسفالت سنگی	متوسط	کم	کم	نامناسب/ قابل قبول	نامناسب
– بتن آسفالتی	متوسط	کم	کم	نامناسب/ قابل قبول	نامناسب
– آسفالت سنگی متراکم	زیاد	کم/ متوسط	کم	نامناسب/ قابل قبول	نامناسب/ قابل قبول
– سنگ چین با ملات آسفالتی	زیاد	کم	کم	نامناسب/ قابل قبول	نامناسب
– آسفالت ماستیک					
پوششهای کیسه‌ای	متوسط	متوسط/کم	متوسط/کم	نامناسب/ قابل قبول	نامناسب/ قابل قبول

۳-۴ انواع پوششهای سازه‌ای (ساختمانی)

تجربیات متعددی که در اجرای پوششها در نقاط مختلف حاصل شده حاکی از آن است که روشهای بسیار متنوعی با توجه به مصالح مورد استفاده، برای پوشش حفاظت بستر فرسایش پذیر بکار رفته است. مهم‌ترین این روشها به ترتیب در زیر اشاره شده است.

۳-۴-۱ پوشش سنگی[1]

پوشش سنگی، لایه‌ای از سنگ است که بدون ملات، به صورت ریزشی[2] ، سنگچین[3] و یا با ملات[4]، برای جلوگیری از آب‌شستگی، فرسایش یا ماندآبی شدن کناره رودخانه بکار می‌رود. برای اجرای پوشش، از مصالحی غیر از سنگ مانند قطعات بتنی پیش ساخته و دالهای شکسته بتنی نیز می‌توان استفاده نمود. این مصالح مانند سنگ می‌توانند به‌صورت ریزشی یا دستچین اجرا گردند و روکش انعطاف‌پذیری بوجود آورده یا همراه با ملات، سطح انعطاف‌ناپذیر و صلبی بدست آورند.

پوشش سنگی بدون ملات، روکشی انعطاف‌پذیر است؛ انعطاف‌پذیری آن به‌دلیل وجود دانه‌ها و قطعات مستقلی است که به‌طور جداگانه در داخل بدنه پوشش عمل می‌نماید.

به‌دلیل آنکه عمده مصالح مورد استفاده در سازه پوشش سنگی قطعات سنگ با ابعاد مختلف است و مصالح سنگی نیز در کشور فراوان یافت می‌شود، این پوشش از کاربرد وسیعی برخوردار است. پوشش سنگی، برحسب روش اجرا و مصالح آن، به انواع مختلفی تقسیم می‌شود که مهم‌ترین آنها در زیر اشاره شده است [۲۱].

۳-۴-۱-۱ پوشش سنگی ریزشی

نوع ریزشی متشکل از مصالح سنگی دانه‌بندی شده‌ای است که روی یک سطح شیبدار آماده شده ریخته می‌شود، به شکلی که هیچگونه گسیختگی در این مصالح وجود نداشته باشد (شکل۳-۳). اینگونه پوششها لایه‌ای از سنگ با بافت غیر متراکم تشکیل می‌دهند و مصالح سنگی می‌تواند بصورت مستقل نسبت به بدنه پوشش حرکت کرده و جابه‌جا گردد.

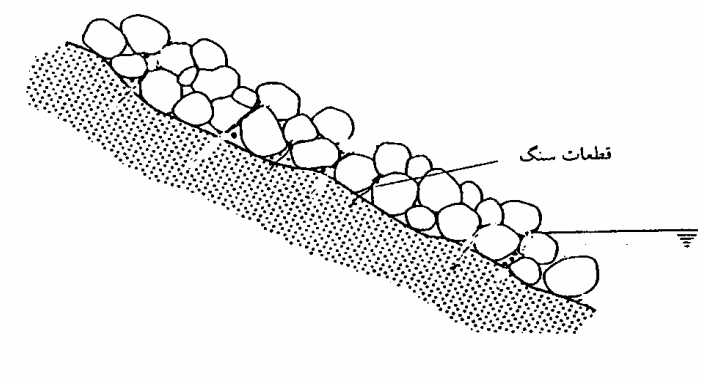
جای‌گذاری این‌گونه پوششها معمولاً توسط ماشین‌آلات مکانیکی انجام می‌گیرد. ریختن سنگ توسط کمپرسی، باعث جدا شدن سنگها[5] بر حسب اندازه آنها و درنتیجه کاهش پایداری می‌شود.

بازدهی اینگونه پوششها، در جاهایی که به‌طور مناسب احداث شوند و همچنین دارای قطعات سنگ به اندازه کافی و دانه‌بندی مناسب باشد بسیار زیاد است. مزایای استفاده از پوشش سنگی ریزشی به قرار زیر است:

- پوشش کاملاً انعطاف‌پذیر بوده و در اثر نشست ناشی از حرکتهای جزئی کناره، ضعیف نمی‌شود.
- اُفت یا خسارت موضعی به این‌گونه پوششها با جای‌گذاری سنگ، به‌راحتی قابل تعمیر و اصلاح می‌باشد.
- اجرای آن دشوار نیست.
- پوشش گیاهی به راحتی در لابلای سنگها قابل رویش است که این امر موجب افزایش مقاومت سازه‌ای و ایجاد زبری طبیعی می‌شود [۲۱].

---

1 - Rip-rap
2 - Dumped
3 - Hand-placed
4 - Grouted
5 - Segregation



شکل ۳-۳- پوشش سنگی ریزشی

۳-۴-۱-۲ *پوشش سنگی دستچین (سنگچین)*

پوشش سنگچین، قرار دادن سنگها توسط دست یا جراثقال برای ایجاد یک الگو و شکل هندسی مشخص می‌باشد که در آن خلل و فرج بین سنگهای بزرگ‌تر با سنگهای کوچک‌تر پر شده و سطح نسبتاً یکنواخت و مسطحی را به‌وجود می‌آورد (شکل۳-۴).

برای قفل‌شدگی سنگها در این‌گونه پوششها، سنگهایی با شکل و اندازه نسبتاً یکنواخت هندسی مانند مکعب یا مکعب مستطیل مورد نیاز می‌باشد.

مزایای کاربرد این پوششها عبارتند از:

- سطح قفل‌شده صاف و یکنواخت، تولید ظاهری منظم و مرتب نموده و اغتشاش جریان را در سطح تماس آب و پوشش به حداقل می‌رساند.
- قفل شدگی خوب ایجاد شده در سنگهای مستقل، اجازه کاربرد این نوع پوششها را روی شیبهای تندتر از شیب مورد نیاز برای نوع ریزشی می‌دهد.
- با استفاده از این‌گونه پوششها می‌توان ضخامت پوشش را تا میزان ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر نسبت به نوع ریزشی کاهش داد، این خود موجب استفاده از مصالح سنگی کمتر می‌شود.

معایب استفاده از این روش به قرار زیر است:

- برای اجرا، به استفاده از نیروی کارگری زیاد نیاز می‌باشد که در نتیجه باعث افزایش هزینه اجرای طرح می‌شود.
- قفل شدگی سنگها در این‌گونه پوششها، باعث کاهش انعطاف‌پذیری آن شده و همان‌گونه که در بالا توضیح داده شد، تغییر جزیی در مصالح و شکل کناره رودخانه می‌تواند موجب انتقال لایه یکپارچه و منظم پوشش سنگچین شود.
- مدت زمان اجرای پوشش سنگچین بیشتر از حالت ریزشی است.
- با توجه به ماهیت ساخت، هزینه تعمیر این‌گونه پوششها بیشتر از پوشش سنگی ریزشی می باشد.

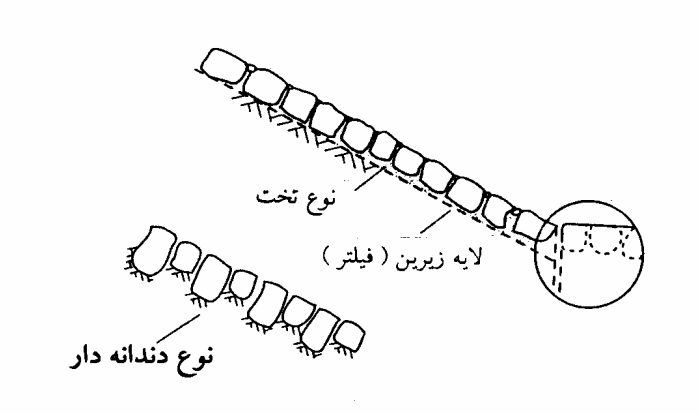
کاربرد موفق این پوششها، مشروط به کنترل دقیق روی کیفیت مواد می‌باشد. کیفیت مصالح شامل شکل، وزن مخصوص، دانه‌بندی و دوام آنها است.

در بسیاری از مواقع، مصالح موجود متشکل از مخلوطی مناسب از اندازه‌ها نمی‌باشد. برای رفع این معضل، عملیات شکستن بعد از جای‌گذاری راه چاره مناسبی خواهد بود.

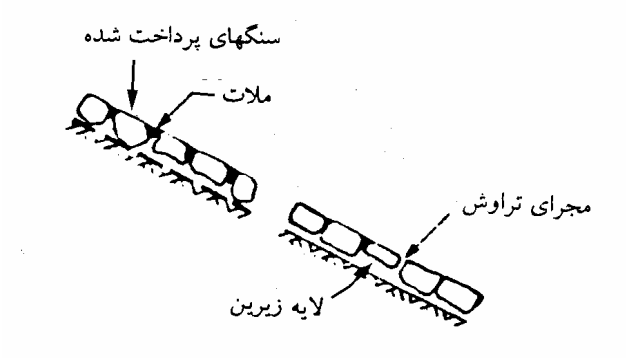
کافی نبودن دوام مصالح، معمولاً باعث شکست این‌گونه پوششها می‌شود. سنگهایی که شامل درصد بالایی از شیل بوده یا دیگر مصالحی که شامل لایه‌های ضعیف می‌باشند، بازدهی خوبی ندارند. همچنین مصالحی که تحت تأثیر عوامل شیمیایی قرار می گیرند، برای استفاده در این پوششها مناسب نمی‌باشند[۲۱].

۳-۴-۱-۳ سنگچین با ملات

پوشش به منظور افزایش پایداری، یا در مواردی که سنگ به مقدار کافی برای پوشش سنگی وجود ندارد، پوشش حفاظتی به صورت سنگ با ملات سیمان یا قیر ساخته می‌شود که در قیاس با پوشش سنگی در این حالت سنگهای با اندازه کوچکتر نیز قابل استفاده است. این روش، نسبت به پوشش سنگی نفوذپذیری و انعطاف‌پذیری کمتری دارد (شکل ۳-۵) [۱۹].



شکل ۳-۴- پوشش سنگی دستچین(سنگچین)



شکل ۳-۵- سنگچین با ملات

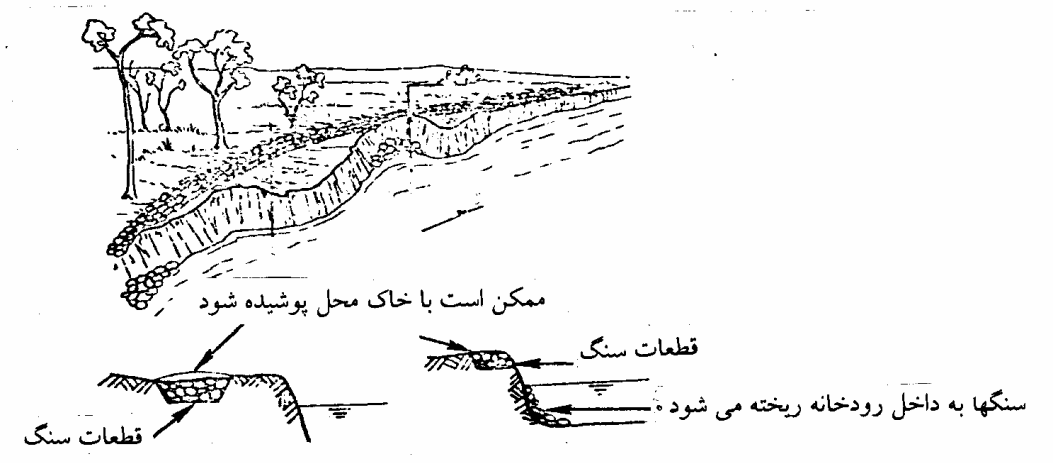
در برخی موارد، ملات روی سنگریز یا سنگچین آماده ریخته می‌شود به شکلی که خلل و فرج بین سنگها را پر کند. عمق نفوذ ملات می‌تواند از حالت سطحی تا نفوذ کامل در لایه سنگی متغیر باشد. در صورتی‌که ملات بیش از ۷۰٪ سطح پوشش را پر کرده باشد، این نوع پوشش تقریباً ناتراوا خواهد بود. به همین دلیل، در صورت وجود فشار آب منفذی، پایداری آن به خطر می‌افتد؛ در چنین مواردی باید با به‌کارگیری حفره های باز، فشار آب منفذی را کاهش داد.

کاربرد ملات، معمولاً در اطراف تبدیلها و جاهایی که تلاطم زیاد است استحکام بیشتری به سنگها می‌بخشد و علاوه بر قابلیت اعتماد بیشتر، ظاهر زیباتری نیز خواهد داشت[۳۱].

به‌کارگیری ملات آسفالتی، نسبت به ملات سیمان انعطاف‌پذیری بیشتری به پوشش می‌دهد[۲۳].

۳-۴-۱-۴ پوشش سنگریسه[1]

پوشش سنگریسه (شکل ۳-۶)، متشکل از نواری از مصالح سنگی است که در امتداد پایین یا بالای کناره فرسایشی رودخانه تعبیه می‌شود. سنگها ممکن است روی سطح زمین بوده و یا بخشی یا تمام آن در شیاری از زمین مدفون گردد. ساز و کار تثبیت توسط اینگونه پوششها بدینصورت است که زمانی که پنجه یا کناره در معرض فرسایش و تخریب قرار می‌گیرد، سنگهای مستقر در پایین یا بالای کناره، به سمت پنجه یا پایین کناره سرازیر شده و کناره را در مقابل فرسایش بیشتر محافظت می‌نماید [۳۰].



شکل ۳-۶- پوشش سنگریسه‌ای

1 - Windrow revetment

۳-۴-۲ پوشش تور سنگی[1]

تورسنگ یا گابیون، پوششی متشکل از سبدهای سیمی مکعب مستطیل یا استوانه‌ای است که با سنگ‌پر می‌شوند. به این‌گونه پوششها، با پرکردن سبدهای از قبل تهیه شده توسط سنگ و قفل نمودن آنها[2] شکل داده می‌شود. این پوششها معمولاً دارای سه شکل اساسی زیر می‌باشند:

الف - تورسنگ تشکی[3]

در این طرح واحدهای تورسنگی مستقل به‌صورت جعبه‌هایی با ضخامت کم و طول زیاد در کنار هم قرار می‌گیرند تا یک تشک انعطاف‌پذیر روی کف یا کناره بستر رودخانه‌ها و سطوح شیبدار دیگر مانند خاکریزهای سیلبند را بدهد. سبدهای گابیونی تشکیل دهنده تشک، دارای بُعد عمق (۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر) به مراتب کمتر از عرض (۲ تا ۳ متر) و طول (۳ تا ۶ متر) آنها می‌باشد (شکل ۳-۷).

ب - تور سنگ جعبه‌ای یا بلوکی[4]

تورسنگهای بلوکی، دارای سبدهای با عمقی تقریباً معادل با طول و عرض آن می‌باشد. این‌گونه پوششها، معمولاً به‌صورت مستطیلی یا ذوزنقه‌ای است، و اغلب در یک الگوی پلکانی، شکل داده می‌شود (شکل ۳-۷).

ج- تورسنگ کیسه‌ای[5]

تورسنگ کیسه‌ای یا لوله‌ای از توریهای استوانه‌ای شکل تشکیل شده و با قطعات اجسام سنگین مانند سنگ، قطعات بتنی و آجر پر می‌شود. انعطاف پذیری، از خصوصیات لازم برای توریهای آن است تا بر روی سطوح ناهموار قابل تطبیق باشد. جنس توریها از سیمهای گالوانیزه یا نایلون می‌باشد. از این نوع تور سنگ، به‌ویژه برای حفاظت پنجه شیبها با قرار دادن کیسه در امتداد کناره و در راستای جریان رودخانه استفاده می‌شود. کیسه‌های توری ابتدا با سنگ و دیگر قطعات پر شده و سپس به‌وسیله جرثقیل در محل مناسب آن در خشکی یا در زیر سطح آب کارگذاشته می‌شود (شکل ۳-۷).

پوششهای تورسنگی اعم از تورسنگهای تشکی، جعبه‌ای و کیسه‌ای، به طور کلی دارای انعطاف‌پذیری[6] محدود می‌باشند. این پوششها در مقابل لغزش سطح کناره، انعطاف مناسبی از خود نشان داده و در لغزشهای شدید زمانی مقاومت می‌کند که تنشها در سبدها از مقاومت کششی سیمها تجاوز ننماید .

عموماً از این نوع سازه‌ها در جاهایی استفاده می‌شود که اندازه سنگهای موجود و قابل دسترسی، در حد استفاده در پوششهای سنگی نباشد.

---

1 - Wire-enclosed rock , gabion
2 - Anchoring
3 - Gabion -mattresses
4 - Block gabion
5 - Sack gabion
6 - Flexibility

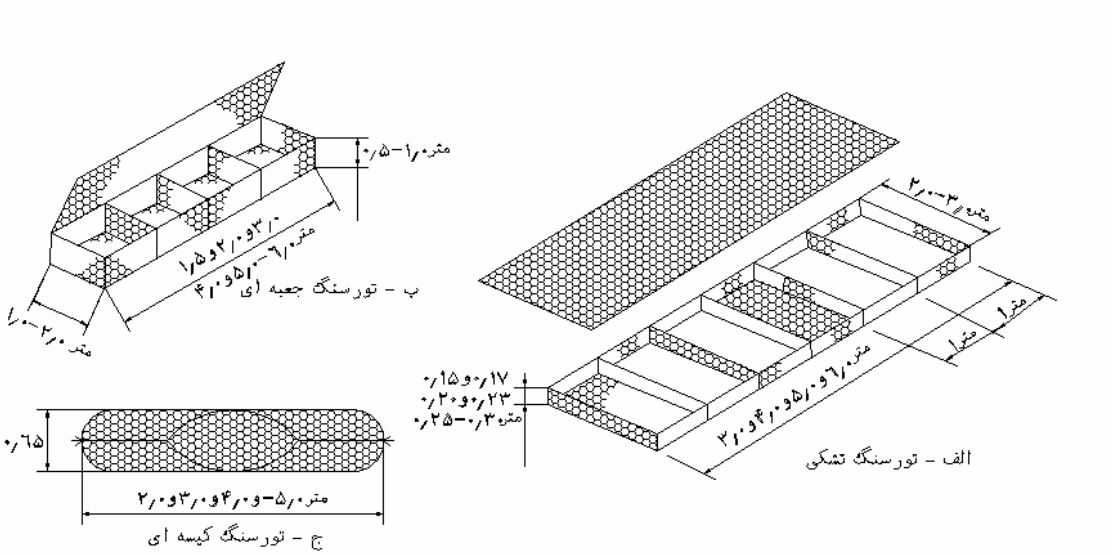
عمده مزایای پوشش گابیون به قرار زیر است:

- انعطاف‌پذیری،
- امکان استفاده از سنگهای با تراکم کمتر، کیفیت پایین‌تر و اندازه کوچک‌تر،و
- امکان استقرار تورسنگ در زیر سطح آب بدون اینکه ضرورتی برای انسداد یا انحراف جریان باشد.
- از معایب آن می‌توان موارد زیر را برشمرد:
- آسیب‌پذیری سبدهای توری در مقابل خوردگی[1] و سایش[2] و در نتیجه پارگی توری،
- هزینه زیاد نیروی انسانی کارگری برای پرکردن سبدها،
- هزینه زیاد تعمیرات و پیچیدگی بیشتر تعمیرات نسبت به پوشش سنگی،و
- انعطاف‌پذیری کمتر نسبت به پوشش سنگی.

از پوشش گابیونی علاوه بر حفاظت سطح کناره‌ها، برای حفاظت پنجه کناره نیز استفاده می‌شود.

معمول‌ترین نوع تخریب این‌گونه پوششها، پارگی سبدها است. وقتی سیمها پاره می‌شوند، سنگهای درون سبدها توسط جریان آب شسته و برده می‌شوند. جهت اجتناب از این‌گونه موارد، پیشنهاد می‌شود که روکشهای تورسنگی برای نواحی تحتانی کناره در محیطهایی که تحت تأثیر سایش و خوردگی بیشتری می‌باشند مورد استفاده قرار نگیرد.

نوع دیگر تخریب در مواردی مشاهده شده است که سبدهای تورسنگی در سطوح پرشیب و با سرعت جریان زیاد بکار برده می‌شوند. در چنین شرایطی، سنگهای درون سبدها به سمت پایین‌دست حرکت کرده و باعث تغیر شکل سبدها می‌گردند.



شکل ۳-۷- انواع مختلف تورسنگ

1 - Corrosion
2 - Abrasion

رشد پوشش گیاهی به‌طور طبیعی در بین سنگها و سبدهای تورسنگی علیرغم آنکه به نظر می‌رسد به‌علت رسوب‌گذاری باید بخوبی انجام شود، ولی تجربه نشان داده است که در بسیاری اوقات، رسوب کافی در بین سنگها وجود نداشته و بنابراین امکان رشد پوشش گیاهی ناچیز است. در محلهایی که رسوب‌گذاری مواد ریزدانه بخوبی انجام می‌شود مثلاً در کنار جزایر رسوبی اگر تورسنگی اجرا شود در این نواحی امکان رویش و رشد پوشش سبز زیاد می باشد . با این حال در نواحی که سبدهای تورسنگی مکرراً توسط جریان مستغرق می‌شود، رشد پوشش قابل ملاحظه نخواهد بود[۲۱].

۳-۴-۳ پوششهای بتنی

یکی از مؤثرترین روشها برای ساخت پوششها، استفاده از بتن است. بتن، به‌عنوان پوشش در بستر و کناره ها، علاوه بر مقاومت و دوام خوب، در شرایط محیطی و شیمیایی مختلف پایدار می‌ماند و به مسیر شکل هندسی منظمی می‌بخشد [۱۹]. با وجود این، هزینه اولیه نسبتاً سنگین ومسایل زیست‌محیطی، کاربرد این نوع پوشش را محدود می‌کند[۳۱].

پوششهای بتنی، به دو نوع پیش ساخته و درجا تقسیم می‌شوند. پوشش درجا، عمدتاً به‌صورت یکپارچه و دال مانند روی سطح مورد نظر اجرا می‌شود ولی پوشش پیش‌ساخته به دو صورت بلوکی و یکپارچه (دال) بکار می رود. در ادامه، انواع مختلف پوشش بتنی توضیح داده شده است.

۳-۴-۳-۱ پوشش بتنی درجا

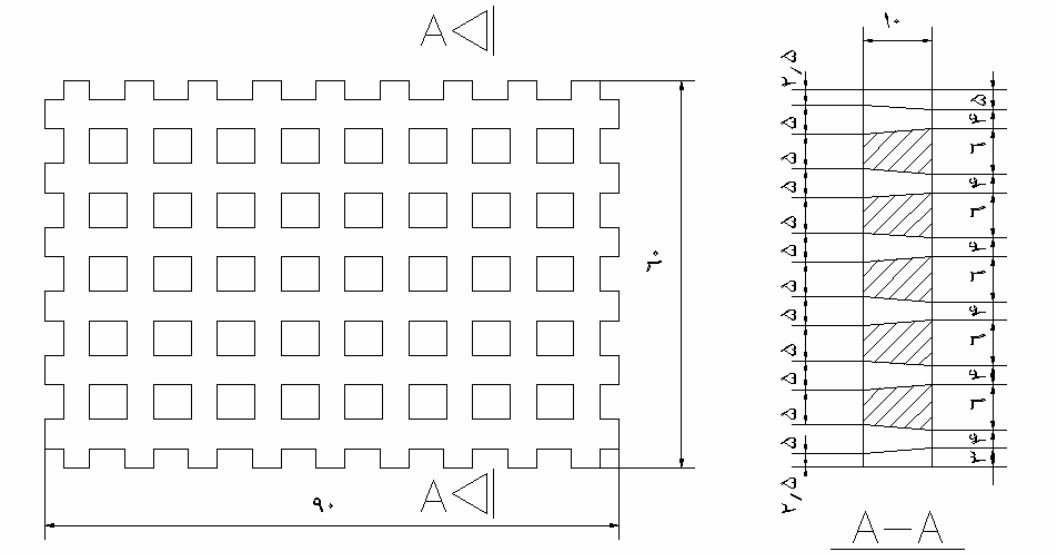
این نوع پوشش بسته به نیازهای طرح، به‌صورت توپر و مشبک ساخته می‌شود. برای جلوگیری از ترک در بتن، باید از شبکه میلگردهای فولادی استفاده شود. در حالتی‌که بتن به صورت مشبک به‌کار رود، باید از قالبهای پلاستیکی استفاده کرد که بعد از گرفتن بتن، این قالبها سوزانده شده و جای آن با خاک و گیاه پر می‌گردد. این روش، از نظر زیست‌محیطی و زیبایی نیز مورد توجه است. پوشش بتنی درجا، جزء پوششهای صُلب به‌حساب می آید. تصویری از این نوع پوشش، در شکل (۳-۸) نشان داده شده است [۱۹].

شکل ۳-۸- اجرای پوشش حاشیه رودخانه با قالب‌بندی پلاستیکی (بتن مشبک)

۳-۴-۳-۲ پوشش بتنی پیش ساخته

تفاوت اصلی قطعات دال پیش‌ساخته بتن مسلح با بلوکهای بتنی، در این است که نسبت ضخامت به سطح این قطعات بسیار کمتر از بلوکهای بتنی است. علاوه بر این، قطعات دال پیش‌ساخته بتنی اغلب شکل هندسی مشخص و ساده‌ای دارند (مثلاً مستطیلی) در صورتی که بلوکهای بتنی برای قفل و بست بهتر، دارای شکلهای نامنظمی می‌باشند. پوششهای دال بتنی پیش ساخته نیز به هر دو صورت توپر و مشبک ساخته می‌شوند (شکل ۳-۹)[۱۹] .

با توجه به اینکه در این روش، اجزای پوشش، به یکدیگر اتصال ندارند، این نوع پوشش در جاهای که سرعت و تلاطم جریان پایین است بکار می‌رود. از معایب این روش این است که در صورت خرابی یک قسمت از پوشش، کل آن به خطر می‌افتد. برای کاهش فشار آب منفذی در زیر پوشش، از حفره های باز[1] (بارباکان) استفاده می‌شود. اگر بتن بصورت مشبک ساخته شود از این نظر نیز بهتر است [۳۱].



شکل ۳-۹- پوشش حفاظتی بابتن پیش ساخته مشبک (ابعاد به سانتی‌متر)

۳-۴-۳-۳ بلوکهای پیش ساخته بتنی[2]

بلوکهای پیش ساخته بتنی، از روشهای جدید حفاظت کناره‌ها می‌باشد. بلوکهای پیش‌ساخته که سامانه پوشش را تشکیل می‌دهند، یا در کنار هم جفت می‌شوند و یا به شکلی به هم متصل می‌گردند، به‌گونه‌ای که یک سطح پیوسته ایجاد می‌نمایند. بلوکهای بتنی از نظر شکل و روش اتصال متفاوتند ولی در بیشتر موارد خصوصیات کلی مشابهی دارند. این خصوصیات عبارتند از: انعطاف‌پذیری، نصب سریع و فراهم شدن زمینه مناسب برای رویش و رشد پوشش سبزینه‌ای. طبیعت نفوذپذیری این‌گونه پوششها، اجازه زهکشی آزاد مصالح کناره را فراهم می آورد. با وجود انعطاف‌پذیری محدود، تشکهای بتنی در مقابل تغییرات جزیی هندسه کناره، مقاومت خوبی نشان می‌دهد.

---

1 - Weephole
2 - Pre- cast concrete block

عمده‌ترین نقطه ضعف این‌گونه پوششها، انعطاف‌پذیری محدود و همچنین هزینه بالای آنهاست. به همین دلیل کاربرد آنها برای رودخانه‌های بزرگ، آبراههای کشتیرانی و اماکنی که سازه‌های با ارزشی باید حفاظت گردند، محدود بوده و یا در مواضعی است که امکان به‌کارگیری پوشش سنگی فراهم نیست[۲۱] .

بلوکهای پیش ساخته بر حسب چگونگی اتصال بلوکهای بتنی به یکدیگر، به ۵ نوع زیرتقسیم می‌شوند: [۳۱]

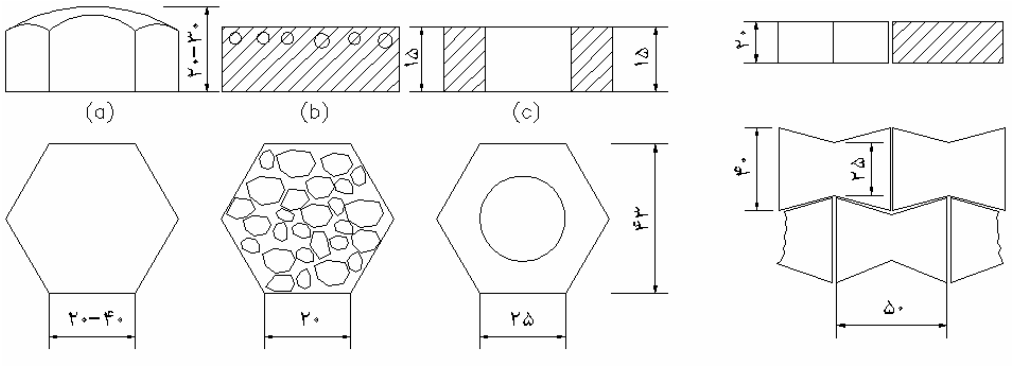
- بلوکهای پیش ساخته با کارگذاری سست و منفرد،
- بلوکها و دالهای پیش ساخته با کارگذاری متراکم و منفرد[1]،
- بلوکهای پیش ساخته در هم قفل‌شده[2]،
- بلوکهای پیش ساخته متصل کابلی[3]،و
- بلوکهای متصل به ژئوتکستایل[4] [۳۱].

مشخصات هر کدام از بلوکهای فوق به ترتیب در زیر اشاره شده است:

الف- بلوکهای پیش ساخته بتنی با کارگذاری سست و منفرد

در مواقع و مواضعی که توجیه اقتصادی وجود داشته باشد، بلوکهای پیش‌ساخته بجای سنگ بکار می‌روند. در بعضی مناطق مصالح سنگی در دسترس نبوده و تأمین آنها از مسافتهای دور بسیار پر هزینه خواهد بود و در عین حال تأمین شن و ماسه و سیمان در منطقه طرح به آسانی و با هزینه کمتر امکان‌پذیر است و بنابراین استفاده از بلوکهای پیش‌ساخته بتنی برای اهداف حفاظتی مقرون بصرفه خواهد بود. اینگونه پوششها نظیر پوشش سنگی به‌صورت ریزشی کارگذاری و اجرا می‌گردند. بلوکهای پیش ساخته به شکلهای هندسی فضایی مختلفی ساخته می‌شوند (شکل ۳-۱۰).

از آنجایی که بلوکهای آزاد در معرض سرقت قرار دارند، باید به اندازه کافی سنگین ساخته شوند تا به‌راحتی قابل حمل و نقل نباشند [۳۱].



شکل ۳-۱۰- بلوکهای پیش‌ساخته، کارگذاری سست و منفرد (ابعاد به سانتی‌متر)

1 - Placed blocks
2 - Interlocking blocks
3 - Cable - connected blocks
4 - Geotextile - bounded blocks

ب- بلوکهای پیش‌ساخته بتنی با کارگذاری متراکم و منفرد

این‌گونه پوششها پایدارتر از پوششهای بتنی نوع (الف) می‌باشند. هرچند بدلیل انعطاف‌پذیری و نفوذپذیری کمتر، بیشتر در معرض خرابیهای ناشی از نیروی زیر فشار[1] قرار دارند، اما باید دارای زهکشی زیرین مناسبی بوده و یا مستقیماً روی لایه‌های همگن و غیر متورم رسی قرار بگیرند. جاگذاری بلوکها معمولاً توسط دست انجام می‌گیرد. به منظور تحکیم پایداری بلوکهای بتنی، شکافهای بین بلوکها را می‌توان با مصالح درشت‌دانه، ملات ماسه سیمان یا قیر پر نمود.

دالهای بتنی و یا بتن مسلح به صورت پیش‌ساخته بوده و یا در محل ساخته می‌شوند[2]. در هر صورت، مقاومت و دوام قطعات از ملاحظات مهم طراحی است. هزینه‌های اولیه نسبتاً بالای اولیه آنها و همچنین ایجاد معضلات زیست محیطی، از محدودیتهای اجرای پوشش بلوکی می‌باشد. گودز و ناربوت[3] توصیه نموده‌اندکه اندازه‌های دالهای بتنی مسلح ۰/۱۵ × ۳×۳ متر، ۳×۲/۵×۰/۱۵ متر، ۲/۵×۲/۵×۰/۱۵ متر و ۲/۵×۲×۰/۱۵ متر (برای استفاده روی شیبهای ۳۲ :۱) باشد. در بعضی شرایط، ضخامت دالها تا ۰/۲۵ متر نیز قابل افزایش است. حداکثر فاصله بین درزهای انقباض بین دالهای درجا ساخته شده، ۴۰ متر در طول ساحل رودخانه و۲۰ متر در امتداد شیب می‌باشد.

دالهای بتنی، معمولاً باید همراه با یک لایه نفوذپذیر در زیر و حفره‌هایی باز درون آن[4] ساخته شود. در این ارتباط، دالهای سلولی[5]، مزایای زیادی دارند. در پوشش با دالهای سلولی، دالها به صورت عمودی روی یک فرش ژئوسینتیکی قرار گرفته و توسط سیمهایی با ضخامت ۳ تا ۵ میلیمتر به هم وصل می‌شوند. سلولها جهت ایجاد پوشش سبزینه‌ای نهایتاً با خاکهای ارگانیک پر می‌شوند[۳۱].

ج - بلوکهای پیش‌ساخته گیردار

بسیاری از سامانه‌های بلوکی ثبت و استاندارد شده، به صورت گیردار یا درهم قفل شده می‌باشند. گیردار شدن بلوکها باعث تأمین پایداری بیشتر از طریق تأثیر بخشی از وزن بلوکهای مجاور می‌باشد. از معروف‌ترین انواع بلوکهای پیش‌ساخته گیردار، دالهای مستطیلی با اتصالات رورانده[6] و درزهای اتصال کام و زبانه[7] (شکل۳-۱۱) می‌باشند. غیر از این بلوکهای مسطح، که یک لایه مسلح غیر قابل نفوذ را تشکیل می‌دهند، بلوکهای سلولی وجود دارند که به شکل خاصی به یکدیگر قفل می‌شوند (شکل ۳-۱۲).

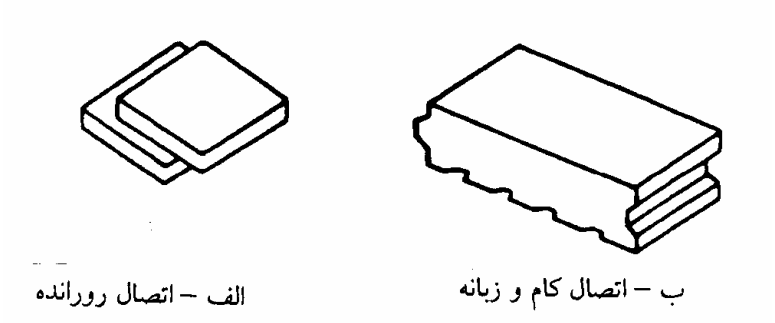
در این روشها بلوکها بوسیله دست یا به کمک دستگاههای مکانیکی جاگذاری می‌شوند [۳۱].

1 - Uplift pressure
2 - Cast in - situ
3 - Godes & Narbut,1989
4 - Weephole
5 - Cellular
6 - Ship lap
7 - Tongue and groove

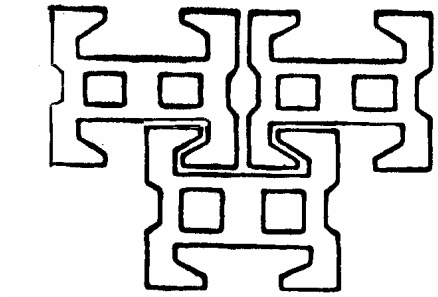
د – بلوکهای متصل شده با کابل

در این سازه بلوکها با کابل به یکدیگر متصل می‌شوند. اینگونه پوششها دارای مزایای زیر می‌باشند:

- انعطاف‌پذیری و پایداری بیشتر،
- پایین بودن ریسک شکست موضعی،
- نبود معضل سرقت،
- کارگذاری راحت و آسان در زیر آب، و
- کارگذاری سریع.



شکل ۳-۱۱- بلوکهای در هم قفل شده با اتصال رورانده و کام و زبانه



شکل ۳-۱۲- بلوکهای سلولی درهم قفل شده

لازم به یادآوری است در این مورد سامانه‌های بلوکی کابلی متعددی طراحی شده که در زیر، دو نمونه از چنین سامانه‌هایی با توجه به شکل ۳-۱۳ آورده شده است. یکی از این سامانه‌ها ویلا[1] نامیده می‌شود که در جهت عمود بر کابلها از انعطاف خوبی برخوردار است. نام سامانه دیگر، ترافیکس[2] است که در دو جهت دارای انعطاف می‌باشد. به رغم انعطاف این پوششها، استفاده از آنها برای کناره‌های واقع در قوس رودخانه توصیه نمی‌شود. کابلهای اتصالی ممکن است از جنس آهن گالوانیزه، مس یا مواد

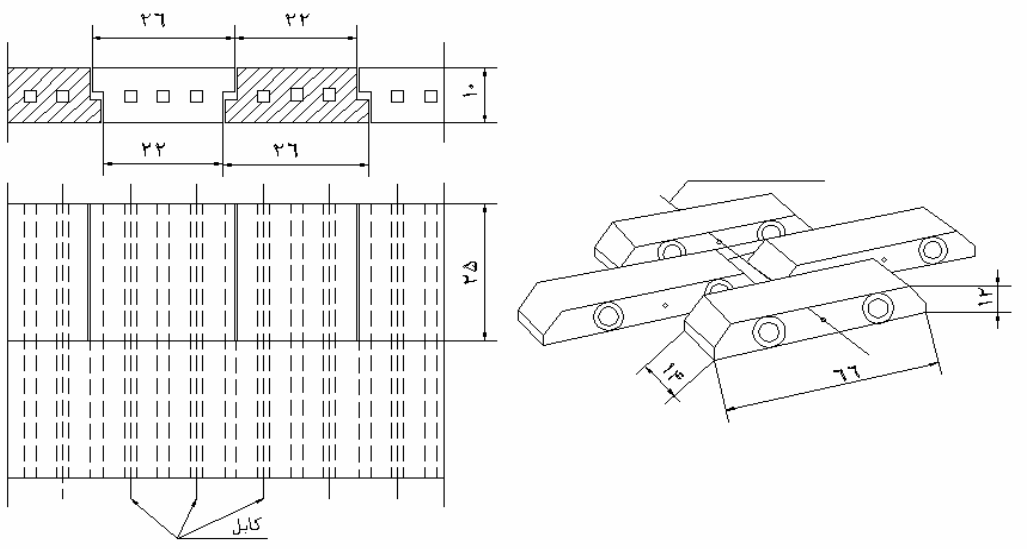
1 - Villa
2 - Terrafix

مصنوعی مانند پلی پروپلین باشند. کابل پروپیلن ارزانتر و نسبت به آهن در معرض خوردگی کمتری بوده ولی در معرض سایش بیشتری قرار دارند.

برای مهار نمودن بلوکها از سامانه‌های مختلف مهاری استفاده می‌شود. در راهنمای پیانک[1] چند نوع سامانه مهاری پیشنهاد شده است[۳۱]:

- تیرهای آهنی یا تیرهای چوبی،
- تزریق در حفره‌هایی که قبلاً حفر شده‌اند،
- صفحات مارپیچی یا مهاریهای پیچی[2]، و
- مهاریهای چکشی[3].

مهاری باید تا زیرسطح گسیختگی خاک شیروانی ادامه یابد. استفاده از این‌گونه پوششها برای کناره‌های با شیب حداکثر ۱:۱ موفقیت آمیز بوده است [۳۱].



سامانه ویلا　　سامانه ترافیکس

شکل ۳-۱۳- بلوکهای متصل شده با کابل با سامانه‌های ویلا و ترافیکس

ه - بلوکهای متصل به ژئوتکستایل

بلوکهای متصل به ژئوتکستایل تشکیل یک سیستم یکپارچه انعطاف‌پذیر می‌دهند که دارای امتیازاتی مشابه بلوکهای کابلی می‌باشند. در اینگونه پوششها، هیچ قفل شدگی در بین بلوکها وجود ندارد . در چنین سامانه‌هایی ، بلوکها بوسیله محلهایی تعبیه

1 - PIANC
2 Corkscrew anchors
3 - Malleable anchors

شده در ژئوتکستایل یا توسط میخهای مخصوص و یا مواد چسبنده به ژئوتکستایل متصل می‌شوند. ژئوتکستایل ترجیحاً از جنس مصنوعات بافته نشده می‌باشد که هم باید به عنوان اتصال دهنده بلوکها دارای مقاومت کافی باشد و هم به صورت یک فیلتر محافظ عمل نماید.

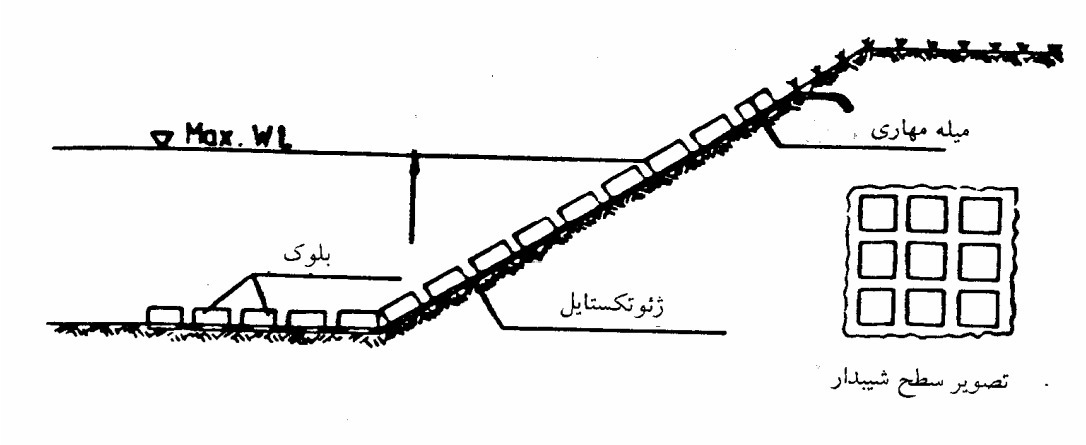
از اینگونه سازه‌ها، بخوبی می‌توان در زیر آب استفاده نمود. نمونه‌ای از این‌گونه پوششها در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است [۳۱].

۳-۴-۴ پوشش آسفالتی

با توجه به خاصیت چسبندگی و لزجت قیر، این ماده برای بکارگیری در پوشش بسیار مناسب است. قیر به‌راحتی اطراف سنگ دانه‌ها را پر کرده و پایداری و استحکام آنها را افزایش می‌دهد، ضمن اینکه انعطاف‌پذیری را حفظ می‌کند. از نظر زیست محیطی نیز، با توجه به نامحلول بودن قیر در آب، مشکل خاصی وجود ندارد، ولی از نظر چشم‌انداز و زیبایی گزینه مناسبی نیست [۱۹].

نکته دیگری که نباید از نظر دور داشت این است که به خاطر دمای بالای مخلوط آسفالتی در زمان اجرا، پوشش گیاهی و جانداران کوچک در محل پوشش از بین می‌روند. اگرچه استفاده از آسفالت در پوششهای رودخانه‌ای پدیده جدیدی نیست، ولی یک امر تخصصی است که به ماشین‌آلات خاص خود برای تولید آسفالت، حمل و ریختن مخلوط داغ و تسطیح آن نیاز دارد [۳۱].

کاربرد قیر در پوششهای رودخانه‌ای به روشهای مختلفی انجام می‌شود. برخی از این روشها نفوذپذیر و برخی دیگر نفوذناپذیر می‌باشند. پوششهای نفوذپذیر شامل آسفالت ماسه‌ای و آسفالت سنگی است در حالی‌که پوششهای نفوذناپذیر شامل آسفالت ماستیک، بتن آسفالتی و آسفالت سنگی متراکم می باشد.



شکل ۳-۱۴- بلوکهای محدود به ژئوتکستایل

۳-۴-۴-۱ آسفالت ماسه‌ای[1]

این مخلوط، شامل از ماسه وقیر (۳ تا ۵ درصد وزنی مخلوط) است که میزان تخلخل آن تقریباً معادل تخلخل ماسه خالص می باشد و قیر فقط برای ایجاد چسبندگی بین دانه‌های ماسه به‌کار می‌رود. مخلوط آسفالت ماسه‌ای هم به عنوان پوشش حفاظتی و هم به عنوان لایه فیلتر زیرین قابل استفاده می‌باشد. این نوع پوشش در شرایطی که سرعت جریان زیر ۲ متر بر ثانیه باشد گزینه مناسبی خواهد بود. ولی باید توجه داشت که این نوع پوشش، به مراقبت و نگهداری زیادی نیاز داشته و ممکن است در اثر از دست دادن ریز دانه‌ها در طول زمان دچارخرابی شود[۱۹].

۳-۴-۴-۲ آسفالت سنگی[2]

این مخلوط، شامل ۸۰٪ وزنی سنگ و ۲۰٪ وزنی ماستیک است که خود مخلوطی از ۶۰ تا ۷۰ درصد ماسه، ۲۰٪ قیر و ۲۰٪ فیلر می‌باشد. خلل و فرج مخلوط در حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد بوده و اندازه سنگها از ۲۰ تا ۴۰ میلیمتر متغیر است. ساخت این نوع پوشش، شامل دو مرحله است: تهیه مخلوط ماستیک و اختلاط آن با سنگدانه داغ. این نوع پوشش، در سرعتهای زیاد تا ۷ متر برثانیه و امواج شدید قابل استفاده است. از ویژگیهای مثبت این نوع پوشش امکان رشد گیاهان در خلل و فرج آن است که از نظر زیبایی گزینه مناسبی می‌باشد[۱۹]. دمای مخلوط در هنگام اجرا در حدود ۱۱۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد می باشد و بهتر است که برای متراکم کردن لایه آسفالت از یک غلتک سبک استفاده شود [۲].

۳-۴-۴-۳ آسفالت ماستیک[3]

این نوع آسفالت، از ترکیب ۶۰ تا ۷۰ درصد ماسه، ۲۰ درصد قیر و ۲۰ درصد فیلر تشکیل می‌شود که بسیار انعطاف پذیر می‌باشد. این نوع پوشش، برای کف و کناره رودخانه مناسب است؛ در این مخلوط در صورت اضافه‌کردن سنگدانه، میزان ماستیک کاهش یافته و از روانی آن کاسته می‌شود[۱۹].

۳-۴-۴-۴ بتن آسفالتی[4]

این مخلوط شامل مخلوطی از سنگدانه یا شن، ماسه، فیلر و قیر بوده و به عنوان یک پوشش نفوذناپذیر در حفاظت سواحل رودخانه کاربرد دارد. این پوشش نیز مانند آسفالت سنگی، باید در محیط خشک اجرا شود . در جاهایی که سرعت جریان بالایی وجود دارد، این نوع پوشش از نظر پایداری مناسب است ولی به خاطر نفوذناپذیری آن، باید در مورد فشار آب منفذی دقت کافی شود [۱۹] و [۲].

1 - Sand asphalt
2 - Open stone asphalt
3 - Mastic asphalt
4 - Asphalt concrete

۳-۴-۵ آسفالت سنگی متراکم[1]

این نوع پوشش، از ترکیب ۵۰ تا ۷۰ درصد سنگدانه با ماستیک ساخته می شود . این پوشش به صورت مخلوطی داغ در بالا و همچنین در زیرسطح آب ریخته شده و به تدریج در اثر وزن خود متراکم می‌گردد[۲].

آسفالت سنگی متراکم برای سرعت جریانهای نسبتاً بالا تا ۵ متر بر ثانیه مناسب بوده ولی در مواردی که فشار آب منفذی بالاست، باید با به‌کار گیری حفره های باز آنرا محافظت کرد [۱۹].

۳-۴-۵ روکشها[2]

روکشها دارای ضخامت کمی (در حدود ۰/۱۵ تا ۰/۳ متر) بوده و معمولاً از انعطاف‌پذیری زیادی برخوردار می‌باشند. اینگونه روکشها در یک لایه بکار برده شده و یک لایه حفاظتی از خاک کناره رودخانه را تشکیل می‌دهند. روکشهای تورسنگی معروف‌ترین و معمول‌ترین نوع آن بوده و به پوشش رنو[3] موسوم می‌باشند.

روکشهای تورسنگی روی کناره‌های با شیب ملایم‌تر از ۱:۱/۵ قرار داده می‌شوند. سیمای عمومی این‌گونه پوششها در شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است. روکشها در محل و در ناحیه خشک و یا آب کم عمق (کمتر از ۰/۵ متر) پر می‌شوند. در آبهای عمیق‌تر، روکشها باید قبل از جاگذاری توسط جراثقال یا لغزاندن روی سکوهای ساخته شده، پرگردند. پایداری و دوام این پوششها توسط تزریق آسفالت به صورت جزیی و کلی قابل افزایش می‌باشد.

سبدهای تور سنگی معمولاً از جنس آهن گالوانیزه و یامواد پلیمری ساخته می‌شوند. درخصوص سبدهای آهنی قبلاً در قسمت ۳-۴-۲ توضیحاتی داده شده است.

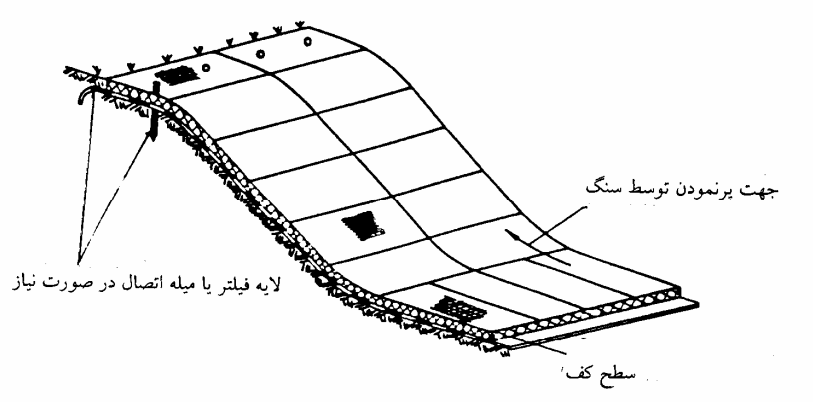
در شکل ۳-۱۶، چند نمونه از پوشش پلیمری نشان داده شده است. نوع اصلاح شده این‌گونه پوششها شامل لایه پوششی نفوذپذیری می‌باشد که در آن حفره‌هایی تعبیه شده است. این حفره‌ها با سنگ یا ملات سنگی پر می‌شوند. اتصالات بین حفره‌های مستقل، نفوذپذیر می‌باشد، بنابراین مانند یک فیلتر عمل می‌نمایند. تور سنگهای پلیمری نسبت به تور سنگهای آهنی عموماً بیشتر در معرض آسیبهای حاصل از برخورد مواد شناور در رودخانه و یخ می‌باشند[۳۱].

۳-۴-۶ لاستیکهای فرسوده

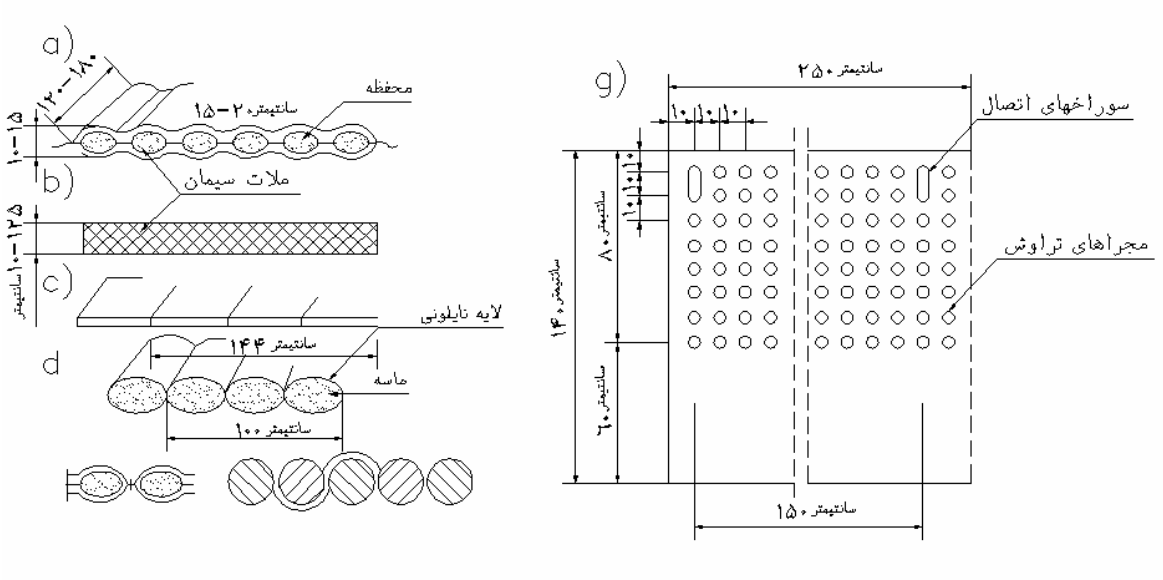
در این نوع پوشش، لاستیکهای فرسوده در مجاورت یکدیگر و بصورت مسطح روی کناره یا فیلتر قرار داده می‌شود و توسط سیم، زنجیر یا طناب از جنس مواد مصنوعی به یکدیگر اتصال یافته تا به‌صورت یک صفحه یکپارچه و گسترده عمل نماید. در بعضی از موارد، لاستیکها توسط خاک، سنگ یا بتن پر می‌شوند تا مانع از شناور شدن آنها گردد. لاستیکها توسط تیرهای چوبی به کناره دوخته می‌شوند. مدتی پس از استقرار این‌گونه پوششها، رسوبات روی لاستیکها ترسیب نموده و پوشش سبزینه‌ای مستقر می‌شود. طرح عمومی این‌گونه پوششها در شکل۳-۱۷ نشان داده شده است[۳۰].

---

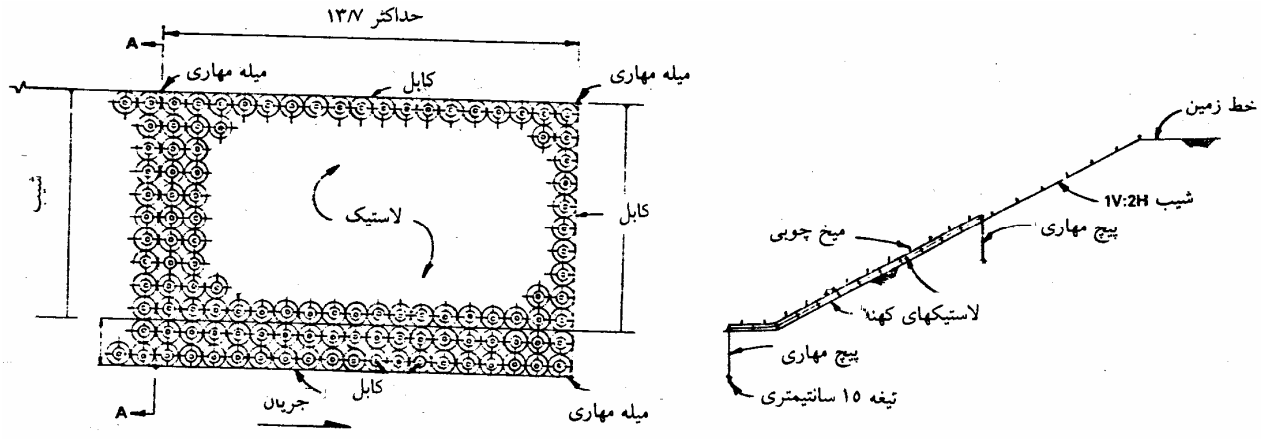
1 - Dense stone asphalt
2 - Mattresse
3 - Reno



شکل ۳-۱۵- روکش تورسنگی



شکل ۳-۱۶- روکش پلیمری



شکل ۳-۱۷- پوشش با لاستیکهای فرسوده

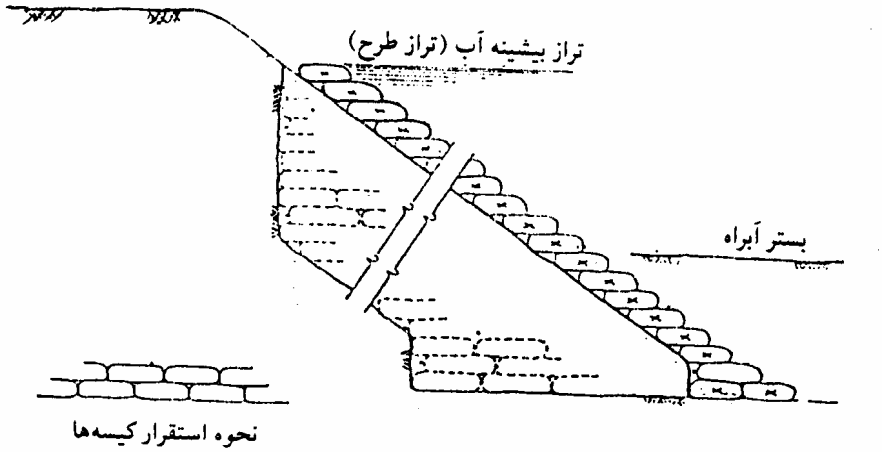
۳-۴-۷ پوشش کیسه‌ای[1]

کیسه‌های چتایی پرشده با سیمان، شن و ماسه از پوششهای معمول حفاظت کناره‌ها می‌باشد. از آنجایی که چتایی دارای داوم زیادی نمی‌باشد و خیلی زود از بین می‌رود، امروزه از کیسه‌های از جنس مواد مصنوعی بافته شده به جای چتایی استفاده می‌شود. کیسه‌های تشکیل دهنده این‌گونه پوششها مستقیماً روی کناره در یک یا دو لایه قرار داده می‌شوند. کیسه‌ها را همچنین می‌توان به‌صورت هرمی در ناحیه پنجه کناره تعبیه نمود (شکل ۳-۱۸).

امتیاز اصلی پوشش کیسه‌ای، راحتی اجرای و همچنین هزینه ساخت اولیه نسبتاً پایین آنها می‌باشد. مصالح سیلت و رس پرکننده کیسه‌ها نسبتاً انعطاف‌پذیر بوده و به سادگی قابل ترمیم و تعمیر می‌باشند. از معایب این‌گونه پوششها، می‌توان به سرقت کیسه‌ها، آسیب رسیدن به کیسه‌ها توسط مواد شناور موجود در رودخانه یا یخ و همچنین زوال‌پذیری آنها اشاره کرد.

اگر کیسه‌ها با ماسه سیمان پر شوند، معایب مذکور بر طرف می‌شود ولی هزینه ساخت افزایش یافته و ضمناً انعطاف‌پذیری نیز کاهش خواهد یافت.

با مهارهای چوبی یا آهنی میتوان کیسه ها را به کناره ها دوخت. اینگونه پوششها نباید روی کناره های با شیب تندتر از ۱:۱/۵ (حتی با وجود مهاری) مستقر گردد [۳۱]



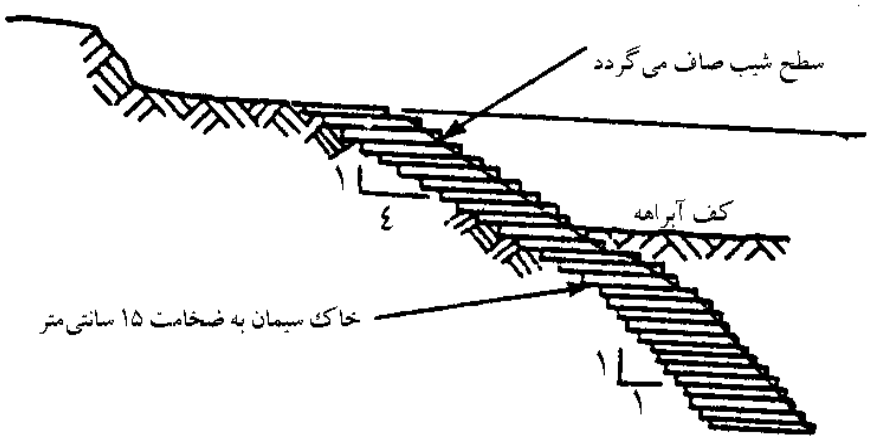
شکل ۳-۱۸- پوشش کیسه‌ای

۳-۴-۸ پوشش خاک سیمان[2]

پوشش خاک سیمان برای محافظت شیبها در سالهای اخیر، در مناطق متعددی از جهان مورد استفاده قرار گرفته است. پوشش خاک سیمان یا به صورت پوششی به ضخامت ۱۳ تا ۴۵ سانتی‌متر در سطح شیبدار قرار داده می‌شود یا به صورت پله‌های ۱۵ تا

1 - Bag revetments
2 - Soil cement revetment

۲۰ سانتی‌متری و به عرض تقریبی ۳ متر مانند آنچه در شکل ۳-۱۹ نشان داده شده، ساخته می‌شود. بر حسب اینکه شیب ساحل چقدر باشد، درنتیجه ساختن پله‌ها، سطحی به ضخامت ۴۵ تا ۷۵ سانتیمتر در جهت عمود بر شیب به‌وجود می‌آید. خاک سیمان در پله ها به وسیله اسکریپرها یا دامپرهایی که کف قیفی دارند ریخته می‌شود، سپس با گریدر یا وسایل دستی تسطیح گردیده و با چند بار عبور غلتک متراکم می‌شود. پس از متراکم نمودن چندین پله و قبل از گرفتن مخلوط، باید سطح پوشش که در تماس با جریان آب می‌باشد به صورت صاف درآورده شود. پوشش خاک سیمان که به این صورت به دست می‌آید نسبتاً صُلب بوده و برای احداث راه در بالای شیب مقاومت کافی دارد[۳۰].



شکل ۳-۱۹- پوشش خاک سیمان

۴- عوامل مؤثر بر طراحی پوششها

عوامل متعددی به‌صورت طبیعی و غیرطبیعی در مسیر طراحی طرحهای ساماندهی از جمله طرحهای حفاظت کنارهها و پوششها وجود دارد که مهندس طراح ناگزیر است این عوامل را مورد بررسی قرار داده و تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم آنها را در طراحی لحاظ نماید. طراح یک سازه پوشش، به‌طور طبیعی تابع ضوابط و معیارهای فنی در تعیین ابعاد و احجام و روش اجرا است. ولی عدم رعایت سایر ملاحظات تأثیر گذار، ممکن است سازه مورد نظر را ناکارآمد و یا دارای آثار سوء محیطی و اجتماعی نماید. شرایط اجتماعی و زیست‌محیطی، وضعیت اقلیمی حاکم بر محدوده طرح، مسائل زمین‌ساختی، چگونگی فراوانی و دسترسی به مصالح محلی، فن‌آوری ساخت و اجرا و ... از جمله نکاتی است که درطرح و اجرای هرسازه رودخانه‌ای مرتبط می‌باشد. در این بخش، اهمیت و تأثیر بعضی از عوامل بالا بر طراحی پوششها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۱ تأثیر شرایط آب و هوایی بر روی پوششها

وضعیت آب و هوایی یا شرایط اقلیمی هر منطقه، می‌تواند آثار قابل ملاحظه‌ای را بر پوششها داشته باشد؛ خصوصاً پوششهای گیاهی به‌دلیل واکنشهای سریعی که نسبت به عوامل اقلیمی بروز می‌دهند، از حساسیت بیشتری برخوردارند. مهم‌ترین عوامل شرایط آب و هوایی، شامل بارندگی و دما و باد است که چگونگی نقش آنها بر پوششهای گیاهی و سازه‌ای در زیر اشاره شده است.

۴-۱-۱ *پوششهای گیاهی*

پوششهای گیاهی یا بیولوژیک به‌عنوان یک زیست بوم[1] زنده تحت تأثیر و کنش و واکنش شرایط محیطی و مجموعه عناصر زنده و غیرزنده در داخل سامانه است. از جمله عوامل مهم و مؤثر، شرایط آب و هوایی است که در صورت خارج شدن هرکدام از عوامل اقلیمی از محدوده بهینه خود به‌موجب قوانین زیست محیطی حاکم بر جوامع زنده می‌تواند موجب وارد شدن تنش به کل مجموعه زیست‌بوم گردد. از جمله عوامل مهم آب و هوایی عبارتند از:

الف- اقلیم[2]

اقلیم که به مجموعه شرایط پایدار پدیده‌های جوی در یک ناحیه گفته می‌شود، از طریق فراهم آوردن شرایط مناسب و منطبق بر ویژگیهای پوشش گیاهی می‌تواند در استقرار و توسعه پوشش گیاهی مؤثر واقع گردد. تغییرات اقلیمی حاد و خشن، اغلب موجب تغییرات کلان در میزان منابع آب و سایر شرایط محیطی شده و از این طریق، تغییرات ساختاری و ریختاری مشخص را در پوشش گیاهی به وجود می‌آورد.

1 - Echosystem
2 - Climate

ب- بارندگی

بارندگی از طریق تأمین میزان آب جاری در رودخانه و نیز کاهش آثار خشن محیط و متعادل نمودن آب و هوا و همچنین تأمین آب مورد نیاز برای گیاهان مورد استفاده در طرح (به ویژه در محدوده خارج از کناره و بستر یا در رودخانه‌های فصلی) نقش مهمی را ایفا می‌کند. اگرچه ایجاد تغییر در میزان و نیز پراکنش بارندگی در توان ما نیست اما از طریق مطالعه رژیم بارندگی، می‌توان ضمن پی بردن به خصوصیات آن، با هماهنگ نمودن نوع گونه‌های به کار گرفته شده در پوشش گیاهی، از آن استفاده مناسب‌تری را نمود . تغییرات شدید در میزان و پراکندگی بارندگی تأثیر مشخص خود را بر پوشش گیاهی خواهد گذاشت.

ج- دما

نقش دما بعنوان عامل فعال کننده فعالیتهای بیولوژیکی، در تمام موجودات زنده و نیز گیاهان شناخته شده است. اصولاً موجودات زنده و گیاهان، بسته به سرشت خود قابلیت تحمل دامنه‌های حداقل و حداکثری از دما را دارند و طبیعی است که بهترین مقدار رشد در شرایط بهینه دما میسر است. البته نقش دما همراه با تغییرات میزان رطوبت، بهتر قابل توجیه است. بروز درجه‌های بالای دما از طریق افزایش میزان تبخیر و تعرق و نیز بروز عامل گرمازدگی، می‌تواند نقش مخربی را بازی کند؛ همچنان‌که بروز درجه‌های پایین دما از طریق ایجاد یخبندان، سرمازدگی و توقف رشد خسارت‌زا است.

د- باد

در مناطق بادخیز که در دوره زمانی قابل توجهی از سال بر سطح رودخانه‌ها وزش باد اتفاق می‌افتد، به دلیل تأثیراتی که بر ساز وکار رویش گیاهان می‌گذارد، باید در طرح پوشش گیاهی مورد توجه قرارگیرد. بادهای شدید و بادهای گرم، نقش زیادی در افزایش تبخیر و تعرق و کاهش رطوبت و در نتیجه رویش گیاه خواهد داشت. علاوه بر آن، وزش باد بر سطح آب همراه با تشکیل موجهای سطحی خواهد بود که در صورت عریض بودن رودخانه و همچنین سرعت بالای باد، ارتفاع امواج تشکیل شده قابل ملاحظه خواهد بود و باید در تعیین ترازهای پوشش و ارتفاع آزاد مد نظر قرار گیرد.

۴-۱-۲ پوششهای مصنوعی (سازه‌ای)

مهم‌ترین تأثیر وضعیت اقلیمی یک منطقه روی پوششهای حفاظتی مصنوعی، تأثیری است که در زمان برودت هوا در فصل زمستان و وقوع یخبندان در سطح رودخانه و کناره‌ها گذاشته می‌شود. در یک دوره زمانی که به‌طور متناوب دمای محیط به زیر صفر درجه و بالای آن متغیراست، این تغییرات موجب ضعیف شدن لایه سطحی خاک کناره و یا پوشش حفاظتی می‌گردد. آب نفوذی به حفره‌های خاک کناره و لایه پوشش در زمان سردشدن هوا، یخ می‌زند و فشار ناشی از تشکیل لایه یخ موجب جداسازی و تورم بخشهایی از خاک و مصالح سطح کناره گشته که با ذوب شدن دوباره یخ، خاک متورم شده دوباره نشست نموده ولی بافت آن در طی یخزدگی و آب شدن ضعیف می‌شود. لایه مذکور در اثر جریان رودخانه به‌راحتی از سطح کناره کنده شده و جابه‌جا می‌شود[۲۶]. عواملی مانند میزان آب نفوذی به حفره‌ها، نفوذپذیری کناره و پوشش و جنس ذرات خاک و مصالح پوشش بر چگونگی تأثیر شرایط آب و هوایی نقش به‌سزایی دارد.

در رودخانه‌هایی که به‌علت وضعیت آب و هوا، سطح آبشان منجمد شده و قطعات یخ در سطح آن شناور می‌شود، پوشش حفاظتی در معرض آسیب قرار می‌گیرد. حرکت قطعات یخ در سطح موجب وارد آمدن ضربات شدید و نیروهای خمشی[1] بر سازه پوشش خواهد شد. همچنین تماس یخ با سطح کناره در هنگام عبور جریان، تنش برشی جریان را افزایش شدیدی خواهد داد [۲۱]. وارد شدن نیروها و تنشهای اضافی بر سازه پوشش، احتمال تخریب و بروز خسارت را زیاد می‌کند. در ضوابط و روشهای ارائه شده برای طراحی، معمولاً معیاری برای ارزیابی و در نظر گرفتن آثار برخورد یخ ارائه نشده است. معمولاً در بیشتر حالتها، جریان یخ در اندازه‌های کمی قرار دارد، بنابراین تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر سامانه پوشش نخواهد داشت. ولی در رودخانه‌هایی که سوابق جریان یخ، حاکی از بروز مشکلات برای بستر رودخانه بوده، در طراحی ابعاد لایه پوشش سنگچین باید ضریب اطمینانی بین ۱/۲ تا ۱/۵ در نظر گرفته شود تا اندازه سنگهای مورد استفاده افزایش یابد. باید توجه داشت که انتخاب ضریب اطمینان مناسب برای در نظر گرفتن مشکلات ناشی از نیروهای فرسایشی یخ، به تجربیات طراح بستگی دارد[۲۱].

طول عمر اقدامات حفاظت بر اثر تغییرات دمای محیط به زیر و بالای صفر درجه، کاهش می‌یابد. تغییرات شدید دما ممکن است باعث تشکیل ترکهایی روی سطح پوشش حفاظتی گردد که این مسئله به نوبه خود به تضعیف سازه و کاهش مقاومت آن در برابر فرسایش منجر می شود [۳۳].

۴-۲ بررسی آثار هیدرولیکی در طراحی حفاظتهای مصنوعی

مهم‌ترین عامل تأثیرگذار روی پوششها، شرایط هیدرولیکی حاکم بر رودخانه است. ویژگیهای هیدرولیکی مشتمل بر مؤلفه‌های مختلفی است که هر کدام می‌تواند الگوی جریان را تغییر دهد. بده جریان و تغییرات آن، نوع و رژیم جریان و شدت آشفتگی، شدت انحناء و پیچشی مسیر رودخانه و احتمال ایجاد جریانهای عرضی ناشی از باد یا حرکت شناور و جریان جزرومدی و ... ازجمله عوامل هیدرولیکی است که تغییراتی اساسی بر الگوی جریان ایجاد می‌کند. تغییرات الگوی جریان بر میزان تنشهای وارده از طرف جریان، بر کناره و پوشش تأثیر می‌گذارد.

۴-۲-۱ *بازه‌های مستقیم رودخانه*

در مورد جریان در بازه‌های مستقیم و امکان تأثیر آن بر کناره یا طراحی پوشش حفاظتی نکات زیر لازم به بیان می‌باشد:

- جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی

در جریان زیر بحرانی، سرعت متوسط کمتر از $\sqrt{gy}$ (g شتاب ثقل و y عمق جریان) است و این بدان معنی است که اگر زبری طبیعی بازه‌ای از رودخانه، به‌علت اجرای لایه پوشش در آن بازه افزایش یابد، در طول فاصله‌ای از بالادست بازه حفاظت شده، ارتفاع جریان نیز اضافه خواهد شد. بسیاری از روشهای پوشش رودخانه‌ای مانند سنگچین، تورسنگی و غیره موجب افزایش زبری بستر می‌گردد. در نظر گرفتن میزان تأثیر آن در افزایش عمق جریان در بالادست، می‌تواند در طراحی ارتفاع پوشش دارای اهمیت باشد [۱۹].

در جریان فوق بحرانی، سرعت متوسط بیش از $\sqrt{gy}$ است و آشفتگی جریان در پایین‌دست در حال افزایش می‌باشد. ازدیاد شدید آشفتگی، تنش برشی و ضربات وارده از جریان به سطح کناره و لایه پوشش را توسعه داده و علت بسیاری از فرسایشهای شدید کناری و تخریب لایه حفاظت ناشی از همین مسئله می‌باشد. معمولاً روابطی که در دستور العملها برای طراحی پوششها ارائه شده، برای جریان یکنواخت، پایدار و زیر بحرانی است که این روابط برای جریانهای متغیر تدریجی نیز معتبر است. ولی در شرایط جریان فوق بحرانی و ناپایدار و متغیر سریع، باید میزان تأثیرات این عوامل روی روابط طراحی در نظر گرفته شود. البته جریان کامل فوق بحرانی به ندرت در رودخانه‌های طبیعی تشکیل می‌شود ولی در مواضعی مانند تنگ شدگی مقطع یا شیبهای تند و در کنار موانع موجود در بستر به‌طور موضعی شرایط جریان بحرانی به‌وجود آمده و معمولاً جریان، دائماً در حال گذر بین زیر بحرانی و فوق بحرانی است. در این حالت، جریان دارای اغتشاشهای سطحی و آشفتگی زیاد خواهد بود [۲۱] .

- اغتشاش و آشفتگی جریان

از نظر میزان آشفتگی در جریان، می‌توان آبراهه‌ها را به سطح آشفتگی عادی و آشفتگی شدید تقسیم کرد. سطح آشفتگی عادی در بازه‌های مستقیم و خمهای ملایم مشاهده می‌شود در حالی‌که سطح آشفتگی شدید در موقعیتهایی مانند قوسهای تند و اطراف پایه‌های پل و در پرش هیدرولیکی دیده می‌شود. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، میزان آشفتگی می‌تواند آثار متفاوتی بر لایه پوشش داشته باشد[۱۹].

- بده جریان

بده جریان، مهم‌ترین عامل تعیین مشخصات پوشش است. بده جریان، تعیین کننده سرعت و عمق آب در رودخانه‌هاست که به‌طور معمول، در روابط ارائه شده برای طراحی پوششها از مؤلفه‌های اصلی به حساب می‌آید. معمولاً بدترین شرایط سازه‌های پوشش، در زمان بده‌های حداکثر و سیلابهاست که عامل اصلی تخریب و فرسایش می‌باشد. برای طراحی پوششهای سنگی و سایر روشهای پوشش با توجه به موقعیت و اهمیت منطقه مورد نظر، معمولاً سیلاب با دوره برگشت ۱۰ تا ۵۰ ساله را در نظر می‌گیرند. انتخاب بده جریان به میزان کمتر از حد۱۰ تا ۵۰ ساله ممکن است شرایط ناهنجاری از نظر هیدرولیکی ایجاد نماید[۲۱].

- تنش برشی

تنش برشی در حقیقت نیروهایی است که بر بستر رودخانه، دانه‌های خاک و سطح پوشش حفاظتی بر اثر تلفیق نیروهای رانشی و بالابر (F_D و F_L در شکل ۱-۱) وارد می‌شود . توزیع تنش برشی در مقاطع رودخانه‌ها یکنواخت نیست و فقط در مقاطع مستطیلی و عریض این توزیع تقریباً یکنواخت می‌باشد. در مقاطع ذوزنقه‌ای تنش برشی در اطراف پنجه کناره‌ها دارای حداکثر مقدار خود است. در نتیجه این ناحیه از نظر پایداری، آسیب‌پذیر بوده علاوه بر آن، تنش برشی با عمق جریان نیز افزایش می‌یابد.

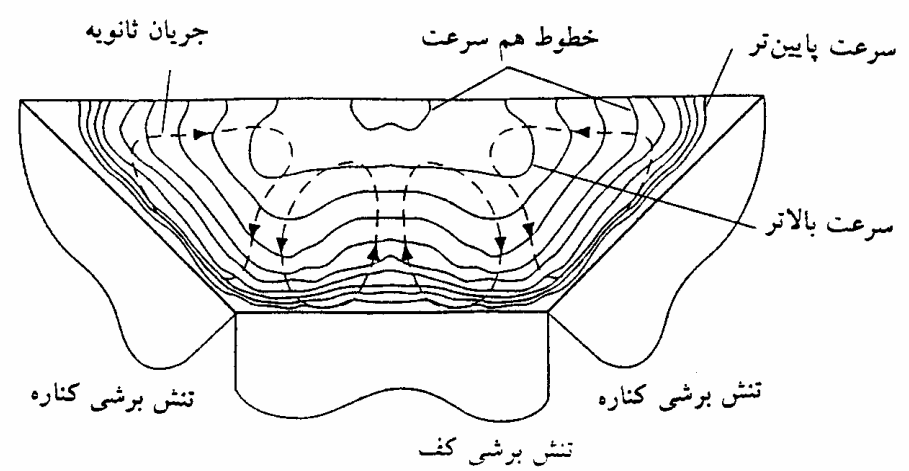
به‌طورکلی، تنش برشی در کف، بیشتر از کناره‌هاست و حداکثر آن در پنجه وارد می‌شود. بدیهی است که مصالح کناره و پوشش در عمق، بیشتر در معرض نیروهای مخرب قرار می‌گیرند. شکل ۴-۱ توزیع تنش برشی را در یک مقطع ذوزنقه‌ای نشان می‌دهد [۱۹].

- جریانهای ناشی از حرکت شناور

در رودخانه‌ها و کانالهایی که کشتیرانی در آن انجام می‌گیرد، جریانهایی ناشی از حرکت شناورها که دارای پیچیدگی خاص خود است ایجاد می‌شود. این جریانها باعث تغییر در سطح آب و ایجاد موج و جابه‌جایی آب می‌شود و می‌تواند تأثیر زیادی روی پایداری کف و کناره‌ها داشته باشد.

جریانهای حاصل از حرکت شناور به دو صورت زیر می باشد:

- حرکت آب برگشتی؛ که موازی با کناره‌ها و برخلاف جهت حرکت شناور است،و
- جریان ناشی از پروانه؛ که به‌صورت جتهای با سرعت زیاد (که بر اثر حرکت پروانه‌های شناور بوجود می‌آید) و در جهتهای مختلفی از موازی با مسیر آبراه تا عمود بر آن منتشر می‌شود.



شکل ۴-۱- توزیع تنش برشی و سرعت جریان در مقطع ذوزنقه‌ای

حرکت آب برگشتی که در هنگام عبور شناورها به‌وقوع می‌پیوندد، موجب اعمال تنش برشی شدیدی بر کف و کناره‌های آبراه می‌شود که این جریانها تابعی از سرعت شناور، تغییر تراز سطح آب ناشی از حرکت شناور، سطح مقطع خیس شده شناور و کانال می‌باشد. جریان ناشی از پروانه، فقط تأثیر مهمی روی پایداری کناره‌ها در هنگام شروع حرکت شناور یا در زمان مانور خواهد داشت.

سرعت جریان در حالتهای بالا را می‌توان از روابط ارائه شده توسط مراجع مختلفی مانند PIANC[1] محاسبه کرد. برای طراحی پوشش در یک آبراهه کشتیرانی، لازم است سرعت جریان ایجاد شده توسط حرکت شناور مورد بررسی قرار گیرد. در غیر این‌صورت، پوشش در معرض تخریب قرار می‌گیرد [۱۹].

جریانهای ناشی از باد: جریان آب می‌تواند در اثر وزش باد روی سطح آب به‌وجود آید. در شرایط جریان پایدار، سرعت جریان ناشی از وزش باد می‌تواند در حدود ۲ تا ۳ درصد سرعت باد تعیین شود. با توجه به کم بودن میزان جریان ناشی از باد در رودخانه‌ها به دلیل عرض کم آنها، معمولاً این عامل، تأثیر قابل توجهی نداشته و در طراحی پوششها در نظر گرفته نمی‌شود.

- جریان جزر و مدی

رودخانه‌هایی که تحت تأثیر شرایط جزر و مدی است با تغییرات زیادی در عمق جریان مواجه می‌باشد به‌طوری که در بعضی از نقاط دنیا تغییرات سطح آب تا ۶ متر نسبت به متوسط سطح دریا در شرایط جزر و مد نوسان دارد. به منظور تعیین تأثیر تغییرات جزر و مدی در رودخانه‌ها در طراحی سازه پوشش، عوامل زیر باید مد نظر قرار گیرد:

- نوسانهای سطح آب در رودخانه که به‌وسیله تغییرات جزر و مد ایجاد می‌گردد، این دو مسئله را به‌وجود می‌آورد: اولاً اینکه به‌طور کلی، حفاظت قسمت بالایی کناره یعنی محدوده تغییرات سطح آب ضروری می‌باشد و ثانیاً در زمان فروکش نمودن سطح آب (جزر) ممکن است نیروی هیدرواستاتیکی زیادی در پشت سازه پوشش به‌وجود آید که این پدیده، موجب تشدید فشار منفذی (حفره ای) در پشت پوشش می‌گردد. در صورتی‌که نفوذپذیری پوشش یا لایه فیلتر کم باشد، نیروی زیر فشار نیز به‌وجود می‌آید که این نیروها باید توسط نیروی وزن غالب گردد، در غیر این‌صورت، تخریب در پوشش رخ خواهد داد. برای مقابله با این خطر، طراحی یک لایه فیلتر مناسب لازم می‌باشد.
- در رودخانه‌های با جریان یک‌طرفه (غیر جزر و مدی) حفاظت کف رودخانه در اطراف سازه‌های متقاطع در بسیاری مواقع محدود به پایین‌دست سازه است در حالی‌که در رودخانه‌های جزر و مدی هم بالادست و هم پایین‌دست باید حفاظت گردد.
- تغییرات رفت و برگشتی جریان در رودخانه‌های جزر و مدی، موجب تغییرات پی‌درپی در کف رودخانه از جهت شکل و عمق می‌گردد، بنابراین در حفاظت کف، بررسی این تغییرات حائز اهمیت می‌باشد.
- بازه‌های جزرومدی، برای رشد و نمو بعضی از انواع گیاهان و جانوران محیط مساعدی فراهم می‌سازد، پس به دلیل پتانسیل شوری آب و رسوب ریزدانه‌ای در این‌گونه رودخانه‌ها، مسایل زیست محیطی آن با سایر رودخانه‌ها متفاوت می‌باشد. رسوب لای و سیلتی که به‌صورت معلق حمل می‌شود در زمان انتقال جریان از مد به جزر در لابلای مصالح نشست می‌کند و محلی برای رشد نرم‌تنان و سایر موجودات ایجاد می‌شود که بدین‌صورت به سطح لایه احداث شده پوشش، نمایی طبیعی می‌دهد.

1 - Permanent International Association of Navigation Congresses

- برای طراحی پوششها در شرایط جزر و مدی، توصیه شده که از روابط مربوط به طراحی تحت ضربه جریان استفاده گردد، مگر آن‌که امواج و میزان آشفتگی جریان مسئله‌ای اساسی باشد. در آن صورت باید از روابطی که این دو عامل را در نظر گرفته استفاده نمود.
- باید توجه داشت که سرعت حداکثر جریان در جزر و مد، حدوداً در زمان سطح متوسط جزر و مد اتفاق می‌افتد اما ملاحظه سطح حداکثر آب جزر و مد برای طراحی قسمت بالایی پوشش کناره لازم می‌باشد. همچنین نکته مهم دیگری که مهندس طراح در این رابطه باید در نظر بگیرد، این است که احتمال وقوع همزمانی سیل رودخانه با مد (حداکثر تراز جزر و مدی) را در نظر داشته باشد تا حداکثر سرعت و تراز جریان به‌دست آید[۱۹].

۴-۲-۲ بازه‌های پیچ و خم‌دار رودخانه

الگوی جریان در خم آبراهه‌ها نسبت به بازه‌های مستقیم کاملاً متفاوت است. جریان در بازه‌های مستقیم و نسبتاً طولانی، تقریباً یکنواخت و نسبت به محور مرکزی آبراهه متقارن می‌باشد. اما درخمها، نیروی گریز از مرکز و جریانهای ثانویه[1] به‌صورت حرکتهای عرضی در خطوط جریان ایجاد می‌شود که در نهایت به غیر یکنواختی و نامتقارن بودن آن منجر می‌گردد[۲۱].

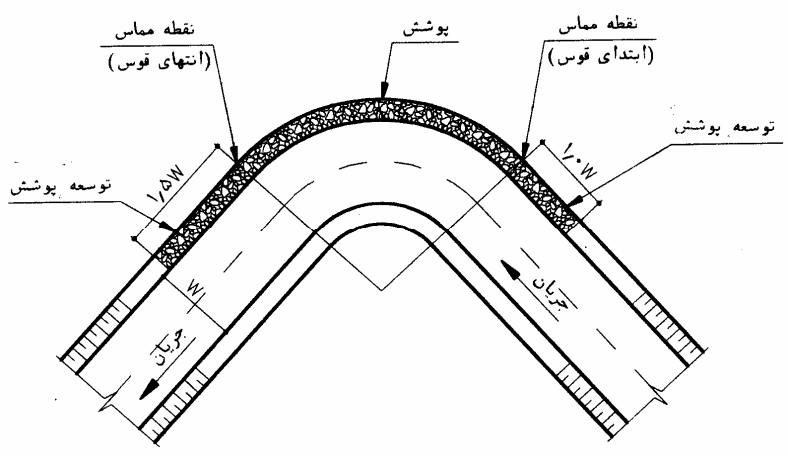
جریانهای ثانویه باعث فرسایش در کناره خارجی و رسوب‌گذاری در کناره داخلی قوسهای رودخانه می‌شود و بتدریج باعث افزایش شدت انحنای خم می‌گردد. به‌طور کلی، ویژگیهای جریان در قوسهای رودخانه‌ای عبارتند از:

- خط‌القعر یا خط حداکثر عمق آبراهه، به کناره بیرونی (خارجی) قوس نزدیک‌تر شده و از یک خم به خم دیگر جابه‌جا می‌شود.
- نشست رسوب که موجب تشکیل انباشته‌های نقطه‌ای رسوبی می‌شود، در کناره داخلی رودخانه انجام می‌گیرد.
- حداکثر سرعت جریان در یک مقطع تقریباً در خط‌القعر اتفاق می‌افتد و همواره با تغییر جریان درحال جابه‌جایی است و گاهی حتی به کناره داخلی نزدیک می‌شود، بنابراین توصیه می‌شود که در اقدامات حفاظت کناره‌ها در مسیرهای طولانی، قبل از هر اقدامی ابتدا مسیر خط القعر مورد بررسی قرار گیرد.
- جریان در خم موجب تغییر نیمرخ سرعت و متمایل نمودن آن به سمت کناره خارجی می‌شود. شدت الگوی جریان در قوس به تندی قوس بستگی دارد، بنابراین در قوسهایی که نسبت شعاع قوس به عرض رودخانه کوچک‌تر از ۲۶ باشد باید اثر آن در طراحی پوشش در نظر گرفته شده و برای قوسهای ملایم‌تر از آن به در نظر گرفتن آن نیازی نمی‌باشد و مانند بازه مستقیم عمل می‌شود. با توجه به مشخصات و کمیت قوسها، ممکن است آثار آن روی اندازه سنگها یا بلوکهای پوشش، تا حدود ۳۰٪ (در مقایسه با بازه مستقیم) افزایش داشته باشد[۱۹].
- هنگام طراحی پوشش، باید توجه داشت که در قوس، سرعت و تنش برشی اضافه می‌شود و در سمت کناره خارجی قوس عمق جریان نیز افزوده می‌شود. اگر چه افزایش عمق[2] معمولاً چندان زیاد نیست و در جریانهای زیر بحرانی کمتر

1 - Secondary Flow
2 - Superelevation

از ۰/۳ متر است ولی در قوسهای تند باید این افزایش در عمق آزاد در نظر گرفته شود[۲۱]. روابطی برای محاسبه میزان افزایش عمق جریان در کناره‌های بیرونی خمها ارائه شده که برای نمونه به مرجع[۲۱] می توان رجوع نمود.

- نکته مهم دیگری که در این رابطه قابل یادآوری است این‌که بر اساس بررسیهای انجام شده توسط محققین به‌علت شرایط جریان در قوس، توصیه شده که اقدامات حفاظتی و پوشش در خم رودخانه در بالادست و پایین‌دست خم نیز گسترش داده شود (شکل ۴-۲) [۲۱]. به‌طوریکه در بالادست قوس به اندازه ۱ برابر عرض متوسط، سطح آب و در پایین‌دست به اندازه ۱/۵برابر عرض متوسط به طول پوشش اضافه شود[۱۹].



شکل ۴-۲- توسعه محدوده پوشش حفاظتی در بالا و پایین دست خم

۴-۳ زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و منابع قرضه

به‌طور کلی در طراحی، ساخت و نگهداری پوششهای رودخانه‌ای، بررسیهای زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و منابع قرضه از جمله عوامل مؤثر و حائز اهمیت محسوب می‌شود. پس خصوصیات خاک و زمین‌شناسی محلی باید به شکلی مطلوب مورد شناسایی واقع گردد. در این زمینه، پرسشها و مسایلی در ارتباط با احداث پوششها در طرحهای مهندسی رودخانه پیش روی مهندسین عمران قرار دارد که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۱۳]:

- انتخاب بهترین نوع پوشش از نظر کاربرد و عملکرد آن،
- بررسی پایداری کوتاه مدت و درازمدت شیبها و پی زیر پوشش،
- انتخاب مصالح مناسب،
- انتخاب محلهای مناسب به‌منظور گودبرداریها و استقرار مصالح،
- اصلاح طراحی در مرحله ساخت به منظور در نظر گرفتن هر گونه تغییر ایجاد شده در خصوصیات خاک زیرین یا تغییر در نوع مصالح نسبت به آنچه که هنگام طراحی در نظر گرفته شده است،

- مشکلات ویژه ساخت پوششها روی خاکهای مسأله‌دار مانند خاکهای نرم،
- تحلیل آثار بارهای دینامیکی مانند امواج و زلزله روی گسیختگی شیبها و پی،
- بررسی پایداری دراز مدت و تحکیم، و
- بررسی پدیده‌ها و مخاطرات زمین‌شناسی مهندسی همچون رگاب[1] و روان گرایی[2].

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، بسیاری از پرسشهای مطرح شده، به شناخت مناسب از وضعیت زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک ساختگاه و همچنین شناسایی و ارزیابی منابع قرضه مورد نیاز بر می‌گردد که خود، نشان دهنده اهمیت این بخش از مطالعات در طراحی پوششهای رودخانه‌ای می‌باشد. از طرف دیگر، به منظور استفاده از اطلاعات زمین شناسی مهندسی یک پروژه به عنوان تجربه‌ای ارزشمند در پروژه‌های مشابه لازم است که حداقل ضوابط و معیارهای مطالعاتی با شرایط قابل قبول و نسبتاً یکسان در آنها رعایت شده باشد تا کارشناسان و متخصصین بتوانند از یافته‌های این طرحها در مطالعه سایر پروژه‌های مشابه استفاده نمایند[۱۳].

۴-۳-۱ نقش مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک در طراحی و احداث پوششهای رودخانه‌ای

به طور کلی، در ارتباط با جنبه‌های زمین‌شناختی، طراحی و احداث پوششهای رودخانه‌ای در طبیعت، باید به گونه‌ای انجام شود که تعادل متقابل بین این سازه‌ها و شرایط زمین‌شناسی بوجود آید. برای رسیدن به این هدف، دو موضوع زیر اهمیت بیشتری دارد:

الف- شناخت کامل تمامی عوامل مؤثر در طراحی و اجرای پوشش، از جمله نوع مصالح، بارهای استاتیکی و دینامیکی، عوامل زیست محیطی، تأثیرات شیمیایی و ... مؤثر بر محیط

ب- شناخت محیط زمین‌شناسی از جمله عوامل شکل‌دهنده آن مانند شکل‌گیری اولیه، عوامل تکتونیکی، تأثیرات عوامل جوی و آبشناسی بر آن و شاخصهای فیزیکی و شیمیایی و تأثیر آنها بر روی سازه مورد نظر.

مورد اول توسط طراح سازه مشخص می‌شود که به عنوان داده برای برنامه‌ریزی مطالعات زمین‌شناسی مهندسی به‌کارگرفته شده و مورد دوم با کوشش مهندس زمین‌شناس و بر اساس روشهای مختلف اکتشافی در مرحله طراحی به‌دست می‌آید [۷].

محدوده گسترش انواع سنگها و خاکها در اطراف رودخانه، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آنها از قبیل درجه سیمان شدگی، تراکم، سفتی، مقاومت در مقابل فرسایش و درجه هوازدگی، ساختارهای زمین‌شناسی، فرآیندهای زمین‌شناسی و زمین ریخت شناسی حاکم بر منطقه، چگونگی عملکرد و میزان تأثیر و اهمیت آنها از قبیل فرسایش، باتلاق و فرایندهای ثقلی، خطرهای طبیعی از جمله زمین لغزش، فرونشست، سیلابها، تغییرات مقاومت و نفوذپذیری در تشکیلات پوشاننده محدوده اطراف رودخانه و خصوصیات زمین ساختی، ژئومکانیکی و تکتونیکی زمین مانند گسله‌های مهم و لایه‌های ضعیف و دگرسان شده از جمله عوامل مؤثر در اجرای طرحهای پوششهای رودخانه‌ای محسوب می‌شوند. این اطلاعات و داده‌های دیگر مورد نیاز در طراحی، ساخت و نگهداری پوششهای رودخانه‌ای، همچون ارزیابی وضعیت آب زیرزمینی منطقه، در طی مطالعات زمین‌شناسی بدست می‌آیند. کلیه پارامترهای گفته شده در بالا، با انجام مطالعات دفتری و عملیات صحرایی و آزمایشگاهی،

1 - Piping
2 - Liquefaction

شناسایی و گردآوری می‌گردد. در نهایت اطلاعات مورد نیاز مراحل طرح و اجرا با دقت کافی به منظور دستیابی به اهداف مورد نظر از این طریق تأمین می‌شود. هر چه اطلاعات به‌دست آمده دقیق‌تر باشد، طراح به همان نسبت می‌تواند با هزینه کمتر و اطمینان بیشتری زاید طرح خود را ارائه دهد و اجرا کند[۷].

بدین ترتیب زمین‌شناسی و به ویژه زمین‌شناسی مهندسی، برای طرحهای مهندسی رودخانه و خصوصا در طراحی سازه‌های حفاظتی مورد بحث از مطالعات پایه و ضروری به حساب می آید. این مطالعات به طور معمول در مراحل شناسایی و توجیهی از مطالعات یک پروژه مهندسی انجام می‌شود که گاهی با عنوان « مطالعات مقدماتی» و «مطالعات تفصیلی» زمین‌شناسی نیز تقسیم بندی می‌گردد. در مرحله مقدماتی زمین‌شناسی، مطالعات در سطح گسترده‌تر و کلی‌تر انجام می‌شود و هدف از آن، شناخت کلی از وضعیت زمین‌شناسی منطقه و فرایندهای مؤثر بر تعیین جانمایی سازه‌ها است. در حالی که هدف از مطالعات نهایی زمین‌شناسی، درک عمیق‌تر و تعیین عوامل و میزان تأثیر هر یک از آنها در طراحی سازه‌ها بوده و برای این منظور اقداماتی مانند حفرگمانه‌های صحرایی و چاهکهای دستی، نمونه‌برداری از لایه‌های مختلف زیر سطحی، انجام آزمونهای آزمایشگاهی و حتی بررسیهای ژئوفیزیکی صورت می‌گیرد[۶].

به‌طور کلی مطالعه زمین‌شناسی عمومی که در چارچوب مطالعات مقدماتی زمین‌شناسی انجام می‌شود، مستقل از فعالیت سایر علوم و فنون در منطقه مورد مطالعه است. در حالی‌که فعالیتهای بعدی که با عنوان زمین‌شناسی مهندسی خوانده می‌شود، با توجه به هدف طرح، محدود و متمرکز می‌شود. در این مرحله، پس از تعیین محدوده‌های ناپایدار و مناطقی که نیاز به احداث پوشش دارند، به منظور معرفی پارامترهای طراحی انواع پوششها و بررسی گسیختگیها و ناپایداریهای احتمالی، اطلاعات مختلفی مورد نیاز می‌باشد از جمله:

برآورد ظرفیت باربری نهایی سازه‌های مورد نظر و بررسی احتمالی گسیختگی برشی در پی آنها، پیش‌بینی میزان و نوع نشست خاک زیرین و بررسی احتمالی وجود محلهای با پتانسیل نشست نامتقارن، ارزیابی پتانسیل روانگرایی در محل احداث پوششها و بار حاصله از احداث آنها، معرفی بازه‌های نیازمند به اصلاح و به‌سازی زمین و روش برخورد با آن و بررسی تغییرات آبگذری. این اطلاعات در مطالعات تفصیلی زمین‌شناسی و ژئوتکنیک و با انجام آزمایشهای مختلف صحرایی و آزمایشگاهی به‌دست می‌آید که در چگونگی و مشخصات سونداژها، حفاریها، نمونه برداریها و انجام آزمایشهای آزمایشگاهی، از یافته‌های زمین شناسی گفته شده در بالا بهره گرفته می‌شود.

بدین‌ترتیب، مطالعات ژئوتکنیک به منظور استخراج پارامترهای طراحی مورد نیاز برای انواع پوششها و نیز بررسی گسیختگیها و ناپایداریهای احتمالی، از مطالعات ضروری به حساب می‌آید.

۲-۳-۴ نقش مطالعات منابع قرضه در طراحی و احداث پوششهای رودخانه‌ای

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر طراحی پوششهای رودخانه‌ای، منابع قرضه است. در گذشته، انتخاب منابع قرضه و مصالح ساختمانی بطور گسترده‌ای بر اساس نوع، کمیت و فاصله حمل مواد تعیین می‌شد و امروزه به منابع قرضه توجه بیشتری شده و باید دقیقاً برنامه‌ریزی، مطالعه و طراحی شوند، زیرا در نظر گرفتن مواردی مانند: جنبه‌های زیست محیطی، افزایش ارزش زمین و نیز شناخت بیشتر از اثر متقابل منابع قرضه بر زه تحتانی، نیروی زیر فشار، پایداری عمومی سازه و موضوع فرسایش ضرورت دارد [۶]. به‌طور کلی، هر چه سازه مهندسی از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و صدمه دیدن آن خطر بیشتری را به همراه داشته

باشد، باید در انتخاب مصالح قرضه بیشتر دقت گردد [۱۲]. نوع و حجم مصالح قرضه موجود در منطقه و امکان دسترسی به انواع مختلف مصالح قرضه خاکی و سنگی، یکی از عوامل مؤثر بر طراحی پوششهای رودخانه‌ای بوده و در ساخت آنها تعیین کننده و حائز اهمیت می‌باشد.

با استفاده از مطالعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک زمینه لازم برای بررسی منابع قرضه و مصالح ساختمانی فراهم می‌گردد. این موضوع از این دیدگاه اهمیت داشته که منابع قرضه و مصالح ساختمانی تأثیر بسیار مهمی بر اقتصاد طرح دارند. پس شناسایی این منابع، به‌ویژه در بازدیدهای صحرایی دارای اهمیت بوده و چنانچه گزارشهای قبلی زمین‌شناسی و ژئوتکنیک از منطقه طرح موجود باشد، می‌تواند همراه با بازدیدهای صحرایی کمک مؤثری در شناسایی منابع قرضه و مصالح ساختمانی محلی باشد. استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و تطبیق آن با محل و کاوشهای محلی شامل: بازدید ترانشه‌های ایجادشده توسط رودخانه یا حفاریهای ایجاد شده توسط مردم، اطلاعات ارزشمندی را در مورد منابع قرضه در اختیار قرار خواهد داد[۶].

ممکن است مصالح قرضه ریزدانه، مخلوط یا سنگی (درشت دانه) در بخشهای مختلف سازه‌های مورد نظر، به‌عنوان پوششهای رودخانه‌ای مورد نیاز بوده و یا مصالح خرده سنگی مورد نیاز برای تهیه بتن مد نظر باشد. بدین ترتیب، برای تأمین مصالح بتن، مصالح فیلتر برای زهکشها، مصالح ریزدانه و نفوذناپذیر برای هسته سازه‌های خاکی ناهمگن، مصالح سنگی برای استفاده در سازه‌های سنگ و ملات و به‌عنوان پوشش سطحی سازه‌های خاکی و سایر کاربردهای متناسب با نوع پوشش رودخانه‌ای نیاز به کاوشهای نواحی منابع قرضه وجود دارد . جهت آب بندی سازه‌ها در نقاط مورد نظر از مصالح ریزدانه بانفوذپذیری کم استفاده می‌شود. مصالح مخلوط، بدنه اصلی بیشتر سازه های خاکی را تشکیل می‌دهند و شن و ماسه جهت تهیه بتن و آسفالت مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای حفاظت خاکریزها یا گودبرداریهای واقع در معرض امواج آب، جریانهای آشفته یا بارندگیهای سنگین، مصالح سنگی مورد نیاز است[۷].

بدین ترتیب، انتخاب مصالح مناسب و شناسایی منابع قرضه موجود در محدوده مطالعاتی، از مطالعات پایه، به منظور طراحی و احداث پوششهای رودخانه‌ای محسوب شده و چه بسا نوع که طراحی پوشش مورد نظر را متاثر ساخته و تغییر دهند. نیاز به شناسایی مصالح قرضه، بسته به انواع پوششهای رودخانه‌ای متفاوت بوده و گاه مثل پوششهای بیولوژیکی، اهمیت کمتری داشته یا در پوششهای خاکی و سنگی اهمیتی دو چندان می‌یابد. نیازها و اقدامات لازم برای شناسایی و انتخاب منابع قرضه برای انواع پوششهای رودخانه‌ای در فصل پنجم تشریح می‌گردد.

۴-۴ تأثیر عوامل زیست محیطی

هر گونه تغییر و احداث سازه و اقدام ساماندهی در بستر رودخانه‌ها، باعث دگرگونی شرایط طبیعی و تغییر در وضعیت زیست محیطی می‌گردد. رعایت ملاحظات زیست محیطی به دستیابی دو عامل اساسی زیر در رودخانه‌ها منجر می‌شود که در حقیقت شامل این دو هدف اصلی می‌باشد.

الف – جلوگیری از آلودگی آب،و

ب – جلوگیری از ایجاد اختلال در روند زیست‌بوم موجودات زنده

لحاظ نمودن مسائل زیست‌محیطی در طراحی و اجرای پوششها برای رسیدن به اهداف گفته شده از ضروریات اقدامات ساماندهی در بستر رودخانه است. ملاحظات زیست‌محیطی در انتخاب نوع پوشش، مصالح مورد استفاده، ابعاد سازه، محدوده طرح و زمان اجرا تأثیر گذار خواهد بود. بعضی از ملاحظات مربوط به خصوصیات زیست میحطی و چگونگی تأثیرات آن بر پوششهای حفاظتی در زیر آورده شده است.

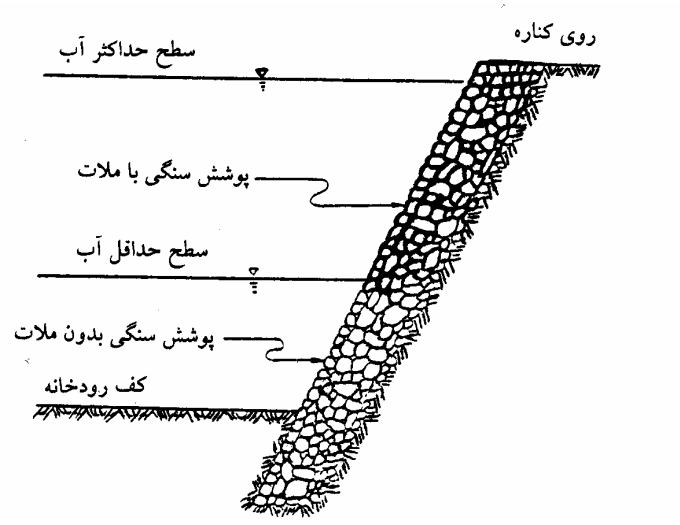
- رعایت زیبایی و طراوت پوشش خصوصاً در محدوده‌های شهری و نقاطی که در منظر عمومی است از اهمیت بالایی برخوردار است. در چنین شرایطی، انتخاب روشهای پوشش گیاهی و تلفیقی ترجیح داده می شود.
- برای ایجاد نمای طبیعی و شرایط مساعد برای رشد و نمو گیاهان و آبزیان و سایر جانداران مستقر در بستر رودخانه، لازم است از پوششهایی که این امکان را ایجاد می‌کند استفاده نمود. برای مثال، استفاده از تورسنگی و بلوکهای سلولی در این مورد مناسب می‌باشد.
- در انتخاب نو ع پوشش برای رودخانه‌هایی که محل آبشخور و رفت و آمد حیوانات محلی یا حیات وحش است، استفاده از مصالح مقاوم در مقابل وزن حیوانات بزرگ باید مد نظر قرار گیرد. علاوه بر آن، پیش‌بینی معبرهای خاص برای تردد و دسترسی به بستر لازم می‌باشد.
- گاهی اوقات وضعیت اجتماعی اهالی ساکن در اطراف رودخانه، در نوع پوشش و چگونگی اجرا مؤثر می‌باشد . ممکن است بخشهایی از مصالح سازه پوشش توسط اهالی تخریب و برای استفاده‌های محلی مورد استفاده دیگری قرار گیرد. پس لازم است نیازهای عمومی اهالی را در بررسیهای مربوط به انتخاب روش حفاظت مورد بررسی قرار داد. در این مورد، می‌توان به طرح حفاظت کناره رودخانه نیل در پایین دست سد آسوان[1] در کشور مصر اشاره نمود. پوشش کناره رودخانه نیل در این بازه از دو قسمت تشکیل شده است (شکل ۴-۳). به‌طوری‌که قسمت اول به صورت پوشش سنگی (خشکه چینی) بدون ملات از پنجه کناره تا سطح ارتفاع حداقل آب که پایین کناره[2] خوانده می‌شود اجرا شده و قسمت دوم حفاظت به‌صورت پوشش سنگی با ملات در بالای پایین کناره یعنی از سطح حداقل آب تا روی کناره (بالا کناره[3]) اجرا گردیده است. در نگاه اول ممکن است بسیاری از کارشناسان تصور کنند که خطایی در طرح اتفاق افتاده و بایستی لایه‌های حفاظت بصورت برعکس اجرا شود در حالی‌که علت اصلی ارائه چنین طرحی، مسائل اجتماعی منطقه بوده است. چنان‌که اگر قطعات سنگ در بالا کناره بصورت خشکه چینی قرار گیرند، توسط کشاورزان بومی برای استفاده‌های شخصی برداشت می‌شود و به لایه پوشش خسارت وارد می‌گردد [۲۶].

۴-۵ تأثیر عوامل اقتصادی

از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر انتخاب نوع، طراحی و اجرای پوششهای حفاظتی، اقتصاد طرح است. تحلیل اقتصادی یک پروژه و بررسی نسبت منافع به هزینه آن، در تائید یا رد آن پروژه نقش اساسی دارد. از طرف دیگر مقایسه اقتصادی گزینه‌ها نیز

1 - Aswan high dam
2 - Lower bank
3 - Upper bank

در کنار مقایسه های فنی و اجرایی آنها، ابزاری برای انتخاب روش و نوع سازه بوده و حتی اقتصاد طرح ممکن است سایر عوامل تأثیرگذار را تحت‌الشعاع خود قرار داده و مبنای اجرا یا عدم اجرای طرح گردد.



شکل ۴-۳ طرح نوع پوشش کناره رودخانه نیل در پایین‌دست سد آسوان

در مرحله اقدامات حفاظتی و انتخاب نوع پوشش مناسب برای یک پروژه خاص، بررسی عوامل اقتصادی مختلفی که در زیر آمده از اهمیت بیشتری برخوردار است[۱۶]:

۴-۵-۱ هزینه اجرای گزینه‌ها

بمنظور مقایسه گزینه‌ها، لازم است هزینه اجرای روشهای مختلف حفاظت برآورد گردد. برای این منظور، بهتر است ابتدا گزینه‌های مختلف قابل طرح از جنبه های فنی، اجرایی و یک تخمین اولیه از هزینه آنها در مرحله شناخت یا مرحله توجیهی مطالعات مقایسه شده و گزینه‌های مناسب انتخاب گردند و بدنبال آن برآورد دقیق تری برای انتخاب نهایی از بین گزینه های مناسب انجام گیرد. در برآورد نهایی می‌توان هزینه‌های جنبی پروژه مانند مسیر دسترسی، نظارت و بازرسی، بهره‌برداری و نگهداری و مخارج پیش بینی نشده را مد نظر قرار داد که معمولاً هزینه این موارد به‌صورت درصدی از هزینه ساخت منظور می‌شود.

هزینه‌های جنبی، بر حسب شرایط، کاملاً متفاوت خواهد بود. بعنوان مثال اجرای یک سازه پوشش از داخل آب از طریق شناور یا از خشکی، که ممکن است به راههای وسیعی برای دسترسی نیاز داشته باشد، کاملاً متفاوت است. هزینه نظارت بعضی از روشها که زمان اجرای آن طولانی است یا به کنترل کیفیت بالایی نیاز دارد (مانند اجرای پوشش در زیر سطح آب) به نسبت روشهایی که به سرعت قابل اجرا است نسبتاً بالاتر خواهد بود. از نکات مهم در برآورد هزینه اجرا، توجه به انتخاب فهرست بهای مناسب و سال مبنای یکسان برای گزینه‌های مختلف می‌باشد.

۴-۵-۲ منابع قابل دسترس

منابعی که در ارتباط با اجرای پروژه‌های حفاظت بستر قابل دسترسی است، به‌صورت اعتبارات مالی، نیروی انسانی، مصالح ساخت و تجهیزات می‌باشد.

۴-۵-۲-۱ اعتبارات مالی

سرمایه و اعتبارات مالی قابل تأمین، معمولاً مهم‌ترین عامل کنترل کننده در انتخاب روش حفاظت است. دستگاه اجرا کننده پروژه ممکن است از نظر بودجه دارای محدودیتهایی باشد، بنابراین گزینه‌هایی که هزینه اجرای آنها بیشتر از اعتبارات قابل تأمین است، به‌راحتی قابل اجرا نخواهد بود. با این حال باید توجه داشت که انتخاب یک روش ناکارآمد ولی کم هزینه، به سبب آنکه اعتبارات طرح دارای محدودیت است، تصمیم اشتباهی خواهد بود. اجرای چنین طرحی به معنی اتلاف سرمایه است که علاوه بر آثار نامطلوب اقتصادی، ممکن است موجب بروز نارضایتی عمومی شده و اعتبار و صلاحیت طراحان پروژه خدشه‌دارگردد. از وظایف مهندس طراح است که روی طراحی سامانه کارآمد و مبتنی بر اصول فنی اصرار ورزیده و اطمینان کافی از کارآیی آن حاصل نماید.

۴-۵-۲-۲ نیروی انسانی

منابع نیروی انسانی مورد نیاز اجرای یک طرح، از جمله عوامل اقتصادی تأثیرگذار در مقایسه گزینه‌های مختلف می باشد. میزان نیاز پروژه به بکارگیری نیروهای متخصص یا نیروی کارگر ماهر، می‌تواند هزینه های اجرایی یا تعمیر و نگهداری پوششها را متاثر سازد.

گاهی کمبود اعتبارات مالی ممکن است از طریق به‌کارگیری کارگران داوطلب یا با دستمزد پایین جبران شود. از جمله اقداماتی که در کارگاهها توسط کارگران قابل انجام است، می‌توان به موارد زیراشاره نمود:

- دستچین نمودن سنگهای لایه پوشش و بلوکهای بتنی،
- پرکردن کیسه‌ها از مخلوط ماسه و سیمان یا خاک،
- ایجاد روکشهای گابیونی، نصب لاستیکهای فرسوده و جمع‌آوری مصالح سنگی و چوبی،و
- کاشت گیاهان حفاظتی.

۴-۵-۲-۳ مصالح ساخت

استفاده از مصالح محلی قابل دسترس در مقایسه با مصالحی که از فواصل طولانی منتقل می‌گردد، می‌تواند تا حدودی جبران کمبود اعتبارات اجرایی گردد. هزینه‌های حمل مصالح، در برآورد طرح قابل ملاحظه خواهد بود. وجود مصالح محلی اعم از مصالح سنگی مانند قطعات سنگ برای پوششهای سنگ‌چین و سنگریسه، مصالح رودخانه‌ای برای پوشش تورسنگ، یا ساخت بتن و قطعات بتنی پیش‌ساخته خاک و سیمان و لاستیکهای فرسوده برای پوشش در انتخاب روش دارای اهمیت خواهد بود.

۴-۵-۲-۳ تجهیزات

تجهیزاتی که برای اجرای پوشش مورد نیاز است، از نکات مهم و مؤثر در انتخاب روش حفاظتی است. معمولاً پیمانکاران محلی که در رقابت با یکدیگر، در پی تهیه تجهیزات مناسب می‌باشند، ولی در هر حال مهندس طراح باید به هنگام طراحی، با کسب نظر از افراد مجرب در زمینه اجرا، از ارائه روشهای غیر عملی خودداری نماید. از طرف دیگر توجه به امکانات و تجهیزات موجود در منطقه طرح و قابلیتهای تجهیزاتی پیمانکاران محلی در تعیین نوع و روش پوشش حفاظتی نیز ضروری است. با این حال، ممکن است بکارگیری تجهیزات و فن‌آوریهای نوین موجب افزایش عملیات اجرایی و کاهش هزینه گردد که به بررسی موردی خود دارد.

۴-۵-۳ بررسی امکان فاز بندی اجرا

گاهی اوقات، با فاز بندی اجرای یک پروژه حفاظت می‌توان هزینه‌ها را کاهش داد یا در اجرای پروژه تسهیلات بیشتری ایجاد نمود.

فازبندی عمودی یعنی آنکه بتوان با اجرای یک روش مناسب در مرحله اول، باعث رسوب‌گذاری در خلال منطقه مورد نظر گردید. از این روش، با بهره‌گیری از مزایای رسوبگذاری، هزینه بقیه قسمتهای حفاظت کاهش خواهد یافت.

انجام فازبندی عمودی به انعطاف‌پذیری پروژه از نظر سرمایه و زمانبندی اجرا بستگی دارد ولی می‌تواند از نظر اقتصادی مفید باشد. این اقدام، می تواند موجب کاهش ارتفاع مورد نیاز برای سازه حفاظتی گردد و فرصت رشد پوشش گیاهی در فصل مناسب را ایجاد نماید. پوشش گیاهی هم، به نوبه خود موجب افزایش رسوب‌گذاری خواهد شد.

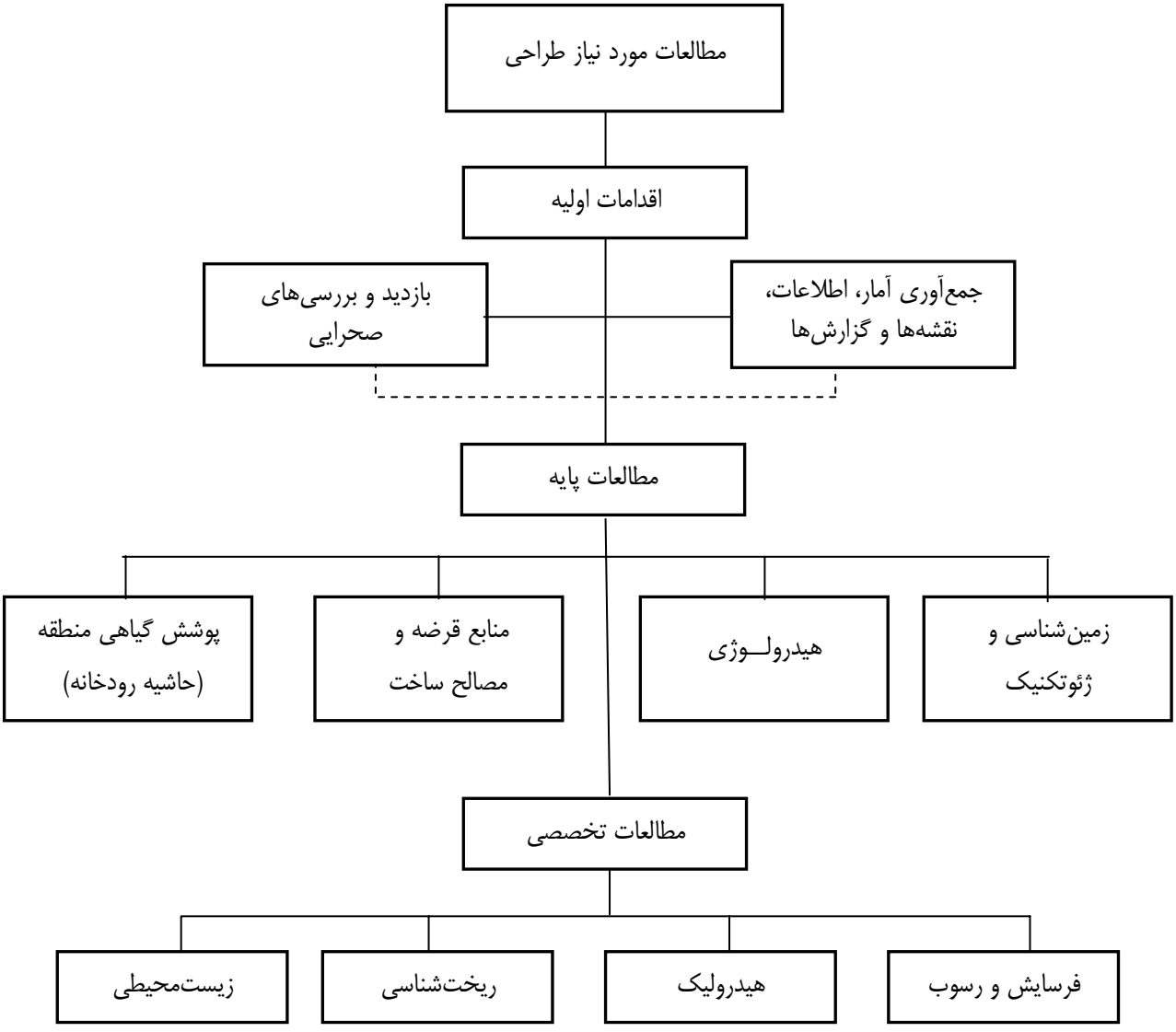
فازبندی یعنی اینکه ابتدا طولی از کناره رودخانه که از اولویت اول برخوردار است، حفاظت شده و سپس حفاظت بقیه قسمتهای پروژه در مراحل زمانی بعدی انجام گیرد. اگرچه این مسئله ممکن است موجب کاهش هزینه‌ها نگردد و حتی هزینه کل پروژه را احتمالاً بیشتر کند، ولی هزینه‌ها در مدت زمان طولانی‌تری انجام گرفته و در طول زمان پروژه توزیع می‌گردد.

۴-۵-۴ منافع طرح

اجرای طرحهای پوشش حفاظتی با تثبیت مقطع، از فرسایش و تخریب کناره‌ها و جابه‌جایی عرضی بستر رودخانه جلوگیری می‌کند. تثبیت بازه‌ای از رودخانه، موجب تأمین امنیت بیشتر برای زمینه های حاشیه رودخانه خواهد شد . از طرفی حفاظت کناره‌ها همراه با بهینه نمودن مقطع رودخانه می‌تواند بخشهایی از زمینهای مستعد برای اقدامات کشت و کار یا سایر زمینه‌های بهره‌برداری را آزاد کند، پس به‌عنوان منافع مستقیم حاصل از اجرای این‌گونه طرحها به حساب می‌آید. در ضمن جلوگیری از تخریب کناره‌ها و زمینهای حاشیه که با اجرای طرحهای حفاظتی به‌دست می آید، از مناقع غیر مستقیم طرحهای پوشش بوده که روند خسارتهای مالی وارده به زمینهای کشاورزی و مناطق مسکونی را که در سالهای قبل ازآن وجود داشته متوقف می‌کند. بدین منظور، برآورد و پیش‌بینی منافع احتمالی که از طرحهای پوشش کناره‌ها به‌دست می‌آید، عامل مهمی در تحلیل اقتصادی و طراحی، و حتی انتخاب گزینه‌ها خواهد بود.

۵- مطالعات مورد نیاز برای طراحی پوششها

طراحی هر سازه رودخانه‌ای به اطلاعات پایه‌ای مانند مشخصات جریان، خاک بستر، هندسه رودخانه و شرایط محیط زیست نیاز دارد که باید در قالب مطالعات پایه در هر پروژه مورد بررسی قرار گیرد. اگرچه تأثیر بعضی از محورهای مطالعات پایه در فصل ۴ مورد بررسی قرار گرفت، ولی در این قسمت به تشریح اهمیت، ابعاد و اطلاعات مورد نیاز و در مجموع توجه به نکاتی که در ارتباط با هر محور باید در مطالعات پایه طرح پوششها رعایت گردد پرداخته خواهد شد. محورهای اساسی در مطالعات پایه شامل بازدیدها و بررسیهای صحرایی، زمین‌شناسی و ژئوتکنیک، هیدرولوژی، هیدرولیک جریان، رسوب و فرسایش، شرایط زیست‌محیطی و منابع قرضه و مصالح ساخت و ریخت شناسی[1] می‌باشد. در نمودار ۵-۱ روند کاملی از مطالعات مورد نیاز برای طراحی پوششها ارائه شده است.



نمودار ۵-۱- مطالعات مورد نیاز طراحی

1 - Morphology

۵-۱ بازدیدها و بررسیهای صحرایی

بازدیدها و بررسیهای صحرایی در مطالعات مهندسی رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار است به شکلی که می‌تواند به‌عنوان یک عامل مهم در گزینه یابی و ارائه راه حل مطلوب، به‌ویژه در حفاظت از بستر و کناره‌های رودخانه و طراحی پوششهای رودخانه‌ای، قلمداد گردد. در واقع بازدیدها و اطلاعات حاصل از مشاهدات صحرایی، قسمتی از نقایص وکمبودهای کار دفتری را برطرف نموده و با این حال به طراح نگرشی معقول، منطقی و واقعی می‌دهد. این موضوع به ویژه هنگام استفاده از عکسهای هوایی، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی ضرورت بیشتری می‌یابد [۶].

در بررسیهای صحرایی، شرایط منطقه بر اساس نتایج مطالعات دفتری اولیه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در صحرا، اطلاعاتی در مورد عوامل زمین‌شناسی همچون واریزه‌ها، مخروط افکنه‌ها[1]، زمین لغزشها، گسلها، زونهای خرد شده، پادگانه ها[2]، تپه‌های ماسه‌ای، مردابها و نیز مواردی مانند سنگ‌شناسی[3]، ساختار زمین‌شناسی و آب زیرزمینی به منظورشناخت خاک و شرایط زمین‌شناسی گردآوری می‌گردد[۸]. پس از مشخص شدن مناطق فرسایش‌پذیر و ناپایدار، به منظور انتخاب نوع و تعیین مشخصات پوشش حفاظتی مناسب نیز، بررسیها و مشاهدات صحرایی به منظور شناسایی شرایط سطحی زمین، به ویژه پدیده‌های توپوگرافی، ویژگیهای زمین‌شناسی، خاک، آب زیرزمینی، چشمه‌ها، پوشش گیاهی و غیره در محدوده طرح، مورد نیاز می‌باشد. چراکه انتخاب نوع پوشش و مشخصات آن، شدیداً به شرایط محل استقرار آن بستگی دارد. به‌طور مثال، سرعت جریان کم و شرایط فیزیکی مناسب در کناره‌ها و امکان رویش پوشش گیاهی از نیازهای روش طبیعی به منظور حفاظت رودخانه‌ها بوده و در صورتی که عوامل فیزیکی و هیدرولیکی در تخریب دیواره‌ها شدید باشد و به‌عبارت دیگر فرسایش پذیری و سرعت جریان بالا باشد، روشهای سازه‌ای ترجیح داده می‌شود. روشهای ترکیبی نیز با توجه به شرایط محل طرح و امکانات موجود به‌کار گرفته می‌شود. جدول ۵-۱ بازگو کننده نقش و چگونگی تأثیر ویژگیها و شرایط صحرایی منطقه طرح در تعیین نوع و آرایش پوشش حفاظتی مورد نیاز است.

در زمان جمع‌آوری اطلاعات صحرایی مورد نیاز برای طراحی و احداث پوششهای رودخانه‌ای، انجام اقدامات زیر باید مورد توجه قرار گیرد [۶]:

- مذاکره و تبادل نظر با مردم محلی و مسئولان مربوطه در منطقه، پیرامون وضعیت رودخانه و سابقه سیل، لغزشهای دامنه‌ای و غیره و کسب نظر آنها در خصوص به‌کارگیری راه‌حلهای مختلف حفاظت
- بازدید از قسمتهای مختلف رودخانه و سیلاب‌دشت و اراضی حاشیه آن به منظور:
  - تهیه کروکی از وضعیت موجود رودخانه و ثبت تغییرات احتمالی واقع شده در گذشته،
  - شناسایی و بررسی بازه‌ها و یا نقاط فرسایش پذیر،
  - شناسایی شاخه‌ها و آبراهه‌های فرعی و فصلی، سیلراه‌ها[4] (مسیلها) و زهکشهای ورودی به رودخانه،
  - شناسایی و بررسی محدوده یا نقاط سیل‌گیر و ارزیابی عملکرد سیل برآنها و آثار تخریبی حاصله،
  - شناسایی و بررسی تاسیسات، ساختمانها و ابنیه واقع در حاشیه، کناره یا داخل رودخانه،
  - بررسی وضعیت و موقعیت مزارع، باغها و زمینهای مسکونی و صنعتی در حاشیه رودخانه، و

1 - Alluvial fans
2 - Terraces
3 - Lithology
4 - Floodways

- جمع‌آوری اطلاعات در مورد طرحهای اجرا شده یا در دست اجرا در منطقه طرح، و بررسی تأثیر احتمالی متقابل این‌گونه طرحها بر رودخانه.

– جمع‌آوری اطلاعات اولیه در زمینه‌های فیزیوگرافی، ریخت شناسی، هیدرولیک و رسوب، فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه، زمین‌شناسی محدوده طرح، جنس رسوبات بستر، کناره‌ها و سیلاب‌دشت رودخانه، منابع قرضه و مصالح موجود در منطقه
– تهیه عکس و فیلم از وضعیت رودخانه واراضی حاشیه، به خصوص ناپایداریهای بستر وکناره‌های رودخانه
– بررسی عوامل خاص مؤثر در وقوع یا تشدید سیل مانند موانع طبیعی یا مصنوعی موجود در مسیر رودخانه، پلها، رعایت نکردن حریم و ...
– بررسی ضرورت محافظت از بستر و کناره های رودخانه در بازه‌های فرسایش‌پذیر و ناپایدار
– بررسی راههای ارتباطی مناسب برای دسترسی به قسمتهای مختلف رودخانه
– بررسی امکانات اجرایی و مصالح موجود در منطقه به منظور احداث انواع پوششها و از جمله امکان تأمین سیمان، شن و ماسه، سیلت و رس، مصالح سنگی، قیر و آسفالت و نیز ماشین‌آلات خاص تولید آسفالت، بتن، حمل و ریختن مصالح، تسطیح و غیره

زمان مناسب برای بازدید صحرایی با توجه به شرایط محلی و محدودیتهای آب و هوایی انتخاب شده که و تا حد امکان در دو نوبت زمانی متفاوت (به خصوص قبل و بعد از وقوع سیلاب) تعیین خواهد شد. کارشناسان بازدید کننده نیز باید از کارشناسان متخصص در زمینه‌های مختلف مربوط به موارد گفته شده در بالا تشکیل شده باشند.

۵-۲ مطالعات زمین شناسی و ژئوتکنیک

به طور کلی، بررسیهای زمین شناسی و ژئوتکنیک مطابق با مراحل زیر صورت می‌گیرد[۳۲]:

الف – بررسیهای مقدماتی (مطالعات مقدماتی زمین‌شناسی)

ب – بازدید مقدماتی صحرایی

ج – بررسیهای تفصیلی صحرایی

ضمن اینکه می‌توان موارد ب و ج را بر مبنای برخی مراجع ([۶] و[۱۳]) در چارچوب کلی مطالعات تفصیلی زمین‌شناسی یا مطالعات زمین‌شناسی مهندسی قرار داد. برای آشنایی بیشتر با مراحل مختلف مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک به ترتیب در زیر توضیح داده شده است.

۵-۲-۱ *بررسیهای مقدماتی[1] (مطالعات مقدماتی زمین شناسی)*

در بررسیهای مقدماتی، برای به‌دست آوردن شناخت عمومی از محدوده مطالعاتی، اطلاعات موجود جمع‌آوری می‌گردد. به‌طور معمول، در این مرحله از مطالعات، اطلاعات زیر در صورت نیاز جمع‌آوری می‌شود:

– اطلاعات اکتشافی خاک،
– اطلاعات زمین‌شناسی،

1 - Preliminary investigations

جدول ۵-۱- نقش مشخصات صحرایی منطقه طرح در انتخاب اولیه پوشش [۳۱][۳۰][۲۱][۱۹]

برخی از مشخصات و مشاهدات صحرایی در محدوده‌های نیازمند به حفاظت در رودخانه‌ها	پوششهای مناسب
– وجود جریان آب زیرزمینی در حاشیه رودخانه – وجود چشمه‌ها و جریان آنها به داخل رودخانه – تغییرات سریع و قابل توجه سطح آب رودخانه در شرایط سیلابی، جزر و مدی و امواج سطحی – نفوذپذیری خاک حاشیه رودخانه (نهشته‌های آبرفتی درشت‌دانه) و گسترش تراسهای آبرفتی در حاشیه رودخانه	(اولویت اول) سنگریز،توری سنگ، ملات ماسه آسفالت ، پوششهای کیسه‌ای (اولویت دوم) سنگ لاشه، بلوکهای ففل و بست‌دار، بلوکهای چسبیده به هم، سنگ‌چین با ملات آسفالتی
– قطعات سنگ به اندازه و دانه‌بندی مناسب در دسترس باشد. – در کناره‌ها حرکتهای جزئی مانند لغزشهای کوچک سطحی وجود دارد. – امکان رویش پوشش گیاهی در کناره‌ها وجود دارد.	پوشش سنگی ریزشی، پوشش سنگی دست‌چین
– مصالح سنگی در حجم و ابعاد مناسب در دسترس نمی‌باشد. – لغزشهای سطحی کناره‌ها مشهود می‌باشد. – لغزشهای شدید سطحی در حالتهای خاص که تنشهای وارده چندان زیادنمی‌باشد. – سطح کناره‌ها پرشیب نبوده و شیب کم تا متوسط دارد. – سرعت جریان آب رودخانه خیلی زیاد نیست. – امکان رویش پوشش گیاهی در کناره‌ها وجود نداشته یا کم است.	پوششهای تورسنگی (تشکی ،جعبه‌ای ، کیسه‌ای)
– رودخانه‌های بزرگ و پرآب ، آبراهه‌های کشتیرانی، نواحی با سرعت زیاد جریان آب – سازه با ارزشی در حاشیه رودخانه باید حفاظت گردد. – مصالح سنگی در احجام و ابعاد مناسب در دسترس نبوده و تأمین آنها از مسافتهای دور بسیار پر هزینه است. – تأمین شن و ماسه و سیمان در منطقه به آسانی و با هزینه کمتر امکان پذیر است. – نهشته‌های کناره رودخانه نفوذپذیر بوده و نیاز به زهکشی به داخل رودخانه دارند. – تغییرات ریخت‌شناسی کناره (هندسه کناره) جزئی بوده و لغزشهای شدید وجود ندارد. – محدودیتهای زیست‌محیطی عمده‌ای در محل طرح وجود ندارد. – کناره‌ها واقع در قوس رودخانه نباشند. – نیاز به حفاظت کناره‌ها در نواحی که زیر آب قرار می گیرند. – شیب کناره‌ها حداکثر ۱:۱ باشد. – نیاز به اجرای سریع طرح وجود دارد.	بلوکهای پیش‌ساخته بتنی (با کارگذاری سست و منفرد، با کارگذاری متراکم و منفرد ، در هم قفل شده) بلوکهای متصل شده با کابل، بلوکهای متصل به ژئوتکستایل

ادامه جدول ۵-۱- نقش مشخصات صحرایی منطقه طرح در انتخاب اولیه پوشش

برخی از مشخصات و مشاهدات صحرایی در محدوده‌های نیازمند به حفاظت در رودخانه‌ها	پوششهای مناسب
– مصالح در دسترس از جنس سیمان، شن و ماسه، سیلت و رس باشد. – مصالح سنگی در احجام وابعاد مناسب در دسترس نبوده و تأمین آن پرهزینه است. – زمینه مناسب جهت رویش و رشد پوشش گیاهی وجود نداشته باشد. – تغییرات کناره جزئی و کوچک باشد. – از نظر زمان و هزینه محدودیت زیادی وجود دارد.	پوشش کیسه‌ای
– نیاز به حفاظت کناره رودخانه در نواری طولانی وجود دارد. – با حفاظت پایین یا بالای کناره رودخانه امکان پایدارسازی کناره وجود دارد. – زمینه رویش گیاه در حاشیه رودخانه وجود ندارد. – محدودیتهای زیست‌محیطی در محل طرح وجود دارد. – تأمین مصالح سنگی در احجام مناسب و با ابعاد کوچک وجود دارد. – شیب کناره زیاد باشد یا حفاظت از کناره‌های قائم رودخانه در بخش پائین آن مطرح باشد.	پوشش سنگ‌ریسه
– آب کم‌عمق باشد (کمتر از ۰/۵متر) و یا حفاظت رودخانه در ناحیه خشک مطرح باشد – شیب کناره ملایم تراز ۱/۵ :۱ باشد – لغزشها و ناپایداریهای گسترده سطحی در کناره ها وجود داشته باشد	روکش تورسنگی
– سطوح گسترده و با شیب متوسط تا زیاد در دامنه نیاز به حفاظت دارد. – حرکات و ناپایداریهای کناره ها محدود و کم باشد. – شیب در کناره رودخانه در نواحی بالا وپائین آن متفاوت باشد. – امکان دسترسی به مصالح خاک سیمان مناسب تر و کم هزینه تر باشد. – از نظر زمان محدودیت خاص اجرایی وجود نداشته باشد.	پوشش خاک سیمان
– مصالح سنگی در احجام و ابعاد مناسب برای خشکه‌چینی در دسترس نباشد. – تأمین سیمان یا قیر مقرون به صرفه باشد. – مصالح کناره نفوذپذیری کمی داشته باشد و زهکشی به داخل رودخانه چندان مطرح نباشد. – تغییرات کناره زیاد نباشد و ریخت‌شناسی نسبتاً پایدار باشد. – لغزشهای عمیق و سطحی شدید در کناره‌ها وجود نداشته باشد. – زمینه رویش گیاه و نیز محدودیت زیست‌محیطی خاصی وجود نداشته باشد.	سنگ‌چین با ملات

ادامه جدول ۵-۱- نقش مشخصات صحرایی منطقه طرح در انتخاب اولیه پوشش

برخی از مشخصات و مشاهدات صحرایی در محدوده‌های نیازمند به حفاظت در رودخانه‌ها	پوششهای مناسب
– از نظر هیدرولیکی مطلوب است که به مسیر شکل هندسی منظمی داده شود. – از نظر مسائل زیست‌محیطی محدودیتی وجود نداشته باشد. – سازه‌های با اهمیت زیاد در حاشیه رودخانه نیاز به حفاظت دارد و از نظر هزینه و زمان اجرای پروژه محدودیت شدیدی وجود نداشته باشد. – شرایط محیطی و شیمیایی خاصی در محل طرح حاکم باشد. – جابه‌جایی و ناپایداریهای توده‌ای دامنه بسیار کم و محدود باشد. – سرعت جریان زیاد و حاشیه رودخانه بسیار فرسایش‌پذیر باشد.	پوششهای بتنی (درجا ، پیش‌ساخته)
– پوشش گیاهی و جانداران کوچک در محل طرح وجود نداشته باشد. – ماشین‌آلات خاص تولید آسفالت، حمل و ریختن مخلوط داغ و تسطیح وجود داشته‌باشد. – از نظر چشم‌انداز و زیبایی مساله‌ای وجود نداشته باشد. – تأمین مصالح ماسه و قیر مقرون به صرفه‌تر از مصالح سنگی و بتن باشد. – نوع پوشش این رده با توجه به سرعت جریان و فشار آب منفذی محل طرح متفاوت می‌باشد.	پوشش آسفالتی (آسفالت ماسه‌ای ، آسفالت سنگی، آسفالت ماستیک، بتن آسفالتی، آسفالت سنگی متراکم)

– نقشه‌های توپوگرافی و عکسهای هوایی،
– اطلاعات مربوط به وقوع بلایایی طبیعی،و
– اطلاعات هیدروژئولوژی.

در فهرست مذکور، منطقی است که اطلاعات مورد نیاز را بر مبنای بررسی پروژه‌های دیگری که در گذشته در منطقه اجرا شده‌اند کسب نمود؛ در ضمن تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی (هرچند با مقیاس کوچک) و نیز عکسهای هوایی جدید از منطقه مطالعاتی (در صورت وجود) دارای اهمیت می‌باشد. اطلاعات ثبت شده مربوط به سابقه وقوع بلایای طبیعی مرتبط با رودخانه، بهترین داده‌ها برای شناخت نقاط ضعف خاک و خصوصیات زمین‌شناسی منطقه به حساب می‌آید[۳۲].

در مطالعات مقدماتی زمین‌شناسی، باید موارد زیر در نظر گرفته شده و پاسخ مناسبی برای آنها ارائه کرد[۶]:

– شناخت تاریخ زمین‌شناسی محل طرح یا به عبارت دیگر عوامل و حوادثی که به ایجاد وضعیت فعلی زمین‌شناسی محدوده طرح و اطراف آن منجر شده است،
– بررسی وضعیت چینه‌شناسی منطقه‌ای و چگونگی توزیع واحدهای سنگی عمده در منطقه،
– بررسی وضعیت زمین ریخت شناسی[1] ناحیه طرح در ارتباط با چینه شناسی منطقه‌ای و تاریخ زمین‌شناسی،
– بررسی وضعیت آبهای زیر زمینی در اطراف رودخانه،

1 - Geomorphology

- بررسی عوامل عمده از نظر زمین‌شناختی مانند: زمین لغزه‌ها و گسلها در محدوده طرح،و
- بررسی چگونگی توزیع و خصوصیات مکانیک خاک نهشته‌های آبرفتی[1] در محدوده طرح.

بدین ترتیب، در انتهای مطالعات مقدماتی، علاوه بر کسب یک شناخت کلی و عمومی از منطقه طرح و تعیین موقعیت سازه مورد نظر برای حفاظت کناره‌ها و بستر رودخانه، مجموعه‌ای از پرسشها در ارتباط با ویژگیها و مشخصات زمین در محل احداث هر یک از پوششهای رودخانه‌ای مورد نظر، مصالح مورد نیاز و لایه‌های زیرزمینی مطرح شده که پاسخ دقیق آنها در مطالعات مرحله توجیهی داده می‌شود.

۵-۲-۲ بازدید مقدماتی صحرایی[2]

در بازدید مقدماتی صحرایی، شرایط موجود محدوده مطالعاتی با توجه به نتایج بررسیهای مقدماتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمونه‌گیری و عمق پیمایی[3] نیز همزمان باید در این مرحله صورت گیرد. در مطالعات صحرایی، باید توجه لازم به عوارض مختلف مانند واریزه ها[4]، مخروط افکنه‌ها، زمین لغزشها، گسلها، زونهای خرد شده، تراسها، تپه‌های ماسه‌ای و مردابها صورت گرفته و همچنین مواردی مانند سنگ‌شناسی، ساختار زمین‌شناسی و آب زیرزمینی که در شناخت شرایط زمین‌شناسی و شناسایی خاک منطقه دارای اهمیت است مورد بررسی قرار گیرد.

هنگامی‌که یک پروژه در دست مطالعه و طراحی است، متغیرهای مختلفی مثل هزینه‌ها، روشهای اجرایی و امکانات موجود مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد، بنابراین گاهی دومین و سومین عملیات مجدد شناسایی صحرایی نیز لازم به نظر می‌رسد [۳۲].

در این مرحله از مطالعات، اقدامات عمده زیر صورت می‌گیرد[۶]:

- نمونه برداریهای دست خورده در سطح وسیع و بدون ضرورت حفظ فواصل یکنواخت،
- حفر گودالهای آزمایشی توسط بیل مکانیکی، بولدوزر یا تراکتورهای زراعی، و
- بررسیهای ژئوفیزیکی (لرزه‌ای یا مقاومت الکتریکی) به منظور درون‌یابی حفاریهای با فواصل زیاد.

۵-۲-۳ بررسیهای تفصیلی صحرایی[5]

در بررسیهای تفصیلی، آزمونهای صحرایی مختلفی مانند آزمونهای مقاومت باربری، آزمونهای نفوذپذیری و نیز آزمونهای آزمایشگاهی مانند آزمون برش و تحکیم به منظور کسب اطلاعات مورد نیاز به انجام می‌رسد. آزمایشهایی که در بررسیهای این مرحله به‌کار گرفته می‌شوند، به ترتیب از نظر دامنه کاربردشان محدودتر شده و بنابراین برای تصمیم گیری در خصوص روش تحقیق، تعداد بررسیها[6] و روش آماده سازی داده‌ها باید موضوع طرح به‌طور کامل مورد شناسایی قرار گیرد.

1 - Alluvial deposits
2 - Site reconnaissance
3 - Sounding
4 - Taluses
5 - Regular investigation
6 - Investigation frequency

در مورد انواع آزمونهای مورد نیاز، می‌توان با تعیین روش طراحی و محاسبات مرتبط با سازه مورد نظر، تصمیم‌گیری نمود. هیچ دستورالعمل استاندارد عمومی برای تصمیم‌گیری در مورد تکرار آزمایشها وجود ندارد و باید با قضاوت درست در مورد بسیاری از عوامل مانند پیچیدگی تغییرات توپوگرافی، پراکندگی مقادیر اندازه‌گیری شده، قابل اعتماد بودن روش تحلیل نتایج، اثر مقادیر اندازه‌گیری شده بر نتایج تحلیل و مواجه شدن با گسیختگیهای احتمالی سازه مورد نظر در مورد آن تصمیم‌گیری نمود[۳۲].

در این مرحله از مطالعات، اقدامات عمده زیر صورت می پذیرد[۶]:

- حفاریها و اخذ نمونه‌های دست خورده اضافی،
- حفاریها و اخذ نمونه‌های دست نخورده،
- آزمایشهای برش پره‌ای[1] در خاکهای رسی برای مقاصد خاص،
- آزمایشهای پمپاژ (ابتدا در مجاورت سازه‌ها)، و
- مشاهدات تراز آب زیر زمینی در محدوده شالوده و محلهای قرضه (با استفاده از پیزومتر).

در صورتیکه پوشش رودخانه‌ای مورد نظر، ابعاد کوچکی داشته باشد و یا تجربیات قبلی در محل طرح ناشی از پایداری شالوده و عدم وجود مشکلاتی همچون آب زیرزمینی باشد، حفاریهای وسیع و عمیق نیاز نبوده و با شناسایی سریع صحرایی مطابق با مطالعات مرحله قبل (بررسیهای مقدماتی) و مشاوره با افراد صاحب نظر در محل، هدف مطالعات دراین مرحله تأمین می‌گردد.

بدین ترتیب، به‌طور کلی مطالعات تفصیلی زمین‌شناسی شامل موارد ب و پ با هدف رسیدن به شناخت جامع‌تر و عمیق تر از وضعیت، زمین در محدوده طرح و به‌خصوص درمناطقی که در مرحله مطالعات مقدماتی به‌عنوان مناطق مسئله آفرین و مشکل‌زا شناخته شده‌اند، انجام می‌گیرد و ابزار اصلی این مرحله از مطالعات، حفر انواع گمانه‌ها و چاهکهای دستی و در صورت نیاز به شناسایی وضعیت آب زیرزمینی مطالعات صحرایی ژئوفیزیک است .

بررسیهای مقدماتی فقط از طریق حفاریهای محدود و اخذ نمونه‌های دست خورده و گودالهای حفر شده بوسیله بیل مکانیکی، بولدوزر، تراکتورهای کشاورزی و غیره انجام می‌گیرد و نمونه گیریهای کامل‌تر شامل اخذ نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده، گمانه زنی با اعماق و فواصل مناسب و انجام آزمونهای برجا و آزمایشگاهی ژئوتکنیک مکانیک خاک بنا به ضرورت و با توجه به موقعیت طرح و نوع ویژگیهای پوشش مورد نظر در مرحله بررسیهای نهایی صحرایی (مرحله تفصیلی کاوشهای زیر سطحی) به انجام می‌رسد[۱].

۵-۲-۴ *بررسیهای ژئوفیزیکی*

کاوشهای ژئوفیزیکی می‌تواند به منظور بدست آوردن داده‌های زیرزمینی در یک ناحیه وسیع و با هزینه معقول بخشی از بررسیهای صحرایی باشد. داده‌های بدست آمده از این کاوشها ممکن است سبب حذف گزینه‌های نامناسب و تعیین موقعیت گمانه‌های اکتشافی در نواحی حساس شود و از تکرار حفاریهای غیر ضروری در زمینهای نسبتاً یکنواخت جلوگیری کند.

---

1 - Vane shear test

از میان روشهای ژئوفیزیکی، روشهایی را که می‌توان در پروژه‌های مهندسی رودخانه به منظور شناسایی نواحی ناپایدار حاشیه رودخانه‌ها مورد استفاده قرارداد، عبارتند از[۷]:

- روش لرزه‌ای بازتابی[1]: این برداشتها داده‌های قاطعی در مورد موقعیت و نوع گسلها و بسترهای رودخانه‌های مدفون را فراهم می‌کند.
- روش لرزه‌ای شکست مرزی[2]: برداشتهای لرزه‌ای شکست مرزی در بسیاری از کاوشهای ژئوتکنیکی به کار رفته است.
- روش نیمرخ برداری الکتریکی[3]: این روش برای تهیه نقشه گسترش جانبی نهشته‌های ماسه و شن، تهیه نقشه گسترش جانبی مواد آلوده کننده و در مطالعات اکتشافی گسلها به‌کار می‌رود.
- روش گمانه زنی الکتریکی[4]: این روش برای پیگیری آبخوان در مطالعات آب زیرزمینی مناسب است.

روشهای دیگر ژئوفیزیکی از قبیل روش مغناطیس سنجی[5] و گران سنجی[6] برای این نوع مطالعات توصیه نمی‌شود.

۵-۲-۵ حفاریهای اکتشافی

برای دستیابی به داده‌های مورد نیاز زمین‌شناسی زیر سطحی در اعماق مختلف زمین، از انواع روشهای گمانه زنی و حفاری استفاده می‌شود که با توجه به شرایط طرح و زمین، روش مناسب در هر مورد انتخاب می‌شود[۷]. فاصله گمانه‌ها و چاهکها در مرحله مقدماتی، بر اساس مطالعه عکسهای هوایی و شرایط زمین‌شناسی در مرحله مطالعات مقدماتی یا بر اساس تجربیات قبلی در منطقه و نیز نوع و اهمیت پوشش تعیین می‌گردد [۶]. چنانچه زمینهای حاشیه رودخانه نسبتاً مسطح و یکنواخت باشد، برای بررسی زیر سطحی، حفر چند گمانه کافی خواهد بود. معمولاً برای کاوشهای مرحله توجیهی، فاصله گمانه‌ها حدود ۱ کیلومتر و برای طراحی تشریحی حداکثر ۰/۵کیلومتر کافی است. گمانه‌ها و چاهکهای با فواصل کمتر، وقتی مورد نیاز است که شرایط زیر سطحی متغیر باشد. در مناطق ناپایدار و حساس، زمین لغزشها، مناطق خرد شده و گسلیده، مناطق پوششی (مواد واریزه‌ای، واریزه‌های دامنه‌ای، خاکهای برجا) و غیره برای رسیدن به اهداف طراحی، گمانه‌های اکتشافی مورد نیاز در این مناطق، ممکن است بسیار متغیر باشد. درمناطقی که گودبرداری یا خاکریزی سنگین صورت می‌گیرد، باید حداقل ۲ گمانه در طول مسیر، حفاری گردد که فاصله اولیه گمانه‌ها در راستای محل احداث پوششها بین ۵۰ تا ۳۰۰ متر و برای مناطق با حساسیت بیشتر کمتر از این مقدار اختیار می‌گردد.

گمانه معمولاً در امتداد خط محور محل استقرار پوشش حفر می‌شوند اما بر حسب شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی و شرایط زیر سطحی، ممکن است خارج از راستای پوشش نیز مورد نیاز باشد.

در طرحهای پوششهای رودخانه‌ای، گمانه‌ها و چاهکها باید همیشه به مقدار کافی عمیق باشد تا اطلاعات لازم از شرایط زیر سطحی محل فراهم آید. در جایی که به خاک سست یا نفوذپذیر برخورد شود، عمق گمانه‌ها باید به قدر کافی زیاد باشد تا

1 - Seismic reflection
2 - Seismic refraction method
3 - Electrical Resistivity Profiling Surveys
4 - Electrical Resistivity Sounding
5 - Magnetometry
6 - Gravimetry

امکان بررسی شرایط موجود خاک و بررسی شرایط تراوش و زهکشی آب فراهم گردد. ولی آنچه مشخص است، عمق گمانه‌ها در طرحهای احداث پوششهای رودخانه‌ای باتوجه به ابعاد این نوع سازه‌ها و ویژگیهای آن، عموماً کمتر از سایر سازه‌ها و شالوده‌ها می‌باشد. در مواردی که امکان دسترسی به نقاط مورد اکتشاف با گمانه‌های قائم وجود ندارد می‌توان از گمانه‌های مایل استفاده نمود[۷].

چاهک که معمولاً به چاههایی با قطر نسبتاً بزرگ گفته می‌شود و بوسیله ابزار دستی مانند بیل و کلنگ و یا وسایل مکانیکی حفر می‌شوند، در طرحهای احداث پوششهای رودخانه‌ای از کاربرد و اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. از ویژگیهای این نوع چاهها، امکان مشاهده عینی شرایط طبیعی لایه‌های زمین است. چاهکها اغلب عمقی کم و محدود دارند. حفر چاهک عمدتاً به منظور بررسی و مطالعه قشرهای با اجزای ناپیوسته (آبرفت، خاک برجا، واریزه و غیره) توصیه می شود[۷]. با توجه به دشوار بودن حفاری با ماشین و حفر گمانه در برخی نواحی حاشیه رودخانه‌ها و نواحی مورد نظر برای احداث پوششها، چاهکها از کارایی مناسبی برخوردار می‌باشد.

۵-۲-۶ ثبت داده‌ها و آزمایشهای صحرایی و آزمایشگاهی

تهیه نمودار گمانه‌ها و چاهکها، و ثبت داده‌هایی از قبیل عمق، ستون چینه شناسی، زمین‌شناسی و مشخصات خاک ضروری بوده و تشریح نظری خاک با توجه به رنگ، بافت، سنگ شناسی، مقاومت و وجود مواردی مانند املاح محلول و مواد آلی و غیره صورت می پذیرد. برای ثبت مشخصات گمانه‌ها و چاهکها فرمهای پیشنهادی مختلفی در برخی مراجع وجود دارد که می‌توان از آنها استفاده نمود. نمونه‌ای از فرم پیشنهادی برای ثبت مشخصات گمانه در نمودار ۵-۲ ارائه شده است.

با توجه به مشخصات محلی و نوع پوشش مورد استفاده ، انجام برخی آزمایشهای صحرایی و آزمایش‌گاهی به منظور شناسایی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک لازم به نظر می‌رسد.

آزمایشهای برجا که ممکن است در این نوع طرحها مورد استفاده قرار گیرد عبارتند از:

- آزمایش نفوذ استاندارد،
- آزمایش برش پره‌ای در خاکهای ریزدانه و رسی،
- آزمایش تراوایی،
- اندازه‌گیری سطح ایستابی با پیزومتر،
- آزمایش چگالی صحرایی، و
- آزمایش نفوذ استاتیکی.

شماره گمانه	پروژه:	ساختگاه:	
	کارفرما	پیمانکار	مشاور:
مختصات:	Z=	Y =	X =
سطح آب زیرزمینی	عمق	متر	ترازاز سطح دریا	متر
سنگ کف	عمق	متر	ترازازسطح دریا متر	
حداقل قطرگمانه	طول و قطر لوله جداری		
عمق گمانه:	آزیموت:	انحراف از قائم:	
نوع دستگاه حفاری:	تاریخ شروع:	تاریخ خاتمه:	

تهیه		
ترسیم		
کنترل		

نمودار ۵-۲- فرم پیشنهادی ثبت مشخصات گمانه [۳]

برای تکمیل اطلاعات صحرایی و ارزیابی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک، باید به نمونه‌گیری و انجام آزمایشهای آزمایش‌گاهی اقدام نمود. از جمله این آزمایشها می‌توان موارد زیر را عنوان نمود:

- رطوبت طبیعی خاک،
- طبقه‌بندی خاک (دانه‌بندی و هیدرومتری)،
- حدود آتربرگ،
- تخلخل خاک،
- تعیین وزن مخصوص ظاهری و حقیقی،
- آزمایش برش مستقیم،
- تعیین نفوذپذیری خاک،
- آزمایش تراکم (به روش ساده و یا اصلاح شده)، و
- آزمایش تحکیم.

از آنجایی که برخی از آزمایشهای صحرایی و آزمایش‌گاهی بسیار پرهزینه است، بنابراین برنامه آزمایشها (عموماً شامل تعیین درصد رطوبت، طبقه‌بندی و شناسایی برای اکثر نمونه‌ها، و انجام سایر آزمایشها از قبیل آزمایشهای ضربه و نفوذ استاندارد، برش پره‌ای، تراکم، برش مستقیم و غیره فقط برای نمونه‌های شاخص از خاک با توجه به شرایط محل اجرا و نوع پوشش) انتخابی است.

بدین ترتیب، برای خاکهای نفوذپذیر و نواحی که وجود جریان آب زیرزمینی مطرح است و به‌عبارت دیگر، نواحی مناسب برای احداث پوششهای سنگریز، توری سنگ و پوششهای کیسه‌ای، علاوه بر آزمایشهایی مانند طبقه‌بندی خاک و تعیین چگالی بر جا و رطوبت، آزمایش نفوذپذیری و مقاومت برشی (برحسب نیاز) به انجام می‌رسد. به همین ترتیب، برای خاکهای ریزدانه چسبنده و برخی نواحی از سیلابدشت رودخانه‌ها، آزمایشهای تحکیم وبرش پره‌ای را می‌توان مورد استفاده قرار داد حال آنکه برخی از آزمایشها مانند نفوذپذیری و تراوش نیاز نخواهد بود.

برای نواحی که در آن خاک‌برداری صورت می‌گیرد و یا اصلاح شیب کناره‌ها مطرح می‌باشد، ممکن است انجام آزمایش برش مستقیم یا سایر آزمایشهای مقاومتی خاک، به منظور استخراج عوامل مکانیکی خاک از قبیل ϕ,C مورد نیاز باشد.

بدین ترتیب با توجه به نیازهای طرح و از جمله ویژگیهای محل احداث پوشش، ابعاد، نوع و مشخصات آن، آزمایشهای صحرایی و آزمایش‌گاهی متفاوتی از میان آزمایشهای گفته شده در بالا به انجام می‌رسد.

۳-۵ مطالعات هیدرولوژی

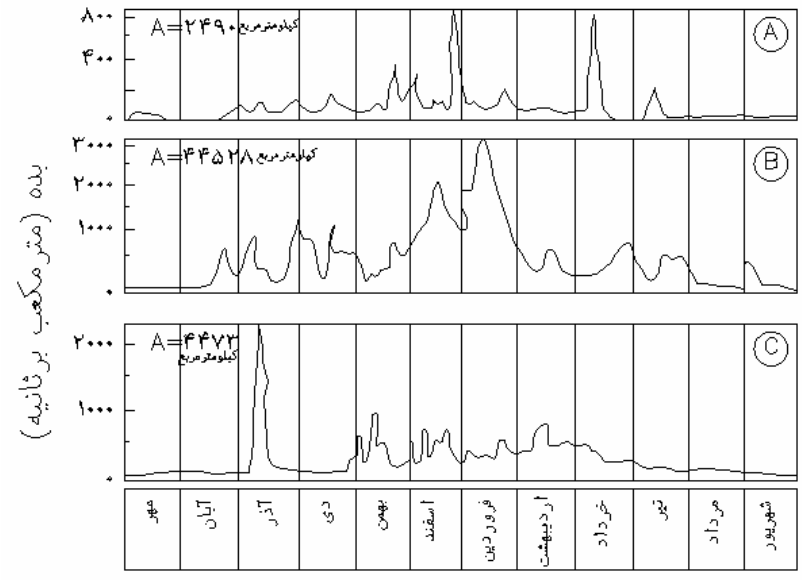
در طراحی پوششهای حفاظتی، عوامل مختلف هیدرولوژی تأثیرگذار می‌باشند. وقوع سیلابها، تغییرات تراز آب، فرسایش و کف‌کنی بستر، تنشهای هیدرولیکی وارده بر سازه‌های حفاظتی و موارد متعدد دیگر از جمله پیامدهای رفتار هیدرولوژیکی رودخانه‌ها تلقی می‌شوند. از نظر تأثیرپذیری پایداری و ساختار سازه‌های حفاظتی از عوامل مزبور لازم است در بررسیهای

کارشناسی بخشی از مطالعات به شناخت عوامل هیدرولوژیک اختصاص داده شود. گامهای اصلی در مطالعه هیدرولوژی پوششها را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

- تعیین رژیم جریان رودخانه،
- تعیین دوره جریانهای کم آبی و پرآبی[1]،
- تعیین مقادیر سیلابها با دوره برگشتهای مختلف، و
- تعیین ویژگی رگبارها و منحنیهای (شدت، مدت، دوره برگشت)[2] (IDF)

نظام آبدهی یا رژیم جریان رودخانه، مشخص کننده چگونگی توزیع میزان آبدهی در روزهای مختلف سال است. رژیم جریان ممکن است در اثر اجرای طرحهای بهره‌برداری و کنترل آب رودخانه مانند احداث سد و تاسیسات آبگیری و انحراف آب دچار دگرگونی شود. علاوه بر این رودخانه‌های مختلف به تبعیت از شرایط حوضه‌ای و آب و هوایی دارای رژیم جریان گوناگونی می‌باشند.

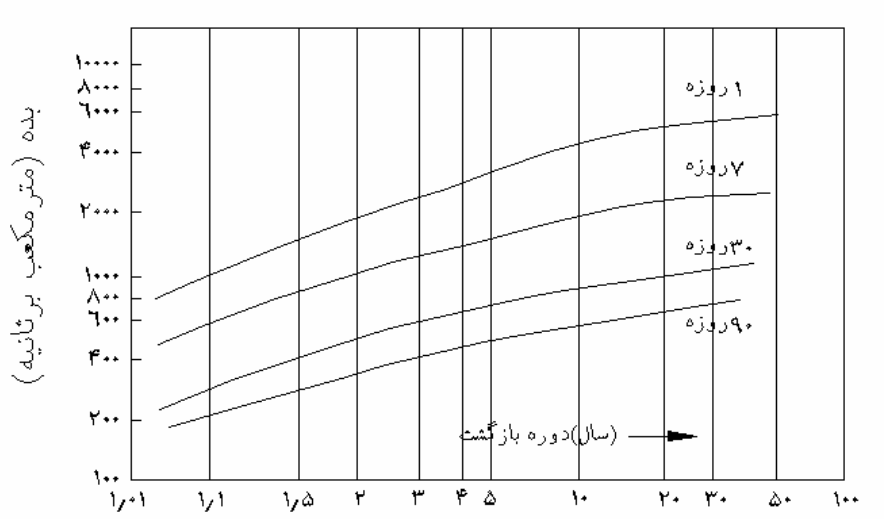
از جمله شاخصهای مناسب برای تعیین رژیم جریان رودخانه، بررسی آبنمود[3] جریان سالانه است. این آبنمود روند تغییرات آبدهی رودخانه را برای ماههای مختلف سال مشخص می‌نماید. شکل ۵-۱ آبنمود جریان سالیانه را برای سه مورد از رودخانه‌های متفاوت به نمایش می‌گذارد[۲۸]. بررسی شکل ۵-۱ تفاوت آشکار رودخانه‌های مختلف را از نظر رژیم آبدهی و چگونگی توزیع زمانی جریان سالیانه به خوبی آشکار می‌نماید.



شکل ۵-۱- مواردی از رژیم جریان برای چند رودخانه متفاوت

1 - High and Low Flow periods
2 - Internsity Duration Frequency Curves
3 - Hydrograph

در مواردی برای آگاهی از ویژگیهای رژیم جریان رودخانه‌ها، لازم است دوره‌های پرآبی و کم آبی با تداوم زمانی مختلف مورد بررسی و تحلیل آماری قرار گیرند. شکل ۵-۲ نمودار توزیع فراوانی جریانهای دوره پرآبی را به نمایش می‌گذارد. جزییات بیشتر در خصوص تحلیل جریانهای مزبور را می‌توان در منابعی مانند[۱۸] ، [۲۸] و [۴۱] دنبال نمود.



شکل ۵-۲- نمونه‌ای از سری منحنیهای پرآبی با تداوم تا ۹۰ روزه [۴۱]

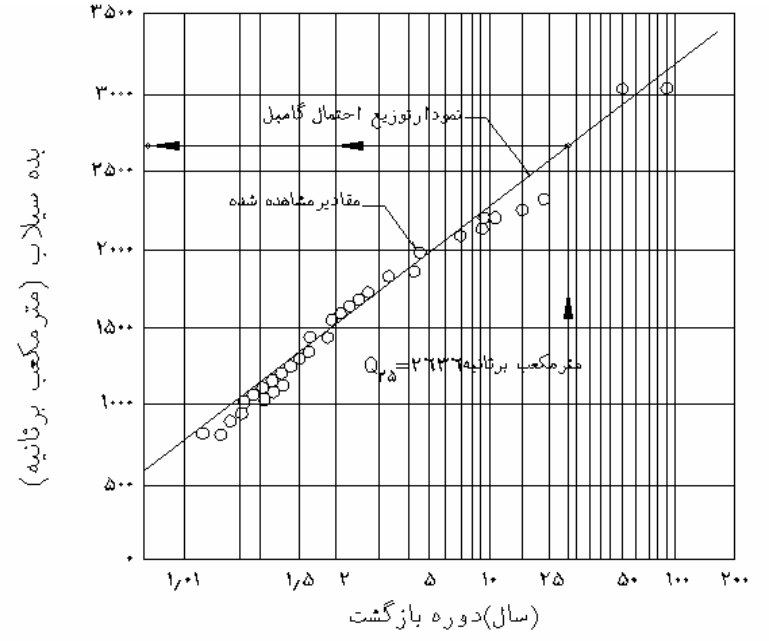
شناخت تداوم دوره کم آبی و پرآبی، برای بررسی پایداری سازه و تعیین زمانهای مناسب به منظور اجرای پروژه و انجام اقدامات مرمت و بازسازی، کاربرد دارد.

تعیین مقادیر سیلابها با دوره برگشتهای مختلف، از دیگر موارد کارشناسی است که در طراحی پوششهای حفاظتی مطرح می‌باشد. مقدار سیلاب، به تبعیت از دوره بازگشت تغییر می‌کند. از این رو در فرایند طراحی، برای تعیین مشخصات سازه و ارزیابی پایداری آن در مقابل تنشهای حاصله از وقوع سیلاب، ناگزیر از انتخاب سیل با دوره بازگشت مشخصی می‌باشیم.

رابطه کلی برای تعیین سیلاب با دوره برگشت بصورت زیر است [۱۳]:

$$Q_{max} = \overline{Q} + KS$$

سالیانه مشاهده شده، k= ضریب فراوانی که مقدار آن تابع دوره بازگشت است، S= انحراف معیار نظیر سری آماری سالیانه سیلابها می‌باشد. برای تعیین مقدارk روشهای مختلفی وجود دارد که از جمله می‌توان روش گامبل و روش پیرسون تیپ III را نام برد. در شکل ۵-۳ نمونه‌ای از نمودار توزیع سیلاب را بر حسب دوره بازگشت که با استفاده از روش گامبل تهیه شده نشان می‌دهد. جزییات بیشتر در خصوص تعیین مقادیر Q_{max} را می‌توان در کتابهای هیدرولوژی و از جمله مرجع [۱۸] و [۲۸] و [۴۱] جستجو کرد.



شکل ۵-۳- نمونه‌ای از نمودار مقدار سیلاب بر حسب دوره بازگشت به روش گامبل

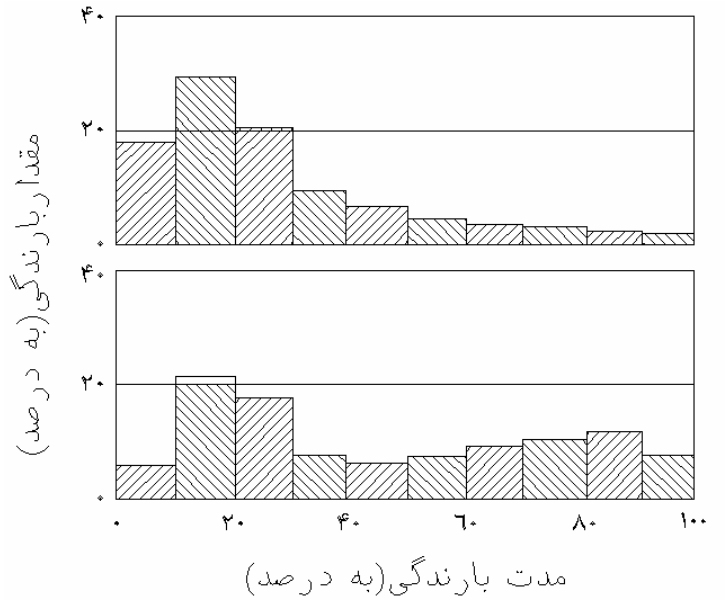
در مواردی که محدوده پروژه بدون ایستگاه آب‌سنجی بوده و داده‌های آماری سیلابها موجود نباشد، لازم است مقدار سیلاب، با استفاده از نتایج ایستگاههای آب سنجی مجاور یا بهره‌گیری از روشهای مناسب هیدرولوژیک تعیین گردد. در این خصوص روشهای مختلفی مانند تحلیل منطقه‌ای سیلابها[1]، استفاده از آبنمود واحد[2]، روش روند یابی سیلاب، مدلهای هیدرولوژیک[3] و معادلات تجربی را می‌توان نام برد. این روشها بطور مبسوط در منابع هیدرولوژی از جمله مرجع[۱۸] و [۲۸] و [۴۱] ارائه شده است.

علاوه بر شدت سیلابها تعیین شدت رگبارها و چگونگی توزیع زمانی آن برای ارزیابیهای هیدرولوژیک ضروری است. در اغلب موارد، با استفاده از الگوی توزیع بارندگی، امکان تعیین سیلاب حاصله از بارندگی میسر می‌باشد. در شکل ۵-۴ نمونه‌ای از نمودار توزیع بارندگی بر حسب زمان (هیتوگرام رگبار[4]) نشان داده شده است. این‌گونه نمودارها، با استفاده از داده‌های باران‌سنج ثابت برای هر منطقه قابل استنتاج می‌باشد.

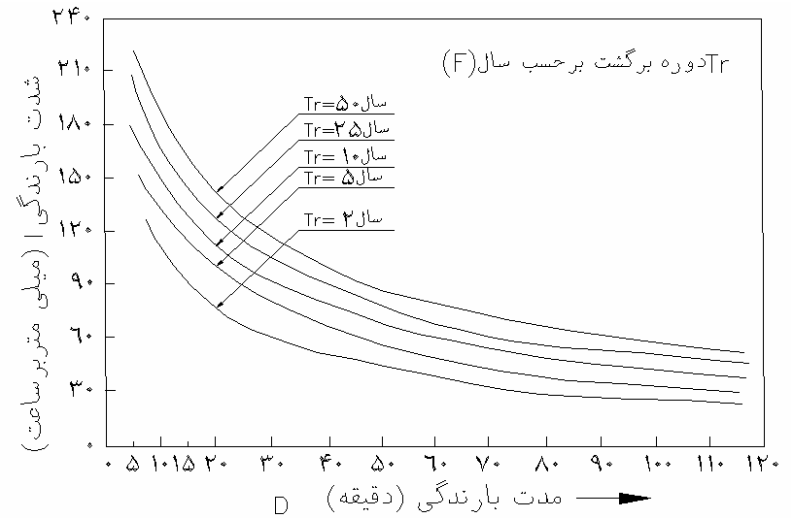
تعیین منحنیهای شدت – مدت – فراوانی (IDF) رگبارها، از دیگر مواردی است که برای انجام بررسیهای هیدرولوژیک مورد نیاز می‌باشد. منحنیهای IDF برای تعیین بده حداکثر (Q_{max}) با دوره بازگشتهای مختلف، و همچنین میزان

1 - Regional flood frequency analysis
2 - Unit hydrograph method
3 - Hydrologic modeling
4 - Rainfall hyetogram

فرسایش‌پذیری خاک و ارزیابی مقادیر آب مورد زهکشی در اطراف سازه‌های حفاظتی طراحی شده کاربرد دارد. در شکل ۵-۵ نمونه‌ای از دسته منحنیهای IDF نشان داده شده است [۴۱].



شکل ۵- ۴- نمونه‌ای از چگونگی توزیع بارندگی بر حسب زمان (هیتوگرام)



شکل ۵-۵- نمونه‌ای از دسته منحنیهای شدت – مدت – فراوانی (IDF) در یک ایستگاه باران‌سنجی

۵-۴ مطالعات هیدرولیک جریان

از جمله عوامل مؤثر در انتخاب نوع، طراحی، ساخت و نگهداری پوششها، شرایط هیدرولیکی رودخانه است. برای مثال، عواملی مانند عمق، سرعت جریان آب و وضعیت فرسایش و رسوب، در انتخاب نوع پوشش و روش اجرای آن بسیار تأثیرگذار است. همچنین در طراحی و تعیین ابعاد و اندازه‌های پوششها، معمولاً سرعت جریان و نیروی رانشی باید محاسبه گردد. رقوم سطح آب در سیلابهای با دوره برگشت مختلف که از تحلیل هیدرولیکی رودخانه بدست می‌آید، در تعیین تراز ارتفاعی محدوده‌های از کناره که باید حفاظت شود، تعیین کننده می‌باشد [۱۶].

مطالعات هیدرولیک، معمولاً شامل ارزیابی مشخصه‌های جریان مانند عمق آب، سرعت متوسط، سرعت در کف و کناره‌ها، وضعیت امواج و تلاطم جریان می‌باشد. برخی از اطلاعات لازم برای مطالعات هیدرولیک از مشاهدات صحرایی و ایستگاههای هیدرومتری قابل دریافت است در حالیکه برخی دیگر باید محاسبه شوند[۱۹].

هر یک از انواع پوششهایی که در این مجموعه معرفی شده‌اند در شرایط هیدرولیکی خاصی کاربرد دارند که در قسمتهای مربوط به معرفی انواع پوششها به آن اشاره شده است. تقسیم‌بندی شرایط بارگذاری هیدرولیکی رودخانه (جریان، موج) کارشناسان را در انتخاب نوع پوشش کمک می‌کند. در جدول ۵-۲ یک تقسیم‌بندی ساده از بارگذاری هیدرولیکی رودخانه برای حالتهای مختلف سرعت جریان و ارتفاع امواج نشان داده شده است. در جدول ۵-۳ امکان کاربرد هر یک از انواع پوششها در شرایط مختلف هیدرولیکی نشان داده شده است.

لازم به یادآوری است که انتخاب نوع پوشش، متاثر از عوامل مختلف از جمله مشخصات جریان، دسترسی به مصالح، سهولتهای اجرایی و مقایسه اقتصادی است. جدول بالا، فقط اثر شرایط هیدرولیکی در انتخاب نوع پوشش را نشان می‌دهد.

جدول ۵- ۲- دسته‌بندی شرایط بارگذاری هیدرولیکی رودخانه [۱۹]

عنوان	وضعیت هیدرولیکی	
	H ارتفاع موج (متر)	V سرعت متوسط (متر بر ثانیه)
ضعیف	۰/۱۵ و کمتر	۱
متوسط	۰/۵ و کمتر	۱ – ۲/۵
سنگین	۱ و کمتر	۲/۵ – ۴
خیلی سنگین	بزرگتر از ۱	۴ – ۷
تلاطم زیاد	پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی، در پیچهای تند و پایه پلها	

جدول ۵- ۳- امکان استفاده از پوششهای مختلف در هر یک از شرایط هیدرولیکی [۱۹]

شرایط هیدرولیکی	نوع پوشش								
	بتن	پوشش قیری	بلوک بتنی به‌هم‌بافته	بلوک بتنی آزاد	تورسنگ	سنگ‌چین با ملات	سنگ‌چین منظم دستی	سنگریز	پوشش گیاهی
ضعیف	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
متوسط	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
سنگین	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×
خیلی سنگین	✓	✓	✓	×	✓	✓	×	✓	×
تلاطم زیاد	✓	✓	✓		✓	✓		✓	

✓ = مناسب × = نامناسب

۵-۴-۱ *تحلیل هیدرولیکی جریان*

انتخاب شیوه تحلیل هیدرولیکی رودخانه، بر عهده کارشناس هیدرولیک است تا با توجه به شرایط و نیازهای خاص طرح، بهترین شیوه را انتخاب نماید. برای مثال در بسیاری از پروژه‌ها، تحلیل یک بعدی جریان یکنواخت، با در نظر گرفتن شکل هندسی ثابت برای رودخانه کفایت می‌کند، در حالیکه در برخی موارد ممکن است به تحلیل جریان غیر دائمی، در نظر گرفتن تغییرات هندسی رودخانه و یا تحلیل دو بعدی جریان نیاز باشد.

در تحلیل یک بعدی جریان، یک جهت اصلی انتخاب می‌شود (که همان جهت جریان رودخانه است) و از بررسی تغییرات مقادیر عوامل مختلف در جهت عمود بر جریان صرف‌نظر می‌گردد.

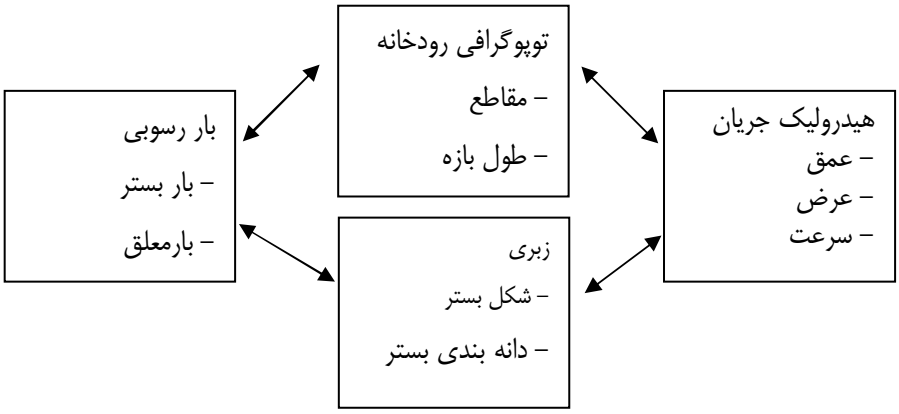
برای تصمیم‌گیری در مورد تحلیل یک بعدی جریان، باید به این سوال پاسخ داده شود که آیا تغییرات برخی از عوامل جریان در جهتهای دیگر به جز جهت جریان، مورد نیاز می‌باشد؟

طبیعی است که در تحلیل یک بعدی جریان، محدودیتهایی وجود دارد که در مواردی که بررسی تغییرات در مقاطع عمود بر جریان ضرورت دارد، با مشکل مواجه می‌گردد. برای مثال، در خم رودخانه‌ها، جریان در یک سمت رودخانه از سرعت و قدرت فرسایش بیشتری برخوردار است و رقوم سطح آب در مقطع ثابت نیست ولی این موارد در تحلیل یک بعدی جریان دیده نمی‌شود.

اگرچه هنوز قواعد صریح و دقیقی برای انتخاب روش تحلیل هیدرولیکی رودخانه تدوین نشده است، ولی به عنوان یک قاعده اولیه، در بازه‌ای از رودخانه که طول بازه در حدود ۲۰ برابر عرض آن باشد، اگر جریانهای داخل مقطع و تغییرات سطح آب در مقطع اهمیت نداشته باشد، تحلیل یک بعدی جریان کفایت می‌کند[۳۸].

برای تعیین روش مطالعات هیدرولیک جریان، باید برخی از ویژگیهای رودخانه مانند وضعیت و نوع جریان بررسی شود. برای مثال باید مشخص شود که جریان دائمی برای تحلیل کفایت می‌کند یا باید از هیدروگراف جریان و تحلیل غیر دائمی استفاده شود. همچنین در جریانهای زیر بحرانی و فوق بحرانی، نقاط کنترل متفاوت است. یکی دیگر از مواردی که بر روش بررسی هیدرولیک جریان مؤثر است، وضعیت بستر می‌باشد. بررسی جریان در بستر متغیر با جریان در یک بستر ثابت متفاوت می‌باشد. بنابراین در صورتی که تغییر بستر کم باشد یا در بازه زمانی خاصی قابل صرف نظر باشد، می‌توان شرایط مرزی رودخانه را ثابت فرض کرد. در غیر این‌صورت، باید تغییرات بستر و انتقال رسوب و فرسایش را در هنگام تحلیل هیدرولیکی جریان در نظر گرفت. اضافه کردن شرایط متغیر بستر، حجم عملیات محاسباتی برای تحلیل شرایط هیدرولیکی رودخانه را افزایش می‌دهد در این صورت، انتقال رسوب، زبری بستر، ضخامت لایه فرسایش پذیر و تخلخل بستر برخی از مواردی هستند که در تحلیل جریان رودخانه باید مورد بررسی قرار گیرند. عمده ترین تفاوت در محاسبات هیدرولیک در این شرایط، این است که شکل مقاطع و مقدار ضریب زبری در هنگام تحلیل هیدرولیکی رودخانه ثابت نبوده و تابعی از شرایط جریان است؛ به این ترتیب، یک چرخه محاسباتی به صورتی که در شکل ۵-۶ نشان داده شده تشکیل می‌شود[۳۸].

یکی از مواردی که بر روش انجام مطالعات هیدرولیک اثر می‌گذارد، اطلاعات مورد نیاز برای هر یک از مرحله های مطالعاتی است که از نظر حجم دقت اطلاعات، متفاوت می‌باشد. مهندس هیدرولیک، باید بتواند برای هر مرحله با توجه به شرایط میزان اطلاعات مورد نیاز، روش تحلیل و برنامه مطالعات هیدرولیک را تعیین کند.



شکل ۵-۶- چرخه محاسباتی در تحلیل هیدرولیکی رودخانه با بستر فرسایش‌پذیر

۵-۴-۲ روشهای مطالعات هیدرولیک رودخانه

الف - مشاهدات صحرایی و جمع‌آوری اطلاعات

تهیه و تحلیل اطلاعات صحرایی علاوه بر اینکه در روشهای دیگر مطالعات هیدرولیک رودخانه کاربرد دارد، به تنهایی نیز می‌تواند برای شناخت شرایط هیدرولیکی رودخانه استفاده شود. اطلاعات حاصل از مشاهدات صحرایی مانند داغ آبها و ایستگاههای هیدرومتری، علاوه بر اینکه در به‌کارگیری و واسنجی روشهای عددی و فیزیکی مطالعات هیدرولیک رودخانه ضروری است با تحلیلهای ساده و قضاوت کارشناسی در پیش‌بینی رفتار رودخانه بسیار مفید می‌باشد [۳۸].

ب - مدلهای تحلیلی

راه‌حلهای تحلیلی، آنهایی هستند که پاسخها از طریق به‌کارگیری روابط ریاضی بدست می‌آیند. در این روشها پدیده‌های پیچیده به کمک ضرایبی که از روشهای تجربی به‌دست آمده‌اند، ساده سازی می‌شوند. این روشها در صورت افزایش پیچیدگیهای هندسی مقاطع و دقت مورد نیاز پاسخها، معمولاً کارایی خوبی ندارند [۳۸] . نمونه‌ای از این روش، معادله مانینگ و روش گام‌به‌گام است.

ج - مدلهای فیزیکی

مدلهای فیزیکی در چند دهه گذشته، برای تحلیل شرایط هیدرولیکی رودخانه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مدل فیزیکی باید از نظر مشخصات هندسی و جریان، شبیه رودخانه مورد بررسی باشد با این تفاوت که اندازه‌های آن بسیار کوچک‌تر است. از مزایای مدلهای فیزیکی این است که این مدلها می توانند شرایط پیچیده جریان چند بعدی را به دقت شبیه سازی کنند. ولی در کنار آن، هزینه این گونه مدلها نسبتاً بالا بوده وآماده سازی و استفاده از آن به وقت زیادی نیاز دارد [۳۸].

د - مدلهای عددی یا ریاضی

مدلهای عددی، روشهای محاسباتی مانند سعی و خطا را برای حل روابط ریاضی با کمک کامپیوتر به‌کار می‌گیرند. در مدلهای عددی، برای مطالعات هیدرولیک معمولاً از روشهای المانهای محدود و تفاضلهای محدود استفاده می‌شود. مدلها، نتایج دقیق تر و کامل‌تری نسبت به روشهای تحلیلی ارائه می‌دهند و با توجه به هزینه نسبتاً کم آنها و سهولت استفاده تنوع این‌گونه مدلها و کاربرد آنها در تحلیل شرایط هیدرولیکی رودخانه به‌سرعت گسترش یافته است [۳۸].

۵-۴-۳ اطلاعات مورد نیاز در مطالعات هیدرولیک

در مطالعات هیدرولیکی رودخانه برای انتخاب و طراحی پوششها، معمولاً دو دسته از اطلاعات به شرح زیر مورد نیاز می‌باشند:

- شرایط جریان

هر طرحی معمولاً برای یک بده خاص طراحی می‌شود، هر چند که باید برای محدوده‌ای از جریانهای محتمل به صورت ایمن عمل کند. اگرچه تا کنون دستورالعمل کاملاً صریح و روشنی در مورد بده طراحی پوششها ارائه نشده ولی معمولاً سیلابهایی با دوره بازگشت چند ساله تا چند ده ساله بسته به مورد، به‌عنوان بده طرح انتخاب می‌شود. برای مثال، اگر حفاظت برای یک

طرح مهار سیلاب مد نظر باشد، معمولاً تا رقوم بالای گوره‌ها حفاظت می‌شود [۱۹]. اطلاعات مربوط به بده، دوره بازگشت، سرعت و عمق جریان، معمولاً از ایستگاههای هیدرومتری برداشت شده و یا بر اساس روشهای هیدرولوژیکی، مطالعه سیلابهای گذشته و مصاحبه با اهالی حاشیه رودخانه به‌دست می‌آیند [۳۸].

همچنین ممکن است تحلیل جریان دائمی برای یک طرح خاص کفایت نکند و استفاده از هیدروگرافهای جریان برای تحلیل غیر دائمی جریان رودخانه ضرورت داشته باشد. شرایط مرزی که در تحلیل غیر دائمی جریان استفاده می‌شود، معمولاً هیدروگراف جریان و هیدروگراف تراز آب است در حالی‌که در تحلیل دائمی جریان رودخانه از یک بده به‌عنوان بده طراحی و سطح آب متناظر آن در یک مقطع کنترل (ثبت شده در ایستگاههای هیدرومتری) استفاده می‌شود.

در صورتی که تحلیل جریان در یک بستر متغیر مد نظر باشد، علاوه بر اطلاعات مربوط به بده جریان، اطلاعات مربوط به رسوب و جنس بستر نیز مورد نیاز می‌باشد. باید از بستر و کناره‌ها نمونه‌برداری انجام شود و دانه‌بندی آنها در آزمایشگاه تعیین گردد. در ضمن اطلاعات مربوط به بده رسوب ورودی به بازه مورد مطالعه متناظر با بده‌های مختلف جریان رودخانه و دانه‌بندی آن مورد نیاز می‌باشد.

- هندسه رودخانه

برای هر گونه تحلیل هیدرولیکی رودخانه، هندسه رودخانه مورد نیاز است که شامل توپوگرافی بستر و دشت سیلاب‌گیر، مقاطع عرضی و طولی رودخانه و اطلاعات مربوط به سازه‌های احداث شده در مسیر رودخانه مانند پلها، بسترسازی، کف‌بندها، آبشکنها و غیره می‌باشد. مقاطع عرضی رودخانه هر چه نزدیک‌تر به هم انتخاب شود دقت مطالعات بیشتر می‌شود [۳۸].

۵-۴-۴ واسنجی مدلهای هیدرولیکی

درستی نتایج حاصل از مدلهای هیدرولیکی (فیزیکی و ریاضی)، به توانایی و تجربه کارشناس هیدرولیک، کارایی مدل برای شرایط فیزیکی و کیفیت و کمیت اطلاعات در دسترس وابسته می‌باشد.

هدف از واسنجی مدلهای هیدرولیکی، نزدیک کردن و انطباق خروجیهای مدل با اطلاعات مشاهده شده (معمولاً تراز آب و سرعت جریان) می‌باشد. این فرایند، با تغییر در یک یا چند عامل مانند ضریب مانینگ تا رسیدن به نتایج قابل انطباق با شرایط واقعی، انجام می‌گیرد. وقتی مجموعه‌ای از شرایط واقعی به طور تقریبی با نتایج مدل منطبق گردید، آنگاه مدل برای شرایطی که اطلاعات واقعی در اختیار نیست با اطمینان بیشتری قابل استفاده خواهد بود.

معمولاً برای واسنجی، از داده‌های ثبت شده توسط ایستگاههای هیدرومتری مانند تراز آب، بده و سرعت استفاده می‌شود. با وجود این در مواردی که اطلاعات ثبت شده وجود ندارد، با مشاهدات صحرایی به‌خصوص در زمان سیلاب و بعد از آن و همچنین مصاحبه با اهالی حاشیه رودخانه، اطلاعات لازم دریافت می‌گردد. افرادی که سالها در حاشیه رودخانه زندگی کرده‌ا ند، معمولاً بهترین اطلاعات را در مورد ترازهای سطح آب، سیلابهای گذشته و ... در اختیار دارند [۳۸].

۵-۴-۵ فرایند انتخاب مدل مطالعات هیدرولیک

برای تعیین مدل مناسب برای مطالعات هیدرولیک موارد زیر، باید بررسی شود [۳۸]:

- تعیین اهداف مطالعات و نتایج مورد نیاز،
- بررسی امکانات نیروی متخصص و زمان در دسترس،
- تعیین مقدماتی مشخصات جریان و متعاقب آن تعیین نوع و دقت اطلاعات مورد نیاز،
- بررسی وجود، قابلیت دسترسی و کیفیت اطلاعات مورد نیاز، و
- بررسی روشهای مختلف در انجام مطالعات هیدرولیک و انتخاب مناسب‌ترین روش.

۵-۵ مطالعات فرسایش

کارهای مهندسی رودخانه با اهداف مختلف مانند اصلاح مسیر، کنترل سیلاب، زهکشی زمینها، توسعه کشتیرانی وغیره می‌تواند آثار نامطلوبی در روند فرسایش و رسوب‌گذاری داشته باشد. بدون کارهای حفاظتی، این اقدامات منجر به آب‌شستگی بستر، فرسایش کناره‌ها و تغییر مشخصه‌های ریخت‌شناسی خواهد شد.

در این بخش، عوامل مؤثر مربوط به فرسایش و رسوب‌گذاری در طراحی پوششهای رودخانه‌ای بیان شده و دیدگاههای نظری برای دستیابی به راهکارهای مناسب در انتخاب و طراحی سیستمهای حفاظت رودخانه‌ای بررسی شده است. در بیشتر حالتها، فقط تعداد محدودی از عوامل فرسایش و رسوب‌گذاری بر شرایط طراحی حاکم و تعیین کننده هستند و ضروری است، مهندس طراح باید قبل از طرح حفاظت رودخانه، موقعیتهای آسیب پدیده و همچنین موقعیتهای با توان آسیب‌پذیری را شناسایی کرده و با در نظر گرفتن شرایط هیدرولیکی حاکم بر بازه مورد نظر، اقدام به طرح پوشش مناسب کند.

۵-۵-۱ تعیین موقعیت حدود بالادست و پایین‌دست پوشش

به‌طور کلی، کلید موفقیت انتخاب درست محدوده‌های بالادست و پایین‌دست پوششها، در پیش بینی جابه‌جایی رودخانه می‌باشد. علاوه بر آن، توجه به حداقل کردن طول پوششهای به‌کار رفته، از دیگر عوامل مؤثر می‌باشد. علت اصلی جابه‌جاییهای رودخانه، مسئله فرسایش و رسوب‌گذاری است.

عوامل پایه جابه‌جایی رودخانه در شکل ۵-۷ نشان داده شده است. یکی از مشخصات ویژه این الگوها که کمک شایانی در جانمایی طرح پوششها می‌کند، جابه‌جایی پشته‌ها، گودابها و گذرگاهها است که دو مؤلفه، یکی عمود در جهت محور عرض چم و دیگری پایین‌دست دره دارا می‌باشد، که به‌عنوان یک قاعده کلی، مؤلفه جابه‌جایی در جهت پایین‌دست دره بزرگ‌تر است. در طبیعت، با توجه به تغییرات مصالح بستر و کناره معمولاً الگوهای واقعی با الگوهای ایده‌آل تا حدودی تفاوت دارند که در شکل ۵-۸ شمایی از یک الگوی واقعی ارائه شده است. بنابراین لازم است قبل از هر اقدامی، برای هر موقعیت خاص، چگونگی جابه‌جاییهای بستر در زمانهای مختلف مشخص گردد. به‌طور کلی چهار منبع عمده از اطلاعات می‌تواند برای این منظور استفاده شود که به ترتیب اهمیت می‌توان به صورتهای زیر نام برد [۱۶]:

الف- نقشه‌برداریها و هیدروگرافیهای انجام شده، نقشه‌های توپوگرافی و عکسهای هوایی

با مقایسه مسیرهای رودخانه در دو یا چند زمان مختلف، می‌توان طول کناره درمعرض فرسایش را مشخص کرد.

ب – تفسیر شکل پلان موجود

در صورت وجود اطلاعات، فقط برای یک زمان خاص، روند جابه‌جاییهای بستر در طول دره با استفاده از تجربه‌های به‌دست آمده از جایگاههای مشابه در رودخانه‌های دیگر قابل پیش بینی بوده و می‌توان موقعیتهای در معرض فرسایش را شناسایی کرد.

ج– گزارشهای تاریخی از جابه‌جاییهای رودخانه

این گزارشهای می‌تواند بر اساس ادعاهای ساکنان منطقه، صاحبان ملک و اشخاص مطلع باشد. هر چند این گزارشهای استفاده علمی نداشته باشند اما می‌توانند اطلاعات مفیدی از تاریخ فرسایش و تغییرات رودخانه‌ای فراهم کند.

د – مدل‌سازی فیزیکی یا عددی

معمولاً مدلسازیها بر پایه اطلاعات فراهم شده از سه مورد بالا انجام می‌گیرند.

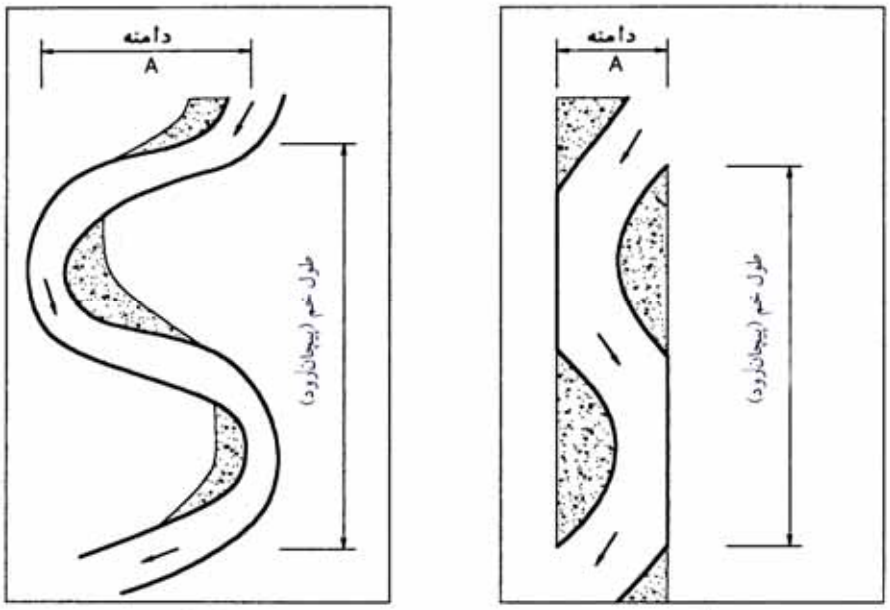
۵-۵-۲ کمترین طول حفاظت شده

کمترین طول حفاظت شده، به طبیعت مسئله فرسایش و اهداف پروژه بستگی دارد. اگر هدف از حفاظت، تنها محدود به حفاظت یک سازه مجاور تهدید شونده باشد، حفاظت با طول محدود مورد نیاز است و در صورتی‌که هدف برای پروژه‌های بزرگی چون کشتیرانی، کنترل سیلاب و سایر اهداف طولانی مدت باشد، باید طول بیشتری از رودخانه حفاظت شوند [۱۶].

۵-۵-۳ نکات قابل توجه در انتخاب حدود بالادست و پایین‌دست

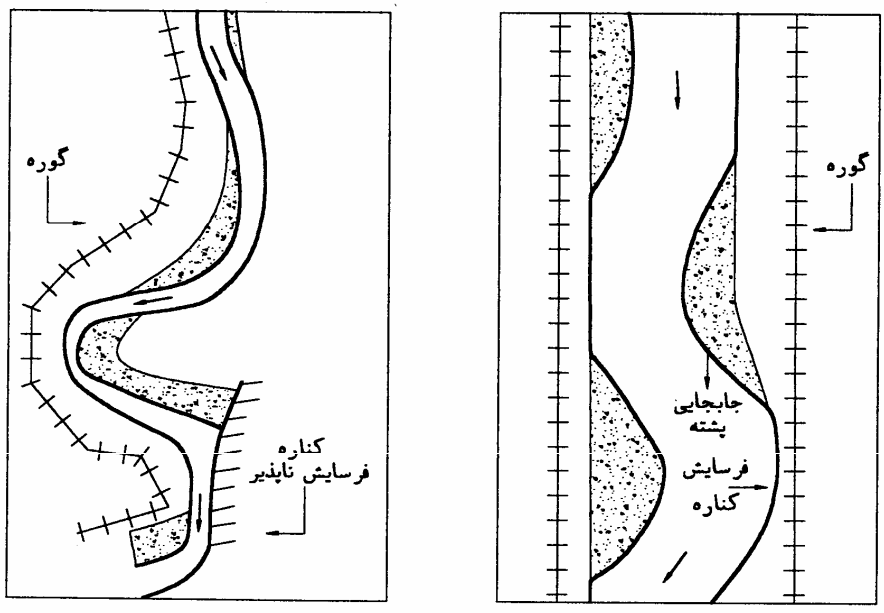
- حد پایین‌دست، معمولاً بحرانی‌تر از حد بالادست است، زیرا گودالهای آب‌شستگی[1] به جابه‌جایی به سمت پایین‌دست تمایل داشته و گسیختگی کناره، اغلب توسط این گودالها صورت می‌گیرد.
- در برآورد الگوی جابه‌جایی رودخانه، باید دقت لازم انجام شود. در صورت اشتباه جدی در این مورد و اجرا شدن کار پوشش با الگوی غلط، باید خرابی سریع پوشش را انتظار داشته باشیم.
- آزمایشهای مدل برای برنامه کنترل فرسایش، نشان می‌دهد که کار پوشش صورت گرفته در خم باید از نقطه تلاقی خط مماس، حداقل به اندازه ۱/۵ برابر عرض رودخانه در محل خم امتداد پیدا کند. این مورد، می‌تواند به‌عنوان یک قاعده کلی، در صورتی‌که داده خاصی در موقعیت مورد نظر وجود نداشته باشد استفاده شود. در شکل۴-۲ توسعه محدوده پوشش حفاظتی در بالا و پایین‌دست خم در فصل۴ نشان داده شده است.
- برای یک بازه خاص پوشش شده، محل قطع (توقف) کار پوشش در سمت پایین‌دست بازه توجهات خاصی را نسبت به سمت بالادست بازه نیاز دارد.
- تحلیلهای جابه‌جایی رودخانه در شرایط حال و آینده، باید با در نظر گرفتن سیلابها با دوره برگشتهای مختلف صورت پذیرد.

1 - Scour hole



بازه سینوسی　　بازه مستقیم

شکل ۵-۷- شکل پلان خم رودخانه



ب) بازه سینوسی　　الف) بازه مستقیم

شکل ۵-۸- تأثیر تغییرات مصالح بستر و کناره در شکل پلان رودخانه

۵-۵-۴ تشخیص فرسایش و انواع آن

پدیده فرسایش به‌خاطر مکانیزم حاکم بر آن، یکی از پیچیده‌ترین فرایندهایی است که در مهندسی رودخانه مطرح می‌باشد. از آنجا که مکانیزم عمل فرسایش در مکانهای مختلف، متفاوت می‌باشد، در یک تقسیم‌بندی کلی، فرسایش در آبراهه‌ها به دو نوع آب‌شستگی عمومی و آبشستگی موضعی تقسیم‌بندی می‌شود که در این قسمت به تشریح آنها پرداخته خواهد شد.

الف - آبشستگی عمومی

اگر در یک بازه طولانی از رودخانه، تنش برشی بستر در یک مدت زمان طولانی، بیشتر از تنش برشی بحرانی باشد، در این مقطع از رودخانه آب‌شستگی عمومی اتفاق می‌افتد. به طور کلی مقیاس زمان برای فرسایش عمومی بزرگ‌تر از فرسایش موضعی است. آبشستگی عمومی، خود بر چند نوع است که عبارتند از:

تغییر دراز مدت در تراز بستر رودخانه؛ فرسایش ناشی از تنگ شدگی مجرا؛ فرسایش در قوسها و فرسایش در تلاقی دو آبراهه

- پایین رفتن تراز بستر رودخانه[1]

این پدیده می‌تواند نتیجه‌ای از تغییرات در جریانهای آب یا رسوب رودخانه باشد. برخی از این تغییرات که نتیجه‌ای از دخالتهای انسان یا تغییرات طبیعی بوده و در حقیقت واکنشی به رژیم جریان می‌باشند عبارتند از:

- فرسایش پایین‌دست مخازن به‌علت کاهش رسوب ورودی از بالادست،
- استخراج شن و ماسه از رودخانه‌ها و سیلابدشتها،
- انتقال آب بین حوزه‌های رودخانه،
- ایجاد میان بر در چم[2] رودخانه، و
- کاهش زبری مؤثر جداره‌ها و سطح مقطع کانال به دلیل ساماندهی رودخانه.

- فرسایش ناشی از تنگ شدگی مجرا

وقتی بازه‌ای از رودخانه، در اثر احداث دیواره‌های ساحلی، آبشکن یا احداث پل محدود وتنگ می‌شود این عمل باعث افزایش سرعت جریان در این محدوده خواهد شد پس ظرفیت حمل رسوب افزایش یافته، باعث فرسایش بستر رودخانه دراین ناحیه می‌شود (شکل ۵-۹). این عمل، تا جایی ادامه می‌یابد که میزان رسوباتی که در اثر فرسایش از بازه خارج می‌شود با میزان رسوبات وارده معادل گردد. در این حالت، برای محاسبه میزان فرسایش، می‌توان از رابطه زیر که توسط لارسن و توچ[3] در سال ۱۹۵۶ ارائه شده استفاده کرد:

$$\frac{d_{se}+y}{y}=\frac{1}{(1-m)^{\beta}}$$

1 - Overall degradation
2 - Meander
3 - Laursen & Toch

که در آن :

y = عمق جریان بالادست تنگ شدگی (متر)،

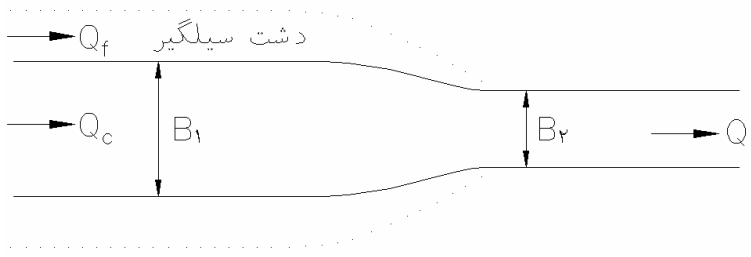
$m = \frac{B_2}{B_1}$ = نسبت انقباض،

d_{se} = عمق فرسایش در تنگ شدگی (متر)،

β = ضریب که مقدار آن بین ۰/۶۷ و ۰/۸ می‌باشد، و B : عرض رودخانه (متر).

اگر سرریز جریان از دیواره رودخانه با بده Q_F وجود داشته باشد، معادله به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{d_{se}+y}{y} = \frac{1}{(1-m)^{\beta}} \frac{Q}{Q-Q_F}$$



شکل ۵- ۹- تنگ شدگی مجرا

- آب‌شستگی در قوسها

در حالت کلی، آب‌شستگی در قوسها به عوامل محلی (منحنی قوس، عمق جریان واندازه ذره) و تأثیرات بالادست (توزیع جریان و انتقال رسوب) بستگی دارد. در قسمت بیرونی قوسها، آب‌شستگی زیادی درنتیجه جریان حلزونی اتفاق می‌افتد. استروکسما و همکاران[1] در سال ۱۹۸۵ نشان دادند که این نوع آب‌شستگی، به علت جریان حلزونی اتفاق می‌افتد. مقدار این پدیده، شدیداً به نسبت عرض رودخانه به عمق جریان بستگی دارد.

مقیاس زمانی، $T_{o,s}$ برای تغییرات پروفیل عرضی مقطع رودخانه به‌صورت زیر ارائه شده است [۲۴] :

$$T_{o,s} = 0/85 \frac{B^2\sqrt{\psi}}{\pi^2 s}$$

1 - Struiksma

که در این رابطه:

s = انتقال رسوب در واحد عرض (متر مربع بر ثانیه)،

$T_{o,s}$ = مقیاس زمانی (ثانیه)،

ψ = ضریب شیلدز، و

B = عرض رودخانه (متر).

ادگارد[1] با بررسی اطلاعات زیادی در زمینه آبشستگی در قوسها رابطه، زیر را برای تخمین شیب عرضی بستر رودخانه ارائه نموده است [۱۷]:

$$Sin\beta = K(Fr)^{a}(y/R)$$

که در این رابطه:

K و a = اعداد ثابت،

Fr = عدد فرود،

y/R = نسبت عمق میانگین به شعاع قوس،و

β = شیب عرضی بستر.

بنابراین شیب، تحت تأثیر سرعت جریان و عمق نسبی قرار دارد.

محققان، برای α مقادیر مختلفی پیشنهاد داده‌اند. مطالعات ادگارد مقدار واحد را برای α در جهت همخوانی نتایج آزمایشگاهی و صحرایی بدست داده است.

تورن[2] در سال ۱۹۹۳ برای عمق آب‌شستگی در یک قوس رابطه تجربی زیر را ارائه داده است [۵]:

$$d_{se}/y = 1/07 - \log(R/B-2)$$ برای ۲<R/B<۲۲

که R : شعاع قوس از خط مرکزی است.

- آب‌شستگی در محل تلاقی دو رودخانه

هنگامی که دو شاخه از رودخانه به یکدیگر می‌رسند، هم زاویه بین دو شاخه و هم تراز آب می‌تواند روی آب‌شستگی در محل تلاقی دو شاخه اثر بگذارد. تمام مدلهای ریاضی قابل دسترس در این زمینه، به مدلهای یک بعدی محدود می‌شوند. رادکیوی و بروسرز[3] در سال ۱۹۹۱ رابطه زیر را برای آب‌شستگی پایین‌دست تلاقی دو آبراهه ارائه داده‌اند [۲۴]:

$$d_{se}/y = C_o + 0/037\theta$$

1 - Odgaard, 1984
2 - Thorne
3 - Raudkivi & Breusers

که در آن :

$C_{\circ}$ = ضریبی که به مشخصات مصالح بستگی دارد و محدوده آن بین ۱/۲۹و۲/۲۴ می‌باشد.

Y = عمق میانگین جریان دو شاخه (متر)،

d_{se} = عمق تعادل آبشستگی (متر)، و

θ = زاویه بین دو شاخه در بالادست.

ب- آبشستگی موضعی

در اثر احداث سازه‌هایی مانند آبشکن یا پایه‌های پل در مقابل جریان، اختلافی در فشار هیدرواستاتیکی در بالادست و پایین‌دست سازه به وجود می آید که این مسئله، باعث ایجاد جریان متلاطم چرخشی و گردابی در اطراف آن خواهد شد. این جریانهای گردابی عامل اصلی آب‌شستگی موضعی به حساب می‌آیند که در دراز مدت باعث ایجاد حفره‌های بزرگ در محل دماغه آب‌شکن و یا پایه پل شده و احتمال تخریب سازه را به دنبال خواهد داشت.

۵-۵-۵ تأثیر رسوب‌گذاری در طراحی پوششها

رسوب‌گذاری، خطر فرسایش پنجه و آسیب‌پذیری سازه های حفاظتی را کم می‌کند. به‌طوری‌که این امر، در پایداری این سازه‌ها نقش مثبتی را ایفا می‌کند. از طرفی، انباشت رسوبات درقوس داخلی مئاندرها، جریان آبراهه را به قوس خارجی رانده و این امر موجب تشدید کف‌کنی در امتداد دیواره شده و تهدید سازه حفاظتی را به دنبال دارد. علاوه بر این، حرکت امواج رسوبی موجود در بستر مانند تلماسه‌ها و بارهای رسوبی، موجب تمرکز و تفرق جریان در پای سازه شده و با ایجاد فرسایشهای موضعی، زمینه وقوع لغزش توده‌ای را فراهم می‌آورد. رسوب‌گذاری علاوه بر این، ظرفیت عبور مجرا را کاهش داده و با افزایش تراز آب می‌تواند تأثیر محسوسی بر ارتفاع کار پوشش انجام شده در طول کناره‌ها داشته باشد[۲۳].

۵-۵-۶ پیش‌بینی فرسایش پنجه

فرسایش پنجه پوشش در بازه مستقیم رودخانه، ناشی از پایین افتادن تراز بستر رودخانه می‌باشد. برای پوششهای واقع شده در خم رودخانه، شرایط به حالت بازه مستقیم متفاوت است. الگوی جریان در خم رودخانه و آبشستگی ناشی از آن و جریانهای ثانویه، شرایط پیچیده‌ای را در خم رودخانه ایجاد می‌کند. نه تنها سطح آب بلکه تراز بستر موجود در خم ثابت نیست و پیش‌بینی آن مشکل بوده و به طبیعت خم (مشکل پلان، فرسایش‌پذیری کناره ها و ...) شیب جانبی سطح آب و جریان ثانویه‌ای که در آنجا ایجاد می‌شود بستگی دارد.

برای پیش‌بینی فرسایش پنجه در اثر فرسایش موضعی به‌عنوان یک روند جدا از تغییرات تراز بستر روشهای مختلفی وجود دارد [۱۶]:

- روشهای تحلیلی، که با استفاده از روابط مختلفی که توسط محققان مختلف پیشنهاد داده‌اند،
- روشهای تجربی، با کاربرد تجارب جایگاههای مشابه،و
- مدل‌سازی (عددی یا فیزیکی).

لازم به یادآوری است که برای روشهای تحلیلی معادلات مختلف، پیش بینیهای متفاوتی را در این زمینه ارائه می‌کند؛ بنابراین به‌عنوان محدودیت این روشها، استفاده از روشهای تجربی در کاربرد رابطه مناسب در این مورد کمک شایانی خواهد کرد. برای پیش‌بینی فرسایش پنجه، باید با توجه به محدودیت مدلهای یک بعدی، از مدلهای دو بعدی و در صورت امکان از مدلهای سه بعدی استفاده کرد. شایان ذکر است که پیش‌بینی فرسایش پنجه برای موفقیت در کار طراحی پوشش کناره ضروری است زیرا در غیر این‌صورت، احتمال فروریختگی و گسیختگی کناره حفاظت شده با پوشش زیادتر خواهد شد.

۵-۶ مطالعات زیست‌محیطی

۵-۶-۱ اهمیت مطالعات زیست‌محیطی

ارزیابی نهایی در مورد موفقیت یا عدم موفقیت پروژه‌های حفاظت و تثبیت کناره‌ها، به مسائل زیست‌محیطی نیز بستگی دارد. مسائل زیست‌محیطی پروژه‌ها در معرض دید عموم قرار دارد بنابراین ملاک اصلی قضاوت آنها، در مورد پروژه‌های اجرا شده است[۱۶]. از طرفی دیگر، محیط‌زیست که مجموعه‌ای از منابع انرژی، مواد بیجان (آب، خاک و هوا) و موجودات جاندار (گیاه، جانورو انسان) است، موجبات تعادل بین این اجزا را برقرار می‌کند. هر گونه تغییری در هر یک از اجزا، باعث تغییر تعادل در قالب بروز آشفتگی، تخریب و آلودگی خواهد شد. بنابراین برای حفظ شرایط مطلوب و تعادل طبیعی بین عوامل محیط زیست و همچنین جلوگیری از ایجاد نگرش منفی در دید عموم، بررسی مسائل زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی و از جمله پروژه‌های حفاظت ساحل رودخانه‌ها ضروری می‌باشد. امروزه راه حل کاهش معضلات زیست‌محیطی پروژه‌ها در پدیده ای به‌نام مدیریت محیط‌زیست و با ابزاری به‌نام ارزیابی آثار زیست‌محیطی پروژه‌ها جستجو می‌شود[۵].

۵-۶-۲ تعریف آثار زیست محیطی و ارزیابی آثار

آثار زیست‌محیطی، شامل آن دسته از عواملی است که در قالب آلودگی یا تخریب، بر حیات انسان (بهداشت عمومی)، حیوان و گیاه (تنوع زیستی)، آب و خاک و هوا، منابع انرژی، ساختمانها و آثار فرهنگی و تاریخی، کیفیت دید و صدا و منابع اقتصادی و اجتماعی تأثیر می‌گذارد. این تأثیرات در شکلهای مختلف مثبت یا منفی، مستقیم و غیر مستقیم، کوتاه مدت و بلند مدت و ... نمود پیدا می‌کند.

ارزیابی آثار زیست محیطی[1]، میزان کمی و کیفی عوامل بالا را بر اساس ضوابط و استانداردها مورد مطالعه و بررسی قرار داده و با شناسایی آثار، روشهای حذف یا کاهش و همچنین چگونگی کنترل و پایش[2] را ارائه می‌دهد. ارزیابی آثار زیست‌محیطی برای دو مرحله اجرا و بهره‌برداری انجام می‌گیرد[۵].

1 - Environmental Impact assessment
2 - Monitoring

۵-۶-۳ قابلیتهای بروز آثار سوء زیست محیطی

اجرای پوششهای حفاظتی معمولاً نیازمند آماده‌سازی کناره رودخانه‌ها است. آماده‌سازی کناره که شامل برداشت لایه رویی (خاک آلی)، تسطیح و شیب بندی مناسب است، موجب تخریب پوشش گیاهی موجود کناره و سواحل می‌گردد و آثار نامطلوبی بر موجودات خاکی و آبزی خواهد گذاشت. در مقابل آن، روشهای حفاظت غیر مستقیم مانند آبشکنها، ممکن است تغییرات ناچیزی در شرایط محیطی موجودات ساکن در حاشیه و کناره رودخانه ایجاد نماید و حتی در بعضی اوقات، وضعیت بهتری را برای زیست این‌گونه موجودات به‌وجود آورد[۶].

به‌طور کلی تأثیراتی که اقدامات حفاظت کناره، به‌ویژه پوششها، بر مسائل زیست‌محیطی خواهد گذاشت، در زیر اشاره شده است. ارزیابی این تأثیرات، بر انتخاب نوع روش حفاظت مؤثر خواهد بود.

الف - تأثیر در محیط طبیعی موجودات آبزی[1]

تأثیر در شرایط محیطی موجودات آبزی، به صورتهایی که در ادامه آمده امکان‌پذیر است:

- تغییر در کیفیت آب از طریق افزایش تیرگی و گل آلودگی در زمان اجرا، افزایش دمای آب در صورتی‌که به‌طور وسیعی پوششهای کناری که نوعی سایبان بوده‌اند از بین برود. همچنین کاهش تیرگی و آلودگی آب به‌علت کاهش فرسایش کناری، کاهش دمای آب به‌علت توسعه پوشش گیاهی و همچنین نفوذ مواد شیمیایی از مصالح مورد استفاده در طرح حفاظت کناره،
- تغییر در محیط طبیعی آبزیان از طریق تأثیراتی که در سرعت جریان و توزیع آن و عمق جریان و همچنین نوع پوشش گیاهی کف (بوته ها و سبزینه‌های زیر آب) ایجاد شده است،و
- تغییر در محیط طبیعی کفزیان[2] از طریق تغییرات به‌وجود آمده در مواد کف که بر ارگانیک کفزیان اثر خواهد گذاشت.

ب - تأثیر در محیط طبیعی موجودات خاکی[3]

تأثیرات محیط‌زیستی روی محیط طبیعی موجودات خاکی حاشیه و کناره رودخانه، ممکن است بزرگ‌تر و جدی‌تر از آنچه که در ظاهر دیده می‌شود باشد. این تأثیرات، چه بسا در محدوده وسیع‌تر از حوزه فعالیت آن دیده شود. از جمله این موارد می‌توان به ضرورت دسترسی وحوش، دام و احشام به آبشخور رودخانه اشاره کرد که طرح حفاظت باید به گونه‌ای ارائه شود که اختلالی در این زمینه ایجاد نکرده و پیش‌بینیهای لازم انجام شود.

ج - تأثیر در وضعیت تفریحات و سرگرمی مردم

محیطهای حاشیه رودخانه که برای سرگرمی و تفریحات مستعد است، ممکن است به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم و به‌صورت مطلوب یا نامطلوب تحت تأثیر اقدامات حفاظت قرار گیرد. به عنوان مثال مسئله ایمنی و سهولت دسترسی به داخل رودخانه به خصوص درمناطق شهری و تفرجگاهی بسیار حائز اهمیت است.

---

1 - Aquatic wildlife
2 - Benthic
3 - Terrestrial wildlife

د - تأثیر در طراوت و زیبایی طبیعت[1]

تغییر در نمای طبیعی محیط در اثر طرحهای حفاظت کناره در مناطق شهری و تفرجگاهی، مسئله قابل ملاحظه‌ای است که باید در نظر داشت این‌گونه مناطق، بیشتر در معرض انظار عمومی می‌باشد؛ در حالی‌که در مناطق صنعتی، از اهمیت کمتری برخوردار می باشد.

هـ- تأثیر در منابع فرهنگی

منابع فرهنگی مانند آثار باستانی که در حومه رودخانه‌ها قرار دارند، ممکن است در اثر بی دقتی در اجرای طرحهای حفاظت ساحل، مورد تهدید قرار گیرد. بنابراین در مرحله مطالعات طرح، باید بررسیهای کافی روی منابع فرهنگی منطقه انجام گیرد. البته این نکته نیز قابل ذکر است که اجرای طرحهای حفاظت ساحل، باعث استحکام و تقویت بیشتر آثار باستانی مستقر در حاشیه رودخانه خواهد شد [۱۶].

۵-۶-۴ اهداف مطالعات ارزیابی زیست‌محیطی

با توجه به قابلیتهای تأثیرگذار بر شرایط زیست‌محیطی که از اجرای طرحهای حفاظت کناره رودخانه‌ها به دست می‌آید، می‌توان اهداف زیر را درمطالعات و ارزیابی مسائل زیست‌محیطی برشمرد:

- محافظت و توسعه محیط طبیعی حیات وحش موجودات آلی و خاک،
- امتناع از ایجاد آشفتگی در شرایط حیات طبیعی آبزیان، خصوصاً در زمانهای حساس از نظر چرخه حیات،
- محافظت و توسعه موقعیتهای طبیعی مناسب برای تفریح و سرگرمی،
- محافظت از طراوت و زیبایی طبیعت،
- محافظت از منابع فرهنگی و آثار باستانی، و
- تعیین زمان مناسب برای اجرای پوششها.

روشهای پوشش کناره علی‌رغم آنکه نسبت به روشهای غیر مستقیم حفاظت، وضعیت کناره‌ها را بیشتر دستخوش تغییرات قرار داده، ولی شرایط هندسی و هیدرولیکی رودخانه را کمتر تغییر می‌دهد. با این‌حال، انتخاب نوع پوشش مناسب برای مسائل زیستگاهی و طبیعی، و با در نظر گرفتن سایر مسائل از اهداف اساسی مطالعات زیست محیطی خواهد بود.

۵-۶-۵ ابعاد ارزیابی آثار زیست محیطی

مطالعات ارزیابی آثار زیست محیطی در دو مرحله اجرا و بهره برداری و در دو حالت مقدماتی (اجمالی) و نهایی انجام می‌شود. قدمهای اساسی ارزیابی آثار زیست‌محیطی پروژه‌ها، عبارتند از:

1 - Aesthetics

الف- بررسی وضعیت موجود محیط زیست[1]

بررسی وضعیت موجود، شامل تأمین اطلاعات کافی از محیط زیست موجود در زمینه اقلیم و هواشناسی، کیفیت آب و هوا، هیدرولوژی آبهای سطحی و زیرزمینی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی، پوشش گیاهی وضعیت جانوری و گونه‌های در حال انقراض، اکولوژی، کاربری زمین، کیفیت دید و سروصدا، وضعیت فرهنگی، اقتصادی- اجتماعی و اصولاً کلیه عوامل و عناصر زیست محیطی متاثر از اجرای پروژه می‌باشد.

ب- انتخاب و بررسی گزینه‌ها

بررسی گزینه‌های مرتبط با طرح، باید به منظور مقایسه آثار زیست‌محیطی آنها انجام گیرد.

ج- شناسایی و پیش‌بینی آثار زیست‌محیطی

در مراحل اجرا و بهره‌برداری (به‌طور جداگانه)، آثار احتمالی و جنبه‌های مثبت و منفی و میزان آثار (ناچیز یا قابل ملاحظه) مورد شناسایی قرار می‌گیرد. در پیش بینی آثار زیست محیطی پروژه‌ها، باید چهار عامل مهم محیط زیست: فیزیکی، جنبه‌های بیولوژیکی، جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی مد نظر قرار گیرد.

د- ارزیابی آثار زیست محیطی

در این قسمت، آثار منفی زیست‌محیطی در سه وضعیت آلودگی، تخریب و آشفتگی، ممکن است به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم و یا تواماً ظاهر شود و راه‌حلها برای کاهش این آثار ارائه می‌گردد.

هـ- کنترل و پایش

پایش، ارزیابی مستمر، جمع آوری و سازماندهی، اطلاعات پروژه در مراحل اجرا و بهره‌برداری است. کنترل و پایش طرحهای حفاظت، عملیاتی است که باعث بازرسی، کنترل و نظارت مستمر آلودگیها و تخریبهای زیست‌محیطی پیش‌بینی شده و جدید می‌گردد[۵].

۵-۶-۶ *مراحل مطالعات ارزیابی زیست محیطی*

مطالعات ارزیابی آثار زیست‌محیطی پروژه‌های حفاظت ساحل رودخانه مانند سایر بخشهای مطالعاتی ساماندهی رودخانه در سه مرحله شناسایی، توجیهی و تفصیلی قابل انجام می‌باشد. خوشبختانه دستورالعمل ارزیابی زیست محیطی طرحهای مهندسی رودخانه در مراحل مختلف بالا، توسط دفتر استانداردها و معیارهای فنی سازمان مدیریت منابع آب ایران تهیه و توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور به‌عنوان راهنمای مطالعات زیست‌محیطی منتشر شده که در ارتباط با طرحهای پوشش حفاظتی قابل استفاده می‌باشد.

1 - Existing Environment Consideration

با توجه به مطالبی که در بخش قبل در مورد قدمهای اساسی در ارزیابی زیست‌محیطی ارائه گردید، فهرست اقدامات ارزیابی در مراحل مختلف شناسایی، توجیهی و تفصیلی به شرح زیر ارائه شده که در هر مرحله، متناسب با نیازهای آن، مورد مطالعه قرار می‌گیرد[۸].

- جمع‌آوری قوانین، مقررات و ضوابط زیست محیطی
- بررسی مشخصات طرحها و گزینه‌ها
- اطلاعات عمومی برای سازه‌ها و اقدامات حفاظت از جمله: نقشه محدوده طرح، پلان عمومی سازه‌ها، نقشه جاده‌ها و محل کارگاه و منابع قرضه و خلاصه بررسیهای هواشناسی، هیدرولوژی، سیلاب، هیدرولیک، فرسایش و رسوب و مورفولوژی
- اطلاعات مربوط به عملیات شامل آماده سازی زمین، کاربری مصالح، عملیات ساختمانی، چگونگی دفع مواد زائد، منابع قرضه، ماشین‌آلات مورد نیاز، تسهیلات کارگاهی و نیروی انسانی
- جمع آوری اطلاعات و ویژگیهای سازمانی، چرخه تشکیلات ارزیابی و تصویب طرح، میزان تأثیرپذیری طرح از مقررات و ضوابط مورد قبول تشکیلات و بخشهای دولتی و غیر دولتی
- شناسایی وضع موجود شامل محیط فیزیکی و شیمیایی، شناسایی کلی شاخصهای بوم شناختی و محیط اجتماعی – اقتصادی

منظور از محیط فیزیکی و شیمیایی، عوامل زیست‌محیطی هواشناسی، هیدرولوژی، هیدرولیک رودخانه، فرسایش و رسوب، کیفیت آب، آبهای زیر زمینی، سیل‌خیزی، زمین‌شناسی، ریخت‌شناسی، زلزله‌شناسی و خاک‌شناسی می‌باشد. همچنین شاخصهای بوم‌شناختی شامل بوم‌شناختی آبی جوامع گیاهی[1] و جوامع جانوری[2]، و بوم شناختی زمینی جوامع گیاهی و جانوری و محیط اجتماعی– اقتصادی است.

- پیش‌بینی آثار زیست محیطی به تفکیک مراحل اجرا و بهره‌برداری و ارزیابی کمی و کیفی آثار زیست‌محیطی
- ارائه روشهای کاهش آثار زیست‌محیطی، روشهای غیر سازه‌ای و سازه‌ای
- تنظیم برنامه پایش زیست‌محیطی شامل عوامل و شاخصهای عمده پایش، مشخصات پایش و ارائه برنامه پایش
- ارائه برنامه‌های ارتباط جمعی و مدیریت و آموزش، شامل روشهای مشارکت مردمی و تشکیلات غیر دولتی، روشهای ارتباطات بین بخشی، روشهای مدیریتی زیست محیطی و روشهای آموزش زیست‌محیطی

۵-۷ منابع قرضه و مصالح ساخت

بررسی منابع قرضه، عموماً طی دو مرحله شامل بررسیهای مقدماتی و شناسایی محلی و بررسیهای تفصیلی انجام می‌گیرد[۱۳].

1 - Flora
2 - Fauna

۵-۷-۱ بررسیهای مقدماتی و شناسایی محلی

در این مرحله از مطالعات، اقدامات عمده زیر صورت می‌گیرد:

- جمع‌آوری داده‌های مربوط به خاک، سنگ و سایر مصالح مورد نیاز در طرح همچون قیر، آسفالت، سیمان و حتی مصالح ضایعاتی که در طرحهای پوششهای رودخانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- آزمایش خاکهای سطحی بیرون زده و آزمایش نفوذ استاندارد ساده صحرایی در چاله‌های قرضه در نظر گرفته شده
- ارزیابی کیفی مصالح سنگی با استفاده از آزمونهای ساده صحرایی همچون چکش اشمیت
- جمع‌آوری اطلاعات درمورد سایر مصالح موجود در منطقه، از جمله قیر، آسفالت، بتن و ...
- بررسی صحرایی مسیرهای حمل و نقل و مسافت هر یک از انواع مصالح ساخت و پیش بینی احداث راههای جدید
- جمع‌آوری و بررسی گزارشهای موجود سایر پروژه‌های عمرانی انجام شده در محل و ارزیابی امکانات اجرایی موجود در منطقه طرح

۵-۷-۲ بررسیهای تفصیلی

بررسیهای دقیق برای انتخاب مصالح ساخت، بسته به نوع، اهمیت و ویژگیهای طرح پوشش مورد نظر، انجام آزمونهای صحرایی و آزمایشگاهی متفاوتی را ایجاب می‌نماید.

الف – مصالح خاکی

در منابع و مصالح قرضه خاکی در نظر گرفته شده برای طرح، چاهکهای کم عمق (چاله قرضه) حفر شده و به‌وسیله اوگر، حفاری ماشینی، حفاری دستی و روشهای دیگر، نمونه‌برداری صورت می‌گیرد؛ ضمن اینکه عمق و گسترش منابع قرضه شناسایی شود. نمونه‌های اخذ شده، عموماً دست خورده می‌باشند ولی آزمایشهای برجا نیز بعضی مواقع به انجام می‌رسد. وقتی چاله‌های قرضه از خاک تشکیل شده باشد، آزمایش نفوذ مخروط استاتیکی و در صورت وجود سنگ دانه‌ها و سنگهای ضعیف از بررسیهای ژئوفیزیک لرزه‌ای استفاده می‌شود [۶].

به‌طور کلی روی نمونه‌های برداشت شده، در صورت نیاز باید آزمایشهای زیر انجام گیرد [۹]:

- وزن مخصوص،
- تجزیه مکانیکی (دانه‌بندی و هیدرومتری)،
- درصد رطوبت،
- آزمایش تراکم،
- انسجام،
- نفوذپذیری،
- برش،
- تعیین ارزش ماسه‌ای،
- آزمایش نفوذ مخروط استاتیکی آزمایشگاهی،
- تعیین حدود آتربرگ، و
- تعیین دانسیته طبیعی خاک.

مقدار وزنی نمونه برداشت شده، به نوع آزمایشها و روشهای بکارگرفته شده بستگی دارد . مقادیر زیر، حدود آنرا نشان می‌دهند.

- آزمایش طبقه‌بندی خاک ریزدانه حدود ۱ کیلوگرم،
- اندازه‌گیری وزن مخصوص ۰/۳ تا ۱ کیلوگرم،
- آزمایش تراکم خاک و نفوذ مخروط آزمایشگاهی ۱۰ تا ۵۰ کیلوگرم،
- آزمایش نفوذپذیری ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم، و
- آزمایش برش ۱۰ تا ۲۰ کیلوگرم.

انواع مختلفی از خاکها برای طرحهای حفاظت از رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور مثال، خاکهای آلی و ریزدانه، برای مناطق احداث پوششهای طبیعی گیاهی مورد استفاده می‌باشند. برای پرکردن بلوکهای بتنی توخالی در پوششهای سلولی نیز، انواع مختلف خاکها قابل کاربرد بوده و در صورت کاشت گیاه در داخل آنها، از خاکهای آلی و ریزدانه استفاده می‌شود. برای پرکردن کیسه‌ها در پوشش کیسه‌ای نیز، از مصالح شن و ماسه و دانه بندیهای دیگر می‌توان استفاده نمود.

در دسترس بودن و نزدیکی، از عوامل کنترل مصالح قرضه است؛ اگرچه وجود مصالح بهتر در مسافت دورتر، گاهی اوقات ممکن است به رد کردن مصالح ضعیف‌تر با قابلیت دسترسی آسان‌تر منجر گردد.

دارا بودن چگالی مناسب، نوع دانه‌بندی، ترکیب سنگدانه‌ها و شکل ذرات، چسبندگی، نفوذپذیری، مقاومت برشی و تراکم پذیری، از خصوصیات فیزیکی و مهندسی خاک به حساب می‌آید که با توجه به نوع و ویژگیهای پوشش، انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور مثال، در مورد پوششهای خاک سیمان که نیاز به تراکم دارند تراکم پذیری از جمله خصوصیات مورد نظر محسوب می‌گردد و در شیبها به منظور تأمین پایداری، توجه به چسبندگی و مقاومت برشی خاک لازم است.

از آنجایی که در زیر برخی از انواع پوششها در نواحی که مصالح کناره و محل استقرار پوشش نفوذپذیر می‌باشد، به کاربرد فیلتر نیاز است. دانه‌بندی، ترکیب سنگدانه‌ها و شکل ذرات برای مصالح فیلتر، به توجه خاصی نیاز دارد. طراحی لایه فیلتر در بخش ۶-۴ ارائه شده است. توجه به نفوذپذیری مصالح برای این نوع کاربرد نیز ضروری می‌باشد.

در جدول ۵-۴ درجه بندی خاک های مختلف و خواص مهم مهندسی آنها از قبیل نفوذپذیری، مقاومت برشی و تراکم پذیری بر اساس طبقه‌بندی USBR آمده که با توجه به اهمیت هر یک از این خصوصیات، می تواند در انتخاب مصالح مد نظر قرار گیرد[۶].

ب – مصالح سنگی

مصالح سنگی، پر استفاده‌ترین نوع مصالح در ساخت انواع پوششهای رودخانه‌ای است. پوششهای سنگی، تورسنگی، سنگریسه، روکشهای تورسنگی، سنگچین با ملات و پوشش آسفالتی از نوع آسفالت سنگی، از جمله این دسته محسوب می‌شوند. دوام سنگ، مقاومت در برابر مواد شیمیایی، هوازدگی و فرسایش، سختی مناسب و غیره از جمله خواصی هستند که کاربرد سنگ را برای این نوع طرحها متاثر می‌سازند. ویژگیهای اساسی و شاخص در سنگ بکر عبارتند از: سختی، دوام، واکنش‌پذیری و روابط وزنی و حجمی. عوامل اصلی کنترل کننده سختی سنگ عبارتند از: نوع کانی موجود در سنگ و میزان تجزیه ناشی از هوازدگی [۱۲].

دوام، به قدرت و مقاومت مواد در برابر عوامل مخرب فیزیکی و شیمیایی گفته می‌شود. عوامل کنترل کننده دوام یک نمونه عبارتند از: کانی غالب در سنگ، شکستگیهای ریز و میزان تجزیه و هوازدگی در سنگ. دو آزمون مهم برای تعیین دوام مصالح خرده سنگی عبارتند از آزمون لوس آنجلس و آزمون خردشوندگی [۱۲].

واکنش پذیری یا فعالیت شیمیایی با میزان مقاومت سنگ در برابر مواد شیمیایی به خصوص سولفاتها سنجیده می‌شود. روابط وزنی و حجمی سنگها عمدتاً به دو صورت چگالی و تخلخل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

چگالی نسبی اغلب کانیهای تشکیل دهنده سنگها دامنه‌ای از ۲/۶۵ تا۲/۸۰ دارد ولی در مواردی که در کانیهای سنگین هورنبلند[۱]، اوژیت[۲] یا هماتیت[۳] وجود داشته باشد، دامنه چگالی نسبی می‌تواند از ۳ تا ۵ باشد. تخلخل در سنگهای آذرین به میزان حفره‌ها و در سنگهای رسوبی به درجه سیمانی شدن سنگ بستگی دارد. علاوه بر آن، در نمونه دستی سنگ بکر میزان تخلخل به حفره‌های موجود در سنگ وابسته است. در چنین نمونه‌هایی، نفوذپذیری با تخلخل ارتباط مستقیم دارد[۱۲].

برای نمونه‌برداری از مصالح سنگی، پس از انجام بازدیدهای میدانی و شناسایی معادن و منابع موجود در منطقه، نمونه گیری آغاز می شود. نمونه تهیه شده باید معرف معدن مربوطه بوده و نباید از قشر سطحی و فرسایش یافته (هوازده) سنگ نمونه‌گیری انجام گیرد. بدین منظور می‌توان از یک دستگاه کمپرسور استفاده نمود.

از طرفی، گسستگیهای موجود در سنگ، با تقسیم نمودن آن به قطعات مجزا، رفتار مهندسی سنگ را کنترل می‌کنند. انواع گسستگیها عبارتند از لایه بندی، درز، گسل، فولیاسیون، رخ سنگی و غیره که ضمن اینکه در معادن مورد نظر برای تهیه بلوکهای سنگی در اندازه دلخواه حائز اهمیت هستند، در صورت عدم توجه پس از استفاده در طرح می‌توانند در پیشرفت هوازدگی در سنگ و ناپایداریهای حاصله مؤثر باشند.

بطورکلی نمونه‌های سنگی گرفته شده باید در صورت نیاز، در معرض آزمایشهای زیر قرار گیرند:

- تعیین درصد جذب آب سنگ،
- چگالی نسبی (مطلق ، ظاهری)،
- تخلخل،
- سختی با استفاده از چکش اشمیت،
- سختی سایش[۴]،
- آزمون سایش لوس آنجلس[۵]،
- آزمون خرد شوندگی[۶]،
- مقاومت در برابر ضربه[۷]، و
- مقاومت در برابر سولفاتهای سدیم و منیزیم (افت وزنی مصالح در مقابل سولفاتهای سدیم یا منیزیم).

1 - Hornbland
2 - Ougit
3 - Hematit
4 - Abrasion hardness test
5 - Los Angles abrasion test
6 - British crushing test
7 - Aggregate impact valve (AIV)

جدول ۵-۴- طبقه‌بندی انواع خاکها (U.S.B.R) [۱]

نام گروههای خاک	گروه خاک	خواص مهم مهندسی		
		نفوذپذیری	مقاومت برشی	تراکم‌پذیری
شن با دانه‌بندی پیوسته، مخلوط شن و ماسه با ریزدانه ناچیز	GW	نفوذپذیر	عالی	ناچیز
شن با دانه‌بندی ناپیوسته، مخلوط شن و ماسه با ریزدانه ناچیز	GP	خیلی نفوذپذیر	خوب	ناچیز
شن سیلتی، مخلوطی از شن و ماسه و سیلت با دانه‌بندی ناپیوسته	GM	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	خوب	ناچیز
شن رسی، مخلوطی از شن وماسه و رس با دانه‌بندی ناپیوسته	GC	نفوذناپذیر	خوب تا متوسط	خیلی کم
ماسه با دانه‌بندی پیوسته، ماسه شنی با ریزدانه ناچیز	SW	نفوذپذیر	عالی	ناچیز
ماسه با دانه‌بندی ناپیوسته، ماسه شنی با ریزدانه ناچیز	SP	نفوذپذیر	خوب	خیلی کم
ماسه سیلتی، مخلوط ماسه و سیلت با دانه‌بندی ناپیوسته	SM	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	خوب	کم
ماسه رسی، مخلوط ماسه و رس با دانه‌بندی ناپیوسته	SC	نفوذناپذیر	خوب تا متوسط	کم
سیلتهای غیرآلی، ماسه‌های خیلی ریز، آرد سنگ، ماسه‌های ریز سیلتی و رسی با پلاستیسیته کم	ML	نیمه نفوذپذیرنا نفوذناپذیر	متوسط	متوسط
رسهای غیر آلی با پلاستیسیته کم تا متوسط، رسهای شنی، رسهای ماسه‌ای، رسهای سیلتی، رسهای ضعیف	GL	نفوذناپذیر	متوسط	متوسط
سیلت های آلی، رس و سیلت آلی با پلاستیسیته کم	OL	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	ضعیف	متوسط
سیلت های غیر آلی، ماسه های ریزمیکایی یا دیاتومه‌ای با خاکهای سیلتی، سیلت های الاستیک	MH	نیمه نفوذپذیر تا نفوذناپذیر	متوسط تا ضعیف	بالا
رسهای غیر آلی با پلاستیسته بالا، رسهای چرب	CH	نفوذناپذیر	ضعیف	بالا
رسهای آلی با پلاستیسیته متوسط تا زیاد	OH	نفوذناپذیر	ضعیف	بالا
خاکهای مردابی و تمام خاکهای کاملاً آلی	PT	–	–	–

ج – مصالح بتن و آسفالت

از جمله پوششهایی که در آنها از مصالح بتن استفاده می‌شود می‌توان به بلوکهای پیش ساخته بتنی و پوششهای بتنی درجا اشاره نمود. همچنین در پوشش خاک سیمان و نیز سنگ‌چین با ملات از مصالح ماسه و سیمان استفاده خواهد شد. در پوششهای آسفالتی از قبیل آسفالت ماسه‌ای، آسفالت ماستیک و آسفالت سنگی متراکم نیز از آسفالت استفاده می‌شود. ترکیب و نوع مصالح برای تهیه بتن و آسفالت از موارد مهم و تأثیرگذار در مقاومت و دوام این نوع پوششها به حساب می‌آید.

واکنش پذیری یا فعالیت شیمیایی[1] در بتن، که مخلوطی از سیمان و آب و مصالح خرده سنگی است، از مواردی می‌باشد که در تهیه بتن باید بدان توجه نمود. واکنش بین سیلیس قابل حل موجود در مصالح خرده سنگی و هیدروکسیدهای قلیایی مشتق شده از سیمان پرتلند، می‌تواند تورم غیر عادی و احتمالاً ترک خوردگی و تخریب بتن و ملات را به همراه داشته باشد. این تغییرات مخرب نیز، به نوبه خود می‌توانند تأثیر سوء بر پوشش بتنی داشته باشد. بر حسب جنس شن و ماسه مصرفی در بتن، ممکن است از زمان بتن ریزی تا وقوع فرایند مخرب فوق، فاصله زمانی ۲ تا ۳ ساله وجود داشته باشد[۱۲].

واکنش مصالح خرده سنگی و مواد قلیایی، می‌تواند بین خمیر سخت شده سیمانهای حاوی بیش از ۰/۶ درصد «معادل سودا[2]» و هر شن و ماسه‌ای که حاوی سیلیس فعال و واکنش پذیر باشد انجام شود[۱۲].

سیلیسهای واکنش‌پذیر عبارتند از: اپالها[3] و کالسدوئنهای[4] موجود در برخی از چرتها و سنگهای آهکی سیلیسی، شیشه‌های آتشفشانی اسیدی یا حد واسط، کانیهای کریستوبالیت[5] و تریدیمیت[6] برخی از سنگهای آتشفشانی مثل ریولیت[7]، داسیت[8]، آندزیت[9] و توفها[10] و همچنین شیشه‌های سنتتیک و ژل سیلیسی. این مواد ممکن است در برخی از رسوبات شن و ماسه نیز وجود داشته باشند. کنترل و کاهش فعالیت شیمیایی و واکنش‌پذیری به چند روش امکان‌پذیر است:

- کاستن از مقدار مواد قلیایی سیمان تا حد کمتر از ۰/۶ درصد معادل سودا. در این صورت، حتی اگر شن و ماسه واکنش‌پذیر هم باشند، تورم و خردشدگی ایجاد نمی‌شود.
- جایگزین کردن بخشی از سیمان با یک ماده فعال (از نظر شیمیایی) که به صورت پودر بسیار ریز درآمده و « پوزولان[11]» نامیده می‌شود. به این ترتیب اولین واکنش، بین مواد قلیایی و پوزولان صورت گرفته و در نتیجه قلیاییها، قبل از آنکه وارد واکنشهای مخرب شوند، مصرف خواهند شد.
- جلوگیری از مصرف شن و ماسه‌های واکنش پذیر
- آزمونهایی که برای تعیین فعالیت شیمیایی (واکنش پذیری) وجود دارد عبارتند از:
- آزمون انبساط میله ملاتی[12]،
- آزمون سریع شیمیایی (به روی شن و ماسه)، و
- بررسی سنگ‌شناسی شن و ماسه برای تشخیص مواد تشکیل دهنده آن.
- آزمونهای دیگری که برای مصالح ساخت بتن توصیه می‌گردد عبارتند از:
- تشریح نظری اجزای تشکیل دهنده سنگدانه،

---

1 - Reactivity
2 - Soda equivalent
3 - Opals
4 - Calsedoan
5 - Cristobalite
6 - Tridimite
7 - Riolote
8 - Dacite
9 - Andesite
10 - Tuffs
11 - Pozzolan
12 - Mortar bar

- آزمایش تأثیر مواد پوزولانی یا سرباره برای جلوگیری از انسباط بتن در اثر واکنش قلیایی،
- تعیین قابلیت فعل و انفعال قلیایی سنگ‌دانه به روش فیزیکی،
- تعیین مقاومت بتن در مقابل یخزدگی و ذوب سریع، و
- تعیین وزن مخصوص و جذب آب بتن.

صرف نظر از آزمایشهایی که در مورد شن و ماسه مصرفی بتن می‌توان انجام داد، آزمونهایی که روی بتن و سیمان (در صورت نیاز در طرحهای پوششهای رودخانه‌ای) به انجام می‌رسد عبارتند از [۱۲]:

- تعیین چگالی نسبی سیمان
- تعیین زمان شروع گیرش سیمان و مدت گرفتن آن
- آزمون تهیه ملات نرمال
- آزمون ساختن بتن (طرح بتن)
- آزمون افت بتن[1]
- سایر آزمونهای بتن و سیمان در صورت نیاز
- درمورد مصالح آسفالتی که مخلوطی است از مصالح سنگی با دانه‌بندی
- پیوسته و قیر، معمولاً بیش از ۹۰ درصد مخلوط آسفالت را مصالح خرده سنگی تشکیل می دهند. از این رو مشخصات مصالح خرده سنگی تأثیر بسزایی در کیفیت آسفالت به‌دست آمده دارد. مصالح سنگی آسفالت به سه دسته درشت، ریز و فیلر تقسیم می‌شوند.

مصالح سنگی درشت، شامل ذرات درشت تر از الک شماره ۸ (یا ۱۰) است. این مصالح که معمولاً از شن طبیعی و سنگ یا قلوه سنگ شکسته می‌باشد، باید بدون از مواد پوشاننده سطح دانه‌ها (مانند لای یا رس) یا هر نوع ماده مضر دیگر که مانع چسبیدن قیر به ذرات می‌شود ، ذرات سست و کلوخه های گلی و سنگهای تجزیه شده باشد. ساییدگی این مصالح در ۵۰۰ دور چرخش ماشین لوس آنجلس، نباید از ۳۰ تا ۴۰ تجاوز کند و مقاومت آنها نباید در مقابل عوامل جوی پس از ۵ چرخه آزمایش با سدیم سولفات از ۸ درصد بیشتر باشد.

مصالح خرده سنگی ریز (رد شده از الک شماره ۸ و باقی مانده روی الک ۲۰۰) که از شکستن سنگ، شن، ماسه طبیعی یا مخلوطی از آنها بدست می‌آید، باید تمیز، سخت و با دوام بوده و تا حد امکان گوشه‌دار و عاری بدون پوشش رس، لای یا هر گونه مواد مضر دیگر و کلوخه‌های رس و دانه‌های سست سنگهای تجزیه شده باشد. افت وزنی این مصالح پس از ۵ چرخه آزمایش با سدیم سولفات بایدکمتر از ۸ درصد باشد.

فیلر[2] (مصالح عبوری از الک ۲۰۰) نیز باید بدون موادآلی و رس باشد. فیلر را می‌توان از شکستن و خرد کردن سنگهای مناسب به‌دست آورد. دانه‌بندی فیلر مصرفی باید به صورت جدول ۵–۵ باشد [۱۲].

1 - Slump
2 - Filler

قیر مصرفی در آسفالت گرم، معمولاً ۶۰ / ۷۰ است. البته ممکن است با توجه به وضع آب و هوا، و نوع پوشش از انواع دیگر قیر نیز استفاده شود. کمیت و کیفیت مصالح سنگی و قیر و چگونگی اختلاط آنها، معمولاً در طرح آسفالت انجام می‌شود.

در پوششهای نفوذ ناپذیر می‌توان از آسفالت نفوذناپذیر[1] یا آسفالت سرد که در آن ماده چسبنده از مخلوط قیر و قطران می‌باشد استفاده نمود. مهم‌ترین آزمونهایی که برای تعیین ویژگیهای آسفالت انجام می‌شود، در جدول ۵-۶ آمده است.

جدول ۵-۵- مقایسه استانداردهای مربوط به دانه‌بندی فیلر

شماره الکها	درصد رد شده از الکها		
	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	ASTM امریکا	انستیتو آسفالت امریکا
۳۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۵۰	–	۹۵ –۱۰۰	۹۵ –۱۰۰
۱۰۰	۹۰ –۱۰۰	–	۹۰ –۱۰۰
۲۰۰	۷۰ –۱۰۰	۷۰ –۱۰۰	۷۰ –۱۰۰

جدول ۵-۶- آزمونهای استاندارد مصالح دانه‌ای آسفالت (انستیتو آسفالت امریکا نشریه M5-5)

نام آزمونها	شماره استاندارد	
	AASHTO	ASTM
– حداقل مقدار نمونه برای آزمایشگاه	T_2	D_{75}
– دانه‌بندی خشک مصالح درشت و ریز	T_{27}	C_{136}
– دانه‌بندی فیلر	T_{37}	C_{546}
– تعیین مقدار مصالح رد شده از الک ۲۰۰	T_{11}	C_{117}
– ارزش ماسه‌ای	T_{176}	–
– سایش (لوس آنجلس)	T_{96}	C_{131}
– سلامت سنگ (استحکام درمقابل عوامل جوی)	T_{104}	C_{88}
– وزن مخصوص مصالح سنگی درشت	T_{85}	C_{127}
– وزن مخصوص مصالح سنگی ریز	T_{84}	C_{128}
– رطوبت	–	–

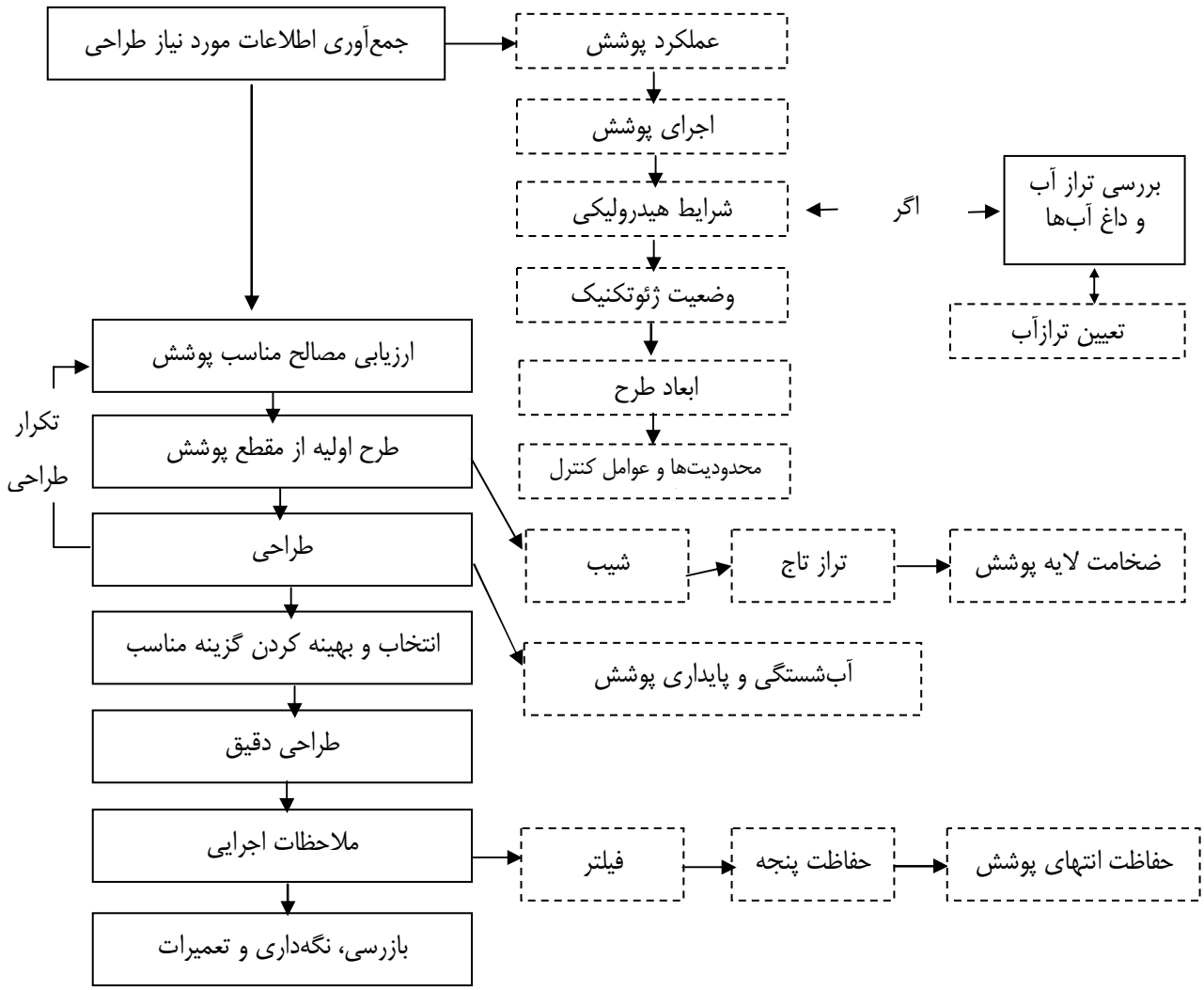
1 - Seal coat

۶- طراحی پوششها

ارائه معیارهای فنی برای طراحی و تعیین ابعاد سازه پوشش حفاظتی از بخشهای مفید و کاربردی راهنمای حاضر است که در این فصل، به آن پرداخته خواهد شد. با توجه به تنوع زیاد روشهای پوشش حفاظتی که در فصل سوم به آنها اشاره شده است، ارائه معیارهای کامل برای کلیه روشها براحتی امکان‌پذیر نخواهد بود. به‌خصوص آنکه بعضی روشها حاصل تجربه‌ها و اجرای پروژه‌های محلی در بعضی از کشورهای دیگر است که در نتیجه، معیارهای استانداردی برای آنها ارائه نشده است.

در هر صورت، سعی شده که با استفاده از منابع مختلف و معتبر، مجموعه‌ای مختصر از ضوابط کلی طراحی پوششها به تفکیک هر روش جمع‌آوری و ارائه شود. از آنجا که علاوه بر لایه پوشش حفاظت و تعیین ابعاد آن، لازم است اجزای دیگر سازه حفاظت مانند لایه فیلتر و حفاظت پنجه مشخص شود بنابراین در انتهای این فصل به دو بحث اساسی و مهم فیلتر و حفاظت پنجه پرداخته شده و معیارها و روشهای تعیین مشخصات آنها بیان خواهد شد.

برای آشنایی با روند طراحی پوششها و شناخت مراحلی که باید طی شود، نمودار طراحی پوشش حفاظتی در زیر ارائه شده است:



نمودار ۶-۱- روند طراحی پوشش

۶-۱ مبانی طراحی

مبانی طراحی، بیانگر عوامل اصلی تعیین کننده نوع و ابعاد سازه پوشش در هنگام طراحی است. منظور از طراحی یک پوشش تعیین حداقل ابعاد مورد نیاز برای حفظ پایداری آن در شرایط محیطی است.

مؤلفه‌های مختلف شرایط محیطی، در واقع مجموعه اطلاعات حاصل از مطالعات پایه است که در بخش قبلی توضیح داده شده است. مهم‌ترین عواملی که به‌طور مستقیم در طراحی نقش اساسی خواهد داشت و در مرحله تعیین نوع و ابعاد سازه پوشش، ضرورتاً باید مشخص شود، عبارت است از:

- نوع منطقه طرح از نظر شهری یا غیر شهری، تفرجگاهی یا غیر تفرجگاهی در تعیین نوع حفاظت و پوشش دارای اهمیت است. پوششهای گیاهی یا تلفیقی در محیط شهری و تفرج‌گاهی، نسبت به سایر روشها از اولویت بیشتری برخوردار است.
- مشخص کردن بازه یا بازه‌هایی که به پوشش حفاظتی نیاز دارد.
- تعیین سیل طراحی، بر مبنای میزان ریسک قابل قبول و آنالیز اقتصادی انجام می‌گیرد. سیل طراحی مبنای تعیین مؤلفه‌های هیدرولیکی مورد نیاز برای طراحی خواهد بود.
- ترازهای آب رودخانه و حداکثر تراز آب در شرایط پرآبی و حداقل آن در شرایط کم آبی و چگونگی تغییرات تراز در طول سال، از مشخصه‌های لازم برای طراحی و انتخاب نوع سازه است.
- حداکثر تراز آب، ارتفاع حفاظت را مشخص می‌کند. نوسانات سطح آب و حداقل تراز برای انتخاب سازه‌های پوشش، به‌صورت ترکیبی و تلفیقی مؤثر خواهد بود.
- سرعت متوسط جریان و سرعت جریان در نزدیکی کناره مورد نظردر شرایط سیلاب طراحی به‌طور مستقیم در تعیین نوع و ابعاد سازه محافظ مؤثر خواهد بود. برای مثال، ابعاد قطعات سنگ در پوشش سنگی یا بلوکهای بتنی تابع سرعت جریان است.
- ویژگیهای فیزیکی خاک کناره، برای انتخاب شیب پایدار کناره و طرح فیلتر و حتی طرح پوشش مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- وضعیت مصالح قابل دسترسی از نظر هزینه‌های اجرایی، زمان اجرا و استفاده از مصالح محلی در پروژه‌های حفاظت به‌ویژه در بازه‌های طولانی، بسیار با اهمیت است. مصالح محلی می‌تواند تعیین کننده اصلی در انتخاب نوع پوشش باشد.
- وضعیت اقتصاد طرح تعیین کننده محدودیتهای حاکم بر انتخاب طرح و ابعاد آن است. تعیین طول حفاظت و اولویت‌بندی آن، ارتفاع حفاظت و انتخاب مصالح، به شرایط اقتصادی پروژه بستگی خواهد داشت.

۶-۲ معیارهای طراحی

معیارها و اصول کلی طراحی هر یک از روشهای پوششها که به‌عنوان راهنمای کارشناس طراح می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد به ترتیب در ادامه مطلب اشاره شده است. البته باید توجه کرد که معمولاً هر یک از روشها با مختصر تفاوتی از اصول مشابهی در طراحی برخوردار است.

۶-۲-۱ پوشش سنگی

از مزایای پوششهای سنگی امکان طراحی با دقت و اطمینان بسیار بالا می‌باشد. سنگ، معمول‌ترین مصالح برای پوشش بوده و در اغلب حالتها، برتری خود را از نظر دوام و قابلیت انعطاف روی شیبهای نامنظم کناره نشان داده است. پوششهای معمول سنگی شامل نوع ریزشی، سنگ‌چین (دست‌چین)، سنگ‌چین باملات و نوع به‌خصوص سنگ‌ریسه است که به ترتیب به معیارهای کلی طراحی آن اشاره خواهد شد.

۶-۲-۱-۱ پوشش سنگی ریزشی و سنگ‌چین

همانگونه که قبلاً گفته شد، پوششهای سنگی انعطاف‌پذیر در دو نوع ریزشی و دست‌چین (سنگ‌چین) انجام می‌پذیرد. ملاحظات طراحی این دو گونه پوشش مشابه هم است اما همان‌گونه که در فصل سوم مطرح گردید، ضخامت پوششهای سنگ‌چین بدلیل قفل‌شدگی سنگها در یکدیگر به میزان ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متر کمتر از ضخامت پوششهای ریزشی در نظر گرفته می‌شود. سایر ملاحظات طراحی پوششهای مذکور معمولاً یکسان در نظر گرفته می‌شود. بدلیل گستردگی استفاده از پوششهای سنگی ریزشی و سنگ‌چین، بحث طراحی آن با تفصیل بیشتری نسبت به سایر پوششها ارائه خواهد شد.

عوامل مؤثر در مقاومت و کیفیت پوشش سنگی در برابر نیروهای فرسایشی جریان رودخانه شامل موارد زیر می‌باشد:

شکل، اندازه، وزن و دانه‌بندی سنگ، ضخامت لایه پوشش و شیب کناره، زبری، مسیر پلان و شیب کف رودخانه، مواد بستری و مشخصه‌های آب‌شستگی موضعی که تعیین کننده طرح حفاظت پنجه است. مصالح کناره و شرایط جریان آب زیرزمینی روی نیاز به فیلتر بین پوشش سنگی و مواد کناره تأثیر می‌گذارد[۳۷].

معیارهای کلی طراحی پوشش سنگی با در نظر گرفتن بعضی از عوامل بالا، در زیر اشاره شده است.

الف- شکل سنگ:

شکل سنگ در پوشش سنگی باید بصورت بلوکی (مکعبی یا مکعب مستطیل) باشد و نه کشیده و دراز. سنگهای مکعبی نسبت به جابه‌جایی، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهند. سنگ باید تیز گوشه و با وجوه صاف باشد. قلوه‌سنگهای با گوشه‌های گرد، مقاومت کمتری نسبت به جابه‌جایی از خود نشان می‌دهند. از آنجایی که قفل‌شدگی قلوه‌سنگ کمتر از سنگهای تیزگوشه با اندازه یکسان می‌باشد، مقاومت توده قلوه سنگی نسبت به فرسایش کمتر می‌باشد. اگر از قلوه‌سنگ استفاده شود بهتر است قلوه سنگها روی شیبهای ملایم‌تر کارگذاری شود و اندازه سنگها نیز ۲۵ درصد بیشتر از سنگهای تیز گوشه باشد.

محدودیتهای شکلی زیر باید برای سنگهای مورد استفاده در پوشش سنگی بدست آمده از معدن در نظر گرفته شود:

- سنگ باید تیز گوشه باشد،
- کمتر از ۳۰ درصد سنگها نسبت بزرگ‌ترین بعد به کوچکترین بعد (a/c) بیشتر از ۲/۵ داشته باشند،
- کمتر از ۱۵ درصد سنگها نسبت بزرگ‌ترین بعد به کوچکترین بعد، بیشتر از ۳/۰ داشته باشند، و
- هیچ سنگی نباید نسبت a/c آن بیشتر از ۳/۵ داشته باشد.

بعد a حداکثر طول سنگ است که در واقع محور بلند سنگ را تعریف می‌نماید. بعد c نیز حداکثر بعد سنگ موازی با محور کوتاه سنگ است.

ب- وزن مخصوص:

وزن مخصوص سنگ بایستی در دامنه بین ۲۴۰۰ تا ۲۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب قرار گیرد و اصولاً استفاده از سنگهایی با وزن مخصوص کمتر از ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب توصیه نمی‌گردد. در شرایطی که وزن مخصوص سنگ دقیقاً معلوم نیست حداقل وزن مخصوص سنگهای موجود در طراحی در نظر گرفته شود.

ج- دانه‌بندی:

- دانه‌بندی سنگها در پوشش سنگی روی مقاومت پوشش نسبت به فرسایش تأثیرگذار می‌باشد. سنگها باید در سرتاسر ضخامت لایه خوب دانه‌بندی شده باشد. معمولاً دو منحنی دانه‌بندی به‌عنوان محدوده‌های دانه‌بندی قابل قبول در نظر گرفته می‌شود و هر دانه‌بندی که در داخل این محدوده قرار بگیرد، قابل پذیرش می‌باشد. اندازه‌ها و وزن سنگها معمولاً بصورت $W_{100(min)}, D_{100(max)}, D_{30(min)}$ و غیره مشخص می‌شود. D وW به ترتیب اندازه قطر و وزن سنگ می‌باشد. شماره اندیس درصد ریزتر وزنی است .max و min اشاره به منحنیهای دانه‌بندی حد بالایی و پایین دارد.
- دانه‌بندی استاندارد شده که دارای میدان کوچکی از اندازه‌ها می‌باشد (نسبت $\frac{D85}{D15}$ برابر ۱/۴ تا ۲/۲) در جدول ۶-۱ نشان داده شده است [۳۷]. با استفاده از جدول ۶-۱ و با داشتن $D_{30(min)}$ یا $D_{100(max)}$ می‌توان دامنه دانه‌بندی سنگها را از نظر وزنی بدست آورد.
- در صورتی‌که تهیه سنگ با دانه‌بندی خوب با هزینه زیادی انجام شود، می‌توان گزینه استفاده از ضخامت بیشتر (در حدود ۱/۵ تا ۲ برابر ضخامت دانه‌بندی خوب) برای دانه‌بندی موجود را بررسی نمود.

د - ضخامت لایه سنگ:

همه سنگها باید در داخل ضخامت لایه پوشش سنگی، برای تأمین حداکثر مقاومت در مقابل نیروهای فرسایشی به نحو مناسبی قرار بگیرند. سنگهای بیشتر از اندازه، ممکن است باعث تخریب پوشش سنگی (از طریق ایجاد حفره‌های بزرگ، کندن و بردن مواد فیلتر و کناره، ایجاد اغتشاش موضعی شدید و کندن سنگهای کوچکتر) گردد.

جدول۶-۱- محدوده وزنی دانه‌بندی پوشش سنگ‌چین حداقل و حداکثر وزن W۱۰۰و W ۵۰و W۱۵ (کیلو گرم)

D_{100} max (متر)	W_{100}		W_{50}		W_{15}		D_{60} (min) (m)	D_{15} (min) (m)
	Max	Min	Max	Min	Max	Min		
	وزن مخصوص = ۲۵۰۰ (کیلوگرم بر متر مکعب)							
۰/۳۰	۳۷	۱۵	۱۱	۷	۵	۲	۰/۱۵	۰/۲۱
۰/۳۸	۷۲	۲۹	۲۱	۱۵	۱۰	۵	۰/۱۹	۰/۲۷
۰/۴۶	۱۲۴	۵۰	۳۷	۲۵	۱۹	۸	۰/۲۲	۰/۳۲
۰/۵۳	۱۹۷	۷۹	۵۹	۳۹	۲۹	۱۲	۰/۲۶	۰/۳۷
۰/۶۱	۲۹۵	۱۱۸	۸۷	۵۹	۴۴	۱۹	۰/۳۰	۰/۴۳
۰/۶۹	۴۱۹	۱۶۸	۱۲۴	۸۴	۶۲	۲۶	۰/۳۴	۰/۴۸
۰/۷۶	۵۷۶	۲۳۰	۱۷۱	۱۱۵	۸۵	۳۶	۰/۳۷	۰/۵۴
۰/۸۴	۷۶۶	۳۰۶	۲۲۷	۱۵۳	۱۱۴	۴۸	۰/۴۱	۰/۵۹
۰/۹۱	۹۹۵	۳۹۸	۲۹۵	۱۹۹	۱۴۸	۶۲	۰/۴۵	۰/۶۴
۱/۰۷	۱۵۸۰	۶۳۲	۴۶۸	۳۱۶	۲۳۴	۹۹	۰/۵۲	۰/۷۵
۱/۲۲	۲۳۵۸	۹۴۳	۶۹۹	۴۷۲	۳۴۹	۱۴۸	۰/۵۹	۰/۸۶
۱/۳۷	۳۳۵۸	۱۳۴۳	۹۹۵	۶۷۱	۴۹۸	۲۱۰	۰/۶۷	۰/۹۷
	وزن مخصوص = ۲۶۵۰ (کیلوگرم بر متر مکعب)							
۰/۳۰	۳۹	۱۶	۱۲	۸	۶	۲	۰/۱۵	۰/۲۱
۰/۳۸	۷۷	۳۰	۲۳	۱۵	۱۱	۵	۰/۱۹	۰/۲۷
۰/۴۶	۱۳۳	۵۳	۳۹	۲۶	۲۰	۸	۰/۲۲	۰/۳۲
۰/۵۳	۲۱۰	۸۴	۶۲	۴۲	۳۱	۱۳	۰/۲۶	۰/۳۷
۰/۶۱	۳۱۴	۱۲۵	۹۳	۶۳	۴۶	۲۰	۰/۳۰	۰/۴۳
۰/۶۹	۴۴۷	۱۷۹	۱۳۳	۸۹	۶۶	۲۸	۰/۳۴	۰/۴۸
۰/۷۶	۶۱۳	۲۴۵	۱۸۲	۱۲۳	۹۱	۳۸	۰/۳۷	۰/۵۴
۰/۸۴	۸۱۶	۳۲۶	۲۴۲	۱۶۳	۱۲۱	۵۱	۰/۴۱	۰/۶۰
۰/۹۱	۱۰۵۸	۴۲۴	۳۱۴	۲۱۲	۱۵۷	۶۶	۰/۴۵	۰/۶۴
۱/۰۷	۱۶۸۲	۶۷۳	۴۹۸	۳۳۶	۲۴۹	۱۰۵	۰/۵۲	۰/۷۵
۱/۲۲	۲۵۱۰	۱۰۰۴	۷۴۴	۵۰۲	۳۷۲	۱۵۷	۰/۵۹	۰/۸۶
۱/۳۷	۳۵۷۴	۱۴۳۰	۱۰۶۰	۷۱۵	۵۳۰	۲۲۳	۰/۶۷	۰/۹۷
	وزن مخصوص = ۲۸۰۰ (کیلوگرم بر متر مکعب)							
۰/۳۰	۴۲	۱۷	۱۲	۸	۶	۲	۰/۱۵	۰/۲۱
۰/۳۸	۸۱	۳۳	۲۴	۱۶	۱۲	۵	۰/۱۹	۰/۲۷
۰/۴۶	۱۴۰	۵۶	۴۲	۲۸	۲۱	۹	۰/۲۲	۰/۳۲
۰/۵۳	۲۲۳	۸۹	۶۶	۴۴	۳۳	۱۴	۰/۲۶	۰/۳۷
۰/۶۱	۳۳۳	۱۳۳	۹۹	۶۷	۴۹	۲۱	۰/۳۰	۰/۴۳
۰/۶۹	۴۷۴	۱۸۹	۱۴۰	۹۵	۷۰	۳۰	۰/۳۴	۰/۴۸
۰/۷۶	۶۵۰	۲۶۰	۱۹۲	۱۳۰	۹۶	۴۰	۰/۳۷	۰/۵۴
۰/۸۴	۸۶۵	۳۴۶	۲۵۷	۱۷۳	۱۲۸	۵۴	۰/۴۱	۰/۶۰
۰/۹۱	۱۱۲۳	۴۴۹	۳۳۳	۲۲۵	۱۶۷	۷۰	۰/۴۵	۰/۶۴
۱/۰۷	۱۷۸۴	۷۱۳	۵۲۸	۳۵۷	۲۶۴	۱۱۲	۰/۵۲	۰/۷۵
۱/۲۲	۲۶۶۲	۱۰۶۵	۷۸۹	۵۳۳	۳۹۵	۱۶۷	۰/۵۹	۰/۸۶
۱/۳۷	۳۷۹۱	۱۵۱۶	۱۱۲۳	۷۵۸	۵۶۲	۲۳۷	۰/۶۷	۰/۹۷

ضخامت لایه پوشش نباید کمتر از اندازه قطر سنگ حد بالایی D_{100} یا کمتر از ۱/۵ برابر اندازه قطر سنگ معادل D_{50} باشد (هر کدام که ضخامت بیشتری را ارائه نماید). زمانی که پوشش سنگی در زیر آب کارگذاری شود، ضخامت لایه باید به میزان ۵۰ درصد افزایش یابد. افزایش ضخامت در این حالت، به‌دلیل عدم اطمینان کافی در اجرای درست پوشش در زیر آب می‌باشد.

هـ- محاسبه اندازه سنگ:

روش تعیین اندازه سنگ بر اساس مرجع[۳۷] که مبتنی بر وجود اطلاعات زیادی است شرح داده می‌شود. در این روش، ابتدا سرعت متوسط موضعی روی شیب کناره، در عمق۲۰٪ ارتفاع جریان از کف تعیین می‌شود و بدنبال آن D_{30} لایه سنگی محاسبه می‌گردد. مراحل آن به ترتیب زیر است:

و- برآورد سرعت:

سرعت مذکور یعنی V_{ss} با استفاده از شکلهای ۶-۱ و ۶-۲ محاسبه می‌شود. در این شکل:

V_{ss} = سرعت مشخصه کناره در عمق۲۰٪ از کف،

V_{avg} = سرعت متوسط رودخانه در انتهای بالادست خم رودخانه،

R = شعاع خط مرکزی خم رودخانه، و

W = عرض سطح آب در رودخانه اصلی.

برای تعیین سرعت طراحی در مقاطعی از رودخانه مستقیم که به اندازه کافی از خم بالادست دور باشند (فاصله از خم بیشتر از ۵ تا ۱۰ برابر عرض رودخانه باشد) بهتر است ازمنحنی شکل ۶-۳ استفاده کرد. هر چند رودخانه‌های کمی وجود دارند که بتوان $\frac{V_{SS}}{V_{avg}}>1$ را بکار برد.

شکل ۶-۴ موقعیت نقاطی را که حداکثر سرعت نزدیک کناره را دارند نشان می‌دهد. شکل ۶-۵ نیز تغییر در سرعت روی شیب کناره، در منطقه خروجی پایین‌دست خم رودخانه را نشان می‌دهد. موارد مذکور بیانگر این مهم است که مهندس طراح باید هندسه رودخانه را کاملاً درنظر داشته باشد. برای سطوح مقطع یکسان، شیبهای تند کناره، تمایل به حرکت دادن سرعتهای حداکثر خم به سمت مرکز مقطع را دارند در صورتی‌که در شیبهای ملایم کناره، سرعتهای حداکثر خم روی شیب کناره اتفاق خواهد افتاد.

ز- روابط اندازه سنگ:

معادله اساسی برای تعیین اندازه سنگ (D۳۰) در رودخانه‌های مستقیم یا انحنادار به‌صورت زیر است.

$$D_{30} = S_f C_S C_v C_T d\left[\left(\frac{aw}{a_s.a_w}\right)^{0/5} \frac{V}{\sqrt{K_1 gd}}\right]^{2/5}$$

در این رابطه :

D_{30} = اندازه قطر سنگ پوشش سنگی به‌طوری‌که ۳۰٪ قطعات سنگ از نظر وزنی از آن کوچک‌تر است

S_r = ضریب اطمینان

C_S = ضریب پایداری برای آستانه تخریب:

= ۰/۳ برای سنگهای گوشه‌دار

= ۰/۳۷۵ برای سنگهای گرد گوشه

C_V = ضریب توزیع سرعت عمودی که از شکل ۶-۶ و یا مقادیر زیر قابل استخراج می‌باشد:

= ۱/. برای بازه‌های مستقیم و برای ناحیه داخلی خمها

= $\left(\frac{R}{W}\right)$ log ۰/۲ – ۱/۲۸۳ برای ناحیه خارجی خمها (مقدار آن برای ۲۶< R/W ، ۱ است)

= ۱/۲۵ برای پایین‌دست معابر بتنی

= ۱/۲۵ برای انتهای دایکها

C_T = ضریب تصحیح ضخامت (شکل ۶-۸)

D = عمق موضعی جریان

a_w = وزن مخصوص آب

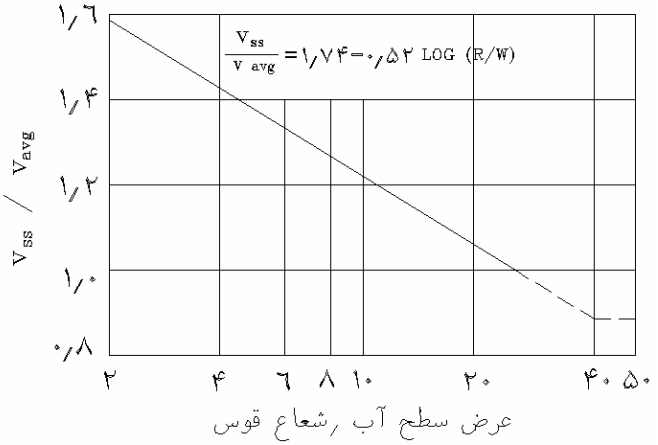
a_s = وزن مخصوص سنگ

V = سرعت موضعی، معمولاً V_{SS}

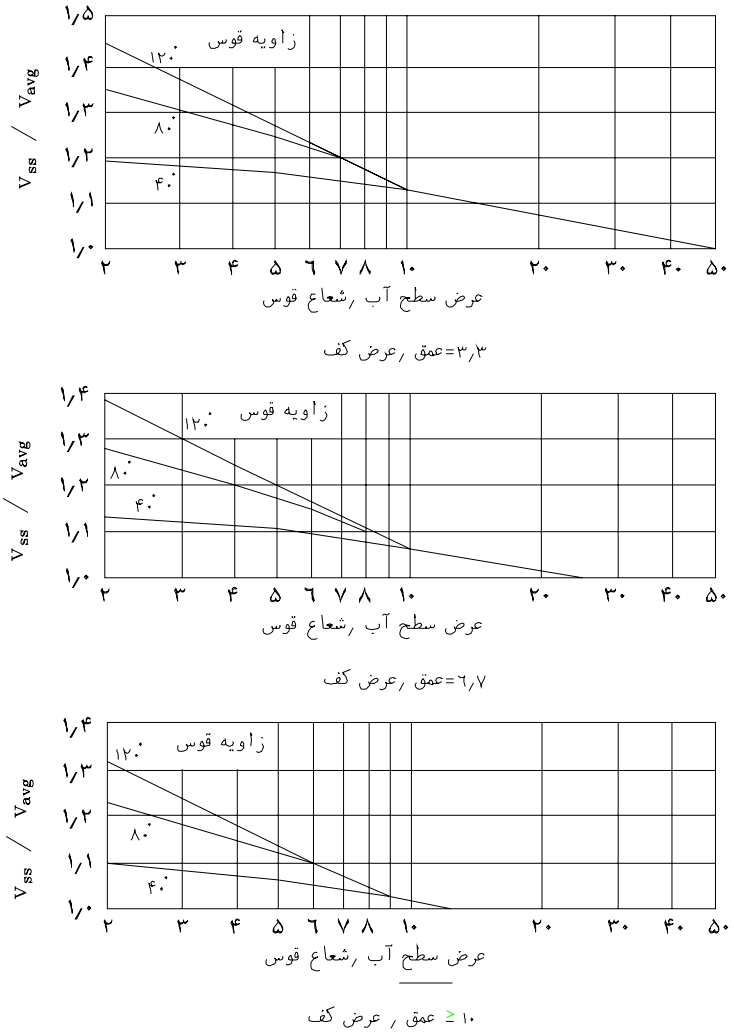
K_1 = ضریب تصحیح شیب کناره

G = شتاب جاذبه

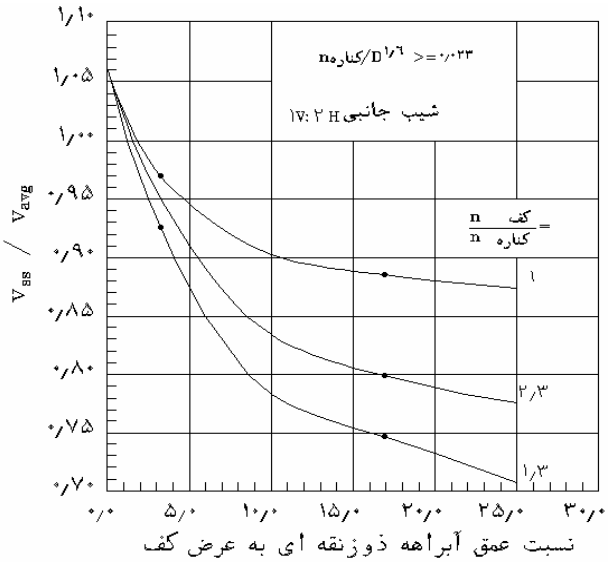
این معادله هم در سامانه SI و هم در سایر سامانه‌ها قابل استفاده می‌باشد.



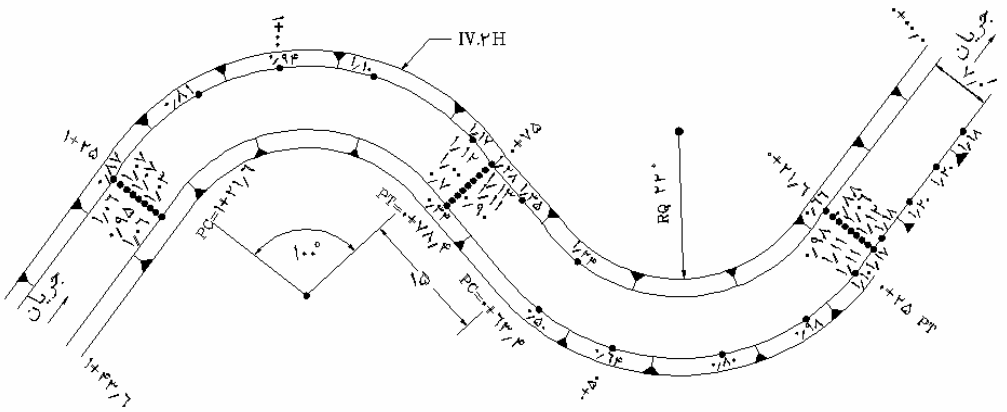
شکل ۶-۱- سرعتهای طراحی پوشش سنگی (سرعت در فاصله ۰/۲ عمق از کف روی کناره)



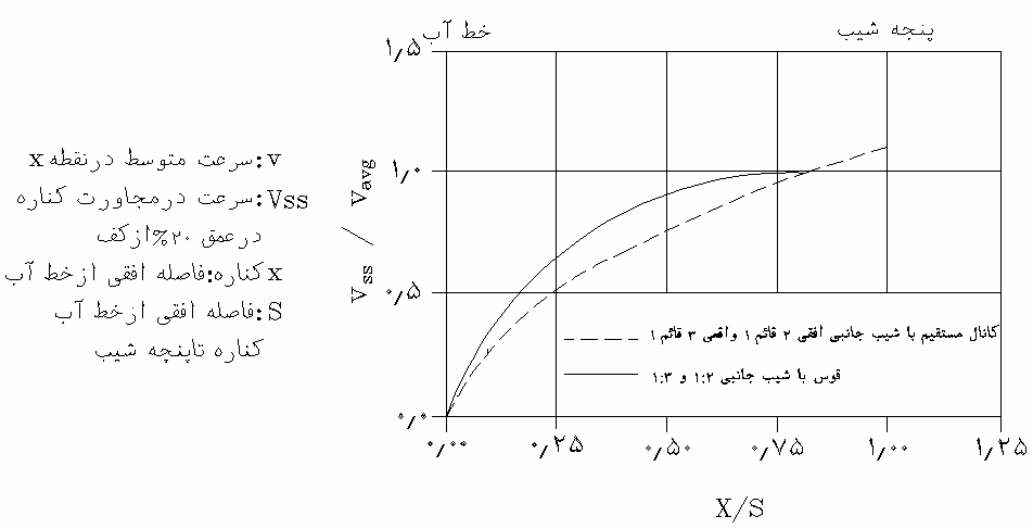
شکل ۶-۲- سرعت طراحی پوشش سنگی با توجه به زاویه قوس



شکل ۶-۳- منحنی تعیین سرعت متوسط کناره در عمق ۰/۲ از کف در کانالهای مستقیم



شکل ۶-۴- توزیع سرعت در کانال ذوزنقه‌ای



شکل ۶-۵- توزیع سرعت شیب جانبی

ح- ضریب اطمینان:

معادله اساسی تعیین اندازه سنگ، اندازه سنگی را که در شرف تخریب است در حالت S_f =۱ تعیین می‌نماید. برای طرح یک پوشش سنگی مطمئن، اندازه مشخصه سنگ باید برای مقابله با نیروهای اعمالی هیدرودینامیکی و غیر هیدرودینامیکی و یا شرایط فیزیکی غیر قابل کنترل افزایش یابد. بنابراین ضریب اطمینانی بیشتر از باید در نظر گرفته شود.

این ضریب، برای شرایط زیر قابل افزایش است:

- ضربه‌های ناشی از درختان شناور، شناورها، یخ و دیگر اجسام شناور
- عدم توانایی کافی در تعیین دقیق سرعت، وزن مخصوص سنگ و عمق جریان

- سرقت سنگها
- انجماد آب و ذوب یخ

ضریب اطمینان مبتنی بر هر یک از ملاحظات مذکور باید بطور جداگانه بررسی شده و سپس بزرگ‌ترین مقادیر در معادله مذکور به‌کار رود.

- ضریب تصحیح شیب کناره:

K_1 ضریب تصحیح شیب کناره معمولاً با رابطه کارتر[1] تعریف می‌شود:

$$K_1 = \sqrt{1+\frac{\sin\theta}{\sin^2\varphi}}$$

که در آن:

θ = زاویه شیب کناره با افق و

φ = زاویه ایستایی مصالح پوشش سنگی (معمولاً ۴۰ درجه) است.

ط- ضریب تصحیح ضخامت:

تصحیح برای ضخامت پوشش سنگی در شکل ۶-۸ نشان داده شده است [۳۷]. این ضریب، در صورتی به‌کار می‌رود که ضخامت مورد نظر برای لایه پوشش، بیشتر از مقدار توصیه شده‌ای باشد که عبارت است از بیشترین مقدار دو کمیت D_{100} و $1/5\,D_{50}$، بنابراین در این‌صورت تصحیحی در تعیین اندازه سنگ پوشش اعمال خواهد شد.

- تعیین اندازه D_{50} :

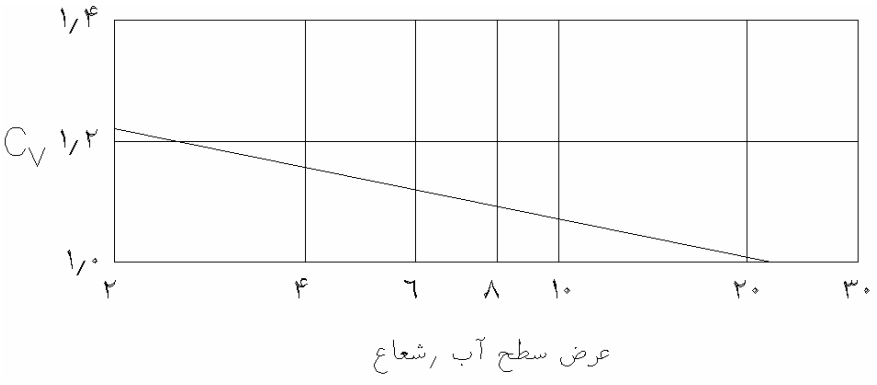
بسیاری از مهندسین طراح، ترجیح می‌دهند که از D_{50} استفاده نمایند. رابطه زیر، با استفاده از D_{30}، D_{85} و D_{15}، مقدار D_{50} را به‌دست می‌دهد.

$$D_{50} = \left(\frac{D_{85}}{D_{15}}\right)^{0/33} D_{30}$$

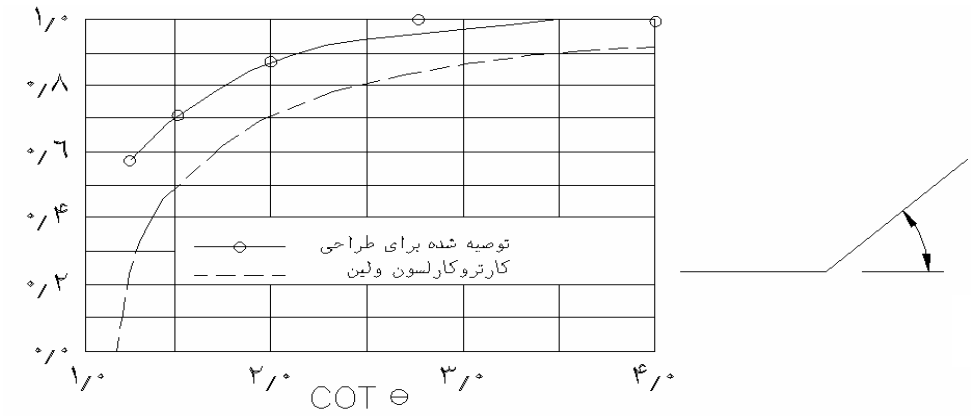
ی- خلاصه روش تعیین اندازه سنگ پوشش:

- تعیین سرعت متوسط جریان برای شرایط طرح با استفاده از روشهای محاسباتی، مدل فیزیکی یا اندازه‌گیری صحرایی
- تعیین V_{SS} با استفاده از یکی از اشکال ۶-۱، ۶-۲ و ۶-۳
- تعیین D_{50} با استفاده از معادله ارائه شده
- تعیین دانه‌بندی با داشتن D_{30} محاسبه شده و با استفاده از جدول ۶-۱

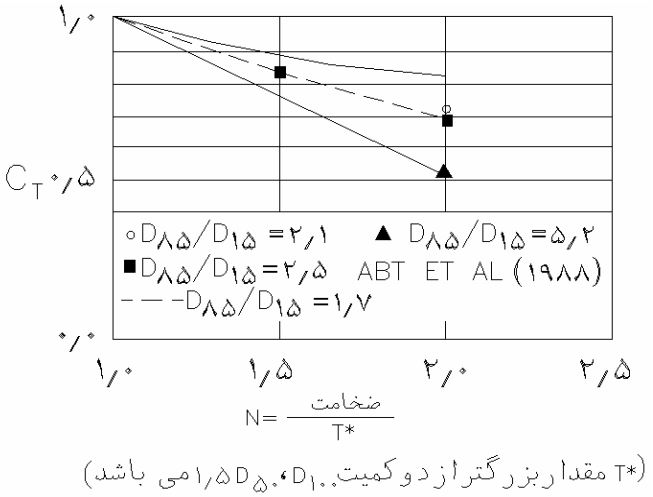
1 - Carter etal.1953



شکل ۶-۶- ضریب تصحیح توزیع سرعت عمودی



شکل ۶-۷- ضریب تصحیح زاویه شیب جانبی کناره



شکل ۶-۸- ضریب تصحیح ضخامت

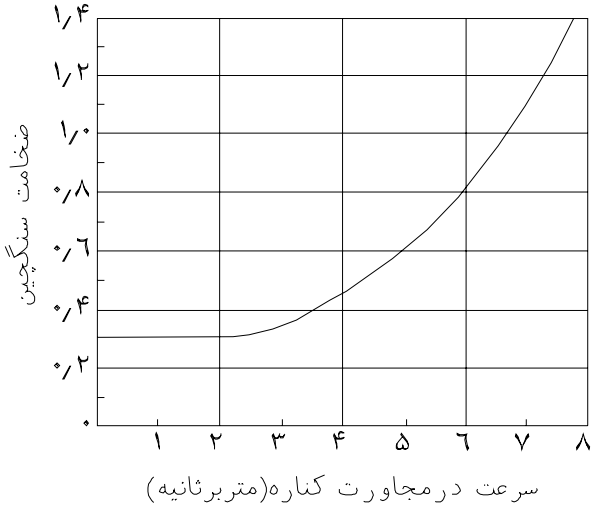
۶-۲-۱-۲ پوشش سنگ‌چین با ملات

این نوع پوشش در واقع نوعی پوشش یک‌پارچه بوده و پس از ساخت، سطح به‌هم پیوسته‌ای را بوجود می‌آورد. چون ملات استحکام بیشتری به مصالح سنگی می‌دهد، در این نوع پوشش مصالح بادانه‌بندی ریزتری نسبت به سنگریز قابل استفاده می‌باشد. در حالتی که ملات به صورت سطحی ریخته شود اندازه D_{50} مصالح سنگی تا ۱۰ درصد قابل کاهش است. این مقدار برای حالتی که ملات تا ۶۰ درصد حفره‌های اطراف سنگها را پوشانده باشد، به ۴۰٪ کاهش می‌یابد [۲۳].

به‌کارگیری ملات با سنگ‌چین، باعث افزایش صلبیت و کاهش نفوذپذیری می‌شود و لازم است در طراحی این دو مورد لحاظ شوند. برای رفع فشار آب حفره‌ای و جلوگیری از تخریب پوشش، لازم است علاوه بر تعبیه فیلتر مناسب در زیر پوشش، در قسمتهایی از پوشش نیز از ملات استفاده نشود. در واقع این قسمتها، نقش مجرای تراوش[1] را بازی می‌کنند و باعث کاهش فشار آب حفره‌ای در زیر پوشش می‌گردند[۱۹]. برخی مراجع استفاده از لوله‌های با قطر۷۶ میلیمتر به فواصل افقی ۱/۸ متر و فواصل عمودی۳ متر را توصیه می‌کنند. این لوله‌ها باید تا لایه زهکش امتداد پیدا کنند و انتهای مدفون آنها با فیلتر مناسب پوشانده شود [۲۱]. از طرفی چون این نوع پوشش نسبت به سنگ‌چین بدون ملات صلبیت بیشتری دارد، لازم است در مورد نشستهای شالوده دقت کافی به عمل آورده شود. اگر خاک زیر پوشش استحکام کافی نداشته باشد و دچار نشست و تغییر شکل شود، ممکن است باعث از بین رفتن پوشش گردد. بنابراین در مواردی ممکن است احتیاج به عملیات تراکم روی پی باشد[۱۹].

پی باید تحمل وزن پوشش در حالت خشک و در حالت اشباع، به اضافه وزن آب روی پوشش را داشته باشد. همچنین توصیه می‌شود شیب کناره از ۱ به ۱/۵ (یک افقی به ۱/۵ قائم) بیشتر نباشد.

برای ضخامت لایه پوشش برخی مراجع نمودار زیر (شکل۶-۹) را پیشنهاد می‌دهند که ضخامت پوشش را بر اساس سرعت آب در مجاورت کناره (با اندازه گیری صحرایی) بدست می‌دهد. توصیه می‌شود که اندازه متوسط سنگها نباید از ۰/۶۷ ضخامت پوشش بیشتر باشد[۲۱].

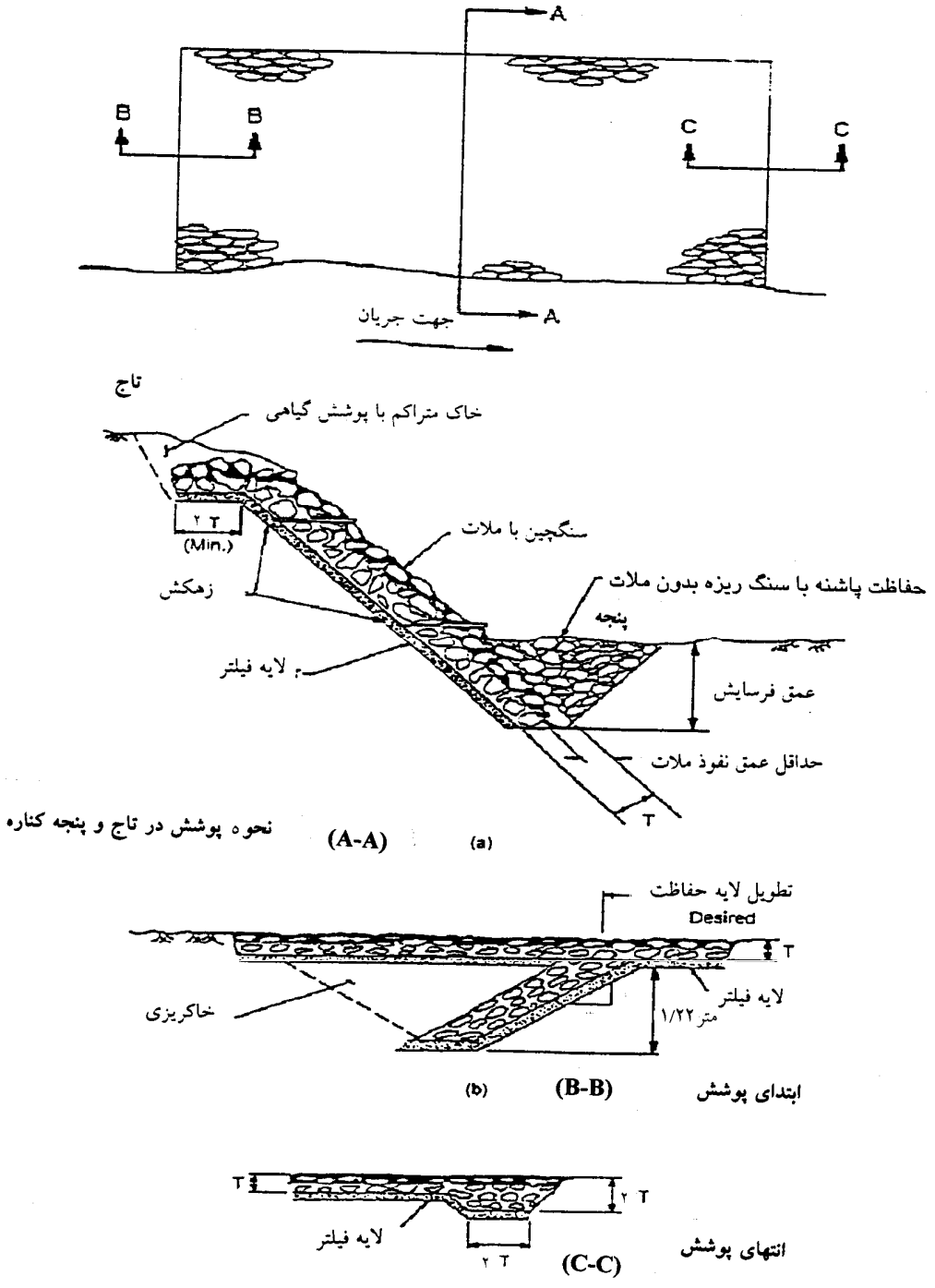


شکل ۶-۹- تعیین ضخامت پوشش سنگ‌چین با ملات بر اساس سرعت آب

1 - Weep hole

برای نفوذ مناسب دوغاب سیمان به فضای بین سنگها، دانه‌بندی پوشش باید عاری از سنگهای ریز باشد. ملات مورد نظر باید مقاومت کافی داشته باشد و اسلامپ آن در حدود ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر باشد[۲۱].

در کناره‌های پوشش (تاج، پنجه و دو انتها) نیاز به دقت بیشتری برای جلوگیری از آب شستگی و تخریب پوشش می‌باشد. پنجه باید تا عمق آب‌شستگی احتمالی امتداد یابد. همچنین در پاشنه می‌توان از شمعهای ورقه‌ای یا بلوکهای بتنی استفاده کرد. جزئیات حفاظت کناره‌ها با پوشش سنگ‌چین با ملات در شکل ۶-۱۰ نشان داده شده است.



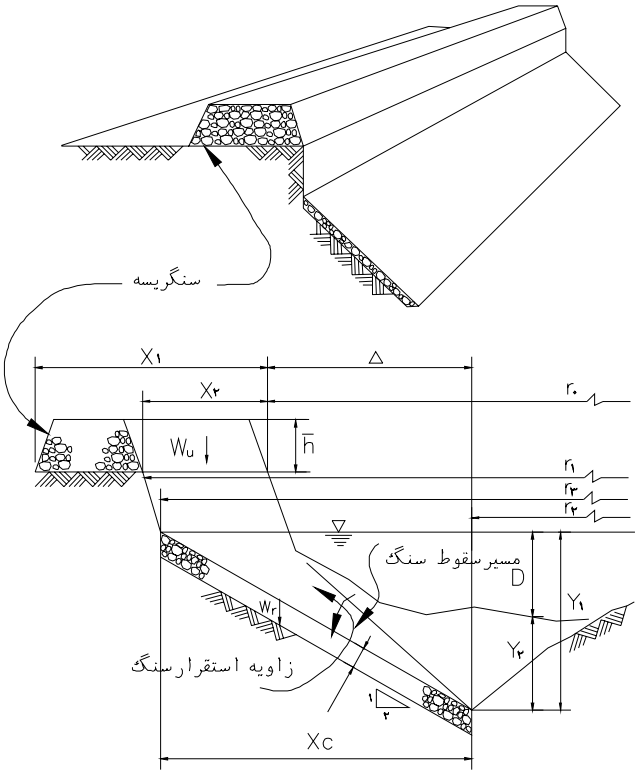
شکل ۶-۱۰- جزئیات حفاظت کناره‌ها در پوشش سنگ‌چین با ملات

۶-۲-۱-۳ پوشش سنگریسه

استفاده از روش سنگریسه در مناطقی که تأمین مصالح سنگی نسبتاً ارزان است گزینه‌ای اقتصادی خواهد بود. همچنین در بازه‌هایی که سرعت زیاد جریان و تراز سطح آب مانع از عملیات اجرایی است این روش مناسب می‌باشد. مهم‌ترین نکته در اجرای موفق این روش این است که آهنگ خود ریزشی سنگها بر روی شیب کناره یکنواخت باشد. بنابراین نحوه قرار گرفتن توده سنگها بر روی کناره مهم می‌باشد. بر اساس مدلهای آزمایشگاهی، شکل مستطیلی برای پوشش سنگریسه بهترین حالت می‌باشد. زیرا اولین ریزش نسبتاً حجیم خواهد بود و باعث می‌شود تا پوشش مناسبی در پنجه ایجاد شود. برای ایجاد شکل مقطع مستطیلی سنگریسه‌ها می‌توان با حفر ترانشه به این هدف نائل آمد. پس از شکل مستطیلی، حالت ذوزنقه‌ای ارجح می‌باشد. در این حالت نیازی به حفر ترانشه نخواهد بود. شکل مقطع سنگریسه به‌صورت مثلثی نیز در بعضی حالات استفاده می‌شود که در ابتدا سنگهای بیشتری را تأمین می‌کند ولی بتدریج از مقدار ریزش سنگها کاسته می‌شود.

سرعت و مشخصه‌های جریان، اندازه سنگهای این نوع پوشش را مشخص می‌سازد. سنگ باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا بتواند در مقابل نیروهای رانشی جریان مقاومت نماید.

نتایج بدست آمده از پوششهای سنگریسه اجرا شده نشان داده‌اند که دانه‌بندی کوچک مصالح (اندازه D_{50} معادل ۱۸ تا ۲۰ سانتی‌متر) مؤثرتر از سنگهای با دانه‌بندی بزرگ (D_{50} معادل ۲۳ تا ۲۵ سانتی‌متر) می‌باشد چراکه دانه‌بندی کوچکتر تشکیل یک لایه متراکم می‌دهد[۱۶].



شکل ۶-۱۱- پوشش سنگریسه و نحوه ریزش سنگها بر روی کناره

۶-۲-۲ پوششهای تورسنگی

پوششهای تورسنگی شامل ظرف شبکه‌ای است که توسط قلوه سنگ یا سنگ معدن پر می‌شود. همانگونه که در فصل سوم توضیح داده شد، اینگونه پوششها به سه نوع پوششهای تورسنگی تشکی، تورسنگی جعبه‌ای و تورسنگی کیسه‌ای تهیه و ساخته می‌شوند.

۶-۲-۲-۱ تورسنگی تشکی

تحت شرایط هیدرولیکی یکسان یک تورسنگ تشکی به ضخامت کمتری نسبت به پوششهای سنگی دیگر نیاز دارد. آزمایشهای اخیر روی مدلها، راهنمای تعیین ضخامت تورسنگ تشکی مرتبط با سرعت و تنش برشی را ارائه نموده است. در این رابطه، دو شرایط اساسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است:

الف – حرکت اولیه سنگها درون تورسنگ تشکی

ب – شرایطی که شکل تشک دراثر حرکت سنگ تغییر یافته ولی تشک تخریب نشده است.

آزمایشها نشان دادند که تورسنگ تزریق نشده به ضخامت ۲۳ سانتی‌متر قابلیت مقاومت در مقابل سرعتهای زیاد را دارد. تزریق بتن یا آسفالت داخل توری باعث افزایش سرعتهای مجاز می‌گردد. قابل توجه است که مقاومت سیمهای شبکه نقش اساسی در مهار پایداری تشکها دارد. اندازه سنگهای پرکننده باید یکنواخت‌تر از سنگ‌چین باشد. کوچک‌ترین اندازه باید بزرگ‌تر از بازشدگی شبکه تورسنگی باشد. اما بزرگ‌ترین اندازه سنگها باید به اندازه کافی کوچک باشد تا خلل و فرج بزرگ بین سنگها را به حداقل برساند. قلوه سنگهای کف بستر رودخانه معمولاً به منظور کاهش هزینه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تزریق درون شبکه تورسنگی با آسفالت یا بتن باعث به حداقل رساندن خوردگی، خراش و سرقت می‌گردد. در شرایطی که امکان خوردگی و یا خراشیدگی شبکه تورها زیاد است، باید از کاربرد شبکه تورسنگی با توجه به ویژگیهای آن مطمئن شد. حتی در نواحی که به دلیل کیفیت آب، ممکن است بگونه‌ای سیمهای گالوانیزه دچار خوردگی گردد، استفاده از پوشش پلی وینیل کلراید روی سیمها توصیه می‌شود.

۶-۲-۲-۲ تورسنگی جعبه‌ای

استفاده از این‌گونه پوششها بدلیل شکل جعبه‌ای و یا مکعب مستطیلی آنها، بجز در مجاورت شیبهای تند، چندان معمول نمی‌باشد و عموماً تورسنگهای تشکی کاربرد بیشتری دارند. چراکه دارای انعطاف‌پذیری بیشتر بوده و به حجم کمتری از سنگ نیاز دارد. طرح تورسنگهای جعبه‌ای معمولاً توسط کارخانه‌های سازنده ارائه می‌شود.

تورسنگهای جعبه‌ای برای حفاظت کف بستر رودخانه و در محیطهای با شدت زیاد اغتشاش جریان نظیر پایین‌دست کالورتها، بندها، سرریزها و .. کاربرد زیادی دارند. به منظور طراحی تورسنگهای جعبه‌ای در این وضعیت ، رابطه زیر برای تعیین اندازه سنگها مناسب می‌باشد[۱۹]:

$$D_{n50} = C \frac{U_b^2}{Sg(S-1)}$$

که در آن D_{n50} اندازه مشخصه سنگ، C ضریب مربوط به شدت آشفتگی، g شتاب جاذبه، S دانسیته نسبی مصالح پوشش و U_b سرعت جریان در نزدیکی بستر می‌باشد (۱۰٪ عمق جریان) که به روش اندازه‌گیری صحرایی تعیین می‌شود.

اندازه جعبه‌ها و شبکه‌ها معمولاً استاندارد می‌باشد. در معادله فوق که برای تورسنگهای جعبه‌ای و تشکی با ضخامت ۳۰۰ میلی‌متر ارائه شده است، مقدار C به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$C = 12/3\,TI - 1/65$$

این رابطه برای $TI \geq ۰/۱۲$ تعریف شده است که در آن TI شدت اغتشاش می‌باشد. مقادیر TI برای شرایط مختلف جریان با استفاده از جدول ۶-۲ قابل تعیین می‌باشد.

جدول ۶-۲- سطح مختلف اغتشاش

موقعیت	سطح اغتشاش	
	کیفی	شدت اغتشاش TI
بازه‌های مستقیم و خمهای ملایم $\frac{R}{W} > 26$	نرمال (پایین)	۰/۱۲
گوشه‌های پوششها در بازه‌های مستقیم	نرمال (شدید)	۰/۲
پایه‌های پل، آب شکنها، تبدیلها	متوسط تا شدید	۰/۳۵-۰/۵
پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی (سرریزها، کالورتها، حوضچه‌های آرامش)	خیلی شدید	۰/۶

رابطه دیگری که به‌عنوان رابطه پیلارزیخ[1] قابل کاربرد است به صورت زیر می‌باشد:

$$D = \frac{1}{\Delta}\frac{0/035}{\Psi cr} K_T K_h K_s^{-1} \frac{U_d^2}{2g}$$

در این رابطه D اندازه متوسط مصالح سنگی پر کنده تورسنگ، ضریب تصحیح پایداری که برابر ۰/۷۵ برای حفاظت پیوسته و بین ۱ تا ۱/۵ برای حفاظت گوشه‌ها و تبدیلها می‌باشد، Δ دانسیته نسبی سنگ، Ψ_{cr} ضریب پایداری برابر ۰/۰۷، K_T ضریب اغتشاش که برای اغتشاش نرمال رودخانه معادل ۱ و برای اغتشاش شدید جریان ۱/۵ تا ۲ می‌باشد. K_h ضریب

1 - Pilarczyk

عمق که به‌صورت $K_h = (\frac{D}{y})^{0/2}$ قابل تعریف می‌باشد. در این رابطه y عمق آب در محل پنجه کناره، K_s ضریب شیب که به‌صورت حاصل‌ضرب شیب کناره K_d و شیب طولی K_L قابل تعریف می‌باشد. به‌عبارت دیگر $K_s = K_d K_L$

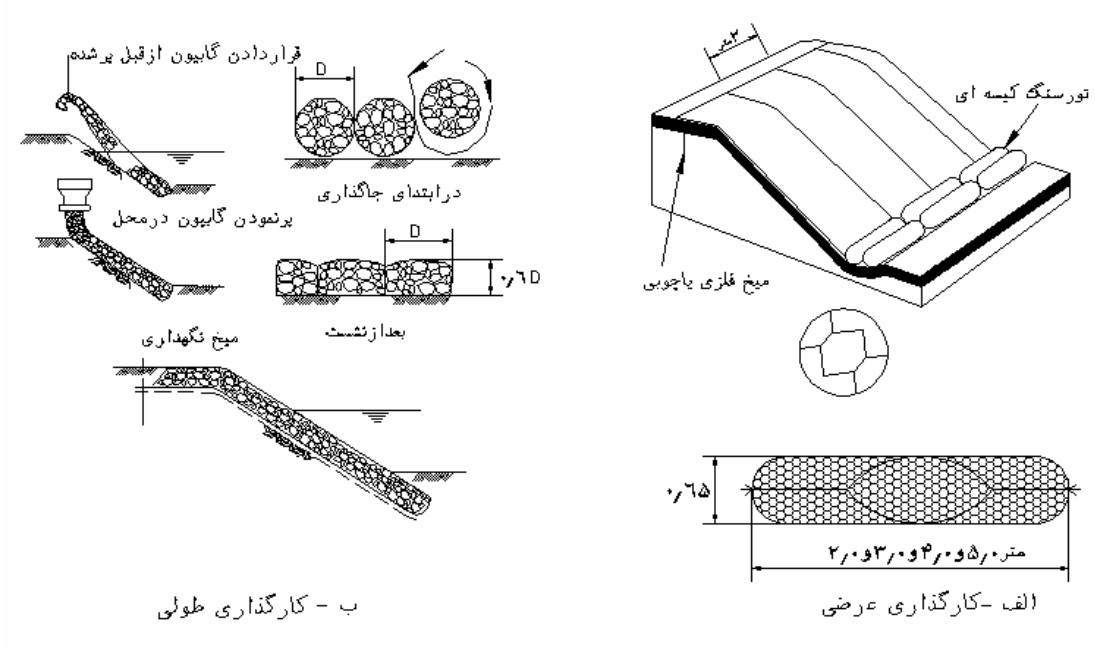
$$K_d = \cos\alpha\sqrt{1-\left(\frac{\tan\alpha}{\tan}\right)^2} \qquad \text{و} \qquad K_L = \frac{\mathrm{Sin}(\varphi-\beta)}{\mathrm{Sin}\varphi}$$

در این رابطه α، شیب کناره و φ زاویه اصطکاک داخلی ذرات و β زاویه شیب طولی رودخانه نسبت به افق می‌باشد، U_d نیز سرعت متوسط در عمق می‌باشد. این رابطه، یک معادله سعی و خطایی می‌باشد و بنابراین به حدس اولیه‌ای از اندازه سنگ نیاز دارد. روش سعی و خطا باید تا یکی شدن اندازه سنگ ادامه پیدا کند.

۶-۲-۲-۳ تورسنگی کیسه‌ای

تورسنگهای کیسه‌ای را می‌توان جهت ایجاد پوشش روی شیب کناره قرار داد. این روش کاربرد چندانی ندارد. معمولاً کارگذاری کیسه‌ها به دو صورت طولی و عرضی انجام می‌شود که در شکل ۶-۱۲ مشاهده می‌شود کیسه‌های گابیونی به شکل سوسیس مانند از سنگ پر می‌شود و سپس در محل مورد نظر جاگذاری می‌گردد. کارگذاری کیسه به صورت عرضی معمولاً برای پنجه خاکریزها استفاده می‌شود [۱۹].

کیسه‌های تورسنگی از جنس گالوانیزه و یا پلیمرهای فشرده می‌باشد و در صورتی‌که از کیسه‌ای گالوانیزه استفاده می‌شود چنانچه PH آب رودخانه کمتر از ۷ و یا بیشتر از ۱۲ باشد، بایستی توریها با مواد PVC پوشش داده شده باشد[۲۳]. قطر کیسه‌ها در حدود ۶۰ سانتی‌متر و طول آن از ۲ تا ۵ متر متفاوت می‌باشد.



شکل ۶-۱۲- کاربرد و مشخصات تورسنگ کیسه‌ای

۶-۲-۳ پوششهای بتنی

همانطور که در بحثهای قبل مطرح شد، پوششهای بتنی به‌صورت درجا یا پیش‌ساخته در حفاظت رودخانه‌ها کاربرد دارند که هر یک به صورت جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به یادآوری است که مواردی چون قالب بندی، آرماتوربندی، درزها و عمل‌آوری بتن بر مبنای دستورالعملهای خاص مربوط به کارهای بتنی مانند آئین نامه‌های آبا[1] و ACI می‌باشد و در این مجموعه نمی‌گنجد.

۶-۲-۳-۱ پوشش بتنی درجا

با توجه به اینکه این نوع پوشش نفوذپذیری کمی دارد، لازم است با انتخاب تعداد کافی مجرای تراوش و با هر روش مناسب دیگری فشار آب حفره‌ای را کاهش داد. همچنین برای جلوگیری از خرابی پوشش در اثر نشستهای نا مساوی شالوده یا تغییرات دما، لازم است در فواصل منظمی درزهایی تعبیه شود. موارد فوق در پائین‌دست سازه‌های هیدرولیکی اهمیت بیشتری دارد زیرا بالا بودن تلاطم جریان و نیروی زیر فشار[2] در چنین شرایطی احتمال خرابی پوشش را افزایش می‌دهد[۱۹].

بستر زیر پوشش برای رسیدن به یک پی مناسب، باید در حد ملایم کوبیده شود. پی باید وزن پوشش و آب روی آنرا تحمل کند. ضخامت پوشش معمولاً بین۱۰ تا ۱۵ سانتی متر می‌باشد و برای کنترل ترک و حفظ پیوستگی در آن از آرماتور استفاده می‌شود [۲۱]. برای اجتناب از قالب‌بندی سطح بالایی بتن سعی می‌شود شیب ۱/۵ :۱ یا کمتر لحاظ شود. حفاظت گوشه‌های پوشش شامل تاج، پنجه و دو انتها، نیاز به دقت و کنترل بیشتری دارد. در شکل ۶-۱۳ روش حفاظت گوشه نشان داده شده است.

در مرحله طراحی پوششهای بتنی درجا، جابه‌جایی و تغییر مکان باید مورد توجه جدی قرار گیرد. این جابه‌جاییها ممکن است بدلیل نشست پی بوده و یا نتیجه انقباض و تغییر مکان حرارتی در سازه بتن باشد. با ایجاد درز جابه‌جایی می‌توان تا حدی انعطاف‌پذیری ایجاد نمود. بتن درجا یک سطح ناتراوا است و بنابراین ضروری است که پیش‌بینی مناسبی برای انطباق با جریان آبهای زیرزمینی انجام گیرد (توسط ایجاد سوراخهای زهکشی)

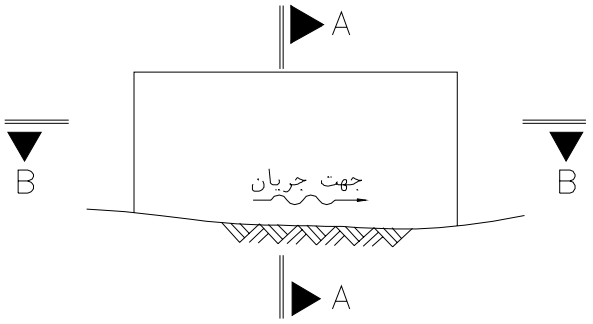
بایستی توجه داشت که اسلامپ پایین لازمه سهولت بتن‌ریزی روی شیب است ولی ممکن است موجب کاهش دوام دراز مدت پوشش بتنی گردد.

۶-۲-۳-۲ پوشش بتنی پیش ساخته

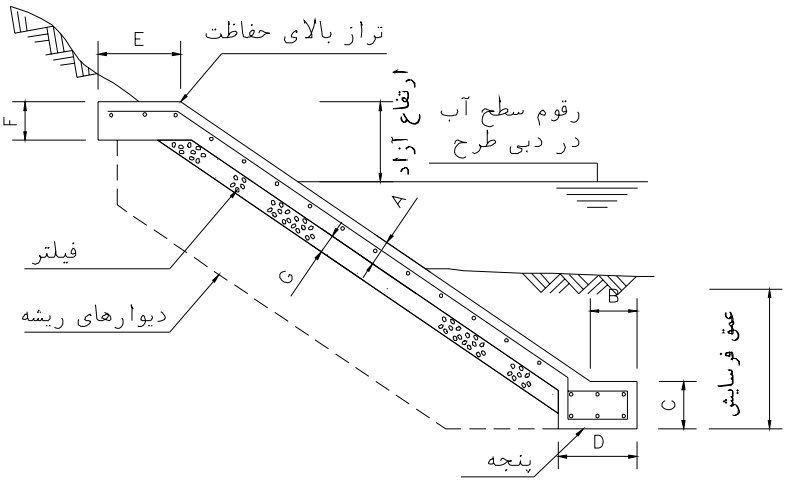
این نوع پوشش متشکل از دالهای پیش ساخته بتنی است که ضخامت آن نسبت به دو بعد دیگر کوچک است و به همین دلیل وزن واحد سطح آن کم می‌باشد. بنابراین این نوع پوشش نیاز به طراحی دقیق دارد تا تحت بارهای وارده پایدار بماند. علاوه بر امواج و جریان آب، نیروی زیر فشار نیز یکی از عوامل مهم در تخریب این نوع پوشش است.

1- آیین نامه بتن ایران

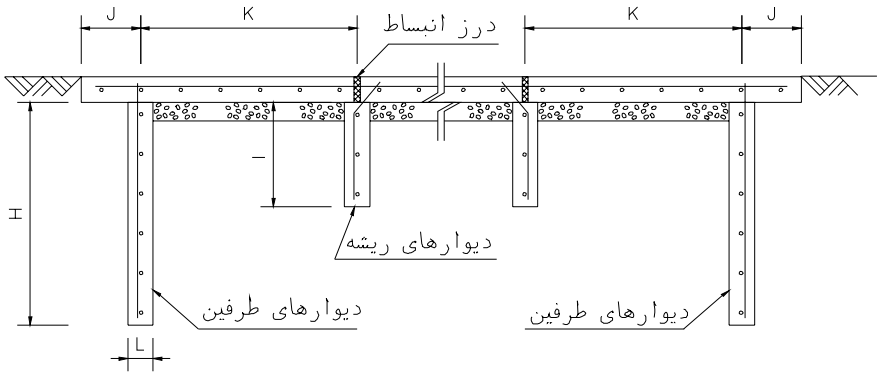
2 - Uplift pressure



پلان



مقطع A – A



مقطع B – B

شکل ۶-۱۳- جزئیات پوشش بتنی

در جاهایی که فشار آب حفره‌ای بالا است باید با تعبیه مجرای تراوش در داخل دالهای بتنی این فشار را کاهش داد. همچنین جهت کنترل شستشوی مصالح ریزدانه زیر پوشش از میان درزها، فیلتر مناسب در لایه زیرین تعبیه شود.

ضخامت بتن در واقع بر اساس ایجاد تعادل بین نیروهای مقاومت (وزن، اصطکاک بتن و خاک، محدودیتهای جانبی) و نیروهای محرک (جریان آب نیروی زیر فشار) تعیین می‌شود. البته تحت هیچ شرایطی نباید ضخامت بتن از ۸ سانتی‌مترکمتر باشد [۱۹]. سایر ابعاد بلوکهای بتنی با توجه به نظر طراح و در نظر گرفتن نیروهای وارده و شرایط اجرا تعیین می‌شود.

۶-۲-۳-۳ بلوکهای پیش‌ساخته بتنی

بلوکهای بتنی از مدتها پیش برای حفاظت سواحل و سدهای خاکی در مقابل حمله امواج و همچنین با وسعت استفاده‌ای کمتر برای حفاظت کناره‌های آبراهه‌ها به ویژه کانالهای کشتیرانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در سالهای اخیر با توسعه روشهای مدرن پیش ساختگی هیچ نوع مشکلی در استفاده از بتن در سیستمهای نوین حفاظت کناره نبوده است. انواع بلوکهای بتنی عبارتند از:

- بلوکهای با درز باز[1]
- بلوکهای گیردار[2]
- بلوکهای متصل شده با کابل[3]
- بلوکهای متصل شده با ژئوتکستایل[4]

بلوکها عموماً با ضخامت حداقل۸۰ میلی‌متر تا ۱۰۰ میلی‌متر و غیر مسلح می‌باشند. قابلیت یک بلوک غیر مسلح برای تحمل بارهای سطحی به عکس‌العمل خاک زیر سطحی که با خواص این خاک و میزان تأثیر بستر سازی معین شده و تا حدی به لاغری[5] (نسبت حداکثر بعد در پلان به ضخامت) آن بستگی دارد. معمولاً ضریب لاغری برابر ۴ برای بلوکهایی که ضربه و یا بار ترافیک را تحمل می‌نمایند، پذیرفته می‌شود. بلوکها معمولاً به گونه‌ای ساخته می‌شوند که پای آنها عریض‌تر از سطح آنها باشد. بطوری‌که می‌توانند با بلوک دیگری جفت شده و روی سطح شیب‌دار برای دوغاب ریزی باقی بماند. بلوکهای بتنی باید با یک حداقل مقاومت در برابر خرد شدگی و با درصد سیمان حداقل تعیین شده ساخته شوند. خوب بودن کیفیت بتن برای دوام درازمدت و مقاومت در برابر یخزدگی مهم می‌باشد. توجه شود که بافت سطحی بتن فشاری در بلوکهای پیش‌ساخته بارزتر از بتن با قالب‌ریزی درجا می‌باشد. در تمامی حالات، عمل‌آوری دقیق بتن امری اساسی می‌باشد.

- بلوکهای بتنی پیش‌ساخته با کارگذاری منفرد و یا گیردار

پایداری بلوکهای بتنی تحت اثر حمله جریان و بدون در نظر گرفتن آثار اغتشاش، امواج و سایر نیروها، در ابتدا توسط سرعت جریان، دانسیته بتن و ضخامت بلوکها تعیین می شود. قابل ذکر است که مطلب مذکور زمانی صادق می‌باشد که سطح کناره

1 - Open joint blocks
2 - Interlocking blocks
3 - Cable-tied blocks
4 - Geotextile – bonded blocks
5 - Slenderness

دارای پایداری مناسب بوده و بلوکهای بتنی روی شیبهای ملایمی قرار گرفته باشند. در این شرایط، استفاده از فرمول زیر توصیه می‌گردد:

برای پوشش پیوسته $D_n = 0/037 U_d^2 \,/\, (s-1)$

در گوشه‌های پوشش $D_n = 0/048 U_d^2 \,/\, (s-1)$

در این روابط:

D_n = ضخامت بلوک،

s = دانسیته نسبی بتن، تعریف شده بصورت $\frac{\rho_c}{\rho}$ (ρ_c دانسیته بتن و ρ دانسیته آب است) معمولاً این پارامتر را ۲/۳ در نظر می گیرند،

U_d = سرعت متوسط در عمق (یا سرعت متوسط جریان).

در معادلات مذکور ضریب اطمینان کافی در نظر گرفته شده و برای شیبهای کناره حداکثر یک عمودی به ۲/۵ افقی قابل کاربرد است.

علاوه بر تعیین ضخامت بلوک، عوامل دیگری نیز در ارائه یک طرح خوب مؤثر می‌باشند. یکی از این عوامل، ایجاد زهکشی خوب کناره طبیعی رودخانه با استفاده از فیلتر شنی و یا ژئوتکستایل است. تأمین قید کافی و مناسب جهت جلوگیری از جابه‌جایی بلوکها به سمت پایین شیب بسیار مهم می‌باشد. این مهم را می‌توان مثلاً با استفاده از تیرهای بتنی مستقر در پنجه کناره انجام داد. ایجاد اصطکاک اضافی بین بلوکها از طریق پرکردن درز بین بلوکها توسط شن و ماسه می‌باشد. هر چند که این مورد در طرح بلوکها لحاظ نمی‌شود.

استفاده از بلوکهای پیش‌ساخته با کارگذاری منفرد و یا گیردار برای مواقعی که دسترسی به ماشین‌آلات محدود و یا مشکل باشد مناسب خواهد بود. پایداری بلوکهای بتنی اساساً بستگی به وزن واحد سطح آن دارد. تنوع زیاد این بلوکها و فقدان تحقیق کافی در زمینه پایداری آنها، شناخت و ابنیه کاربرد آنها را مشکل نموده است.

بر اساس تحقیقات انجام شده روی کناره‌های حفاظت شده با بلوک سلولی بتنی که داخل حفره‌ها چمن کاشته شده باشد و مطالعات آزمایشگاهی انجام شده توسط موسسه تحقیقاتی والینگفورد[1] روی بلوکهای بتنی با کارگذاری منفرد و یا قفل شده راهنمای زیر برای تعیین ضخامت بلوکها ارائه شده است [۱۹].

راهنمای مذکور، برای بازه‌های رودخانه دور از سازه‌های هیدرولیکی و بدون تأثیر موج و جزر و مد قابل استفاده می‌باشد.

1 - HR-Wallingford

جدول ۶-۳- ضخامت بلوکهای بتنی

ضخامت بلوک (میلیمتر)	سرعت جریان (متر بر ثانیه)
۷۵ تا ۸۰	۱/۴
۹۰	۱/۵
۱۰۰	۱/۶
۱۵۰	۱/۹
۱۷۵	۲/۱
پوشش چمنی ۱۰۰	۴/۰

- بلوکهای بتنی پیش‌ساخته متصل به یکدیگر توسط کابل یا ژئوتکستایل

همانطورکه قبلاً گفته شد پایداری بلوکهای بتنی در شرایط نرمال جریان بستگی به سه عامل اصلی ضخامت بلوکها، دانسیته بتن و سرعت جریان دارد. بلوکهای بتنی متصل به یکدیگر در مقایسه با بلوکهای منفرد دارای قید اضافی بوده و اتصالات نه تنها باعث مهار بلوکها در گوشه‌ها می‌شود، بلکه باعث کاهش تخریب می‌گردند. اتصالات بین بلوکها کابلی و یا ازجنس ژئوتکستایل می‌باشد. پیلارزیخ[1] (۱۹۹۰) رابطه‌ای را برای طرح این‌گونه پوششها ارائه نموده است. این رابطه در جریانهایی که شدت آشفتگی و بزرگی امواج در آن قابل ملاحظه نباشد توصیه شده است.

$$D = \frac{0/026 u_d^2}{(1-n)(S-1)[\log(12y/D)]^2 K_S}$$

در این رابطه:

D = ضخامت بلوک،

n = نسبت تخلخل[2] پوشش که از سطح باز بلوکها قابل تعیین می باشد،

S = چگالی نسبی بتن،

u_d = سرعت متوسط گیری شده در عمق (یا سرعت متوسط)،

y = عمق آب در ناحیه پنجه کناره،

1 - Pilarczyk
2 - Porosity

K_S = فاکتور شیب که به صورت ترکیبی از دو پارامتر شیب کناره (K_d) و شیب طولی رودخانه (K_L) در جهت جریان به‌دست می‌آید:

$$K_S = K_d K_L$$

که در آن :

$$k_d = \mathrm{Cos}\alpha \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\tan\alpha}{\tan\varphi}\right)^2\right]}$$

$$k_L = \frac{\mathrm{Sin}\,(\varphi - \beta)}{\mathrm{Sin}\,\varphi}$$

در این روابط:

α = زاویه کناره رودخانه نسبت به سطح افق،

φ = زاویه اصطکاک داخلی مواد دانه‌ای مستغرق و

β = زاویه شیب طولی نسبت به سطح افق می باشد.

۶-۲-۴ پوششهای آسفالتی

قیر و آسفالت به شیوه های گوناگونی در پوششهای رودخانه‌ای کاربرد دارد که هر یک به تفکیک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۶-۲-۴-۱ آسفالت ماسه‌ای

این نوع پوشش که از ماسه به همراه ۳ تا ۵ درصد قیر تشکیل می‌شود، در شیب های تا حدود ۱:۳ قابل اجرا است. حداقل ضخامت پوشش ماسه آسفالتی برای بالای سطح آب ۱۵ سانتی‌متر و برای زیر سطح آب ۷۰ سانتی‌متر لحاظ می‌شود [۱۹].

۶-۲-۴-۲ آسفالت سنگی

این نوع پوشش متشکل از ۸۰ درصد سنگ شکسته و ۲۰ درصد ماستیک می‌باشد و معمولاً به صورت درجا یا پیش‌ساخته، جهت حفاظت بستر رودخانه‌ها استفاده می‌شود. در جدول۶-۴ ابعاد پیشنهادی برای این نوع پوشش ارائه شده است که در طراحی به عنوان فرض اولیه قابل استفاده است [۱۹].

به‌عنوان یک قاعده سر انگشتی که از تجربیات پروژه های قبلی بدست آمده است رابطه زیر برای ضخامت پوشش تحت اثر امواج بدست آمده است.

$$t = CH_s$$

که در آن:

t = ضخامت پوشش به متر

H_s = ارتفاع موج به متر

C = ضریبی که به لایه فیلتر بستگی دارد، برای آسفالت ماسه‌ای= ۰/۱ و ژئوتکستایل= ۰/۱۷

همانطور که دیده می‌شود برای رودخانه‌هایی که ارتفاع موج در آن به‌ندرت از ۰/۵ تا ۱/۰ متر تجاوز می‌کند، رابطه فوق ضخامتی کمتر از جدول ۶-۴ می‌دهد. با وجود این باید در نظر داشت که ضخامت پوشش نباید کم‌تر از ۲/۵ برابر حداکثر اندازه سنگ باشد [۱۹].

جدول ۶-۴- ضخامت تقریبی پوشش آسفالت سنگی (سانتی‌متر) [۱۹]

شرایط	حفاظت کناره		حفاظت کف
	درجا	پیش‌ساخته	پیش‌ساخته
رودخانه‌های کوچک و کانالهای با ناوبری محدود	۱۰ ~ ۱۵	۸	۱۰ ~ ۱۵
رودخانه‌های بزرگ و کانالهای ناوبری	۱۵ ~ ۲۵	۱۵	۱۵

۶-۲-۴-۳ آسفالت ماستیک

این نوع پوشش از ۶۰ تا ۷۰ درصد ماسه، ۲۰ درصد قیر و ۲۰ درصد فیلر تشکیل شده است. این مخلوط که انعطاف پذیر می‌باشد معمولاً درحالت داغ ریخته می‌شود با توجه به اینکه این پوشش نفوذناپذیر است، برای رفع فشار آب حفره‌ای باید از مجرای تراوش استفاده شود.لازم بذکر است که در این پوشش هرچه نسبت قیر در پوشش بیشتر شود انعطاف پذیری آن نیز بیشتر می‌گردد ولی نفوذپذیری آن به همان نسبت کاهش می‌یابد.

۶-۲-۴-۴ بتن آسفالتی

بتن آسفالتی ترکیبی از ۵۰ تا ۶۰ درصد سنگ شکسته یا شن، ۷ تا ۸ درصد ماسه و فیلر و۷ درصد قیر می‌باشد. این نوع پوشش نفوذپذیری کمی دارد و در صورت وجود فشار آب حفره‌ای احتمال خرابی آن بالاست و به همین دلیل باید با استفاده از مجرای تراوش این فشار را کاهش داد. ضخامت پوشش بر اساس تعادل بین نیروهای مقاوم (وزن پوشش، اصطکاک پوشش و خاک) و نیروهای محرک (جریان، زیر فشار) بدست می‌آید.

۶-۲-۴-۵ آسفالت سنگی متراکم

این نوع پوشش از اختلاط ۵۰ تا ۷۰ درصد سنگ با ماستیک بدست می آید. حداقل ضخامت پوشش ۲ تا ۳ برابر حداکثر اندازه سنگ لاشه می‌باشد. این ضخامت بر اساس آنالیز پایداری پوششهای نفوذناپذیر (مطابق بند ۶-۲-۴-۴) بدست می‌آید. لازم است از فیلتر دانه‌ای یا ژئوتکستایل در زیر پوشش استفاده شود. برای رفع فشار آب حفره‌ای در زیر پوشش مجرای تراوش استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که در کلیه روشهای فوق ضروری است حفاظت پنجه با دقت انجام گردد که برای حفاظت پنجه معمولاً پوشش را تا زیر سطح احتمالی آب‌شستگی امتداد می‌دهند.

۶-۲-۵ روکشها

مفهوم اساسی روکشها این است که موادی که تاب مقاومت در برابر نیروهای فرسایش را ندارند به هم متصل می شوند و یا در یک ظرف انعطاف‌پذیر قرار میگیرند تا مقاومت کافی در مقابل نیروهای فرسایشی را تأمین نمایند. معمولترین روکشها عبارتند از: تورسنگهای تشکی، بلوکهای خاک سیمان و روکشهای مصنوعی فابریک. ملاحظات طراحی روکشهای تورسنگی در مبحث پوششهای تورسنگی ارائه شده است. در اینجا به بیان ملاحظات طراحی بلوکهای خاک و سیمان و روکشهای مصنوعی فابریک پرداخته می شود.

۶-۲-۵-۱ روکش بلوکهای خاک و سیمان[1]

برای ایجاد یک پیوستگی محکم و با دوام بین ذرات خاک، مخلوط نمودن سیمان کافی بسیار مناسب است. بلوکهای خاک سیمان، علاوه بر قابلیت انطباق با نامنظمی سطح کناره، امکان استفاده از مصالح محلی قابل دسترسی را نیز فراهم می‌نماید.

بلوکهای خاک سیمان نسبت به پوشش سنگی دارای وزن مخصوص کمتری می‌باشد و نیل به دانه‌بندی و دوام قابل قبول قویاً به کنترل ساخت بستگی دارد.

وقتی تهیه سنگ گران بوده ولی خاک مناسب در محل موجود باشد و همچنین برای تولید این بلوکها افراد مجرب در اختیار باشد، این روش برای حفاظت کناره مناسب است.

از آنجایی که بلوکهای خاک سیمان در واقع سنگهای مصنوعی هستند، بنابراین مفاهیم عمومی طرح پوشش سنگی در خصوص آنها قابل کاربرد می‌باشد. هر چند به‌دلیل پایین‌تر بودن وزن مخصوص خاک سیمان برای حفاظت معادل به بلوکهای بزرگ‌تر نیاز می‌باشد. معیار اندازه بلوکهای خاک سیمان، به دقت معیارهای موجود برای پوشش سنگی وجود ندارد.

انتخاب خاک مناسب برای روکش بسیار مهم است. خاک با حداقل ۵۵ درصد ماسه و کمتر از ۳۵ درصد ریزدانه برای این منظور مناسب می‌باشد. یک خاک ماسه‌ای با مقداری ریزدانه غیر رسی و شن، یک ترکیب بهینه از کارآیی، مقاومت، دوام و حداقل نیاز به سیمان را فراهم می‌آورد. بلوکهای با سیمان کم در مقابل امواج و سرعت جریان زیاد و خراشیدگی در اثر حمل رسوب آسیب‌پذیر می‌باشند.

---

1 - Soil cement blocks

۶-۲-۵-۲ روکشهای فابریک (محصولات ساختگی)

روکشها یا تشکهای فابریک، از مواد مصنوعی توسط کارخانه‌های سازنده تهیه شده‌اند و با استفاده از تزریق بتن، مخلوطهای چسبنده یا شن پر می‌شوند. این‌گونه تشکها می‌توانند به‌صورت موازی با کناره رودخانه یا به‌صورت عمود بر کناره رودخانه کارگذاری شوند. این‌گونه پوششها همچنین برای پرکردن حفره‌های آب‌شستگی یا حفره‌های پایین کناره‌ها قابل کاربرد می‌باشند.

روکش فابریک به راحتی اجرا می‌شود و مصالح و مواد پرکننده آن غالباً به صورت محلی در دسترس می‌باشد. زبری هیدرولیکی این‌گونه پوششها نیز پایین بوده و نفوذپذیری و انعطاف‌پذیری بعضی از این روکشها محدود است.

پایداری روکشها تحت تأثیر نیروهای هیدرولیکی، فیلتر و خصوصیات نفوذپذیری، انعطاف‌پذیری، زبری هیدرولیکی، مقاومت در مقابل تخریب یا سازگاری با گیاه از نکات عمده مطرح در طراحی آنها خواهد بود.

استفاده از محصولات ساختگی غیردائمی برای مواضعی که روکش به طور دائمی در زیر آب باشد و تحت تأثیر هوازدگی، سرقت یا ضربات حاصل از شناورها قرار نداشته باشد، مناسب خواهد بود.

مواد پلی‌استری که معمولاً در تولید این‌گونه روکشها استفاده می‌شود، در معرض تخریب حاصل از درجه PH زیاد در زمان عمل‌آوری بتن می‌باشد. قفل نمودن این‌گونه روکشها به شیب کناره معمولاً توسط کارخانه‌های سازنده توصیه می‌شود. معمولاً مشخصات این‌گونه پوششها با توجه به مشخصات طرح، توسط کارخانه سازنده محاسبه و ارائه می‌شود. مشخصات طرح شامل شیب و جنس خاک کناره‌ها، تراز و سرعت جریان می‌باشد.

۶-۲-۶ پوشش لاستیکهای فرسوده اتومبیلها

پوشش با لاستیکهای فرسوده اتومبیلها، شامل مجموعه‌ای از لاستیکهای فرسوده است که توسط کابل یا طناب به یکدیگر متصل شده‌اند. هزینه تهیه لاستیکها کم است و استفاده از لاستیکها برای مهار فرسایش از نظر زیست محیطی مناسب می‌باشد. یک پوشش لاستیکی، جهت ایجاد و تثبیت پوشش گیاهی بستر مناسبی می‌باشد.

راهنمای مشخصی برای تعیین حدود نیروهای هیدرولیکی وجود ندارد. این‌گونه پوششها برای شرایط سخت مناسب نیست مگر اینکه بصورت چند لایه مورد استفاده قرار گیرند. آسیب‌پذیری در مقابل نیروهای هیدرودینامیکی، احتمال دزدی و سرقت بلافاصله بعد از دوره ساخت و قبل از ایجاد پوشش سبزینه‌ای برای اینگونه پوششها زیاد می‌باشد.

پوشش لاستیکها ظاهر مناسبی ندارد ولی اگر شرایط مکانی اجازه رشد زیاد پوشش گیاهی همراه با رسوب‌گذاری را بدهد، ظاهر پوششها بتدریج بهبود پیدا می‌کند.

برای کاهش خطر سرقت و کاهش شناوری در زمان جریانهای زیاد، لاستیکها باید با سیمهای گالوانیزه و یا محصولات مصنوعی با دوام به یکدیگر متصل گردند. در صورتی‌که پوشش گیاهی سریعاً تثبیت گردد، اتصالات بادوام کم نیز قابل استفاده خواهد بود. این‌گونه پوششها باید به کناره قفل شوند. یک گزینه برای آب‌شستگی کم پنجه و سرعتهای متوسط، پر کردن چند ردیف از لاستیکها با بتن می‌باشد. قطر لاستیکها نباید خیلی زیاد باشد، زیرا امکان اتصال خوب آنها با افزایش قطر کاهش می یابد. یک راه ساده برای حداقل نمودن این مشکل، استفاده از لاستیکهای استاندارد با قطر ۳۳ تا ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد.

۶-۲-۷ پوشش کیسه‌ای

کیسه‌ها را در واقع می‌توان سنگهای مصنوعی با شکل و اندازه یکنواخت تلقی نمود. کیسه‌ها ممکن است از کاغذ، کرباس یا مواد فابریک ساخته شوند. مواد پر کننده کیسه‌ها ممکن است خاک یا خرده سنگ با مخلوط سیمان یا بدون سیمان باشد.

پوشش کیسه‌ای را نسبت به سنگ، می‌توان در شیبهای تندتری قرار داد. مواد پرکننده کیسه‌ها، اغلب قابل دسترسی می‌باشند. زبری هیدرولیکی پوشش کیسه‌ای کم و سطوح با قابلیت پیاده‌روی روی آن را به‌وجود می‌آورد.

پوشش کیسه‌ای به یکپارچه عمل کردن تمایل دارد، بنابراین یک تخریب کوچک در آن، ممکن است به تخریبهای بزرگ منجر شود. عملکرد توده‌ای کیسه‌ها، امکان استفاده از این روش را برای شیبهای خیلی تند فراهم می‌نماید.

کیسه‌هایی که معمولاً از خاک با ماشین پر می‌شوند، ممکن است در معرض آسیبهای محیطی مانند آتش، یخ، سرقت یا تخریب از طریق ریشه‌های گیاهان قرار گیرد. این نوع پوشش باعث تقویت رشد گیاهان روی کناره نمی‌شود، به‌خصوص اگر از سیمان به‌عنوان مصالح پر کننده استفاده شود یا کیسه‌ها روی شیب تند قرار بگیرند. اگرچه در نواحی‌ای که رشد سبزینه‌ای مطلوب نباشد، این خصوصیت می‌تواند به عنوان مزیت پوشش کیسه‌ای تلقی گردد. کیسه‌ها برای استفاده در شیبهای تند قابل کاربرد بوده و چنانچه کارگر ارزان در دسترس باشد، ممکن است اقتصادی‌ترین روش (به‌خصوص در پروژه‌های کوچک) باشد. اگر کیسه‌ها با مخلوط سیمان پر شوند، انتخاب مصالح برای مخلوط با سیمان چندان با اهمیت نیست. زیرا مخلوط ایجاد شده برای مقاومت در مقابل نیروهای جابه‌جایی استحکام کافی داشته و قبل از استقرار، تخریب نخواهند شد.

اندازه کیسه‌ها باید به اندازه کافی کوچک باشند تا به‌راحتی توسط کارگر حمل گردد. ظرفیت کیسه‌های پر شده باید بیش از حجم مورد نیاز باشد تا کیسه‌ها هم‌پوشانی کافی را داشته باشند. از آنجا که هزینه‌های کارگری چندان ارتباطی با مصالح پر کننده ندارد، استفاده از مصالح پر کننده بدون سیمان فقط جایی قابل کاربرد است که صرفه‌جویی قابل توجهی را ایجاد نموده و عمر طولانی نیز مورد انتظار نباشد (مانند جاهایی که کرانه‌ها توسط پوشش گیاهی و برای حفاظت دائمی تثبیت شده و همچنین حفاظت دائمی پنجه توسط سایر مصالح تأمین گردد). در غیر این‌صورت، مصالح مخلوط با سیمان توصیه می‌شود. نسبت اختلاط پیشنهادی برای مصالح پرکننده مخلوط سیمان، معمولاً ۵ قسمت حجمی شن و ماسه و ۱ قسمت حجمی سیمان می‌باشد. مشخصه‌های ایده‌آل مصالح شن و ماسه در فصل سوم تشریح شده است هر چند معمولاً شن و ماسه کف بستر رودخانه مناسب خواهد بود.

کارگذاری کیسه‌ها به صورت کنار هم و بدون هم‌پوشانی برای شیبهای کمتر از ۲/۵ افقی به ۱ عمودی پیشنهاد می‌شود. برای شیبهای تندتر به هم‌پوشانی کیسه‌ها نیاز می‌باشد. هم‌پوشانی باعث افزایش مقاومت سازه‌ای و همچنین انطباق با فرسایش و نشست می‌شود. روی شیبهای ۲/۵ افقی به ۱ عمودی یا ۲ افقی به ۱ عمودی، کیسه‌ها باید در راستای ضلع بلندتر کیسه‌ها در امتداد کناره‌ها هم پوشانی داشته باشند و برای شیبهای تندتر از ۲ افقی به ۱ عمودی، کیسه‌ها باید در امتداد ضلع کوتاه‌تر کیسه‌ها در امتداد کناره هم پوشانی داشته باشند. این نحوه کارگذاری باعث تأمین پوشش کناره با حفظ هم‌پوشانی مطلوب بین کیسه‌ها می‌شود. کیسه‌ها باید مانند کارگذاری آجر دیوار ساختمان اجرا گردند.

پرکردن کیسه‌ها معمولاً با مخلوط‌کنهای بتن قابل حمل انجام می‌شوند. برای سهولت اجرا، کیسه‌ها با مصالح خشک پر می‌شوند. بعد از کارگذاری، برای تسریع در عمل هیدراسیون، کیسه‌ها آب پاشی می‌شوند. باران و جریان رودخانه فرآیند هیدراسیون را تکمیل می‌کند.

به طور کلی ایجاد قید و بند بین کیسه‌ها زمانی مطلوب است که سرعت جریان آنقدر زیاد باشد که احتمالا به جابجایی کیسه‌های مجزا منجر شود. برای ایجاد قید و بند می‌توان از کیسه‌های بافته شده آب‌بند استفاده نمود.

۶-۲-۸ پوشش خاک سیمان

در محلهایی که سنگ مناسب در دسترس نباشد، استفاده از مخلوط خاک سیمان برای تثبیت و جلوگیری از فرسایش رودخانه گزینه مناسبی است. پوشش خاک سیمان شامل ۱۰ تا ۱۴ درصد سیمان می‌باشد و معمولاً به صورت پله‌ای در حفاظت سواحل رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت، لایه‌های مخلوط به صورت افقی ریخته و متراکم می‌شوند (شکل ۶-۱۴). با این وجود، در شیبهای کم، اجرای پوشش به صورت موازی با شیب کناره نیز معمول است [۲۰].

در صورتی‌که پوشش به صورت پله‌ای ساخته شود، باید عرض هر لایه به اندازه‌ای باشد که فضای کافی برای عملیات اجرایی را فراهم آورد. رابطه بین ابعاد مختلف لایه‌ها در پوشش خاک سیمان با رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$w = t_n \sqrt{S^2 + 1} + SV$$

که در آن :

w = عرض لایه‌های افقی،

S = شیب کناره،

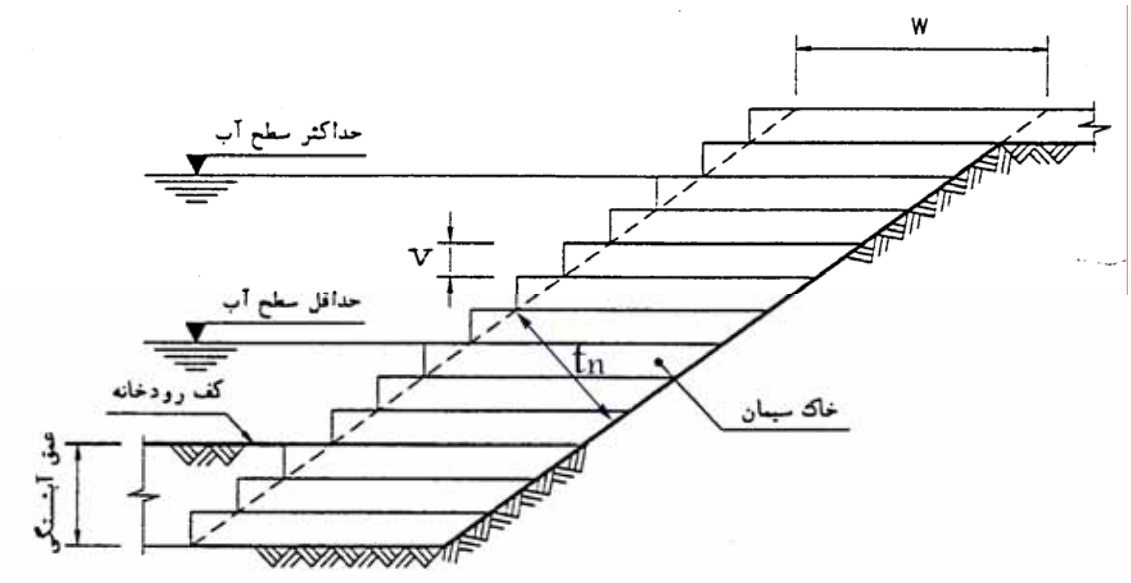
V = ضخامت لایه متراکم، و

t_n = حداقل ضخامت لایه عمود بر شیب

در شیبهای کم، استفاده از یک لایه خاک سیمان که به‌صورت موازی با شیب اجرا می‌شود نیز کفایت می‌کند. در این حالت، شیب کناره باید کمتر ۱ افقی به ۳ عمودی باشد. برای حفاظت پنجه[1]، معمولاً از سنگریزه در پنجه یا امتداد لایه پوشش تا زیر سطح احتمالی فرسایش استفاده می‌شود. همچنین با توجه به نفوذپذیری کم این نوع پوشش، بجاست با به‌کارگیری مجرای تراوش در فواصل مناسب، فشار آب حفره‌ای کاهش داده شود.

خاک مورد استفاده در پوشش خاک سیمان، نباید دانه‌های بزرگ‌تر از الک ۳۸/۱ میلی‌متر(۱/۵ اینچ) داشته باشد. در ضمن خاک باید بدون هرگونه مواد شیمیایی مضر و لنزهای ضعیف باشد. حدود دانه‌بندی مناسب برای خاک در پوشش خاک سیمان در جدول ۶-۵ تعیین شده است.

1 - Toe



شکل ۶-۱۴- مقطع شماتیک از پوشش خاک سیمان به‌صورت پله‌ای

جدول ۶-۵- دانه‌بندی خاک در پوشش خاک سیمان

درصد عبوری	اندازه الک
٪۱۰۰ تا ٪۹۸	۱/۵
٪۹۰ تا ٪۶۰	No.۴
٪۱۵ تا ٪۵	No.۲۰۰

شاخص خمیری خاک باید حداکثر ۳ باشد. رسهای با PI بزرگ‌تر از ۶، معمولاً سیمان بیشتری احتیاج دارند و به سختی با سیمان مخلوط می‌شوند. کلوخه‌های بزرگتر از ۱۲/۷ میلی‌متر باید از خاک حذف شود.

معمولاً برای بدست آوردن مقاومت مورد نیاز و طرح اختلاط مناسب از نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه استفاده می‌شود. مقاومت یک روزه مخلوط خاک سیمان درحدود ۵۰ تا ۶۰ درصد مقاومت هفت روزه آن می‌باشد. در طول ساخت نیز از مخلوط، نمونه گیری می‌شود تا با توجه به شرایط، تغییرات لازم در طرح اختلاط پوشش اعمال گردد.

مخلوط خاک سیمان درکارگاه ساخته می شود و به محل منتقل می گردد. زمان انتقال نباید از ۳۰ دقیقه بیشتر شود. مخلوط ریخته شده حداکثر تا ٪۹۸ تراکم کوبیده می شود. لازم است که از خشک شدن سطح پوشش تا ۷ روز پس از ریختن جلوگیری شود [۲۰].

۶-۳ طراحی حفاظت پنجه پوشش

از آنجایی که بسیاری از انواع گسیختگیها و ناپایداریها بدلیل تخریب پنجه دراثر عدم حفاظت مناسب آن می‌باشد، حفاظت دقیق پنجه برای اطمینان از پایداری پوشش ضروری است. برای طراحی حفاظت پنجه ابتدا لازم است عمق آب‌شستگی زیر تراز بستر موجود پیش‌بینی شود. پس از تعیین این عمل، حفاظت پنجه باید تا محدوده‌ای حدود ۵۰٪ زیر تراز حداکثر آب‌شستگی یا در صورت امکان تا رسیدن به سنگ کف طراحی شود [۱۹].

دو نوع از کارآمدترین شکلهای حفاظت پنجه عبارتند از: احداث دیوارهای مهاری[1] (دیوارهای قائمی که فرایند فرسایش را محدود می‌سازند و از گسترش آن به طرف پوشش جلوگیری می‌کنند) و پیش‌بندهای ریزشی و فرورفته[2] (پوشش سنگی به گونه‌ای طراحی می‌شود که با توسعه حفره آب‌شستگی از آن پیروی کند و متناسب با آن تغییر شکل دهد). این‌گونه روشهای حفاظتی پنجه، همچنین مسیر تراوش را افزایش داده و بدین‌ترتیب خطر فرار ریزدانه‌ها از خاک کناره را کاهش می‌دهند. دیوارهای مهاری متشکل از دیوارهای شمعی را می توان در شکل ۶-۱۵ و پیش‌بندهای ریزشی را در شکل ۶-۱۶ مشاهده نمود. از جمله روشهای دیگر حفاظت پنجه، می‌توان به تسلیح پنجه با استفاده از دپوی سنگ اضافی با توپهای سنگی یا دفن سنگها یا گابیونهای بلوکی در ترازی زیر آنچه که آب‌شستگی پیش‌بینی شده اشاره نمود. برخی از انواع روشهای حفاظت پنجه در شکل ۶-۱۷ نشان داده شده است که در آن، d_s عمق آبشستگی مورد انتظار می‌باشد [۱۹].

دو رویکرد اصلی برای حفاظت پنجه وجود دارد. رویکرد اول توسعه پنجه پوشش[3] به داخل و زیر عمق آب شستگی پیش بینی شده یا قرار دادن آن در تراز دارای مواد غیر قابل فرسایش می باشد و رویکرد دوم طراحی پوشش به گونه ای است که با وقوع آب شستگی، مصالح بتوانند فرو رفته و به طرف پایین انعطاف نشان دهد تا حدی که مانع حرکت و ایجاد ناپایداری ژئوتکنیکی پوشش در اثر آب شستگی شود (روش فرو رفتن خود بخودی)[4] [۱۶] .

رویکرد اول (توسعه پنجه به داخل) اغلب برای پوشش های دارای لایه حفاظ[5] استفاده می شود و از معایب آن اینست که نیاز به گودبرداری در رودخانه در حال جریان و دقت در جاگذاری مصالح سنگی در گودبرداری دارد و در نتیجه مشکل بودن، پر هزینه بودن و گاهی اوقات غیر ممکن بودن آن می باشد [۱۶] .

رویکرد دوم (فرو رفتن خود بخودی) اقتصادی تر بوده و ساخت آن ساده تر است، هر چند نیازمند حجم بیشتری از مصالح در بخش پنجه نسبت به رویکرد اول می باشد. چنانچه شرایط محل اجازه گودبرداری مکانیکی آسان را تا عمق آب شستگی پیش بینی شده بدهد، ممکن است رویکرد اول کم هزینه تر شود [۱۶].

چهار نمونه از کاربرد این دو رویکرد در شکل ۶-۱۸ نشان داده شده است. در روشهای (الف)و(ب) حفاظت تا حداکثر عمق آب شستگی گسترش می یابد و روش (ج) برای جاهایی که آب شستگی پنجه انتظار نمی رود مناسب می باشد. روش (د) برای دامنه وسیعی از شرایط محلی و آب شستگی عمیق قابل کاربرد است [۱۶].

انتخاب یکی از روشهای مذکور برای یک پروژه خاص بستگی به قضاوت مهندس طراح دارد.

---

1 - Cut-off-wall
2 - Falling and launching aprons
3 - Dig it in
4 - Let it self-lounch
5 - Armour

در روش (الف) زمانی که بتوان خاکبرداری پنجه را در یک ناحیه خشک انجام داد، لایه سنگ چین تا حد زیر عمق آب شستگی گسترش می یابد. در روش (ب) زمانی که بستر رودخانه از مواد غیر قابل فرسایش تشکیل شده باشد، سنگ چین باید درکف بستر رودخانه قفل شود. در روش(ج) زمانی که سنگ چین باید در زیر آب کارگذاری شود و مقدار کمی آب شستگی پیش بینی شده است (نظیر بازه های مستقیم که پایین دست خمها نباشند)، پنجه روی بستر موجود قابل کارگذاری است. در این حالت ضخامت لایه پنجه (a) برابر با ۱/۵ برابر ضخامت لایه سنگ چین (T) و عرض آن (C) ۵ برابر T در نظر گرفته می شود. زمانی که عمق آب شستگی پایین‌تر از پنجه باشد، روش (د) بایستی بکار برده شود.

ضخامت لایه پنجه بطور معمول معادل ۲/۵ تا ۴ برابر ضخامت لایه سنگ چین در نظر گرفته می شود [۵]

به منظور محاسبه حجم سنگ مورد نیاز برای روش (د) در شکل ۶-۱۸ فرضیات زیر باید بکار برده شود.

- شیب سنگریزی مورد نظر ۲ افقی به ۱ عمودی برای مواد غیر چسبنده و دانه ای و به میزان کمتر در شرایط حضور مواد چسبنده لحاظ می‌گردد.
- برای محاسبه سنگ اضافی مورد نیاز در شرایط خشک و در شرایط زیر آب، جدول ۶-۶ توصیه شده است.

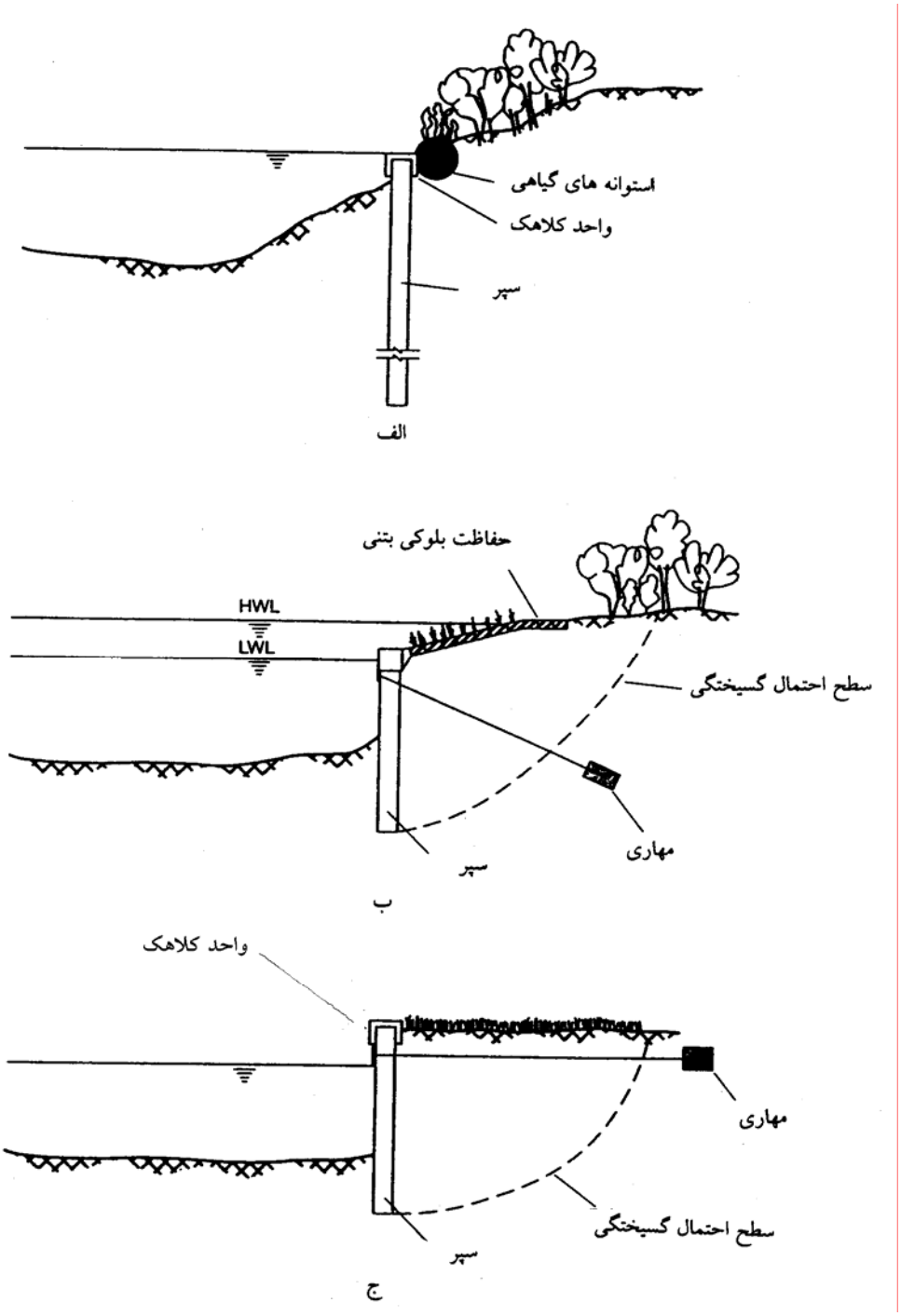
بدین ترتیب، لبه‌های پوششهای سنگی (پنجه، پاشنه و جناحین پوشش) نیازمند حفاظت می‌باشند که باید مورد توجه واقع شوند. در شکلهای ۶-۱۰ و ۶-۱۳ نمونه‌هایی از طرح توصیه شده برای حفاظت لبه‌های پوشش را نشان داده شده است [۲۱].

۶-۴ طرح فیلتر[1]

فیلتر، یک لایه انتقالی از جنس مصالح دانه‌ای[2] (شن و ماسه) و یا محصولات مصنوعی[3] است که بین خاک کناره و لایه پوشش حفاظتی قرار می‌گیرد. وجود فیلتر مناسب در سازه حفاظت، تأثیر مهمی در حفظ پایداری سازه دارد. به‌طور کلی مهم‌ترین آثار فیلتر را می‌توان به ترتیب زیر برشمرد:

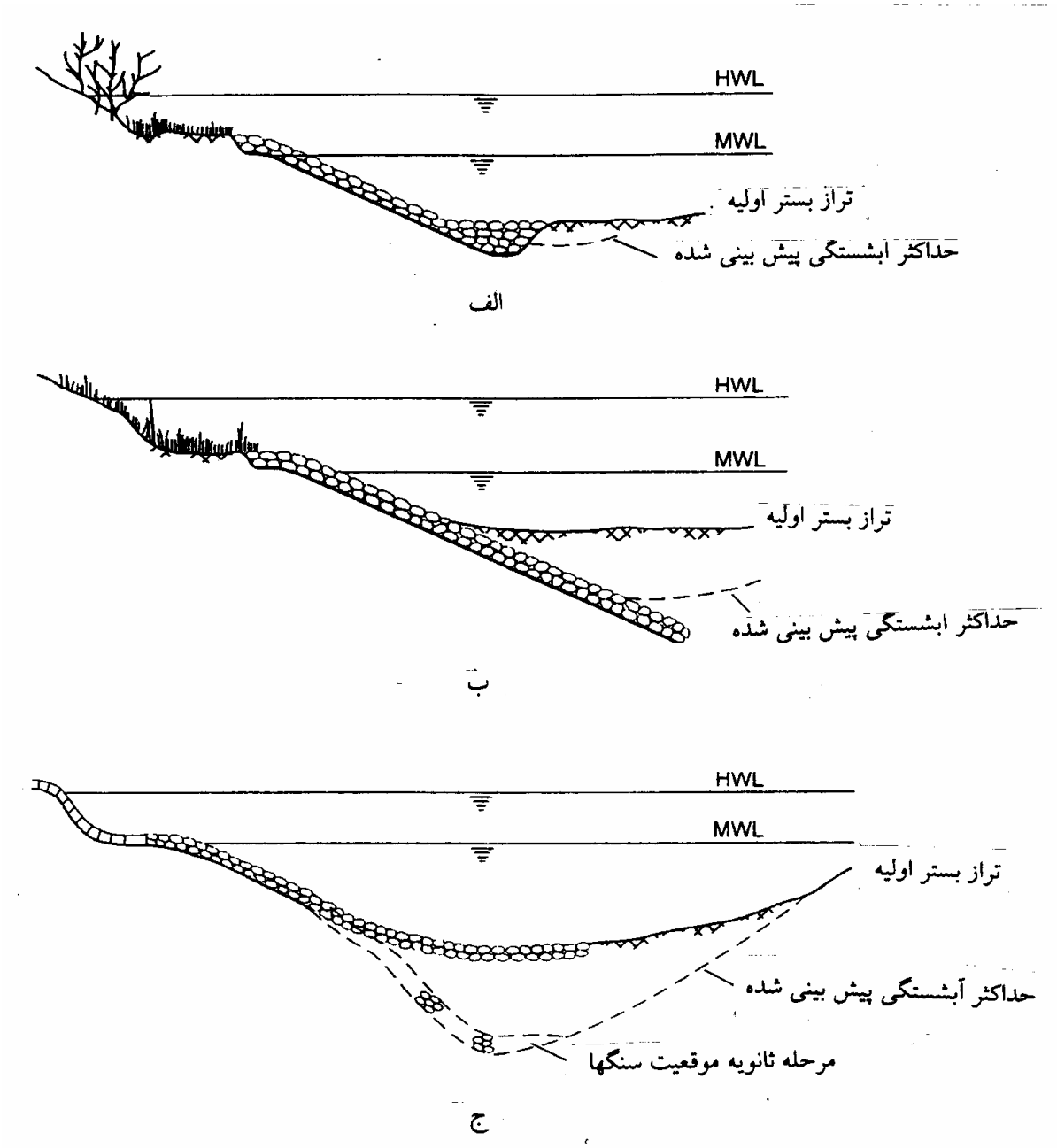
- حفاظت از لایه زیرین (خاک کناره) از طریق جلوگیری از شسته شدن ذرات خاک و خروج آن از بین حفره‌های لایه پوشش حفاظت
- جلوگیری از ایجاد توسعه نیروی زیر فشار و کاهش نیروهای هیدرواستاتیک
- توزیع یکنواخت‌تر وزن لایه پوشش در سطح کناره و همچنین نشست یکنواخت‌تر در سطح شیب کناره
- جلوگیری از فرسایش خاک کناره بر اثر جاری شدن رواناب سطحی ناشی از بارندگی و جلوگیری از تشکیل خندق[4] [۲۱] و [۲۵]

1 - Filter
2 - Granular
3 - Fabric
4 - Gully

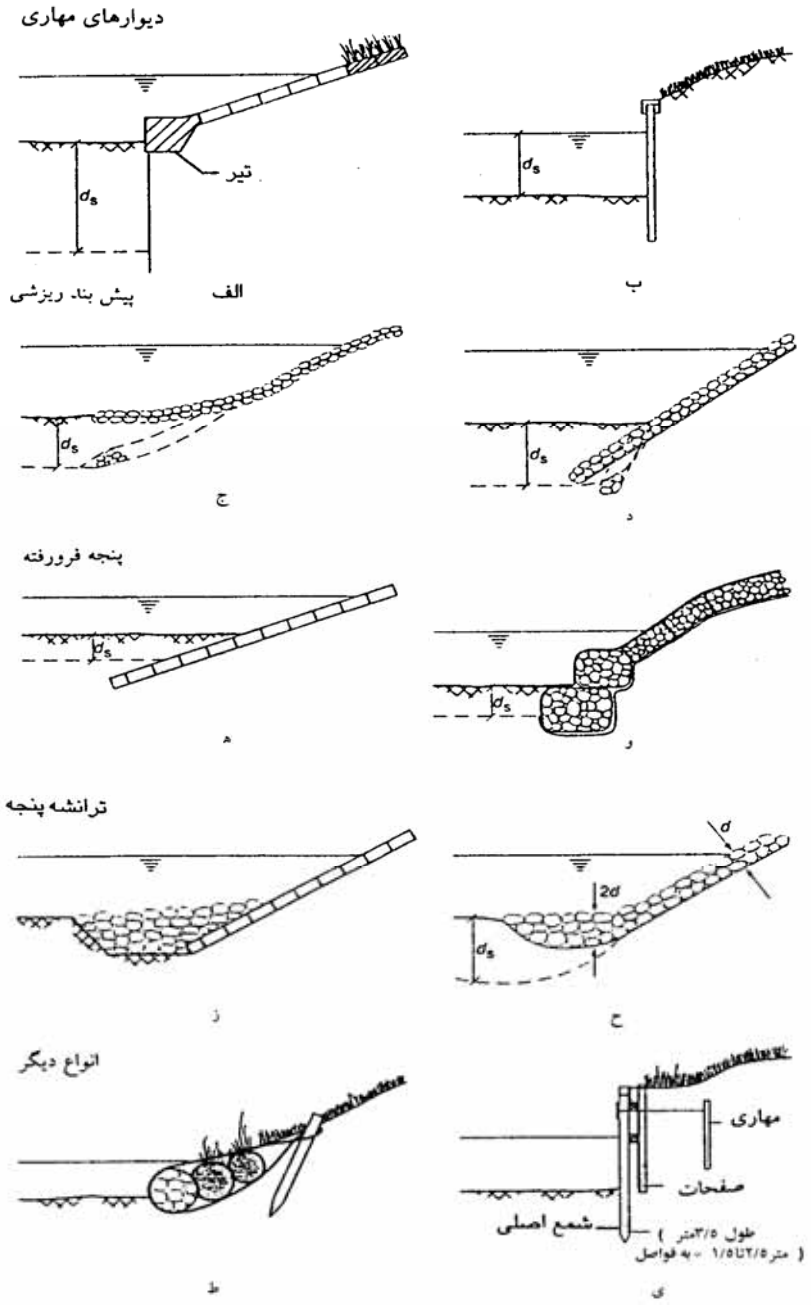


شکل ۶-۱۵- نمونه‌ای از دیوارهای شمعی: (الف) دیوار طره‌ای[1]، (ب) و (ج) دیوارهای مهاری

1 - Cantilever wall



شکل ۶-۱۶- نمونه‌های معمول حفاظت پنجه با استفاده از سنگ‌چین (الف) ترانشه پنجه، (ب) تشک زیر تراز بستر و (ج) پیش‌بندهای ریزشی

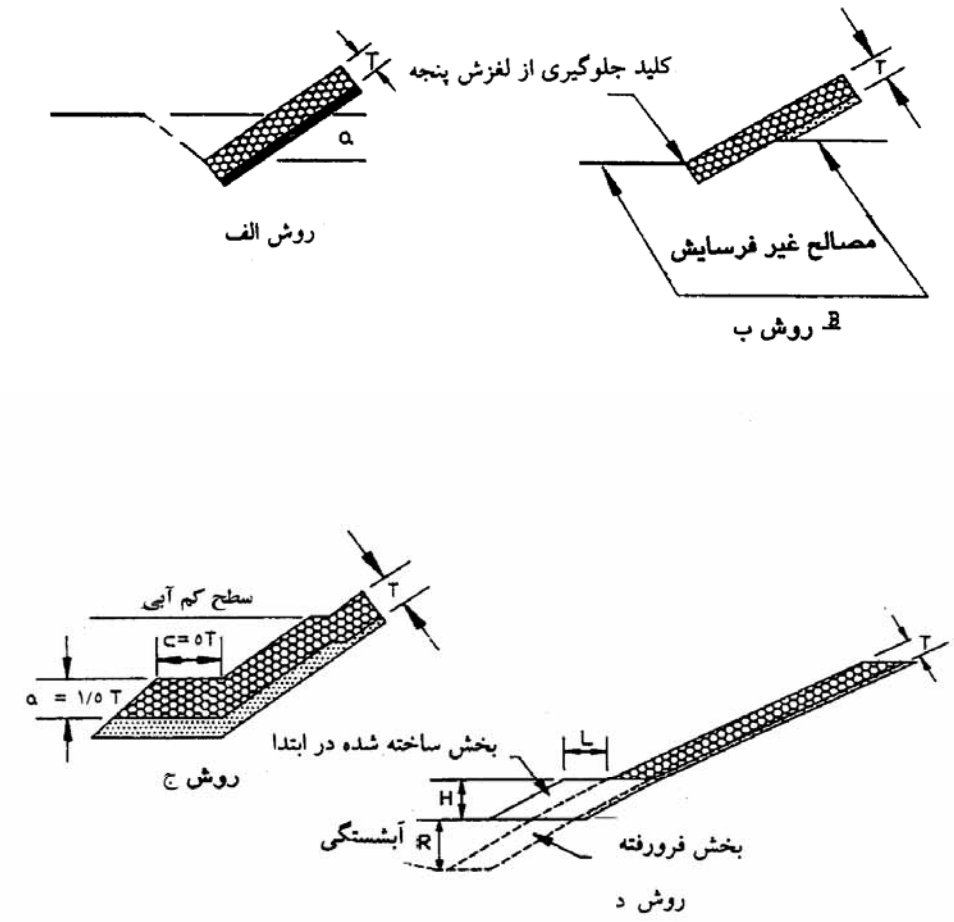


شکل ۶-۱۷- نمونه‌هایی از جزئیات پنجه (d_s عمق آب‌شستگی پیش‌بینی شده) : دیوارهای مهاری[1] (الف) با تیر پنجه بتنی[2]، (ب) سپرها[3] و پیش‌بندهای قائم[4]، (ج) قرارگرفته روی تراز بستر موجود، (د) پیش‌بندهای فرورفته در بستر[5]، پنجه فرورفته در بستر، (ه) قاب بلوکی بتنی فرورفته، (و) گابیونهای فرورفته، (ز) قاعده سست سنگی محافظ مربوط به یک قاب بتنی، (ح) ترانشه پنجه برای پوشش سنگی و انواع دیگر، (ط) کیسه های پرشده سنگی و گیاهی و (ی) شمع کوبی تیرها .

1 - Cut-off walls
2 - Concrete toe beam
3 - Sheet piling
4 - Falling aprons
5 - Embedded apron

جدول ۶-۶- درصد افزایش حجم سنگ اضافی در دو حالت کارگذاری در ناحیه خشک و در زیر آب [۱۶]

فاصله عمودی ریزشی (متر) تا حداکثر آب شستگی	درصد افزایش حجم	
	کارگذاری خشک	کارگذاری زیر آب
تا ۴/۵	۲۵	۵۰
بیشتر از ۴/۵	۵۰	۷۵



شکل ۶-۱۸- روشهای مختلف حفاظت پنجه پوشش [۱۹]

جنس مصالح فیلترهای قابل استفاده در طرحهای پوشش عمدتاً از مصالح دانه‌ای و شن و ماسه با دانه‌بندی مورد نیاز است که کاربرد وسیع و مطمئنی را تاکنون داشته است. مهم‌ترین مزیت این‌گونه لایه‌های فیلتر این است که نفوذپذیری آن در زمان طولانی نیز تغییر نمی‌کند. اخیراً نیز از مصالح مصنوعی مانند محصولات زمین‌بافت[1] برای اجرای لایه فیلتر استفاده می‌شود که مزیتهای خاص خود را داشته ولی نفوذپذیری آن درطول زمان، بعلت فشارهای ناشی از وزن لایه پوشش کاهش می‌یابد [۲۵].

۶-۴-۱ فیلترهای دانه‌ای

۶-۴-۱-۱ خصوصیات فیلتر دانه‌ای

یک لایه فیلتر دانه‌ای، بر اساس اندازه دانه‌های مصالح آن مشخص می‌شود. گاهی برای دستیابی به خصوصیات مورد نیاز، لازم است فیلتر از چند لایه بادانه‌بندیهای متفاوت تشکیل شود تا شرایط مناسب به‌عنوان حد واسطی بین پوشش حفاظتی و خاک کناره به‌دست آید. مهم‌ترین مزیت فیلترهای دانه‌ای این است که در طول زمان، تغییری در خصوصیات فیزیکی آن ایجاد نشده و میزان نفوذپذیری در آن ثابت خواهد بود. ولی اجرای این‌گونه فیلترها در زیر سطح آب، مشکل می‌باشد و در بعضی نقاط نیز تأمین مصالح سنگی دانه‌ای به‌راحتی امکان‌پذیر نخواهد بود و مستلزم حمل آن از نقاط دورتر و پر هزینه شدن آن می‌باشد.

فیلترهای دانه‌ای باید از دانه‌بندی مناسبی برخوردار باشد. چنانچه دانه‌بندی فیلتر و در نتیجه نفوذپذیری آن بزرگ‌تر از حد مورد نیاز باشد، خلل و فرج بین دانه‌های آن به حدی خواهد بود که پدیده رگاب[2] موجب فرسایش و شسته شدن ذرات خاک کناره خواهد شد. از طرفی دیگر، اگر دانه‌بندی فیلتر کمتر از حد مورد نیاز بوده و نفوذپذیری آن کم باشد، فشار نیروهای هیدرواستاتیک ناشی از جریان نفوذی به درون خاک کناره باعث تخریب بخشی از خاک خواهد شد. معمولاً برای تعریف دانه‌بندی مورد نیاز یک لایه فیلتر، مقادیر D_{15} و D_{50} و D_{85} آنرا مشخص می‌سازند که معادل قطر دانه‌هایی است که به ترتیب ۱۵٪ ، ۵۰٪ و ۸۵٪ مصالح فیلتر از جهت وزنی کوچک‌تر از آن می‌باشد.

۶-۴-۱-۲ ضوابط و معیارهای طراحی فیلتر دانه‌ای

برای طراحی یک لایه فیلتر به شکلی که ویژگیهای بالا را داشته باشد و نقش فیلتر را بین لایه زیرین (خاک کناره) و لایه فوقانی (پوشش حفاظتی) ایفا نماید، باید این سه معیار در نظر گرفته شود [۲۵].

الف- معیار پایداری[3]:

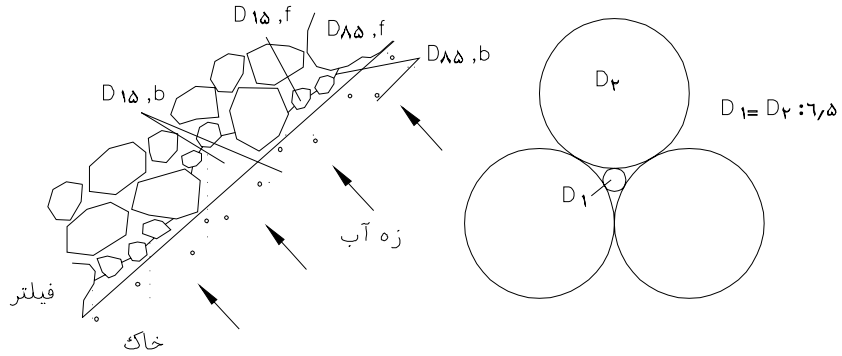
بدین معنی است که برای جلوگیری از شسته شدن ذرات ریز لایه زیرین از میان لایه فوقانی، باید رابطه اساسی زیر بین دانه‌بندی دو لایه (فیلتر و خاک) برقرار باشد.

$$\frac{D_{15}\text{، فیلتر}}{D_{85}\text{، خاک}} < 5$$

1 - Geotextile
2 - Piping
3 - Stability criterion

همچنین رابطه دیگری نیز برای برقراری معیار پایداری بصورت زیر ارائه شده است:

خاک، D_{50} ۵ تا ۳ ≤ فیلتر، D_{50}



a) شماتیک تماس فیلتر و سنگ چین b) نسبت قطر دانه ها در حالت تماس

شکل ۶-۱۹- تماس فیلتر و خاک و مفهوم معیار پایداری

معیار پایداری، در واقع وضعیت ذرات ریزتر فیلتر را مشخص می‌سازد که در چه دامنه‌ای قرار گیرد. این معیار نشان می‌دهد که دانه‌های ریزتر فیلتر باید به اندازه کافی کوچک باشد تا ذرات بزرگ‌تر خاک زیرین را به دام انداخته و احاطه کند. مفهوم این مسئله در شکل ۶-۲۰ نشان داده شده است.

ب - معیار نفوذپذیری[1]:

نفوذپذیری لایه فیلتر باید به حدی باشد که گرادیان هیدرولیکی در آن در مقایسه با لایه زیرین (خاک) ناچیز باشد به‌شکلی که از آن صرفنظر گردد. معیار اصلی برای تأمین نفوذپذیری مطلوب عبارت است از:

$$\frac{D_{15}\text{، فیلتر}}{D_{15}\text{، خاک}} > 4-5$$

نفوذپذیری لایه فیلتر در هر زمان، باید مانند ابتدای آن مؤثر باشد و میزان آن به مرور زمان کاهش نیابد. نفوذپذیری در لایه فیلتر، باعث می‌شود تا جریان زه آب در خاک کناره از طریق فیلتر خارج شده و در نتیجه امکان ایجاد و توسعه نیروی زیر فشار را به حداقل برساند. از آنجایی‌که معمولاً ذرات ریزتر خاک، تعیین کننده نفوذپذیری می‌باشند، بنابراین D_{15} فیلتر و خاک

1 - Permeability criterion

به‌عنوان نماینده ذرات و دانه‌های ریزتر انتخاب شده و نسبت آن دو باید بزرگتر از ۴ یا ۵ باشد. در نتیجه نفوذپذیری لایه فیلتر به مراتب از نفوذپذیری خاک بیشتر خواهد بود و آب درون بدنه خاک را به‌راحتی از خود عبور می‌دهد.

ج - معیار یکنواختی :

این معیار، بیانگر وضعیت دانه‌بندی لایه فیلتر است که باید از یکنواختی نسبی برخوردار بوده و علاوه بر آن، دانه‌بندی فیلتر و خاک نیز فاصله زیادی با هم نداشته باشد. در نتیجه این معیار باید در دو حالت زیر برآورد شود.

- جداسازی[1]

$$\frac{D_{50}\text{، فیلتر}}{D_{50}\text{، خاک}} < 25$$

بهتر است منحنی دانه‌بندی لایه‌های خاک و فیلتر و همچنین لایه‌های مختلف فیلتر در صورتی‌که به‌صورت چند لایه اجرا می‌شود، با هم موازی باشند تا نفوذ مواد ریز از لایه زیرین به لایه رویی را به حداقل برساند.

- پایداری داخلی[2]

$$u = \frac{D_{60}\text{ فیلتر}}{D_{10}\text{ فیلتر}} < 10$$

در این رابطه، u ضریب یکنواختی است که وضعیت توزیع دانه‌بندی هر لایه فیلتر را نشان می‌دهد. اگر فیلتر از یکنواختی مناسبی برخوردار نباشد، امکان شسته شدن و جابه‌جایی دانه‌های ریزتر از بین دانه‌های بزرگ‌تر وجود خواهد داشت. بنابراین برای حفظ پایداری داخلی، باید ضریب یکنواختی فیلتر، کمتر از ۱۰ باشد.

با استفاده از معیارهای بالا و مشخص بودن منحنی دانه‌بندی خاک کناره، می‌توان دانه‌بندی لایه فیلتر را طراحی نمود. شکل۶-۲۰ نمایانگر منحنیهای دانه‌بندی تیپ برای لایه‌های فیلتر است که چگونگی اعمال معیارهای بالا را ترسیم نموده است [۲۵]. باید توجه داشت که در طراحی لایه فیلتر، معیار یکنواختی به نسبت معیارهای پایداری و نفوذپذیری از اهمیت کمتری برخوردار است و در بسیاری مواقع، از اعمال آن صرفنظر می‌شود.

د - معیار ضخامت:

حداقل ضخامت لایه فیلتر دانه‌ای از نظر مسائل اجرایی به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

ماسه درشت دانه : d= ۱۰ cm

شن : d= ۱۰ cm

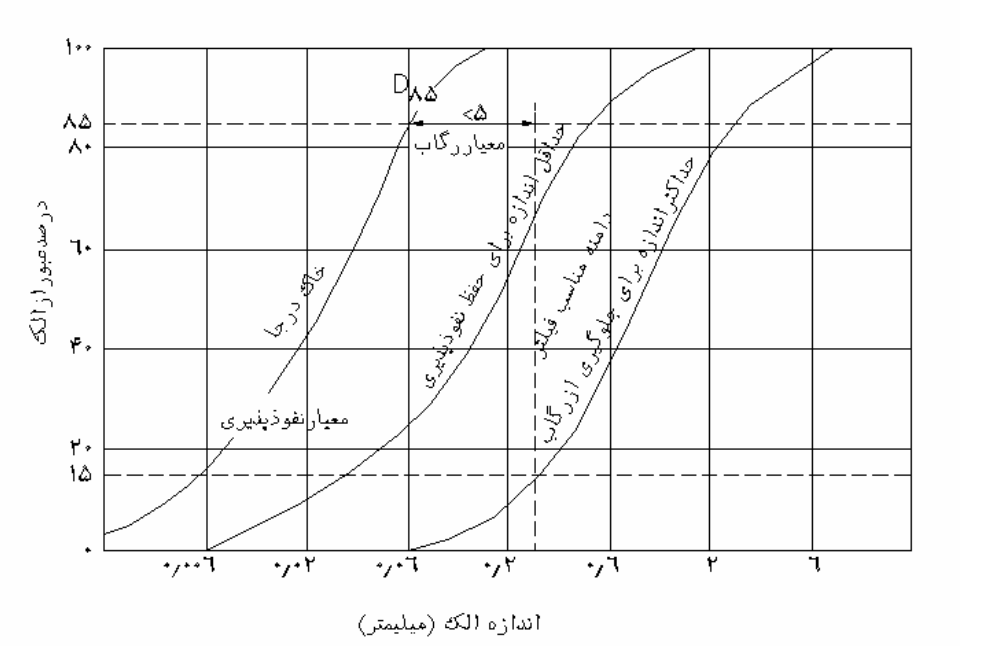
سنگریزه : ۲ تا ۳ برابر قطر بزرگترین سنگ

---

1 - Segregation
2 - Internal stability

در اینجا، d ضخامت لایه فیلتر است.

از طرفی دیگر، ضخامت لایه فیلتر نباید از نصف ضخامت لایه محافظ کمتر باشد. در حالی که باید لایه فیلتر در زیر آب اجرا شود، لازم است ضخامت آن را بیشتر در نظر گرفت تا از تأمین حداقل ضخامت مورد نیاز اطمینان به دست آید.



شکل ۶-۲۰- روش استاندارد طراحی فیلتر دانه‌ای

پس از طراحی لایه فیلتر که با توجه به مشخات خاک زیرین انجام می‌شود، ابعاد دانه‌بندی فیلتر باید با لایه محافظ رویی نیز بر اساس روابطی که تا کنون ارائه شده مقایسه گردد و در صورتی‌که روابط برقرار نباشد، لایه دیگری از فیلتر مابین لایه محافظ و لایه فیلتر اولیه در نظر گرفته شود. در این‌صورت فیلتر بصورت چند لایه اجرا خواهد شد.

۶-۴-۲ *فیلترهای مصنوعی*

فیلترهای مصنوعی اخیراً کاربردهای فراوانی در جاگزینی فیلترهای دانه‌ای داشته است. مواد فیلترهای مصنوعی که ژئوتکستایل نامیده می‌شود به صورتهای مختلفی در بازار وجود دارد و عمدتاً از مواد پلیمری بصورت بافته شده[1] یا بافته نشده[2] (متراکم) و مانند پاره‌های لیف تشکیل شده است. مهم‌ترین عاملی که برای انجام عمل فیلتر در محصولات مصنوعی مورد نظر است، وجود نفوذپذیری متناسب با نیاز است که در هنگام ساخت آن سفارش داده می‌شود. کاربرد فیلترهای مصنوعی در مقایسه با فیلترهای دانه‌ای دارای مزایا و معایبی است که به آنها اشاره می‌گردد.

1 - Woven
2 - Non-woven

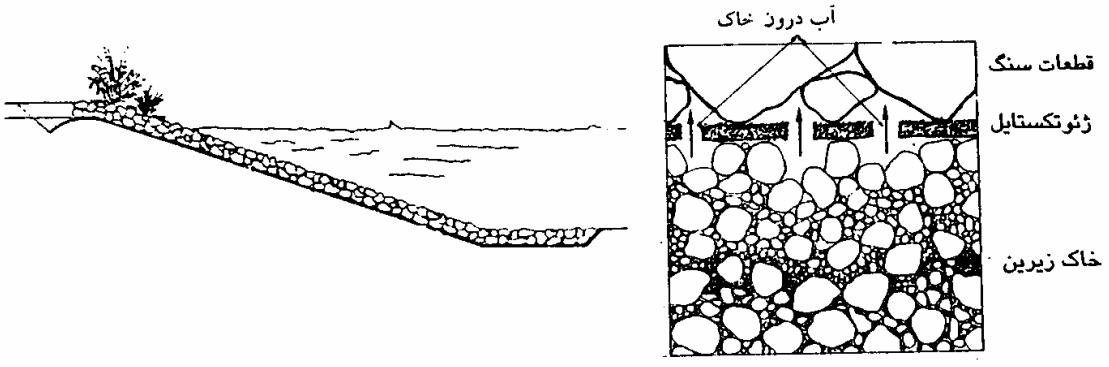
مزایای فیلتر مصنوعی [۲۱]:

- نصب و کارگذاری نسبتاً سریع بوده و نیاز به کارگر زیاد نیاز ندارد،
- فیلترهای مصنوعی معمولاً اقتصادی‌تر از دانه‌ای می‌باشد،
- فیلترهای مصنوعی دارای کیفیت قابل اعتمادتری هستند،
- فیلتر مصنوعی دارای مقاومت کششی است،
- ضخامت لایه فیلتر مصنوعی به مراتب کمتر از ضخامت فیلتر دانه‌ای است و خصوصاً در مناطقی که محدودیت زمین در حاشیه رودخانه وجود دارد این نکته بسیار حائز اهمیت است، و
- حمل و نقل مصالح فیلتر مصنوعی راحت‌تر انجام می‌شود.

معایب فیلتر مصنوعی:

- کارگذاری آن در زیر سطح آب معمولاً به عملیات غواصی نیاز دارد،
- نفوذپذیری آن در طی زمان و به‌تدریج کاهش می‌یابد،
- فعالیتهای حیاتی و زیستی در داخل خاک کناره، روی عملکرد فیلتر تأثیرگذار بوده و به آن آسیب می رساند،
- نشستهای ناهمگون خاک کناره تحت لایه حفاظت، ممکن است موجب تخریب و پارگی لایه فیلتر شود، و
- کارگذاری فیلتر فابریک روی شیبهای تند ممکن است موجب تخریب توده‌ای کناره گردد.

فیلترهای مصنوعی نیز باید مانند نوع دانه‌ای از جنبه‌های نفوذپذیری و پایداری طراحی شود. مهم‌ترین ملاحظات طراحی این نوع فیلترها شامل نوع سازه حفاظت و وزن آن، نوع قطعات واحد آن در سامانه حفاظت، روش ساخت و نیروهای وارد بر کناره رودخانه می‌باشد. این عوامل، مقاومت سایشی، توان کششی و مقاومت در برابر فرسودگی و پاره شدن فیلتر را مشخص می‌سازد (شکل ۶-۲۱).



شکل شماره ۶-۲۱- لایه فیلتر مصنوعی

فیلترهای مصنوعی یا ژئوتکستایل، همان‌طور که گفته شد، باید از دو جنبه پایداری و نفوذپذیری دارای شرایط لازم برای سازه حفاظت بوده و همان ویژگیهایی که برای فیلترهای دانه‌ای بیان گردید در فیلترهای مصنوعی نیز وجود داشته باشد. وجود لایه ژئوتکستایل باید اولاً از شسته شدن و جابه‌جایی ذرات ریز خاک لایه زیرین جلوگیری کند و در ثانیا از نفوذپذیری کافی برای زهکش نمودن جریانهای سطحی و زیرسطحی برخوردار باشد. تعیین این ویژگیها از روش نسبت O به D (یعنی قطر حفره‌های ژئوتکستایل به قطر ذرات خاک) انجام می‌گیرد به‌طوری‌که O نماینده اندازه حفره‌های مصالح مصنوعی (ژئوتکستایل) و O_{50} نشان دهنده قطر متوسط خاکی است که ۵۰٪ آن پس از پنج دقیقه الک کردن روی مصنوعات باقی می‌ماند. با توجه به تعاریف بالا، معیارهای اصلی طراحی فیلتر مصنوعی عبارت است از:

الف- معیار پایداری (ماسه سفتی)[1]

در شرایط وجود نیروهای استاتیکی (جریانهای ثابت) برای فیلتر مصنوعی، باید رابطه‌های زیر برقرار باشد:

- مصنوعات بافته شده $O_{90} / D_{90} \leq 1$
- مصنوعات بافته نشده $O_{90} / D_{90} \leq 1/8$

به‌طوری‌که O_{90} معادل قطر متوسط خاکی است که ۹۰٪ آن روی فیلتر مصنوعی، پس از ۵ دقیقه الک کردن باقی می‌ماند و D_{90} معادل اندازه مش توری الک است که ۹۰ درصد ذرات خاک از آن عبور خواهد کرد.

در صورتی‌که نسبت O_{90} به D_{90} در مصنوعات بافته شده بیشتر از ۱ و در مصنوعات بافته نشده بیشتر از ۱/۸ گردد، فشار و تنشهای هیدرواستاتیکی در زیر فیلتر ایجاد خواهد شد.

در شرایط وجود نیروهای هیدرودینامیکی (جریانهای متغیر و جزر و مدی) باید رابطه زیر برقرار باشد [۲۵]:

$$O_{98} / D_{15} \leq 1$$

ب - معیار نفوذپذیری

اگر نفوذپذیری لایه فیلتر مصنوعی، کمتر از حد مورد نیاز باشد، به‌تدریج حفره‌های فیلتر توسط ذرات ریز خاک (در زیر آن) و ذرات ریز رسوب (در بالای آن) گرفته می‌شود و نفوذپذیری فیلتر کاهش می‌یابد به‌طوری‌که پس از مدتی، لایه فیلتر به یک لایه نفوذناپذیر تبدیل شده و موجب تشکیل و توسعه نیروی زیر فشار می‌گردد و چنانچه وزن سازه حفاظت افزون بر نیروی زیر فشار نباشد، پوشش حفاظتی از موضع خود به سمت بالا حرکت کرده و در نهایت، با لغزش در امتداد شیب به داخل رودخانه تخریب می‌شود. برای جلوگیری از بروز چنین اتفاقی شرط زیر باید برقرار باشد:

- برای خاکهای یکنواخت[2] فیلتر K > ۲ K خاک
- برای خاکهای با دانه‌بندی گسترده[3] فیلتر K > ۵ K خاک

که در اینجا، K عامل نفوذپذیری در فیلتر مصنوعی و خاک کناره می‌باشد [۲۵].

---

1 - Sand - tightness
2 - Uniform soil
3 - Well - graded soil

۷- ساخت پوششها

۷-۱ اصول حاکم بر ساخت پوششها

در مورد ساخت پوششها برخی ملاحظات اجرایی وجود دارد که نه تنها بر روند ساخت اثر می‌گذارد که در انتخاب نوع پوشش نیز مؤثر است. در واقع بررسی و ارزیابی مراحل و شرایط ساخت، بخش مهمی از مرحله طراحی پوششها است. اگر چه اجرا و ساخت پوششها در موارد مختلف متفاوت است، ولی در این بحث به برخی از اصول اصلی حاکم بر ساخت پوششها اشاره می‌شود.

۷-۱-۱ *دسترسی به مصالح مورد نیاز*

اولین موردی که باید مورد توجه قرار گیرد این است که مصالح مورد نیاز به صورت اقتصادی در دسترس باشد. جابه‌جایی و انتقال مصالح از هر نقطه‌ای به محل پروژه امکان‌پذیر است ولی اغلب مهندسین ترجیح می‌دهند که از مصالح و محصولات محلی استفاده کنند. مثلاً در جاهایی که سنگ به اندازه کافی موجود نیست به جای پوشش سنگریز، از پوششهای بلوک سیمانی می‌توان استفاده کرد و در مکانهایی که از نظر شرایط اقلیمی رشد و نمو گیاهان مناسب است، پوششهای بیولوژیک می‌تواند یک گزینه مطلوب باشد. بنابر این باید در مورد هر طراحی پوشش مناسب همان طرح از نظر دسترسی به مصالح انتخاب شود. علاوه بر قابلیت دسترسی به مصالح، مهم است که از نظر کفایت مصالح و کنترل کیفیت آن در هنگام ساخت نیز دقتهای لازم به عمل آید[۱۹].

به‌کارگیری ماشین‌آلات متناسب با نوع مصالح مصرفی، روش اجرایی پیش‌بینی شده و نیروی کار متخصص و ماهر در هنگام اجرا قطعاً تأثیرات مثبتی در افزایش سرعت عملیات اجرایی و کاهش هزینه‌ها دارد.

۷-۱-۲ *دسترسی به ماشین‌آلات و نیروی کار متخصص*

در صورت امکان استفاده از ماشین‌آلات موجود و نیروی کار محلی، پیشنهاد می‌گردد در صورتی که ماشین‌آلات از جای دیگری آورده شوند، هزینه‌های مربوطه و تاخیرهای احتمالی حتماً در نظر گرفته شود. در واقع وضعیت تکنولوژی و تجهیزات محلی و همچنین نیروی کار ماهر، از عوامل تأثیر گذار بر انتخاب نوع پوشش است[۱۹]. استفاده از نیروی کار و ماشین‌آلات محلی نیز از نظر مسایل اجتماعی و حمایتهای محلی در اجرای پروژه حائز اهمیت است. اجرای پروژه‌ها گاهی به‌دلیل اختلافات محلی، سوء برداشتها ، حق‌آبه‌ها و مالیکتها، با تنشها و مخالفتهای اجتماعی همراه می‌باشد. بنابراین به‌کارگیری نیروی آماده بکار محلی و یا خرید و اجاره ماشین‌آلات از ایشان، موجب تأثیرات مثبت و حمایتهای روانی در هنگام اجرا خواهد شد.

۷-۱-۳ *دسترسیها و موقعیت کارگاه*

روش اجرا و حتی انتخاب نوع پوشش، اغلب به وجود دسترسیهای مناسب یا امکان توسعه آن بستگی دارد. در صورتی‌که فضای اطراف رودخانه محدود بوده و امکان دسترسی مناسب وجود نداشته باشد، ممکن است مساله اجرا از داخل آب و استفاده از ابزار

و ماشین‌آلاتی مانند بارج و قایق مطرح شود. وضعیت جاده‌های دسترسی به منظور تأمین ماشین‌آلات، مصالح و نیروی کار در محل اجرای پروژه، باید قبل از هر اقدامی مورد بررسی قرار گیرد و در صورت لزوم، ترمیم، و یا احداث شوند.

همچنین لازم است فضای کارگاه از نظر امکان دپوی مصالح و استقرار نیروی کار و ماشین‌آلات بررسی شود. از طرف دیگر موقعیت کارگاه ، با توجه به طول مسیر کار باید با دقت بررسی و انتخاب گردد تا میزان و حجم تردد ماشین‌آلات و عوامل اجرایی در هنگام عملیات، به حداقل کاهش یافته و ضمناً از تداخل یا تردد و ترافیک محلی و مزاحمت برای مردم منطقه حتی‌الامکان پرهیز شود[۱۹]. البته، به‌طور معمول به دلیل طول زیاد مسیر برای اجرای پوشش بستر رودخانه، در بسیاری از موارد، باید در چندین نقطه از مسیر، اقدام به ایجاد کارگاه و جبهه‌های عملیاتی مختلف نمود تا عملیات اجرایی با سرعت بیشتری انجام شود.

۷-۱-۴ مسایل زیست‌محیطی

امروزه در بسیاری از کشورهای جهان، مسایل زیست‌محیطی جزء موارد بسیار تأثیر گذار بر ساخت پوششها می‌باشد. برخی از ملاحظات زیست‌محیطی در زیر اشاره می‌شود.

- جلوگیری از آلودگی آب: اگرچه این امر به صورت کامل ممکن نیست، ولی تا حد امکان باید از گل‌آلود شدن آب در هنگام عملیات خاک‌برداری جلوگیری کرد، زیرا آلوده شدن آب علاوه بر از بین بردن آبزیان، بر کیفیت آب نیز در محلهایی که به نوعی از آب رودخانه بهره‌برداری صورت می‌گیرد، تأثیر گذار است.
- جلوگیری از خسارات به زیست بوم: اجرای پوشش باید طوری انجام شود که تا حد امکان به لانه‌های پرندگان و سایر جانداران و همچنین گیاهان حاشیه رودخانه صدمه‌ای وارد نکند.
- محدودیت ترافیک و سر و صدا: سر و صدای ناشی از عملیات اجرایی، باید برای مناطق مسکونی اطراف و جانداران در حد مجاز باشد. همچنین حمل و نقل و رفت و آمد ماشین‌آلات به کارگاه و محل اجرای طرح نیز باید با توجه به شرایط دسترسیها برنامه‌ریزی شود[۱۹].

با این حال، باید برای تردد مناسب مردم و احشام در محدوده اجرای طرح پیش‌بینی لازم انجام شود به شکلی امکان دسترسی به رودخانه و آبشخور احشام فراهم آید.

۷-۱-۵ زمان‌بندی اجرا

ارتباط متقابل مسایل زیست‌محیطی با زمان اجرا، ایجاب می‌کند که زمان‌بندی اجرا به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که حداقل اثر را روی جاندارن و محیط زیست داشته باشد. به‌عنوان مثال، زمان اجرا تا حد امکان نباید با فصل تولید مثل جانداران یا رشد و نمو گیاهان همزمان باشد. با این حال، از نظر راحتی اجرا، سعی می‌شود که اجرای پوشش، در فصل کم آبی صورت گیرد. در شرایط جزر و مدی نیز زمان‌بندی جزء عوامل مهم در برنامه‌ریزی اجرا می‌باشد و باید سعی شود زمان اجرا همزمان با پایین افتادن سطح آب باشد [۱۹].

با این حال، تنظیم دقیق یک برنامه اجرایی و انجام عملیات مطابق با برنامه زمان‌بندی در استفاده بهینه از نیروها، انرژی و ماشین‌آلات و درنتیجه کاهش هزینه‌ها و اقتصادی شدن طرح بسیار مناسب و لازم می‌باشد. در تنظیم این برنامه زمانبندی، توجه به مجموعه امکانات و محدودیتها امری اجتناب ناپذیر است.

۷-۱-۶ رعایت اصول ایمنی در طراحی و ساخت

در طول اجرا باید شرایط کارگاه برای کارگران و استفاده کنندگان از مسیرهای آبی ایمن باشد. دراغلب کشورها، مقررات خاصی برای ایمنی وجود دارد که رعایت آن در زمان ساخت و بهره‌برداری الزامی است.

از نظر شیمیایی، تمام پوششهایی که در این مجموعه مطرح شده‌اند، ایمن هستند زیرا قابلیت انحلال در آب را ندارند و آثار سوئی بر کارگران و بهره‌برداران نخواهد داشت، ولی برخی مصالح مصنوعی و مستعمل ممکن است مواد مضر و خطرناکی وارد آب کنند.

پایداری پوشش در هنگام عملیات اجرا، مسأله‌ای است که در بسیاری از مواقع فراموش می‌شود ولی بسیار دارای اهمیت است. شیبهای مناسب، پایداری قسمتهای نیمه‌تمام و مهار کردن و بستن گوشه‌ها، مواردی هستند که باید در نظر گرفته شوند[۱۹].

۷-۱-۷ کنترل کیفیت در هنگام ساخت

برای اطمینان از کیفیت مصالح مورد استفاده در ساخت پوششها در طول عملیات اجرایی، نمونه‌گیری و انجام آزمایشهای کنترل کیفیت الزامی است. همچنین لازم است تیم نظارت با بازرسیهای منظم از اجرای دقیق و تأمین مشخصات طراحی، اطمینان حاصل نمایند. در صورتی‌که در هنگام ساخت، منابع قرضه جدیدی مورد استفاده قرار گیرد، باید با انجام آزمایشهای دقیق، کیفیت آن برای کار تائید شود.

قبل از اجرای پوشش باید شیب‌بندی با دقت کامل انجام شود؛ ضخامت نهایی لایه‌های مختلف پوشش به طور متوسط، نباید با ضخامت طراحی بیش از ۵ درصد اختلاف داشته باشد؛ اگرچه به صورت موضعی، اختلاف ۱۰ ± سانتی‌متر نیز قابل پذیرش است [۲۲].

۷-۲ روشهای ساخت

ساخت پوششها، معمولاً به دو روش انجام می‌گیرد: یکی اجرا از خشکی و دیگری اجرا در زیر سطح آب که هر کدام ماشین‌آلات و تجهیزات خاص خود را دارد. انتخاب هر یک از این دو روش، به شرایط خاص هر طرح بستگی دارد. در اجرا از خشکی باید به مواردی که در ادامه آمده توجه شود[۱۹]:

- وجود راههای دسترسی مناسب یا امکان احداث آن،
- فضای کافی برای استقرار ماشین‌آلات و نگهداری مصالح، و
- عدم تداخل با فعالیتهای ساکنان حاشیه رودخانه.

در صورت اجرا در زیر سطح آب، باید موارد زیر مورد توجه قرار گیرد[۳۶]:

الف- شرایط جریان، موج و باد باید برای شناور و همچنین مصالح پوشش مناسب باشد و باعث اختلال در جریان عملیات نشود،

ب- عمق مناسب آب و فضای مانور کافی برای شناور در هنگام عملیات اجرایی لازم است،

ج- نیمرخ عمودی سرعت باید بررسی شود تا مصالح و پوششها در هنگام ریختن یا نصب جابه‌جا نشود،

د- تغییرات آب و هوایی فصلی باید مد نظر قرار گیرد. مثلاً در برخی مواقع مانند فصل زمستان، بادهای شدید یا شرایط بسیار پر آب، عملیات اجرایی متوقف می‌شود،

هـ- در صورتی‌که کارگاه در مسیر ترابری آبی باشد، عملیات اجرایی نباید مانعی اساسی برای رفت و آمد شناورها باشد،و

و- در هنگام اجرا دیدکافی برای ایمنی لازم است. به خصوص در شرایط مه‌آلود ممکن است برای شناورها یا تاسیسات اطراف رودخانه خطر ساز باشد. امروزه به‌کارگیری علائم کمک ناوبری و رادار نیز در چنین شرایطی مرسوم است.

لازم به یادآوری است که پوششها یا به صورت کلی ریخته می‌شوند (مانند سنگریز) یا به صورت لایه‌های مشخص در محل مورد نظر قرار داده می‌شوند (مانند بلوکهای پیش‌ساخته بتنی). هر یک از این روشها، ماشین‌آلات‌خاص خود را می‌طلبد.

۷-۳ اجرای پوششها در زیر آب

اجرای پوشش در زیر آب، در عمقی کمتر از ۰/۵ متر (در صورتی که اجرا به صورت دستی باشد) و یا کمتر از ۱ متر (در صورتی که اجرا با ماشین‌آلات صورت بگیرد) تفاوت چندانی از نظر صعوبت با اجرا در شرایط خشکی ندارد. در جریانهای آرام، پایداری مصالح به راحتی تأمین می‌شود. در چنین شرایطی معمولاً مصالح گرد بسیار مناسب‌تر خواهد بود زیرا قطعات مصالح گرد به راحتی به داخل آب می‌غلتند.

اجرای پوشش در اعماق بیشتر از ۱ متر نیازمند روشهای خاصی است تا از قرارگیری و تثبیت پوشش اطمینان حاصل شود. به‌عنوان مثال، استفاده از ژئوتکستایل به جای فیلتر دانه‌ای مناسب‌تر است. در مورد انتخاب نوع پوشش نیز پوششهایی مانند روکشهای توری سنگی یا بلوکهای بتنی به‌هم بافته شده بر پوششهای متشکل از قطعات مجزا ارجحیت دارد. این نوع پوششها، با راحتی و دقت بیشتری در زیر آب کار گذاشته می‌شود[۱۹].

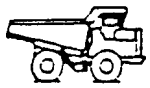
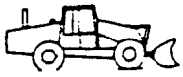
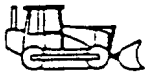
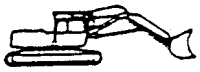
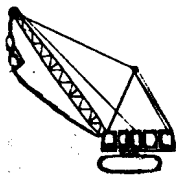
۷-۴ ماشین‌آلات ساخت

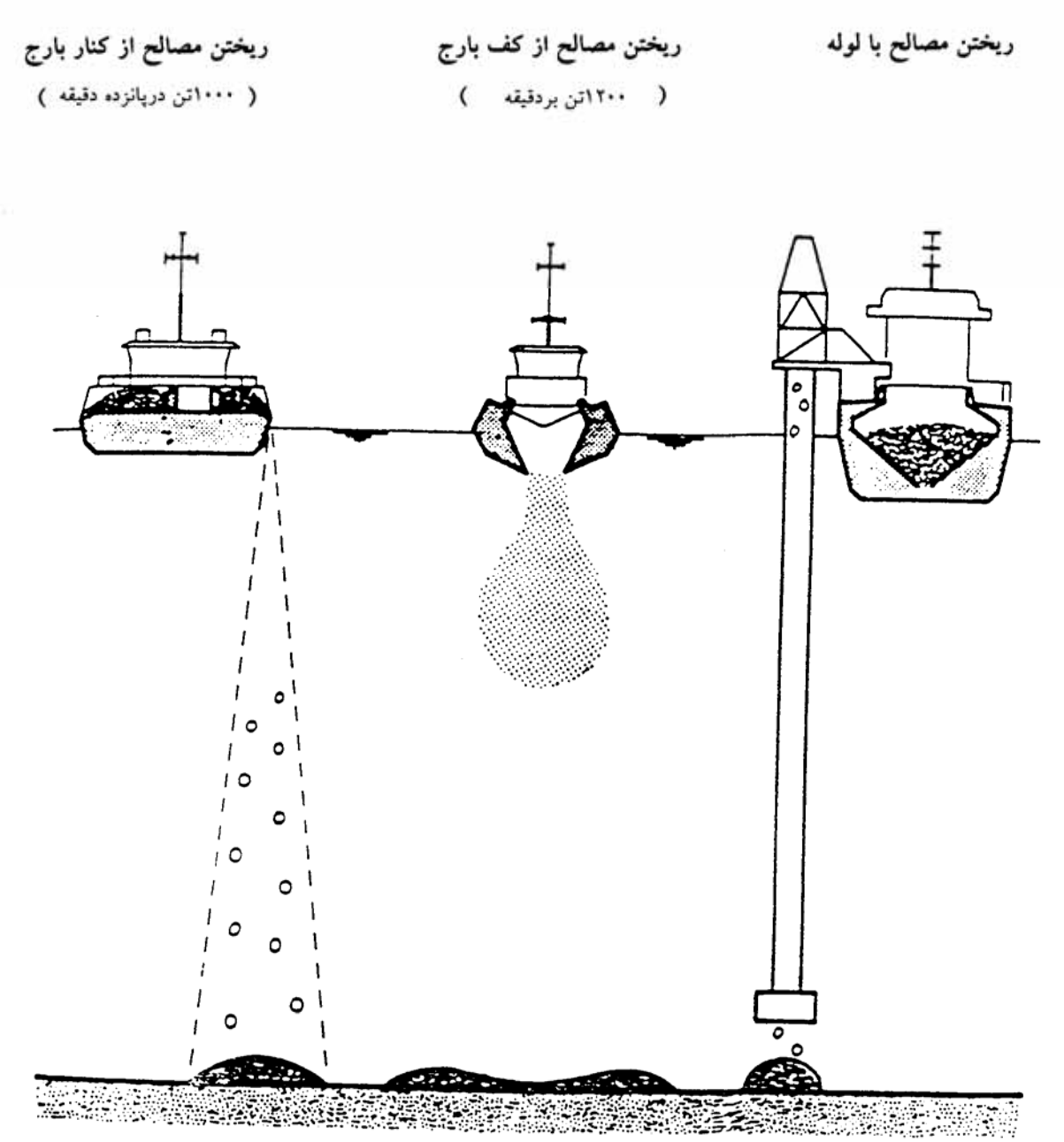
با توجه به حجم عظیم عملیات خاکی، اعم از خاکبرداری و خاکریزی در ساخت پوششها ، نقش ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده در کنار نیروی انسانی مورد نیاز، بسیار پر اهمیت خواهد بود. معمولاً با توجه به طول زیاد مسیر برای اجرای پوششها، تعداد کارگاهها و ماشین‌آلات مورد استفاده زیاد بوده و در چندین جبهه کاری، عملیات اجرایی می‌تواند به طور همزمان انجام شود. در مراحل مختلف ساخت مانند: پاک‌سازی، خاکبرداری، خاک‌ریزی، ریختن و کارگذاری مصالح فیلتر و پوشش از انواع مختلف ماشین‌آلاتو تجهیزات ساختمانی و راه‌سازی استفاده می‌شود[۶].

در جدول ۷-۱ برخی از ماشین‌آلاتی که در اجرای پوشش از خشکی کاربرد دارند، معرفی شده است[۳۶].

در اجرای پوشش از سطح آب از بارج استفاده می‌شود که معمولاً برای تخلیه مصالح پوشش، در زیر آن دریچه تعبیه شده یا از آن برای حمل جرثقیل استفاده می‌شود. در شکل ۷-۱، انواع حالتهای استفاده از بارج در اجرای پوششهای حفاظتی در کف رودخانه نشان داده شده است[۳۶].

جدول ۷-۱- مجموعه ماشین‌آلاتی که در اجرا از خشکی کاربرد دارند

نوع		ظرفیت (متر مکعب)	وزن (تن)
دامپتراک		۲۰-۸۰	خالی : ۱۱۰-۳۰ پر : ۲۷۰-۶۰
کامیون		۶-۲۷	خالی : ۴۰-۱۰ پر : ۹۰-۲۰
لودر		۲/۵-۹	۱۵-۸۶
لودر زنجیری		۲/۵-۳	۲۵
بیل مکانیکی		۰/۵-۱۵	۱۵-۲۰۰
بیل مکانیکی		۲-۱۵	۴۰-۲۰۰
بولدوزر		عرض تیغه متر ۲/۵-۵	۱۰-۸۰
گریدر		عرض تیغه متر ۲-۵	۵-۲۵
دراگلاین		۰/۳-۲	۴-۶



شکل ۷-۲- استفاده از بارج در اجرای پوششهای کف رودخانه

۸- نگهداری پوششها

اعمال مدیریت مناسب و نگهداری صحیح از پوششهای اجرا شده نقش به‌سزایی در تضمین عملکرد مطلوب آنها در زمان بهره‌برداری دارد. تقریباً همه انواع پوششها به صورت کم یا زیاد به نگهداری نیاز دارند که باید در زمان بهره‌برداری به این امر توجه شود. در صورتی که اجرای پوششها در مرحله ساخت به شکلی ضعیف و خارج از استاندارد انجام شود، اگرچه ممکن است هزینه اولیه احداث اقتصادی به نظر برسد، ولی در هنگام بهره‌برداری، هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن می‌تواند فوق‌العاده زیاد باشد. همچنین باید توجه داشت برخی از انواع پوششها نیاز بیشتری به نگهداری دارند. برای مثال، پوششهای گیاهی به مراقبت و رسیدگی مداوم نیاز دارد و به همین دلیل باید راههای دسترسی مناسب و زمان‌بندی مؤثر برای عملیات تعمیر و نگهداری پیش‌بینی شود.

حتی پوششهایی که خوب طراحی و ساخته شده‌اند، ممکن است در طول عمر مفید خود به نگهداری و تعمیرات نیاز پیدا کنند، زیرا به علت ماهیت پویا و متغیر جریان رودخانه، عدم مراقبت و نگهداری از پوششها اغلب به خرابیهای اساسی منتج می‌شود.

بازرسی و نگهداری پوششها نسبتاً امری دشوار و پر هزینه است، زیرا قسمت اصلی پوشش اغلب در زیر آب بوده و مشاهده و بررسی آن به صورت معمول مقدور نمی‌باشد.

ایجاد یک ساختار سازمانی مناسب، تدوین یک برنامه زمانی مشخص و پیش بینی بودجه کافی سالیانه برای بازرسی، تعمیرات و نگهداری، از الزامات و ضروریات دوره بهره‌برداری است.

۸-۱ عوامل تخریب پوششها

عوامل اصلی که باعث شکست و تخریب پوششها می‌شوند و باید طی زمان بهره‌برداری در ترمیم و رفع آنها کوشید، عبارتند از:

- فرسایش سطحی ناشی از رواناب و جریان رودخانه،
- عوامل ناشی از شرایط خاص محیطی مانند باد، طوفان و موج ناشی از آن و تغییرات دمای محیط،
- آب زیر زمینی و پدیده تراوش و رگاب در بدنه پوشش و لایه‌های زیرین،
- لغزش و گسیختگی شیبهای کناره،
- وجود حفره‌های ناشی از ریشه گیاهان و پناهگاههای حیوانات،
- عملکرد تخریبی انسانها و احشام،
- نشست شالوده پوشش،
- آب‌شستگی پنجه پوششها، و
- آب‌شستگی نقاط ابتدا و انتهای بازه پوشش که به کناره متصل می‌شود.

۸-۲ بازرسی و رفتار سنجی

تجربیات نشان می‌دهد که بسیاری از پوششها که خوب طراحی و ساخته شده‌اند، عمر طولانی دارند و مراقبت و نگهداری از آنها در اغلب موارد فقط شامل بازدید و بررسی دوره‌ای می‌باشد و کمتر به تعمیرات اساسی نیاز پیدا می‌کنند. بدین جهت، باید نظارت و بازرسی از رودخانه و پوششها طی یک برنامه منظم ۶ ماهه که با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی تنظیم می‌گردد (به‌خصوص در زمان سیلاب و پس از فروکش کردن آن)، به عمل آید تا احیاناً در صورت مشاهده عارضه‌ای نسبت به ترمیم آن اقدام به عمل آید.

در این مورد تهیه عکس، نقشه و فیلم نیز مفید می‌باشد. مقایسه این عکسها در زمانهای مختلف، راهنمای خوبی در مورد رفتار پوشش خواهد بود.

لازم است در گروه نظارت و بازرسی، افرادی با تخصصهای مختلف که در طراحی پوشش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، شرکت داشته باشند. منافع حاصل از تشکیل چنین گروهی، در اغلب موارد بر هزینه‌های مربوطه برتری دارد. در بازرسی و نگهداری پوششها دو قسمت زیر به توجه بیشتر نیاز دارد، زیرا فرسایش در این نقاط باعث خرابی کلی پوشش خواهد شد:

- حفاظت پاشنه،و
- اتصال کناره‌های پوشش در بالادست و پایین‌دست.

موارد دیگری که در هنگام بازرسی باید مورد توجه دقیق قرار گیرند به قرار زیر می‌باشند:

- سیستم زهکشی در پوششهای نفوذناپذیر،
- در قسمت بالای شیب، جایی که پوشش سازه‌ای به زمین طبیعی یا به ناحیه پوشش طبیعی متصل می‌شود، جریانهای سطحی که وارد رودخانه می‌شوند ممکن است بر این ناحیه تأثیر گذاشته و باعث تخریب آن شود،
- در نواحی که مصالح پوشش در اثر جریان، نشست زمین و فشار برکنش مصالح پوشش جابه‌جا شده‌اند، این مساله باعث می‌شود که لایه‌های زیرین در معرض فرسایش قرار گیرند،
- وضعیت پوشش گیاهی [۱۶].

۸-۳ اصول نگهداری و تعمیرات ادواری

برای نگهداری و بهره‌برداری از پوششها، باید در نخستین قدم، مبانی و استانداردهای مناسبی انتخاب یا تدوین شود که شامل مواردی مانند زمان‌بندی بازرسی، نیاز به تعمیرات و تخصصهای لازم در تیمهای فنی است.

همواره باید بین شرایط فعلی پوششها و وضعیت اولیه آن، مقایسه انجام شود که این کار با بازدیدهای معمولی یا استفاده از دستگاههای اندازه‌گیری که در هنگام ساخت یا بعد از آن در پوششها کار گذاشته می‌شود، قابل انجام است. البته استفاده از روش اخیر، فقط در طرحهای بزرگ قابل توجیه می‌باشد. در شرایطی که احتمال تغییرات یا خرابی در پوششها زیاد باشد، باید فاصله زمانی بازدیدها کمتر شود.

در صورتی که نمودارهایی از تغییرات در پوشش در طول زمان رسم شود، محلهایی که پتانسیل خرابی دارند به راحتی مشخص خواهند شد. بنابراین ثبت اطلاعات مربوط به زمانهای مختلف، به صورت نمودار و شکل می‌تواند کمک بزرگی در

نگهداری و احتمالاً تعمیرات پوششها باشد. برای انجام کنترلهای لازم و بازدید از وضعیت پوششها در زیر آب از عملیات غواصی یا وسایلی مانند اکوساندر[1] استفاده می‌شود [۱۹].

در نهایت انتخاب روش کار، شامل تعمیر و نگهداری پوششهای موجود، تعویض پوششهای قدیم با جدید یا انتخاب هر نوع استراتژی دیگر مانند تعیین زمان انجام تعمیرات، وابسته به شرایط خاص هر طرح می‌باشد. مثلاً در مواردی که تعمیرات فوریت نداشته باشد، معمولاً در زمانهای کم آبی و در بازه‌های زمانی که کمترین اثر را بر شرایط زیست‌محیطی داشته باشد صورت می‌گیرد.

۸-۴ تعیین روش تعمیرات

در صورتی که قسمتی از پوشش دچار خرابی شود، معمولاً برای تعمیر آن می‌توان هر یک از سیاستهای زیر را بسته به شرایط انتخاب کرد [۱۶]:

- بازسازی پوشش و رسیدن به شرایط قبل از خرابی،
- تقویت پوشش نسبت به قبل بدون تغییر در نوع پوشش (افزایش ضریب اطمینان)،و
- انتخاب روش دیگری برای حفاظت.

انتخاب هر یک از گزینه‌های بالا یا ترکیبی از آنها، به شرایط و قضاوت مهندسی بستگی دارد.

اگر انتخاب نوع حفاظت و طراحی آن درست انجام شده باشد، معمولاً به‌کارگیری همان مصالح برای تعمیر کفایت می‌کند. برای مثال اگر در نقاطی نشستهای غیر منتظره باعث خرابی پوشش شده باشد، این نقاط با همان مصالح و همان ضخامتهای طراحی اولیه ساخته می‌شود.

اگر نوع پوشش مناسب تشخیص داده شده ولی طراحی اولیه ضریب اطمینان کافی نداشته باشد، برای تعمیر قسمتهای آسیب دیده می‌توان با حفظ نوع پوشش، ضرایب اطمینان را افزایش داد که این امر با استفاده از ضخامتهای بیشتر و مصالح با اندازه بزرگ‌تر نسبت به طراحی اولیه قابل دستیابی می‌باشد. اما اگر در بررسی خرابی یک پوشش این نتیجه به دست آید که انتخاب نوع پوشش به علت عدم توجه به برخی شرایط اشتباه بوده است، باید در تعمیر آن، از مصالح و روشهای دیگر استفاده گردد. برای مثال، اگر آب شستگی ایجاد شده در پاشنه یک پوشش، صلب بیش از حد پیش‌بینی شده اولیه باشد، باید از روشهای جایگزین مانند سنگریز در حفاظت پاشنه پوشش استفاده شود.

با وجود این‌که نگهداری و تعمیرات در پوششها بسته به شرایط بسیار متنوع است، ولی به‌کارگیری سنگ و همچنین استفاده از روشهای طبیعی برای تعمیر نقاط آسیب دیده بسیار معمول می‌باشد. با توجه به شکلهای نامنظم خرابیها، سنگ به راحتی امکان انطباق با قسمتهای خراب شده را دارد. همچنین در جاهایی که فرسایش بسیار شدید نباشد، در قسمتهای خراب شده می‌توان از پوششهای گیاهی استفاده کرد[۱۶].

از نظر ایمنی، لازم به یادآوری است که مصالح و قسمتهایی از پوشش که تخریب شده و از سامانه حفاظتی جدا شده‌اند، نباید بعد از تعمیر در محل باقی بمانند.

---

1 - Eco- sounder

۹- پوشش گیاهی[1]

۹-۱ کلیات

نقش پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خاک شناخته شده است. بنابراین، می‌توان از پوششهای گیاهی در طرحهای ساماندهی برای حفاظت کناره‌ها و کنترل فرسایش رودخانه‌ها استفاده نمود. اصولاً لازم است سازه‌های ساختمانی که با هدف مهار فرسایش در حاشیه رودخانه‌ها احداث می‌شود و دارای عمر مفید مشخصی است، با روشهای بیولوژیک تکمیل و از طریق بالا بردن میزان پایداری و مقاومت این‌گونه سازه‌ها در مقابل جریانات جاری رودخانه، به عمر مفید آنها افزود[۱۱].

امروزه در کشورهای مختلف، نقش پوشش گیاهی در حفاظت و تثبیت دیواره و سواحل رودخانه‌ها به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و به‌عنوان گزینه‌ای اقتصادی، مورد توجه می باشد و این‌گونه روشها از روش رشد و نمو گیاه، به طور طبیعی قابلیت تجدید حیات و بازسازی خود را دارد[۱۴]. از طرف دیگر نبودن پوشش گیاهی روی دیواره و سواحل رودخانه‌ها را می‌توان نمودی از ناپایداری دیواره‌ها به حساب آورد.

مطالعات زیادی در زمینه نقش و تأثیرات مهم پوشش گیاهی در حفاظت کناره و سواحل رودخانه‌ها انجام شده است. از نظر مکانیکی، عمل ریشه‌های گیاه باعث تحکیم خاکدانه‌ها و بهبود ساختمان خاک و افزایش مقاومت دیواره‌ها می‌شود. همچنین ریشه گیاهان موجب مسلح شدن بیولوژیکی خاک گشته و مقاومت خاک را افزایش می‌دهد[۱۱]. اندامهای هوایی گیاه نیز، باعث افزایش زبری دیواره‌ها و کاهش سرعت و تنش برشی جریان آب شده و این عمل از طریق کاهش انرژی آب در محل دیواره‌ها انجام می‌گردد.

با توجه به مطالب بالا، لازم است که برای افزایش پایداری عملیات حفاظت کناره‌ها، با توجه به شرایط محیطی و اقلیمی منطقه و ویژگیهای فنی رودخانه‌ها، نسبت به ایجاد پوشش گیاهی بصورت خالص یا تلفیق با سایر روشها اقدام نمود. اگرچه از نظر مدیریتی (احداث و نگهداری) روشها بیولوژیک مشکلات و پیچیدگیهای ویژه خود را دارد و به شرایط محیطی (شرایط اقلیمی، نوسانات جریان آب، ویژگی گیاهان و ...) وابسته است اما از جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، گزینه مطلوبی است [۱۱] و [۳۹].

۹-۲ تعریف پوشش گیاهی

استفاده از پوشش گیاهی (علفی، بوته‌ای، درختچه یا درخت)، مواد گیاهی (چوب، ترکه یا بقایای گیاهی) یا ترکیبی از آنها به‌منظور حفاظت و مهار فرسایش در دیواره و سواحل رودخانه‌ها را، از جمله روشهای طبیعی حفاظت می‌نامند. این روش از نظر شرایط زیست‌محیطی مطلوبیت لازم را داشته و موجب افزایش پایداری حفاظت دیواره‌ها و بالابردن عمر مفید سایر سازه‌ها (روشها تلفیقی) می‌گردد.

1 - Biological revetment

۹-۳ ویژگیهای پوششهای گیاهی

پوشش گیاهی، از نظر ویژگیهای خاص آنها نسبت به پوشش ساختمانی دارای مزایا و معایبی است که در زیر اشاره می‌گردد:

۹-۳-۱ *مزایای پوششهای گیاهی*

پوششهای گیاهی به نسبت روشها حفاظتی دیگر، از مزایای نسبی زیر برخوردار است:

- موجب بالابردن مقاومت هیدرولیکی دیواره‌ها می‌شود،
- از طریق بهبود ساختمان خاک، موجب افزایش مقاومت کناره‌ها می‌گردد (از نظر مکانیکی)،
- از طریق ریشه‌ها باعث تغییر شرایط میکروکلیما و شرایط خاک می‌گردد،
- قابل تلفیق با سایر روشهاست،
- تأثیرات مثبت آن در سالهای اول کم است، اما با گذشت زمان، دارای پایداری بیشتری نسبت به سایرسازه‌ها می‌گردد،
- نیاز به هزینه کمی داشته و به امکانات محدودی نیاز دارد،
- از نظر زیست‌محیطی دارای آثار مفید و مطلوبی است، و
- موجب توسعه و گسترش زیستگاه حیات وحش می‌شود[۱۴] [۳۹].

۹-۳-۲ *معایب پوششهای گیاهی*

روشها حفاظتی پوشش گیاهی در مقایسه با روشهای مکانیکی، دارای معایبی است که می‌توان به موارد زیر اشاره داشت[۳۵]:

- به شدت به شرایط محیطی و تنشهای محیطی وابسته است (محدودیتهای بیولوژیکی و تکنیکی)،
- اثرپذیری آن در فصلهای مختلف متغیر و با تغییرات فصل کاهش می‌یابد (مانند زمستان که گیاهان فاقد برگ می‌شوند به ویژه گونه‌های علفی و بوته‌ای که بیشتر از طریق شاخ و برک خود تأثیرگذار هستند)،
- محدودیت زمانی دارد (محدودیت زمانی و وابستگی آن به زمانی خاص)،
- در سالهای اولیه نیازمند توجه و نگهداری ویژه بوده و نیاز به صرف هزینه دارد،و
- زمان ایجاد پوشش گیاهی (کاشت و استقرار) نسبتاً طولانی‌تر از احداث پوششهای سازه‌ای است.

۹-۴ انواع پوششهای گیاهی

الف – پوشش گیاهی خالص: در این روش، نسبت به حفاظت دیواره‌ها از طریق کاشت گیاهان (علفی، بوته‌ای، درختچه‌ای، درختی) به روشهای مختلف (بذرکاری، نهال‌کاری، قلمه زدن و بوته کاری) یا ترکیبی از آن اقدام می‌گردد.

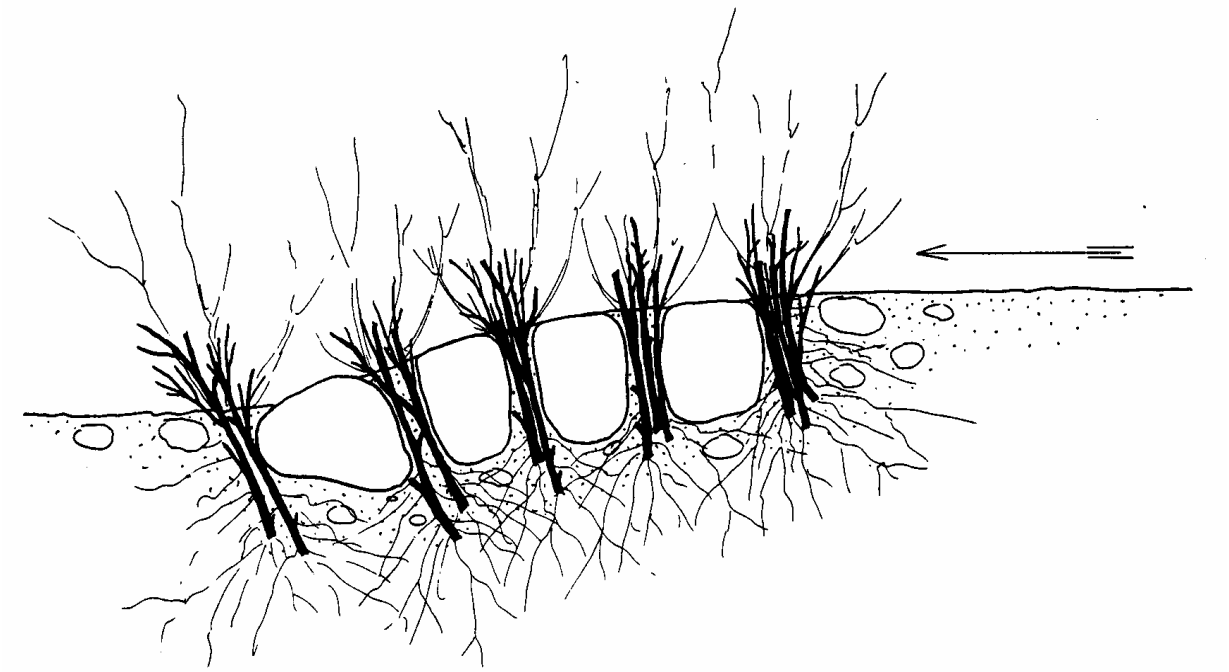
ب – پوشش گیاهی تلفیقی: در این روش، برای پایدار نمودن و طولانی کردن عمر مفید سازه‌های ساختمانی و انجام حفاظت مناسب‌تر کناره‌ها در بین این‌گونه سازه‌ها یا در اطراف آن، از پوششهای گیاهی (علفی، بوته‌ای، درختچه‌ای، درختی) استفاده می‌شود. این روش، به ویژه در آن دسته از سازه‌های ساختمانی آبگذر[1] (نفوذپذیر) که در اثر ته‌نشست رسوبات، شرایط لازم برای استقرار پوشش گیاهی فراهم می‌شود، کاربرد دارد (مثل تورسنگ، سنگچین و ...) [۱۱].

شکلهای ۹-۱ تا ۹-۴ نمونه‌هایی از پوشش گیاهی و تلفیقی، و استفاده از مواد گیاهی را نشان می‌دهد.

---

1 - Pervious revetment

شکل ۹-۱- حفاظت کناره‌های رودخانه با روش پوشش گیاهی خالص



شکل ۹-۲- نمای شماتیک از چگونگی پوشش گیاهی تلفیقی

شکل ۹-۳- استفاده از مواد گیاهی در تثبیت کناره‌ها

شکل ۹-۴- شکل دیگری از نوع استفاده از مواد گیاهی در حفظ دیواره‌ها

۹-۵ عوامل مؤثر بر انتخاب پوششهای گیاهی [۱۴] [۱۵]

الف- وضعیت جریان و کیفیت آب

نوسانهای جریان آب در رودخانه و دائمی یا موقتی بودن آن، از عوامل اصلی و مهم در انتخاب روش، نوع مواد گیاهی و گونه‌های گیاهی، اقدامات مورد نیاز است. علاوه بر آن، کیفیت آب (شوری، میزان مواد معلق در آب و ...) نقش مهمی در انتخاب گونه‌های گیاهی دارد. سرعت جریان آب و راستای حرکت آب از جمله عوامل دیگری است که مؤثر می‌باشند.

ب- شرایط اقلیمی منطقه

انتخاب نوع گیاهان و گونه‌های مناسب، علاوه بر خصوصیات بیولوژیکی گیاهان، وضعیت جریان و کیفیت آب جاری، تابع اقلیم منطقه (میزان بارندگی، پراکنش بارندگی، دما، نوسانات دما، میزان تبخیر) و وضعیت آبهای زیر زمینی می‌باشد.

ج- ویژگیهای خاک بستر و کناره رودخانه

ویژگیهای کناره‌ها و بستر رودخانه، از جمله شیب کناره‌ها، بافت، ساختمان، ظرفیت رطوبتی خاک بدنه، اسیدیته خاک و پایداری خاک، در انتخاب روش (به ویژه شیب) و نیز نوع گیاهان مهم و قابل توجه است.

د- ویژگیهای گیاه

خصوصیات فردی و اکولوژیکی گیاه، به خصوص از نظر تحمل تنشهای محیطی و اکولوژیکی (ناشی از نوسانات اقلیمی، نوسانات جریان آب و ...) در انتخاب نوع گونه بسیار مهم و اساسی است. ضرورتاً گونه‌هایی باید انتخاب شوند که قابلیت تحمل شرایط ویژه منطقه و نیز میکروکلیمای[1] محل کاشت خود را داشته باشند.

هـ- شکل هندسی و شرایط هیدرولیکی رودخانه[۱۴]

هندسه رودخانه و نیز شیب کناره‌ها از جمله عوامل مؤثر می‌باشند. شیب دیواره‌ها به‌منظور استقرار بهتر گیاهان، حتماً باید بر اساس ویژگیهای فیزیکی و پایداری خاک کناره‌ها (شیب به نسبت ۱به۲ تا ۱به۳) برقرار باشد. انحناء و زاویه پیچها درحدی باشد که خطوط جریان، موازی دیواره‌ها قرار گیرد، در ضمن ابعاد بستر دچار تغییرات شدید نباشد.

۹-۶ طراحی پوششهای گیاهی

۹-۶-۱ مطالعات پایه مورد نیاز

گردآوری اطلاعات مورد نیاز و دستیابی به اطلاعات پایه در خصوص ویژگیهای فیزیکی، اقلیمی و خاک بستر و محدوده اطراف رودخانه لازم و ضروریست و ابزار لازم را در تصمیم‌گیری و ارائه روشها اجرایی در اختیار می‌گذارد[۳۵].

1 - Micro climate

قبل از اقدام به طراحی پوشش گیاهی و نوع عملیات مورد نیاز فهرست زیر باید مورد توجه و اقدام قرار گیرد.

- به‌دست آوردن نقشه‌های توپوگرافی، عکسهای هوایی و عکسهای ماهواره‌ای به‌منظور ترسیم مسیر، پروفیل و توپوگرافی اطراف رودخانه،
- ارزیابی زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی رودخانه (حداقل تا محدوده‌ای که دیواره‌ها و محل اجرای عملیات بیولوژیک را تحت تاثر قرار می‌دهد)،
- ارزیابی ویژگیهای خاک (فیزیکی – شیمیایی) دیواره‌ها و پایداری خاک (به ویژه وضعیت شیب)،
- ارزیابی پوشش گیاهی طبیعی کف بستر و اطراف رودخانه، به ویژه محلهایی که از نظر خاک و وضعیت ظاهری به محل اجرای عملیات بیولوژیک شباهت دارد، بمنظور شناسایی گیاهان بومی و سازگار،
- شناسایی بازه‌هایی از رودخانه که از نظر خصوصیات فنی و ویژگیهای اقتصادی– اجتماعی دارای اولویت اجرای کار هستند،
- تهیه مقطع مناسب آبگذری در رودخانه به‌منظور تعیین محدوده هایی که تحت تأثیر جریان دائمی آب، آبگذری موقت و نیز آبگیری در زمانهای حداکثر بده رودخانه و مسیل قرار دارند.

لازم به یادآوری است که بخشی از این مطالعات، از نتایج مطالعات جامع انجام شده در رودخانه می‌تواند در اختیار قرار گیرد و بخشهای تخصصی‌تر (پوشش گیاهی) لزوماً باید به‌طور جداگانه و با دقت مطالعه شود.

۹-۶-۲ عوامل مؤثر بر طراحی

انجام هر گونه طراحی پوشش گیاهی به شناخت عوامل مؤثر و دخیل در طراحی نیاز دارد، مهم‌ترین این عوامل عبارتند از:

- شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی محدوده رودخانه
- شرایط هندسی و هیدرولیکی رودخانه مانند شیب کناره‌ها، سرعت جریان، تغییرات سطح آب رودخانه
- بودجه، اعتبارات، امکانات و تجهیزات در دسترس
- منابع ژنتیکی (گیاه و مواد گیاهی)
- اهداف اصلی و فرعی طرح (مثل حفاظت دیواره‌ها و کناره‌ها و بهبود شرایط محیطی کناره‌ها)

۹-۶-۳ ویژگیهای منابع گیاهی مورد نیاز [۳۵] [۳۹]

منابع و مواد مورد نیاز در طراحی پوشش گیاهی، عمدتاً شامل اندامهای تکثیری گیاهان از جمله بذر در گیاهان علفی، چمنی و بوته‌ای، و قلمه و نهال در گیاهان درختچه‌ای و درختی و سایر اندامهای تکثیری مثل پاجوش، تقسیم ریشه، تقسیم گیاه (گیاهان چمنی) و سایر موارد است (این موارد کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد).

از آنجایی‌که ماده اصلی مورد نیاز، گونه‌های گیاهی است (صرف نظر از نوع گیاه و اندام تکثیری) رعایت نکات اساسی زیر در انتخاب صحیح نوع گیاه بسیار مهم و حائز اهمیت بوده و رعایت آن میزان موفقیت را افزایش می‌دهد.

- ویژگیهای اقتصادی گیاهان (سهولت در استقرار به‌منظور کاهش عملیات واکاری و امکان استفاده اقتصادی از آن)،

- ویژگیهای اکولوژیکی گیاهان (عکس العمل سریع و مناسب به محیط و تغییرات آن)،و
- ویژگیهای بیوتکنیکی گیاهان (توانایی گیاهان در تحمل فشارهای مکانیکی ناشی از نیروهای وارده جریان آب).

با توجه به سه اصل کلی بیان شده، گیاهان انتخابی باید دارای ویژگیهای خاص زیر باشد.

- سازگاری مناسب با شرایط محیطی (سازگاری با شرایط سخت و حد بالای تنشهای محیطی و محاطی)،
- سرعت مناسب رشد (به ویژه در مراحل اولیه رشد)،
- ساختار ریشه ای مناسب (سرعت رشدبالای ریشه، ریشه‌های عمودی برای استقرار بهتر در خاک)،
- سهولت در زاد آوری و تجدید حیات (به‌منظور ترمیم طبیعی گیاهان از دست رفته)،
- قدرت بالای پوشانیدن سطوح (عمدتاً در خصوص گیاهان علفی که موجب افزایش سرعت پوشانیدن سطح در معرض فرسایش دیواره‌ها شود)،
- سهولت استقرار (به ویژه در مراحل اولیه رشد)،
- سهولت دسترسی و در اختیار بودن مواد گیاهی مورد نیاز (به‌منظور کاهش هزینه ها)،
- در مقابل خطرات و صدمات مکانیکی دارای مقاومت نسبی خوب باشند (تحمل شرایط حرکت خاک، رسوب‌گذاری و غیره)،
- مقاومت خوبی در برابر آفتها و بیماریها داشته باشند،
- از دسته گیاهانی باشند که توانایی بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را داشته باشند (قادر به تثبیت ازت، گسترش و توسعه زیاد ریشه و افزودن بقایای گیاهی به‌منظور اصلاح شرایط خاک باشند)،
- از گیاهان مرغوب و غیر سمی باشند (در صورت احتمال استفاده برای انسان و دام سمی نباشند)،و
- تا حد امکان از گیاهان بومی منطقه باشند (به‌علت قدرت نسبی، مقاومت در برابر تنشهای محیطی و سازگاری خوب گونه‌های بومی به شرایط محیطی).

۹-۶-۴ تجهیزات و امکانات مورد نیاز

تجهیزات و امکانات مورد نیاز، بر اساس شرایط محیط و ویژگیهای رودخانه و دیواره‌ها متفاوت خواهد بود. استفاده از ادواتی که به اصلاح مسیرهای با جریان تند آب منجر شود (به ویژه در زاویه‌ها و پیچها) یا باعث اصلاح و کاهش درصد شیبهای تند گردد مورد نیاز است (از جمله بیل، گریدر، لودر، غلطک و...). علاوه بر تجهیزات ماشینی و مکانیکی، نیاز به برخی از امکانات تکمیلی برای بالابردن میزان موفقیت عملیات بیولوژیک است؛ از جمله می‌توان به تیرهای چوبی، ترکه میخ چوبی، سیمهای توری، سیم فلزی، طناب و غیره اشاره کرد که بسته به روش به‌کار گرفته شده، این‌گونه امکانات متفاوت خواهد بود.

۹-۶-۵ هزینه‌ها و توجیه اقتصادی طرح

اعتبارات مورد نیاز به عواملی چون میزان قابلیت دسترسی به مواد مورد نیاز، میزان دسترسی به تجهیزات و امکانات مورد نظر و از همه مهم‌تر شرایط اکولوژیکی و ساختاری رودخانه و دیواره‌ها و سواحل آن بستگی دارد. هزینه‌ها باید بر مبنای کار در

ساعت، هماهنگ و یکسان سازی گردد و ارزش ریالی آن برای کل طرح محاسبه شود (ارزش کار، ارزش نهاده‌ها، هزینه نگهداری و ...). درآمدهای ناشی از اجرای طرح، شامل درآمدهای اقتصادی مستقیم و منافع غیرمستقیم همچون آثار زیست‌محیطی، کاهش فرسایش و غیره بر مبنای ارزش ریال محاسبه گردد و با مقایسه هزینه‌ها و درآمدها، توجیه اقتصادی طرح (از جنبه‌های مختلف) بررسی گردد.

۹-۷ روشهای اجرای پوششهای گیاهی

مهم‌ترین قسمت اجرایی پوششهای بیولوژیک، چگونگی اجرای طرح است. رعایت اصول فنی لازم، از جمله ضروریات این مرحله است که رعایت آن موفقیت بیشتر را همراه خواهد داشت.

۹-۷-۱ *تهیه مقدمات اجرای طرح [۱۵] و [۳۹]*

مقدمات اجرای طرح را می‌توان به ترتیب زیر بیان نمود:

- تهیه طرح اجرایی بر اساس شرایط محیطی و رعایت تمام پیش نیازهای طراحی آن،
- تهیه نقشه (به مقیاس مناسب) به‌منظور تعیین محل دقیق اجرای عملیات مختلف در امتداد رودخانه،
- تهیه فهرست امکانات، تجهیزات، ادوات و مواد مورد نیاز،
- پیش‌بینی محل و نحوه تأمین مواد ساختمانی و غیر ساختمانی (بیولوژیک شامل اندامهای تکثیری و مواد گیاهی)،
- برآورد و پیش‌بینی اعتبارات مورد نیاز، به منظور تأمین مواد و ایجاد شرایط اجرای کار،
- پیش‌بینی منابع مالی و چگونگی تأمین آن بر اساس هزینه‌های برآورد شده در طرح اجرایی،
- انتخاب زمان مناسب اجرای طرح بر مبنای خصوصیات محل اجرای طرح و نیز ویژگیهای مواد بیولوژیکی مورد استفاده (نوع مواد و چگونگی به‌کارگیری آن) در طرح، و
- تهیه برنامه زمان‌بندی اجرای طرح از آغاز تا پایان عملیات.

۹-۷-۲ *چگونگی اجرای طرح [۳۵] و [۴۲]*

همان‌گونه که قبلاً هم بیان شد، اجرای یک طرح پوشش گیاهی به‌منظور حفاظت از فرسایش کناره و سواحل رودخانه، به عوامل متعددی بستگی دارد که قطعاً مهم‌ترین و شاخص‌ترین عامل، میزان آب قابل دسترس می‌باشد. بدین منظور، بر اساس دائمی، فصلی یا جزر و مدی بودن رژیم آبی رودخانه و نیز ویژگیهای کناره‌ها (از نظر وضعیت پستی و بلندی، خاک و...) باید روشها متفاوتی اتخاذ گردد که تمام شرایط در آن در نظر گرفته شده باشد. از این نظر، چگونگی اجرای طرح به‌طور کلی، برای سه وضعیت مهم جریان آب در رودخانه ارائه می‌گردد. بدیهی است برای هر نوع رودخانه با در نظر داشتن مجموعه شرایط متفاوت، باید با رعایت اصول بیان شده طرح اجرایی خاص آن به‌صورت جداگانه تهیه شود. ارائه یک طرح جامع و فراگیر به‌علت تغییر شرایط امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۹-۷-۲-۱ رودخانه‌های دائمی

پتانسیلها: وجود آب جاری دائمی، امکان استفاده از گونه‌های گیاهی مختلف.

محدودیتها: نوسانات میزان آب رودخانه، وجود سنگ، سنگریزه و قلوه سنگ زیاد در خاک کناره‌ها و دیواره‌ها، تغییر میزان اسیدیته آب رودخانه (به مقدار کم)

اقدامات اولیه: کاستن سرعت جریان آب در پیچها (از طریق عملیات مکانیکی و...) مهار نمودن جابه‌جایی وحرکت دیواره‌ها (استفاده از مواد ساختمانی یا مواد گیاهی به‌منظور حفظ پایداری نسبی خاک دیواره‌ها و جلوگیری از در معرض قرار گرفتن ریشه نهالها)، تعیین محدوده تحت تأثیر جریان آب و نوسانات آن، کند کردن سرعت جریان آب منظور بالا بردن میزان رسوب‌گذاری در کناره‌ها، اصلاح شیب دیواره‌ها از جمله اقدامات اولیه و ضروری در این‌گونه رودخانه‌هاست.

منابع گیاهی: به‌علت وجود آب دائمی، امکان استفاده از گونه‌های گیاهی مختلف که سازگار با شرایط محیطی و اقلیمی منطقه باشند وجود دارد (نیاز به شناسایی این گونه‌ها در محدوده اطراف رودخانه، در مطالعات اولیه می‌باشد؛ به برخی از این گونه‌ها در جدول انتهای این فصل اشاره شده است). توصیه می‌شود که تا حد امکان به ترتیب از گونه‌های علفی، بوته‌ای، درختچه‌ای و درختی، نسبت به فاصله آن از سطح جریان آب دائمی استفاده شود (شکل ۹-۵).

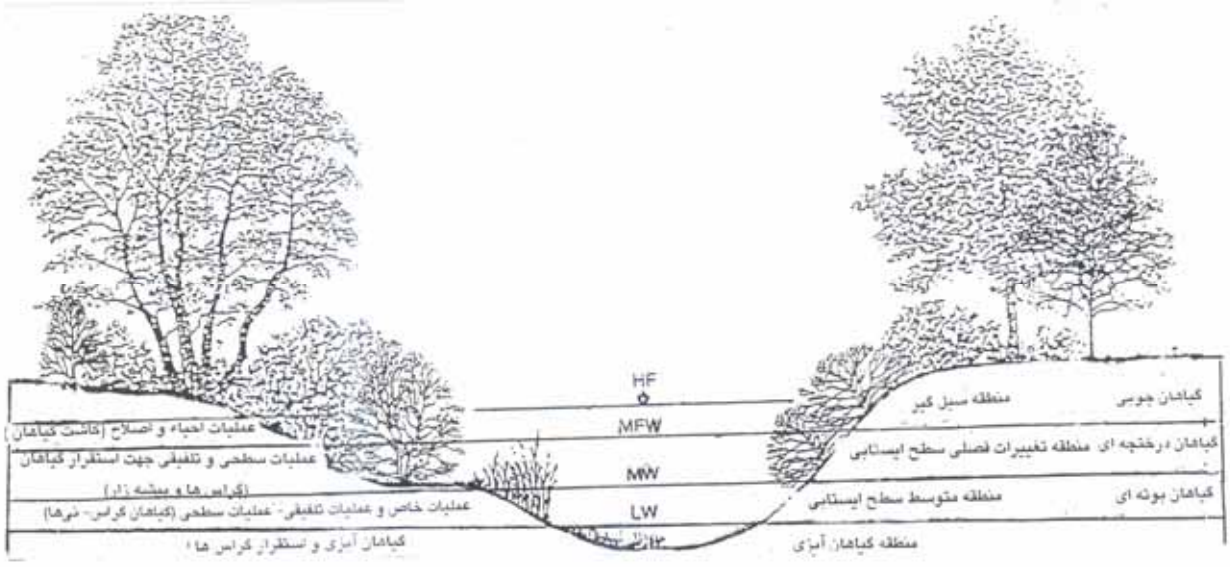
روش اجرا: مناسب‌تر است از طریق تلفیق روشهای مکانیکی با روشهای بیولوژیکی (به ویژه استفاده از مواد گیاهی شامل ترکه، سرشاخه، تیرهای چوبی و نیز سازه‌های ساختمانی مثل سنگ‌چین و استفاده از مصالح ساختمانی و غیره) اقدام به کنترل فرسایش در دیواره‌ها و کناره‌ها نمود.

۹-۷-۲-۲ رودخانه‌های فصلی

پتانسیلها: به‌طور کلی، این‌گونه رودخانه‌ها برای حفاظت بیولوژیک قابلیت بالایی ندارد، اما بسته به نوع جریان و نوع رودخانه فصلی، دارای توانمندیهای مختلفی است که باید قبل از اجرای طرح و پیش‌بینی هر گونه عملیات اجرایی این توانمندیها به دقت مطالعه و بررسی گردند.

محدودیتها: دائمی نبودن جریان آب، نامشخص بودن زمانهای دسترسی به آب (اگرچه می‌توان تا حدودی از طریق مطالعه سوابق زمانهای جاری شدن آب در رودخانه به رژیم آب پی برد)، تغییرات کناره و حاشیه رودخانه به ویژه در جریانهای با بده زیاد یا جریانهای سیلابی، محدودیت در استفاده و معرفی گونه‌های گیاهی (به‌علت تغییرات جریان آب)، مشکل استقرار گیاهان در سالهای اولیه.

اقدامات اولیه: مطالعه دقیق نحوه، زمان، مدت و میزان جریان آب با توجه به سوابق رودخانه، مهار نمودن جابه‌جائی خاک کناره‌ها (از طریق تغییر شیب)، استفاه از روشها مکانیکی یا استفاده از مواد گیاهی برای حفاظت از ریزش دیواره‌ها و تعیین محدوده تحت تأثیر جریان نوسانات آب (مناسب‌تر است که این محدوده، تا حدی به طرف داخل مسیر جریان آب انتخاب گردد). مطالعه گیاهان سازگار با شرایط محیطی در اطراف رودخانه و شناسایی وضعیت منابع آب زیرزمینی.



شکل ۹-۵- نمایی شماتیک از سطوح مختلف ایستابی و پوششهای گیاهی خاص آن

منابع گیاهی: استفاده از گونه‌های گیاهی کاملاً سازگار با شرایط خشکی و نیمه خشک، و تنشهای محیطی به ویژه گونه‌هایی‌که در حاشیه این‌گونه رودخانه‌ها به سازگاری رسیده‌اند بسیار ضروری و اکیداً توصیه می‌گردد. (لزوماً گونه‌هایی‌که دارای سرعت رشد نسبتاً مناسب در سالهای اولیه هستند ارجح می‌باشند). برخی از گونه‌ها در فهرست ضمیمه معرفی شده است.

روش اجرا: استفاده از روشها تلفیقی بعلت تغییرات زیاد کناره‌ها پیشنهاد می‌گردد. مناسب‌تر است تا حد امکان از مواد گیاهی و مواد ساختمانی موجود در منطقه استفاده شود. پیش‌بینی امکان آبدهی (۱ تا ۳مرتبه) در سالهای اولیه استقرار گیاه، به ویژه سال اول (با ارزیابی میزان هزینه‌ها و موفقیتها) ضروریست.

۹-۷-۲-۳ *رودخانه‌های جزر و مدی*

این نوع رودخانه‌ها، اصولاً در ارتباط با دریاهای آزاد دیده می‌شوند (نوع آن، محدود به بخشی از رودخانه‌های جنوب کشور است) و شدیداً تحت تأثیر نوسانات آب دریا یا خلیج ها قرار دارند. دامنه اثرپذیری آن، به شیب رودخانه منتهی به دریا و دامنه نوسانات جزر و مدی آب دریا بستگی دارد. از اینرو شرایط خاصی را به وجود می‌آورد که باید در طراحی پوشش گیاهی به آن توجه کافی گردد.

پتانسیلها: وجود آب در این‌گونه رودخانه‌ها (آب جاری و آب ناشی از نوسانات جزرومد اگرچه میزان شوری خاک را بالا می‌برد)، محدود بودن سطح آن (بسته به میزان پیشروی آب دریا به داخل رودخانه متغیر است)، مناسب بودن شیب بستر و گاهی کناره‌ها، کمبود سنگ و سنگریزه و بافت نسبتاً مناسب خاک بستر.

محدودیتها: افزایش شوری خاک به‌علت نفوذ آب دریا تا محدوده‌ای از رودخانه، تغییر میزان اسیدیته خاک به‌مقدار نسبتاً زیاد و همچنین تغییرات نسبتاً زیاد ناشی از جریان جزر و مدی.

منابع گیاهی: اگرچه وجود آب دائمی از امتیازات این نوع رودخانه‌هاست ولی نوسانات زیاد اسیدیته خاک و سطح متفاوت ایستابی از جمله موانعی هستندکه باید در انتخاب گیاهان مناسب مورد توجه قرار گیرند. لازم است از گونه‌هایی‌که در چنین شرایطی سازگاری یافته اند و به اسیدیته و وضعیت ماندابی و نوسانات سطح آب سازگار هستند استفاده کرد (مثلاً چندل و حرا). گونه‌های گیاهی معرفی شده، باید در مراحل اولیه رشد در سالهای ابتدایی مقاوم به میزان شوری و تغییرات ماندابی باشند. برخی از گونه‌های مناسب در جدول ضمیمه معرفی شده‌اند.

روش اجرا : از طریق بذرکاری، نهال‌کاری (به ویژه این شکل از استقرار گیاه در این‌گونه مناطق بیشتر باید مورد استفاده قرار گیرد) یا نهالهای طبیعی تولید شده در بستر جزرو مد رودخانه می‌توان محدوده تحت تأثیر را زیر پوشش گیاهی برد. در این‌گونه رودخانه‌ها، به‌علت شیب کم کف بستر و نیز کناره‌ها، کمتر از روشها تلفیقی استفاده می‌شود.

۹-۸ نگهداری پوششهای گیاهی [۳۵]

از جمله ویژگیهای خاص پوششهای گیاهی، این است که میزان اثرگذاری آن برکناره‌ها، با گذشت زمان و همزمان با رشد و تکامل بیشتر گیاهان تا مرحله رسیدن به حد نهایی رشد خود افزوده می‌شود.

برای رشد مناسب‌تر و کوتاه نمودن زمان مورد نیاز به منظور رسیدن به حد بهینه رشد گیاهان، برای حفظ و نگهداری گیاهان، به اقدامات عملی نیاز می‌باشد. قطعاً شناسایی عواملی که موجب تخریب پوششهای گیاهی می‌گردد باعث اتخاذ روشها مناسب حفظ و نگهداری می‌شود.

۹-۸-۱ *عوامل مؤثر در تخریب پوششهای گیاهی*

پوشش گیاهی به‌علت ماهیت زنده بودن آن، مانند هر موجود زنده دیگر همیشه در معرض خطرات و تهدیدهای جدی قرار دارد. در صورتی‌که مجموعه شرایط مناسب از حد بهینه خود خارج شود (در وضعیت حداقل یا حداکثر) به گیاهان مورد استفاده آسیب می‌رساند. مهم‌ترین این عوامل عبارتند از:

الف – عوامل زیست‌محیطی: شامل بروز تنشهای محیطی از قبیل نوسانات سطح و مقدار آب، نوسانات میزان بارندگی، نوسانات شدید دما (حدهای پایین و بالای دما)، بروز آفات و بیماریهای همه گیر و اپیدمیک، رقابت سایر گونه‌ها (به ویژه در مراحل اولیه رشد و استقرار گیاه) می‌باشد.

ب – عوامل پدولوژیک: شامل فرسایش و خالی شدن محیط اطراف ریشه، ناپایداری خاک، تغییرات و نوسانات سطح ایستابی خاک، تغییر در مقدار اسیدیته خاک (ناشی از تغییرات سطح آب و یا حمل مواد خاص) می‌باشد.

ج – موجودات زنده: تخریبهای ناشی از فعالیتهای انسان، دام و بعضاً هجوم گسترده آفات یا جوندگان (موش، خرگوش، جوجه تیغی و...) را در برمی‌گیرد.

۹-۸-۲ عوامل مؤثر درحفظ و نگهداری پوششهای گیاهی [۳۵]

پوششهای گیاهی، همواره در معرض تهدیدات مختلف قرار دارد، کاستن از میزان تأثیرات این‌گونه تهدیدات (موارد بیان شده در بند ۹-۸-۱) و تعدیل نمودن شرایط سخت و نامناسب در بالا بردن میزان موفقیت فعالیتهای بیولوژیکی، نقش اساسی و مهمی دارند. نوع عملیات مورد نیاز، حجم و زمان مناسب انجام اقدامات ضروری حفظ و نگهداری، به شرایط محیطی (مهم‌ترین عامل)، امکانات در دسترس، هزینه‌ها، اعتبارات و توجیه اقتصادی بستگی زیادی دارد. عمده‌ترین و مهم‌ترین مراحل حفظ و نگهداری پوششهای گیاهی، مرحله استقرار گیاهان (به‌عنوان حساس‌ترین مرحله) و مرحله رشد و توسعه پوشش گیاهی است.

۹-۸-۲-۱ مرحله استقرار پوشش گیاهی

اگرچه اقداماتی که توصیه می‌گردد شامل عملیاتی است که در مرحله اقدام به استقرار پوشش گیاهی انجام می‌پذیرد، اما توجه کافی نمودن و رعایت دقیق اصول فنی آن میتواند نقش غیر قابل انکاری را در استقرار پوشش گیاهی و حفظ آن داشته باشد. این اقدامات عبارتند از:

- انتخاب بذر یا اندام تکثیری سالم و مناسب به منظور بالابردن قدرت استقرار و دوام گیاه مستقر شده،
- آماده کردن بستر کاشت به‌طور اصولی از روش استفاده از ادوات و امکانات مناسب با هدف بالا بردن میزان موفقیت،
- انتخاب روش مناسب کاشت با توجه به شرایط محیطی و نوع پوشش گیاهی و گونه‌های انتخاب شده،و
- انتخاب زمان مناسب کاشت برای جلوگیری از تلفات احتمالی گیاهان.

شایان توجه است که فراهم نمودن شرایط گفته شده بر اساس شرایط محل اجرای طرح، ویژگیهای رودخانه و دوره‌ها، وضعیت جریان آب و نوع اقدام تکثیری به‌کار گرفته شده برای هر محل، متفاوت بوده و شرایط خاص خود را دارد.

۹-۸-۲-۲ مرحله رشد و توسعه پوشش گیاهی

نوع اقدامات مورد نیاز و حجم آن در این مرحله، به شرایط محیطی و میزان خسارات وارد شده وابسته است، اما عمده این اقدامات، به شرح زیر است:

- بازکاشت اندامهای تکثیری از بین رفته در زمان مناسب خود،
- آبیاری نهالها در مراحل بحرانی رشد گیاه به ویژه در رودخانه‌های فصلی که جریان آب، تداوم لازم را ندارد(اگرچه این کار موجب صرف هزینه اضافی است و باید امکان عملی بودن آن با در نظر گرفتن کلیه شرایط از جمله توجیه اقتصادی و فنی بررسی شود اما میزان موفقیت طرح را به‌شدت افزایش داده و در اصل هزینه بازکاشت مجدد را کاهش می‌دهد)،
- مبارزه بارقابت علف هرز در اطراف نهالها و اندامهای تکثیری (اهمیت این عملیات در رودخانه‌های فصلی و مناطق خشک و نیمه خشک از اهمیت زیادی برخوردار است)،
- مبارزه با آفات و بیماریهای مهمی که شدیداً خسارت‌زا شده‌اند به ویژه درمراحل اولیه رشد و استقرارگیاهان،و
- حصارکشی و حفاظت از نهالها از گزند جوندگان (زیرزمینی و روی سطح زمین) و چرا شدن توسط دامهای اهلی و وحشی موجود در محل.

جدول ۹-۱- فهرست برخی از گیاهان قابل استفاده در پوششهای گیاهی در رودخانه‌ها و مناطق مختلف

ردیف	نام علمی	نام خانواده	نام فارسی	فرم رویشی	نوع رودخانه مورد استفاده	منطقه قابل استفاده
۱	Ailanthus altissima	Simarubuceae	عرعر	درختی	رودخانه دائمی	اغلب نقاط
۲	Amygdalus communis	Rosaceae	بادام معمولی	درختی	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی *	استپی یا نیمه‌استپی
۳	Amygdalus lycioudes	Rosaceae	بادام وحشی	درختچه‌ای	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی	استپی – نیمه‌استپی – نیمه‌بیابانی
۴	Amygdulus scoparia	Rosaceae	بادام کوهی	درختچه‌ای	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی	استپی – نیمه‌استپی – نیمه‌بیابانی
۵	Atraphaxis spinosa	Poly gonaceae	کاروانکش	درختچه‌ای	رودخانه فصلی	استپی – نیمه‌استپی – نیمه‌بیابانی
۶	Avicennia officinalis	Verbenaceae	حرا	درختچه‌ای	رودخانه جزر و مدی	جنوب
۷	Berberis integerrima	Berberidaceae	زرشک وحشی	درختچه‌ای	رودخانه فصلی	استپی – نیمه‌استپی
۸	Berberis vulgaris	Berberidaceae	زرشک معمولی	درختچه‌ای	رودخانه فصلی – رودخانه دائمی	استپی – نیمه‌استپی
۹	Celtis caucasica	Ulmaceae	داغداغان	درختی	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی *	ناحیه زاگرس – نیمه‌استپی
۱۰	Cerasus mahaleb	Rosaceae	محلب	درختی	رودخانه فصلی	ناحیه زاگرس – ناحیه ارسباران
۱۱	Elueagnus angustifolia	Elaeagnuceae	سنجد	درختی	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی *	استپی – نیمه‌استپی – ناحیه زاگرس

تذکر : اکثر گونه‌هایی‌که در رودخانه‌های فصلی استفاده می‌شود، قابلیت استفاده در رودخانه‌های دائمی را نیز دارد .

* : این گونه‌ها، زمانی می توانند در رودخانه‌های فصلی استفاده شوند که از وضعیت جریان آب برای حداقل ۱ تا ۲ بار در سال در رودخانه مطمئن باشیم .

+ : بر اساس طبقه‌بندی پیشنهادی هری پابو.

ادامه جدول ۹-۱

ردیف	نام علمی	نام خانواده	نام فارسی	فرم رویشی	نوع رودخانه مورد استفاده	منطقه قابل استفاده
۱۲	Eucalyptus spp	Myrtaceae	اوکالیپتوس	درختی و درختچه‌ای	رودخانه دائمی ، رودخانه فصلی*	جنوب – نیمه‌بیابانی
۱۳	Ficus carica	Moraceae	انجیر	درختچه‌ای	رودخانه جزر و مدی	شمال، زاگرس، استپی – نیمه‌استپی
۱۴	Ficus bengalensis	Moraceae	لول	درختی	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی	جنوب
۱۵	Hamada salicornica	Chenopodiaceae	رمس	درختچه‌ای	رودخانه فصلی	جنوب – نیمه‌بیابانی
۱۶	Punica granatum	Punicaceae	انار	درختچه‌ای	رودخانه فصلی – رودخانه جزر و مدی	شمال – استپی
۱۷	Rubus anatolicus	Rosaceae	تمشک	درختچه‌ای	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی *	شمال نیمه‌استپی
۱۸	Salix alba	Salicaceae	بید	درختی	رودخانه فصلی – رودخانه دائمی	شمال، نیمه‌استپی، استپی، جنوب
۱۹	Salix elbursensis	Salicaceae	سرخ بید	درختچه‌ای – درختی	رودخانه دائمی	شمال –زاگرس – نیمه‌استپی
۲۰	Sambucus racemosa	Caprifoliaceae	آقطی	درختچه‌ای	رودخانه دائمی	شمال
۲۱	Seidlitsia rosmarinus	Chenopodiaceae	اسنان	درختچه‌ای	رودخانه دائمی – فصلی *	نیمه‌بیابانی – جنوب
۲۲	Morus alba	Moraceae	توت	درختی	رودخانه فصلی – رودخانه جزر و مدی	استپی – شمال
۲۳	My ،tus communis	Myrtaceae	مورد	درختچه‌ای	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی *	زاگرس – نیمه‌استپی
۲۴	Nerium oleander	Apouynaceae	خرزهره	درختچه‌ای	رودخانه فصلی	جنوب – نیمه‌بیابانی
۲۵	Olea europoea	Oleaceae	زیتون	درختچه‌ای – درختی	رودخانه فصلی	شمال، استپی، نیمه‌استپی
۲۶	Popolus alba	salicaceae	سفیدار	درختی	رودخانه دائمی	استپی، نیمه‌استپی، زاگرس

ادامه جدول ۹-۱

ردیف	نام علمی	نام خانواده	نام فارسی	فرم رویشی	نوع رودخانه مورد استفاده	منطقه قابل استفاده
۲۷	Popalus euphratica	Salicaceae	پده	درختی	رودخانه دائمی	نیمه استپی – زاگرس
۲۸	Popolus higra	Salicaceae	کبوده	درختی	رودخانه دائمی	نیمه استپی – زاگرس
۲۹	Prosopis spuagera	Leyuminoseae	کمر	درختی	رودخانه فصلی – رودخانه جزر و مدی	جنوب
۳۰	Prosopis farcala	Leyuminoseae	کهورک	درختچه‌ای	رودخانه فصلی	استپی – نیمه استپی – نیمه بیابانی – جنوب
۳۱	Phragmites australis	Goamineae	نی	گراس	رودخانه دائمی	تمام مناطق کشور
۳۲	Juncus niflenus	Juncaceae	جگن	شبه گراس	رودخانه دائمی	تمام مناطق کشور
۳۳	Typha australis	Tuphaceae	لویی	شبه گراس	رودخانه دائمی	تمام مناطق کشور
۳۴	Cynodon dactylon	Graminea	مرغ	گراس	رودخانه دائمی	تمام مناطق کشور
۳۵	Tamarix aphylla	Tamaricaceae	گزشاهی	درختی	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی	جنوب – نیمه بیابانی
۳۶	Tamarix aralensis	Tamaricaceae	گز	درختچه‌ای	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی	شمال – نیمه استپی – استپی
۳۷	Tamarix hyspida	Tamaricaceae	گز	درختچه‌ای	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی	نیمه بیابانی
۳۸	Tamarix passecinoides	Tamaricaceae	گز	درختچه‌ای	رودخانه دائمی – رودخانه فصلی – رودخانه جزر و مدی	جنوب – نیمه استپی
۳۹	Prosopis julifera	Leyuminoseae	کهور پاکستانی	درختچه‌ای	رودخانه فصلی	جنوب
۴۰	Zygophylum atriplicoides	Zygsphylaceae	قیچ	درختچه‌ای	رودخانه فصلی	نیمه بیابانی
۴۱	Vitex anguscastus	Verbenaceae	پنج انگشت	درختچه‌ای	رودخانه فصلی	جنوب – نیمه بیابانی

منابع مورد استفاده

[۱] احمدی ، حسن و دیگران ، فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی ، جلد دوازدهم مرتع و آبخیزداری، فرهنگستان علوم، گروه علوم کشاورزی، شاخه مرتع و آبخیز، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۰.

[۲] اسپندار، رادین و علی امام، روشهای کنترل فرسایش در رودخانه، وزارت نیرو، دفتر مهندسی رودخانه‌ها و سواحل کشور، ۱۳۷۳.

[۳] چیتی، محمد حسن و جمشید مصباحی، فرهنگ مهندسی رودخانه، وزارت نیرو، ۱۳۷۵.

[۴] رفاهی، حسینقلی، فرسایش آبی وکنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۹.

[۵] رهبر، داوود، مدیریت محیط زیست و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پروژه‌های عمرانی، همایش مشترک وزارت جهاد کشاورزی و سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۸۰.

[۶] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری گوره‌ها، نشریه شماره ۲۱۴ معاونت امور فنی– دفتر امور فنی و تدوین معیارها، ۱۳۸۰.

[۷] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور –وزارت نیرو، راهنمای مطالعات پایه زمین شناسی در پروژه‌های مهندسی آب، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه شماره ۸۰، ۱۳۷۹.

[۸] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور – وزارت نیرو، دستورالعمل ارزیابی زیست‌محیطی طرحهای مهندسی رودخانه، انتشارت سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، نشریه شماره ۲۲۷، ۱۳۸۰.

[۹] سازمان مدیریت وبرنامه‌ریزی کشور، تعرفه خدمات ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، معاونت امور فنی، ۱۳۸۱.

[۱۰] شفاعی بجستان، محمود، هیدرولیک رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران، ۱۳۷۳.

[۱۱] قدوسی، جمال، روشهای حفاظت، ایجاد و عمران اراضی و حفاظت کناره ها، جزوه درسی، ۱۳۶۱.

[۱۲] معماریان، حسین، زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۴.

[۱۳] مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران، راهنمای طراحی و ساخت دیواره‌های مهار سیلاب (گوره ها) ۱۳۸۰.

[۱۴] یاسی، مهدی، اصلاح مسیر و حفاظت دیواره رودخانه‌های سیلابی با روش ساختمانی و بیولوژیکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، ۱۳۶۷.

[15] Barker, D.H, Vegetation and Slopes Stabilization Protection and Ecology, Proceeding of the International Conference , University Museum , Oxford, 1994.

[16] Biedenharn,D.S , Charles M Elliott, Chester C.Watson, The WES Stream Investigation and Streambank Stabilization Handbook, U.S.Army Engineers, Waterways Experiment Station, 1997.

[17] Breusers, H.N.C, and Raudkivi, A.J., Scouring, IAHR, A.A.Balkema, Netherlands, 1991.

[18] Chow.V.T , Hand book of Applied Hydrology, McGraw-Hill, New York, 1964.

[19] Escarameia,M ,River and Channel Revetments A Design Manual , Thomas Telford , 1998.

[20] FHWA, Bridge Scour and Stream Instabilitiy Countermeasures, Federal Highway Administration ,U.S.A,1997.

[21] FHWA, Design of RipRap Revetment, Hec-ll, Federal Highway Administration U.S.A, 2001.

[22] GUE& Partners SDN BHD, Specification for Construction of Revetment, November 2001.

[23] Hemphill, R.W. and Bramley, M.E., Protection of River and Canal Banks, CIRIA , Butherworth, London, 1990.

[24] Hoffmans, G.J.C.and Verheij , H.j , Scour Manual, Balkema, Rotterdam, 1997.

[25] Huis, J.C in't Veld and etal, The Closure of Tidal Basins, Delft University Press, Netherlands, 1987.

[26] Jones,F.M ,A Review of the Causes of River Bank Erosion Including Methods of Analysis and Methods of Prevention, California State University, 1988.

[27] Klingeman , P.C,J.B.Bradley,Willamette River Basin Stream Bank Stabilization by Natural Means, Water Resources Research Institute,Oregan State University, 1976.

[28] Linsley.R.K et al , Water Resources Engineering, Mc Graw-Hill, New York,1970.

[29] Michelle Cramer, P.E.Ken Botes, P.E.Dale, E.Miller, Integrated Streambank Protection Guidlines.

[30] Petersen , M , River Engineering, Prentice-Hall , USA , 1986.

[31] Przedwojski,B , River Training Techniques, A.A.Balkema, 1995.

[32] River Bureau , Manual of River Works in Japan, Ministry of Construction, Japan.

[33] Shaitan, V.S, Protection of Earth Slopes of Hydraulic Structures, A.A. Balkema, Rotterdam, 1997.

[34] United Nations Economic Commission For Asia & The Far East, " River Training & Bank Protection" , Bangkok,1953

[35] Schiechtl, H.M. and R.Stern , Water Bioengineering Techniques, Black well Science LTD, 1994.

[36] Thorne C.R. & et.al. River , Coastal & Shoreline Protection, John Weily & Sons, 1995.

[37] U.S.Army Corps of Engineers, Hydraulic Design of Flood Channel, EM 1110-2-1601, Washigton D.C, 1991.

[38] U.S.Army Corps of Engineers, Engineering and Design River Hydraulics, Department of the Army , USA, 1993.

[39] Van kraayenoord, C.W.S, and R.L.Hathaway, Plant Materials Handbook for Soil Conservation Volume 1 :principles and Practices, National Water and Soil Conservation Authority, 1986.

[40] Veri-Tech Incorporated , Streambank Stabilization Handbook , 1998.

[41] Viessman. J.R. et al, Introduction to Hydrology, Intert Educational publishers, New York, 1972.

[42] Water Policy Team : River Bank Protection , Working with Nature to Prevent and Control Bank Erosion www. Waterpolicy Team . org.

Guidline for Design, Construction and Maintenance of Revetment in the River Engineering Measures

این نشریه
با عنوان « راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه » به منظور معرفی و آشنایی با مجموعه‌ای از روش‌های مستقیم حفاظت کناره‌های رودخانه در برابر فرسایش تهیه شده که امروزه رایج‌ترین اقدامات حفاظت و تثبیت کناره رودخانه در سایر کشورها می باشد. تنوع و سادگی و استفاده از مصالح متداول در کارهای ساختمانی و سهولت اجرای پوشش‌ها از عواملی است که کاربرد و اثرپذیری آن را گسترده نموده است.در فصول مختلف این راهنما، به موضوعاتی از قبیل انواع فرسایش کناره‌ها، انواع مختلف پوشش‌های سازه‌ای و طبیعی و مشخصات آنها، اطلاعات لازم برای طراحی، ضوابط کلی طراحی و ملاحظات فنی در اجرا، نگهداری و بهره‌برداری اشاره شده است. استفاده از این نشریه برای دست‌اندرکاران مطالعات و اجرای طرح های مهندسی رودخانه و کارشناسان طراح مفید خواهد بود.

معاونت امور اداری ، مالی و منابع انسانی
مرکز مدارک علمی ، موزه و انتشارات

ISBN 964-425-692-1

راهنمای ساخت و نگهدار ی پوشش ۳۳۲
100495
سازمان مدیریت