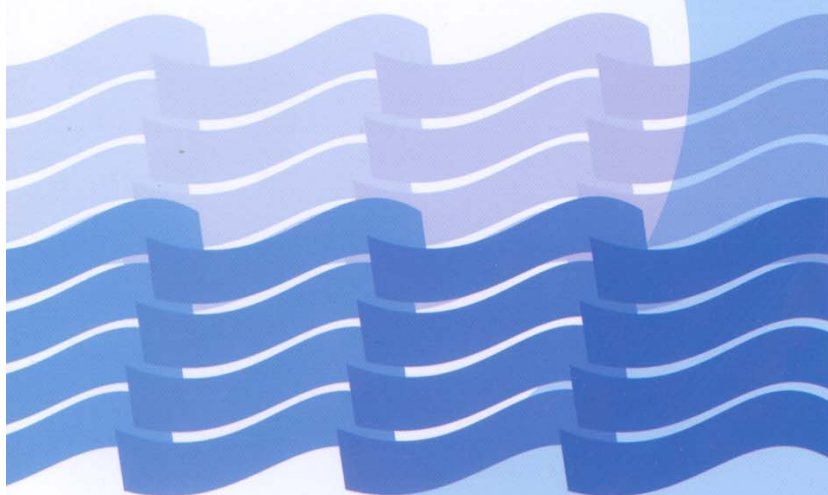


پیش نویس

مشخصات فنی عمومی کارهای مهندسی رودخانه



پیش‌نویس

مشخصات فنی عمومی کارهای

مهندسی رودخانه

پیشگفتار

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

با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و از این رو طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو با همکاری معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور به منظور تامین اهداف زیر اقدام به تهیه استانداردهای صنعت آب نموده است :

- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرح‌ها
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- تدوین استانداردهای صنعت آب با در نظر داشتن موارد زیر صورت می‌گیرد:
- استفاده از تخصص‌ها و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- توجه به اصول و موازین مورد عمل موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه کننده استاندارد

استانداردها ابتدا به صورت پیش‌نویس برای نظرخواهی منتشر شده و نظرات دریافتی پس از بررسی تیم تهیه‌کننده و گروه نظارت در نسخه نهایی منظور خواهد شد.

امید است کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها با این رشته از صنعت آب مرتبط می‌باشد، با توجهی که مبذول می‌فرمایند این پیش‌نویس را مورد بررسی دقیق قرار داده و با ارائه نظرات و راهنمایی‌های ارزنده خود به دفتر طرح، این دفتر را در تنظیم و تدوین متن نهایی یاری و راهنمایی فرمایند.

ترکیب اعضای تهیه کننده، کمیته و ناظران تخصصی

پیش نویس این مشخصات فنی عمومی در شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس و با مسوولیت آقای مهندس بهروز شمس و همکاری افراد زیر تهیه شده است. اسامی این همکاران به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر می باشد:

آقای اردشیر آرین	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
آقای رامین اسفندی	شرکت پژوهش راهبر عمران	فوق لیسانس مهندسی عمران - خاک و پی
آقای محمدرضا بهروز نیا	شرکت مهندسین مشاور آب انرژی محیط	فوق لیسانس مهندسی سازه های هیدرولیکی
آقای ابوالفضل سعادت	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق دیپلم عمران - آب
خانم لیلا شمس	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	لیسانس مهندسی عمران - آب
آقای بهروز شمس	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی عمران - سازه
آقای فرشید مرشدی	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی سازه های آبی

گروه نظارت که مسوولیت نظارت تخصصی بر تدوین این پیش نویس را به عهده داشته اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

خانم فریبا آوریده	وزارت نیرو	فوق لیسانس مهندسی سازه های هیدرولیکی
آقای فیروز بهادری خسروشاهی	دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	دکترای هیدرولیک
خانم رویا چائیچی ملتشاهی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	فوق لیسانس مهندسی عمران - مکانیک خاک و مهندسی پی
آقای سیدعلاءالدین کلانتر	شرکت مهندسین مشاور آبراه گستر تدبیر	لیسانس مهندسی آبیاری و آبادانی

اعضای کمیته تخصصی مهندسی رودخانه و سواحل طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور که بررسی و تایید پیش نویس حاضر را بر عهده داشته اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای محمود افسوس	شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران	فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک
آقای محمد ابراهیم بنی حبیب	دانشگاه تهران	دکترای عمران
آقای محمدحسن چیتی	شرکت ساز آب پردازان	فوق لیسانس مهندسی سازه های آبی
آقای فریدون خزاعی	انجمن شرکت های ساختمانی	فوق لیسانس مهندسی راه و ساختمان
خانم نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	لیسانس مهندسی آبیاری
آقای شکور سلطانی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	دکترای مهندسی آب
آقای علی فاخر	دانشگاه تهران	دکترای عمران
آقای حسام فولادفر	موسسه تحقیقات آب	فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک
آقای جبار وطن فدا	وزارت نیرو	فوق لیسانس مهندسی سازه های هیدرولیکی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۳	فصل اول- کارهای عمومی
۵	۱-۱- کارهای عمومی و عملیات مقدماتی
۵	۱-۱-۱- تخریب، بوته‌کشی، قطع درختان، پاک‌سازی مواد زاید
۵	۱-۱-۲- پرکردن چاه‌ها، قنات و مجاری آب زیرزمینی
۶	۱-۱-۳- نقاط نشانه و مبدا و مختصات پروژه (نقشه‌برداری)
۶	۱-۱-۴- کنترل و تحویل مصالح ساختمانی
۶	۱-۲- تجهیز و برچیدن کارگاه
۶	۱-۲-۱- احداث ساختمان‌ها و تجهیز کارگاه
۶	۱-۲-۲- حفاظت کارگاه از آب و سیلاب
۷	۱-۲-۳- تامین حقابه‌ها، حفظ نهرها سنتی، اراضی کشاورزی و باغ‌ها
۷	۱-۲-۴- دفع مواد زاید و برچیدن کارگاه
۹	فصل دوم - مصالح ساختمانی، ماشین‌آلات و تجهیزات هیدرومکانیکی
۱۱	۱-۲- کلیات
۱۱	۲-۲- مصالح ساختمانی
۱۱	۲-۲-۱- سنگ
۱۲	۲-۲-۲- آجر
۱۴	۲-۲-۳- سیمان
۱۷	۲-۲-۴- بلوک سیمانی
۱۸	۲-۲-۵- آهک
۲۱	۲-۲-۶- شن و ماسه
۲۲	۳-۲- ماشین‌آلات
۲۲	۱-۳-۲- تجهیزات خاک‌برداری، تسطیح و پخش خاک
۲۳	۲-۳-۲- ماشین‌آلات تراکم
۲۵	۳-۳-۲- تجهیزات حفاری
۲۶	۴-۳-۲- تجهیزات بارگیری و انتقال مصالح
۲۷	۵-۳-۲- یدک‌کش‌ها (کشنده‌ها)

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۷	۲-۳-۶- تجهیزات متفرقه
۳۱	۲-۴- تجهیزات هیدرومکانیکی
۳۱	۲-۴-۱- دریچه‌های فلزی
۳۳	۲-۴-۲- شبکه آشغالگیر و فرازبندها
۳۳	۲-۴-۳- مصالح و نحوه انجام کار
۳۵	فصل سوم - عملیات خاکی، حفاری و بهسازی خاک
۳۷	۳-۱- کلیات
۳۷	۳-۲- خاک‌برداری و گودبرداری
۳۷	۳-۲-۱- برداشت خاک‌های نباتی و مواد زاید
۳۸	۳-۲-۲- خاک‌برداری
۳۹	۳-۲-۳- گودبرداری و پی‌کنی محل ابنیه فنی
۴۰	۳-۳- خاکریزی
۴۰	۳-۳-۱- انواع خاکریز
۴۲	۳-۳-۲- ویژگی‌ها و مشخصات اجرای خاکریزها
۴۶	۳-۳-۳- پر کردن پشت ابنیه فنی
۴۶	۳-۴- خاک‌های مساله‌دار
۴۶	۳-۴-۱- خاک‌های واگرا
۴۷	۳-۴-۲- خاک‌های تورم‌زا
۴۸	۳-۴-۳- خاک‌های رمبنده
۴۹	۳-۵- حفاری
۴۹	۳-۵-۱- اجرا با گودبرداری از سطح زمین
۵۲	۳-۵-۲- اجرا با حفاری در زیرزمین
۵۵	۳-۵-۳- ملاحظه‌های فنی و اجرایی
۵۵	۳-۶- عملیات بهسازی خاک
۵۵	۳-۶-۱- کلیات
۵۶	۳-۶-۲- بهسازی مکانیکی
۵۷	۳-۶-۳- بهسازی هیدرولیکی
۵۷	۳-۶-۴- خاک مسلح

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۵۷	۳-۶-۵- تثبیت با آهک (شفته‌ریزی)
۵۹	۳-۶-۶- خاک و سیمان
۶۳	فصل چهارم - عملیات سنگی و بنایی
۶۵	۴-۱- کلیات
۶۵	۴-۱-۱- عملیات بنایی با سنگ
۶۶	۴-۱-۲- ملات کاری
۶۷	۴-۱-۳- بندکشی
۶۷	۴-۱-۴- دیوارهای بنایی سنگی
۶۹	فصل پنجم - کارهای فولادی و آرماتورگذاری
۷۱	۵-۱- کلیات
۷۱	۵-۲- آرماتورگذاری در کارهای بتنی
۷۱	۵-۲-۱- انواع فولادهای مصرفی در بتن
۷۲	۵-۲-۲- مشخصات میلگردها
۷۳	۵-۲-۳- حمل و انبار کردن میلگردها
۷۳	۵-۲-۴- نمونه‌برداری و آزمایش
۷۴	۵-۲-۵- بریدن و خم کردن
۷۴	۵-۲-۶- مهار کردن میلگرد
۷۴	۵-۲-۷- کارگذاری میلگردها
۷۴	۵-۲-۸- پوشش بتنی روی میلگرد
۷۵	۵-۲-۹- وصله میلگردها
۷۶	۵-۲-۱۰- فواصل میلگردها
۷۷	۵-۲-۱۱- ملاحظه‌های اجرایی
۷۷	۵-۳- اجرای کارهای فولادی
۷۸	۵-۳-۱- اتصال‌ها
۷۹	۵-۳-۲- ملاحظه‌های فنی و اجرایی
۸۱	فصل ششم - کارهای بتنی و قالب‌بندی
۸۳	۶-۱- کلیات
۸۳	۶-۲- مصالح مورد نیاز بتن

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۳	۶-۲-۱- سیمان
۸۳	۶-۲-۲- مصالح سنگی (شن و ماسه)
۸۴	۶-۲-۳- آب
۸۴	۶-۲-۴- فولاد
۸۴	۶-۲-۵- مواد افزودنی
۸۶	۶-۳- ویژگی‌ها و مشخصات فنی بتن
۸۶	۶-۳-۱- پایایی بتن
۸۶	۶-۳-۲- سایش و فرسایش
۸۷	۶-۳-۳- مقاومت فشاری بتن
۸۷	۶-۳-۴- انتخاب نوع بتن
۸۸	۶-۳-۵- طرح اختلاط بتن
۸۹	۶-۴- ساخت و حمل بتن
۸۹	۶-۴-۱- ساخت بتن
۹۰	۶-۴-۲- حمل بتن
۹۱	۶-۵- بتن‌ریزی
۹۲	۶-۵-۱- آماده نمودن بستر خاکی
۹۲	۶-۵-۲- آماده کردن بستر سنگی
۹۲	۶-۵-۳- آماده نمودن سطوح بتن سخت‌شده
۹۲	۶-۵-۴- بتن‌ریزی در سطوح شیب‌دار
۹۲	۶-۵-۵- میلگردگذاری و جاسازی قطعه‌های مدفون و کنترل قالب‌ها
۹۳	۶-۵-۶- تعبیه درزها
۹۳	۶-۵-۷- ملاحظه‌های اجرایی بتن‌ریزی و متراکم ساختن بتن
۹۴	۶-۵-۸- بتن‌ریزی در شرایط ویژه
۹۵	۶-۶- عمل‌آوری و مراقبت بتن
۹۶	۶-۷- محافظت و کنترل کیفیت بتن
۹۸	۶-۸- بتن‌های مخصوص
۹۹	۶-۹- کارهای بتنی پیش‌ساخته
۹۹	۶-۱۰- سایر موارد در کارهای بتنی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۹۹	۶-۱۰-۱- بتن پاشیده
۱۰۰	۶-۱۰-۲- بتن پیش‌آکنده
۱۰۰	۶-۱۰-۳- بتن مکیده
۱۰۰	۶-۱۰-۴- بتن غلتکی
۱۰۱	۶-۱۱- قالب‌بندی
۱۰۱	۶-۱۱-۱- طبقه‌بندی و مصالح قالب‌ها
۱۰۲	۶-۱۱-۲- مشخصات فنی و اجرایی قالب‌بندی
۱۰۳	۶-۱۱-۳- قالب‌برداری
۱۰۳	۶-۱۱-۴- پرداخت سطوح بتن
۱۰۵	۶-۱۱-۵- درزها
۱۰۷	۶-۱۲- آب‌بندها
۱۰۷	۶-۱۲-۱- مصالح مصرفی
۱۰۸	۶-۱۲-۲- وصله نمودن و نصب
۱۰۹	۶-۱۲-۳- خصوصیات لازم برای آب‌بند
۱۱۱	فصل هفتم - دیوار آب‌بند، سپرکوبی، شمع‌کوبی و شمع‌ریزی
۱۱۳	۷-۱- دیوار آب‌بند
۱۱۳	۷-۱-۱- انواع دیوار آب‌بند
۱۱۴	۷-۱-۲- مصالح مصرفی
۱۱۵	۷-۱-۳- حفاری دیوار آب‌بند
۱۱۵	۷-۱-۴- بتن‌ریزی دیوار آب‌بند
۱۱۶	۷-۱-۵- ملاحظه‌های فنی و اجرایی
۱۱۷	۷-۲- عملیات سپرکوبی
۱۱۷	۷-۲-۱- سپرهای چوبی
۱۱۷	۷-۲-۲- سپرهای فلزی
۱۱۸	۷-۲-۳- سپرهای مرکب از فولاد و چوب
۱۱۸	۷-۲-۴- سپرهای بتن مسلح
۱۱۹	۷-۲-۵- سپرهای مرکب از تیر فولادی و بتن
۱۱۹	۷-۲-۶- سپر مرکب از یک ردیف شمع

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۱۹	۷-۲-۷- سپر به طریقه دیوار شیاری
۱۲۰	۷-۲-۸- ملاحظه‌های طراحی سپرها
۱۲۰	۷-۲-۹- تکیه‌گاه سپرها
۱۲۱	۷-۲-۱۰- مهار سپرها
۱۲۲	۷-۲-۱۱- کوبیدن سپرها
۱۲۲	۷-۳- عملیات شمع کوبی و شمع‌ریزی
۱۲۳	۷-۳-۱- انواع شمع‌ها
۱۲۳	۷-۳-۲- شمع‌های بتنی
۱۲۹	۷-۳-۳- شمع‌های فولادی
۱۲۹	۷-۳-۴- شمع‌های چوبی
۱۳۱	۷-۳-۵- شمع‌های مرکب (مختلط)
۱۳۲	۷-۳-۶- بارگذاری شمع‌ها و شمع‌های آزمایشی
۱۳۳	فصل هشتم - پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی
۱۳۵	۸-۱- کلیات
۱۳۵	۸-۲- لایه محافظ و زیرلایه
۱۳۶	۸-۲-۱- انواع پوشش‌ها و لایه‌های محافظ
۱۳۷	۸-۲-۲- زیرلایه‌ها
۱۳۹	۸-۳- پوشش سنگ‌چین
۱۳۹	۸-۳-۱- ابعاد و دانه‌بندی
۱۴۱	۸-۳-۲- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۱۴۳	۸-۴- سنگ‌فرش
۱۴۴	۸-۴-۱- سنگ‌فرش‌های با مصالح دیگر
۱۴۴	۸-۵- پوشش شیاری (ترانشه‌ای)
۱۴۵	۸-۵-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۱۴۶	۸-۶- سنگ‌ریسه (پیش‌بند ریزشی)
۱۴۶	۸-۶-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۱۴۸	۸-۷- تشک‌های تورسنگی
۱۴۸	۸-۸- بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۴۹	۸-۱-۱- بلوک‌های با درز باز یا به‌صورت ملات‌کاری شده
۱۴۹	۸-۲-۱- بلوک‌های مقیدشده یا قفل و بست‌دار
۱۴۹	۸-۳-۱- بلوک‌های بسته شده با کابل یا ژئوتکستایل
۱۵۰	۸-۴-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۱۵۱	۸-۹-۱- دال‌های بتنی درجا و یکپارچه
۱۵۲	۸-۱۰-۱- روکش‌های کیسه‌ای
۱۵۳	۸-۱۰-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۱۵۳	۸-۱۱-۱- بلوک‌های خاک و سیمان
۱۵۳	۸-۱۲-۱- پوشش‌های آسفالتی
۱۵۴	۸-۱۲-۱- آسفالت‌های نفوذپذیر
۱۵۴	۸-۱۲-۲- آسفالت‌های نفوذناپذیر
۱۵۴	۸-۱۲-۳- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۱۵۵	۸-۱۳-۱- تشک‌های پرشده با ملات یا دوغاب
۱۵۶	۸-۱۴-۱- روکش با شبکه‌های توری محدود کننده
۱۵۶	۸-۱۵-۱- پوشش‌ها و روکش‌های پلیمری
۱۵۶	۸-۱۶-۱- پوشش‌های طبیعی یا گیاهی
۱۵۷	۸-۱۶-۱- ویژگی‌ها و ملاحظه‌های عمومی
۱۵۸	۸-۱۶-۲- استفاده از نيزارها
۱۵۸	۸-۱۶-۳- استفاده از درخت‌ها و درختچه‌ها
۱۶۱	۸-۱۶-۴- استفاده از چمن
۱۶۴	۸-۱۶-۵- استفاده از مصالح چوبی و الوار
۱۶۵	۸-۱۶-۶- توصیه‌های عمومی
۱۶۶	۸-۱۷-۱- روکش‌های چوبی
۱۶۶	۸-۱۸-۱- روکش با تایرها و لاستیک‌های چرخ
۱۶۷	۸-۱۹-۱- نخاله‌های فلزی
۱۶۷	۸-۲۰-۱- استفاده از ملات قیری در پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی
۱۶۹	فصل نهم - سازه‌های تورسنگی
۱۷۱	۹-۱- کلیات

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۷۱	۹-۲- مشخصات کلی و اشکال تورسنگ
۱۷۲	۹-۳- مصالح اصلی
۱۷۲	۹-۳-۱- شبکه فلزی
۱۷۳	۹-۳-۲- مصالح سنگی
۱۷۳	۹-۴- ملاحظه‌های اجرایی و طراحی سازه‌های تورسنگی
۱۷۴	۹-۴-۱- تشک‌های تورسنگی
۱۷۶	۹-۴-۲- دیوارهای تورسنگی
۱۷۷	۹-۴-۳- بندها و سرریزهای تورسنگی
۱۷۹	۹-۵- تمهیدهای حفاظتی
۱۷۹	۹-۵-۱- پوشش حفاظتی تورسیمی
۱۸۰	۹-۵-۲- پوشش آسفالت و بتن
۱۸۱	فصل دهم - مصنوعات پلیمری
۱۸۳	۱۰-۱- کلیات
۱۸۳	۱۰-۲- مصالح مصرفی
۱۸۳	۱۰-۲-۱- ژئوتکستایل
۱۸۴	۱۰-۲-۲- ژئوممبران
۱۸۵	۱۰-۲-۳- ژئوگرید
۱۸۶	۱۰-۲-۴- ژئوبلوک
۱۸۶	۱۰-۲-۵- ژئونت
۱۸۶	۱۰-۲-۶- ژئومت
۱۸۶	۱۰-۲-۷- ژئوسل
۱۸۷	۱۰-۲-۸- ژئوکامپوزیت
۱۸۷	۱۰-۳- مسلح کردن خاک
۱۸۷	۱۰-۳-۱- پایدارسازی شیب خاکی
۱۸۷	۱۰-۳-۲- ساخت دیوارهای حایل
۱۸۹	۱۰-۳-۳- امکان اجرای شیب‌های خاکی تند و ساخت خاکریزها
۱۸۹	۱۰-۴- پایدارسازی
۱۸۹	۱۰-۴-۱- ساخت جاده‌ها و تقویت بسترهای سست

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۹۰	۱۰-۴-۲- افزایش باربری شالوده‌های سطحی
۱۹۰	۱۰-۵- زهکشی
۱۹۱	۱۰-۶- کنترل فرسایش و ایجاد لایه نفوذناپذیر
۱۹۱	۱۰-۶-۱- کنترل فرسایش شیب‌های خاکی
۱۹۱	۱۰-۶-۲- ایجاد لایه نفوذناپذیر
۱۹۲	۱۰-۷- سازه‌ها و پوشش‌های حفاظتی ساخته شده از ژئوتکستایل
۱۹۲	۱۰-۷-۱- سامانه بلوک فرش
۱۹۳	۱۰-۷-۲- سامانه لحاف بتنی
۱۹۵	فصل یازدهم - دیوارهای حایل
۱۹۷	۱۱-۱- کلیات
۱۹۷	۱۱-۲- انواع دیوارهای حایل
۱۹۸	۱۱-۲-۱- دیوارهای حایل وزنی
۱۹۸	۱۱-۲-۲- دیوارهای حایل غیروزی
۱۹۹	۱۱-۲-۳- سپرهای بتنی مهار شده و سپرهای فولادی
۱۹۹	۱۱-۲-۴- خاک مسلح
۱۹۹	۱۱-۲-۵- دیوار تورسنگی
۱۹۹	۱۱-۲-۶- شمع‌های پهلوبه‌پهلوی
۱۹۹	۱۱-۲-۷- دیوارهای ساخته شده از مصالح متفرقه
۲۰۰	۱۱-۳- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی عمومی دیوارهای حایل
۲۰۰	۱۱-۳-۱- موارد مربوط به طراحی
۲۰۱	۱۱-۳-۲- موارد مربوط به اجرا
۲۰۳	۱۱-۳-۳- خاکریز پشت دیوار (پشته‌ریزی)
۲۰۶	۱۱-۴- ملاحظه‌های فنی دیوارهای سیل‌بند
۲۰۶	۱۱-۴-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۱۰	۱۱-۵- ملاحظه‌های فنی دیوارهای وزنی بتنی، بنایی و تورسنگی
۲۱۰	۱۱-۵-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۱۱	۱۱-۶- ملاحظه‌های فنی دیوارهای طره‌ای بتن مسلح
۲۱۲	۱۱-۶-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۱۲	۷-۱۱- ملاحظه‌های فنی سپرها
۲۱۳	۱-۷-۱۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۱۶	۸-۱۱- ملاحظه‌های فنی سامانه‌های خاک مسلح
۲۱۶	۱-۸-۱۱- مزایا و معایب
۲۱۷	۲-۸-۱۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۱۹	۹-۱۱- ملاحظه‌های فنی سامانه‌های پیش‌ساخته بتنی مدولار
۲۲۰	۱-۹-۱۱- ملاحظه‌های اجرایی و طراحی
۲۲۰	۱۰-۱۱- ملاحظه‌های فنی دیوارهای ساخته شده از مصالح متفرقه
۲۲۰	۱-۱۰-۱۱- تیرک‌های چوبی با روکش ژئوتکستایل
۲۲۱	۲-۱۰-۱۱- تایرهای لاستیکی
۲۲۱	۳-۱۰-۱۱- یونیت‌های بتنی پیش‌ساخته
۲۲۱	۴-۱۰-۱۱- تورسنگ یا پانل‌های بتنی با خاک مسلح
۲۲۳	فصل دوازدهم - عملیات انحراف موقت آب، زهکشی و تخلیه آب‌های مازاد
۲۲۵	۱-۱۲- عملیات انحراف موقت آب
۲۲۵	۱-۱-۱۲- سامانه انحراف آب
۲۲۶	۲-۱-۱۲- طرح پیشنهادی پیمانکار
۲۲۷	۳-۱-۱۲- مسوولیت پیمانکار
۲۲۸	۴-۱-۱۲- برچیدن سامانه انحراف آب
۲۲۸	۵-۱-۱۲- انحراف آب نهرها و جابجایی سردهنه‌های موجود
۲۲۹	۲-۱۲- زهکشی و تخلیه آب‌های مازاد
۲۲۹	۱-۲-۱۲- سامانه‌های زهکشی
۲۳۰	۲-۲-۱۲- انواع زهکش
۲۳۲	۳-۲-۱۲- آبروها و لوله‌ها
۲۳۳	۳-۱۲- فیلتر
۲۳۳	۱-۳-۱۲- فیلترهای دانه‌ای
۲۳۴	۲-۳-۱۲- فیلترهای مصنوعی (ژئوتکستایل)
۲۳۵	فصل سیزدهم - سازه‌های اصلی و ملاحظه‌های طراحی و اجرایی آنها
۲۳۷	۱-۱۳- سازه‌های سیل‌بند

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۳۷	۱۳-۱-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۳۸	۱۳-۱-۲- گورهاها یا سیل‌بندهای خاکی
۲۴۰	۱۳-۲- پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی
۲۴۰	۱۳-۳- دیوارهای حایل حفاظتی
۲۴۱	۱۳-۴- اپی‌ها و آرام‌کننده‌های جریان
۲۴۲	۱۳-۴-۱- اپی‌ها
۲۴۸	۱۳-۴-۲- آرام‌کننده‌های جریان
۲۴۹	۱۳-۵- پره‌های مستغرق
۲۴۹	۱۳-۵-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۵۳	۱۳-۶- تاسیسات انحراف و آبیگری از رودخانه
۲۵۳	۱۳-۶-۱- سد انحرافی
۲۵۴	۱۳-۶-۲- ملاحظه‌های کلی طراحی و اجرایی
۲۵۵	۱۳-۷- سرریز
۲۵۵	۱۳-۷-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۵۷	۱۳-۸- آبیگر و حوضچه رسوبگیر
۲۵۸	۱۳-۸-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۵۹	۱۳-۹- مجرای تخلیه رسوب‌ها
۲۶۰	۱۳-۹-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۶۱	۱۳-۱۰- حوضچه آرامش
۲۶۱	۱۳-۱۰-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی
۲۶۲	۱۳-۱۱- شیب‌شکن
۲۶۲	۱۳-۱۲- پلکان ماهی‌رو
۲۶۴	۱۳-۱۳- کف‌بندهای حفاظتی
۲۶۵	۱۳-۱۴- دیوارهای عمودی زیرزمینی و دیوارهای آب‌بند
۲۶۶	۱۳-۱۵- سدهای تاخیری
۲۶۹	فصل چهاردهم - راه‌سازی (جاده‌های سرویس و دسترسی)
۲۷۱	۱۴-۱- کلیات
۲۷۱	۱۴-۲- زمین بستر راه

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۷۲	۱۴-۳- جسم راه
۲۷۲	۱۴-۴- ملاحظه‌های اجرایی عمومی
۲۷۲	۱۴-۱-۴- پخش مصالح، آب‌پاشی و غلتک‌زنی
۲۷۳	۱۴-۲-۴- کنترل سطوح تمام شده
۲۷۳	۱۴-۵- مشخصات فنی و روش اجرای قشر زیراساس
۲۷۴	۱۴-۱-۵- روش اجرا
۲۷۴	۱۴-۶- مشخصات فنی و روش اجرای قشر اساس
۲۷۴	۱۴-۱-۶- روش اجرا
۲۷۵	۱۴-۷- مشخصات فنی و روش اجرای اندود نفوذی (پریمکت)
۲۷۵	۱۴-۱-۷- روش اجرا
۲۷۶	۱۴-۸- روسازی راه (آسفالت)
۲۷۶	۱۴-۱-۸- آسفالت گرم (بتن آسفالتی)
۲۷۷	۱۴-۲-۸- آسفالت سطحی
۲۷۸	۱۴-۳-۸- آسفالت سرد
۲۷۸	۱۴-۹- کنترل مشخصات فنی مصالح اجرا
۲۸۱	فصل پانزدهم - بهره‌برداری و نگهداری
۲۸۳	۱۵-۱- کلیات
۲۸۳	۱۵-۲- فهرست کنترلی اجزای کارهای مهندسی رودخانه در زمان تحویل موقت
۲۸۳	۱۵-۱-۲- کنترل خاکریزها
۲۸۳	۱۵-۲-۲- کنترل خاک‌برداری‌ها
۲۸۴	۱۵-۳-۲- کنترل تاسیسات حفاظتی و ایمنی
۲۸۵	۱۵-۴-۲- کنترل بتن
۲۸۵	۱۵-۵-۲- کنترل تجهیزات هیدرومکانیکال و تاسیسات برقی
۲۸۵	۱۵-۳- نگهداری در دوره تضمین
۲۸۶	۱۵-۱-۳- مسوولیت‌ها و وظایف پیمانکار
۲۸۹	۱۵-۴- دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های اصلی
۲۸۹	۱۵-۱-۴- مدارک و اطلاعات مورد نیاز
۲۹۰	۱۵-۲-۴- بررسی و تنظیم جریان آب

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۲۹۰	۱۵-۴-۳- تعمیرات و سرویس
۲۹۱	۱۵-۴-۴- تخلیه رسوب و تعیین میزان آبشستگی
۲۹۳	فصل شانزدهم - حفاظت و ایمنی
۲۹۵	۱۶-۱- کلیات
۲۹۵	۱۶-۲- مسوولیت‌های پیمانکار
۲۹۵	۱۶-۳- تغییر در مشخصات
۲۹۶	۱۶-۴- برنامه حفاظت و ایمنی
۲۹۶	۱۶-۵- موارد پزشکی
۲۹۶	۱۶-۵-۱- مسایل عمومی
۲۹۶	۱۶-۵-۲- وسایل کمک‌های اولیه
۲۹۷	۱۶-۵-۳- گواهی‌های جسمانی کارکنان
۲۹۸	۱۶-۶- برنامه‌ریزی برای شرایط اضطراری
۲۹۸	۱۶-۷- بهداشت و سلامتی
۲۹۸	۱۶-۷-۱- آلودگی صوتی
۲۹۹	۱۶-۷-۲- آلودگی هوا
۲۹۹	۱۶-۷-۳- سرما و گرما
۲۹۹	۱۶-۷-۴- موارد متفرقه
۳۰۰	۱۶-۸- خوابگاه‌ها
۳۰۰	۱۶-۹- لوازم ایمنی
۳۰۲	۱۶-۱۰- آتش سوزی
۳۰۲	۱۶-۱۱- الزام‌های ایمنی جهت عملیات اجرایی
۳۰۳	منابع و مراجع

مقدمه

مهندسی رودخانه از مباحث مطرح در مهندسی آب و یکی از شاخه‌های مهندسی عمران می‌باشد. مهندسی رودخانه به اقدام‌هایی گفته می‌شود که به منظور مهار جریان‌های سیلابی، کاهش خطرهای سیلاب و همچنین بهسازی وضعیت رودخانه در جهت تامین نیازهای آبی و حفظ محیط زیست صورت می‌گیرد و شامل مباحث مطالعات، طراحی، ساخت و بهره‌برداری بهینه از رودخانه‌ها می‌باشد.

– هدف و دامنه‌ی کاربرد

این نشریه به منظور مشخص کردن ضوابط و معیارهای فنی عمومی و ایجاد هماهنگی در طرح‌های مهندسی رودخانه و ارائه طریق در کارهای مهندسی رودخانه (طرح‌های متعارف و عملیات وابسته به آنها) ارائه شده است.

چنانچه در مواردی با توجه به شرایط، ضوابط مشخصات فنی خاصی مورد نیاز باشد، لازم است دستگاه اجرایی یا مهندسان مشاور، این موارد را در شرایط و مشخصات فنی خصوصی ذکر نمایند. دستگاه اجرایی و یا مهندسان مشاور باید با توجه به مندرج‌های این نشریه، نسبت به تهیه و تدوین مشخصات فنی خصوصی و شرایط خصوصی اجرای کار، اقدام نموده و پس از تصویب دستگاه اجرایی، در اسناد پیمان ارائه نمایند.

سازه‌های مورد استفاده در کارهای مهندسی رودخانه برای تامین اهداف گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این اهداف شامل کنترل سیلاب، تثبیت و حفاظت سواحل، تثبیت و حفاظت بستر و استحصال و آزادسازی اراضی و بسترسازی می‌شود. عمده‌ترین سازه‌هایی که در کارهای مهندسی رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارتند از:

- انواع سازه‌های سیل‌بند (خاکی، بتنی، سنگ و سیمان، تورسنگ)
- انواع پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی (سنگی، تورسنگ، گیاهی، بتنی، کیسه‌های خاک و سیمان، پارچه‌گونه‌ها یا ژئوتکستایل، آسفالت، مصالح خاص نظیر لاستیک‌های فرسوده و ...)
- انواع آبشکن‌ها (خاکی با پوشش سنگی، تورسنگ، لوله‌ای، چوبی)
- انواع دیوارهای حایل و حفاظتی (بتنی، تورسنگ، سنگ و سیمان)
- انواع شمع‌ها و سپرکوبی‌ها
- انواع رسوبگیرها و آرام‌کننده‌های جریان (پره‌ها و صفحه‌های مستغرق)
- انواع سرریزها و شیب‌شکن‌ها (بتنی، سنگ و سیمان، تورسنگ)
- انواع خاکریزها و فیلترها (مصالح دانه‌ای، ژئوتکستایل)
- انواع کف‌بندها (سنگی، بتنی، تورسنگ)

مصالح مورد استفاده، مشخصات فنی و ملاحظه‌های اجرایی و طراحی انواع سازه‌های مهندسی رودخانه در قسمت‌های مختلف این نشریه ارائه گردیده است. در طراحی و احداث انواع سازه‌های فوق، باید موارد و توصیه‌های ارائه شده در این نشریه رعایت گردد.

فصل ۱

کارهای عمومی

۱-۱- کارهای عمومی و عملیات مقدماتی

پس از تحویل کارگاه، پیمانکار باید براساس ضوابط و مندرج‌های قرارداد، نسبت به آماده‌سازی کارگاه اقدام نماید. آماده‌سازی اولیه به‌منظور استقرار عوامل اجرایی و شروع به کار به شرح زیر می‌باشد:

۱-۱-۱- تخریب، بوته‌کشی، قطع درختان، پاک‌سازی مواد زاید

ساختمان‌ها و تاسیساتی که در محدوده عملیاتی پروژه قرار دارند و تخریب آنها جهت اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه ضروری می‌باشد، باید طبق دستورهای دستگاه نظارت، صورتجلسه گردیده و پس از اخذ مجوزهای قانونی مورد نیاز، تخریب شوند. این موضوع باید در مشخصات فنی خصوصی ذکر گردد.

رعایت مسایل ایمنی و اصول فنی در مورد تخریب، قطع و کنترل انشعاب‌های خطوط آب، برق و تلفن الزامی می‌باشد و باید با هماهنگی مراجع قانونی ذیصلاح انجام گردد. در صورت لزوم، مصالح حاصل از تخریب باید طبق نظر دستگاه نظارت دسته‌بندی و در محل‌های مناسب انبار شده و بخش‌های مازاد نیز از محوطه کارگاه خارج گردد.

بستر رودخانه‌ها و سطح کلیه زمین‌هایی که عملیات خاکی و ساختمانی روی آنها صورت می‌گیرد و یا مناطقی که به‌عنوان محل قرضه مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید از وجود زباله، درختان و بوته‌ها و بقایای آنها پاک شود. به‌طور کلی، لزوم قطع درختان باید قبلاً به تصویب کارفرما رسیده باشد. جمع‌آوری زباله، درختان و بوته‌ها و برداشت خاک زراعی (نباتی) تا عمق‌های خواسته شده و تخلیه آنها به نقاط مشخص، طبق دستور دستگاه نظارت انجام خواهد شد.

۱-۱-۲- پرکردن چاه‌ها، قنات و مجاری آب زیرزمینی

در صورتی که در محدوده عملیاتی پروژه، چاه‌های آب و فاضلاب و یا قنات متروکه واقع شده باشند، باید طبق نقشه‌ها و نظر دستگاه نظارت، نگهداری و حفاظت شوند. چنانچه قنات در عمق کمتر از ۵ متر از سطح زمین طبیعی قرار گرفته باشد، باید لوله‌های بتن مسلح، حداقل به قطر ۸۰ سانتی‌متر در قنات، کار گذاشته شود. برای عمق‌های بین ۵ تا ۱۰ متر، قنات باید با قطعه‌های بتن مسلح پوشش شود.

چنانچه قنات در عمقی بیش از ۱۰ متر واقع شده باشد، بنا به موقعیت محل، می‌توان قنات را بدون حفاظ باقی گذاشت یا با قطعه‌های بتن مسلح پیش‌ساخته، طبق دستور دستگاه نظارت، پوشش کرد.

در صورتی که پرکردن چاه‌ها ضروری تشخیص داده شود، باید با نظر دستگاه نظارت، آنها را با خاک پر کرده و کوبید. نحوه اجرای عملیات و چگونگی پرداخت حق‌الزحمه، با نظر دستگاه نظارت و توافق پیمانکار صورت خواهد گرفت.

از دست زدن و برداشتن خاک‌های اطراف میله‌های چاه‌هایی که خارج از حریم عملیاتی پروژه قرار گرفته‌اند، خودداری شود. هرگونه خسارتی که به قنات‌های دایر وارد شود، به عهده پیمانکار بوده و باید فوراً تعمیر شود.

در بسیاری موارد در سواحل رودخانه‌های نواحی تپه ماهوری، مجاری زیرزمینی انتقال آب متروکه‌ای قدیمی که به شکل خشک کنار قنات‌ها حفاری شده‌اند، وجود دارد. در این گونه موارد، به‌منظور تثبیت سواحل رودخانه، بخش‌هایی از مجرا که در حریم رودخانه

قرار دارند و طبق نظر دستگاه نظارت موجب ناپایداری ساحل رودخانه را فراهم می‌آورند، باید توسط سنگ و ملات ماسه سیمان برگردند.

۱-۳-۱- نقاط نشانه و مبدا و مختصات پروژه (نقشه‌برداری)

نقاط اصلی نشانه و مبدا از طرف کارفرما و دستگاه نظارت، طی صورتجلسه‌ای در اختیار پیمانکار قرار داده خواهد شد. پیمانکار موظف است نسبت به حفظ و حراست این نقاط و جایگزینی آنها در صورت لزوم و طی دوران اجرای عملیات تا پایان کار، اقدام نماید. نقاط فرعی و کمکی مورد نیاز نیز براساس نقاط نشانه اصلی با تایید دستگاه نظارت، توسط پیمانکار احداث می‌شود. این نشانه‌ها باید توسط پایه‌های بتنی حداقل 10×10 سانتی‌متر و ارتفاع حداقل ۷۰ سانتی‌متر که پس از نصب حدود ۲۰ سانتی‌متر آن بالاتر از سطح زمین قرار می‌گیرد، ساخته شود. پایه‌های بتنی مذکور باید با رنگ روغنی مشخص و شماره‌گذاری شود. همچنین باید قبل از شروع کارهای اجرایی، برنامه و روش کار و میزان خطاهای مجاز برای انجام کلیه کارهای نقشه‌برداری مربوط به اجرا و کنترل، مورد تایید دستگاه نظارت قرار گیرد.

۱-۴-۱- کنترل و تحویل مصالح ساختمانی

کلیه مصالح (غیر از مصالح فله مانند شن و ماسه، سنگ و آجر و امثال آن) باید در بسته‌بندی‌های اصلی که مشخصات تولیدکننده کالا روی آن ذکر شده باشد، تحویل کارگاه شود و در محل‌های سرپوشیده و انبارهای مناسب نگهداری و انباشت گردند. محل انباشت مصالح ساختمانی نظیر آجر، سیمان، شن و ماسه و آهن‌آلات باید در نقشه جانمایی کارگاه مشخص شود. مصالح خراب و نامرغوب باید فوراً از کارگاه خارج شود و مصالحی که در مرغوبیت آن شک و تردید باشد، مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفته و در صورت نامرغوب بودن، از کارگاه خارج گردد. به‌طور کلی کنترل و مرغوبیت مصالح قبل از مصرف آنها باید به تایید دستگاه نظارت برسد.

۱-۲- تجهیز و برچیدن کارگاه

۱-۲-۱- احداث ساختمان‌ها و تجهیز کارگاه

پیمانکار باید براساس دستورالعمل‌ها و مشخصات مندرج در مشخصات فنی و خصوصی و فهرست مقادیر و بها، نسبت به تجهیز کارگاه و اجرای ساختمان‌ها و تاسیسات مربوط اقدام نماید. ساختمان‌ها و تاسیسات مربوط به تجهیز کارگاه، باید دارای استحکام کافی و از نظر فضا جوابگوی نیازهای پروژه بوده و اصول ایمنی در آنها رعایت شده باشد.

۱-۲-۲- حفاظت کارگاه از آب و سیلاب

لازم است تاسیسات کارگاه توسط یک سامانه صحیح در مقابل ورود و نفوذ آب حفاظت شود. اجرای بندها و پشته‌های خاکی، کارهای ساختمانی آبراهه‌ها و سنگچین‌ها برای حفاظت سازه‌های فنی، همچنین تاسیسات و سازه‌های موقت و یا دائمی که برای

ممانعت از ورود آب‌های سطحی و زیرزمینی به محوطه کارگاه‌ها استفاده می‌شود و اجرای سامانه جمع‌آوری، برداشت و تخلیه آب‌های راکد، سطحی و زیرزمینی باید طبق نقشه‌ها و دستورهای دستگاه نظارت انجام شود.

۱-۲-۳- تامین حقابه‌ها، حفظ نهرها سنتی، اراضی کشاورزی و باغ‌ها

در طی مدت اجرای عملیات پروژه، باید آب مورد نیاز باغ‌ها، اراضی کشاورزی و مصارف شهری به میزان قبل از اجرای عملیات ساختمانی تامین شود. تامین آب مورد نیاز از طریق حفظ نهرها و لوله‌های آب‌رسانی موجود یا انجام تغییرهای لازم طبق دستورهای دستگاه نظارت صورت می‌گیرد. مدت قطع آب برای انجام تغییرهای لازم در تداخل با کارهای ساختمانی نباید در هر بار بیش از ۴ ساعت به طول انجامد.

زهکشی‌های مربوط به سامانه بهره‌برداری موقت از آب باید احداث و نگهداری شده و در همه حال قابل استفاده باشد. در هنگام بروز نقص در سامانه آب‌رسانی به باغ‌ها، اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی باید مراتب به اطلاع دستگاه نظارت رسیده و هم‌زمان با آن، پیمانکار باید نسبت به رفع نقص اقدام نماید.

۱-۲-۴- دفع مواد زاید و برچیدن کارگاه

در مواردی که دستگاه نظارت، سوزاندن بعضی از مواد زاید را لازم تشخیص دهد، این‌گونه موارد که طی عملیات پاک‌سازی خارج شده است، باید در محل تعیین شده جمع‌آوری و سوزانده شود. سایر مواد غیرقابل اشتعال ولی قابل دفن باید در محل‌های تعیین شده توسط دستگاه نظارت به‌ترتیبی مدفون شود که زیر پوششی از خاک به ضخامت حداقل ۶۰ سانتی‌متر قرار گیرد. در مورد تنه درختان و سایر مصالح استخراجی که ممکن است مورد مصرف داشته باشد، طبق دستور دستگاه نظارت عمل شود.

به‌منظور حفظ شکل طبیعی زمین، پس از دفن مواد زاید و یا برچیدن کارگاه، در مواردی که نقشه و مشخصات نحوه خاصی را تعیین نکرده باشد، باید با رعایت توپوگرافی منطقه، محدوده مورد نظر تسطیح و رگلاژ شده، به‌طوری که در جریان آب‌های سطحی مانعی ایجاد نشود.

فصل ۲

مصالح ساختمانی، ماشین آلات و

تجهیزات هیدرومکانیکی

۲-۱- کلیات

در این فصل مشخصات و ویژگی‌های مصالحی که در اکثر کارهای مهندسی رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل سنگ، آجر، سیمان، بلوک سیمانی، آهک و مصالح خاکی (شن و ماسه) ارائه شده است. مشخصات فنی و ویژگی‌های مصالحی که به‌طور خاص در عملیات یا احداث سازه‌ای از کارهای مهندسی رودخانه استفاده می‌شود، در قسمت مربوط در این نشریه ارائه گردیده است. همچنین در این فصل، انواع ماشین‌آلات و تجهیزات هیدرومکانیکی مورد استفاده در کارهای مهندسی رودخانه شرح داده شده است.

۲-۲- مصالح ساختمانی

۲-۲-۱- سنگ

سنگ یکی از مصالح اصلی است که به دلیل دارا بودن کیفیت مناسب، در دسترس بودن در مناطق وسیعی از کشور، وجود تجربه گسترده بنایی با سنگ و ارزان بودن در بسیاری از مناطق، در عملیات مهندسی رودخانه، به‌طور گسترده‌ای به‌کار می‌رود. سنگ‌های مورد استفاده در کارهای مهندسی رودخانه باید دارای شرایط مناسب و قابل قبولی بوده و علاوه بر دارا بودن خواص عمومی مناسب، باید برای استفاده در هر سازه‌ای، دارای شرایط خاص خود نیز باشند.

۲-۲-۱-۱- ویژگی‌ها و مشخصات فنی

به‌طور کلی سنگ‌ها باید از لحاظ تجزیه‌ناپذیری، مقاومت مکانیکی و خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب باشند، به‌طوری که کارایی لازم را برای سازه مورد نظر تامین کنند. سنگ‌هایی که در کارهای بنایی، حفاظتی و استحکام مصرف می‌شوند، به یکی از صورت‌های طبیعی مانند سنگ لاشه، قله‌سنگ کار شده مانند بادبر و خرد شده مانند شن و ماسه هستند. منشا این سنگ‌ها ممکن است آذرین، رسوبی یا دگرگون باشد. سنگ‌های مصرفی باید از نظر بافت، سالم و بدون ترک و خلل و فرج بوده و دارای ظاهری یکنواخت و نیز عاری از رگه‌های خاکی و سایر موادی (مواد آلی) باشند که در اثر عوامل جوی و هوازدگی خراب می‌شوند و به استحکام سنگ‌ها لطمه می‌زنند. مصالح سنگی از هر نوع که باشند، در هر پروژه باید از نظر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی، اندازه، ضخامت، رنگ و دیگر مشخصه‌های ظاهری با آنچه در نقشه‌ها، مشخصات فنی خصوصی و سایر مدارک پیمان ذکر شده، منطبق بوده و قبل از مصرف به تایید دستگاه نظارت برسد. ویژگی‌ها و مشخصات فنی سنگ‌ها و روش‌های آزمایش آنها باید مطابق استانداردهای زیر باشد:

- استاندارد شماره ۴۴۹: «روش آزمایش مقاومت مصالح سنگی در مقابل عوامل جوی»
- استاندارد شماره ۵۷۸: «روش‌های تعیین میزان جذب آب و تاب مصالح سنگی در برابر یخبندان»
- استاندارد شماره ۶۱۷: «روش‌های تعیین تاب گسیختگی فشاری و خمشی مصالح سنگی»
- استاندارد شماره ۶۱۹: «روش‌های آزمون تاب سایشی سنگ»
- استاندارد شماره ۶۶۵: «روش تعیین تاب فشاری مصالح سنگی»

تا زمانی که استاندارد ایرانی تدوین نشده باشد، در درجه اول استانداردهای بین‌المللی (ISO) معتبر خواهد بود و در صورت نبودن استاندارد بین‌المللی، استانداردهای آمریکا^۱، آلمان^۲، بریتانیا^۳ و با تایید دستگاه نظارت، ملاک عمل قرار خواهد گرفت.

۲-۱-۲-۲- انواع سنگ‌های مصرفی

الف- سنگ‌های رودخانه‌ای

این سنگ‌ها، در جریان حرکت و غلتیدن در مسیر رودخانه‌ها و برخورد با یکدیگر و بر اثر عمل فرسایش آب بر روی آنها، دارای سطح تقریباً صیقلی می‌باشند. سنگ رودخانه‌ای با قطر بیش از ۵ سانتی‌متر را سنگ قلوه می‌گویند.

ب- سنگ کوهی

این نوع سنگ به‌طور مستقیم از معدن و رگه کوه استخراج شده و بیش‌تر تیز گوشه هستند. استخراج آنها با استفاده از مواد سوزا پتک و قلم‌های بزرگ و دجبر (چکش‌های ضربه‌ای با هوای متراکم) صورت می‌گیرد. سنگ‌های کوهی با حجم بزرگ، سنگ قلّه نامیده می‌شوند که در کارگاه ساختمانی یا معدن، طبق دستور دستگاه نظارت، به اندازه‌های لازم خرد می‌گردند. انواع سنگ‌های کوهی عبارتند از سنگ لاشه، سنگ قواره، سنگ بادبر، سنگ مکعبی، سنگ تمام تراش، سنگ چند وجهی نامنظم و سنگ تخته‌ای (لایه لایه).

۲-۲-۲- آجر

از آجر در بنایی و دیوارسازی در کارهای مهندسی رودخانه به‌ندرت استفاده می‌شود. در صورت استفاده، این مصالح باید از نظر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی، ضخامت و دیگر مشخصه‌های ظاهری با آنچه در استانداردهای ایرانی آمده است، منطبق باشند. از جمله این استانداردها، استاندارد شماره ۷ (آجرهای رسی) و استاندارد شماره ۹۹۱ (آجر نسوز) می‌باشد. همچنین هر استاندارد ایرانی دیگری که تا زمان انعقاد پیمان درباره آجر تدوین یا تجدید نظر شود باید مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۲-۱- ویژگی‌ها و مشخصات فنی

آجر مصرفی باید مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی استانداردهای مربوط را دارا باشد. مهم‌ترین آزمایش‌ها و موارد کنترل کیفیت آنها با روش آشتو T-32 به شرح زیر می‌باشد:

– تنش حد گسیختگی (در آزمایش خمشی)

– مقاومت فشاری

– درصد جذب آب پس از ۲۴ ساعت نگهداری در آب سرد

– درصد جذب آب پس از ۵ ساعت نگهداری در آب جوش

– ضریب اشباع

1- ASTM (American Society for Testing and Materials)

2- DIN (Deutsche Industrie Norman)

3- BS (British Standrds)

– مقاومت در مقابل یخبندان

– جذب اولیه آب

– شوره

– اندازه‌گیری ابعاد

– اندازه‌گیری تاب‌خوردگی

نتایج حاصل از آزمایش‌های نامبرده باید با مشخصات فنی مشروح در جدول (۱-۲) و همچنین با مشخصات فنی مندرج در آشتو M-114 یا ASTM-C62 مطابقت داشته باشد.

جدول ۱-۲- مشخصات فنی آجرهای ماشینی

مشخصات	حداقل هر نمونه	متوسط ۵ نمونه
حداقل مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع)	۱۵۵	۱۷۵
حداکثر جذب آب پس از ۵ ساعت در آب جوش (درصد)	۲۵	۲۲
حداکثر ضریب اشباع ^۱	۰/۹	۰/۸۸

آجر مرغوب، توپرتر و متراکم‌تر است و از به هم خوردن دو قطعه آجر مرغوب، صدای زنگ بلند می‌شود. آجر به اشکال مکعب مستطیل توپر، سوراخ‌دار، توخالی و قطعه‌های نازک تولید می‌شود. در آجرهای سوراخ‌دار، سوراخ‌ها باید عمود بر سطح بزرگ آجر و به‌طور یکنواخت در سطح آن توزیع شده باشد. جمع مساحت آنها باید بین ۲۵ تا ۴۰ درصد سطح آجر باشد. بعد سوراخ‌های مربع و قطر سوراخ‌های دایره‌ای باید حداکثر به ۲۶ میلی‌متر محدود شود.

لبه آجرها باید مستقیم و زوایای آنها قائمه و سطوح آنها صاف باشد. پیچیدگی در امتداد سطح بزرگ آجر، حداکثر ۴ میلی‌متر و در امتداد سطح متوسط آجر تا ۵ میلی‌متر مجاز است. آجرهای حمل شده به پای کار باید عیناً مانند نمونه‌هایی باشد که قبلاً مورد تایید و تصویب دستگاه نظارت قرار گرفته است. مصرف تکه آجر شامل سه قد (سه‌چهارم آجر)، نیمه (یک‌دوم آجر)، چارک (یک‌چهارم آجر) و کلوک (پاره آجر)، در قسمت‌های درونی و پشت کار و نیز در مکان‌هایی که مصرف آجر درست مقدور نیست، مجاز می‌باشد.

آجرها قبل از به کار بردن باید مورد بازدید قرار گرفته و نتایج آزمایشگاهی در مورد آنها رضایت‌بخش باشد. آجر برای پی‌سازی مصرف نمی‌شود و قبل از به کار بردن باید مدت ۲ ساعت داخل آب قرار گیرد. آجرهایی که بر اثر نفوذ آب بترکد و یا آلونک کند، قابل مصرف نمی‌باشند.

حالت خمیری ملات باید طوری باشد که آجر کاملاً روی ملات بنشیند. برای چیدن آجر باید با چکش بنایی آجر را به حدی روی ملات کوبید تا فاصله بندها مطابق مشخصات درآید. درزهای عمودی آجرها باید قبل از چیدن رج بعدی با ملات پر شود. درزهای قائم دو ردیف آجرکاری متوالی، هیچ‌گاه نباید در امتداد هم قرار بگیرد.

در صورتی که بنا به تشخیص دستگاه نظارت در سازه‌های کوچک و در مسیر جریان آجر مصرف شود، باید بدون انجام بندکشی، روی آن با ملات ماسه - سیمان، به ضخامتی که از ۲/۵ سانتی‌متر کمتر نباشد، اندود شده و سطح اندود با ماله فولادی پرداخت و

۱- ضریب اشباع: مقدار جذب آب پس از ۲۴ ساعت نگهداری در آب سرد، تقسیم بر مقدار جذب آب پس از ۵ ساعت نگهداری در آب جوش

صیقلی شود تا آب در آن نشت نکند. قبل از اجرای اندود، باید علاوه بر مرطوب کردن سطح کار، بند آجرها خالی شود تا قفل و بست آجر با ملات به خوبی صورت گیرد. اندود ملات باید به مدت لازم به دستور دستگاه نظارت آبپاشی و مرطوب نگاه داشته شود.

۲-۲-۳- سیمان

سیمان در ساختن بتن و ملات مصرف دارد. مواد اصلی تشکیل دهنده سیمان‌های آبی عبارتند از: آهک، سیلیس، آلومین و اکسید آهن. سیمان به دو دسته اصلی سیمان مصنوعی و طبیعی تقسیم می‌گردد:

۲-۳-۱- سیمان پرتلند مصنوعی

از مهم‌ترین سیمان‌های آبی مصنوعی، سیمان پرتلند است. سیمان پرتلند، فرآورده‌ای است که از اختلاط تقریبی ۷۵ تا ۸۰ درصد آهک، ۲۰ تا ۲۵ درصد خاک رس و پختن و آسیاب کردن آن به دست می‌آید. سیمان‌هایی که با ترکیب‌های شیمیایی مختلف ساخته می‌شوند، دارای خواص متفاوتی خواهند بود. بنابراین با نحوه انتخاب مواد خام اولیه، نوع خاصی از سیمان با خواص ویژه تولید می‌شود. انتخاب نوع سیمان با توجه به ضوابط زیر انجام می‌شود:

- **سیمان پرتلند نوع یک (معمولی):** در کارهای معمولی و عمومی، نظیر ساختن اسکلت‌های بتن آرمه، ملات‌ها، اندودها و پی ساختمان‌هایی که امکان حمله سولفات وجود ندارد و ویژگی‌های خاصی از بتن مورد انتظار نیست، مصرف می‌شود.
- **سیمان پرتلند نوع دو (اصلاح شده):** این نوع سیمان جهت مصرف در کارهایی که در معرض اثرهای ملایم حمله سولفات‌ها قرار دارند و یا درجه هیدراتاسیون (گرم‌زایی) کم، مورد نیاز می‌باشد، به کار می‌رود و برای بتن‌ریزی در هوای گرم مناسب است. به عنوان مثال در سازه‌های مجاور آب‌های زیرزمینی که غلظت سولفات‌ها در آنها بیش‌تر از آب‌های معمولی است و در سازه‌های نسبتاً حجیم مانند پایه پل‌های بزرگ و دیوارهای حایل سنگین، از این نوع سیمان استفاده می‌شود.
- **سیمان پرتلند نوع سه (زود سخت شونده):** با توجه به زودگیر بودن این سیمان، در مواقعی که بارگذاری باید مدتی کوتاه بعد از بتن‌ریزی صورت گیرد یا لازم باشد قالب‌ها برای بتن‌ریزی مجدد سریع‌تر باز شوند، مصرف می‌گردد. از این نوع سیمان، به علت ایجاد حرارت خیلی زیاد نباید در بتن‌ریزی‌های حجیم استفاده کرد و به همین علت در بتن‌ریزی در هوای سرد، کاربرد دارد.
- **سیمان پرتلند نوع چهار (با حرارت کم):** این نوع سیمان، حرارت کمی در موقع سفت شدن تولید می‌نماید و برای بتن‌ریزی حجیم و بتن‌ریزی در مناطق گرم مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **سیمان پرتلند نوع پنج (ضد سولفات):** برای بتن‌هایی که در معرض تاثیر شدید سولفات‌ها می‌باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید توجه داشت، تاثیر سولفات‌ها بر بتن در هوای گرم و در اثر تر و خشک شدن بتن، تشدید می‌گردد.

۲-۳-۲-۲- سیمان‌های سفید و رنگی

ترکیب شیمیایی سیمان سفید، همانند سیمان پرتلند معمولی است، با این تفاوت که با انتخاب مواد اولیه مناسب، از ورود مواد رنگی نظیر اکسیدهای آهن و منیزیم و غیره به فرآیند ساخت، جلوگیری می‌شود. برای ساختن سیمان‌های رنگی، مواد رنگی معدنی بی‌اثر شیمیایی را به سیمان می‌افزایند. سیمان سفید و رنگی بیش‌تر برای کارهای تزئینی مصرف می‌شوند. رنگ سیمان باید در برابر عوامل جوی و نور پایدار باشد. میزان رنگ حدود ۵ تا ۱۰ درصد وزنی سیمان است.

۲-۳-۲-۳- سیمان پرتلند آمیخته

جزء اصلی این سیمان‌ها، کلینکر سیمان پرتلند است. همراه کلینکر مواد پوزولانی طبیعی یا مصنوعی یا مواد افزودنی ویژه‌ای آمیخته و آسیاب می‌شود. انواع این سیمان‌ها به شرح زیر است:

- **سیمان پرتلند پوزولانی:** این سیمان از اختلاط کامل گرد سیمان پرتلند و پوزولان طبیعی و یا مخلوط کردن کلینکر سیمان پرتلند و پوزولان و سپس آسیاب کردن مخلوطی از این دو با کمی سنگ گچ به‌دست می‌آید. درصد پوزولان، معمولاً در مخلوط، بین ۱۵ تا ۴۰ درصد است.
- **سیمان پرتلند روباره آهن‌گذاری:** این سیمان از آسیاب کردن حدود ۵ تا ۸۵ درصد کلینکر سیمان پرتلند به‌همراه ۱۵ تا ۹۵ درصد سرباره کوره آهن‌گذاری (که سریعاً سرد شده) با کمی سنگ گچ به‌دست می‌آید. در ایران با افزودن حدود ۲۰-۱۵ درصد سرباره ذوب آهن اصفهان به کلینکر سیمان پرتلند در کارخانه سیمان سپاهان، سیمان سرباره ساخته می‌شود.
- هر نوع سیمان پرتلند پوزولانی و پرتلند روباره، بسته به مقدار مواد پوزولانی و سرباره، کم و بیش در برابر سولفات‌ها پایدارند و بتن ساخته شده با آنها، خلل و فرج و نفوذپذیری کم‌تری دارد. این دو نوع سیمان در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی دیرگیرتر بوده و حرارت هیدراتاسیون (گرمای آگیری) آنها نیز کم‌تر است.
- **سیمان پرتلند آهکی (سیمان بنایی):** سیمان بنایی، سیمانی است که اکثر کارخانه‌های کشورهای صنعتی آن را به‌منظور مصرف در ملات و کارهای بنایی تولید نموده و فرمول خاص خود را برای ساختن این سیمان رعایت کرده و آن را مخفی نگه می‌دارند و منتشر نمی‌کنند. این سیمان معمولاً از مخلوط کردن حدود ۵۰ درصد کلینکر سیمان پرتلند و حدود ۴۵ درصد گرد سنگ آهک مرغوب و قدری سنگ گچ و برخی مواد افزودنی با مقاومت کم‌تر از سیمان پرتلند، ولی دارای خواص مطلوب، جهت کارهای بنایی ساخته می‌شود.

۲-۳-۲-۴- سیمان‌های طبیعی

واژه سیمان طبیعی به دو نوع سیمان اطلاق می‌شود:

- الف- سیمان‌هایی که از پختن سنگ‌های سیمانی موجود در طبیعت به‌دست می‌آید. ترکیب این نوع سیمان‌ها مشابه پرتلند معمولی و ویژگی آنها بستگی به ترکیب سنگ طبیعی آن دارد. درجه پخت این سیمان‌ها کم‌تر از سیمان پرتلند بوده و ترکیب شیمیایی آنها نزدیک به آهک‌های آبی است.

ب- سیمان‌هایی که از ترکیب گردهای باقی‌مانده آتشفشانی یا رسوب‌های دیاتومه یا آب آهک به‌دست می‌آیند. خاکسترها، پوک‌ها، سنگ‌ها و کف سنگ‌های آتشفشانی که سیلیس آنها غیربلوری می‌باشد، به تنهایی خاصیت چسبانندگی ندارند ولی گرد نرم آنها، چه به شکل طبیعی و چه به‌صورت عمل‌آورده، با آهک واکنش داشته و تشکیل ترکیب‌هایی را می‌دهند که خاصیت چسبانندگی دارد و در آب پایدارند.

۲-۳-۵- ویژگی‌ها و مشخصات فنی

سیمان مورد مصرف در هر پروژه، برای تهیه بتن یا ملات باید از نظر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و مشخصه‌های ظاهری با آنچه در نقشه‌ها، مشخصات فنی خصوصی، دستورکارها و دیگر مدارک پیمان ذکر شده است، منطبق باشد. سیمان مصرفی در کارهای مهندسی رودخانه، اغلب از نوع سیمان پرتلند معمولی می‌باشد. حداقل از هر ۲۵۰ تن سیمان تحویل شده از یک کارخانه به کارگاه، باید یک بار مطابق روش آستو T-127 نمونه‌گیری شود و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی سیمان‌ها و روش‌های آزمایش آنها باید مطابق استانداردهای معتبر ایرانی و در صورتی که در برخی موارد استاندارد تدوین نشده باشد، به ترتیب اولویت، مطابق با استانداردهای سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)، استاندارد آمریکا (ASTM)، استاندارد آلمان (DIN) و یا استاندارد انگلیس (BS) باشد.

به‌طور خلاصه بعضی از مشخصات و استانداردهای عمومی در زیر اشاره شده است:

- گیرش اولیه سیمان معمولی در شرایط متعارف جوی، نباید زودتر از ۴۵ دقیقه، و گیرش نهایی آن، نباید دیرتر از ۱۲ ساعت باشد.
- درجه حرارت سیمان به هنگام وارد شدن به دستگاه بتن‌ساز، نباید از ۷۷ درجه سانتی‌گراد در مناطق گرم تجاوز نماید.
- هرگاه دستگاه نظارت ضروری تشخیص دهد و یا کیفیت سیمانی مشکوک باشد، باید از سیمان‌های موجود در کارگاه و یا از هر محموله سیمان تحویل شده به کارگاه، نمونه‌برداری و آزمایش به‌عمل آید.
- مصرف سیمان‌هایی که در آزمایش‌ها مردود شناخته شود مجاز نیست و این سیمان‌ها باید از کارگاه خارج شوند.
- چنانچه نتایج آزمایش‌های بالا از نمونه‌های سیمان تحویل شده به کارگاه مطابق مشخصات لازم نباشد، تمامی محموله‌ای که نمونه مورد نظر از آن گرفته شده، مردود اعلام می‌شود و پیمانکار موظف است این محموله را از کارگاه خارج کند.

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی انواع سیمان پرتلند باید مطابق با استانداردهای سیمان پرتلند باشد. به علاوه سیمان‌ها باید با مندرج‌های آیین‌نامه ایران (آبا) انطباق داشته و الزام‌های آن را پاسخگو باشند.

۲-۳-۶- حمل و نقل و نگهداری

سیمان، به دو صورت فله و پاکتی به فروش می‌رسد. در هر دو حالت، مشخصات انواع سیمان به‌صورت برچسب روی محموله درج می‌گردد. بارگیری، حمل و تخلیه انواع سیمان‌ها باید با دقت صورت گیرد و از اثر باران و رطوبت بر آنها جلوگیری شود. ظروف حمل سیمان فله (بونکرها) باید پس از تخلیه تمیز شوند تا برای محموله بعدی ایجاد آلودگی نکنند. برچسب مشخصات سیمان باید روی سیلوی سیمان در کارگاه چسبانده شود.

در صورتی که در اثر رطوبت و انبار کردن نامناسب، کلوخه‌های سخت در سیمان ایجاد شود، سیمان حاوی این کلوخه‌های سخت شده را نمی‌توان برای کارهای ساختمانی به مصرف رساند زیرا علاوه بر دیرگیر شدن، سبب کاهش مقاومت بتن و ملات نیز می‌شوند. به‌طور کلی سیمان باید در محوطه سرپوشیده و خشک و با تهویه و خارج از تاثیر شرایط جوی نگهداری گردد. در کارگاه‌هایی که کارهای پراکنده دارند و مقادیر کم سیمان در نقاط مختلف مورد نیاز است، کیسه‌های سیمان اجباراً باید در فضای باز انبار شوند. کف محلی که سیمان روی آن چیده می‌شود باید خشک و دست کم ۱۰ سانتی‌متر از اطراف خود بالاتر باشد. استفاده از تخته و آجر برای بالا آوردن بستر و ورقه‌های پلاستیکی برای خشک نگه داشتن کف، مفید است. کیسه‌های چیده شده بر روی هم باید با روکش برزنتی یا پلاستیکی پوشیده شده، لبه‌های پوشش به اندازه کافی هم‌پوشانی داشته باشند و در بالا و اطراف، اجسام سنگینی مانند آجر یا سنگ روی آنها قرار داده شود. در هر حال نگهداری سیمان به این ترتیب نباید برای مدت طولانی ادامه داشته باشد.

در کارهای بزرگ‌تر که قرار است سیمان پاکتی مصرف شود، کیسه‌های سیمان باید در انبارهای مخصوصی نگهداری شوند. سقف، دیوار و کف انبار باید کاملاً نم‌بندی شده و کیسه‌های سیمان به فاصله دست کم ۳۰ سانتی‌متر از دیوار و ۲۰ سانتی‌متر از کف چیده شوند. حداکثر ارتفاع کیسه‌ها ۱/۵ متر و پهنای ردیف کیسه‌های چیده شده پهلوی هم ۳ متر است و امکان حرکت کامل هوا از کف انبار وجود داشته باشد.

نگهداری سیمان فله فقط در سیلوهای فلزی یا بتنی که آب در آنها نفوذ نمی‌کند، مجاز است. هنگام تغییر نوع سیمان، سیلوها باید کاملاً تمیز شوند. سیمانی که برای مدت زیادی انبار شود، ممکن است به‌صورت کلوخه‌های فشرده درآید. این‌گونه سیمان را می‌توان با غلتاندن کیسه‌ها روی کف اصلاح نمود و چنانچه با یک‌بار غلتاندن کلوخه‌ها باز شود، سیمان قابل مصرف است، وگرنه باید آزمایش‌های مقاومت استاندارد یا آزمایش افت ناشی از گرما دادن (افت سرخ شدن) به منظور اطمینان از مرغوبیت سیمان انجام شود. چنانچه مدت انبار کردن سیمان کم‌تر از ۶۰ روز باشد، ارتفاع کیسه حداکثر تا ۱۴ ردیف و برای زمان‌های بیش‌تر، تا ۷ ردیف خواهد بود. سیمان‌هایی که ۲ ماه یا بیش‌تر در انبار نگهداری شده باشند، باید زودتر به مصرف برسد. مصرف سیمان‌هایی که بیش از ۴ ماه انبار شده باشد مجاز نیست. در صورت اجبار در مصرف این‌گونه سیمان‌ها باید آنها را طبق نظر دستگاه نظارت و براساس روش‌های ارائه شده در این نشریه، مورد ارزیابی مجدد قرار داد و پس از انطباق با مشخصات، به مصرف رسانید. چنانچه سیمان در کامیون یا سایر وسایل مشابه به کارگاه حمل شود، باید روی آنها را با برزنت یا پوشش‌های نفوذناپذیر مشابه پوشانید.

سیمان باید بعد از تحویل مصرف شود تا از توقف بیش از حد آن در انبار جلوگیری گردد. سیمانی که به خاطر جذب آب یا تحت تاثیر سایر عوامل، خراب یا به طریقی غیرقابل استفاده شود، قابل قبول نیست و باید از کارگاه خارج شود. سیمان را می‌توان بدون کیسه حمل نمود، به شرط آن‌که هنگام حمل در مقابل تاثیر عوامل جوی محافظت شده و در سیلوهای نفوذناپذیر انبار شود. چنانچه در مشخصات فنی خصوصی یا توسط دستگاه نظارت و برای مصارف خاصی، مصرف سیمان زودگیر یا انواع دیگر سیمان اجازه داده شود، قسمت‌های جداگانه‌ای از انبار باید به این سیمان‌ها اختصاص داده شود. انواع مختلف سیمان باید با علائم مورد قبول دستگاه نظارت از یکدیگر قابل تمیز باشد.

۲-۲-۴- بلوک سیمانی

بلوک‌های سیمانی از جمله مصالحی هستند که استفاده از آنها در صورت در دسترس بودن و نیز دارا بودن مشخصات مورد نیاز، برای به‌کار گرفتن در عملیات بنایی توصیه می‌شود.

۲-۴-۱- ویژگی‌ها و مشخصات فنی

بلوک سیمانی یا بلوک بتنی از اختلاط سیمان و آب با شن ریزدانه و ماسه و لرزاندن و متراکم کردن مخلوط و عمل آوردن و مراقبت از آنها در محیط مناسب ساخته می‌شود. بلوک‌های سیمانی در اشکال توخالی و توپر ساخته می‌شوند و از مزایای این بلوک‌ها، صرفه‌جویی در مصرف مصالح و زمان اجرا، حمل آسان، عایق بودن و سهولت در مسلح کردن می‌باشد.

بلوک‌های توخالی دیواری در ابعاد (بزرگ) $40 \times 30 \times 20$ و (متوسط) $40 \times 20 \times 20$ و (کوچک) $40 \times 10 \times 20$ سانتی‌متر ساخته می‌شود. در صورت تایید دستگاه نظارت، بلوک سیمانی را می‌توان با اندازه‌های دیگری غیر از این اندازه‌ها ساخت. مخلوط بتن مصرفی در ساخت بلوک، از یک پیمانه سیمان پرتلند، $\frac{3}{5}$ پیمانه شن (به درشتی حداکثر نصف ضخامت نازک‌ترین دیواره بلوک)، $\frac{2}{5}$ پیمانه ماسه و 130 تا 150 لیتر آب برای بتن لرزیده یا 160 تا 180 لیتر برای بتن نلرزیده تشکیل می‌شود. به‌هنگام مصرف، کلیه بلوک‌ها باید سالم، بدون شکستگی سطوح و لبه‌ها، و با ابعاد واقعی باشند که سبب ضعف بلوک در کار نگردند. سطوح آن باید طوری باشد که در صورت اندودکاری طبق دستور دستگاه نظارت، چسبندگی و گیر کافی با اندود ایجاد نماید.

اهم موارد کنترلی بلوک سیمانی به‌شرح زیر بوده که عموماً باید براساس استانداردهای مربوط از نظر کیفی مورد توجه قرار گیرد:

- کنترل حداقل ضخامت جداره‌ها و طول و سطح قطعه‌های پرکننده براساس نوع بلوک
- تعیین رواداری طول، عرض و ارتفاع بلوک
- کنترل طرز ساخت، مراقبت و خشک کردن بلوک‌ها
- تعیین طرح مخلوط بتن مصرفی در ساخت بلوک و دمای محیط
- تعیین تاب فشاری و وزن ویژه بلوک براساس نوع بلوک

در مورد انتخاب اندازه بلوک سیمانی تو خالی باید مجموع اندازه‌های قسمت‌های توخالی بلوک از دوسوم طول کل در همان جهت نباید بیش‌تر باشد؛ به عبارت دیگر مجموع اندازه قسمت‌های پر یا ضخامت دیواره‌های بلوک از یک‌سوم طول کل بلوک در همان جهت نباید کم‌تر در نظر گرفته شود. همچنین سطح قسمت‌های توخالی هر بلوک نباید بیش از 45 درصد سطح کل آن باشد. ضخامت جداره‌های داخلی و خارجی در بلوک‌های بزرگ و متوسط نباید کم‌تر از 4 سانتی‌متر و در بلوک‌های کوچک نباید کم‌تر از 3 سانتی‌متر باشد. رواداری در ابعاد خارجی برای ارتفاع و عرض $\pm \frac{1}{5}$ میلی‌متر، برای طول ± 3 میلی‌متر می‌باشد.

۲-۵-۲- آهک

آهک نوعی سیمان هوایی است که از پختن سنگ آهک (CaCO_3) در گرمای حدود 1000 درجه سانتی‌گراد به‌دست می‌آید. گرمای پخت به درجه خلوص سنگ آهک بستگی دارد. برای استفاده از آهک باید آن را به‌صورت هیدرات کلسیم تبدیل نمود. آهک زنده، میل ترکیبی شدیدی با آب دارد و در اثر این ترکیب مقدار زیادی گرما تولید می‌شود و حجم آن نیز افزایش می‌یابد. آهک خالص، سفید رنگ است ولی وجود ناخالصی‌ها می‌تواند موجب تغییر رنگ آن شود. چنانچه ناخالصی سنگ آهک، کربنات منیزیم باشد، آن را سنگ آهک دولومیتی می‌نامند و از پختن آن، آهک منیزیمی حاصل می‌شود. هرگاه ناخالصی سنگ آهک، مواد رسی و سیلیسی باشد، از پختن آن بسته به مقدار ناخالصی، آهک نیمه‌آبی یا آهک آبی تولید می‌شود.

برای تهیه آهک هیدراته از روش‌های دستی و صنعتی استفاده می‌گردد. در روش تر یا آهک‌شویی، کلوخه‌های سنگ آهک پخته را در حوضچه‌هایی ریخته و به آن آب اضافه می‌کنند و به‌هم می‌زنند تا شکفته گردیده و به‌صورت شیرآهک درآید. پس از برداشتن

ناخالصی‌های شیرآهک، آهک شکفته به شکل خمیر سفتی در آمده و پس از ۶ تا ۸ هفته کاملاً شکفته و برای مصرف در ملات و شفته آماده می‌شود. در روش خشک، کلوخه‌های آهک زنده را در لایه‌های ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر روی سطح تمیز چیده، روی آن را آب می‌پاشند و زیر و رو می‌کنند تا بشکفتد. با تکرار این کار وقتی ارتفاع به یک متر رسید روی آن را کاه‌گل می‌کنند و می‌گذارند تا بشکفتد و به‌صورت گرد درآید. پس از سرنزد کردن و گرفتن ناخالصی‌ها، آن را به مصرف می‌رسانند. در روش صنعتی، شکفتن آهک با بخار آب با استفاده از هیدراتور، به منظور بالا بردن بازده کار، کاهش خطر و کاهش دستمزد، صورت می‌گیرد.

از ترکیب یک واحد آب با آهک زنده، آهک شکفته Ca(OH)_2 حاصل می‌شود، که برای این منظور باید آهک زنده را به مقدار کافی آب‌پاشی کرده و رطوبت حاصل از این آب‌پاشی را برای مدتی که عمل شکفته شدن انجام می‌شود، حفظ نمود و قبل از مصرف آن را ۱۰ روز تمام در انبار نگه‌داشت.

در صورتی که کلیه ذره‌های آهک به هیدرات کلسیم تبدیل نشود، آهک زنده پس از ترکیب با آب، شکفته شده و به‌صورت آلوئک در سازه ظاهر می‌گردد و موجب ترکیدن سازه و ظاهر ناخوشایند در نما می‌شود. آهک باید در جایی مصرف شود که هوا نمناک باشد یا حداقل آن را به مدت ۲۸ روز با وسایلی نمناک نگهدارند. آهک زنده را باید در زمان نگهداری از اثر آب و دی‌اکسیدکربن هوا حفظ کرد.

۲-۵-۱-۲- ملات آهک

ملات آهک هوایی برای سخت شدن احتیاج به هوا دارد. به این طریق که هیدرات کلسیم در مجاورت آب و هوا، CO_2 هوا را گرفته و پس از واکنش شیمیایی به کربنات کلسیم تبدیل می‌شود. لذا سخت شدن آهک در محیط نمناک، امکان‌پذیر بوده و چنانچه شفته آهکی در مجاورت آب قرار نگیرد، ملات یا شفته آهکی سخت نشده و به اصطلاح می‌شود.

ملات آبی برای سخت شدن احتیاج به هوا ندارد و در زیر آب نیز می‌تواند سخت شود. این ملات‌ها زودگیر بوده و حداکثر در عرض دو ساعت سخت می‌گردند.

آهک آبی از حرارت دادن و آسیاب کردن سنگ آهک با خاک رس یا سیلیس به‌دست می‌آید. هر قدر مقدار رس بیش‌تر باشد، ملات آهک مرغوب‌تر بوده و آب در آن نفوذ نکرده و زودتر سخت می‌شود.

به‌طور کلی ریزدانه‌های گرد آهک باید به قسمی باشد که ۹۵ درصد آن از الک ۳۰۰ میکرونی و ۱۰۰ درصد آن از الک ۱۸۰ میکرونی بگذرد و افت سرخ شدن آهک شکفته، کم‌تر از ۳۰ درصد باشد. مشخصات آهک باید با استاندارد شماره ۲۷۰ «آهک ساختمانی» مطابقت داشته باشد.

۲-۵-۲-۲- ملات گل آهک

ملات گل آهک یا ملات حرام‌زاده، ملاتی است آبی و برای گرفتن نیازی به دی‌اکسیدکربن ندارد. این ملات برای آجرکاری و سنگ‌کاری مناسب می‌باشد. ترکیب سیلیس و آلومین خاک رس به همراه آب با آهک، این ملات را در برابر آب‌شستگی و وارفتن مقاوم می‌سازد.

۲-۵-۳- ملات ساروج

قبل از اختراع سیمان، ساروج برای اندود و آب‌بندی کردن آب انبارها و استخرها مصرف می‌گردید ولی امروزه مصرف آن بسیار کم شده و ملات سیمان جای آن را گرفته است. ساروج به دو صورت ملات ساروج گرم و ملات ساروج سرد مصرف می‌شود. ملات ساروج گرم، نوعی ملات آهک آبی است که از پختن و آسیاب کردن سنگ‌های آهکی رس‌دار به‌دست می‌آید. ملات ساروج سرد از اختلاط آهک، خاکستر و آب حاصل می‌شود. برای پایداری و چسبندگی به آن، خاک رس می‌افزایند و ماسه بادی نیز در آن نقش پرکنندگی و استخوان‌بندی دارد. برای جلوگیری از ترک‌خوردگی ساروج به آن لویی، موی بز یا الیاف گیاهی می‌زنند. ملات ساروج کندگیر است. این ملات از اختلاط ۱۰ پیمان‌گرد آهک شکفته، ۷ پیمان‌خاکستر الک شده، یک پیمان‌خاک رس، یک پیمان‌ماسه بادی، ۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم لویی (برای هر متر مکعب ملات)، آب به‌قدر کافی و ورز دادن آنها به‌دست می‌آید.

۲-۵-۴- ویژگی‌ها و مشخصات فنی

آهک مصرفی در هر پروژه باید از نظر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی و سایر مشخصه‌ها با آنچه در نقشه‌ها، مشخصات فنی خصوصی، دستورکارها و دیگر مدارک پیمان ذکر شده است، مطابقت داشته باشد. مشخصات کارخانه سازنده و کیفیت سنگ آهک مصرفی در تولید آهک باید قبلاً به تصویب دستگاه نظارت برسد.

نوع آهک با توجه به مصارف مختلف مشخص می‌گردد. معمولاً برای پایدار کردن خاک در راه‌سازی و پی‌سازی و در خاک‌های معمولی از خمیر یا گرد آهک شکفته‌ای که به‌صورت دوغاب درآمده باشد، استفاده می‌شود. برای ملات و اندود سازه‌های دریایی، پی‌سازی در خاک‌های سولفات‌دار با سولفات زیاد از آهک‌های آبی، برای پی‌سازی در خاک‌های سولفات‌دار با سولفات کم از آهک‌های نیمه‌آبی (خاکستری) و برای پایدار کردن خاک در راه‌سازی، بتن آهکی سنگین و متخلخل استفاده می‌گردد. همچنین برای سیمان آهک پوزولان و آهک سرباره از آهک زنده کلسیمی پرمایه و برای شفته پی‌سازی سازه‌های کم‌ارتفاع، از دوغاب آهک کم‌مایه استفاده می‌گردد.

ریزی دانه‌های گرد انواع آهک باید به‌صورتی باشد که ۹۵ درصد آن از الک ۳۰۰ میکرونی و ۱۰۰ درصد آن از الک ۱۸۰ میکرونی بگذرد و افت سرخ شدن آهک شکفته کم‌تر از ۳۰ درصد باشد. برای تهیه خمیر آهک، آهک را پس از شکفته شدن در حوضچه‌های مخصوص با مقدار آب کافی مخلوط می‌کنند. پس از آن که مخلوط آب و آهک در حوضچه‌ها به‌صورت خمیر درآمد، خمیر آهک باید به‌وسیله روپوش مناسب، از حرارت آفتاب حفظ شود. خمیر آهک، حداقل تا دو هفته باید در حوضچه‌ها نگهداری شود. تا زمانی که در سطح خمیر، آهک پیدا نشده و تا هنگامی که چسبندگی آن به درجه مطلوب نرسیده باشد، خمیر آهک را نباید برای ساختن ملات به مصرف رساند.

قبل از ساختن ملات، از گرد آهک مورد مصرف باید طبق روش آشتو T-218 نمونه‌گیری به‌عمل آید و ترکیب‌های شیمیایی و دانه‌بندی نمونه‌های اخذ شده با روش آشتو T-219 مورد آزمایش قرار گیرد. نتایج حاصل از آزمایش آن باید با مشخصات فنی داده شده در آشتو M-216 مطابقت داشته باشد.

۲-۵-۵- حمل و نقل و نگهداری

آهک زنده را باید از اثر آب و دی‌اکسیدکربن هوا حفظ کرد و همانند سیمان در ظروف مخصوص یا کیسه‌های آب‌بندی شده نگهداری نمود. مشخصات آهک باید روی ظروف حمل و کیسه‌ها نوشته شود. در هر صورت شرایطی که در نگهداری سیمان ذکر شد، در مورد آهک نیز باید رعایت گردد. چنانچه آهک مدتی در انبار بماند و از نظر کیفیت مشکوک باشد، دستگاه نظارت حق دارد آزمایش آن را قبل از مصرف خواستار گردد. چنانچه نتیجه آزمایش‌ها با مشخصات مندرج در استاندارد تطابق نداشته باشد، می‌تواند دستور خروج آهک را از کارگاه صادر نماید. کار کردن با آهک و جابجا کردن آن مستلزم رعایت نکات ایمنی است.

۲-۶-۲- شن و ماسه

مصالح شن و ماسه از رودخانه‌ها و یا از معادن کوهی تامین می‌گردد. مصالح رودخانه‌ای، عموماً گردگوشه‌تر از مصالح معدنی می‌باشند و سطح صیقلی دارند. این مصالح، نسبت به شن و ماسه شکسته کاربرد بیشتری دارد. از این مصالح نباید برای بتن با مقاومت بیش از ۳۵۰ کیلوگرم برسانتی‌مترمربع استفاده نمود. شن و ماسه شکسته را از خرد نمودن تکه‌سنگ‌های درشت در سنگ‌شکن‌ها به‌دست می‌آورند. این مصالح به‌علت تیزگوشه بودن، اصطکاک داخلی بالایی داشته و مواد خارجی آن به مراتب کم‌تر از شن و ماسه طبیعی می‌باشد.

به‌طور کلی مصالح سنگی با اندازه دانه‌های صفر تا حدود $4/76$ میلی‌متر را، مصالح ریزدانه (ماسه) و با اندازه دانه‌های بزرگ‌تر از $4/76$ میلی‌متر را، درشت‌دانه (شن) می‌نامند. مصالح شن و ماسه اعم از دانه‌ریز یا دانه‌درشت باید تمیز، سخت، زبر، با تراکم یکنواخت، بادوام و فاقد هرگونه آغشتگی باشد.

۲-۶-۱- حمل و نقل و نگهداری

هنگام حمل و نقل و انبار کردن مصالح سنگی باید یکنواختی آنها حفظ گردد و از پراکنده شدن ذره‌های ریز خشک به‌وسیله باد، جداشدگی، گرم شدن بیش از حد، یخ‌زدن و آلودگی دانه‌ها به مواد مضر جلوگیری کرد.

مصالح باید دور از پوشش گیاهی و مواد آلوده کننده نگهداری شده و نباید به شکل مخروط‌های بلندی درآیند که جداشدگی دانه‌های ریز و درشت اتفاق بیافتد. باید آنها را در لایه‌هایی به ضخامت یکسان و براساس نوع، اندازه و دانه‌بندی انبار نموده و به‌صورت افقی، جابجایی آنها را انجام داد. مصالح سنگی باید در چهار گروه مجزا، به شرح جدول (۲-۲) تقسیم و انبار گردند.

جدول ۲-۲- تقسیم‌بندی مصالح سنگی

اندازه اسمی مصالح دانه‌بندی	حدود انداژه مصالح (میلی‌متر)
دانه‌بندی ریز	۰ - ۴/۷۵
دانه‌بندی ۱۹ میلی‌متری	۴/۷۵ - ۱۹
دانه‌بندی ۳۷/۵ میلی‌متری	۱۹ - ۳۷/۵
دانه‌بندی ۶۳ میلی‌متری	۳۸ - ۶۳

۲-۳- ماشین آلات

در این قسمت به معرفی و کاربرد تجهیزات و ماشین آلات مورد استفاده در کارهای مهندسی رودخانه، شامل خاکبرداری، تسطیح و پاک‌سازی، بارگیری و حمل، پخش خاک و شیب‌زنی، تراکم خاک، حفاری و پی‌کنی و گودبرداری، اجرای پوشش‌ها و دیگر تجهیزات متفرقه، اعم از تجهیزات تولید و حمل مصالح، پمپاژ و ... پرداخته شده است.

۲-۳-۱- تجهیزات خاک‌برداری، تسطیح و پخش خاک

۲-۳-۱-۱- بولدوزر

بولدوزرها برای عملیات تسطیح و پاک‌سازی زمین از بوته‌ها، کنده‌های درخت و بقایای مانده از عملیات ساختمانی، جابجا کردن توده‌های خاک به صورت راندن آنها تا مسافتی حدود ۱۰۰ متر، ایجاد راه‌های دسترسی و اولیه، پخش کردن خاک در خاکریزها و کمک و کشیدن اسکرپرها به کار برده می‌شود.

اندازه بولدوزر بر حسب طول و ارتفاع تیغه آن تعیین می‌شود. بالابردن و پایین آوردن تیغه بولدوزر، ممکن است به صورت کابلی و یا هیدرولیکی باشد. بولدوزرها در انواع نصب بر روی چرخ زنجیری و یا چرخ معمولی تولید شده‌اند. از مزایای بولدوزرهای چرخ زنجیری می‌توان به قابلیت ارائه نیروی کششی بیش‌تر، مخصوصاً در روی زمین‌های نرم نظیر خاک گل‌آلود و زمین‌های سست و قابلیت انجام کار در زمین‌های سنگلاخی و زمین‌های ناهموار اشاره نمود. بولدوزرهای چرخ لاستیکی نیز دارای مزایای سرعت بیش‌تر در انجام کار و سرعت حرکت از یک کار به کار دیگر، قابلیت حرکت روی راه‌های آسفالت، بدون استفاده از تریلی جهت حمل و خستگی کم‌تر برای راننده می‌باشند.

نحوه عملکرد این ماشین با تماس مستقیم تیغه و مصالح میسر گردیده، به نحوی که با حرکت بولدوزر به سمت جلو، عمل کندن و حمل خاک توانمند انجام می‌گیرد. بنابراین عوامل موثر در عملکرد بولدوزر، نوع تیغه، اندازه تیغه، زاویه تیغه و قدرت موتور آن می‌باشد.

۲-۳-۱-۲- گریدر

گریدر برای عملیاتی نظیر تسطیح، پخش خاک و تنظیم شیب به کار می‌رود. شکل‌بندی و تنظیم نهایی هر لایه از خاکریزی با انجام عملیات خاک‌برداری از قسمت‌های بلند و خاکریزی در قسمت‌های گود، توسط گریدر، اصلاح و جهت عملیات تراکم آماده می‌شود. تسطیح دامنه خاکریزها و خاک‌برداری‌ها، کندن جوی، مخلوط کردن انواع خاک، اختلاط خاک و مواد قیری، برف‌روبی و برداشتن لایه‌های سست سطح زمین نیز از موارد استفاده این نوع ماشین می‌باشد.

گریدر با تیغه‌هایی به ارتفاع‌های مختلف و با لبه‌های مستقیم، منحنی، صاف و دندانه‌دار برای کاربری‌های مختلف قابل تجهیز است. گریدرهای مجهز به دستگاه کنترل تیغه خودکار قادر به تنظیم شیب‌های خیلی زیاد و با دقت خیلی خوب هستند. زاویه تیغه گریدر با توجه به مورد استفاده، قابل تغییر می‌باشد.

مقدار مواد خاکی را که گریدر در هر بار، قادر به حمل و پخش آن است، نسبت به بولدوزر بسیار کم‌تر است. مواد خاکی که قرار است توسط گریدر پخش شود باید تا حد امکان بر روی زمین پخش گردد تا ارتفاع توده خاکی خیلی زیاد نباشد. ظرفیت گریدر در این مورد بستگی به قدرت موتور و همچنین ارتفاع تیغه گریدر خواهد داشت.

۲-۳-۱-۳- اسکرپیر

اسکرپرها می‌توانند بارگیری، حمل و تخلیه مواد را بدون وابستگی به ماشین‌آلات انجام دهند. اسکرپرهای خودبارگیر با ظرفیت تا ۴۵ متر مکعب یا بیش‌تر موجود می‌باشد. فاصله اقتصادی حمل برای اسکرپرها تا حدود ۱/۶ کیلومتر توصیه می‌گردد. اسکرپرها براساس تراکتوری که برای کشیدن آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد، به دو نوع اسکرپیر با تراکتور چرخ زنجیری و چرخ لاستیکی تقسیم می‌شوند. همچنین اسکرپرها بسته به کاربریشان، دارای انواع موتور منفرد، موتور دابل و یا موتورهای پشت‌سرهم و نیز اسکرپیر با نقاله می‌باشند.

۲-۳-۱-۴- ریپر (خراشنده)

ریپرها، کلنگ‌هایی هستند که برای شکافتن زمین‌های خیلی سخت و تخته‌سنگ‌ها به کار برده می‌شوند. ریپرها از نوع کششی، به تعداد یک یا چند عدد به روی تراکتور و یا بولدوزر نصب می‌گردند. تعداد ریپرهای به کار رفته بستگی به قدرت تراکتور، نوع زمین و عمق نفوذ کلنگ دارد. اتصال لولایی کلنگ ریپر، باعث ایجاد تغییرات زاویه نوک کلنگ در عمق‌های مختلف می‌شود و برای زمین‌های قله سنگی مناسب می‌باشند.

۲-۳-۲- ماشین‌آلات تراکم

متراکم کردن خاک در خاکریزها به وسیله اعمال انرژی به خاک با روش اعمال فشار، وزن ساکن، ویبره و برخورد به دست می‌آید که با استفاده از ماشین‌آلات زیر میسر می‌گردد:

۲-۳-۲-۱- غلتک فرورونده

غلتک‌های فرورونده از نوع پاچه‌بزی صاف یا اصلاح شده آن می‌باشد. این غلتک‌ها ممکن است به وسیله تراکتور کشیده شوند و یا با نیروی خود محرکه حرکت کنند این غلتک‌ها دارای یک چرخ آهنی صاف میان‌خالی می‌باشند که بر روی سطح خارجی آن تعداد زیادی زائده‌های آهنی با طول‌ها و سطوح مقطع مختلف جوش داده شده است. هر دستگاه ممکن است شامل یک یا چند چرخ باشد که بر روی یک یا چند محور افقی سوار شده باشند. فشار زائده‌ها بر خاک باعث مخلوط و متراکم شدن لایه خاک از پایین به بالا می‌گردد.

غلتک‌های پاچه‌بزی با حداکثر وزن ۱۸ تن، در متراکم کردن خاک رسی یا مخلوط ماسه و خاک رس بسیار موثر می‌باشند اما قادر به متراکم کردن خاک‌های دانه‌دار از قبیل ماسه و شن نیستند. با افزایش وزن چرخ‌ها به وسیله اضافه نمودن آب و یا ماسه، می‌توان فشار زیر هر زائده را تا ۱۳۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع افزایش داد.

۲-۲-۳-۲- غلتک چرخ آهنی صاف

چرخ‌های این غلتک به صورت استوانه‌ای می‌باشد و می‌توان با اضافه کردن آب و یا ماسه، وزن آنها را افزایش داد. اغلب این غلتک‌ها براساس وزن که معمولاً بر حسب تن بیان می‌شود، طبقه‌بندی می‌گردند. غلتک‌های چرخ آهنی صاف به صورت‌های سه‌چرخ دومحوری، سه‌چرخ سه‌محوری و یا دوچرخ آهنی می‌باشند. هنگام تراکم خاک چسبنده به وسیله این غلتک‌ها، پوسته محکمی در روی سطح ایجاد شده که باعث جلوگیری از تراکم کافی در قسمت پایین لایه می‌گردند. به هر حال این غلتک‌ها جهت تراکم خاک‌های دانه‌دار از قبیل ماسه، شن و خرده سنگ موثر بوده و همچنین در صاف کردن سطح خاکی که قبلاً به وسیله غلتک‌های فرورونده متراکم شده، کاربرد دارند.

۲-۲-۳-۳- غلتک چرخ لاستیکی

این غلتک‌ها با وزن متغیر از ۱۳/۵ تا ۱۸۱ تن موجود می‌باشد. فشار هوا در لاستیک از ۶/۵ تا ۱۰/۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع، متغیر می‌باشد. این غلتک‌ها به علت بار سنگین و فشار زیاد لاستیک، قادر به تراکم همه نوع خاک در عمق زیاد بوده و همچنین تراکم یکنواختی را در لایه‌ها به وجود می‌آورند. قدرت تراکمی غلتک‌های چرخ لاستیکی را می‌توان با افزایش وزن ناخالص دستگاه و یا هر چرخ و همچنین افزایش وزن هر سانتی‌متر پهنای لاستیک و فشار باد داخل لاستیک، افزایش داد.

۲-۲-۳-۴- غلتک ارتعاشی (ویبره‌ای)

غلتک ارتعاشی یا ویبره‌ای با تغییر محل و نزدیک نمودن ذره‌های خاک به یکدیگر و با تحت فشار قراردادن آنها وزن مخصوص توده را افزایش می‌دهد. انواع خاک‌های ماسه‌ای، شنی و سنگ‌های درشت عکس‌العمل بسیار خوبی در مقابل تراکم تولید شده به وسیله ترکیب فشار و ارتعاش از خود نشان می‌دهند. این غلتک‌ها در انواع پاچه‌بزی ارتعاشی، چرخ آهنی صاف ارتعاشی، چرخ لاستیکی ارتعاشی، ویبراتور دستی و تخماق دستی می‌باشند.

ارتعاش این غلتک‌ها به وسیله موتوری که در روی غلتک سوار می‌گردد، انجام می‌پذیرد. ارتعاش‌ها ممکن است ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ در دقیقه، متغیر باشد. مناسب‌ترین تراکم به وسیله غلتک ارتعاشی در سرعت آهسته، بین ۲/۴ تا ۴ کیلومتر بر ساعت حاصل می‌گردد. سرعت آهسته، انرژی ارتعاشی زیادتری را وارد خاک می‌نماید.

ویبراتور دستی با موتور بنزینی برای متراکم کردن خاک و آسفالت در محل‌هایی که ماشین‌آلات بزرگ نمی‌توانند موثر باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دستگاه‌ها توسط مقدار نیرودهی آن در هر ضربه و تعداد ضربه‌ها در دقیقه، بیان می‌گردند. تخماق دستی با موتور بنزینی، قادر به ایجاد ۴۵۰ تا ۵۶۰ ضربه در دقیقه بوده و تا حدود ۲۵۸۰ کیلوگرم‌متر در دقیقه در زیر کفشک، انرژی ضربه‌ای به خاک وارد می‌کند. این دستگاه خودمحرک بوده به طوری که هر ضربه باعث کمی حرکت به جلو برای تماس با خاک جدید می‌گردد.

۲-۲-۳-۵- وزنه‌های سنگین

یکی از روش‌های بهسازی عمیق خاک تراکم دینامیکی است. این نوع بهسازی با سقوط آزاد وزنه‌های سنگین از ارتفاع مشخص، انجام می‌شود. وزن وزنه‌ها ۱۰ تا ۴۰ تن و ارتفاع سقوط از ۱۰ تا ۳۰ متر می‌باشد. مکانیزم تراکم، انتقال انرژی سقوط به زمین و در

نتیجه کاهش تخلخل خاک، در اثر جابجایی ذره‌های خاک در کنار هم، افزایش وزن مخصوص و بهبود خواص لایه‌های زمین و خاکریزی است. تراکم دینامیکی در خاک‌های با درجه اشباع پایین، نفوذپذیری بالا و قابلیت زهکشی مناسب، از کارایی بسیار خوبی برخوردار است.

۲-۳-۳- تجهیزات حفاری

۲-۳-۳-۱- بیل مکانیکی با جام معکوس

این بیل‌ها اغلب برای حفاری دقیق در زیر سطح طبیعی زمین که بر روی آن خود بیل قرار می‌گیرد، به کار می‌رود. بیل مکانیکی با جام معکوس در انواع چرخ زنجیری و چرخ لاستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. انواع عملیاتی که توسط این ماشین با کنترل دقیق عمق صورت می‌گیرد شامل پی‌کنی ابنیه فنی، کانال‌کنی، اصلاح شیب خاکریزها (تریمینگ)، اصلاح شیب ترانشه‌ها، لوله‌گذاری، خاک‌برداری، بارگیری و اجرای پوشش‌های سنگی می‌باشد.

این ماشین قادر به حفاری در انواع زمین‌های نرم تا زمین‌های سخت و حتی سنگ نرم یا ترک خورده بوده و نحوه حفاری آن به وسیله فشار مستقیم جام بیل و سپس کشیدن جام به سمت ماشین، انجام می‌گیرد. حجم جام و قدرت هیدرولیکی ماشین از عوامل موثر در عملیات این ماشین می‌باشد. جام این بیل‌ها توسط بازوی جام به صورت یکپارچه با تیر اصلی به اتاقک گردان با قابلیت گردش ۳۶۰ درجه واقع بر روی یدک‌کش مربوط می‌گردد.

۲-۳-۳-۲- کلامشل

کلامشل یا گراب، با جام چنگالی شکل خود، قادر به حفاری ترانشه‌های عمیق، دیوارهای زیرزمینی (بارت‌های دیوار آب‌بند)، کندن چاه و گودال عمودی عمیق بوده و برای حمل بار و بلندکردن قائم آنها از یک نقطه به نقطه دیگر به کار می‌رود. دامنه حرکت قائم آنها که با جرثقیل طویل به کار برده می‌شود، می‌تواند نسبتاً زیاد باشد.

چون اتصال جام این ماشین به سایر قسمت‌ها به صورت صلب نبوده و توسط سیم بکسل‌های بالابرنده صورت می‌گیرد، لذا حفاری جام ممکن است همراه با نوسان‌هایی در جهات جانبی باشد. بنابراین از عوامل موثر در عملیات این گونه ماشین‌آلات، مهارت راننده می‌باشد. جام این بیل‌ها با کابل‌های کنترل، نگهدارنده و بالابرنده به اتاقک گردان که بر روی یدک‌کش مستقر می‌باشد، مربوط می‌گردد.

به منظور حفاری، در حالی که فک‌های کلامشل باز است، جام از ارتفاع بالا سقوط کرده و در اثر وزن خود داخل خاک شده و با بسته شدن فک‌ها، عمل حفاری و بارگیری انجام می‌گیرد.

۲-۳-۳-۳- دراگ‌لاین

دراگ‌لاین بیل مکانیکی پرقدرتی است که قادر به گودبرداری در انواع خاک‌ها به غیر از صخره سنگ‌ها و بدون تخریب اولیه و بارکردن آن به کامیون می‌باشد. این گونه بیل‌ها دارای سرعت حرکت خیلی کم بوده و ممکن است روی شاسی چرخ لاستیکی و یا چرخ زنجیری سوار شود.

جام این دستگاه با تیرکی یکپارچه بوده که توسط سیم بکسل‌های بالابرنده به اطاقکی مستقر بر روی شاسی مربوط می‌گردد. هم‌زمان با فشار دندان‌های تیز لبه جام به خاک، سیم بکسل‌ها، جام را که به خاک فرو رفته به‌طرف بالا حرکت می‌دهند و جام در حال حرکت به بالا با خاک پر می‌شود.

همچنین می‌توان برای گودبرداری و لجن‌برداری از آبراه‌ها یا گودال‌های پر از آب از آن استفاده نمود. جهت حفاری لازم نیست دراگ‌لاین داخل محل گودبرداری مستقر باشد و این ماشین در خارج از محل گودبرداری، می‌تواند حفاری مورد نظر را تا سطوح خیلی پایین‌تر از سطح اتکا انجام داده و مصالح به‌دست آمده را در خارج محل گودبرداری، بار نماید.

گودبرداری با کشیدن جام بیل کششی به‌طرف ماشین، در حالی که عمق کار توسط طناب بالابرنده تنظیم می‌شود، انجام می‌گیرد. جام‌ها در انواع مشبک و غیرمشبک، با دندان و بدون دندان وجود دارند که جام‌های مشبک برای حفاری در زیر آب به‌کار می‌روند.

۲-۳-۴- تجهیزات بارگیری و انتقال مصالح

۲-۳-۴-۱- لودر

لودرها به‌طور وسیعی در عملیات اجرایی برای جابجایی و حمل مصالح، نظیر خاک و سنگ، بارگیری کامیون‌ها، برای خاک‌برداری به عنوان بولدوزر و غیره به‌کار گرفته می‌شود. لودرها در دو نوع چرخ زنجیری و چرخ لاستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. لودرهای نوع چرخ لاستیکی ممکن است توسط چرخ‌های عقب آنها فرمان‌پذیر باشد و در فضاهای کم، کاربرد وسیعی دارند.

۲-۳-۴-۲- کامیون و واگن

کامیون‌ها در حمل و نقل خاک، شن و ماسه، سنگ و سایر مواد مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. این دستگاه‌های حمل‌کننده، به‌خاطر سرعت زیاد در روی راه‌های مناسب، دارای ظرفیت زیاد بوده و به همین دلیل هزینه حمل و نقل مواد را نسبتاً پایین می‌آورند. کامیون‌ها را می‌توان با توجه به عوامل متعددی از قبیل اندازه و نوع موتور (بنزینی، گازویلی و غیره)، تعداد دنده‌ها، نوع محرک بودن و تعداد چرخ‌های آنها (دو چرخ محرک، چهار چرخ محرک، شش چرخ محرک و غیره)، روش تخلیه (از عقب، جانبی، از زیر، به‌صورت هیدرولیکی یا کابلی)، نوع موادی که می‌تواند حمل کند (خاک و سنگ و غیره) و ظرفیت آنها (بر حسب تن یا مترمکعب) گروه‌بندی نمود.

واگن‌ها در حقیقت تریلرهای مخصوص حمل مواد خاکی هستند که به‌وسیله تراکتور یا کامیون کشیده می‌شوند. (منظور از تراکتور، اتاق راننده، موتور کشش و ملحقات آن است). واگن‌ها قادر به تخلیه مواد حمل شده از عقب، از کف و یا از پهلوها هستند.

۲-۳-۴-۳- سامانه‌های تسمه نقاله

سامانه‌های تسمه نقاله به‌طور وسیعی در حمل و نقل موادی نظیر خاک، ماسه، شن، سنگ‌های شکسته، سیمان، بتن و غیره به‌کار برده می‌شود. به خاطر جریان دایمی مواد با سرعت نسبتاً زیاد، تسمه نقاله‌ها دارای ظرفیت زیادی هستند. قسمت اساسی سامانه تسمه نقاله شامل یک تسمه پیوسته، قرقره تکیه‌گاهی، دستگاه محرک، قرقره‌های محرک و متحرک، تجهیزات برداشتن مواد و اسکلت

تکیه‌گاهی است. تسمه، سطح تکیه‌گاه و حرکت دهنده‌ای است که مواد را در روی خود جای می‌دهد. انواع متعدد تسمه از نظر اندازه، نوع و مقاومت وجود دارد.

۲-۳-۵- یدک‌کش‌ها (کشنده‌ها)

۲-۳-۵-۱- یدک‌کش جرثقیل

این یدک‌کش دارای انواع چرخ‌لاستیکی و زنجیری می‌باشد. مهم‌ترین مشخصه این نوع یدک‌کش، قابلیت گردش ۳۶۰ درجه حول محور خود می‌باشد. قطعه‌های الحاقی این یدک‌کش معمولاً کلامشل^۱، دراگ‌لاین^۲، جرثقیل^۳، شمع‌کوب، بیل مکانیکی و ... می‌باشد.

۲-۳-۵-۲- یدک‌کش تراکتور

یدک‌کش تراکتور جهت کشیدن، به جلو راندن و انتقال اقسام بارها مورد استفاده قرار می‌گیرد. روی تراکتورها انواع و اقسام لوازم مکانیکی از قبیل بیل‌های مکانیکی نصب شده در جلوی تراکتور (قطعه‌های الحاقی)، ریپرها (خراشنده‌ها)، تیغه‌های بولدوزر، دکل لوله‌گذار جنبی، کج‌بیل‌ها یا بیل‌های نیم‌گردان، نهرکن‌ها و غیره نصب می‌گردند. از انواع تراکتور، تراکتور چرخ‌زنجیری و چرخ‌معمولی (لاستیکی) می‌باشند. تراکتورها در انواع مختلف با جعبه دنده معمولی و هیدرولیکی می‌باشند. این نوع یدک‌کش، مانند یدک‌کش جرثقیل بوده با این تفاوت که قادر به حرکت حول محور خود نمی‌باشد.

۲-۳-۵-۳- یدک‌کش کامیون

این یدک‌کش دارای انواع چرخ‌لاستیکی بوده و قطعه‌های الحاقی این یدک‌کش معمولاً کمپرسی، جرثقیل و ... می‌باشد.

۲-۳-۶- تجهیزات متفرقه

۲-۳-۶-۱- تجهیزات تولید مصالح سنگی (سنگ شکن)

یک کارخانه سنگ‌شکن ممکن است شامل چندین نوع و اندازه سنگ‌خردکن، سرنده و تسمه نقاله باشد. سنگ‌شکن‌ها پس از دریافت مصالح سنگی از معدن سنگ، ابتدا مصالح را در سنگ‌خردکن اولیه، تقلیل اندازه داده و سپس در سنگ‌خردکن‌های بعدی کاهش بیش‌تری در اندازه سنگ ایجاد می‌نمایند. سنگ‌خردکن‌های اولیه به روش فکی و دورانی، سنگ‌خردکن‌های ثانویه به روش مخروطی، غلتکی و آسیاب‌چکش و سنگ‌خردکن‌های مرحله سوم به روش غلتکی، آسیاب میله‌ای و آسیاب گلوله‌ای عمل می‌نمایند. قبل از ورود سنگ به سنگ‌خردکن، عمل جداسازی ضروری می‌باشد. بدین منظور، سنگ‌های بزرگ‌تر از اندازه مجاز که باعث بسته شدن روزنه‌های دستگاه می‌شود و همچنین خاک و گل و سایر خردریزها که وجود آنها در مواد نهایی مضر می‌باشد، از دور عملیات حذف می‌گردند. بدین وسیله بار روی سنگ‌خردکن نیز کاسته شده و ظرفیت کلی دستگاه افزایش می‌یابد. سرنده‌کردن سنگ

1- Grab

2- Drag line

3- Crane

خردشده به منظور جدا نمودن دانه‌ها در اندازه‌های مختلف، لازم می‌باشد. از انواع سرندها، سرندهای دورانی و سرندهای ارتعاشی را می‌توان نام برد.

بعد از خردشدن و سرندشدن مصالح سنگی، انتهای تسمه نقاله باید تا آن‌جا که امکان دارد پایین نگه داشته شود تا انبارنمودن دانه‌های تولید شده بدون جداشدگی مصالح ریز و درشت از هم، در اثر سقوط از ارتفاع و تاثیر باد، انجام گیرد.

۲-۳-۶-۲- تجهیزات ساخت و حمل بتن

الف- بتونیر (مخلوط کن)

برای اختلاط کامل مصالح بتن و تولید مرغوب از بتونیر استفاده می‌شود. به لحاظ کاربرد بتونیرها در انواع بتونیر ساختمانی، بتونیر راه‌سازی، بتونیر سیار و دستگاه مخلوط‌کن مرکزی طبقه‌بندی می‌گردند.

اندازه بتونیر با حجم بتنی که از یک مخلوط می‌تواند تهیه نماید، مشخص می‌شود. این حجم معمولاً با مترمکعب بیان می‌شود. تعداد مخلوط در ساعت بستگی به زمان مخلوط و روش تخلیه بتن وابسته می‌باشد. زمان مخلوط بتن، معمولاً یک دقیقه برای بتونیرهای تا ۰/۷۶ مترمکعب تعیین شده است. این زمان برای اندازه‌های بزرگ‌تر به ازای هر ۰/۷۶ مترمکعب اضافی یا کسری از آن به میزان ۱۵ ثانیه یا کسری از آن متناسباً اضافه می‌گردد.

بتونیرهای ساختمانی در اندازه‌های استاندارد، ۳/۵S (۰/۱۰ مترمکعب) تا ۱۱۲S (۳/۲ مترمکعب) موجود بوده که اعداد داخل پرانتز، نشان‌دهنده حجم بتنی است که بتونیر می‌تواند مخلوط نماید.

ب- دستگاه مخلوط‌کن مرکزی

دستگاه مخلوط‌کن مرکزی برای تولید بتن جهت عملیات سازه‌های بزرگ و بتن‌ریزی‌های حجیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. این دستگاه شامل ماشین‌آلات برای حمل شن و ماسه و سیمان، اختلاط و یک تا چهار بتونیر به اندازه ۰/۸ تا ۳/۲ مترمکعب می‌باشد. بتونیرها ممکن است هنگام تخلیه از نوع کج شونده و یا ثابت باشند. مخلوط بتن ممکن است در داخل جام جرثقیل، کامیون‌های مجهز به همزن و یا کامیون‌های کمپرسی (اگر بتن دارای حباب هوا باشد) ریخته شود.

ج- بتونیر سیار یا کامیون همزن

یک بتونیر سیار یا کامیون همزن عبارت است از کامیونی که بر روی آن یک بتونیر نصب شده است. هنگامی که شن، ماسه و سیمان در کارگاه تهیه و مخلوط آنها در داخل بتونیر انجام شود و بتونیر در راه تا محل پروژه، بتن مورد نظر را مخلوط و تهیه نماید، این دستگاه را بتونیر سیار می‌گویند و اگر دستگاه تنها برای حمل بتن ساخته شده باشد و تنها تا محل کار، برای جلوگیری از جدایی ذره‌ها آن‌را به هم زند، این دستگاه را کامیون به هم‌زن می‌گویند. بتونیر سیار در اندازه‌های مختلف ۰/۷۶ تا ۵/۷۳ مترمکعب موجود می‌باشد. بتن از بتونیر سیار یا کامیون همزن باید در خلال یک ساعت و نیم بعد از اضافه کردن آب به مخلوط سیمان و شن و ماسه، تحویل و تخلیه گردد.

د- تدارک‌های حمل بتن

- **گاری‌های موتوردار (دامپر):** این نوع گاری‌ها دارای ظرفیتی برای ۰/۲۵ تا ۰/۳۸ مترمکعب و سرعتی برابر ۲۴ کیلومتر در ساعت می‌باشند و با موتور مناسب، قادر به حمل بتن می‌باشند.
- **جرثقیل‌ها:** اندازه جام‌های این گروه تا ۰/۲۵ مترمکعب می‌باشد. از مزایای این سامانه، سهولت دسترسی به نقاط مختلف پروژه است که دلیل آن شعاع عمل زیاد جرثقیل و امکان جابجا شدن آن، می‌باشد و همچنین از جرثقیل در اجرای سایر کارها می‌توان بهره گرفت.
- **کمپرسی:** اگر بتن با حباب هوادار در بتن‌ساز مرکزی مخلوط شده باشد، می‌تواند توسط اتاق کمپرسی مخصوص تا چند کیلومتر حمل گردد. مصرف مواد تولید کننده هوا باعث ایجاد ۳ تا ۶ درصد حجم هوا در بتن شده و این امر جدایی ذره‌های بتن را به وجود می‌آورد. اطلاق این نوع کمپرسی‌ها دارای ظرفیت‌های مختلفی در حد ۳ مترمکعب می‌باشند.
- **دستگاه پمپاژ بتن:** ماشین‌آلات پمپاژ بتن شامل یک مخزن با مخلوط به همزن جهت جلوگیری از جدایی ذره‌ها می‌باشد که بر روی یک پمپ افقی سوار بوده و دارای لوله‌های افقی و سایر متعلق‌ها است. بتن توسط لوله‌های آهنی پمپاژ می‌شود. این روش در آستر کردن تونل‌ها و یا موارد و مناطقی که به آسانی نمی‌توان از روش‌های معمولی جهت تهیه و تدارک بتن استفاده نمود، به کار می‌رود. پمپ‌ها در اندازه‌های مختلف موجود می‌باشند. با پمپ تک سیلندر تا ظرفیت ۰/۹۰ مترمکعب در ساعت و دو سیلندر تا ظرفیت ۱/۸۵ مترمکعب در ساعت را می‌توان پمپاژ کرد که بستگی به اندازه پمپ، لوله و درجه روانی بتن دارد. بتن با درجه روانی بیش‌تر، بهتر پمپ می‌شود.

۲-۳-۶-۳- پمپ‌ها

در کارهای مهندسی رودخانه، از پمپ‌ها به منظور عملیات کشیدن آب از گودال‌ها، پایین آوردن سطح آب برای کارهای حفاری، تهیه آب برای آبراه‌ها و عملیات اجرایی و مصارف خدماتی و تزریق در پی استفاده می‌گردد. پمپ‌ها به دو نوع، با حرکت جابجا شونده و گریز از مرکز، قابل دسته‌بندی کردن هستند.

الف- پمپ با حرکت جابجا شونده

این نوع پمپ‌ها در دو نوع رفت و برگشتی و دیافراگمی می‌باشند. پمپ‌های رفت و برگشتی در نتیجه حرکت پیستون داخل سیلندر کار می‌کنند و آب با حرکت پیستون از داخل سیلندر، خارج و هم‌زمان از طرف دیگر سیلندر به داخل کشیده می‌شود. این پمپ‌ها در ارتفاع‌های متغیر، قادر به ایجاد جریان یکنواخت پمپاژ هستند، ولی برای پمپاژ آب‌های آلوده به اشغال مناسب نیستند. در پمپ‌های دیافراگمی با حرکت بالا و پایین میله‌ای، مکش آب به داخل و تخلیه آن از طرف دیگر میسر می‌گردد. این گونه پمپ‌ها برای جابجایی آب‌های آلوده به گل، لجن و اشغال متداول می‌باشد.

ب- پمپ گریز از مرکز

اگر یک پمپ گریز از مرکز دارای یک پروانه باشد، آن را یک مرحله‌ای و اگر تعداد پروانه‌ها دو یا چند مرحله‌ای باشد، آن را چند مرحله‌ای گویند. پمپ‌های چند مرحله‌ای برای فشار زیاد و یا ارتفاع اسمی پمپاژ زیاد، مناسب هستند.

پمپ‌های گریز از مرکز در انواع معمولی، خودتحریک و هوایی می‌باشند. پمپ معمولی گریز از مرکز دارای یک عضو دورانی است که به آن پروانه می‌گویند. این عضو به آبی که داخل پمپ می‌شود، سرعتی کافی می‌دهد که حتی در مقابل فشارهای قابل ملاحظه خارجی از پمپ به خارج، جریان می‌یابد. عمل یک پمپ گریز از مرکز، دادن سرعت لازم به آب در هنگام ترک پروانه است. پمپ گریز از مرکز خودتحریک معمولاً در مراکز آب و فاضلاب به کار برده می‌شود و در زیر سطح آب در طرف مکشی قرار داده می‌شود. لذا این پمپ‌ها در کارهای ساختمانی مناسب‌تر از پمپ‌های نوع معمولی هستند. پمپ گریز از مرکز هوایی با هوای فشرده کار می‌کنند و ابزار مفیدی برای جابجا کردن آب‌های صاف، کثیف، روغن، فاضلاب و یا آب‌های لجن‌آلود می‌باشند.

۲-۳-۴- کمپرسور هوا

کمپرسور هوا ماشینی است که با استفاده از افزایش فشار هوا به وسیله کاهش حجم، برای سوراخ کردن تخته‌سنگ‌ها، به راه‌انداختن موتورهای هوای فشرده و ابزارهای دستی، شمع کوبی، پمپ‌ها، دستگاه‌های گل‌کش، دستگاه‌های تمیزکننده و غیره به کار می‌رود. کمپرسور هوا در انواع رفت و برگشتی، یک‌عمله و دو‌عمله، یک و دو و چندمرحله‌ای، دورانی و گریز از مرکز می‌باشند.

۲-۳-۵- جرثقیل‌ها

جرثقیل از یک اتاق فرمان و یک تیر بلند مشبک (بوم) و یک قلاب تشکیل شده است. جرثقیل‌ها معمولاً برای بلند کردن اجسام سنگین و حرکت دادن آنها به کار می‌روند. ظرفیت جرثقیل از روی شعاع عمل آن تعیین می‌شود. شعاع عمل، فاصله افقی بین مرکز چرخش اتاق کنترل تا قلاب انتهایی تیر مشبک می‌باشد. سایر عوامل تعیین‌کننده ظرفیت جرثقیل عبارت است از نوع زمین محل کار، وزنه تعادل، نوع و اندازه کابل فلزی متصل به قلاب، اندازه قلاب، وضعیت تیر مشبک نسبت به اتاق فرمان و وضعیت مکانیکی جرثقیل.

از انواع دیگر جرثقیل‌ها، استفاده از تیر یکپارچه به جای تیر مشبک و جرثقیل بلند^۱ می‌باشد. جرثقیل‌های بالارونده، جرثقیل‌های بلندی هستند که ارتفاع آنها با پیشرفت ارتفاع سازه افزایش داده می‌شود.

۲-۳-۶- شمع کوب

از شمع کوب برای کوبیدن شمع‌ها استفاده می‌شود. بدین منظور از سقوط وزنه سنگینی که توسط جرثقیل بالا برده می‌شود، استفاده می‌گردد. وزنه به صورت نوسانی و یا به صورت سقوط آزاد به محل مورد نظر برخورد می‌کند. چکش شمع‌کوب بالا برده می‌شود و سپس بر روی کلاهک شمع، انداخته می‌شود و این عمل باعث فرو رفتن شمع در خاک می‌گردد. شمع کوب علاوه بر تیر اصلی جرثقیل، تشکیل شده از صفحه‌های مخصوص فوقانی که برای اتصال لوله هادی وزنه به انتهای تیر اصلی جرثقیل به کار می‌رود. از انواع شمع کوب‌ها، شمع کوب هیدرولیکی، شمع کوب هوای فشرده، شمع کوب بخاری، دیزل و لرزه‌ای می‌باشد.

۲-۴- تجهیزات هیدرومکانیکی

نقشه‌های جزییات و ساخت تجهیزات باید براساس نقشه‌های کلی (نقشه‌های اولیه و راهنما) مندرج در آلبوم نقشه‌های اجرایی یا سایر اسناد پیمان تهیه شود. کیفیت مصالح، ساخت، حمل و نصب، آزمایش و رنگ‌آمیزی کلیه کارهای فلزی و تجهیزات مکانیکی و هیدرومکانیکی باید طبق مشخصات و اطلاعات مندرج در نقشه‌های جزییات، مشخصات فنی عمومی و خصوصی یا طبق نظرهای دستگاه نظارت باشد.

نقشه‌های اجرایی تجهیزات و ادوات هیدرومکانیکی باید براساس استاندارد و آیین‌نامه‌های معتبر تهیه شود. در طراحی این ادوات، ضخامت‌های مجاز، نوع فولاد مصرفی، نحوه جوش کاری و خصوصاً رواداری‌های مجاز باید ارائه گردد. نقشه‌های قرارداد که از طرف مهندس مشاور برای تجهیزات مکانیکی داده می‌شود، فقط جنبه راهنمایی دارد و نقشه تفصیلی، تلقی نمی‌شود. این نقشه‌ها تنها شامل ابعاد و اطلاعات کلی و نیز شرایط و ضرورت‌های اختصاصی این تجهیزات خواهد بود.

۲-۴-۱- دریچه‌های فلزی

دریچه‌های فلزی مورد استفاده در سازه‌های مهندسی رودخانه برای مقاصد مختلف به کار گرفته می‌شوند که شامل دریچه‌های آبیگری، تخلیه رسوب، دریچه‌های وارسی سطح آب، دریچه‌های یک‌طرفه و غیره می‌باشند. دریچه‌ها ممکن است به صورت الکتریکی، مکانیکی و یا دستی، باز و بسته شوند. دریچه‌ها از لحاظ شکل و نوع به صورت قطاعی، کشویی و غیره طبقه‌بندی می‌شوند. دریچه‌های فلزی باید به طور کامل طبق مشخصات فنی خصوصی و اندازه‌های مندرج در نقشه‌های تفصیلی تهیه شوند. نقشه‌های کارگاهی شامل کلیه جزییات مربوط به برش کاری، پرس کاری، سوراخ کردن، جوش کاری و اتصال قطعات، با ضخامت‌ها و استانداردهای مربوط و روش حمل و نصب در محل است و باید قبلاً به تایید دستگاه نظارت برسد.

دریچه‌های فلزی باید بتواند از حالت تمام‌بسته تا تمام‌باز در هر وضعیت که مورد نظر باشد، قرار بگیرد. مکانیزم تغییر وضعیت دریچه‌ها باید طوری باشد که به جز ماموران بهره‌برداری، کسی نتواند آنها را دست کاری کرده و وضعیت آنها را تغییر دهد. دسترسی به تمام قسمت‌های دریچه‌های فلزی به منظور تعمیر و نگهداری، باید به آسانی مقدور باشد.

در صورتی که به آب‌بندی نیاز باشد، باید با مانور دریچه‌ها به طور هم‌زمان تامین شود. در صورت استفاده از بالابر برقی، موتورهای مصرفی باید ضدآب و تا حد امکان ضد رطوبت بوده و مجهز به ترمز دستی باشند. در این صورت، پیش‌بینی مانور دستی اضطراری برای کنترل دریچه ضروری است. طبق مشخصات، لاستیک‌های آب‌بندی باید قابل انعطاف بوده و نشست آن از حد مجاز بیش‌تر نباشد.

با توجه به خصوصیات و تجهیزات مربوط، بهره‌برداری و نگهداری از دریچه‌های فلزی متفاوت است و کارخانه سازنده، باید راهنمای استفاده صحیح از دریچه‌ها و تجهیزات مربوط و چگونگی بهره‌برداری و نگهداری از آنها را ارائه کند.

الف- دریچه‌های قطاعی

این دریچه‌ها برای تخلیه آب‌های اضافی از سدهای انحرافی، شیب‌شکن‌ها، تخلیه رسوبات و غیره به کار برده می‌شوند. مانور این دریچه‌ها بر حسب کوچک و بزرگ بودن آن به وسیله دست یا برق انجام می‌شود. در دریچه‌هایی که به وسیله برق مانور می‌گردند، هندل دستی برای حالت‌های اضطراری و قطع برق پیش‌بینی شده است. هنگام طراحی دریچه‌های قطاعی باید کلیه نیروهای

استاتیکی و دینامیکی وارد شده، ارتعاش‌های زلزله، فشار باد و نیروهای هیدرولیکی در محاسبات مربوط منظور شود. کلیه دریچه‌های قطاعی باید مجهز به مشخص‌کننده مقدار گشودگی دریچه بوده و به تایید دستگاه نظارت رسیده باشد.

این دریچه‌ها باید هر ماه یک‌بار در فصل بهره‌برداری (آب‌گیری) بازدید شود و در آخر فصل، سرویس دریچه‌ها به‌طور کامل انجام گیرد. در این ارتباط لازم است قسمت‌های زنگ‌زده پس از تمیز شدن طبق دستور کارخانه رنگ‌آمیزی گردد. در حین رنگ‌آمیزی باید دقت شود که لاستیک آب‌بندی رنگی نشود. لاستیک‌های آب‌بندی باید حداقل سالی یک‌بار مورد بازدید قرارگیرد و در صورت نشت آب، تنظیم و در صورت پارگی و فرسودگی تعویض گردند.

توصیه می‌شود برای تخلیه رسوب پشت دریچه‌ها، در فواصل معین زمانی اقدام گردد تا از انباشته شدن رسوبات در پشت آنها جلوگیری شود. اگر دریچه‌ها دارای بالابر برقی باشند، باید برای سرویس و نگهداری قطعات و وسایل آن نیز اقدام گردد.

ب- دریچه‌های غلتکی

دریچه‌های غلتکی در ابتدای مسیر ورودی پلکان ماهی‌رو در سازه‌هایی از قبیل شیب‌شکن و سد انحرافی، آبگیرها، حوضچه‌های رسوبگیر و غیره قرارداد می‌شوند و برحسب بزرگی و کوچکی آن توسط دستگیره (هندل دستی) یا بالابر الکتریکی، مانور می‌گردند. نگهداری از این دریچه‌ها به‌صورت بازدید شش ماهه انجام می‌گردد و در صورت مشاهده زنگ‌زدگی باید محل آن خشک شود و همانند آنچه در مورد دریچه‌های قطاعی گفته شد، رنگ‌آمیزی گردد. در موقع رنگ‌آمیزی باید دقت شود که لاستیک‌های آب‌بندی رنگی نشوند. بهره‌برداری از این دریچه‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که حداقل میزان گشودگی از یک‌چهارم حداکثر آن کمتر نباشد. لاستیک‌های آب‌بندی این دریچه‌ها قابل تنظیم است و در صورت مشاهده نشت اضافی می‌توان برای تنظیم و در صورت پارگی و فرسودگی در مورد تعویض آنها اقدام کرد. بازدید از لاستیک‌های آب‌بند حداقل یک‌بار در سال باید صورت گیرد.

ج- دریچه‌های کشویی لغزشی

کاربرد این دریچه‌ها همانند دریچه‌های غلتکی است و اغلب به‌وسیله بالابر برقی (دریچه‌های بزرگ) یا جک دنده‌ای دستی مانور می‌گردند. این دریچه‌ها را باید هر ۳ ماه یک‌بار گریس‌کاری کرد. نگهداری از این دریچه‌ها به‌صورت بازدید سالانه می‌باشد و در هنگام بازدید، در صورت مشاهده زنگ‌زدگی باید محل آن، تمیز و رنگ‌آمیزی مجدد گردد. در موقع رنگ‌آمیزی باید دقت شود که لاستیک‌های آب‌بندی رنگی نشوند. توصیه می‌شود لاستیک‌های آب‌بندی این دریچه‌ها هر ۳ ماه یک‌بار بازدید شده و در صورت مشاهده نشت اضافی و پارگی تعویض گردد. بازدید از لاستیک‌های آب‌بند حداقل یک‌بار در سال باید صورت گیرد و در صورتی که دریچه دارای بالابر برقی باشد، برای سرویس و نگهداری قطعات و وسایل آن نیز اقدام گردد.

دریچه‌های کشویی را می‌توان براساس نقشه‌های اجرایی به شکل‌های مربع، مستطیل یا دایره ساخت. دریچه‌های کشویی مربعی و مستطیلی از ورق آهن و پشت‌بندهای فلزی و دریچه‌های دایره‌ای از قطعه‌های چدنی ساخته می‌شوند. کلیه دریچه‌های کشویی باید به مشخص‌کننده مقدار گشودگی دریچه مجهز باشد.

۲-۴-۲- شبکه آشغالگیر و فرازبندها

آشغالگیرها که به صورت شبکه‌های فلزی طراحی می‌گردند، ورودی برخی از سازه‌های آبی (دهانه پل‌ها، آبگذر، سیفون، دریچه‌های بزرگ و غیره) قرار داده شده و مانع عبور اجسام بزرگ شناور در آب می‌شوند. شبکه و قاب آشغالگیر باید از فولاد ساختمانی، میلگرد و ورقه‌های فولادی ساخته شود. لازم است همه روزه (برحسب ضرورت و با توجه به میزان مواد و اجسام شناور در آب) آشغالگیرها بازدید و آشغال‌ها جمع‌آوری گردد. همچنین باید آشغالگیر هر ۶ ماه یکبار بازدید شود و در صورت نیاز، تعمیر و رنگ‌آمیزی گردد.

فرازبندها معمولاً برای قطع جریان آب و هدایت آن به مسیر رودخانه یا زهکش و یا غیره در بالادست دریچه‌ها و سازه‌های آبی به کار می‌روند. در مواقعی که دریچه‌ها سرویس، تعمیر و یا تعویض می‌شوند از فرازبندها برای قطع جریان استفاده می‌گردد. مانور فرازبندها برحسب کوچک یا بزرگ بودن آنها به وسیله دست یا جرثقیل انجام می‌شود. فرازبندها باید حداقل سالی یکبار مورد بازدید و بررسی قرار گیرد و در مواردی که برای آب‌بندی آنها از لاستیک‌های مربوط استفاده می‌شود، در صورت پارگی و فرسودگی باید آنها را تعویض نمود و همچنین زنگ‌زدگی بدنه دریچه‌ها را (در صورت فلزی بودن) با رنگ‌آمیزی برطرف کرد.

۲-۴-۳- مصالح و نحوه انجام کار

کلیه تجهیزات باید نو بوده و نوع و کیفیت آن برای شرایط جوی محلی مناسب بوده و یا این که در مقابل این گونه عوامل به خوبی حفاظت شوند. کلیه مصالح مصرفی باید دارای کیفیت قابل قبول بوده و از هرگونه عیب و نقصی عاری باشند. همچنین باید با تصویب قبلی دستگاه نظارت مطابق استانداردهای ایران بوده و در غیاب آن برطبق مشخصات زیر باشند:

– چدن مصرفی برای دریچه‌های کشویی و سایر مصارف، به جز لوله‌های چدنی: ASTM-A48

– صفحات فولادی سخت شده ضدزنگ: ASTM-A276 Type 410M

– صفحات فولادی روکش شده ضدزنگ: ASTM-A264 Type 345

– فولاد برای مصارف عمومی: ASTM-A255 یا مشابه

– فولاد ضدزنگ (میلیگرد، مهاری، بولت، واشر و نظایر آن): ASTM-A276 Type 316 یا مشابه

– آهن مصرفی حسب مورد: ASTM-A42 , A72 , A163 یا مشابه

– فولاد ساختمانی برای اسکلت، تیر، ستون: ASTM-A36 یا مشابه

– ورق‌های گالوانیزه: ASTM-A525 یا مشابه

– لوله‌های سیاه: ASTM-A120 یا مشابه

– پیچ و مهره‌های فولادی سیاه: ASTM-A307 یا مشابه

– پیچ و مهره‌های فولادی با مقاومت زیاد: ASTM-A325 یا مشابه

– پیچ و مهره و واشر گالوانیزه: ASTM-A153 یا مشابه

– پیچ و مهره‌های فولادی ضدزنگ: ASTM-A139 , G.B8 یا مشابه

– برنج و برنز: ASTM-B21 یا مشابه

– آلومینیوم و لوله‌های آلومینیومی: ASTM-B449 یا مشابه

– میخ: ASTM-A276 Type304 یا مشابه

– فولاد ریخته: ASTM یا مشابه

قبل از شروع به ساخت و نصب قطعات فلزی، اندازه‌های مندرج در نقشه‌ها باید به‌منظور انطباق کامل در موقع نصب، با دقت کنترل شود. در صورت برخورد به بی‌تناسبی و یا اختلاف در اندازه‌ها، پیمانکار باید با نظر دستگاه نظارت اصلاحات لازم را انجام دهد. قطعاتی که قرار است در محل کار نصب شوند باید قبلاً در کارگاه با دقت لازم آماده شده، و طبق نقشه‌های کارگاهی شماره‌گذاری شوند، تا در هنگام نصب هیچ‌گونه اشتباهی بروز نکند.

قطعات فلزی باید به ابعاد و شکل‌های لازم به دقت بریده شده و در محل‌های لازم، سوراخ شود. در صورتی که با موافقت دستگاه نظارت برش یا جوش انجام می‌شود، محل‌های بریده شده یا جوش داده شده باید سنگ خورده و کاملاً صاف شود. حداکثر رواداری لبه‌های بریده شده عضوها و قسمت‌های اصلی تا ۳ میلی‌متر است.

اتصالات پیچ و مهره و جوشکاری باید طبق نقشه‌های اجرایی، دستورالعمل‌های دستگاه نظارت و همچنین ضوابط مندرج در فصل پنجم، قسمت اتصال‌ها انجام شود.

در محل‌هایی که سفت کردن مهره مجاز نیست، برای جلوگیری از باز شدن آن باید از مهره‌های اشیپ‌دار استفاده شود. در اتصالات لب به لب، اعضا باید مقابل یکدیگر و در یک تراز قرار داده شوند. پس از اتصال، فاصله آزاد بین دو عضو یا دو قسمت مجاور نباید از ۴ میلی‌متر تجاوز کند.

چدن و فولاد ریخته باید از نظر شکل و ابعاد دقیقاً مطابق نقشه‌ها بوده و عاری از هرگونه نقص زیان‌بخش ریخته‌گری، ترک و تغییر شکل باشد. نمای سطوح قطعات ریخته‌ای باید صاف بوده، و دقیقاً مطابق نقشه‌ها باشد. قسمت‌های مختلف دریچه‌ها، چارچوب‌ها و دستگاه‌های بالابر، معمولاً پس از خاتمه ساخت در کارخانه، مونتاژ می‌شود. مونتاژ باید تا حد امکان روی تکیه‌گاه‌های مناسب انجام شود تا هیچ‌گونه فشاری به هیچ یک از عضوها وارد نشود.

کلیه تجهیزات باید پس از نصب در حضور نمایندگان دستگاه نظارت مورد آزمایش قرار گیرد. هرگونه عیب و نقصی که در نصب تجهیزات مشاهده شود، باید قبل از تحویل موقت توسط پیمانکار برطرف گردد. هر قسمت از تجهیزات که با شرایط تعیین شده مطابقت نداشته باشد و یا به تشخیص دستگاه نظارت معیوب باشد، باید توسط پیمانکار و بدون ایجاد هزینه اضافی برای کارفرما تعویض گردد.

فصل ۳

عملیات خاکی، حفاری و بهسازی

خاک

۳-۱- کلیات

در این فصل، مشخصات فنی و عمومی عملیات خاکی و حفاری، شامل خاکبرداری، خاکریزی و حفاری که به صورت عمومی برای کلیه کارهای مهندسی رودخانه به کار برده می شود، ارائه شده است. قابل ذکر است موضوعها و مشخصات ارائه شده در بسیاری از موارد مشابه موضوعها و توضیحاتی مندرج در نشریه شماره ۱۰۸ و ضوابط و معیارهای فنی شبکه های آبیاری و زهکشی (خاکبرداری و خاکریزی) بوده و لذا فقط در حد اشاره و توضیح کلی ارائه گردیده است. جزییات، مشخصات و ویژگی های فنی مندرج در نشریه ۱۰۸ جهت عملیات خاکی، به جز مواردی که مغایر مباحثی است که در این قسمت به آنها پرداخته شده است، برای عملیات مهندسی رودخانه صادق می باشد. همچنین با توجه به این که همواره در کارهای مهندسی رودخانه امکان برخورد به خاک های مساله دار وجود دارد، در این فصل این گونه خاک ها مورد بررسی قرار گرفته است. مباحث مربوط به بهسازی خاک نیز در این فصل ارائه گردیده است.

به طور کلی عملیات خاکی شامل تمیز کردن بستر و حریم منطقه مورد نظر از درختان و ریشه گیاهان، برداشت خاک های نباتی و نامرغوب، خاک برداری، گودبرداری، خاکریزی و کوبیدن خاک، حفاری و همچنین کارهای حفاظتی به منظور اجرای عملیات فوق، می باشد.

هنگام اجرای عملیات خاکی، پیمانکار باید از تاسیسات و ابنیه فنی موجود در محل به جز آنچه تخریب آن در شرایط خصوصی پیمان یا نقشه های اجرایی پیش بینی شده، حفاظت و حراست نماید، به نحوی که هیچ گونه آسیب و صدمه ای به آنها وارد نیاید. تغییر و دخل و تصرف در موارد فوق جز با تایید دستگاه نظارت و بسته به مورد با هماهنگی و تایید کارفرما و مقام های ذیصلاح به هیچ وجه مجاز نمی باشد. در هر حال اجرای هر گونه عملیات خاکی بدون تایید دستگاه نظارت به هیچ وجه مجاز نمی باشد.

۳-۲- خاکبرداری و گودبرداری

منظور از عملیات خاکبرداری و گودبرداری، کندن زمین به روش دستی یا ماشینی و با تایید دستگاه نظارت و جمع آوری مواد به دست آمده و توده کردن و یا پخش آنها در فاصله مناسب و بارگیری و حمل به محل های از پیش تعیین شده، جهت رسیدن به خط تراز و ابعاد نشان داده شده در نقشه ها و مشخصات فنی و یا تعیین شده توسط دستگاه نظارت می باشد.

۳-۲-۱- برداشت خاک های نباتی و مواد زاید

بستر خاکریزها و سازه ها و سطح زمین هایی که به عنوان منبع قرضه مورد استفاده قرار خواهد گرفت، باید به روش های مناسب از وجود انواع ریشه ها، علف ها و همچنین خاک های نباتی، بقایای مصالح ساختمانی و مواد زاید، تمیز و تخلیه شود و به محلی که توسط دستگاه نظارت مشخص می شود، انتقال داده شود.

در زمین های چمنی با پوشش نازک علفی، برداشت خاک نباتی تا ۱۵ سانتی متر توصیه می شود ولی در زمین های جنگلی تا برداشت کامل ریشه و کنده درختان و رسیدن به بستر مناسب، ادامه می یابد. در هر حالت میزان برداشت خاک نباتی باید در محل توسط دستگاه نظارت تعیین گردد. خاک های نباتی معمولاً در نقاطی نظیر پایین دست شیب ها، روی سطوح شیب دار، به منظور رویش

گیاهان و تثبیت آنها یا در محل‌های دیگر به منظور ایجاد فضای سبز، حمل و ریخته می‌شوند. خاک‌های نباتی اضافی و بدون مصرف به محل‌های تعیین شده حمل و تخلیه می‌گردند.

کلیه مواد زایدی که از عملیات تمیزکاری، برداشت خاک‌های نباتی، ریشه‌کنی و ... حاصل می‌گردد، می‌توان با تایید دستگاه نظارت سوزاند و یا در محل مناسبی دفن نمود. موادی که دفن می‌شود باید با لایه‌ای به ضخامت حداقل ۶۰ سانتی‌متر و به‌وسیله مواد حاصل از خاک‌برداری‌ها پوشانده شود.

۳-۲-۲- خاک‌برداری

منظور از خاک‌برداری، برداشت هرگونه مصالح و مواد خاکی، قلوه سنگ، شن، ماسه و مصالح سنگی ریزشی و لغزشی از بستر رودخانه‌ها، صرف نظر از جنس و کیفیت آنها، به‌منظور تسطیح، جابجایی مصالح، شیب‌بندی و آماده نمودن محل پی سازه‌ها، راه‌های ارتباطی و تامین خاک از منابع قرضه می‌باشد. تمامی عملیات خاک‌برداری باید مطابق با خطوط و تراز موجود در نقشه‌های اجرایی و دستورالعمل‌های دستگاه نظارت صورت پذیرد.

در هنگام عملیات خاک‌برداری باید دقت کافی شود تا از خاک‌برداری اضافی و سست شدن و از بین رفتن مصالح در کف و یا کناره‌ها که جهت احداث سازه، بتن‌ریزی روی آنها انجام می‌گردد، جلوگیری شود. ایجاد دیواره‌های شیب‌دار، باید به‌گونه‌ای باشد که دیواره‌ها پایدار بوده و دارای ظاهر مرتبی باشد. ایجاد شیب و تراز لازم باید به‌وسیله تیغه‌گریدر، اسکرپر، بیل دستی و یا بولدوزر و یا کارگر ماهر انجام گیرد.

در عملیات خاک‌برداری جهت تسطیح اراضی و یا ایجاد شیب یکنواخت برای هدایت بهتر آب، سطح نهایی باید طبق رقوم نقشه‌های اجرایی یا دستورالعمل‌های دستگاه نظارت باشد و رواداری تراز نقاط قطعه زراعی تسطیح شده نباید ± 3 سانتی‌متر از رقوم نقشه‌ها یا مقادیر تایید شده تجاوز کند.

۳-۲-۲-۱- خاک‌برداری در زمین‌های لجنی

زمین‌های لجنی، خاک‌های اشباع شده از آب و حاوی مواد آلی بوده که تحمل بار (وزن) را نداشته و در اثر بارگذاری گسیخته می‌شوند. وجود لجن در محل‌های خاک‌برداری مانعی برای اجرای کار به‌شمار آمده و باعث فرو رفتن عامل کار، تجهیزات، از کار افتادن آنها و در نتیجه تاخیر در اجرای به‌موقع عملیات می‌گردد. در زمین‌های لجنی باید حتی‌الامکان از ماشین‌آلات کوچک، سبک و با سطح اتکای زیاد استفاده شود.

نظر به این‌که حفاری در لجن و حمل مواد، مشکل و غیراقتصادی است، در مواردی که عمق و حجم لجن زیاد باشد، پیمانکار باید براساس دستورالعمل‌های دستگاه نظارت، نسبت به پایدار ساختن لجن از طریق خشک کردن محل، عمل نموده و پس از آن اقدام به عملیات خاک‌برداری نماید.

۳-۲-۲-۲- خاک‌برداری در زمین‌های سنگی

هنگام عملیات خاک‌برداری و حفاری در زمین‌های سنگی، پیمانکار باید مراقبت‌ها و تدابیر لازم را به‌عمل آورده تا حتی‌الامکان ابعاد و رقوم‌های حفاری شده، مطابق با نقشه‌ها و دستورالعمل‌های دستگاه نظارت باشد. چنانچه عملیات سنگ‌برداری اضافی

اجتناب‌ناپذیر باشد، کارهای اضافی باید زیر نظر دستگاه نظارت انجام گیرد. به‌طور کلی عملیات در مناطق سنگی باید به‌نحوی انجام شود که بافت‌های سنگی در زیر خطوط تراز تعیین شده، دست نخورده باقی مانده و در بهترین و مناسب‌ترین حالت ممکن حفظ شود. استفاده از مواد منفجره در حفاری مناطق سنگی، باید با تایید دستگاه نظارت صورت گیرد. نگهداری، انبار کردن و مصرف این مواد باید با اطلاع قبلی و زیر نظر مقام‌های ذیصلاح باشد. تخریب با استفاده از مواد منفجره تا شعاع حداقل ۱۰۰ متری ابنیه و ساختمان‌های ساخته شده یا نیمه‌تمام مجاز نیست و پیمانکار باید حداقل یک ساعت قبل از هر عملیات انفجار، دستگاه نظارت را از محل و وسعت انفجار مطلع نماید. در طول اجرای عملیات، باید برای جلوگیری از خطرهای جانی، مالی و از بین رفتن و خراب شدن تاسیسات و ساختمان‌ها، تمام احتیاط‌های لازم به‌عمل آید. عملیات چالزنی و انفجار باید زیر نظر و مراقبت افراد با تجربه و آموزش دیده و به‌صورتی انجام گیرد که خاک‌برداری به‌دست آمده، طبق خطوط و شیب‌های مشخص شده در نقشه‌ها و دستورالعمل‌های دستگاه نظارت صورت گرفته و حداقل خرابی به قسمت‌های باقی‌مانده وارد آید. چنانچه عملیات انفجاری باعث تخریب اضافی یا احتمالاً سست شدن بستر گردد، پیمانکار باید به هزینه خود، محل مورد نظر را تا رقوم‌های خواسته شده، مطابق دستور دستگاه نظارت بازسازی و ترمیم نماید.

چنانچه روی بسترهای سنگی پی‌سازی انجام می‌شود، این بستر باید عاری از هرگونه مصالح سست و جدا شونده بوده و سطح کار قبلاً صاف شده باشد. شکاف‌ها و ناهمواری‌هایی که احتمالاً در بسترهای سنگی ایجاد شده‌اند، باید قبل از عملیات پی‌سازی، مطابق دستورهای دستگاه نظارت با بتن یا ملات، پر و تسطیح شوند.

در صورت بتن‌ریزی بر روی سنگ، سنگ‌برداری‌ها باید به‌گونه‌ای انجام شود که سطح سنگی که روی آن بتن‌ریزی می‌شود بیش از حدود ± 10 سانتی‌متر از خطوطی که در نقشه‌ها مشخص شده است، تجاوز نکند.

۳-۲-۳- گودبرداری و پی‌کشی محل ابنیه فنی

منظور از گودبرداری و پی‌کشی، انجام عملیات خاکی و کندن محل پی جهت سازه‌ها و ابنیه فنی، حفر ترانشه‌ها برای جاگذاری لوله‌ها و نظایر آن با دست یا ماشین‌آلات مناسب، طبق نقشه‌های اجرایی و دستورالعمل‌های دستگاه نظارت می‌باشد.

در پی سازه‌های فنی، مصالح سست و نامناسب باید با مصالح مناسب و طبق نظر دستگاه نظارت جایگزین و کوبیده شود، مخصوصاً در مواردی که سطح زمین طبیعی پایین‌تر از رقوم طرح باشد. در صورتی که قسمتی از کف قسمت گودبرداری شده، سنگی و قسمت دیگر از آن مصالح خاکی باشد، ایجاد پی همگن با تایید دستگاه نظارت صورت می‌گیرد.

چنانچه عملیات گودبرداری با ماشین انجام شود، گودبرداری باید تا ۱۵ سانتی‌متری رقوم نهایی انجام گردیده و ۱۵ سانتی‌متر باقی‌مانده، با دست برداشته شده و طبق رقوم نقشه‌های اجرایی تنظیم و رگلاژ شود. کف کلیه قسمت‌های گودبرداری باید به دقت و طبق خطوط و تراز نقشه‌های اجرایی، تسطیح و شکل داده شود.

پی‌کشی و گودبرداری در محل‌هایی که در آن پی‌سازی پیش‌بینی شده، با تایید دستگاه نظارت می‌تواند طوری صورت گیرد که تا حد امکان برای سطوح خارجی به قالب‌بندی نیاز نباشد و از جبهه خاک‌برداری شده با استفاده از پلاستیک یا روش‌های مشابه برای بتن‌ریزی استفاده شود. در صورتی که در این محل‌ها قالب‌بندی اجتناب‌ناپذیر باشد و بتوان از جبهه خاک‌برداری شده برای اجرای کارهای بتنی استفاده نمود و همچنین در نقشه‌های اجرایی بین قالب و دیوار گود یا پی، فاصله‌ای پیش‌بینی نشده باشد، می‌توان با تشخیص و تایید دستگاه نظارت به میزان مورد نیاز و حداکثر تا ۵۰ سانتی‌متر در پایین‌ترین نقطه، به ابعاد پی‌کشی اضافه نمود.

۳-۲-۱- ایمنی گودبرداری و حفاظت بدنه پی‌ها

به‌طور کلی محل‌های پی‌کنی باید از نفوذ آب برف، یخ و یا پر شدن با هرگونه مصالح و ضایعات مصون بماند. به‌منظور جلوگیری از نفوذ آب، بسته به مورد باید از روش‌های متداول نظیر احداث دیوار آب‌بند پلاستیک، سپرکوبی، انحراف مسیر آب زهکشی، پمپاژ و غیره استفاده نمود. ترتیب و روش اجرای کار باید قبل از اجرا به تایید دستگاه نظارت رسیده باشد.

پیمانکار موظف است پس از حفر دیواره‌های شیب‌دار و قائم (سطوح موقتی و نهایی)، کلیه اقدام‌های لازم را جهت اطمینان از ایمن بودن به عمل آورده و کارهای لازم و روش‌های حفاظتی را جهت پایدارسازی، با برداشتن سنگ‌های سست و مواد نامناسب به‌کار گیرد. احداث دیوار حایل، مهار بلوک‌های سنگی و یا خاکی و نصب پیچ سنگ، توری فولادی، سپرهای حفاظتی و بتن‌پاشی، از جمله روش‌هایی است که پیمانکار باید با تایید دستگاه نظارت، متناسباً یک یا مجموعه‌ای از آنها را جهت پایداری و جلوگیری از ریزش سنگ و مصالح، به‌کار گیرد. تایید دستگاه نظارت، پیمانکار را از مسوولیت ایجاد ایمنی و پایداری محل‌های کنده شده، مبرا نمی‌کند.

۳-۳- خاکریزی

در کارهای مهندسی رودخانه، خاکریزها و بازوهای خاکی^۱ جهت موارد زیر ساخته می‌شوند:

- خاکریزهای حفاظتی که در امتداد ساحل رودخانه، جهت کنترل سیلاب و محدود نمودن منطقه سیل‌گیری ساخته می‌شوند.
- قسمت غیرسرریز شونده سازه (سد انحرافی، شیب‌شکن و ...) که عرض مازاد بر تاسیسات بتنی در دره یا رودخانه را می‌بندند و به خاکریزهای مسدودکننده مشهور می‌باشند.
- سرریز اضطراری تخریب شونده (فیوز پلاگ) برای عبور سیلاب‌های نادر
- خاکریزهای هدایت جریان به طرف سرریز و مجرای اصلی
- فرازبند و نشیب‌بند به‌منظور انحراف موقت جریان آب

خاکریزها در کارهای مهندسی رودخانه، غالباً سازه‌های کم ارتفاعی می‌باشند. معمولاً مصالح مورد مصرف در این خاکریزها، دارای نفوذپذیری کم بوده که در این‌صورت، جریان آب در بدنه خاکریز باید به دقت کنترل شود. به این منظور متناسب با ارتفاع بازوهای خاکی، طرح و اجرای فیلترها و زهکش‌ها در داخل بدنه، پنجه و شیب بالادست از اهمیت زیادی برخوردار است. برای ساخت خاکریزهای هدایتی (دایک)، باید جنس مصالح مورد استفاده، مورد توجه قرار گیرد. در طراحی و احداث دایک‌های کوتاه، از مقطع همگن با خاک نفوذناپذیر استفاده می‌شود.

۳-۳-۱- انواع خاکریز

به‌طور کلی دو نوع خاکریز وجود دارد. خاکریز کوبیده شده که به‌صورت لایه لایه، مصالح ریخته و با غلتک تا رسیدن به تراکم مشخص، کوبیده می‌شود. نوع دیگر، خاکریز معمولی است که شامل خاکریزهایی می‌شود که تراکم آنها در اثر حرکت کنترل شده

وسایل حمل خاک ایجاد می‌شود (کوبیدن تحت اثر بارهای ترافیکی). در هر صورت در حالت دوم نیز خاکریز باید تراکم مشخص شده در مشخصات فنی خصوصی را دارا باشد.

خاکریزها از نقطه نظر مصالح مصرفی و درصد کوبیدگی که به موارد کاربرد آن بستگی دارد، به انواع خاکریزهای غیرقابل نفوذ و متراکم، خاکریزهای قابل نفوذ یا معمولی، خاکریزهای با مصالح رودخانه‌ای (توونان) و مصالح مازاد تقسیم می‌شوند.

الف- خاکریز غیرقابل نفوذ یا متراکم

این نوع خاکریزها برای خاکریزهای آبراهه‌ها، دایک‌های حفاظتی سازه‌ها، جاده‌ها، بندها و نظایر آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. احداث خاکریزهای غیرقابل نفوذ یا متراکم با مصالح دانه‌بندی شده نسبتاً ریزی که از محل خاک‌برداری‌ها و یا گودبرداری‌ها و یا محل‌های قرضه تعیین شده، تامین شده، انجام می‌گردد. در این گونه خاکریزها، حداقل ۳۰ درصد مصالح باید از الک نمره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر) بگذرد. تراکم این خاکریزها، طبق روش پروکتور استاندارد از ۹۵ درصد کم‌تر نیست.

توصیه می‌شود حداکثر اندازه سنگ‌ها از ۷ سانتی‌متر تجاوز نکند. چنانچه سنگ‌هایی با اندازه بیش از ۷ سانتی‌متر در مصالحی که از سایر جهات مورد موافقت قرار گرفته است، یافت شود باید این سنگ‌ها قبل از شروع عملیات تراکم، از مصالح جدا و خارج شود. سنگ‌های درشت زیر ۷ سانتی‌متر باید به‌خوبی در تمام حجم خاکریز تقسیم شود و در هیچ نقطه‌ای از خاکریز یا پی آن نباید به‌صورت مجتمع درآید.

ب- خاکریز قابل نفوذ یا معمولی

این نوع خاکریزها در مناطقی که خاکریزهای با تراکم بالا مورد نیاز نباشد و جهت ساخت جاده‌های سرویس و بهره‌برداری و نظایر آن، از این نوع خاکریز استفاده می‌گردد. این خاکریز به‌طور کلی دارای مشخصات خاکریز متراکم است ولی دارای درصد کوبیدگی کم‌تری است و مقدار آن طبق روش پروکتور استاندارد، ۸۵ درصد است. خاکریزهای قابل نفوذ، با مصالح ماسه‌ای و شنی، بسته به کاربردشان احداث می‌گردند. دانه‌بندی و مشخصات خاکریزهای ماسه‌ای ریز، ماسه‌ای درشت، شنی ریزدانه، شنی، شن و ماسه‌ای و سنگ شکسته در نشریه شماره ۱۰۸ (ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی) به‌طور کامل ارائه گردیده است.

ج- خاکریز با مخلوط رودخانه‌ای (توونان)

در مواردی که خاک حاصل از عملیات گودبرداری و خاک‌برداری کافی نباشد و یا خاک مناسب در فاصله حمل اقتصادی فراهم نباشد، با توجه به مشخصات فنی خصوصی و با تایید دستگاه نظارت، می‌توان از مصالح رودخانه‌ای (توونان) جهت خاکریز استفاده نمود.

د- خاکریز مصالح مازاد

هنگامی که حجم خاک‌برداری از خاکریزی مورد نیاز بیش‌تر باشد، مصالح مازاد، در محل مناسبی با تایید دستگاه نظارت خاکریزی و انباشته می‌گردد شکل ظاهری این حجم اضافی جهت خاکریزی، با تایید دستگاه نظارت در محل مناسبی انباشته و خاکریزی می‌گردد. کوبیدن خاک‌های مازاد الزامی نیست ولی شکل ظاهری خاکریز (انباشته)، باید منطبق بر شکل طبیعی منطقه و مطابق نظر

دستگاه نظارت باشد و زهکشی آب‌های سطحی در آنها به خوبی و بدون ایجاد مانداب صورت گیرد. شیب شیروانی این خاکریزها (انباشته‌ها) نباید از یک عمودی به ۳ افقی بیش‌تر باشد.

۳-۳-۲- ویژگی‌ها و مشخصات اجرای خاکریزها

۳-۳-۲-۱- مصالح خاکریزی

مصالح مورد استفاده در خاکریزها، از مصالح حاصل از گودبرداری‌ها، خاک‌برداری‌ها و یا از نزدیک‌ترین محل قرضه، با توجه به کیفیت مصالح، شرایط اجرای کار، نوع بهره‌برداری و بارگذاری مطابق دستورها و با تایید دستگاه نظارت تامین می‌گردد. مصالح خاکریزها باید از مواد نباتی و فاسد شدنی عاری بوده و با مشخصات فنی و نقشه‌های اجرایی تطبیق نماید. کلیه خاک‌های گچی، نمکی، نباتی، زراعی، لجنی، متورم شونده، قابل انقباض و خاک‌های دارای مواد آلی و رستنی‌ها، جهت خاکریزی نامناسب بوده و باید از مصرف آنها خودداری گردد.

در صورتی که عملیات خاکریزی در زمین‌های نامناسب انجام شود، جزییات اصلاح و یا تعویض این خاک‌ها برای دستیابی به یک بستر آماده، باید براساس مشخصات فنی خصوصی، نقشه‌های اجرایی و یا دستورهای دستگاه نظارت انجام پذیرد.

۳-۳-۲-۲- آماده‌سازی بستر خاکریزها

قبل از شروع عملیات خاکریزی باید عملیات آماده‌سازی پی خاکریز انجام شود. برای این منظور در صورت وجود آب، باید آن‌را تخلیه نمود. کلیه گودال‌ها، فرورفتگی‌ها و ناهمواری‌های موجود ناشی از برداشت قطعه سنگ‌ها (فراتر از خطوط تعیین شده برای گودبرداری پی) باید با مصالح خاکریزی پر شوند و در صورت لزوم با ملات یا بتن دندانه‌ای پر شود.

اگر بین آماده‌سازی بستر خاکریز و عملیات خاکریزی زمان زیادی فاصله بیفتد، بستر باید مجدداً مورد بازدید قرارگیرد تا در صورت لزوم ترمیم مورد نیاز انجام شود. در صورتی که بستر خاکریز از جنس خاک رس و سیلت باشد، باید حداقل به عمق ۱۵ سانتی‌متر شخم خورده و آب‌پاشی شود و تا حصول درصد کوبیدگی مورد نظر کوبیده شود. چنانچه جنس بستر از نوع شن و ماسه باشد باید تا حد تراکم مورد نظر دستگاه نظارت کوبیده شود. اگر چنانچه مصالح بستر در اعماق بیش از ۱۵ سانتی‌متر دارای تراکم مناسب نباشد با تشخیص دستگاه نظارت مصالح غیرمتراکم مذکور تا عمق مناسب برداشت و عملیات خاکریزی از رقوم پایین‌تری انجام می‌شود.

اگر روی یک پی که قبلاً متراکم شده است بر اثر رفت و آمد ماشین‌آلات ساختمانی، سطح صیقلی ایجاد شود، باید این سطح تا عمق ۵ سانتی‌متر دیسک زده شود. چنانچه عملیات خاکریزی روی سطوح بتنی صورت گیرد، سطح بتن باید تمیز و قبل از خاکریزی مرطوب شود.

در مورد زمین‌های سنگی باید قبل از خاکریزی بستر خاکریز تمیز شده و مواد خارجی و سست آن جمع‌آوری و پس از مرطوب کردن، خاکریزی روی آن صورت گیرد.

۳-۳-۲-۳- پخش لایه‌ها و خطوط شیب و رقوم

پخش مصالح در لایه‌های خاکریزی باید به‌نحوی باشد که در هیچ قسمتی از خاکریز، هیچ‌گونه حفرة، سوراخ و مواد خارجی وجود نداشته و بافت خاک یکسان باشد. عبور و مرور وسایل نقلیه و تجهیزات از منطقه خاکریزی شده باید به‌منظور جلوگیری از گود شدن

و ایجاد شیارهای ناشی از حرکت چرخ‌ها، کنترل شود. بعد از کوبیده شدن، سطح لایه‌های خاکریزی باید کاملاً یکنواخت بوده و هیچ گونه فضای خالی و یا رگه‌های مجزا و یا لایه‌های با دانه‌بندی غیریپوسته و جدا از توده خاکریز نداشته باشد.

عملیات خاکریزی باید در لایه‌های افقی در سرتاسر عرض خاکریز با توجه به شیب جانبی، ساخته شود و نباید با مصالحی که از بالا ریخته می‌شود، به عرض خاکریز اضافه شود. هر لایه بعد از خاتمه کوبیدن لایه قبلی و تایید دستگاه نظارت ریخته شود، طوری که ضخامت هر لایه، قبل از کوبیدن براساس جدول (۳-۱) باشد و پس از کوبیدن به هیچ وجه بیش‌تر از ۱۵ سانتی‌متر نباشد.

اگر پس از کوبیدن لایه‌ای، سطح آن خیلی صاف شده باشد و دستگاه نظارت تشخیص دهد که اتصال کافی با لایه بعدی به‌خوبی انجام نمی‌شود، باید سطح لایه قبل از ریختن لایه بعدی، شخم زده شده تا اتصال بین لایه‌ها برقرار شود. اگر سطح خاکریزهای غیرقابل نفوذ، خیلی خشک یا بیش از حد مرطوب باشد، باید مقدار رطوبت آن قبل از ریختن لایه بعدی اصلاح شود.

خاکریزی باید با توجه به خطوط، شیب و رقوم مندرج در نقشه‌ها صورت پذیرد. مگر این‌که ترتیب دیگری از طرف دستگاه نظارت مقرر شود. سطوح خاکریزی که در معرض دید قرار دارد باید هموار بوده و شکل مطلوبی مطابق با وضع توپوگرافی منطقه داشته باشد.

جدول ۳-۱- راهنمای خاکریزی و کوبیدن

ردیف	طبقه بندی خاکریز	روش کوبش	حداقل تراکم مورد نیاز	حداکثر ضخامت تقریبی لایه‌های خاکریزی قبل از کوبش (سانتی‌متر)
۱	غیرقابل نفوذ	غلتک‌های لرزنده، پاچه‌بزی، چرخ لاستیکی	۹۵ درصد ^۱	۳۰
۲	غیرقابل نفوذ	کوبیدن مخصوص با وسایل لرزنده دستی	۹۵ درصد	۱۵
۳	قابل نفوذ	ترافیک ماشین‌آلات	۸۵ درصد تراکم نسبی	۳۰
۴	قابل نفوذ	غلتک‌های لرزنده، پاچه‌بزی	۸۵ درصد ^۲ تراکم نسبی	۴۰
۵	قابل نفوذ	دستگاه‌های لرزنده دستی	۸۵ درصد تراکم نسبی	۲۰
۶	قرضه‌های مخلوط (تووانان)	ترافیک ماشین‌آلات	-	۳۰

۳-۳-۲-۴- رطوبت بهینه و تراکم خاکریزها

افزایش وزن مخصوص خشک خاک به‌وسیله متراکم کردن آن حاصل می‌شود که بستگی به میزان رطوبت خاک و کوبیدن آن دارد. با تراکم خاک، تخلخل خاک کاهش یافته و با افزایش رطوبت خاک به مقداری مشخص و با کوبیدن خاک، تخلخل خاک به حداقل می‌رسد. افزایش بیش‌تر آب در خاک باعث افزایش تخلخل خاک گردیده و وزن مخصوص خاک کاهش می‌یابد. معمولاً حداکثر وزن مخصوص خشک از حدود 1600 Kg/m^3 برای خاک‌های رسی با پلاستیسیته بالا تا حدود 2200 Kg/m^3 برای یک خاک با مصالح شنی با دانه‌بندی مناسب می‌باشد. رطوبت بهینه نیز از حدود ۵ درصد برای خاک شنی با مصالح ریزدانه تا حدود ۲۵

۱- تراکم طبق روش پروکتور استاندارد، (ASTM-D698)

۲- تراکم نسبی با توجه به استاندارد، (ASTM-D2049)

درصد برای رس‌های سنگین متغیر است. مقدار بهینه رطوبت و وزن مخصوص خشک خاک در آزمایشگاه به‌وسیله آزمایش تراکم به روش پروکتور استاندارد تعیین می‌گردد.

هنگام انجام عملیات تراکم دو عامل اصلی، میزان رطوبت و تراکم خاک باید کنترل گردند. میزان تراکم به‌دست آمده از اجرا به‌صورت درصد بیان می‌گردد که حاصل نسبت وزن مخصوص خشک به‌دست آمده از اجرا به وزن مخصوص خشک اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، به‌وسیله آزمایش می‌باشد.

قبل از شروع به کوبیدن خاکریزهای غیرقابل نفوذ، خاکریز باید دارای رطوبت بهینه که طبق روش پروکتور استاندارد (ASTM-D698) تعیین می‌شود، باشد. آب‌پاشی و افزایش رطوبت لازم، در محل منبع قرضه و یا در محل خاکریز بر حسب مورد با روش مورد موافقت دستگاه نظارت صورت گیرد.

در خاکریزهای قابل نفوذ، تعیین رطوبت مناسب جهت دستیابی به بیش‌ترین تراکم نسبی، روی خاکریزهای ماسه‌ای، شنی و شن و ماسه‌ای باید توسط آزمایشگاه و طبق استاندارد (ASTM-D2049) زیر نظر دستگاه نظارت تعیین شود و بعد از حصول رطوبت مذکور و نفوذ آن به عمق لایه، عمل کوبیدن انجام می‌گیرد.

رطوبت مصالح باید کاملاً یکنواخت باشد و بدین منظور از طریق شخم زدن، دیسک زدن و نظایر آن، یکنواختی رطوبت خاک، قبل از شروع عملیات میسر می‌گردد. در صورتی که تشخیص داده شود که سطح لایه خشک است و از عدم چسبندگی و اتصال کامل آنها با لایه بعدی اطمینان حاصل شود، باید لایه مذکور طبق دستور دستگاه نظارت و مطابق آنچه قبلاً شرح داده شد، مجدداً مخلوط شده و پس از تامین رطوبت لازم، دوباره پخش و کوبیده شود.

در خاکریزهای غیرقابل نفوذ، برای حصول تراکم و مشخصات بهتر مصالح کوبیده شده، توصیه می‌شود رطوبت خاک‌های چسبنده را معادل ۱ تا ۲ درصد کمتر و رطوبت خاک‌های متورم شونده را معادل ۱ تا ۲ درصد بیش‌تر از درصد رطوبت بهینه اختیار نمود.

تعداد عبورهای متوالی وسایل و تجهیزات مکانیکی از هر نقطه و در هر لایه باید به تعدادی باشد که تراکم تعیین شده، حاصل شود. هم‌پوشانی عبورهای متوالی تجهیزات کوبش نباید از ۳۰ سانتی‌متر کمتر باشد. ریختن لایه بعدی به هیچ وجه نباید قبل از تایید لایه کوبیده شده توسط دستگاه نظارت صورت پذیرد.

۳-۲-۵- ملاحظه‌های خاص فنی و اجرایی

اجرای نادرست خاکریزها می‌تواند باعث مشکل در دوران بهره‌برداری و نگهداری آنها شود. یکی از عوامل، احداث آنها در دو مرحله یا دو فصل کاری، بدون در نظر گرفتن درز ساختمانی می‌باشد. ایجاد پیوستگی و یکنواختی در مصالح برای خاکریزهایی که در دو مرحله جداگانه ساخته می‌شوند بسیار مشکل می‌باشد، به‌خصوص اگر در معرض خطر سیلاب باشند. در این حالت، باید یک شیار مثلثی (گوه‌ای شکل) با شیبی معادل زاویه اصطکاک داخلی از خاکریز مرحله قبلی برداشته شود و مرحله جدید خاکریزی بر روی آن به‌صورت پلکانی احداث گردد. همچنین یک هم‌پوشانی جهت حفاظت از شیب ممکن است در نظر گرفته شود.

معمولاً قبل از عملیات خاکریزی (مخصوصاً خاکریزهای حفاظتی)، لایه فوقانی پی خاکریز به عمق ۵۰ سانتی‌متر شیار زده شده و پس از آب‌پاشی مجدداً متراکم می‌گردد، تا بدین وسیله یک لایه سفت و قابل اطمینان بین خاک طبیعی و خاکریز جدید ایجاد گردد. خراشیدن لایه سطحی معمولاً توسط بولدوزر انجام می‌شود. به‌منظور اطمینان از تراکم خوب لبه‌های خاکریز، باید یک نیم‌رخ پلکانی

در شیب کناره خاکریز در نظر گرفته شود. ارتفاع این پله‌ها به‌طور تیپ نباید بیش از ۲ برابر ارتفاع لایه‌های خاکریزی باشد (۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر).

به عنوان یک معیار کلی در صورتی که خاک حاوی بیش از ۵ درصد مواد آلی باشد، نباید جهت خاکریزی به‌کار رود. همچنین از خاک‌های رسی با رطوبت بالا به دلیل این که به سختی متراکم می‌گردند، باید اجتناب نمود. به‌طور کلی به‌منظور دستیابی به تراکم مورد قبول و نفوذناپذیری خاکریز، توصیه می‌گردد درصد ریزدانه (دانه‌های کوچک‌تر از 0.075 میلی‌متر) حداقل ۲۵ درصد و حد روانی (LL) حداکثر ۵۰ درصد و شاخص خمیری (PI) حداقل ۸۰ درصد در نظر گرفته شود.

هدف از آب‌پاشی، دستیابی به رطوبت بهینه می‌باشد. بدین منظور دو روش وجود دارد. روش اول آب‌پاشی خاک در معدن قرضه، قبل از شروع به‌کار بولدوزرها و روش دوم آب‌پاشی خاکریز، پس از پخش و تسطیح آن می‌باشد. در این حالت باید توجه شود که خاکریز، قبل، در حین و بعد از آب‌پاشی باید تیغ زده شود (به‌وسیله دیسک یا چنگک) تا قبل از عمل تراکم، رطوبت به‌طور یکنواخت در تمام لایه پخش گردد. روش اول مناسب مناطق خشک و نیمه‌خشک نمی‌باشد و در این مناطق رطوبت خاک در هنگام حمل، از قرضه تا محل احداث خاکریز، کاهش می‌یابد. همچنین در صورت استفاده از روش اول، مصالح خاکی مرطوب سنگین‌تر بوده و بارگیری و حمل و پخش آن مشکل‌تر می‌باشد. پس از تسطیح یک لایه خاک و اطمینان از رطوبت مناسب، عملیات تراکم با روش مناسب انجام می‌گردد. تعداد نمونه‌برداری برای کنترل رطوبت و وزن مخصوص، برای هر ۵۰۰ متر مکعب خاکریزی، حداقل یک نمونه و یا دو نمونه در هر لایه می‌باشد.

انتخاب نوع مناسب غلتک، بستگی به خصوصیات مصالح و دانه‌بندی آن دارد. عموماً از چهار نوع غلتک چرخ‌لاستیکی، چرخ‌صاف، پاچه‌بزی و ارتعاشی استفاده می‌گردد. غلتک‌های پاچه‌بزی برای خاک‌های با مقدار زیاد رس مناسب می‌باشند و در غیراین صورت از غلتک‌های با چرخ‌صاف استفاده می‌گردد. غلتک‌های پاچه‌بزی و چرخ‌صاف به‌وسیله تراکتور کشیده می‌شوند. غلتک‌های ارتعاشی را می‌توان برای انواع خاکریزی‌ها استفاده کرد ولی برای خاک‌های دانه‌ای، موثرترند و هزینه نگهداری آنها نسبت به غلتک‌های پاچه‌بزی و چرخ‌صاف بیش‌تر است. غلتک‌های چرخ‌لاستیکی جهت تحکیم خاک ترجیح داده می‌شوند. در طراحی خاکریزها معمولاً جهت دستیابی به تراکم مورد نظر لایه‌های خاک، نوع غلتک و تعداد عبور آن تعیین می‌گردد. همچنین از دو نوع ماشین‌آلات دستی به نام‌های زمین‌کوب و صفحه‌های لرزشی برای تراکم سطوح کوچک در نقاطی که ماشین‌آلات قادر به انجام کار نیستند، استفاده می‌گردد.

در کارهای کوچک و کم‌حجم که نیاز به تراکم به روش دستی است از روش‌های زیر استفاده می‌شود. خاک‌های دانه‌ای که چسبندگی بسیار کمی دارند، در حالت اشباع یا نیمه اشباع، به راحتی در لایه‌های یکنواخت حدود ۲۰ سانتی‌متری پخش گردیده و به‌صورت دستی متراکم می‌گردند (هر لایه باید با تعداد مشخصی ضربه متراکم کننده دستی که قبلاً مشخص گردیده، متراکم گردد). برای خاک‌های با چسبندگی زیاد (CL-CM) که به سختی به‌طور دستی متراکم می‌گردند، قطعه‌های منظمی از رس، توسط بیل دستی بریده شده و به محل احداث خاکریز حمل می‌گردند. این قطعه‌ها دارای وزن مخصوص قابل قبولی می‌باشند اما چنانچه سعی در جهت متراکم کردن به روش دستی گردد، باعث به‌وجود آمدن خلل و فرج در خاک گریده که به‌سادگی برطرف نمی‌گردد. این قطعه‌ها باید به‌طور منظم کنار یکدیگر چیده شده و سپس با قطعه‌های رسی کوچک‌تر، فضای بین آنها پر گردد و سپس سطح بیرونی آن تسطیح شود.

اتصال بین لایه‌ها باید مورد توجه قرار گیرد، به‌خصوص اگر برای تراکم از غلتک‌های ارتعاشی استفاده می‌گردد. در این حالت سطح فوقانی لایه بسیار صاف بوده و جهت ایجاد اتصال با لایه بعدی باید تیغ زده شود.

گاهی اوقات جهت کنترل تراوش در خاکریزها، مصالح دانه‌ای با دانه‌بندی مشخص تعبیه می‌گردد. در خاکریزهای کوچک معمولاً از زهکش‌های ترانشه‌ای (خندقی) استفاده می‌گردد. حفر ترانشه زهکش، توسط بیل مکانیکی صورت می‌گیرد.

در هنگام جاگذاری لوله‌های آب در خاکریزها باید دقت شود تا نشست نامتقارن باعث شکست لوله نشود و از تراکم خاک ریخته شده در اطراف لوله اطمینان حاصل کرد. لوله‌ها باید در ترانشه‌هایی که بدین منظور در خاک طبیعی حفاری شده‌اند، جاگذاری گردند. عرض ترانشه باید به اندازه‌ای باشد که گنجایش لوله و ریختن یک لایه خاک در اطراف آن‌را داشته باشد. روش لوله‌گذاری بستگی به اندازه لوله و جنس آن دارد. لوله‌های پلاستیکی به علت انعطاف‌پذیری و پایداری در مقابل حرکت می‌توانند به‌صورت دستی کار گذاشته شوند. جهت کارگذاری لوله‌های فولادی و بتن مسلح، از جرثقیل و بیل مکانیکی استفاده می‌گردد. در خصوص اتصال لوله‌ها باید دقت کافی شود، چرا که نشست از محل اتصال می‌تواند باعث به‌وجود آمدن تراوش در خاکریز گردد.

محل اتصال خاکریزها به سازه‌های بتنی باید با دقت زیاد خاکریزی گردد و توصیه می‌شود، خاک محل اتصال از نوع ریزدانه با PI بزرگ‌تر از ۳۰ بوده و با وسایل دستی با تراکم ۹۵ درصد پروکتور استاندارد کوبیده شود و به تایید دستگاه نظارت برسد. همچنین می‌توان برای اتصال بهتر، از بنتونیت غلیظ و یا خاک و سیمان استفاده نمود.

۳-۳-۳- پر کردن پشت ابنیه فنی

در محل‌هایی که در اثر گودبرداری ابنیه فنی، فضای خالی ایجاد شود، این فضای خالی باید پس از تخلیه مواد زاید، با مصالح مورد تصویب دستگاه نظارت پر و متراکم گردد. بدین منظور، لایه‌ها با وسایل مکانیکی و یا با وسایل دستی کوبیده شده و در ضخامت‌های حداکثر ۱۵ سانتی‌متر متراکم می‌شود. درصد رطوبت لایه‌ها باید طبق دستور دستگاه نظارت تنظیم شود، تا تراکم ۹۵ درصد پروکتور استاندارد به‌دست آید. همچنین باید دقت لازم به‌عمل آید تا هنگام خاکریزی و کوبیدن پشت سازه‌های فنی، به سازه آسیب نرسد.

۳-۴- خاک‌های مساله‌دار

یکی از مهم‌ترین مسایل ژئوتکنیکی که کاربری طرح را می‌تواند تحت تاثیر قرار دهد و یا منجر به تخریب آن گردد، خاک‌های مساله‌دار می‌باشد. لذا لازم است با انجام مطالعات ژئوتکنیکی لازم در محدوده طرح، خاک محل از لحاظ ژئوتکنیکی مورد مطالعه قرار گرفته و تمهیدهای مقتضی جهت مقابله با خطرهای احتمالی این خاک‌ها، در نظر گرفته شود. خاک‌های مساله‌دار به خاک‌های واگرا، متورم شونده، رمبنده و روانگرا اطلاق می‌شود که در قسمت‌های بعدی توضیح داده می‌شود.

۳-۴-۱- خاک‌های واگرا

خاک‌های ریزدانه خاصی در طبیعت وجود دارند که در اثر جریان متمرکز با آب، حتی اگر سرعت جریان کم باشد، به سرعت شسته می‌شوند. این خاک‌ها عموماً از نوع رسی بوده و دارای یون سدیم هستند. خاک رسی واگرا در تماس با آب، پراکنده و از یکدیگر جدا می‌گردد. این خاک به شدت فرسایش‌پذیر بوده و در جریان آب با گرا دیان هیدرولیکی کم، روان می‌گردد.

الف - مشکل‌های ناشی از واگرایی

در زیر پوشش بتنی شیروانی‌ها و آبستتگی و فرسایش خاک در زیر پوشش و یا از روی خاکریز دایک‌ها بر اثر جاری شدن آب‌های سطحی به دلیل وجود خاک‌های واگرا، موجب تخریب آنها می‌گردد. آبستتگی تحت جریان‌های متمرکز، عمده‌ترین مساله خاک‌های واگرا است که فرآیند فرسایش در داخل و زیر سازه‌ها به بالادست پیش‌روی کرده و مسیر فرسایش به صورت یک مجرا به منبع آب متصل می‌گردد که این فرسایش می‌تواند به تخریب سازه و یا از دست رفتن کاربری آن منجر گردد.

ب - شناسایی خاک‌های واگرا

در سطح زمین، خلل و فرج و حفره‌های نسبتاً بزرگ ناشی از جریان آب و آبستتگی، وجود خاک‌های واگرا را محتمل می‌نماید. مجرای آبستتگی تشکیل شده در خاک‌های واگرا غالباً کوزه‌ای شکل است. البته عدم وجود آبستتگی و فرسایش در سطح زمین به معنی واگرا نبودن خاک منطقه نیست. متداول‌ترین آزمایش‌های شناسایی خاک‌های واگرا، آزمایش کرامب، آزمایش پین‌هول، آزمایش هیدرومتری دوگانه و آزمایش‌های شیمیایی تعیین درصد کاتیون‌ها می‌باشد. شناسایی خاک‌های واگرا به صورت علایم صحرایی و انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی به صورت توأم انجام می‌شود. از بین روش‌های آزمایشگاهی با توجه به تجارب به دست آمده، آزمایش پین‌هول دارای دقت بیش‌تری می‌باشد.

ج - بهبود و اصلاح خاک‌های واگرا

به طور کلی عدم استفاده از خاک‌های واگرا توصیه می‌گردد و در صورت ضرورت استفاده، لازم است موارد، زیر نظر کارشناس ژئوتکنیک ذیصلاح انجام شود. جهت مقابله با مشکل‌های ناشی از خاک‌های واگرا، روش افزودن مواد شیمیایی (آهک و سولفات آلومینیم) به خاک توصیه می‌گردد. با افزودن هیدروکسید کلسیم به خاک رسی، پدیده جایگزینی کلسیم به جای سدیم به وقوع می‌پیوندد. درصد بهینه آهک مورد نیاز با آزمایش تعیین گردیده و مقدار آن از ۲ تا ۶ درصد خاک متغیر می‌باشد. روش دیگر، استفاده از سولفات آلومینیم بوده و درصد اختلاط آن حدود ۰/۵ تا ۲ درصد خاک می‌باشد. تعیین مقدار دقیق اختلاط با انجام آزمایش‌های مربوط و توسط آزمایشگاه ژئوتکنیک مشخص خواهد شد.

۳-۴-۲ - خاک‌های تورم‌زا

خاک‌های متورم شونده خاک‌هایی هستند که در اثر افزایش رطوبت، افزایش حجم قابل توجهی از خود بروز می‌دهند. پدیده تورم پدیده‌ای برگشت‌پذیر است؛ یعنی خاک بعد از کم شدن رطوبت منقبض می‌شود. پدیده تورم در زیر تراز آب زیرزمینی منتفی می‌باشد.

الف - مشکل‌های ناشی از تورم

خرابی‌های ناشی از تورم خاک معمولاً به صورت بالا آمدن دال کف، ترک خوردن دیوارها و بالا آمدن پوشش‌های بتنی خاکریزها می‌باشند.

ب- شناسایی خاک‌های تورم‌زا

عمدتاً هر خاکی که علایمی از انقباض و ترک‌خوردگی در شرایط خشک از خود نشان می‌دهد، قابلیت تورم در اثر جذب رطوبت دارد. شناسایی خاک‌های متورم شونده عمدتاً به دو روش مستقیم و غیرمستقیم انجام می‌شود. در روش مستقیم، اندازه‌گیری تورم در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه تحکیم انجام می‌گردد که با روش‌های تورم آزاد، تورم با سربار و تورم با حجم ثابت، (ASTM-D4546) انجام می‌شود. در روش غیرمستقیم، تورمزایی خاک با استفاده از رابطه‌های تجربی و سایر خصوصیات خاک بررسی می‌شود. از این روش‌ها می‌توان به روش USBR اشاره نمود.

ج- بهبود و اصلاح خاک‌های تورم‌زا

- **تثبیت با آهک:** یون قوی کلسیم در آهک ضمن تثبیت رس، تورم آن را کاهش می‌دهد. درصد آهک بین ۲ تا ۷ درصد می‌باشد که براساس آزمایش، میزان دقیق آن مشخص می‌شود. عملیات تثبیت بهتر است در دو مرحله با فاصله چند روز انجام شود که در هر مرحله نصف درصد آهک اضافه می‌گردد.
- **اختلاط با ماسه:** در این روش، خاک تورم‌زا تا عمق مورد نظر با ۳۰ الی ۴۰ درصد ماسه مخلوط و پس از آب‌پاشی، متراکم می‌شود.
- **تثبیت با سیمان:** معمولاً افزودن ۲ الی ۴ درصد سیمان به خاک، موجب کاهش زیاد حد روانی، نشانه خمیری و پتانسیل تورم خاک می‌شود.
- **کنترل رطوبت:** جلوگیری از نفوذ آب به خاک زیر سازه و ثابت نگاه داشتن رطوبت آن، از روش‌های جلوگیری از تورم خاک است.

۳-۴-۳- خاک‌های رمبنده

خاک‌های رمبنده در حالت طبیعی با درصد رطوبت اندک، دارای مقاومت ظاهری نسبتاً زیادی هستند ولی پس از جذب رطوبت و اشباع شدن، فضای خالی بین ذره‌ها کاهش زیادی می‌یابد و خردشدگی در ساختار خاک به وجود می‌آید که منجر به نشست‌های ناگهانی خاک می‌گردد.

خاک‌های رمبنده عمدتاً خاک‌های لس هستند و از نوع بادرفت نظیر ماسه بادی همراه با مقدار بسیار کمی سیلت و رس با تخلخل زیاد و وزن مخصوص کم می‌باشند. این خاک‌ها در مناطق کویری به وفور وجود دارد.

الف- مشکل‌های ناشی از رمبندگی

خردشدگی ساختار خاک رمبنده پس از جذب رطوبت، نشست‌های نامتقارن و قابل توجهی را در پی سازه‌ها می‌تواند به دنبال داشته و باعث فروریختن آن گردد. برخلاف تحکیم معمولی که کاهش فضای خالی بین ذره‌ها و در نتیجه خروج آب از خاک با گذشت زمان اتفاق می‌افتد، نشست یک خاک رمبنده کم و بیش ناگهانی بوده و در یک لحظه با رسیدن آب به خاک رخ می‌دهد.

ب- شناسایی خاک‌های رمنده

از آزمایش‌های تعیین قابلیت رمندگی خاک (ASTM-D5333)، جهت تعیین پتانسیل رمندگی خاک استفاده می‌شود. اساس این آزمایش بر مبنای آزمایش تحکیم است. همچنین مدل‌های تعریف شده توسط هولتز و هیلف نیز که براساس حد روانی، تخلخل و وزن مخصوص خشک خاک است نیز به این منظور استفاده می‌شود.

ج- بهبود و اصلاح خاک‌های رمنده

متداول‌ترین روش اصلاح خاک‌های رمنده به شرح زیر است:

- **اشباع کردن:** در حالتی که عمق خاک رمنده و تاثیر رطوبت $1/5$ الی 2 متری باشد می‌توان با اشباع کردن خاک این اعماق و سپس متراکم کردن این خاک‌ها با غلتک، مشکل خاک رمنده را مرتفع نمود.
- **بارگذاری و تراکم:** متراکم کردن بافت خاک رمنده با کاهش فضای خالی بین ذره‌ها، می‌تواند به از بین رفتن پتانسیل رمندگی خاک منجر شود. در لایه‌های سطحی می‌توان از تراکم با غلتک استفاده نمود، ولی برای لایه‌های پایین‌تر از روش تراکم دینامیکی که در آن یک وزنه سنگین از ارتفاع زیاد بر روی زمین رها می‌شود، استفاده می‌گردد.
- **تزریق:** با استفاده از روش تزریق می‌توان فضاهای خالی را قبل از فروریزی پر نمود.
- **سایر روش‌ها:** از روش‌های دیگر می‌توان به استفاده از روش‌های آب‌اندازی با سیلیکات سدیم و یا کلرید کلسیم و تراکم ارتعاشی اشاره کرد.

۳-۵- حفاری

عملیات حفاری به دو روش، احداث روباز با گودبرداری از سطح زمین و پرکردن آن پس از پایان عملیات در صورت لزوم و احداث با حفاری در زیر زمین صورت می‌گیرد.

۳-۵-۱- اجرا با گودبرداری از سطح زمین

در این روش مساله اساسی، نگهداشتن جدارهای گودبرداری شده می‌باشد. برای این منظور روش‌های متعددی موجود است که در زیر به آنها اشاره شده است.

الف- گود شیروانی‌دار

در این روش، خاک‌برداری با شیب‌های جانبی پایدار اجرا شده و سپس در داخل گود، قالب برای مجرا مستقر می‌گردد.

ب- گود با جدار میخ‌کوبی شده

در مواردی که پهنای خاک‌برداری کوچک و زمین تا اندازه‌ای چسبنده باشد، می‌توان با میخ‌کوبی جدار گود به‌وسیله میله‌های فولادی به طول چند متر به داخل زمین، جدارهای گود را قائم نگهداشت. این کار باید به‌تدریج که گودبرداری انجام می‌شود صورت گیرد. فاصله بین میله‌ها تابع مشخصات زمین است. در زمین‌های ماسه‌ای، سوراخ‌هایی در سطح جدار به ردیف‌های منظم به‌تدریج که

گود پایین برده می‌شود، احداث می‌کنند و در آنها میله‌هایی قرارداده و با خمیر شل سیمان، پر می‌نمایند تا محکم شود. سپس شبکه‌ای فلزی، روی جدار گسترده و به سر میله می‌بندند و بتن روی آن می‌پاشند، به گونه‌ای که تمام سطح جدار را دربر گیرد و از اثرهای تخریبی باد و باران جلوگیری نماید.

این روش گودبرداری در زمین‌هایی که یکپارچه نبوده و یا در مجاورت آب زیرزمینی قراردارند و همچنین در مواقعی که نزدیکی محل گودبرداری بارهای سنگین وجود داشته باشد، قابل استفاده نمی‌باشد.

ج- گود با جدار قائم با استفاده از سپر

این روش، بیش‌تر در کارهای رودخانه‌ای یا بندری مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپرها می‌توانند با توجه به شرایط و کاربردها از جنس چوب، بتن و یا فولاد باشند. جاگذاری سپرها با کوبیدن به وسیله سپرکوب و یا فرو بردن به وسیله مرتعش کردن، صورت می‌گیرد.

د- گود با جدار برلنی

در این روش ابتدا با حفر چاه‌هایی به قطر ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر به فواصل ۲ تا ۵ متر و عمق بیش‌تر از کف شالوده مجرا و سپس جاگذاری تیرهای فولادی به مقاطع I و H و پر کردن آنها با بتن کم‌عیار، به منظور نگهداشتن تیرها و گیردار کردن پای آنها، گودبرداری انجام می‌پذیرد. اجرای گودبرداری به صورت مرحله‌ای است و عمق گودبرداری در هر مرحله، بنا بر نوع و پایداری زمین مشخص می‌گردد. در خلال انجام گودبرداری و پس از تخریب بتن گیرداری در فاصله بین تیرهای فولادی، این فواصل الوار بندی می‌شوند. عوامل حفاظتی یا الوارها ممکن است تیرهای چوبی، بتن قالب‌بندی شده و ریخته شده درجا، قطعه‌های بتن مسلح پیش‌ساخته و یا بتن پاشیده شده باشد. در حالت اخیر قبل از بتن‌پاشی، شبکه‌های فلزی بین تیرها را به زمین تکیه می‌دهند.

هنگامی که عمق گودبرداری از چند متر تجاوز نمی‌کند، گیرداری پای تیرهای فولادی برای نگهداری و مقابله با رانش خاک‌ها بر جدار کفایت می‌کند. وقتی عمق گودبرداری به حدی باشد که گیرداری پای تیرهای فولادی، مقاومت کافی در برابر رانش نداشته باشد، می‌توان با تیرهای افقی چوبی یا فولادی یا لوله، جدارها را از بالا به هم بست.

این روش هنگامی که آب زیرزمینی به داخل گود وارد شده و یا سازه‌ها و تاسیسات بسیار سنگین در دو طرف گود واقع باشد، قابل استفاده نمی‌باشد.

ه- گود با جدار پارسی

این روش مشابه با گود با جدار برلنی است با این تفاوت که به جای تیرهای فولادی، در دیوارها، تیرهای چهارگوش بتن مسلح پیش‌ساخته به کار می‌برند و به تدریج که گودبرداری پیش می‌رود، بین این تیرها در روی جدار گود، بتن‌پاشی شده و برای این که بتن بهتر مستقر شود، غالباً سر میلگردهای داخل تیرها را بیرون گذاشته تا با بتن ریخته شده درجا، درگیر شوند.

این روش نیز در مناطقی که احتمال ورود آب زیرزمینی به گود وجود دارد و بارهای بسیار سنگینی در دو طرف گود واقع باشند، قابل استفاده نمی‌باشد.

و- گود با شمع‌های متقاطع

اگر منظور ایجاد جداری باشد که در مقابل نشت آب ایستادگی کند و در مقابل رانش خاک هم مقاومت داشته باشد، روش شمع‌های متقاطع به کار برده می‌شود. در این روش در طول جدار گود قبل از گودبرداری شمع‌هایی متصل به هم از بتن یا بتن مسلح احداث شده، سپس به گودبرداری می‌پردازند.

ز- گود با جدار قالب‌ریزی شده

در این روش قبل از گودبرداری دیوار قائم بتنی به ضخامت ۵۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر ساخته شده که نقش دیوار نگهدارنده و آب‌بند را دارد. اجرای دیوار در چند مرحله انجام می‌شود. ابتدا در دو طرف جدار دو دیوار بتن مسلح به عمق حدود یک متر می‌سازند تا محل برقراری دیوار را مشخص سازد و در موقع گودبرداری، کار هدایت شود (دیوار راهنما). سپس حفاری محل دیوار را با عمق بیش‌تر از عمق سازه مجرا که باید ساخته شود، انجام می‌دهند. برای این که دو طرف محل حفاری پایدار بماند و ریزش نکند، آن را از گل حفاری (بتونیت) پر می‌کنند. گل حفاری علاوه بر نگهدارندگی دیوارهای حفاری شده، منافذ موجود در زمین را با لایه‌ای که کیک نامیده می‌شود، می‌پوشاند و به پایداری کمک می‌کند. حفاری در قطعه‌های به طول ۵ تا ۶ متر اجرا می‌شود. اگر در حفاری به زمین خیلی سفت برخورد شود از وزنه‌های سنگین با لبه‌های تیز (ترپان) استفاده می‌شود. همچنین می‌توان از دستگاه هیدروفرز برای حفاری در زمین‌های سست و یا سنگی استفاده کرد.

بعد از اتمام حفاری یک قطعه ۵ تا ۶ متری قفس آرماتور که قبلاً آماده شده در محل قرار داده شده و سپس بتن‌ریزی انجام می‌شود. بتن‌ریزی با لوله ترمی از کف شروع شده و به طرف بالا ادامه می‌یابد. انتهای لوله باید همواره در داخل بتن باشد و گل بتونیت به تدریج خارج می‌شود. به‌منظور تعبیه درز بین قطعه‌ها، در محل درز، لوله فولادی قرارداده و قبل از این که بتن خود را بگیرد، آن را خارج می‌کنند و یا می‌توان از درزهای پلیسترن یا درزهای پیش‌ساخته استفاده کرد. پس از اتمام بتن‌ریزی و سفت‌شدن آن، خاک‌برداری گود شروع شده و به تدریج که گودبرداری پیش می‌رود، جدارهای دو طرف با تیرهای فولادی یا کش‌های مهار، در جای خود تثبیت می‌شود. در بعضی موارد این دیوارها به عنوان قسمتی از سازه مجرای اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ح- گود با جدارهای پیش‌ساخته

در این روش کارهای مقدماتی از قبیل اجرای دیوار راهنما و حفاری، مانند روش جدار قالب‌ریزی شده، است ولی در جدارهای پیش‌ساخته با دقت بیش‌تری انجام می‌شوند.

مزایای این روش نسبت به روش جدار قالب‌ریزی شده عبارتند از کنترل صحیح ساخت، یکنواختی نتایج، مقاومت بیش‌تر بتن، داشتن اطمینان درباره آغشته شدن کامل میلگردها با بتن، ناتراوا بودن بتن، امکان کاستن از ضخامت جدار، عدم نیاز به صاف‌کاری نماها و غیره. ضخامت صفحه‌ها بین ۳۰ تا ۸۰ سانتی‌متر و بلندی آنها کم‌تر از ۲۰ متر و عرض آنها بین ۱/۵ تا ۳ متر است. صفحه‌های پیش‌ساخته به هنگام جاگذاری در داخل شیلاری که در صفحه کناری پیش‌بینی شده، قرار می‌گیرند و یا این که به‌صورت کام و زبانه اجرا می‌شوند. در مواردی که فشار آب زیاد باشد از آب‌بندهایی که در شکاف‌های پیش‌بینی در دو طرف صفحه قرار دارند استفاده می‌شود که در صورت توخالی بودن این درزگیرها، خمیر سیمان با فشار در آنها وارد شده که سبب افزایش حجم درزگیر و چسبیدن آن به صفحه‌های دیگر می‌گردد.

ط- گود با کش‌های مهاری

برای مقابله با رانش خاک و یا فشار آب که به پشت جدار وارد می‌شود و جلوگیری از حرکت جدار از کش‌های مهاری استفاده می‌شود. این کش‌ها چون تحت کشش قرار می‌گیرند معمولاً فولادی و گاهی از الیاف شیشه می‌باشند. دو نوع کش مهاری موجود است، کش مهاری که وقتی شروع به حرکت می‌نماید تاثیر می‌کند و در حال عادی تحت کشش نیست و نوع دیگر مهاری موثر یا محرک که پیش‌تینده هم نامیده می‌شود و از ابتدا به‌وسیله جکی که در سر آن قرار دارد، کشیده شده است. اجرای یک کش مهاری در چند مرحله انجام می‌شود. ابتدا یک حفره برای قراردادن مهاری که معمولاً به طور مایل است با قطر حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر به‌وسیله دستگاه حفاری دورانی اجرا می‌گردد. سپس میله‌های فلزی یا سیم‌های به‌هم بافته شده در داخل آن جاگذاری می‌گردد. مهاری کردن آنها با تزریق خمیر شل سیمان و ایجاد کشش با استفاده از جک هیدرولیکی صورت گرفته و برای ایجاد کشش ثابت از گوه‌های بین صفحه توزیع فشار و جدار استفاده می‌شود. برای جلوگیری از زنگ‌زدگی فولاد که در صورت پیش‌تندگی سریع‌تر است، منطقه‌ای که در سیمان مهاری می‌شود در داخل لوله یا غلافی که تزریق قبلی شده و همچنین سر مهاری را در محفظه‌ای خاص قرار می‌دهند و قسمت آزاد را هم در لوله‌ای که از سیمان یا صمغ مصنوعی پر شده، می‌گذارند.

۳-۵-۲- اجرا با حفاری در زیرزمین

در مواردی که مجرا در عمق زیادی قرار گرفته و یا شرایط موجود از قبیل عبور از زیر رودخانه، زیر کوه و غیره ایجاد نماید، اجرای حفاری در زیرزمین صورت می‌گیرد. روش‌های حفاری باید متناسب با ابعاد مقطع حفاری، نحوه استقرار دستگاه‌ها و نحوه تخلیه مصالح انتخاب گردد. در زیر روش‌های حفاری در زیرزمین شرح داده شده است.

الف- حفاری در زمین‌های سخت یا سنگی

- استفاده از مواد منفجره

در این روش، مواد منفجره در چال‌هایی به قطر ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر که قبلاً حفر شده است، قرار می‌گیرد. مواد منفجره می‌تواند از باروت سیاه (مواد منفجره کند) که سرعت واکنش در این ماده نسبتاً کم است و موجب خرد شدن سنگ نمی‌شود و یا از نیتروگلیسرین، دینامیت، نیتروتولن (مواد منفجره سریع یا خردکننده) استفاده کرد. طرز چال‌زنی و قرار گرفتن چال‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا مقدار سنگی که در اثر انفجار خرد می‌شود بستگی به جهت و شیب چال دارد. برای چال‌زنی می‌توان از ماشین‌های حفاری با استفاده از هوای فشرده و یا دستگاه‌های ضربه‌ای هیدرولیکی و ... استفاده نمود. بعد از چال‌زنی و جاگذاری مواد منفجره، چال‌ها خرج‌گذاری می‌شوند و از چاشنی‌های تاخیری استفاده می‌شود تا تمام چال‌ها با هم منفجر نشوند. این تاخیر زمانی حداکثر ۵/۰ ثانیه باشد. همچنین باید دستگاه تهویه برای خارج کردن گازهای تولید شده در اثر انفجار تعبیه نمود. پس از تهویه باید بلافاصله مواد حفاری شده را جمع‌آوری و خارج نمود. پس از خارج نمودن مواد حفاری شده به‌منظور تثبیت مقطع حفاری شده و مانع از جدا شدن و پایین افتادن قطعه‌های سنگ، جدارها حایل می‌شوند. قطعه‌های سنگ را می‌توان به‌وسیله میله‌های فولادی که سنگ‌های اطراف طاق را به سنگ‌های سالم و پابرجا متصل می‌کنند، مهاری و تثبیت کرد و یا با بتن‌پاشی روی بدنه سنگی از ریزش جدارها جلوگیری کرد.

- اجرا با ماشین‌های حفاری

ماشین‌های حفاری سرعت پیش‌روی بیش‌تری نسبت به استفاده از مواد منفجره دارند و همچنین در مناطقی که کاربرد مواد منفجره خطرناک و ممنوع است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. ماشین‌های حفاری دارای مزایای متعددی از قبیل به‌وجود نیاموردن مقاطع خارج از مقطع و متزلزل نشدن زمین در موقع سنگ‌بری و برش زمین به‌طور منظم، می‌باشند. البته استفاده از این‌گونه ماشین‌ها هزینه بسیار بالایی در بر دارد.

ماشین‌های حفاری به‌طور کلی در دو دسته، ماشین‌های برش موضعی و ماشین‌های حفاری تمام مقطع قرار می‌گیرند. ماشین‌های برش موضعی دارای سرمقطع حفاری خیلی کوچک‌تر از مقطع مجرا می‌باشند. از مزایای این ماشین‌ها می‌توان به عدم ترک‌خوردگی و لرزش و در نتیجه پایداری بیش‌تر زمین اطراف، هم‌زمانی کار حفاری و بارگیری مواد و تخلیه آنها، سرعت پیشرفت بالا در زمین‌های نرم نیمه‌سخت، عدم حفاری خارج از مقطع و نیاز به نیروی انسانی کم‌تر اشاره نمود. از معایب این‌گونه ماشین‌ها، هزینه بالا، لزوم نیروی انسانی ماهر، ایجاد گرد و خاک زیاد و لزوم تهویه مناسب می‌باشد. ماشین‌های حفاری تمام مقطع، دارای مقطع دایره‌ای هم اندازه مجرا بوده (البته ماشین‌های ویژه‌ای هم هستند که صفحه گردان آنها کوچک‌تر از مقطع مجرا است) و معمولاً دارای یک صفحه گرد که روی این صفحه ابزارهای سنگ‌بری نصب شده و حول محور خود دوران می‌کند، می‌باشند. مزایای ماشین‌های تمام مقطع در مواردی که استفاده از آنها با مسایل طرح مورد نظر وفق دهد (هزینه بسیار بالا)، سرعت حفاری، کاهش حفاری خارج از مقطع، کاهش حایل‌بندی‌ها، صرفه‌جویی در پوشش مجرا، تقلیل عوامل ناراحت کننده از قبیل صدا و لرزه و بهبود شرایط کار می‌باشد. از معایب این‌گونه ماشین‌ها می‌توان به، سنگین بودن سرمایه‌گذاری لازم، عدم نرمش لازم جهت کار با ماشین، سختی انتقال ماشین از یک جبهه کار به جبهه کار دیگر، تغییرهای اندک در قطر ماشین و عدم استفاده در کارگاه دیگر اشاره نمود. در این روش حفاری تجهیزات و ماشین‌آلات بارگیری و حمل و نقل باید طوری تامین گردد تا حفاری به‌طور پیوسته انجام گیرد. همچنین باید هم‌زمان با پیش‌روی حفاری، شرایط توده سنگ‌ها بررسی شده تا چنانچه محدوده‌هایی که حفاری در آنها با ماشین‌های حفاری امکان پذیر نباشد به شیوه مناسب حفاری و نگهداری گردد.

ب- حفاری در زمین‌های سست و غیرسنگی

در زمین‌های غیرسنگی (شن، ماسه، لای، لجن و غیره)، مهم‌ترین خطری که در حفاری به‌وجود می‌آید، ریزش بالای قسمت حفاری شده می‌باشد. همچنین این پدیده می‌تواند تا سطح زمین منتشر شده و فرورفتگی (نشست) خاک را ایجاد کند.

- روش‌های سنتی

در زمین خیلی سست روش سنتی شناخته شده، روش دالان‌های چوب‌بندی شده است. این روش در هر نوع زمین سست و در عمق زیاد و حتی در برخورد به سفره آب زیرزمینی به کار می‌رود. سرعت پیش‌روی با این روش بسیار کم و از این‌رو فقط در کارهای کوچک از این روش استفاده می‌شود. روش اجرا به این ترتیب می‌باشد که به تدریج و پشت سرهم قسمت‌های کوچکی از حفاری و پوشش را که به ترتیب شامل طاق، دیوارها و کف‌بند می‌باشد، اجرا می‌کنند. در زمین‌های متوسط، روش‌های سنتی دیگری به کار گرفته می‌شود که مراحل مختلف کار همانند روش دالان‌های چوب‌بندی شده می‌باشد و فقط تقدم و تاخر کارها متفاوت است. هر روش به حسب طریقه‌ای که در خاک‌برداری به کار می‌رود، اسم کشوری را به خود گرفته است. به‌عنوان مثال می‌توان به روش

انگلیسی (خاک‌برداری تمام مقطع پوشش به ترتیب شامل دیوارها، طاق و کف‌بند) که در زمین‌های نسبتاً سالم و چسبنده کاربرد دارد، اشاره کرد. از روش‌های دیگر، روش آلمانی (سه دالانی)، روش اطریشی (دو دالانه) و روش بلژیکی (دالان فوقانی) اشاره نمود که برای آشنایی بیش‌تر می‌توان به کتب تخصصی مربوط مراجعه کرد.

- پیشرفت‌های جدید و بهبود روش‌ها

در اثر پیشرفت‌ها و تحول‌های فنی، روش‌های فوق تکمیل و روش‌های جدیدی هم ابداع شده است. پایه اصلی این تحول‌ها، اصلاح مشخصات زمین و به‌کار بردن مصالح (بتن، فولاد و غیره) و استفاده از تکنیک‌های جدید است.

- **بهبود مشخصات زمین:** مستقل از روشی که به‌کار گرفته می‌شود، در شرایطی که زمین، فاقد چسبندگی است و یا هنگامی که فشار آب زیرزمینی زیاد و خاک بسیار تراوا باشد، کار با عدم موفقیت روبرو است و یا حداقل مشکل‌های زیاد و خسارت‌های سنگین، غیرقابل اجتناب است. در این مورد لازم است جنس زمین اصلاح شود؛ یعنی تحکیم یا ناتراوا گردد. وقتی سطح آب زیرزمینی زیاد بالا نبوده و شدت جریان هم طوری نباشد که زمین را متلاشی کند، یک زهکشی افقی برای انجام حفاری و خاک‌برداری کفایت می‌کند. اگر سطح آب زیرزمینی زیاد بالا باشد و کف گودبرداری در عمق زیادی نسبت به سفره آب قرارگیرد، باید قبلاً سطح آب با وسایل کافی در منطقه پایین برده شده و در همان تراز نگه‌داشته شود. روش‌های پایین بردن سطح آب زیرزمینی با توجه به میزان تراوایی زمین تفاوت می‌کند. در هر صورت روش اتخاذ شده و نحوه اجرا باید به تایید و تصویب دستگاه نظارت برسد.
- **یخبندان مصنوعی:** روش دیگر که نسبتاً قدیمی است و جنبه موقتی دارد، یخبندان مصنوعی است. اصول کار به این صورت است که در زمین، لوله‌های سردکننده‌ای با حفاری قرار می‌دهند و با عبور ماده سرد کننده از لوله‌ها، گرمای زمین را آن‌قدر پایین می‌برند تا یخ بزند. آب زیرزمینی در اطراف لوله‌ها، استوانه جامدی از یخ را به وجود می‌آورد که اتصال این استوانه‌ها در زمین، پرده حفاظتی همگن، پیوسته، مقاوم و ناتراوا به‌وجود می‌آورد. مقاومت ایجاد شده در زمین‌های منجمد شده به عوامل متعددی از قبیل دانه‌بندی زمین، میزان تخلخل و مقدار آب در آن، نمک موجود در آب، نوع و مقدار باری که به زمین وارد می‌شود و میزان بروود انجماد بستگی دارد. در این روش وقتی که جریان آب در داخل زمین شدید باشد مقدار زیادی از سرمایی که به زمین داده می‌شود از بین می‌رود و ایجاد دیوار همگن و پیوسته در داخل زمین غیرممکن می‌گردد و همچنین یخبندان سبب افزایش حجم خاک می‌شود که قابل کنترل نیست و پس از ذوب شدن یخ، نشست پدید می‌آید. به‌طور کلی این روش پر هزینه و در اکثر موارد پیش‌روی کار کند است.
- **تزریق:** به‌وسیله تزریق می‌توان چسبندگی خاک را بهبود بخشید و یا از تراوایی لایه‌های خاک تا حد آب‌بندی کاست. در این روش، ماده‌ای به‌صورت خمیر شل یا دوغاب یا مایه‌ای با غلظت مناسب در فضاهای خالی زمین (ترک‌ها و حفره‌های بین دانه‌ها) که بعد از نفوذ در فضاهای خالی سفت شود، تزریق می‌شود. بر حسب نوع زمین، مقدار و شکل فضاهای خالی آن، مواد مورد استفاده برای تزریق متفاوت می‌باشد. برای سنگ‌های ترک‌دار و شن و ماسه درشت با تراوایی بالا از مخلوط سیمان و بنتونیت استفاده می‌شود. (می‌توان به جای بنتونیت از خاک رس هم استفاده کرد) در مواردی که ابعاد فضاهای خالی داخل زمین بزرگ است، به مخلوط بالا مقداری ماسه یا خاکسترهای نرم اضافه می‌کنند. مقدار این مواد ممکن است تا ۳ برابر مقدار سیمان باشد. در زمین‌هایی که دارای ماسه‌های لای‌دار و شکاف‌های بسیار ریز هستند

می‌توان از ژل سلیس، رزین‌های آکریلامید و یا ژل بنتونیت استفاده کرد. برای پرکردن فضاهای خالی، کارست‌ها و شکاف‌های بزرگ تا متوسط، از بنتونیت (یا رس) و سیمان به علاوه مصالح درشت برای شکاف‌های بزرگ و در شکاف‌های متوسط از مصالح ریزدانه استفاده می‌شود. جزییات و مشخصات فنی و اجرایی عملیات تزریق به‌طور مفصل در بند ۳-۶-۱ ارائه گردیده است.

- **اصلاح روش‌های حفاری:** این پیشرفت‌ها به‌طور کلی در اثر به‌کارگیری فولاد و بتن در روش‌های سنتی به‌وجود آمده است. روش‌های جدید ساخت بتن نیز موجب کاهش قابل ملاحظه هزینه‌های اجرایی شده و سرعت عملیات نیز افزایش یافته است. می‌توان از کاربرد فولاد در حایل‌بندی‌ها، پیشرفت در نحوه اجرای پوشش مجرا، استفاده از بتن درجا و استفاده از قطعه‌های پیش ساخته و غیره نام برد.

۳-۵-۳- ملاحظه‌های فنی و اجرایی

در هنگام عملیات حفاری و طی مراحل اجرای کار، باید مجرا بازرسی شده و هرگونه مواد سست یا ناپایدار را که ایمنی کارگران یا سازه‌ها و یا دستگاه‌ها را تهدید می‌کند، در اسرع وقت پاک‌سازی و مطابق با نظر دستگاه نظارت نسبت به پایدارسازی آنها اقدام گردد. این فعالیت‌ها شامل پاک‌سازی به‌وسیله تجهیزات مکانیکی، لوازم دستی و جت‌های آب یا هوا است. پس از پاک‌سازی سطوح، شکاف‌های باز شده باید مطابق با مشخصات فنی خصوصی با بتن یا بتن پاشیدنی با تایید دستگاه نظارت، پر شوند.

پاک‌سازی نهایی سطوح در محل بتن‌ریزی باید بلافاصله قبل از بتن‌ریزی یا اجرای بتن‌پاشی انجام شود. درزها و شکاف‌ها باید طبق دستورالعمل دستگاه نظارت تا عمق مشخص شده، پاک‌سازی و تمیز گردد و سپس مطابق با مشخصات فنی خصوصی با بتن پر شود. برای شستشوی سطوح حفاری شده و پاک‌سازی آنها می‌توان از جریان آب با فشار حداقل ۳/۵ و حداکثر ۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و یا مطابق نظر دستگاه نظارت استفاده گردد.

در مواردی که آب سبب نرم شدن و یا تورم توده سنگ‌ها می‌گردد باید تمامی آب ورودی به چنین سطوحی هر چه سریع‌تر از محل دفع گردد. در مواردی که امکان استفاده از آب وجود نداشته باشد با موافقت دستگاه نظارت می‌توان از هوای فشرده برای پاک‌سازی سطوح استفاده شود.

انبار کردن، جابجا نمودن و به‌کارگیری مواد منفجره باید مطابق قوانین کشوری و رعایت کلیه موارد ایمنی صورت گیرد. در صورتی که دستگاه نظارت احتمال وقوع حادثه‌ای را در اثر انفجار بدهد، می‌تواند از ادامه کار ممانعت کند و پیمانکار حق هیچ‌گونه اعتراضی را به کارفرما نخواهد داشت. همچنین باید قبل از زمان هر انفجار، آژیر اعلام خطر کشیده شده و از توقف و آمد افراد، حیوان‌ها و وسایل نقلیه در محدوده خطر جلوگیری گردد.

۳-۶- عملیات بهسازی خاک

۳-۶-۱- کلیات

در برخی موارد مشخصات مهندسی خاک جهت اجرای پروژه‌های عمرانی مناسب نیست. بهسازی خاک به تمهیدهایی اطلاق می‌شود که با بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک، باعث امکان تامین نیازهای طراحی می‌گردد. بهسازی خاک عمدتاً جهت بالابردن

ظرفیت باربری خاک، کاهش نشست، افزایش مقاومت، کاهش فرسایش، کنترل تورم و انقباض و خزش، کنترل نفوذپذیری و مقابله با روان گرایی انجام می‌شود.

بهسازی خاک می‌تواند با روش‌های مختلف از جمله مکانیکی، هیدرولیکی، خاک مسلح، بهسازی فیزیکی و شیمیایی شامل تثبیت با آهک (شفته‌ریزی) و خاک و سیمان انجام گردد. انتخاب روش بهسازی خاک به عوامل متعددی از جمله نوع و میزان بهسازی مورد نیاز پروژه، نوع خاک تحت‌الارضی، سازند زمین‌شناسی، شرایط نشست، اقتصاد و هزینه اجرای بهسازی (ابعاد پروژه ممکن است تعیین کننده باشد)، در دسترس بودن تجهیزات و مصالح مورد نیاز و کیفیت کار مورد انتظار، محدودیت‌های زمانی اجرا، سازه‌های مجاور و بررسی احتمال بروز خسارت به آنها در اثر اجرای طرح بهسازی و یا آلودگی آب‌های زیرزمینی، دوام و کارایی روش انتخابی در طول مدت بهره‌برداری از پروژه، برگشت‌پذیری و یا برگشت‌ناپذیری سامانه بهسازی، قابلیت استفاده مجدد از مصالح، میزان اعتماد به روش‌های تجزیه و طراحی سامانه بهسازی و شرایط کنترل عملیات ساخت و مدیریت کارگاهی بستگی دارد.

۳-۶-۲- بهسازی مکانیکی

این روش با افزایش چگالی خاک و استفاده از بارهای مکانیکی، شامل تراکم استاتیکی لایه‌های سطحی، تراکم لرزه‌ای، ابر تراکم (تراکم عمیق با کوبش وزنه‌های سنگین بر سطح زمین) باعث بهبود خواص مختلف فیزیکی و مکانیکی خاک‌های تحت‌الارضی می‌گردد.

الف- تراکم خاک

تراکم یکی از قدیمی‌ترین روش‌های بهبود خواص خاک می‌باشد که باعث بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها می‌شود. اهداف عمده تراکم عبارتند از افزایش مقاومت برشی، کاهش قابلیت فشرده‌گی و نشست خاک، کاهش نفوذپذیری، کاهش پتانسیل روان‌گرایی، کنترل تورم و انقباض و افزایش کارایی بلندمدت. بهینه کردن روند تراکم، به‌خصوص در پروژه‌های بزرگ، نقش اساسی در میزان موفقیت آن طرح دارد. روند صحیح بهسازی خاک با تراکم شامل مراحل زیر می‌باشد:

- تعیین درصد رطوبت بهینه، چگالی مورد نیاز تراکم و ضخامت لایه‌ها
- تعیین ماشین‌آلات مناسب، منطبق بر امکانات موجود از نظر نوع (استاتیکی، ارتعاشی، ضربه‌ای) و همچنین نحوه عملکرد آنها از نظر تعداد عبور غلتک و یا الگوی ضربه زدن
- کنترل کیفی و نظارت دقیق بر عملیات اجرایی شامل تعداد و نوع آزمایش‌های مورد نیاز

انواع غلتک‌های مورد استفاده در تراکم عبارتند از غلتک‌های استاتیک، پاچه‌بزی و ارتعاشی. مشخصات و نحوه عملکرد این غلتک‌ها در فصل دوم این نشریه ارائه شده است. به‌طور کلی غلتک‌های استاتیکی (لاستیکی و چرخ فلزی)، فشار استاتیکی نسبتاً زیادی را به خاک اعمال می‌کند که برای خاک‌های دانه‌ای مناسب می‌باشد. این غلتک‌ها در خاک‌های رسی می‌توانند جهت اطوونی سطح نهایی به‌کار روند. از عوامل موثر در بازده تراکم ناشی از این نوع غلتک‌ها، می‌توان به وزن کل دستگاه، قطر چرخ و عرض آن، بار چرخ و فشار باد چرخ لاستیکی اشاره نمود. سرعت حرکت این غلتک‌ها حدود ۶ کیلومتر در ساعت می‌باشد. غلتک‌های پاچه‌بزی (همان‌طور که در قسمت‌های قبلی ذکر شد)، برای تراکم خاک‌های چسبنده استفاده می‌شود. با افزایش درصد رطوبت و نرمی خاک، میزان سطح تماس برجستگی‌ها باید زیاده‌تر باشد. غلتک‌های ارتعاشی دارای انواع سبک و سنگین می‌باشند که بازده آنها تابع عوامل

وزن دستگاه و نسبت جرم دستگاه و وزنه، فرکانس و دامنه ارتعاش دستگاه و سرعت دستگاه می‌باشد. از انواع سبک این غلتک‌ها در محیط‌های محدود مانند اطراف لوله‌ها و پشت دیوارها استفاده می‌شود.

ب- ابر تراکم

روش ابر تراکم عبارت است از رها کردن کوبه‌های فوق سنگین از ارتفاع بسیار زیاد بر روی خاک سست. انرژی حاصل از برخورد کوبه به زمین صرف ایجاد تراکم در خاک می‌شود. در اثر چنین تراکمی، ظرفیت باربری خاک افزایش یافته، میزان تغییر شکل‌پذیری آن کاهش می‌یابد. همچنین از این روش در مقابله با پدیده روان‌گرایی خاک در شرایط زلزله نیز استفاده می‌شود. اگرچه کاربرد این روش در بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی خاک‌های دانه‌ای بسیار موثر است، در مورد خاک‌های رسی اشباع که دارای نفوذپذیری کمی هستند نیز می‌تواند به‌خوبی مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از سامانه زهکشی مناسب می‌تواند بازدهی این روش بهسازی را افزایش دهد.

۳-۶-۳- بهسازی هیدرولیکی

زهکشی خاک در خاک‌های درشت‌دانه با استفاده از طراحی سامانه زهکشی و پمپاژ آب و پایین بردن سطح آب زیرزمینی، از روش‌های بهسازی خاک می‌باشد. این کار در مورد خاک‌های ریزدانه با توجه به زمانبر بودن زهکشی، با اعمال بارهای خارجی یا نیروهای الکتریکی، تسریع می‌شود. آب‌بندی پی با استفاده از دیوار آب‌بند، شیت‌پایل یا ژئوممبران‌ها نیز در زمره این روش بهسازی می‌باشد.

۳-۶-۴- خاک مسلح

در این روش با استفاده از الیاف پلیمری (شبکه‌های ژئوتکستایل و ژئوگریدی)، تسمه‌ها و شبکه‌های فلزی به‌منظور تسلیح خاک، مقاومت کششی توده خاک موجود افزایش داده می‌شود. تسلیح با استفاده از سامانه انکراژ نیز در این رده قرار می‌گیرد. با استفاده از مصالح فوق، خاک مستحکم و پایدار می‌شود. از خاک مسلح جهت استحکام خاک پشت دیوارسازی‌های قائم (بتنی درجا یا با استفاده از بلوک‌های پیش‌ساخته) و همچنین به عنوان عامل نگهدارنده شیروانی‌های خاکی استفاده می‌گردد. مشخصات فنی اجرایی و طراحی روش‌های خاک مسلح در فصل یازدهم (دیوارهای حایل) به‌طور کامل ارائه شده است.

۳-۶-۵- تثبیت با آهک (شفته‌ریزی)

در روش بهسازی فیزیکی و شیمیایی خاک، با استفاده از افزودن مصالحی مانند آهک، سیمان، مواد قیری و کلرید کلسیم و افزایش مقاومت، کاهش شکل‌پذیری، افزایش پایداری حجمی از نظر خزش و تورم، کاهش نفوذپذیری محیط، کاهش قابلیت فرسایش در برابر عوامل جوی و افزایش دوام و کارایی، بهسازی خاک صورت می‌گیرد. روش تثبیت با آهک (شفته‌ریزی) و روش خاک و سیمان از جمله روش‌های متداول می‌باشد.

شفته آهکی برای اصلاح و تثبیت خاک پی سازه، زیرسازی راه‌ها، جلوگیری از رشد گیاهان در جاده‌سازی، به علت سهولت در امر دستیابی به مصالح و بالابودن ظرفیت باربری مصرف می‌گردد. استفاده از شفته آهک در بهسازی خاک، باعث کاهش حد روانی خاک، افزایش حد خمیری، کاهش دامنه خمیری خاک، درشت‌دانه‌تر شدن خاک و در نتیجه کاهش میزان عبوری از الک شماره ۴۰،

افزایش تنش نهایی و کاهش کرنش نظیر گسیختگی و در نتیجه شکننده تر شدن خاک، خشک شدن سریع و انجام سریع تر تراکم، افزایش رطوبت بهینه تراکم، کاهش چگالی خشک حداکثر، کاهش قابل ملاحظه قابلیت تورم و انقباض خاک، افزایش مقاومت تک محوری خاک بعد از عمل آوری (تا ۴۰ برابر)، افزایش مقاومت کششی یا مقاومت خمشی و باربری خاک، افزایش نفوذناپذیری در برابر آب، افزایش دوام و کارایی مخلوط و همچنین خواص خستگی خاک را بهبود می دهد.

۳-۶-۵-۱- مصالح شفته آهکی

آهک مصرفی باید از نوع آهک مرغوب انتخاب شود. از خاصیت جذب رطوبت آهک می توان در زمین های مرطوب و جهت خشک کردن محیط استفاده شود.

عموما با تمامی خاک های موجود محلی می توان شفته آهکی ساخت. هر چه میزان رس خاک بیش تر باشد میزان آهک برای ساختن شفته آهکی با کیفیت بالاتر، افزایش می یابد. بهترین خاک، خاک با دانه بندی پیوسته است که ریزدانه آن از ۲۵٪ و خاک رس آن از ۱۵٪ وزن خاک کم تر نباشد.

آب مصرفی برای ساخت شفته آهکی عموما آب قابل شرب بوده و باید عاری از مواد نظیر قلیایی ها، اسیدها و مواد آلی باشد.

۳-۶-۵-۲- ساخت و عمل آوردن

همان طور که در قسمت مصالح ساختمانی ذکر گردید، آهک زنده را باید از اثر آب و دی اکسید کربن هوا حفظ کرد. آهک هیدراته نیز باید در محل مناسبی نگهداری شده و از نفوذ دی اکسید کربن هوا و تابش آفتاب مصون باشد تا از خشک شدن آن جلوگیری به عمل آید.

درصد مناسب اختلاط برای تثبیت با آهک، معمولا بین ۲ تا ۱۰ درصد می باشد که با افزایش ذره های ریزدانه رسی، درصد آهک مورد نیاز هم افزایش می یابد. در مواردی که احتمال یخ زدگی وجود دارد این درصد می تواند تا ۱۲ درصد هم افزایش یابد. به علت پیچیدگی سامانه تثبیت خاک و آهک و همچنین تجربی بودن اطلاعات موجود، استفاده از نمونه های شاهد و انجام آزمایش قبل از اجرای عملیات در صحرای جهت تعیین درصد دقیق اختلاط، ضروری می باشد. در این خصوص استفاده از استانداردهای ASTM بسیار مفید و ضروری است.

نوع خاک در میزان کارایی تثبیت با آهک نیز بسیار مهم است. کم ترین میزان کارایی تثبیت با آهک مربوط به خاک های سیلتی (لوم سیلتی) می باشد و برای خاک های ماسه ای استفاده از این روش بهسازی توصیه نمی گردد، مگر به صورت اختلاط با رس و پوزولان. خصوصیات شیمیایی خاک نیز در بهسازی با آهک موثر است. حضور سولفات ها در خاک و مجاورت این یون ها با آهک باعث تولید کانی های ثانویه به نام اترینگات و تاماسیت می شود که دارای خواص تورم زایی می باشد. جهت مقابله با این پدیده می توان از اختلاط دو مرحله ای آهک استفاده نمود.

دوغاب به راحتی دور دانه های خاک را اندود نموده و واکنش یکنواختی میان دانه های رس و دوغاب پدید می آید. میزان آهک از ۱۰۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم در مترمکعب شفته آهک، بسته به میزان خاک رس می باشد. مقاومت شفته آهک خوب عمل آوری شده پس از گذشت ۲۸ روز در حد ۱۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع خواهد بود.

۳-۶-۶- خاک و سیمان

خاک و سیمان به منظور بهسازی پی، اصلاح خاک‌های نرم و کم مقاومت، بهبود مشخصات فنی و تثبیت خاک، مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین از این روش جهت استفاده به عنوان مصالح اساس، زیر روکش‌های قیری و بتنی جاده، محافظت شیب‌ها، خاکریزها و پوشش آبراه‌ها استفاده می‌گردد.

استفاده از تمامی انواع خاک‌ها، به جز خاک‌هایی با منشا آلی و یا رس‌های با پلاستیسیته بالا، برای ساخت خاک و سیمان مناسب می‌باشند (خاک با بیش از ۲ درصد مواد آلی برای این روش مناسب نیست).

مقدار سیمان به صورت درصد وزنی نسبت به وزن خاک خشک بیان می‌شود و در عمل با دانستن وزن مخصوص خاک غیرمترک، مقدار سیمان به صورت حجمی قابل اعمال خواهد بود.

۳-۶-۶-۱- تثبیت خاک‌های ریزدانه و خاک‌های ماسه‌ای و شنی

هر اندازه خاک، درصد ریزدانه بیش‌تری داشته و یا خمیری‌تر باشد (دارای حد روانی و دامنه خمیری بالا)، درصد سیمان بیش‌تری برای عمل تثبیت لازم است. حدود تقریبی سیمان برای تثبیت خاک‌های ریزدانه، بین ۷ تا ۲۰ درصد وزن خشک خاک می‌باشد. معمولاً افزودن ۲ الی ۴ درصد سیمان به خاک، موجب کاهش زیاد حد روانی، نشانه خمیری و پتانسیل تورم خاک می‌شود.

خاک‌های درشت دانه برای تهیه مخلوط بسیار مناسب هستند، زیرا سیمان کم‌تری نیاز دارند. خاک‌های حاوی ۵ تا ۲۵ درصد ریزدانه (عبوری از الک ۲۰۰) مخلوط مناسبی با سیمان می‌دهند. با این وجود خاک‌های دارای ریزدانه بیش‌تر ولی پلاستیسیته کم نیز بازده مناسبی دارند.

خاک‌های ماسه‌ای از جمله ماسه بادی به سهولت قابل تثبیت با سیمان است و درصد سیمان بسته به مواد ریزدانه از ۵ تا ۱۲ درصد متغیر می‌تواند باشد.

خاک‌های شنی با سیمان به سهولت مقاومتی در حد ۷۰ تا ۱۴۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع در آزمایش مقاومت فشاری تک محوری پیدا می‌کند. رشد مقاومت در خاک‌های دانه‌ای سریع‌تر از خاک‌های ریزدانه است.

کلوخه‌های رسی در اختلاط معمولی به سختی می‌شکند. این کلوخه‌ها معمولاً در خاک با $PI > 8$ تشکیل می‌شود. طبق توصیه USBR در لایه‌های رویین، کلوخه‌های بزرگ‌تر از ۲۵ میلی‌متر باید جدا شوند. برای اکثر کارها از سیمان تیپ I و II استفاده می‌شود. درصد سیمان مصرفی بین ۴ تا ۱۶ درصد وزن خشک خاک تغییر می‌کند. در جدول (۳-۲) برای انواع خاک‌ها مقدار درصد سیمان، به عنوان برآورد اولیه ارائه شده است.

جدول ۳-۲- مقدار درصد سیمان برای انواع خاک‌ها

میزان سیمان مورد نیاز به صورت تیبی (درصد وزنی)	طبقه بندی خاک طبق ASTM	طبقه بندی خاک طبق AASHTO
3-5	GW,GP,GM,SW,SP,SM	A-1-a
5-8	GM,GP,SM,SP	A-1-b
5-9	GM,GC,SM,SC	A-2
7-11	SP	A-3
7-12	CL,ML	A-4
8-13	ML,MH,CH	A-5
9-15	CL,CH	A-6
10-16	MH,CH	A-7

توجه شود که اعداد مندرج در جدول فوق شامل خاک‌های آلی یا با واکنش ضعیف نمی‌شود. همچنین در شرایطی که اهداف دیگری نظیر داشتن شرایط ظاهری خاص؛ مثلاً در حفاظت شیب‌ها مد نظر باشد ممکن است به میزان سیمان مورد نیاز افزوده شود.

۳-۶-۶-۲- ملاحظه‌های فنی و اجرایی

جهت آماده‌سازی خاک باید تمام مواد زاید مانند ریشه‌ها، خاک‌های آلی، قلوه سنگ‌های بزرگ‌تر از ۷۵ میلی‌متر از خاک جدا شوند.

نحوه اختلاط خاک و سیمان، بسته به اهمیت و حجم کار می‌تواند به صورت دستی و یا مکانیکی (دستگاه میکسر) انجام شود. عملیات اجرایی تثبیت خاک شامل، شیار دادن خاک و خرد کردن کلوخه‌های آن، پخش سیمان، اختلاط خاک و سیمان، پخش آب، اختلاط خاک و سیمان و آب، عمل تسطیح، کوبیدن و متراکم کردن و عمل آوردن آن می‌باشد. از نکات مهم این‌که، از شروع اضافه نمودن سیمان به مخلوط تا مرحله تراکم نهایی نباید بیش از ۱/۵ ساعت زمانبری داشته و فاصله زمانی اتمام تراکم لایه قبلی تا شروع خاکریزی بر روی آن باید به حداکثر یک ساعت محدود گردد. این امر مستلزم ساخت خاک و سیمان به صورت پیوسته می‌باشد. در مواردی که اجرای لایه‌ها به صورت پیوسته مقدور نباشد، حداقل یک تا سه روز از عمر لایه زیرین برای اجرای لایه بعدی باید گذشته باشد، تا لایه زیرین مقاومت لازم برای تحمل بارهای سنگین را داشته باشد. برای اجرای لایه جدید باید از دوغاب سیمان یا پودر سیمان بر روی لایه قبلی که ابتدا مرطوب گردیده، استفاده نمود. درزهای انقطاع بین لایه‌های تراکم می‌تواند محل ضعف باشد، لذا قبل از شروع لایه بعدی، چنانچه نیاز باشد باید سطح لایه زیری تیغه‌کشی و بازسازی شود.

در فصل گرما یک تا دو درصد رطوبت اضافی به خاک و سیمان زده می‌شود تا جبران تبخیر در حین اجرا بشود. از تهیه مخلوط در دمای زیر ۷ درجه سانتی‌گراد باید اجتناب کرد و سطح لایه تراکم شده باید تا اجرای لایه فوقانی و یا تا حداقل ۷ روز عمل‌آوری شود و ازدست رفتن رطوبت لایه جلوگیری شود. این کار می‌تواند با اسپری کردن آب و یا استفاده از یک لایه پوششی انجام شود.

برای حصول از کیفیت محصول نهایی انجام آزمایش‌های زیر مورد توصیه است:

– دانه‌بندی خاک به صورت مستقیم از نمونه‌های آزمایشی خاک

- مقدار سیمان و رطوبت جهت تعیین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه
- ضخامت لایه، تراکم و نحوه عمل‌آوری به‌وسیله چگالی صحرایی، بلافاصله پس از اتمام عملیات غلتک‌زنی و قبل از سفت شدن خاک سیمان انجام و با نتیجه چگالی حداکثر آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد.

فصل ۴

عملیات سنگی و بنایی

۴-۱- کلیات

در این فصل مشخصات فنی عمومی عملیات سنگی و بنایی که به صورت عمومی برای کلیه کارهای مهندسی رودخانه به کار برده می شود، ارائه شده است. جزییات و مشخصات سازه ها و پوشش های حفاظتی ساخته شده با مصالح سنگی که به طور خاص در کارهای مهندسی رودخانه به کار برده می شوند، اعم از انواع سنگچین های حفاظتی و تورسنگ و غیره به طور کامل در فصل مربوط ارائه خواهد گردید.

عملیات سنگی و بنایی باید براساس نقشه های اجرایی و دستورالعمل های دستگاه نظارت و طبق برنامه زمان بندی اجرای عملیات صورت گیرد. به این منظور پیمانکار باید با پیش بینی های لازم، سنگ های مورد نظر را با قواره و اندازه های نشان داده شده در نقشه ها و مشخصات فنی، در کارگاه انباشت و آماده نموده تا اجرای عملیات به صورت پیوسته امکان پذیر بوده و وقفه ای در کار ایجاد نشود. ویژگی ها و مشخصات عمومی سنگ های مصرفی باید براساس مندرج های فصل دو این نشریه باشد. در این قسمت جزییات و مشخصات عملیات و کارهای بنایی که به ندرت در کارهای مهندسی رودخانه به کار گرفته می شوند، از جمله دیوارچینی، سقف سازی، اندودکاری و نماسازی ارائه نشده است. در صورت برخورد به این موارد می توان به نشریه شماره ۵۵ «مشخصات فنی کارهای ساختمانی» مراجعه نمود.

۴-۱-۱- عملیات بنایی با سنگ

عملیات بنایی با سنگ باید در محیط با دمای مناسب صورت گیرد. اجرای عملیات سنگی در محیطی که درجه حرارت آن کم تر از ۵ درجه سانتی گراد باشد مجاز نمی باشد. در صورتی که طبق نظر و تایید دستگاه نظارت، انجام این امر الزامی باشد، پیمانکار موظف است تدابیر لازم را برای تامین دمای مناسب اتخاذ نماید.

پیمانکار باید حتی الامکان سعی نماید، عملیات بنایی سنگی در پایان کار روزانه در محل های پیش بینی شده (درزهای ساختمانی)، به اتمام برسد. برای شروع مجدد کار بنایی (در هر بار)، باید بنایی قبلی کاملاً آب پاشی شده و در فاصله توقف و شروع مجدد، سطح کار کاملاً پوشیده و محفوظ بماند تا هیچ گونه صدمه ای به اتصال وارد نگردد.

در صورت وجود درز در سنگ ها، باید تماماً با ملات، پر و آب بندی شود و همچنین قبل از به کار بردن، باید آنها را از مواد آلوده و مواد زاید پاک کرد و با آب شست. در بنایی ها باید از مصرف سنگ های خیلی سخت و خیلی نرم پرهیز شود، زیرا سنگ های خیلی سخت، به خوبی به ملات نمی چسبند و سنگ های خیلی نرم هم در مقابل عوامل جوی متلاشی می شوند.

کوچک ترین اندازه سنگ قلوه که در دیوارسازی سنگی مصرف می شود، ۱۵ سانتی متر بوده و سنگ های کوچک تر به عنوان سنگ های پرکننده در میان دیوار مصرف می شوند. از آن جایی که بنای ساخته شده با مصالح بنایی از خاصیت ارتجاعی برخوردار نمی باشد، پی سازی باید محکم بوده و این استحکام در تمام سطح یکنواخت باشد.

به دلیل ارتباط مستقیم وزن سازه با نیروی حاصل از زلزله و خطرهای ناشی از آن، ارتفاع سازه های سنگی تا حداکثر ۵ متر بالاتر از سطح زمین محدود می شود.

قبل از اجرای عملیات باید قطعه های سنگ مرطوب شده باشند. این قطعه ها موقعی بر روی ملات کاملاً تثبیت می شود که قسمتی از ملات از اطراف قطعه ها خارج شود. دورتا دور سنگ به جز در قسمت نما باید توسط لایه ای از ملات احاطه شده باشد.

سنگ باید از قسمت مسطح، بر روی قشر ملات قرار داده شود. وجود فضای خالی در هیچ قسمت از کارهای بنایی مجاز نبوده و پشت کار به دست آمده باید مسطح باشد. هر بار که کارهای بنایی مجدداً شروع می‌گردد، باید بنایی قبلی آبپاشی شود. سنگ‌چینی باید به‌طور یکنواخت انجام شود به نحوی که در هر زمان، هیچ قسمت بنا بیش از یک رج از قسمت‌های دیگر آن بالاتر نباشد. ضخامت دیوار سنگی با ملات ماسه سیمان برای دیوارهای اصلی نباید از ۴۰ سانتی‌متر کمتر باشد و ارتفاع سنگ‌ها در نما نباید از عرض و ریشه آن بیش‌تر باشد. در پی بنا، بزرگ‌ترین قطعه‌های سنگ بر روی یک قشر ملات که کف را پوشانده قرار می‌گیرند.

۴-۱-۲- ملات کاری

ملات، ماده‌ای است خمیری که برای چسباندن قطعه‌های مصالح بنایی به یکدیگر، تامین بستری برای توزیع بار و بالاخره برای اندودکاری سطوح داخلی و خارجی ساختمان و بندکشی نماها به مصرف می‌رسد. ملات‌ها از یک جسم چسباننده (مانند خمیرسیمان، آهک هیدراته، گچ و ...) و یک ماده پرکننده ریزدانه (مانند ماسه طبیعی، شکسته و ...)، تشکیل شده‌اند. ملات‌ها از نقطه نظر گیرش به دو دسته هوایی و آبی گروه‌بندی می‌شوند. ملات هوایی ملاتی است که در هوا می‌گیرد و سفت و سخت می‌شود. ملات آبی، ماده‌ای است که زیر آب یا در هوا به طریق شیمیایی می‌گیرد و سفت و سخت می‌ماند. ملات‌های سیمانی و گل‌آهک از جمله ملات‌های آبی هستند.

ساختن ملات‌ها با وسایل دستی و یا وسایل مکانیکی صورت می‌گیرد. زمان اختلاط ملات، حداقل ۳ دقیقه و حداکثر ۱۰ دقیقه خواهد بود. استفاده از بیل و کمچه برای پیمانه کردن صحیح نیست و باید حتماً از پیمانه‌ای با حجم معین استفاده گردد. در پیمانه کردن ماسه باید به مساله تغییر حجم ناشی از رطوبت توجه شود.

۴-۱-۲-۱- انتخاب ملات برای کار در هوای سرد

در هوای سرد می‌توان از ملات‌های ماسه سیمان و باتارد استفاده کرد. ملات ماسه سیمان با نسبت ۱ به ۳ و باتارد با نسبت ۱ به ۶، مناسب است. برای جلوگیری از یخ‌زدن، بهتر است از کلرورکلسیم یا مواد حاوی آن استفاده نشود، زیرا وجود کلرورکلسیم باعث زنگ‌زدگی قطعه‌های فلزی کارگزارده شده و شوره‌زدگی آجرکاری می‌شود.

یکی از بهترین راه‌های جلوگیری از یخ‌زدگی، افزودن مواد حباب‌ساز هوا به ملات است که در این صورت می‌توان بدون واهمه از کاهش کارایی، از مقدار سیمان ملات کاست. در این حالت، نسبت سیمان به ماسه، ۱ به ۵ تا ۱ به ۶ خواهد بود. در هوای سرد، گرفتن ملات کند می‌شود، در دمای صفر تا ۵ درجه سلسیوس، مدت گرفتن دو برابر و از ۵ تا ۱۰ درجه، ۱/۵ برابر می‌شود.

۴-۱-۲-۲- انتخاب ملات برای کار در هوای گرم

از دست رفتن مقدار زیاد آب به ویژه در طول تابستان گرم و خشک، ممکن است قابلیت کاربرد ملات را کاهش دهد. به حدی که ملات قادر به تامین الصاق کامل با ردیف‌های بعدی مصالح نباشد.

در طرح اختلاط ملات، باید کارآیی و آب نگهداری ملات، متناسب با جذب آب مصالح بنایی و اوضاع جوی مورد توجه قرار گیرد. در بعضی موارد ممکن است استفاده از مواد افزودنی نگهدارنده آب و کندگیرکننده و ضدتبخیر توصیه شود که در این صورت مصرف این مواد باید با احتیاط صورت گیرد.

۴-۱-۳- بندکشی

نقش بندکشی، پذیرش انبساط و انقباض سطحی و موضعی و توزیع آن به‌طور یکنواخت است. علاوه بر آن بندکشی باید مانع داخل شدن آب و نفوذ رطوبت به قشرهای داخلی دیوارها و سایر قطعه‌ها پوششی گردد. به همین جهت ملات بندکشی باید ریزدانه و پرمایه بوده و از تراکم کافی برخوردار باشد تا مانع ایجاد خاصیت جاذبه مویی و انتقال رطوبت به عمق دیوار و سطوح داخلی بنا گردد. در بندکشی قسمت‌های غیرنمایان، فقط درزها را با ملات پر نموده و صافکاری می‌گردد. عیار ملات بندکشی برابر عیار ملات به‌کار گرفته شده در عملیات بنایی است ولی ماسه آن باید ریزتر باشد. عملیات بندکشی حتی‌الامکان لازم است ظرف مدت یک تا ۴ روز پس از عملیات بنایی صورت گیرد. قبل از عملیات بندکشی، درزها باید به عمق $1/5$ سانتی‌متر خالی شده و پس از مرطوب کردن با ملات مورد نظر پر و با قلم بندکشی (یا میلگرد با قطر ۱۰ میلی‌متر)، صاف و صیقلی شود. آب‌پاشی و مرطوب نگاه داشتن سطوح بندکشی بر حسب شرایط محیطی و حداقل ۵ روز متوالی می‌باشد.

سنگ‌ها باید طوری کارگذاشته شوند که بند عمودی رگه‌های متوالی در یک امتداد قرار نگیرند. ضخامت بندکشی در دیوارهای سنگی نباید از ۱۰ میلی‌متر کمتر و از ۲۵ میلی‌متر بیش‌تر انتخاب شود. موارد تکمیلی در نشریه شماره ۵۵ «مشخصات فنی کارهای ساختمانی» ارائه شده است.

۴-۱-۴- دیوارهای بنایی سنگی

عملکرد سازه‌ای دیوارهای بنایی سنگی به‌صورت وزنی می‌باشد. ملاحظات طراحی و اجرایی دیوارهای حایل وزنی به‌طور کامل در فصل یازدهم ارائه شده است. در صورت استفاده از دیوارهای حایل بنایی سنگی که عامل انتخاب آن نسبت به انواع مصالح دیگر، در دسترس بودن و عوامل اقتصادی می‌باشد، باید دقت نمود که ملات مورد استفاده دوام کم‌تری نسبت به سنگ نداشته باشد. ملات مورد استفاده باید فاقد آهک بوده و توصیه می‌شود شامل سیمان و ماسه با نسبت ۱ به ۳ باشد. چنین مخلوطی، مقاومت در برابر حملات سولفاتی را بالا برده و جذب آب را حداقل می‌کند.

در جدول (۴-۱)، مشخصات ملات‌های مورد استفاده در دیوارهای حایل بنایی سنگی ارائه شده است.

جدول ۴-۱- مشخصات ملات‌های مورد مصرف در دیوارهای حایل بنایی سنگی

نوع ملات	ماسه شسته عبوری از الک شماره ۴ (۴/۷۶ میلی‌متر) ^۱ (m ³)	سیمان ^۲ (Kg)	آهک شفته ^۳ (Kg)	آب (Litre)	وزن مخصوص ملات تهیه شده (Kg/m ³)	مقاومت نمونه ۷۰*۷۰*۷۰ میلی‌متر ۲۸ روزه (N/mm ²)	مقاومت نمونه ۷۰*۷۰*۷۰ میلی‌متر ۷ روزه (N/mm ²)
ماسه‌سیمان ۱:۶	۱/۰۳۳	۱۹۸	-	۲۵۶	۲۰۵۷	۴/۳-۴/۵	۲/۳-۲/۹
ماسه‌سیمان ۱:۵	۱/۰	۲۲۷	-	۲۶۵	۲۰۶۴	۷/۵-۸/۷	۴/۶-۴/۹
ماسه‌سیمان ۱:۴	۰/۹۹	۲۸۵	-	۲۶۱	۲۰۷۳	۱۲/۹-۱۳/۷	۷/۶
ماسه‌سیمان ۱:۳	۰/۹۴	۳۶۰	-	۲۵۸	۲۰۸۹	۲۰/۵-۲۲	۱۱۷
دوغاب ماسه‌سیمان ۱:۵	۰/۹۱	۲۲۰	-	۳۴۰	۲۰۶۹	-	-
ملات باتارد ۲:۱	۰/۹۱	۱۳۱	۱۳۱	۲۸۰	۱۹۷۲	۲-۲/۸	۱۴
ملات باتارد ۲:۱:۱۰	۰/۹۶	۱۱۰	۱۱۰	۲۷۵	۱۹۹۲	۱/۴-۲/۱	۶-۹

برای تهیه مخلوط با نسبت حجمی مختلف در کارگاه به نحوی که مبنای کار یک کیسه سیمان باشد باید مکعب مستطیلی به ابعاد ۲۷×۴۰×۴۰ تهیه و به کمک آن مخلوط مورد نظر را تهیه نمود. به‌طور مثال برای تهیه ملات باتارد ۸:۲:۱، کافی است به کمک مکعب مستطیل فوق، ۸ حجم ماسه و ۲ حجم پودر آهک شکفته برداریم و سپس به آن یک کیسه سیمان اضافه کنیم.

۱- وزن مخصوص ماسه شسته عبوری از الک نمره ۴ (۴/۷۶ میلی‌متر) ۱۲۴۰ تا ۱۶۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

۲- نوع سیمان براساس شرایط خورندگی محلی تعیین می‌گردد. وزن مخصوص سیمان پرتلند نوع یک، ۱۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

۳- وزن مخصوص آهک شکفته ۵۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

فصل ۵

کارهای فولادی و آرماتورگذاری

۵-۱- کلیات

انواع فولاد و چدن که آلیاژهای آهن به حساب می‌آیند از پرمصرف‌ترین مصالح فلزی هستند. فولاد به صورت میلگرد و همچنین در نیمرخ‌های گوناگون به مصرف می‌رسد. مصرف چدن در اتصال‌ها و قطعه‌های درپوش و مانند اینها است.

۵-۲- آرماتورگذاری در کارهای بتنی

مشخصات و ضوابط مندرج در این قسمت، حداقل ضوابط حاکم در مورد آرماتورگذاری می‌باشد و علاوه بر آن رعایت نکته‌ها و دستورالعمل‌های مندرج در آیین‌نامه بتن ایران (نشریه شماره ۱۲۰) اجباری است. قبل از شروع بتن‌ریزی، اتمام عملیات آرماتورگذاری باید کتبا به اطلاع دستگاه نظارت رسیده باشد تا دستگاه نظارت فرصت کافی برای کنترل آرماتورگذاری داشته باشد.

آرماتورگذاری یا جابجایی آرماتورها حین اجرای بتن‌ریزی، تحت هیچ شرایطی مجاز نیست. مواردی نظیر آرماتورگذاری و بتن‌ریزی هم‌زمان، با استفاده از قالب‌های لغزان، از این قانون مستثنی می‌باشد.

۵-۲-۱- انواع فولادهای مصرفی در بتن

هر نوع فولاد که به صورت میلگرد یا سیم به عنوان آرماتور در بتن آرمه به کار می‌رود، باید مطابق استانداردهای معتبر تولید شده و دارای برگ شناسایی کارخانه سازنده باشد، در غیر این صورت، باید قبل از مصرف با انجام آزمایش‌های لازم، نوع فولاد، تعیین و سپس به کار برده شود.

میلگرد باید نو، تمیز، بدون هیچ‌گونه آلودگی نظیر چربی‌ها، ذره‌های بتن، گرد و خاک و یا مواد زائد دیگر باشد تا خللی به پیوستگی بتن و میلگردها وارد نشود. استفاده از میلگردهای زنگ‌زده به شرطی مجاز است که اولاً زنگ‌زدگی و پوسته‌های آن با برس زدن کاملاً برطرف شود و ثانیاً قطر میلگرد پس از برس زدن، حداکثر 0.5 میلی‌متر کاهش یابد.

فولادهای مصرفی در بتن آرمه از نظر روش تولید، شکل ظاهری، جوش‌پذیری و شکل‌پذیری به شرح زیر می‌باشند:

— به لحاظ روش تولید، در انواع گرم‌نورد شده، اصلاح شده در حالت سرد به وسیله عملیات مکانیکی از قبیل پیچاندن، کشیدن، نورد کردن یا گذراندن از حدیده (سرد اصلاح شده) و فولاد ویژه که با عملیاتی مانند گرمایش و آبدادگی، سخت شده است.

— به لحاظ شکل ظاهری، در دو نوع ساده و آجدار است. توصیه می‌شود به استثنای خاموت‌ها، تمامی میلگردهای مصرفی در بتن، از نوع آجدار گروه A-II استاندارد کارخانه ذوب آهن اصفهان یا معادل آن باشد. چنانچه میلگرد گروه A-II در دسترس نباشد، با تایید دستگاه نظارت می‌توان از میلگردهای گروه A-III و یا از میلگردهای استاندارد خارجی معتبر که مشخصات آنها معادل میلگرد A-II باشد، استفاده کرد.

— به لحاظ جوش‌پذیری به انواع جوش‌پذیر، جوش‌پذیر مشروط و جوش‌ناپذیر تقسیم می‌شوند.

— به لحاظ شکل‌پذیری در گونه‌های نرم، نیمه‌سخت و سخت می‌باشد.

به‌طور کلی، شکل‌پذیری و سایر ویژگی‌های مکانیکی فولاد، تابعی از مقدار کربن است. میزان کربن در فولاد نرم، ۰/۰۹ تا ۰/۲۵ درصد، در فولاد نیمه‌سخت از ۰/۲۵ تا ۰/۵۵ درصد و در فولاد سخت از ۰/۶ تا ۱/۲ درصد می‌باشد. زیاد شدن کربن سبب افزایش مقاومت فولاد و کاهش شکل‌پذیری آن می‌گردد. فولادهای نرم و نیمه‌سخت در کارهای ساختمانی و سایر فولادها در صنعت به مصرف می‌رسند.

۵-۲-۲- مشخصات میلگردها

الف- قطر اسمی

میلگرد به‌صورت کلاف، شاخه و شبکه‌های جوش شده یا بافته شده در کارخانه برای مصرف عرضه می‌شود. تفکیک میلگردها براساس قطر اسمی است (قطر اسمی میلگرد، قطری است معادل قطر دایره هم مساحت با مقطع عرضی قطری میلگرد، بر حسب میلی‌متر).

ب- مشخصات مکانیکی

مقاومت مشخصه فولاد (f_{yk}) براساس مقدار تنش تسلیم (f_y) آن تعیین می‌شود و معادل مقداری است که حداکثر ۵ درصد مقادیر اندازه‌گیری شده برای حد تسلیم، ممکن است کم‌تر از آن باشد. در مواردی که تنش تسلیم فولاد به وضوح مشخص نباشد، مقدار آن معادل تنش نظیر ۰/۲ درصد تغییر شکل نسبی ماندگار اختیار می‌شود. آزمایش کششی هر نمونه باید نشان دهد که روابط $f_{su} \geq 1.18 f_{yobs}$ و $f_{su} \geq 1.25 f_y$ برقرار هستند که در این روابط f_y مقاومت تسلیم میلگرد f_{su} مقاومت کششی آن و f_{yobs} حد ارتجاعی تعیین شده از آزمایش میلگردهاست.

طبقه‌بندی میلگردهای فولادی بر مبنای مقاومت مشخصه به شرح جدول (۵-۱) می‌باشد.

آزمایش ازدیاد طول نسبی برای میلگردهای با قطر بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر، بر روی ۲۰۰ میلی‌متر از طول میلگرد و برای میلگردهای با قطر کم‌تر از ۱۰ میلی‌متر، بر روی ۱۰ برابر قطر از طول میلگرد، اندازه‌گیری می‌شود.

وزن واحد حجم فولاد ۷۸۵۰ کیلوگرم در مترمکعب، مدول ارتجاعی آن 2×10^5 مگاپاسکال (2×10^6 کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع) و ضریب انبساط حرارتی آن $1/2 \times 10^{-5}$ بر درجه سلسیوس اختیار می‌شود.

میلگرد مورد مصرف باید در حرارت معمولی قابلیت تغییر شکل کافی داشته باشد، به‌نحوی که اگر قطعه‌ای از میلگرد به زاویه ۱۸۰ درجه در حالت سرد خم شود (به‌طوری که دهانه انحنای آن دو برابر قطر میله باشد)، هیچ‌گونه ترکی در قسمت‌های کششی آن ایجاد نگردد.

در مواردی که بتن در مجاورت آب قرار می‌گیرد، حداقل قطر میلگردهای مصرفی باید ۱۲ میلی‌متر باشد. در صورتی که استفاده از مش مورد نظر باشد، اتصال‌ها آن باید جوشی باشد و مشخصات آن با استانداردهای مربوط تطابق داشته باشد.

جدول ۵-۱- طبقه‌بندی میلگردهای فولادی^۱

میلگرد	نوع میلگرد	ویژگی میلگرد	حداقل مقاومت تسلیم (مگا پاسکال)	حداقل مقاومت گسیختگی (مگا پاسکال)	حداقل ازدیاد طول نسبی هنگام گسیختگی (%)
S-220 A-I	نرم	-	۲۲۰	۳۴۰	۲۲
S-300 A-II	نیمه سخت	الف- با سختی طبیعی ب- با سختی اصلاح شده	۳۰۰	۵۰۰	۱۹ ۱۶
S-400 A-III	سخت	الف- با سختی طبیعی ب- با سختی اصلاح شده	۴۰۰	۵۰۰	۱۴ ۱۲
S-500 A-IV	سخت	حداکثر قطر مصرفی ۱۶ ϕ	۵۰۰	۵۵۰	۱۰

۵-۲-۳- حمل و انبار کردن میلگردها

معمولا میلگردهای به قطر ۶ میلی‌متر و کم‌تر به صورت کلاف تحویل می‌شوند. مصرف میلگردها با قطر بالاتر به صورت کلاف مجاز نیست، مگر این‌که با تایید دستگاه نظارت وسیله مناسبی برای باز کردن کلاف‌ها در کارگاه وجود داشته باشد و قطر کلاف بیش از ۲۰۰ برابر قطر میلگرد باشد.

به هنگام حمل و تخلیه شبکه‌های جوش شد باید از صدمه‌های مکانیکی، ضربه ناشی از پرتاب و غیره مصون باشند. میلگردها نباید در تماس با خاک یا مصالحی باشند که رطوبت را در خود نگه می‌دارند و برای مدت طولانی نباید در معرض باران، برف و هوای مرطوب قرار گیرند تا به این وسیله از زنگ‌زدگی مصون بمانند.

میلگردهای فولادی را باید بر حسب نوع و قطر آنها، تفکیک و در کارگاه انبار کرد. در صورت وجود میلگردهای هم قطر با مقاومت‌های مشخصه متفاوت، باید آنها را در محل‌های جداگانه انبار کرد و نوک آنها را رنگ زد تا کاملاً از هم متمایز شوند. در صورت تردید در نوع میلگرد، دستگاه نظارت دستور آزمایش‌های لازم را صادر خواهد نمود.

۵-۲-۴- نمونه‌برداری و آزمایش

بعد از تحویل محموله‌های میلگرد به کارگاه، نمونه‌برداری برای آزمایش‌های مکانیکی فولاد، نظیر کشش و یا خم کردن، براساس روش آشتو T-244 انجام می‌شود (آزمایش‌ها باید مطابق با آیین‌نامه بتن ایران باشد). در صورتی که وزن کل میلگردهای مصرفی در کارگاه کم‌تر از ۵۰ تن باشد و سازه مورد نظر برای مصرف میلگردها از نظر دستگاه نظارت با اهمیت تلقی نگردد، می‌توان به تشخیص دستگاه نظارت از انجام آزمایش‌ها صرف‌نظر کرد. تعداد و تواتر نمونه‌ها باید طوری باشد که ارزیابی کیفیت کل آرماتور مصرفی، ممکن شود. برای این منظور حداقل ۳ نمونه از هر ۵۰ تن و کسر آن از هر قطر و هر نوع فولاد، لازم است. در صورت موافقت دستگاه نظارت می‌توان از هر سه بندل پنج تنی، میلگردهای مشابه یک نمونه انتخاب کرد. نمونه‌های برداشت شده برای کنترل تنش جاری شدن، تنش حد گسیختگی، ازدیاد طول نسبی، آزمایش تاشدگی، شکل‌پذیری و سایر آزمایش‌های لازم منطبق بر استانداردها و روش‌های آزمایش (آیین‌نامه بتن ایران)، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱- اعداد بعد از S بیانگر حداقل مقاومت مشخصه میلگرد بر حسب مگاپاسکال (نیوتن بر میلی‌متر مربع) می‌باشد.

رواداری در بریدن میلگردها، بستن و کار گذاشتن، انحراف موقعیت میلگردها، انحراف فاصله بین میلگردها، انحراف موقعیت طولی خمها و انتهای میلگرد باید براساس ضوابط مربوط در آیین نامه بتن ایران، با توجه به نوع کاربری میلگرد باشد.

۵-۲-۵- بریدن و خم کردن

بریدن میلگردها باید با وسایل مکانیکی صورت گرفته و خم کردن آن باید به روش سرد و بدون استفاده از حرارت انجام شود. خم کردن میلگردهای داخل بتن نظیر میلگردهای انتظار یا باز کردن میلگردهای خم شده، مجاز نیست. در خم کردن میلگردها، رعایت دستورالعمل‌های مندرج در آیین نامه بتن ایران (نشریه شماره ۱۲۰) الزامی است. به طور کلی در دمای کمتر از ۵- درجه سلسیوس، خم کردن میلگردها مجاز نیست. همچنین باز و بسته کردن خمها به منظور شکل دادن مجدد به هیچ وجه مجاز نمی باشد، مگر در موارد خاص که در نقشه‌های اجرایی نشان داده شده باشد و یا دستگاه نظارت اجازه دهد.

۵-۲-۶- مهار کردن میلگرد

مهار میلگردها در بتن به صورت مهارهای مستقیم، مهارهای خم دار (قلابها و حلقه‌ها)، مهارهای مستقیم با حداقل یک میلگرد عرضی جوش شده به آنها در منطقه مهاری، مهارهای مکانیکی و یا ترکیبی از مهارهای فوق انجام می گیرد. ضوابط و مشخصات مهار میلگردها در بتن باید براساس مندرج‌های آیین نامه بتن ایران «آبا» باشد و به طور کلی باید ضوابط زیر رعایت گردد:

- برای میلگردهای ساده کششی، استفاده از مهارهای مستقیم مجاز نیست.
- در مهار کردن میلگردهای فشاری، استفاده از مهارهای خم دار به صورت قلاب و یا حلقه موثر نیست.
- در استفاده از مهارهای مستقیم با حداقل یک میلگرد عرضی جوش شده به آنها، مهارهای مکانیکی و یا ترکیبی از انواع مهارها، باید به ضوابط خاصی توجه داشت.

۵-۲-۷- کارگذاری میلگردها

هنگام نصب، میلگردها باید عاری از هرگونه آلودگی که مانع چسبندگی بین بتن و آرماتور می گردد باشند. به منظور کنترل و تامین پوشش بتنی می توان از لقمه‌های بتنی دارای مقتول، استفاده نمود. این مقتول ها باید به میلگردهای اصلی کاملاً محکم شوند. استفاده از قطعه سنگ، لوله فلزی و قطعه‌های چوب برای نگهداری میلگردها مجاز نیست. مجموعه میلگردها باید دارای استحکام کافی باشد تا در هنگام بتن ریزی، خطر دور شدن میلگردها از هم و یا جابجایی مجموعه از موقعیت خود، وجود نداشته باشد. موقعیت آرماتورها باید هم قبل از بتن ریزی و هم در هنگام بتن ریزی کنترل شود تا پوشش‌های اسمی در محدوده رواداری‌های مجاز و مقرر شده، تامین شوند.

۵-۲-۸- پوشش بتنی روی میلگرد

پوشش بتنی میلگرد برابر با حداقل فاصله رویه میلگرد اعم از طولی و عرضی تا نزدیک ترین سطح بتن می باشد. ضخامت پوشش بتنی نباید از قطر میلگردهای مصرفی کمتر اختیار شود. در مورد گروه میلگردها، یک میلگرد فرضی با سطح مقطع معادل کل گروه،

مد نظر قرار می‌گیرد. ضخامت پوششی نباید از حداکثر قطر شن مصرفی (برای شن تا قطر ۳۲ میلی‌متر)، کمتر اختیار شود. در مورد شن بزرگ‌تر از ۳۲ میلی‌متر ضخامت پوششی حداقل، مساوی قطر بزرگ‌ترین شن به اضافه ۵ میلی‌متر اختیار می‌شود. حداقل ضخامت پوششی با توجه به شرایط محیطی نباید از اعداد جدول (۵-۲) کمتر انتخاب شود.

جدول ۵-۲- مقادیر حداقل پوششی بتن (میلی‌متر)

طبقه مختلف بتن			نوع شرایط محیطی که بتن در آن قرار می‌گیرد
C 30	C 25	C 20	
15	15	20	شرایط ملایم: عدم وجود عوامل مهاجم ^۱ و یا این که بتن در مقابل عوامل مهاجم به نحوی مطلوب محافظت شده باشد.
25	30	40	شرایط معمولی: بتن زیر خاک و بتنی که مدام زیر آب قرار می‌گیرد و از یخ‌زدگی و باران شدید محافظت می‌شود.
30	40	50	شرایط شدید: بتنی که در معرض رطوبت یا تر و خشک شدن متناوب یا یخ‌زدگی یا باران شدید قرار می‌گیرد.
60	-	-	شرایط بسیار شدید: بتنی که در معرض آب دریا، باتلاق یا مواد خورنده گازها، مایع‌ها، آب و فاضلاب ساکن با pH حداکثر ۵ و یا سایش باشد.
40	50	-	شرایط فوق‌العاده شدید: بتنی که برای ذوب یخ در معرض نمک‌های مصرفی قرار می‌گیرد و عبور وسایل نقلیه و آب و فاضلاب جاری با pH حداکثر ۵.

- در مورد شرایط فوق‌العاده شدید توصیه می‌شود بتن با حباب هوا ساخته شود.
- به استثنای شرایط محیطی فوق‌العاده شدید و بسیار شدید برای بتن‌های رده C35 و C40، اعداد جدول را تا ۵ میلی‌متر و برای بتن‌های رده بالاتر تا ۱۰ میلی‌متر می‌توان کاهش داد، مشروط بر این که ضخامت پوششی از ۱۵ میلی‌متر کمتر اختیار نشود.
- برای میلگردهای با قطر بیش از ۳۶ میلی‌متر باید مقادیر جدول فوق را به اندازه ۱۰ میلی‌متر افزایش داد.
- در صورتی که بتن مستقیماً روی خاک ریخته شود باید حداقل ضخامت پوششی ۷۵ میلی‌متر اختیار شود.

۵-۲-۹- وصله میلگردها

حتی‌الامکان باید میلگردهای مصرفی به صورت یکپارچه باشند. در صورت اجتناب‌ناپذیر بودن وصله، باید در مقاطعی قرار داده شوند که تنش وارد شده، حداکثر نباشد و از تمرکز تمامی وصله‌ها در یک مقطع نیز خودداری شود. وصله کردن میلگردها به روش‌های پوششی، اتکایی، جوشی، مکانیکی و مرکب، مطابق با آیین‌نامه بتن ایران و با تایید دستگاه نظارت انجام می‌شود. به طور کلی تمامی وصله‌ها، طول پوشش، موقعیت و نحوه اجرای آن باید مطابق نقشه‌ها و مشخصات و دستورالعمل‌های دستگاه نظارت باشد.

۱- رطوبت، تعریق، تر و خشک شدن متناوب، یخ‌زدن و آب شدن، سرد و گرم شدن متناوب، تماس با خاک مهاجم یا غیرمهاجم، فرسایش شدید، ضربه و عبور وسایل نقلیه.

۵-۹-۱- وصله‌های پوششی

برای وصله کردن میلگردها تا قطر ۳۲ میلی‌متر از اتصال پوششی استفاده می‌شود. بدین منظور توسط مقتول آهنی، میلگردها به یکدیگر بسته می‌شود. طول وصله برای آرماتور صاف دو برابر طول وصله مشابه در آرماتورهای آج‌دار است. در وصله‌های پوششی رعایت نکته‌های زیر ضروری است:

- در قطعه‌های تحت خمش و خمش توام با فشار، نباید بیش از نصف میلگردها در یک مقطع وصل شوند.
- در قطعه‌های تحت کشش یا کشش ناشی از خمش، حداکثر یک‌سوم میلگردها را در یک مقطع می‌توان به‌وسیله پوشش، وصله نمود.
- وصله کردن میلگردهای تحتانی قطعه‌های خمشی در وسط دهانه یا نزدیک به آن و یا میلگردهای بالایی قطعه خمشی روی تکیه‌گاه یا نزدیک آن، مجاز نیست.
- به‌طور کلی هر وصله باید ۴۰ برابر قطر میلگرد، با وصله مجاور فاصله داشته و در یک مقطع قرار نگیرد.

۵-۹-۲- وصله‌های جوشی

رعایت ضوابط و مندرج‌ها آیین‌نامه بتن ایران و استاندارد ۴-۱۹۰۰ ایران، برای وصله کردن میلگردها از طریق جوشکاری الزامی است. علاوه بر آن نکته‌های زیر نیز باید مورد توجه قرار گیرد:

- اتصال جوش میلگرد سرد اصلاح شده جز با روش‌های خاص و تایید دستگاه نظارت مجاز نمی‌باشد.
- قبل از جوشکاری باید میلگردها را گرم نمود و جوشکاری توسط کارگران کارآموزده و مجرب و مطابق با مشخصات، صورت گیرد.
- عمل جوشکاری باید بر طبق مشخصات فنی باشد. کیفیت تجهیزات جوشکاری، نوع جوش، نوع الکترود، صلاحیت جوشکاران و روش جوشکاری باید به تایید دستگاه نظارت برسد.

۵-۹-۱۰- فواصل میلگردها

فواصل میلگردها از یکدیگر باید مطابق نقشه‌های اجرایی و یا بنا به تشخیص دستگاه نظارت به اندازه‌ای باشد که ریختن، جادادن و لرزاندن بتن میسر باشد. رعایت نکته‌های زیر در فواصل میلگردها ضروری می‌باشد، مگر این‌که در نقشه‌ها و یا دستورالعمل‌های دستگاه نظارت طور دیگری مشخص شده باشد.

الف- فاصله آزاد بین میلگردهای موازی در یک ردیف نباید از هیچ یک از مقادیر، قطر میلگرد بزرگ‌تر، $\frac{2}{5}$ سانتی‌متر و $\frac{1}{33}$ برابر بزرگ‌ترین مصالح دانه‌بندی شده، کم‌تر باشد.

ب- در محل‌هایی که میلگردهای موازی در دو یا چند ردیف کار گذاشته می‌شود، میلگردهای ردیف فوقانی باید طوری بالای میلگردهای تحتانی قرار گیرند که معبر بتن تنگ نشود و فاصله آزاد بین میلگردهای فوقانی و تحتانی نباید از بزرگ‌ترین مقدار قطر بزرگ‌ترین میلگرد و $\frac{2}{5}$ سانتی‌متر کم‌تر باشد.

ج- فواصل میلگردهای خمشی اصلی در دال و دیوار، نباید از ۳ برابر ضخامت مربوط و حداکثر ۴۵ سانتی‌متر تجاوز کند.

د- فواصل میلگردهایی که برای مقابله با جمع‌شدگی و تغییر شکل حرارتی به کار می‌روند نباید از ۵ برابر ضخامت دال یا ۴۵ سانتی‌متر بیش‌تر باشد.

ه- در قطعه‌های فشاری از قبیل ستون‌ها، فاصله داخل به داخل میلگردهای طولی، نباید از ۱/۵ برابر قطر میلگرد یا ۴ سانتی‌متر، کم‌تر باشد.

و- پیچ‌ها و مهرها باید به‌نحوی در بتن کار گذاشته شود که بین آنها و میلگردها حداقل ۲۵ میلی‌متر فاصله باشد.

۵-۲-۱۱- ملاحظه‌های اجرایی

جهت تهیه و کارگذاری میلگردها، باید رواداری‌های مجاز، برای طول میلگرد ± 25 میلی‌متر، برای مجموع ابعاد خاموت ± 12 میلی‌متر و برای خم‌ها ± 25 میلی‌متر می‌باشد.

بعد از نصب و جای‌گذاری، میلگردها از نقطه نظر قطر، تعداد، طول، شکل، فواصل نسبت به یکدیگر و پوشش بتن روی سطح خارجی، مهر و وصله‌ها و کلیه موارد لازم، جهت تطابق با نقشه‌های اجرایی و مشخصات فنی و دستورالعمل‌ها، مورد بازدید قرار می‌گیرد. قبل از صدور تاییدیه کتبی دستگاه نظارت در این مورد، بتن‌ریزی به هیچ وجه مجاز نیست.

به‌طور کلی عملیات بازرسی و نظارت بر کارهای مربوط به تهیه و جای‌گذاری میلگردها در بتن مسلح، براساس استاندارد شماره ۲- ۱۹۰۰ ایران انجام می‌پذیرد.

۵-۳- اجرای کارهای فولادی

فولادهای مورد نظر در این قسمت عبارتند از انواع نیمرخ‌های نورد شده، ورق و لوازم اتصالی مانند پیچ و مهره و پرچ‌هایی که در کارهای فلزی مصرف می‌شوند. قطعه‌های فولادی باید از زنگ‌زدگی و نواقصی که به مقاومت و یا شکل ظاهری آنها لطمه می‌زند، عاری باشند. زنگ‌زدگی می‌تواند به‌وسیله ماسه‌پاشی و برس‌زنی کاملاً تمیز گردند، مشروط بر آن که سطح مقطع نیمرخ‌ها ضعیف نشده و یا سطح واقعی ضعیف شده در محاسبه‌ها منظور شود.

به‌کار بردن روش‌های گرم‌کردن موضعی و یا تغییر شکل مکانیکی برای ایجاد انحنای و یا ازبین بردن آن (راست کردن) مجاز است، مشروط بر آن که دمای موضع‌های گرم شده از ۵۶۵ درجه سلسیوس برای فولادهای قوی مخصوص و ۶۵۰ درجه سلسیوس برای فولادهای نرم تجاوز ننماید.

در برش با شعله، لبه‌های حاصل که در آینده تحت تنش‌های کششی بزرگ قرار خواهند گرفت، باید کاملاً یکنواخت و عاری از ناهمواری‌های بیش از ۵ میلی‌متر باشند. برای مصالح با ضخامت بیش از ۵۰ میلی‌متر، باید لبه‌ها را با سنگ زدن به صورت فلز صاف و براق درآورد.

۵-۳-۱- اتصال‌ها

۵-۳-۱-۱- اتصال‌ها با پیچ و مهره

در این نوع اتصال‌ها باید بین مهره و صفحه اتصال، واشر فولادی به کار رود (به استثنای پیچ‌های پرمقاومت). انتهای پیچ باید به اندازه ۴ دنده از مهره بیرون باشد. در تکیه‌گاه‌های ساده مهره را نباید کاملاً به صفحه سفت کرد. به‌طور کلی نوع، جنس و نحوه استفاده از پیچ‌ها باید با یکی از استانداردهای معتبر، تطبیق نماید. در اتصال با پیچ اگر ضخامت قطعه از قطر اسمی پیچ به اضافه ۱/۵ میلی‌متر بیش‌تر نباشد می‌توان سوراخ پیچ را از طریق منگنه کردن ایجاد نمود و چنانچه ضخامت قطعه از قطر پیچ به اضافه ۱/۵ میلی‌متر بیش‌تر باشد باید سوراخ‌ها را با مته ایجاد کرد.

سوراخ کردن ورق‌های ضخیم‌تر از ۱۲ میلی‌متر و یا ورق‌های ساخته شده از فولاد مخصوص قوی و سخت باید با مته صورت گیرد. قطر سوراخ در حالت‌های پیش‌منگنه و یا پیش‌مته کردن باید حداقل ۱/۵ میلی‌متر از قطر اسمی پیچ کوچک‌تر باشد. تمامی قسمت‌هایی که توسط پیچ و مهره به هم متصل می‌شوند باید ضمن نصب، با به‌کارگیری پین یا پیچ و مهره موقت، نسبت به هم کاملاً تثبیت شوند. استفاده از وسایل نصب و نگهداری موقت نباید به سوراخ‌های پیچ صدمه زده و یا آن را گشاد کند. قطعه‌هایی که با پیچ پرمقاومت به یکدیگر متصل می‌شوند باید کاملاً به هم جفت شده باشند و نباید از واشرهای پرکننده یا هر نوع مصالح فشارپذیر دیگری بین آنها استفاده گردد.

۵-۳-۱-۲- اتصال‌ها با جوشکاری

جوشکاری باید توسط جوشکاران ماهر و کاملاً با ابعاد مشخص شده، انجام گیرد. قبل از جوشکاری باید سطوح مورد نظر از مواد زاید کاملاً پاک شود. جوشکاری در دمای زیر صفر درجه سلسیوس به ویژه در جریان باد ممنوع است. با تامین شرایط ویژه تا ۱۸ درجه زیر صفر، با احتیاط می‌توان جوشکاری نمود. چنانچه در نقشه‌های اجرایی مشخص نشده باشد، شدت جریان الکترودها باید طوری انتخاب شود که جوش کامل و دارای نفوذ کافی بوده و قطعه‌های مورد اتصال به قدر کافی ذوب شوند. سطح جوش باید عاری از شیار، قسمت‌های برآمده، سوختگی و گودافتادگی باشد.

چنانچه جوشکاری در بیش از یک گذر انجام می‌شود، قبل از برداشتن پوسته هر گذر و پاک کردن آن با برس سیمی نباید گذر بعدی جوش شروع شود. جوشکاری باید به‌نحوی انجام شود که قطعه‌ها از شکل اصلی خارج نشده و درزها (در جوش گوشه)، دچار تابیدگی و اعوجاج نشوند.

در جوشکاری باید مقاومت جوش حاصل از کاربرد الکترودها به‌حدی باشد که بتواند تنش‌های محاسباتی را تحمل کند. برای این منظور الکتروده جوشکاری باید از بهترین نوع بوده و سیم جوشکاری باید تمیز و فاقد هرگونه آلودگی باشد. پودر جوشکاری باید دارای خاصیت قلیایی بوده و رطوبت آن قبل از مصرف نباید از ۰/۱ درصد تجاوز نماید.

به‌طور کلی روش جوشکاری، مهارت جوشکار، ظاهر کار، خواص جوش و روش‌هایی که برای تصحیح جوش و جوشکاری معیوب به کار می‌رود باید مطابق با مقررات جوشکاری مندرج در نشریه‌های ۲۰ تا ۲۴ و ۲۶ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی باشد.

۵-۳-۲- ملاحظه‌های فنی و اجرایی

بررسی مشخصات فولادی با نمونه‌برداری کافی از هر ۱۰ تن فولاد و انجام آزمایش‌های زیر صورت می‌گیرد:

- آزمایش مقاومت کششی و ازدیاد طول نسبی
- آزمایش خمشی سرد
- آزمایش خمشی بر اثر ضربه
- آزمایش ترکیب شیمیایی فولاد

گزارش آزمایش‌های انجام شده توسط کارخانه سازنده و یا آزمایشگاه‌های مورد تایید کارفرما (بنا به درخواست دستگاه نظارت) باید صحت ویژگی مکانیکی فولادها را در انطباق با ASTM یا روش‌های مشابه، تایید نماید.

پیچ‌های پرمقاومت و پرچ‌ها باید با مشخصات ASTM مطابقت داشته باشد و کارخانه سازنده باید گواهی لازم مبنی بر انطباق ویژگی‌های پیچ‌ها و پرچ‌ها را با آنچه که در ASTM آمده است ارائه دهد.

مصالح جوشکاری مشتمل بر الکترودها، سیم و پودر گداز آور جوشکاری، باید با مندرج‌های AWS یا مشابه آن مطابقت داشته باشد. روش جوشکاری باید مطابق با مقررات نشریه‌های ۲۰ تا ۲۴ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه باشد. رواداری در ابعاد، پیچیدگی، تابیدگی، کماتش اعضای فولادی و همچنین انحراف‌های هنگام نصب نباید فراتر از مقدار توصیه شده در آیین‌نامه مرتبط با توجه به نوع عضو، کاربری و روش اندازه‌گیری باشد.

آماده کردن سطوح و رنگ زدن تمامی قسمت‌های کارهای فلزی، به استثنای اعضای که در تماس با بتن یا مصالح روکار قرار می‌گیرند، به منظور محافظت ضروری است.

فصل ۶

کارهای بتنی و قالب‌بندی

۶-۱- کلیات

این فصل شامل دستورالعمل‌های تامین مواد اولیه بتن، ساخت تا عمل‌آوری بتن، روش‌های اندازه‌گیری و کنترل کیفیت مصالح بتن، مشخصات فنی و اجرایی قالب‌بندی، پرداخت سطوح بتن، درزهای اجرایی و آب‌بندها می‌باشد.

۶-۲- مصالح مورد نیاز بتن

مشخصات هر یک از اجزای تشکیل دهنده بتن، شامل سیمان، مصالح سنگی، آب، فولاد و در صورت لزوم مواد افزودنی، باید با ضوابط و مقررات آیین‌نامه بتن ایران «آبا» (نشریه شماره ۱۲۰) مطابقت نماید. مشخصات کلی اجزای تشکیل دهنده بتن به شرح زیر می‌باشد:

۶-۲-۱- سیمان

وضعیت، کیفیت و مشخصات، ملاحظه‌های حمل و نقل و نگهداری سیمان که در بتن به کار برده می‌شود باید مطابق مندرج‌های فصل دو این نشریه باشد. سیمان مصرفی در ساخت قطعه‌های باربر، باید با یکی از مشخصات انواع سیمان پرتلند، پرتلند آمیخته روبره‌ای، پرتلند آمیخته پوزولانی و پرتلند آمیخته آهکی، مطابقت داشته باشد. بالا بودن درجه حرارت سیمان به هنگام اختلاط، دمای بتن را افزایش داده و موجب تسریع عمل آگیری، سخت شدن فوری، بالا رفتن نیاز به آب، جمع‌شدگی خمیری بتن و درنهایت باعث پایین آمدن مقاومت بتن خواهد شد. درجه حرارت سیمان به هنگام وارد شدن به دستگاه بتن‌ساز نباید از ۷۷ درجه سانتی‌گراد تجاوز نماید.

۶-۲-۲- مصالح سنگی (شن و ماسه)

مصالح سنگی بتن، معمولاً حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می‌دهد. مصالح سنگی از منابع طبیعی یا سنگ شکسته و یا سرباره کوره‌های آهن‌گدازی قابل تامین است. مصالح سنگی مصرفی در بتن، شامل مصالح درشت‌دانه (شن) و ریزدانه (ماسه) می‌باشد. بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی بتن، به ویژگی‌های شن و ماسه ارتباط دارد. وضعیت، کیفیت و مشخصات، ملاحظه‌های حمل و نقل و نگهداری مصالحی که در بتن به کار برده می‌شود باید مطابق مندرج‌های فصل دو این نشریه باشد.

همان‌طور که قبلاً ذکر گردید (فصل دوم)، از شن و ماسه طبیعی گردگوشه و با سطح صیقلی نباید برای بتن با مقاومت بیش از ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع، استفاده نمود. شن و ماسه مکعبی شکل اولویت بیش‌تری نسبت به دانه‌های غیرطبیعی دارد. جنس شن و ماسه باید از سنگ‌های سیلیسی، سیلیکاتی یا آهکی سخت باشد و منابع تهیه آنها، قبل از استخراج باید ابتدا از مواد زاید، درخت‌ها، بوته‌ها، ریشه‌های گیاهان و مواد پادردختی تمیز گردد. به‌طور کلی مصالح سنگی باید تمیز، سخت، مقاوم، بادوام، عاری از مواد شیمیایی نامطلوب، پوشش‌های رسی و مواد دیگر و هرگونه آغشتگی که مانع از چسبندگی سیمان به سنگ‌دانه می‌شوند، باشند. مصالح شسته شده باید حداقل ۱۲ ساعت در محل باقی مانده و سپس مورد استفاده قرارگیرد.

سنگ‌دانه‌های مورد استفاده در ساخت بتن باید با استانداردهای مندرج در آیین‌نامه بتن ایران «آبا» (نشریه شماره ۱۲۰) مطابقت داشته باشد.

الف- مصالح ریزدانه (ماسه)

حداقل ۹۵ درصد از ماسه‌ای که در بتن به کار می‌رود، باید از الک ۴/۷۵ میلی‌متر (الک شماره ۴) عبور کند. همچنین باید تمام دانه‌های ماسه از سرنندی که قطر سوراخ‌های آن ۹/۵ میلی‌متر است، عبور نماید.

ب- مصالح درشت‌دانه (شن)

مصالح درشت‌دانه، شامل کلیه دانه‌های مانده روی الک ۴/۷۵ میلی‌متر تا ۱۰۱/۶ میلی‌متر می‌باشد. بزرگ‌ترین اندازه اسمی سنگ‌دانه‌های درشت مورد استفاده در بتن، نباید از هیچ یک از مقادیر زیر بیش‌تر باشد:

- یک‌پنجم کوچک‌ترین بعد داخلی مقطع بتن
- یک‌سوم ضخامت دال
- سه‌چهارم حداقل فاصله آزاد بین میلگردها
- سه‌چهارم ضخامت پوشش روی میلگرد

اندازه کوچک‌ترین الکی که حداکثر ۱۰ درصد وزنی سنگ‌دانه روی آن باقی بماند، اندازه اسمی سنگ‌دانه نامیده می‌شود. به کار بردن سنگ‌دانه‌های درشت‌تر از ۳۸ میلی‌متر در ساخت بتن آرمه توصیه نمی‌شود، ولی در هیچ حالت اندازه سنگ‌دانه نباید از ۶۳ میلی‌متر تجاوز کند.

۶-۲-۳- آب

آب مصرفی جهت شستشوی سنگ‌دانه‌ها، ساخت و عمل‌آوری بتن، باید تمیز و صاف باشد. انتخاب نسبت‌های اختلاط بتن و آزمایش‌های سیمان و غیره، باید براساس آبی باشد که در کارگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار pH آب مصرفی در بتن نباید از ۵ کم‌تر و از ۸/۵ بیش‌تر باشد. حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان‌آور در آب و روش‌های آزمایش و مشخصات، باید مطابق با آیین‌نامه بتن ایران «آبا» باشد.

۶-۲-۴- فولاد

وضعیت، کیفیت و مشخصات میلگرد که در بتن به کار برده می‌شود، باید مطابق فصل پنجم این نشریه (آرماتورگذاری و کارهای فولادی) باشد.

۶-۲-۵- مواد افزودنی

به استثنای مواد اصلی تشکیل دهنده بتن، شامل سیمان، مصالح سنگی و آب، آنچه را که برای تامین خواص معین و مشخص، برای مصارف مختلف به بتن، ملات و دوغاب اضافه می‌کنند، مواد افزودنی می‌نامند. مواد افزودنی به صورت گرد یا مایع هستند و

یک یا چند ویژگی بتن را تغییر داده، برخی از آنها را اصلاح می‌کنند و بعضاً ممکن است سبب اختلال و بروز عیب در پاره‌ای از ویژگی‌های مطلوب بتن شوند.

استفاده از مواد افزودنی در بتن، تنها با تصویب دستگاه نظارت مجاز است. مشخصات مواد افزودنی مورد استفاده در ساخت بتن باید با استانداردهای مندرج در آیین‌نامه بتن ایران «آبا» مطابقت داشته باشد. مواد افزودنی به دو گروه مواد افزودنی شیمیایی و مواد افزودنی معدنی تقسیم می‌شوند.

۶-۲-۵-۱- مواد افزودنی شیمیایی

مواد افزودنی حباب‌ساز یا هوازا باعث افزایش دوام و پایداری بتن در برابر رطوبت و یخ‌زدن و آب‌شدن مکرر می‌شوند. همچنین با مصرف این مواد، کارایی بتن تازه و نفوذناپذیری بتن سخت شده، افزایش می‌یابد و جدا شدن دانه‌ها و آب انداختن بتن، کاهش می‌یابد. مواد افزودنی کاهنده آب به یکی از سه منظور زیر به کار می‌روند:

۱- کاهش نسبت آب به سیمان (مقدار سیمان ثابت) با حفظ کارایی و رسیدن به مقاومتی بالاتر نسبت به بتن بدون افزودنی

۲- افزایش کارایی با حفظ نسبت آب به سیمان

۳- کاهش مصرف سیمان با حفظ کارایی و در نتیجه کاهش حرارت ناشی از هیدراتاسیون

مواد افزودنی کندگیرکننده برای کاهش تاثیر هوای گرم بر گیرش بتن و طولانی کردن زمان گیرش بتن حجیم، به کار می‌رود. مواد افزودنی تسریع کننده به منظور تسریع در گیرش یا تسریع کسب مقاومت بتن در سن کم‌تر به کار می‌رود. این افزودنی‌ها در مواقعی که بتن‌ریزی در هوای سرد انجام می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از کلراید کلسیم به عنوان تسریع کننده فقط برای بتن بدون آرماتور و با حداکثر مقدار وزنی ۲ درصد وزن سیمان مجاز می‌باشد. مواد خمیری کننده و روان کننده برای بهبود کارایی خواص مخلوط خشن و امکان پرداخت با ماله آهنی، بتن‌ریزی قطعه‌های با تراکم آرماتور زیاد و یا امکان پمپ بتن به کار می‌رود.

۶-۲-۵-۲- مواد افزودنی معدنی

افزودنی‌های معدنی خنثی و رنگدانه‌ها، مانند کوارتز آسیاب شده، موجب بهبود کارایی و چسبندگی بتن‌هایی که کمبود مواد ریزدانه دارند، می‌گردد. ترکیب‌های معدنی مانند اکسید آهن برای رنگ قرمز، قهوه‌ای، سیاه و زرد و اکسید کرم برای رنگ سبز به کار می‌رود. پوزولان‌ها عبارتند از مواد سیلیسی یا سیلیس و آلومینیومی که به شکل ذره‌های ریز در مجاور رطوبت برای کاهش میزان سیمان، کاهش سرعت و حرارت آگیری سیمان، بهبود کارایی بتن، افزایش مقاومت بتن و افزایش پایداری بتن از طریق کاهش نفوذپذیری آن به کار می‌رود.

افزودنی‌های شبه سیمانی مانند روباره آهن‌گذاری، وقتی که به نحو مناسب فعال شوند، خواص سیمانی پیدا می‌کنند. این افزودنی‌ها فقط در محیط قلیایی با آب، واکنشی مشابه سیمان پرتلند نشان می‌دهند.

۳-۵-۲- مواد افزودنی متفرقه

این گونه مواد به عنوان ضد رطوبت، کاهنده نفوذپذیری، دوغاب ساز، گاز ساز و ضد یخ در بتن استفاده می شوند. جهت استفاده از آنها، تایید دستگاه نظارت الزامی است.

۳-۶- ویژگی ها و مشخصات فنی بتن

کیفیت بتن از نظر مقاومت، پایداری و سایر نیازهای ویژگی محیطی، باید با ضوابط مندرج در آیین نامه بتن ایران «آبا» (نشریه شماره ۱۲۰) مطابقت نماید. ویژگی ها و مشخصات بتن به شرح زیر می باشد.

۳-۶-۱- پایداری بتن

پایداری بتن ساخته شده از سیمان پرتلند به مقاومت آن در برابر عوامل جوی، حمله های شیمیایی، سایش و فرسایش و فرآیندهای تقریبی دیگر اطلاق می گردد. بتن پایا در شرایط محیطی مورد نظر، شکل، کیفیت و قابلیت بهره برداری خود را حفظ می کند. برای افزایش پایداری در شرایط محیطی مختلف از اقدام های زیر استفاده می گردد:

- استفاده از مواد حباب زا برای بتنی که در معرض یخ زدن و آب شدن یا تحت اثر مواد شیمیایی یخ زدا قرار دارد. مقدار درصد حباب هوا براساس دت ۵۱۰ و بر مبنای حداکثر اندازه اسمی سنگدانه خواهد بود.
- محدود کردن نسبت آب به سیمان برای بتن آب بند، بتن های در معرض یخ زدگی و حفاظت در برابر خوردگی سازه های بتن آرمه در معرض کلریدها، تعیین می گردد.
- تدابیر احتیاطی در محیط های سولفاتی مشتمل بر سولفات خاک، آب های زیرزمینی اسیدی با استفاده از نوع سیمان ضد سولفات، بتن متراکم و با کیفیت عالی و کاهش نسبت آب به سیمان، میزان سیمان مناسب با توجه به نوع سازه.
- محدودیت کلریدها در بتن به منظور حفاظت میلگردها در بتن.
- جهت بتن مقاوم در برابر سایش از بتن طبقه C25 به بالا با کاهش نسبت آب به سیمان، محدودیت اندازه مصالح سنگی، اسلامپ همراه با پرداخت و عمل آوری مطلوب.

۳-۶-۲- سایش و فرسایش

سایش بتن در کف ها و فرسایش آن در سازه های انتقال دهنده آب از عوامل مهم کاهنده دوام بتن می باشد که با اقدام های زیر می توان با آنها مقابله نمود:

- انتخاب مقاومت مناسب
- ساخت بتن با حداقل تخلخل ممکن
- استفاده از سنگدانه های سخت و با دوام
- دقت در عمل آوردن بتن

از عوامل سایش می توان به بارهای سنگین، ضربه یا جریان های سریع آب حاوی مواد سنگی و یخ اشاره نمود. برای سایش متعارف باید بتن رده C25 با حداکثر اندازه مصالح سنگی ۲۵ میلی متر و پایین ترین درجه روانی (اسلامپ در حدود ۲۵ میلی متر) و

حداقل مقدار هوای موجود در بتن، مورد استفاده قرار گیرد. در مواردی که سایش روی بتن زیاد باشد، مانند بتن رویه سرریز، حوضچه آرامش و مجاری تخلیه رسوب‌ها، ضمن رعایت موارد بالا باید بتن، در دولایه ریخته شود و مقاومت لایه پوشش رویی نباید کمتر از ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع بوده و توصیه می‌گردد از بتن رده C30 با حداکثر اندازه مصالح سنگی ۱۲/۵ میلی‌متر استفاده شود. عمل آوردن بتن باید به‌دقت صورت پذیرد. بدین منظور ماله‌کشی و صافکاری سطح بتن حداقل ۲ ساعت بعد از ریختن بتن باید انجام گرفته و عمل‌آوری آن باید فوراً پس از بتن‌ریزی شروع شود.

۳-۳-۶- مقاومت فشاری بتن

مقاومت فشاری مشخصه بتن، مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای ۲۸ روزه‌ای می‌باشد که حداکثر ۵ درصد تمامی مقاومت‌های اندازه‌گیری شده برای رده بتن مورد نظر، ممکن است کمتر از آن باشد. در مورد بتن‌هایی که با سیمان ضدسولفات ساخته می‌شود، مقاومت ۴۲ روزه مبنای سنجش است.

طرح سازه براساس مقاومت مشخصه بتن صورت می‌گیرد و بر روی نقشه‌ها منعکس می‌باشد. رده‌بندی بتن براساس مقاومت مشخصه آن به ترتیب C50, C45, C40, C35, C30, C25, C20, C16, C12, C8, C6 می‌باشد.

اعداد بعد از C بیانگر مقاومت فشاری مشخصه بتن بر حسب مگاپاسکال (نیوتن بر میلی‌مترمربع) با نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. در صورت استفاده از نمونه‌های مکعبی باید مقاومت آنها به مقاومت نظیر نمونه‌های استوانه‌ای تبدیل شود. مقاومت نمونه‌های ۷ روزه برای سیمان معمولی حدود ۷۰ درصد مقاومت ۲۸ روزه و برای سیمان ضدسولفات حدود ۶۰ تا ۶۵ درصد مقاومت ۴۲ روزه است. مقاومت بتن را می‌توان با استفاده از نمونه‌های مکعبی شکل تعیین نمود که در چنین حالتی ضرایب تبدیل مقاومت نمونه‌ها به شرح جدول (۱-۶) می‌باشد.

جدول ۱-۶- ضرایب تبدیل مقاومت نمونه‌ها

شکل و اندازه نمونه	ضریب تبدیل
سانتی‌متر ۱۵×۳۰ استوانه به ابعاد	۱
سانتی‌متر ۲۰×۲۰ مکعب به ابعاد	۱/۲۵
سانتی‌متر ۱۵×۱۵ مکعب به ابعاد	۱/۳۳

بر این اساس به عنوان مثال، مقاومت فشاری ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع نمونه استوانه‌ای با مشخصه C30، برابر با ۳۷۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع نمونه مکعبی با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و برابر با ۳۹۵ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵×۱۵ سانتی‌متر خواهد بود.

۳-۳-۶- انتخاب نوع بتن

انواع بتن‌های مصرفی عموماً به شرح زیر برای سازه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد:

– بتن C12 و پایین‌تر، بدون آرماتور جهت یکنواخت کردن سطح پی، به‌عنوان بتن مگر و مواد پرکننده مصرف می‌گردد.

- بتن C16، که کم‌تر در بتن مسلح و عموماً به‌صورت غیرمسلح برای بتن‌های محافظ و بتن‌های حجیم مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- بتن C20، برای بتن فونداسیون سازه‌ها، دیوارها و پوشش بتنی آبراهه‌ها و اغلب سازه‌های بتن مسلح مورد مصرف قرار می‌گیرد.
- بتن C25، برای کلیه اعضای سازه‌ای مسلح نظیر دال‌ها، سازه‌های بزرگ، کالورت‌ها، آبشارها، دیوارها و برای بتن در معرض فرسایش مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- بتن C30، برای قطعه‌های پیش‌ساخته بتنی مانند تیرها، دال‌ها، لوله‌های بتنی به‌کار می‌رود. این بتن برای سازه‌ها با فرسایش زیاد نیز مورد توصیه است.
- بتن TC40 برای بتن پیش‌تنیده مصرف می‌گردد.
- برای بتن‌های بالاتر از رده C50، ضوابط ویژه باید رعایت شود.
- بتن با عیار بیش از ۴۰۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب، برای سازه‌های آبی با بتن مسلح مورد توصیه نمی‌باشد.

۶-۳-۵- طرح اختلاط بتن

- تعیین نسبت‌های اختلاط مواد تشکیل دهنده بتن باید به‌صورتی باشد تا بتن بتواند به سهولت در قالب‌ها ریخته شود و به خوبی میلگردها را دربرگیرد، بدون این‌که جدایی دانه‌ها یا آب انداختن زیاد روی دهد.
- برای بتن‌های رده C12 و پایین‌تر، می‌توان نسبت‌های اختلاط را براساس تجارب قبلی و بدون مطالعه آزمایشگاهی تعیین کرد.
 - برای بتن‌های رده C25 و پایین‌تر، می‌توان دفترچه مشخصات فنی عمومی (نسبت‌های اختلاط استاندارد) را ملاک قرار داد، مشروط بر آن‌که مصالح مصرفی استاندارد باشد.
 - برای بتن‌های رده C30 و بالاتر، تعیین نسبت‌های بهینه اختلاط باید از طریق مطالعات آزمایشگاهی باشد و اطلاعات، حداکثر نسبت آب به سیمان، حداقل مقدار سیمان، مقدار هوای بتن، اسلامپ، بزرگ‌ترین اندازه سنگ‌دانه، مقاومت، انواع خاص سیمان و دیگر الزام‌ها نظیر حاشیه ایمنی مقاومت مواد افزودنی، جزء الزام‌های طرح می‌باشد.
 - مقدار آب مصرفی برای ساختن بتن براساس مشخصات مورد نیاز تعیین می‌شود. اضافه نمودن آب برای کاهش سفتی بتن پس از تکمیل عمل اختلاط مجاز نمی‌باشد. نسبت آب به سیمان نباید از ۰/۵ بیشتر باشد. نسبت آب به سیمان یکی از شاخص‌های اصلی تخمین مقاومت بتن است. به‌طور کلی مقاومت بتن با نسبت آب به سیمان نسبت معکوس دارد و کاهش نسبت آب به سیمان، نفوذناپذیری بتن را بهبود می‌بخشد.
 - اسلامپ (کندروانی) بتن به میزان مصالح سنگی که به مقدار معین خمیر سیمان اضافه می‌شود، بستگی دارد. اسلامپ بتن‌های غلیظ را نباید با افزودن آب بیش‌تر به مخلوط تغییر داد، مگر آن‌که میزان سیمان نیز متناسب با نسبت آب به سیمان افزایش داده شود. کارایی بتن به میزان اسلامپ و روانی بتن ساخته شده بستگی دارد و حداکثر مقدار اسلامپ مجاز براساس نوع سازه و شرایط کار تعیین می‌گردد و برای تامین کارایی و کاهش میزان آب، از مواد افزودنی

خمیری کننده و روان کننده استفاده می‌شود. میزان اسلایپ در صورت عدم استفاده از مواد روان کننده نباید بیش‌تر از ۵۰ میلی‌متر باشد.

– تعیین و روش‌های تعیین نسبت‌های اختلاط، آزمایش‌ها و ارزیابی و پذیرش بتن باید مطابق با آیین‌نامه بتن ایران «آبا» (نشریه شماره ۱۲۰) باشد.

۴-۶- ساخت و حمل بتن

ساخت بتن و بتن‌ریزی باید با ضوابط و مقررات آیین‌نامه بتن ایران «آبا» (نشریه شماره ۱۲۰) مطابقت نماید. موارد کلی ساخت بتن و بتن‌ریزی به شرح زیر می‌باشد.

۴-۶-۱- ساخت بتن

مصالح بتن باید به‌طور کلی و به‌نحوی مخلوط شود که بتن تهیه شده همگن و یک‌رنگ بوده و کلیه دانه‌ها به‌طور یکنواخت به دوغاب سیمان آغشته شود. به دلیل تقریب در اندازه‌گیری حجمی مصالح، خصوصاً ماسه، توزین و اندازه‌گیری باید به روش وزنی صورت گیرد. بتن باید به اندازه‌ای ساخته شود که بلافاصله به‌کار برده شود. افزودن آب و دوباره مخلوط نمودن بتن مجاز نیست. در صورت استفاده از مخلوط‌کن، قبل از ورود مصالح به داخل دستگاه، باید اطمینان حاصل شود که تمام بتن ساخته شده قبلی از دستگاه خارج شده است.

مخلوط‌کن‌های ثابت، اعم از بتن‌ریزهای معمولی و بتن‌ساز مرکزی باید بتوانند بتن را در زمان مشخص مخلوط و آماده نمایند. در این مخلوط‌کن‌ها ابتدا قبل از ورود مصالح حدود ۱۰ درصد آب مورد لزوم وارد جام شده و ۱۰ درصد قسمت آخر آب، بعد از سپری شدن نصف مدت اختلاط، اضافه خواهد شد. مدت زمان اختلاط بستگی به میزان بتن و قدرت مخلوط‌کن داشته و حداقل آن از ۱/۵ تا ۳ دقیقه برای ظرفیت مخلوط‌کن ۱/۵ تا ۴/۵ مترمکعبی است. به هر صورت حداقل ۱/۵ دقیقه پس از ریختن تمام مواد تشکیل دهنده، عمل اختلاط باید صورت پذیرد.

مواد افزودنی باید به‌طور یکنواخت وارد دستگاه شود و چنانچه مایع باشند، همراه آب و اگر به صورت پودر باشند، همراه سایر اجزای خشک وارد جام شوند و در صورت استفاده بیش از یک نوع ماده افزودنی، باید مواد مذکور به‌طور جداگانه اندازه‌گیری شده و قبل از ورود به مخلوط‌کن نباید با هم مخلوط شوند.

بتن آماده ممکن است به یکی از چهار طریق زیر تهیه شود:

- ۱- تمامی عملیات ساخت در مخلوط‌کن ثابت انجام و بتن ساخته شده با کامیون مخلوط‌کن^۱ و با هم‌زدن به محل کار حمل شود.
- ۲- عمل اختلاط، قسمتی در مخلوط‌کن ثابت و قسمتی در کامیون مخلوط‌کن براساس استاندارد دت ۵۰۱ انجام شود.
- ۳- عمل اختلاط کلاً در کامیون مخلوط‌کن انجام شود.
- ۴- اختلاط حجمی مصالح به صورت خشک در میکسر متحرک انجام و آب به‌صورت پیوسته به جام مخلوط‌کن اضافه می‌شود. انجام این روش باید با استاندارد دت ۵۱۷ مطابقت نماید.

دروای گرم می‌توان با تایید دستگاه نظارت مقداری از آب بتن را پس از رسیدن کامیون مخلوط‌کن به محل بتن‌ریزی به مخلوط اضافه نمود. سرعت اختلاط معمولاً ۶ تا ۸ دور در دقیقه و سرعت هم‌زدن ۲ تا ۶ دور در دقیقه می‌باشد.

اختلاط با دست فقط برای بتن از رده C15 به پایین مجاز می‌باشد. به این منظور سیمان خشک به صورت یکنواخت روی مصالح سنگی پخش و کامل مخلوط می‌شود. سپس به تدریج آب به مخلوط اضافه می‌شود تا بتن همگن به دست آید. بتن ساخته شده با دست، حداکثر ۳۰ دقیقه پس از ساخت باید مصرف شود.

۶-۴-۲- حمل بتن

حمل بتن از محل ساخت تا محل بتن‌ریزی باید در اسرع وقت صورت گیرد و به نحوی باشد که تغییر قابل ملاحظه‌ای از نظر نسبت آب به سیمان، اسلامپ، مقدار هوای موجود و یکنواختی بتن به وجود نیاید. همچنین باید دقت شود که در هنگام حمل، از جدا شدن اجزای تشکیل دهنده بتن، از دست رفتن شیره بتن و یا داخل شدن مواد خارجی به آن جلوگیری شود. روش‌های حمل و نقل بتن با توجه به شرایط کار و با تایید دستگاه نظارت تعیین خواهد شد که به شرح زیر می‌باشد.

الف- روش دستی

حمل بتن با انواع چرخ‌های دستی، فرغون و دامپر مجاز نیست، مگر در کارهای کوچک که حجم ساخت بتن از ۳۰۰ لیتر در هر نوبت تجاوز نکند و رده بتن از C20 پایین‌تر و فاصله حمل کوتاه باشد (کمتر از ۱۲۰ متر برای دامپر و ۶۰ متر با چرخ دستی بدون موتور). در صورت استفاده از روش دستی، مسیر حمل باید صاف و افقی بوده و حمل با دقت انجام گیرد تا جداسازی اجزای بتن رخ ندهد.

ب- ناوه شیب‌دار (شوت)

ناوه شیب‌دار برای انتقال بتن از بالا به پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد. ناوه شیب‌دار باید فلزی یا دارای روکش فلزی و دارای سطح مقطع نیم‌دایره بوده و کاملاً آب‌بندی شده باشد. شیب ناوه ثابت بوده و در انتها به قیف قائم برای تخلیه بتن متصل می‌گردد. با توجه به طول ناوه شیب‌دار، باید با نظر دستگاه نظارت، پیش‌بینی‌های لازم در مقابل خطر خشک شدن و کاهش اسلامپ بتن در اثر آفتاب و باد و سایر عوامل جوی صورت گیرد. در هر صورت بتن نباید از ارتفاع بیش از ۲ متر در قالب‌ها ریخته شود.

د- جام (باکت)

معمولاً جام به وسیله جرثقیل حرکت داده می‌شود. در موقع حمل و نقل باید از لرزیدن و تکان خوردن جام جلوگیری شود. جام باید دارای مشخصات و ساخت مورد تایید دستگاه نظارت باشد.

ه- کامیون

برای تراکم‌میکسر که ممکن است تمامی مراحل ساخت بتن در آن انجام گیرد، سرعت اختلاط حدود ۷۰ تا ۱۰۰ دور دوران می‌باشد. قبل از ریختن بتن درون قالب، ۱۰ تا ۱۵ دور با سرعت اختلاط بچرخد. برای خودروهای معمولی (با یا بدون هم‌زدن) زمان

حمل نباید از ۴۵ دقیقه و برای کامیون مخلوط‌کن، از ۹۰ دقیقه تجاوز کند. در مواردی که کامیون مخلوط‌کن فقط به منظور حمل بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد، حجم مطلق کلیه اجزای محموله نباید از ۸۰ درصد حجم جام تجاوز کند.

و- پمپ بتن

از پمپ بتن جهت انتقال آن به صورت تحت فشار با استفاده از لوله استفاده می‌گردد. به‌طور کلی در صورت موافقت دستگاه نظارت، استفاده از پمپ برای انتقال بتن مجاز است.

حداکثر اندازه مصالح سنگی در بتن پمپ شده نباید برای مصالح گرد گوشه از ۴۰٪ و تیز گوشه از ۳۳٪ قطر لوله‌های تخلیه پمپاژ بتن، بیش‌تر باشد. پمپ باید تا حد امکان در نزدیک‌ترین محل به مکان بتن‌ریزی مستقر باشد. حداکثر نسبت آب به سیمان باید به رقم ۴۵٪ محدود شده و میزان اسلامپ بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر باشد. در صورت لزوم و بنا به تشخیص دستگاه نظارت، باید در انتهای لوله برای جلوگیری از جدایی دانه‌ها، قیف مخصوص نصب شود.

۶-۵- بتن‌ریزی

به‌طور کلی قبل از شروع عملیات بتن‌ریزی، با توجه به ابعاد و شکل قطعه‌ها، پیمانکار باید برنامه بتن‌ریزی و نیز کلیه موارد زیر را به تایید دستگاه نظارت برساند:

- حجم و مشخصات مصالح مورد مصرف
 - ظرفیت، قدرت و مشخصات دستگاه بتن‌ساز، وسایل حمل، وسایل تخلیه بتن و تجهیزات و ماشین‌آلات
 - تعداد نیروی انسانی متخصص و مقدار تجربه آنها
 - آماده بودن محل بتن‌ریزی
 - قالب‌بندی از نظر ابعاد، رقوم، شیب‌ها، روغن‌کاری داخل قالب‌ها و پرداخت سطوح
 - نصب میلگردها از نقطه نظر تعداد، قطر، اندازه، فاصله، شکل خم و برش
 - نصب لوله‌ها و سایر اجزای و قطعه‌های مدفون و تعبیه سوراخ‌ها و جاسازی‌های لازم
 - تعبیه درزها مطابق نقشه‌ها و مشخصات
 - تخلیه آب از محل‌های بتن‌ریزی و آماده نمودن آن
- قبل از عملیات بتن‌ریزی، باید مواد زائد از محل‌های بتن‌ریزی زدوده شده و مصالح بنایی که در تماس با بتن خواهد بود، به خوبی خیس شوند. همچنین باید، قالب‌ها و تمامی میلگردها قبل از بتن‌ریزی، کاملاً تمیز شده و آب اضافه از محل بتن‌ریزی خارج شود، مگر آن‌که استفاده از قیف و لوله مخصوص بتن‌ریزی در آب (لوله ترمی)، مورد نظر باشد یا دستگاه نظارت آن را مجاز بداند. قبل از ریختن بتن جدید روی بتن سخت شده، باید لایه ضعیف احتمالی سطح بتن و هر نوع ماده زائد دیگر زدوده شود.
- تخلیه آب از محل‌های بتن‌ریزی باید به‌نحوی باشد که آب موجود در محل، به آب بتن اضافه نشود. همچنین باید هرگونه جریان آب به داخل محوطه پی، به نحو قابل قبول برای دستگاه نظارت، تخلیه شود، به‌طوری که بتن تازه (قبل از سخت‌شدن) در معرض جریان آب قرار نگیرد و در مقدار آب آن تغییری حاصل نشود.

۶-۵-۱- آماده نمودن بستر خاکی

در این گونه موارد، مصالح نامرغوب سست باید از محل کار خارج شده و تا تراز مورد نظر با مصالح مناسب یا بتن نوع C6 طبق دستور دستگاه نظارت جایگزین گردد. کف پی باید محکم کوبیده و رگلاژ شود. بستر خاکی شالوده تمامی سازه‌ها باید قبل از بتن‌ریزی با یک قشر بتن لاغر (رده C10) به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پوشیده شود. در مواردی که بتن‌ریزی در جنب دیواره‌های خاکی، بدون قالب‌بندی صورت می‌گیرد باید با استفاده از روکش نایلونی از ریزش خاک و آلوده شدن بتن جلوگیری به عمل آید.

۶-۵-۲- آماده کردن بستر سنگی

در بسترهای سنگی باید بستر کاملاً افقی و جداره‌های آن تا حد امکان قائم باشد. داخل پی باید عاری از هرگونه مواد زاید بوده و قبل از بتن‌ریزی مرطوب گردد. به منظور ایجاد چسبندگی کامل بین بتن و بستر سنگی و تراز نمودن آن، بستر سنگی باید با ملات ماسه سیمان به عیار ۳۰۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب و به ضخامت حدود ۲/۵ سانتی‌متر روکش شود.

۶-۵-۳- آماده نمودن سطوح بتن سخت‌شده

برای تامین پیوستگی لازم بین بتن سخت‌شده قدیم و جدید، سطح بتن قدیم باید کاملاً تمیز و عاری از مواد زاید بوده و به اندازه کافی زبر شود، به طوری که دانه‌های شن در سطح بتن نمایان گردد. به منظور آماده نمودن سطح بتن برای بتن‌ریزی جدید باید سطح بتن قدیم به مدت یک روز تا حد اشباع مرطوب نگاه داشته شود، البته قبل از بتن‌ریزی باید آب‌های باقی‌مانده روی سطح بتن تخلیه شود. آماده نمودن سطح بتن قدیم به وسیله برداشت سطح رویه بتن قدیم از طریق ماسه‌پاشی یا برداشت لایه سست سطحی بتن قدیم با آب و هوای تحت فشار، انجام می‌شود.

۶-۵-۴- بتن‌ریزی در سطوح شیب‌دار

چنانچه عملیات روی سطح شیب‌دار با دست انجام گیرد و ضخامت سازه کم باشد، باید بتن در تمام ضخامت دال ریخته شده و لرزاندن، ماله‌کشی، تسطیح و تنظیم سطح بتن از قسمت تحتانی شیب به سمت بالا انجام شود. برای جلوگیری از جاری شدن بتن، توصیه می‌شود اسلامپ بتن، کم‌تر از ۶/۵ سانتی‌متر باشد. تعبیه قالب برای سطح فوقانی با شیب بیش‌تر از یک عمودی به یک افقی، الزامی است.

۶-۵-۵- میلگردگذاری و جاسازی قطعه‌های مدفون و کنترل قالب‌ها

قبل از بتن‌ریزی باید میلگردها، میل مهارها، لوله‌ها و سایر قطعه‌های مدفون در موقعیت تعیین شده، نصب و محکم بسته شوند. کلیه قطعه‌ها باید تمیز و عاری از مواد زاید باشند. قالب‌ها نیز باید تمیز و عاری از مواد زاید بوده و در جای خود به خوبی مهار و محکم شده و به خوبی روغن کاری شوند تا برداشتن آنها به راحتی انجام شود. کیفیت قالب‌بندی و میلگردگذاری و جاسازی قطعه‌های مدفون و تطبیق آنها با نقشه‌ها و مشخصات، باید قبل از بتن‌ریزی به تایید دستگاه نظارت برسد.

۶-۵-۶- تعبیه درزها

وضعیت، کیفیت و مشخصات درزهای قطعه‌های بتنی باید مطابق با مندرج‌های بند ۶-۱۰-۵ باشد.

۶-۵-۷- ملاحظه‌های اجرایی بتن‌ریزی و متراکم ساختن بتن

بتن باید قبل از گیرش در محل مورد نظر ریخته شود. بعد از ریختن بتن عملیات مخلوط کردن برای تامین یکنواختی در بتن مجاز نیست. روش بتن‌ریزی نباید باعث جدایی ملات سیمان از دانه‌ها، تشکیل خلل و فرج در بتن، تراوش شیره بتن به سطح بالایی و یا ایجاد لرزش در قالب‌ها شود.

بتن‌ریزی در مواقع بارندگی، ریزش برف، وزش باد شدید، تابش مستقیم خورشید و دمای نامناسب مجاز نمی‌باشد. بتن نباید به‌طور افقی برای فاصله زیاد بین قالب‌ها حرکت داده شود و ریختن بتن به‌طور آزاد و عمودی از ارتفاع بیش از ۲ متر مجاز نیست. همچنین باید بتن، در جهت و روی بتنی که قبلاً ریخته شده تخلیه شود و محموله‌های بتن باید به‌طور متوالی از یک جهت ریخته شوند. بتن باید در یک نقطه در حجم زیاد تخلیه شده و سپس به‌طور افقی به محل نهایی منتقل شود.

قطعه‌ها و بست‌هایی که برای تثبیت میلگردها و یا قالب‌ها به کار می‌روند باید هنگامی که دیگر به وجود آنها نیازی نیست، برداشته شوند. و در صورتی که این قطعه‌ها از جنس فلزی یا بتنی باشد با موافقت دستگاه نظارت، باقی ماندن آنها در بتن بلا مانع است.

در هر بار بتن‌ریزی کلیه اطلاعات لازم از قبیل درجه حرارت، شرایط آب و هوایی، تاریخ، مدت بتن‌ریزی، موقعیت و مشخصات قطعه، شماره نمونه‌های آزمایش، نسبت اختلاط و غیره باید ثبت شود.

بتن را باید تا حد ممکن متراکم کرد تا هوای محبوس در آن به حداقل برسد. لرزاندن، سیخ‌زدن، کوبیدن سطح بتن و ضربه‌زدن به سطح قالب از شیوه‌های تراکم می‌باشد. از وسایل مناسب تراکم، ویراتور می‌باشد که به‌طور منظم و فواصل مشخص و به‌صورت قائم وارد بتن می‌گردد و به آرامی بیرون کشیده می‌شود تا حباب هوا داخل بتن باقی نماند. دو قسمت لرزانده شده باید با هم، هم‌پوشانی داشته و قسمتی از ویراتور باید در لایه زیرین که هنوز حالت خمیری دارد، فرو برده شود. فرکانس لرزشی دستگاه ویراتور غوطه‌ور نباید از ۴۰۰۰ سیکل در دقیقه کمتر باشد.

مدت نگهداری ویراتور در بتن به میزان اسلامپ بستگی دارد و در حدود ۵ تا ۱۵ ثانیه است و بستگی به سرعت دارد. خارج کردن ویراتور از بتن، آرام و درحد ۸ سانتی‌متر در ثانیه می‌باشد. لرزاندن بیش از اندازه بتن که باعث تفکیک دانه‌ها شود، مجاز نیست. سطح واقعی بین بتن قدیمی و بتن جدید ریخته شده را، سطح واریز می‌گویند. سطح مقطع بتن در محل قطع بتن‌ریزی (سطوح واریز) باید مستوی و حتی‌الامکان عمود بر امتداد تنش‌ها باشد. در قطعه‌های بزرگ بتنی سطوح واریز را باید شکسته و به‌صورت پلکانی درآورد. ایجاد سطوح واریز قائم به‌وسیله قالب موقت، عملی می‌گردد. چون سطوح واریز معمولاً مقاومت کم‌تری در برابر کشش و برش دارند و ظرفیت باربری قطعه در این محل‌ها کاهش می‌یابد، باید مقدار این‌گونه سطوح را تا حد ممکن کم کرد. به‌طور کلی باید سعی گردد تا رسیدن به محل‌های مجاز از پیش تعیین شده، نظیر درزهای ساختمانی، بتن‌ریزی بدون وقفه ادامه یابد.

برای بتن‌ریزی جدید، باید اولین پیمانه‌های آن پرمات بوده (دانه‌های درشت را در مخلوط‌کننده کم کرد) و از سطح بتن قدیم، شیره خشک شده کاملاً پاک و سطح واریز را مرطوب نمود.

بتن تمام قسمت‌های یک دال و تیرهای مربوط باید در یک مرحله ریخته شود و بتن‌ریزی آنها را باید پس از گذشت حداقل ۴۸ ساعت از بتن‌ریزی ستون‌ها، دیوارها و تکیه‌گاه‌ها انجام داد.

حداکثر ضخامت مراحل و لایه‌های بتن‌ریزی، چنانچه در نقشه‌ها و سایر مشخصات تعیین نشده باشد به شرح جدول (۲-۶) مورد توصیه می‌باشد.

جدول ۲-۶- حداکثر ضخامت مراحل و لایه‌های بتن‌ریزی

نوع قطعه بتنی	حداکثر ضخامت هر مرحله بتن‌ریزی (متر)	حداکثر ضخامت هر لایه (متر)
دیوار و پایه‌های حجیم	۳	۰/۵
سایر دیوارها و پایه‌ها	۳	۰/۳۵
دال‌ها	ضخامت دال	۰/۳۵

۶-۵-۸- بتن‌ریزی در شرایط ویژه

بتن‌ریزی در شرایط ویژه و هوای گرم و سرد باید با فراهم کردن شرایط مناسب و اتخاذ تدابیر لازم و مطابق ضوابط آیین‌نامه بتن ایران «آبا» (نشریه شماره ۱۲۰) و با تایید دستگاه نظارت صورت گیرد.

۶-۵-۸-۱- بتن‌ریزی در هوای گرم

هوای گرم به دمای زیاد هوا و رطوبت کم اطلاق می‌شود. این عوامل باعث تبخیر سریع آب، افزایش سرعت آبیگری سیمان، کاهش کارایی بتن تازه و تسریع گیرش آن می‌شوند، که می‌تواند موجب تشدید جمع‌شدگی و ایجاد ترک در بتن جوان و کاهش مقاومت نهایی بتن گردد. دمای بتن در هنگام بتن‌ریزی نباید بیش از ۳۲ درجه سلسیوس (سانتی‌گراد) برای بتن معمولی و ۱۵ درجه سلسیوس برای بتن حجیم باشد. استفاده از سیمان با حرارت‌زایی کم، مواد کندگیرکننده، خنک کردن آب مصرفی، آب‌پاشی قالب‌ها و میلگردها مورد توصیه می‌باشد.

۶-۵-۸-۲- بتن‌ریزی در هوای سرد

هوای سرد به وضعیتی اطلاق می‌گردد که برای ۳ روز متوالی دمای متوسط هوا در شبانه روز کمتر از ۵ درجه سلسیوس و یا دمای هوا برای بیش‌تر از نصف روز از ۱۰ درجه سلسیوس زیادتر نباشد. هوای سرد باعث می‌شود که بتن تازه ریخته شده دچار یخ‌زدگی گردد و بتن کیفیت خود را از دست بدهد.

استفاده از سیمان زودگیر، مواد حباب‌زا، مواد زودگیر و آب گرم مصرفی با رعایت ضوابط مربوط، برای اطمینان از سرعت در کسب مقاومت بتن، مورد توصیه می‌باشد.

۶-۵-۸-۳- بتن‌ریزی در مناطق ساحلی جنوب کشور

در این مناطق ضمن رعایت ضوابط بتن‌ریزی در هوای گرم باید موارد زیر رعایت گردد:

- حداقل مقدار سیمان ۳۵۰ و حداکثر آن ۴۵۰ کیلوگرم در مترمکعب بتن باشد.
- از سیمان مناسب با حرارت‌زایی کم استفاده شود.

- استفاده از آب نمک‌دار به ویژه آب دریا برای شستشوی سنگ‌دانه‌ها، تهیه و عمل‌آوری بتن مجاز نمی‌باشد.
- حداکثر نسبت آب به مواد سیمانی (سیمان به علاوه مواد پوزولانی) $0/4$ درصد باشد.

۶-۵-۴- بتن‌ریزی زیر آب

در صورتی که امکان خشک کردن محیط به خاطر جریان زیاد آب، توسط پمپاژ آب، میسر نگردد، بتن‌ریزی در زیر آب با شرایط خاصی با رعایت نکته‌های زیر باید انجام پذیرد:

- بتن‌ریزی باید به‌طور پیوسته و توسط لوله (ترمی) به قطر حداقل ۲۵ سانتی‌متر صورت گیرد.
- عیار سیمان نباید از ۴۰۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب بتن کمتر باشد تا چسبندگی بتن تازه زیاد شود و نیز پس از اتلاف مقداری از سیمان در اثر مخلوط شدن در آب، باقی‌مانده سیمان کافی باشد.
- نسبت وزنی آب به سیمان نباید از $0/45$ بیش‌تر باشد.
- بزرگ‌ترین بعد دانه‌های شن نباید از ۲۰ میلی‌متر بیش‌تر باشد.
- مقدار ماسه در مقایسه با بتن‌ریزی در هوا باید بیش‌تر باشد (بین ۴۰ تا ۵۰ درصد وزن کل مصالح دانه‌بندی).
- حداقل میزان اسلامپ بتن باید ۱۵ سانتی‌متر باشد.
- برای سهولت در جریان یافتن مخلوط بتن، استفاده از شن و ماسه طبیعی نسبت به شکسته توصیه می‌گردد.
- مناسب است برای بالا بردن کیفیت بتن‌ریزی، حرارت مخلوط بتن به هنگام بتن‌ریزی از ۲۱ درجه سانتی‌گراد کمتر باشد.
- سر لوله ترمی باید همیشه در داخل بتن قرار داشته و بتن، زیر بتن تازه ریخته شده قبلی و بدون تماس با آب ریخته شود.

۶-۶- عمل‌آوری و مراقبت بتن

تا زمانی که بتن به اندازه کافی سخت نشده است به منظور جلوگیری از افت زودرس و جلوگیری از کاهش آب سطح فوقانی برای ترکیب با سیمان، باید آن را در برابر اثرهای نامطلوب محیطی محافظت نمود. از جمله این اثرها، می‌توان به خشک شدن زودرس (در اثر تابش آفتاب و وزش باد)، شسته شدن بتن تازه توسط آب باران یا آب جاری، کاهش سریع درجه حرارت بتن در روزهای اول، سرما یا یخ‌زدگی و لرزشی که چسبندگی بین آرماتور و بتن را مختل کند، اشاره کرد.

عمل‌آوری باید بلافاصله پس از تراکم بتن آغاز شود. به این منظور، حداقل تا ۲۴ ساعت پس از اتمام بتن‌ریزی، عبور و مرور افراد از روی قطعه مزبور مجاز نمی‌باشد. عمل‌آوردن بتن معمولاً به طریق زیر انجام می‌گیرد:

- ۱- عمل‌آوری با آب به‌صورت پیوسته یا متناوب برای مرطوب نگهداشتن سطح بتن که پس از گیرش و سخت شدن بتن (تقریباً ۱۲ تا ۲۴ ساعت بعد از تکمیل بتن‌ریزی) به روش‌های آب‌پاشی، استفاده از آب راکد، پوشش مراقبتی مانند حصیر، گونی و خاک صورت می‌گیرد.
- ۲- حفظ آب بتن با استفاده از ترکیب‌های عمل‌آوری که به این وسیله، پوسته نازک غشایی تشکیل و اندود محافظ به‌وجود می‌آید و یا با استفاده از پوشینه‌های مراقبت نظیر کاغذهای نفوذناپذیر و یا نایلونی از پلی‌اتیلن، این کار صورت می‌گیرد.

۳- عمل آوری با بخار آب که باعث تسریع گیرش و سخت شدن بتن می‌گردد، مشروط بر این که بر ویژگی‌ها و پایداری بتن اثر نامطلوب نداشته باشد.

مدت مراقبت در آب و هوای بالاتر از ۵ درجه سانتی‌گراد، مدت زمانی است که برای به دست آوردن ۷۰ درصد مقاومت فشاری یا خمشی تعیین شده، لازم است و یا ۷ روز برای کلیه روش‌های مراقبت، هر کدام که کمتر باشد. کلاً این مدت به نوع سیمان، مقاومت مورد نظر، نسبت سطوح نمایان به حجم و شرایط آب و هوایی بستگی دارد. اگر بتن‌ریزی در شرایط آب و هوای ۵ درجه سانتی‌گراد و پایین‌تر صورت گیرد، باید طبق مشخصات بتن‌ریزی در آب و هوای سرد و طبق نظر دستگاه نظارت عمل شود.

۶-۷- محافظت و کنترل کیفیت بتن

کنترل، بازرسی، مشخصات و آزمایش‌های سیمان و ملات، سنگ‌دانه‌ها، آب، مواد افزودنی، بتن تازه و بتن سخت شده باید با ضوابط و مقررات آیین‌نامه بتن ایران «آبا» (نشریه شماره ۱۲۰) و یا استانداردهای مرتبط با این آیین‌نامه که توسط دفتر فنی و تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دت) تدوین و ارائه شده و همچنین فصل دو این نشریه مطابقت داشته و درصد مواد مضر و حداقل مشخصه‌های لازم مصالح از مقادیر مندرج در این آیین‌نامه، تجاوز ننماید.

در صورت عدم تدوین استاندارد توسط (دت) یا موسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد بین‌المللی ISO یا استانداردهای انجمن آمریکایی ASTM قابل استفاده خواهد بود. فهرست موارد کنترلی، بررسی و آزمایش‌های لازم به شرح زیر می‌باشد:

- سیمان

- کنترل و بازرسی اسناد تحویل سیمان به کارگاه
- کنترل مشخصات سیمان با استانداردهای دت ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳ و ۱۲۹ مشتمل بر تعیین ویژگی‌های سیمان پرتلند، تعیین نرمی سیمان، تعیین انبساط سیمان پرتلند، تعیین زمان گیرش، گیرش کاذب، مقاومت فشاری و آگیری سیمان پرتلند

- آب

- تعیین مواد زیان‌آور آب مشتمل بر ذره‌های مواد جامد معلق، مواد محلول، کلرید، سولفات، قلیایی‌ها، مواد آلی و غیرآلی
- تعیین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه آزمون‌های ملات ساخته شده برای آب غیرآشامیدنی مطابق دت ۱۱۹ و مقایسه مقاومت آن با ۹۰ درصد مقاومت نمونه مشابه با آب مقطر
- تعیین زمان گیرش سیمان برای آب غیرآشامیدنی مطابق دت ۱۱۳ و مقایسه زمان گیرش آن با آب مقطر
- آزمایش سلامت برای آب غیرآشامیدنی مطابق دت ۱۱۳
- تعیین مقدار pH مطابق دت ۳۰۳

- سنگ‌دانه‌ها (شن و ماسه)

- تعیین دانه‌بندی مصالح

- تعیین مواد زیان‌آور شامل کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست و نرم، زغال سنگ و لیگنیت و سایر مصالح سبک، میکا، سولفات‌ها، کلریدها، ناخالصی‌های آلی و دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر)
- تعیین افت وزنی مصالح با محلول سولفات سدیم
- تعیین حداکثر جذب آب
- تعیین ارزش ماسه‌ای براساس دت ۲۳۲
- تعیین ضریب نرمی برای مصالح ماسه‌ای
- تعیین درصد سایش مصالح شنی
- تعیین مقادیر سنگ‌دانه‌های پولکی و سوزنی (مصالح شنی)
- تعیین واکنش‌زایی قلیایی مصالح شنی
- کنترل انبارکردن مصالح شنی

- مواد افزودنی

- بازرسی اسناد تحویلی مواد به کارگاه و برچسب روی بسته‌بندی‌ها، مشاهده وضعیت ظاهری، کنترل مشخصات و انجام آزمایش‌های استاندارد
- در ساخت بتن آرمه نباید از کلرید کلسیم استفاده شود.
- به هنگام مصرف ضدیخ در بتن، ضوابط بتن‌ریزی در هوای سرد نیز باید رعایت شود.

- بتن

- کنترل و بازرسی تجهیزات ساختن بتن مشتمل بر انباشتی مصالح، سیلو، تجهیزات مربوط به اندازه‌گیری، دستگاه اندازه‌گیری ماده افزودنی، آب‌سنج، تجهیزات اندازه‌گیری مداوم میزان رطوبت سنگ‌دانه‌های ریز، سامانه پیمانه و مخلوط‌کردن، وسایل آزمایش و مخلوط‌کن (کامیون‌های مخلوط‌کن و حمل بتن)
- کنترل و بازرسی مشخصه‌های بتن مشتمل بر تعیین نسبت‌ها برای طرح اختلاط، میزان کلرید در مخلوط، میزان رطوبت در سنگ‌دانه درشت، میزان رطوبت سنگ‌دانه‌های ریز، روانی بتن، وزن مخصوص بتن تازه، آزمایش مقاومت فشاری آزمونه‌های قالب‌گیری شده، وزن مخصوص ظاهری بتن سخت شده و سایر مشخصه‌ها
- تعیین اسلامپ بتن با توجه به قطعه‌های بتن
- تعیین نسبت آب به سیمان با توجه به شرایط رویارویی بتن
- تعیین مقادیر مصالح توصیه شده برای تولید حجم بتن کمتر از ۳۰ متر مکعب در روز
- تعیین حداقل مقدار سیمان با توجه به حداکثر قطر مصالح درشت‌دانه در شرایط محیطی مختلف برای حصول دوام کافی بتن

- تعیین مقدار درصد هوا با توجه به حداکثر اندازه مصالح درشت‌دانه جهت مقاومت در برابر یخ‌زدگی در شرایط محیطی مختلف
- تعیین نوع سیمان برای بتن‌هایی که در معرض سولفات‌ها قرار می‌گیرند.
- تعیین حداکثر نسبت آب به سیمان مجاز برای بتن با مقاومت‌های فشاری مختلف
- کنترل درصد مقاومت فشاری بتن در سنین مختلف با سیمان‌های گوناگون مورد مصرف نسبت به سیمان پرتلند نوع ۱
- تعیین میزان تقریبی آب مصرفی با توجه به نوع بتن، مقدار اسلامپ، اندازه بزرگ‌ترین قطر دانه‌ها و تعیین نسبت‌های تقریبی اختلاط برای انواع بتن جهت طرح اختلاط
- تعیین حداقل مدت زمان اختلاط با توجه به حجم مخلوط‌کن
- تعیین حداکثر قطر شن و ظرفیت پمپاژ بتن با توجه به قطر لوله تخلیه
- تعیین درصد وزنی شن در واحد حجم بتن براساس ضریب نرمی ماسه و حداکثر قطر شن
- تعیین مدت زمان لرزاندن بتن نسبت به اسلامپ آن
- تعیین دمای بتن در مراحل مختلف کار با توجه به دمای محیط و اندازه اعضای و قطعه‌های سازه
- تعیین حداقل زمان عمل‌آوری بتن با توجه به نوع سیمان و شرایط محیطی

۸-۶- بتن‌های مخصوص

الف- بتن مگر (لاغر)

قبل از اجرای پی‌های بتن مسلح باید یک قشر بتن مگر یا لاغر (رده C8) با عیار ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بتن، به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر ریخته شود.

بتن لاغر رده C6 با عیار ۱۰۰ کیلو گرم بر مترمکعب بتن، برای پر کردن خاکبرداری‌های اضافی و حفره‌های ایجاد شده به کار می‌رود.

ب- بتن غیرقابل نفوذ

برای ساخت این بتن، ماده غیرنفوذکننده طبق مشخصات و دستورالعمل کارخانه سازنده و مطابق نظر دستگاه نظارت به مخلوط بتن اضافه می‌شود.

ج- بتن هوادار

در این نوع بتن، هوا به صورت حباب‌های میکروسکوپی وجود دارد. برای این منظور از نوع خاصی از سیمان پرتلند که مواد ایجاد کننده حباب در موقع تهیه سیمان (ماده مضاف) به آن اضافه می‌شود، استفاده می‌گردد. آزمایش تعیین مقدار هوای موجود در بتن باید مطابق مشخصات فنی و طبق نظر دستگاه نظارت باشد.

د- بتن تندگیر و بتن کندگیر

این نوع بتن با استفاده از سیمان‌های تندگیر یا کندگیر و یا مواد افزودنی خاص برای ساخت بتن تندگیر یا کندگیر تهیه می‌شود. نوع و مشخصات مواد مصرفی و همچنین نحوه و مصرف بتن‌های مذکور باید مطابق دستورالعمل‌ها و طبق نظر دستگاه نظارت باشد.

ه- بتن الیاف‌دار

بتن الیاف‌دار بتنی است که به ترکیب آن مقداری الیاف اضافه می‌کنند که این الیاف، ترک بتن را محدود و در بعضی مواقع باعث افزایش مقاومت بتن می‌شود. الیاف به کار برده شده می‌توانند از شیشه، پلیمرها و یا الیاف فولادی باشند. مقدار الیافی مصرفی در یک مترمکعب بتن، بین ۱ تا ۳ کیلوگرم می‌باشد. این الیاف علاوه بر جلوگیری از ترک خوردگی، مقاومت برشی، مقاومت در مقابل ضربه و مقاومت سایشی بتن را افزایش می‌دهند. از جمله کاربردهای این نوع بتن، استفاده در روکش‌های بتنی کم‌ضخامت و کارهای تعمیری در پوشش تونل‌ها و مجاری آب زیرزمینی می‌توان نام برد.

۶-۹- کارهای بتنی پیش‌ساخته

در صورت استفاده از قطعه‌های بتنی پیش‌ساخته، کلیه عملیات از قبیل چگونگی دانه‌بندی مصالح، مقدار سیمان، روش اختلاط، نحوه تراکم، قالب‌بندی، مراقبت و عمل‌آوری بتن و غیره باید طبق نقشه‌ها و دستورالعمل‌های دستگاه نظارت صورت گیرد. جابجا نمودن قطعه‌های پیش‌ساخته نباید زودتر از موعد معین در دستورالعمل‌ها صورت گیرد.

۶-۱۰- سایر موارد در کارهای بتنی**۶-۱۰-۱- بتن پاشیده**

در مواردی که شکل کار پیچیده یا قالب‌بندی مشکل و پرهزینه باشد (بهسازی سازه‌ها و پل‌ها)، بتن یا ملات بر روی یک سطح پاشیده می‌شود تا لایه‌ای متراکم، خودنگهدار و باربر ایجاد گردد. این روش اجرای بتن، برای سطوح مدور و قوسی کاربرد وسیعی دارد. بتن پاشیده، بر مبنای زمان افزودن آب اختلاط به مخلوط سنگ‌دانه‌ها و سیمان به بتن پاشیده «خشک» و بتن پاشیده «تر» تقسیم می‌گردد. نسبت آب به سیمان برای این نوع بتن معمولاً بین ۰/۳۵ تا ۰/۵ و حداکثر اندازه سنگ‌دانه مخلوط مصرفی ۲۰ میلی‌متر می‌باشد.

الف- بتن پاشیده خشک

در این نوع بتن ماده چسباننده، سنگ‌دانه‌ها و در صورت لزوم افزونه‌های خشک به‌طور کامل مخلوط می‌شوند و مخلوط از طریق دستگاه‌های مجهز به وسایل اندازه‌گیری با فشار هوا با آب تحت فشار، مخلوط و با سرعت زیاد بر سطح مورد نظر پاشیده می‌شود.

ب- بتن پاشیده تر

در این نوع بتن مواد تشکیل دهنده و آب اختلاط (غیر از مواد زودگیر کننده) به طور کامل مخلوط می شوند و مخلوط از طریق دستگاه مجهز به وسایل اندازه گیری با فشار هوا با مواد زودگیر کننده، مخلوط و با سرعت زیاد به سطح مورد نیاز پاشیده می شود.

۶-۱۰-۲- بتن پیش آکنده

در بعضی از سازه های خاص یا فضاهایی که ریختن، جادادن و متراکم کردن بتن تازه در آنها به سادگی میسر نیست و همچنین برای بتن ریزی بتن های سنگین از بتن پیش آکنده استفاده می شود. در این روش سنگدانه های درشت در درون قالب و یا در فضای مورد نظر چیده شده یا با وسایلی مناسب و به نحوی مشخص ریخته، توزیع و متراکم می شوند. سپس ملات سیمان که معمولاً حاوی مواد روان کننده و منبسط شونده است، به طور مداوم از پایین به بالا و تحت فشار (۵ تا ۸ اتمسفر)، به طور یکنواخت در فضای خالی بین سنگدانه ها تزریق می شود. کوچک ترین اندازه سنگدانه مصرفی باید حداقل ۸ تا ۱۰ برابر بزرگ ترین اندازه دانه های ماسه باشد و قالب و قطعه ها باید کاملاً آب بند بوده و بتوانند فشار ملات سیمان را تحمل کنند.

۶-۱۰-۳- بتن مکیده

در بتن ریزی دال ها و برخی قطعه های جدار نازک استفاده می شود. این نوع بتن ریزی باعث ارتقای کیفیت و افزایش دوام بتن از طریق مکیدن آب بتن می شود. مکیدن آب بتن باعث می شود بخشی از آب اختلاط بتن و حباب های هوای محبوس در لایه فوقانی خارج شده و بتن نزدیک به سطح، متراکم تر و مشخصه ها، به ویژه مقاومت سایشی آن افزایش می یابد.

۶-۱۰-۴- بتن غلتکی

با توجه به مفاهیم ژئوتکنیکی، بتن غلتکی، مخلوط خاک یا مصالح سنگدانه ای تقویت شده با سیمان بوده که طرح اختلاط آن بر روابط رطوبت و چگالی مبتنی می باشد. در مخلوط های تهیه شده، کلیه منافذ خالی پس از تراکم با خمیر سیمان، توسط غلتک ها پر شده و با رطوبت بهینه، حداکثر چگالی خشک حاصل می شود.

مصالح مصرفی بتن غلتکی شامل مصالح سیمانی (سیمان پرتلند و پوزولان، نظیر خاکستر بادی)، سنگدانه ها (شن و ماسه)، آب و مصالح افزودنی می باشد. در این بتن نباید از مواد خمیری بیش از اندازه استفاده کرد، به طوری که همواره اسلامپ باید در حد صفر باشد.

نوع و مقدار سیمان (یا سیمان به اضافه پوزولان)، بستگی به حجم سازه، خواص مورد نیاز و حجیم بودن بتن داشته و از ۶۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر می باشد. پوزولان ها خواص حرارت زایی سیمان را کاهش می دهند و در صورت وجود رطوبت به ترکیب هایی با خواص سیمانته کننده، تبدیل می گردند. مصالح سنگدانه از نوع گردگوشه رودخانه ای و شکسته قابل مصرف بوده و درصد مصالح ریزدانه عبوری از الک نمره ۲۰۰، حدود ۳ تا ۶ درصد وزن کل مصالح سنگی، بسته به مقدار استفاده از پوزولان دارد. آب عاری از مقادیر بیش از اندازه مجاز مواد قلیایی، اسیدها و مواد آلی می تواند در ساخت بتن غلتکی مورد استفاده قرار گیرد و مقدار آن برای هر مترمکعب بتن حدود ۹۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم آب می باشد.

تراکم باید در خلال ۱۰ دقیقه بعد از پخش و ۳۰ دقیقه پس از اختلاط صورت گیرد. موثرترین عوامل در کسب تراکم با غلتک‌های ارتعاشی نیروی استاتیکی، نیروی گریز از مرکز، جرم ارتعاشی غلتک و شتاب آن هستند.

ضخامت لایه‌ها، حداکثر ۳۰ سانتی‌متر بوده که پس از اجرای ۴ تا ۵ لایه باید به مدت لازم، عمل‌آوری صورت گرفته و با اجرای دوغاب سیمانی بر روی آن، اتصال لایه قبل را با لایه‌های بعدی به‌وجود آورد.

۶-۱۱- قالب‌بندی

قالب سازه‌ای است موقت که قبل از سخت شدن و کسب مقاومت کافی بتن (با دربرگرفتن بتن و برای تحمل بارآن) طراحی و اجرا می‌گردد. مجموعه قالب‌بندی، سامانه‌ای است که برای نگهداری بتن در شکل مورد نظر به کار می‌رود و مشتمل بر رویه قالب، پشت‌بند، زیرسری، میل مهار^۱، بست‌های چپ و راست، داربست و نظایر اینها می‌باشد.

قالب باید در نهایت سازه‌ای ایجاد کند که از نظر شکل، ابعاد، رقوم و موقعیت با آنچه در نقشه‌ها و مشخصات طرح قید شده، مطابقت داشته باشد. پیوستگی قالب‌بندی باید طوری باشد که کلیه درزهای آن مسدود گردند تا از خروج شیر بتنی جلوگیری شود. قالب‌بندی مناسب از صدمه‌های مکانیکی وارد بر بتن جلوگیری می‌کند و از کم شدن رطوبت بتن می‌کاهد و تاثیر عوامل جوی بر بتن تازه را کاهش می‌دهد. قالب و تکیه‌گاه‌های آن باید به‌گونه‌ای طرح شوند که به قسمت‌هایی که قبلاً بتن‌ریزی شده‌اند آسیبی وارد نشود.

کلیه نکته‌های فنی و اجرایی قالب‌بندی باید مطابق با بخش ۴-۲ استاندارد شماره ۴-۱۹۰۰ ایران و بندهای تصریح شده در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) باشد.

۶-۱۱-۱- طبقه‌بندی و مصالح قالب‌ها

مصالح قالب، بسته به نوع کار و کیفیت مورد نیاز سازه، انواع مختلفی دارد. مهم‌ترین مصالح قالب، تخته چندلایی، تخته الوار، فولاد، آلومینیوم، فایبرگلاس، آجر و یا ترکیبی از آنها است.

قالب چوبی برای قالب‌بندی دال و سقف‌ها کاربری دارد، ولی معمولاً به عنوان اعضای اصلی قالب توصیه نمی‌شود. در صورت استفاده از تخته چندلا باید الیاف چوب در جهت طول دهانه قرار گیرد. چوب مورد مصرف در قالب باید صاف، بدون پیچ و تاب، سالم و بدون گره باشد. چنانچه سطح خارجی بتن در معرض دید قرار گیرد، باید ورق‌های چوبی صاف، نظیر فیبر و تخته سه‌لایی به کار برده شود.

قالب فولادی بیش‌ترین استفاده را در سازه‌های بتنی دارد. با توجه به طولانی بودن عمر مفید آن، می‌توان آن را به‌صورت مکرر مورد استفاده قرارداد و در صنعت پیش‌ساخته‌سازی نسبت به سایر مصالح ارجح است. در هنگام بتن‌ریزی در هوای سرد یا گرم باید قالب فولادی عایق گردد تا از تغییرهای حرارتی جلوگیری شود.

قالب آلومینیومی شکل‌پذیری زیادی دارد و می‌توان به صورت مکرر از آن استفاده کرد. حسن عمده آن، سبکی قالب است. قالب فایبرگلاس قالبی است پلاستیکی که با الیاف شیشه مسلح شده است. بیش‌ترین دوام و مقاومت در مقابل عوامل جوی و شیمیایی را

دارد و در سطوح کاملاً پرداخت شده و سطوح منحنی پیچیده، توصیه می‌شود. قالب آجری برای پی‌ها و دیوار حایل کوتاه مجاور خاک، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ضخامت دیوار با توجه به ارتفاع بتن و بارهای وارد شده محاسبه می‌شود.

۶-۱۱-۲- مشخصات فنی و اجرایی قالب‌بندی

برای طراحی قالب باید فشار هیدرواستاتیکی ناشی از بتن تازه، وزن بتن، نیروی ناشی از لرزاندن بتن، وزن قالب و نگهدارنده‌ها، دمای بتن، سرعت بتن‌ریزی و بار زنده در نظر گرفته شود. سطح قالب باید دارای مشخصاتی باشد که سطح تمام شده بتن به‌دست آمده مطابق مشخصات و مورد قبول دستگاه نظارت باشد. استفاده مجدد از قالب مجاز است، مشروط بر این‌که شکل، مقاومت، انعطاف‌پذیری، آب‌بندی، صافی و سایر مشخصات قالب سالم را دارا باشد.

اتصالاتی که قالب را در مقابل فشارهای هیدرواستاتیکی بتن تازه و سایر نیروها محافظت می‌کنند، بست قالب نامیده می‌شوند. اتصالات باید برای جلوگیری از تغییر شکل اجزای قالب دارای مقاومت کافی باشند و نیز به شکلی ساخته شوند که بتوان آنها را به آسانی و بدون وارد کردن صدمه به بتن، خارج نمود.

در صورت استفاده از لوله‌های پلاستیکی به عنوان غلاف برای عبور بولت‌ها، باید پس از سخت شدن بتن تازه، سوراخ‌های باقی‌مانده از بولت‌ها را با ملات ماسه سیمان یا مصالح مورد تایید دستگاه نظارت، پر نمود.

نگهدارنده‌ها، سازه‌های موقتی هستند که برای نگهداری قالب‌بندی، سکوها، کار و تحمل بارهای حین اجرا، برپا می‌شوند و مشتمل بر شمع‌بندی، چوب‌بست، پایه‌های قائم، بادبندها، زیرسری و نظایر اینها می‌باشند. حداکثر ارتفاع و فاصله پایه‌ها، حداقل سطح زیرسری و ضخامت چوب‌بست براساس بارهای وارد شده و با توجه به شرایط کار محاسبه و پس از تایید دستگاه نظارت استفاده می‌شوند.

در صورت استفاده از قالب چوبی، حداقل ضخامت آن برای سطح زیرین ۳ سانتی‌متر و برای سطوح قائم ۲/۵ سانتی‌متر خواهد بود. قطر متوسط چوب گرد مصرفی در پایه‌ها نباید از ۱۰ سانتی‌متر کمتر باشد. حداقل بعد در مورد چارتراش‌ها، ۸ سانتی‌متر است. پایه‌های چوبی تا ارتفاع ۴ متر باید یکپارچه باشند و باید حداقل در یک ردیف، توسط قیدهایی به‌صورت چپ و راست به یکدیگر کلاف شوند. از ارتفاع ۴ متر به بالا به ازای هر ۲ متر اضافه، یک ردیف کلاف اضافه منظور خواهد شد. تخته‌های زیرپایه‌ها به نام زیرسری باید چنان سطحی داشته باشد که حداکثر فشار وارد بر زمین، یک کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد.

برای سطوح با شیب کمتر از یک عمودی به ۱/۵ افقی و گودهای مجاور ترانشه‌های با شیب زیاد، مانند پشت دیوارهای حایل، در صورتی که امکان ریزش رویه خاکی وجود نداشته باشد، قالب‌بندی لازم نیست. ولی لازم است با پوشش مناسب سطح بتن (نایلون و غیره)، از کاهش رطوبت بتن جلوگیری گردد.

نوع و روش قالب‌بندی یا شابلون‌گذاری در کارهای خاص مانند رویه سریزه‌ها، بتن زیر تراز آب، بتن پیش‌ساخته و نظایر اینها باید به تایید دستگاه نظارت رسیده باشد.

در مواردی که دسترسی به کف قالب دشوار باشد باید با تعبیه دریچه‌های بازدید و کف‌شورهای قالب، نسبت به تمیز کردن کف قالب، قبل از بتن‌ریزی اقدام گردد.

برای سهولت جدا شدن قالب از بتن و جلوگیری از جذب نامنظم آب بتن، باید قالب‌ها قبل از کارگذاری میلگردها، روغن کاری شوند. روغن‌ها نباید به داخل بتن سرایت نمایند یا آرماتورها را آلوده نمایند و در صورت رنگ‌آمیزی سطح بتن نباید روغن مورد استفاده با رنگ واکنش دهد. روغن کاری باید به صورت یکنواخت و یکدست انجام شود تا از کرم شدن سطح بتن جلوگیری شود. در کلیه لبه‌ها، گوشه‌ها و برآمدگی‌ها، قالب باید پخ‌دار اجرا گردد تا برداشتن قالب آسان و بدون وارد آمدن آسیب صورت گیرد.

۶-۱۱-۳- قالب‌برداری

قالب باید موقعی برداشته شود که بتن بتواند تنش‌های موثر را تحمل کند و تغییر شکل آن از تغییر شکل‌های پیش‌بینی شده تجاوز نکند. برداشتن قالب و پایه‌ها باید بدون اعمال فشار و ضربه و به تدریج انجام گیرد. در دهانه‌های بزرگ، از وسط دهانه به سمت تکیه‌گاه‌ها و در طره‌ها، از لبه به طرف تکیه‌گاه‌ها انجام پذیرد.

حداقل زمان لازم پس از تایید دستگاه نظارت برای برداشتن قالب‌های مختلف برابر جدول (۶-۳) می‌باشد. هرگونه مغایرت زمانی با جدول راهنمای (۶-۳)، فقط با آزمایش و تایید دستگاه نظارت میسر خواهد بود.

جدول ۶-۳- حداقل زمان لازم برای برداشتن قالب‌ها

نوع قالب‌بندی	شرح	دمای مجاور سطح بتن (درجه سلسیوس)			
		۲۴ و بالاتر	۱۶	۸	۰
قالب‌های قائم	ساعت	۹	۱۲	۱۸	۳۰
دال‌ها	قالب زیرین (شبانه روز)	۳	۴	۶	۱۰
	پایه‌های اطمینان (شبانه روز)	۷	۱۰	۱۵	۲۵
تیرها	قالب زیرین (شبانه روز)	۷	۱۰	۱۵	۲۵
	پایه‌های اطمینان (شبانه روز)	۱۰	۱۴	۲۱	۳۶

زمان‌های داده شده در صورتی معتبرند که شرایط زیر برقرار باشد:

- بتن با سیمان پرتلند معمولی یا ضدسولفات تهیه شده باشد.
- در صورتی که در ضمن سخت شدن بتن، دمای محیط به کم‌تر از صفر درجه سلسیوس تنزل کند، زمان‌های داده شده را باید به تناسب و حداقل به اندازه مدت یخبندان افزایش داد.
- در صورت استفاده از سیمان با مقاومت زودرس، می‌توان زمان‌های داده شده را کاهش داد.
- قالب قسمت‌های معلق نباید قبل از این که بتن ۷۵ درصد مقاومت تعیین شده را به دست آورد، باز شود.
- هیچ نوع بار نباید قبل از این که بتن صددرصد مقاومت خود را به دست آورد بر اجزای سازه بتن وارد آید.

۶-۱۱-۴- پرداخت سطوح بتن

پرداخت سطوح بتن پس از اتمام بتن‌ریزی و متراکم کردن آن و قالب‌بندی برای حصول سطوح مقاوم و بادوام و کاهش اثرهای فرسایش و جلوگیری از تمرکز تنش انجام می‌شود. به این منظور، به ترتیب مراحل شمشه‌کشی و تراز کردن، ماله‌کشی اولیه (چوبی)، تعبیه درزها و ماله‌کشی (فلزی) و پرداخت نهایی انجام می‌پذیرد.

شمشه کاری برای حذف بتن اضافی و تراز کردن سطح بتن در ارتفاع مورد نظر انجام می شود. شمشه یا شابلون ممکن است فلزی یا چوبی باشد. شمشه به صورت اره ای و در مسافت کوتاه حرکت می کند تا به سطح بتن آسیب نرسد. برای دال های کف و پوشش های بتنی، می توان از شمشه مجهز به ویبره استفاده کرد. ماله کشی بلافاصله پس از شمشه کاری صورت می گیرد و باید برای جلوگیری از جدا شدن لایه سطحی بتن، قبل از آب انداختن سطح بتن، به اتمام برسد. ماله کشی برای پر کردن منافذ و حذف لبه های باقی مانده از شمشه کاری انجام می شود. در صورت آب انداختن بتن در اثر ماله کشی و برای افزایش مقاومت سایشی و کاهش جمع شدگی بتن می توان از دستگاه مکش آب استفاده نمود.

تعبیه درزهای مختلف در سطح بتن پس از تبخیر آب سطح بتن و سخت شدن نسبی آن انجام می شود. برای دانستن یک معیار اجرایی، هنگامی که فشار پا بر روی بتن فقط ۵ میلی متر اثر می گذارد می توان درزها را ایجاد کرد و پرداخت نهایی را آغاز نمود. ماله کشی فلزی (نهایی) برای فروبردن سنگ دانه درشت به درون بتن، حذف ناهمواری ها و منافذ باقی مانده و تراکم سطح بتن انجام می شود. ماله کشی برای بتن حباب دار با استفاده از ماله فلزی، ضروری است. بعد از عمل ماله کشی برای ایجاد یک سطح کاملاً صاف، یک بار دیگر سطح بتن پرداخت می شود که ممکن است با دست یا ماشین انجام شود که به عنوان پرداخت نهایی از آن یاد می شود و معمولاً برای سطوح در معرض جریان سریع آب، جهت جلوگیری از کاویتاسیون لازم است. با توجه به نوع پرداخت و حساسیت و کاربری سازه می توان نوع سطوح بتنی بدون قالب بندی را به چهار دسته مختلف تقسیم بندی کرد:

الف- سطح نوع I

سطوحی که زبری سطح، مشکلی در امر بهره برداری به وجود نمی آورد. معمولاً غرقاب است یا بعداً توسط خاکریز پر خواهد شد (بالادست سدها و پلاتفرم های بهره برداری). برای این سطوح فقط شمشه کاری و تراز کردن الزامی است و حداکثر ناهمواری، ۱۲ میلی متر می باشد.

ب- سطح نوع II

سطوحی که معمولاً نمایان نیستند یا در معرض جریان آب نمی باشند (سطح داخلی آبروهای صندوقه ای، دیوارهای حایل، سطوح بتنی آبراه های اصلی، خاکریزها و نظایر اینها). برای این سطوح شمشه کاری و استفاده از ماله چوبی لازم است. حداکثر ناهمواری ایجاد شده در سطح آن ۸ میلی متر می باشد.

ج- سطح نوع III

سطوحی که در معرض دید بوده و شکل ظاهری آن مورد نظر است (دال پل ها، سازه های تزئینی، سد و مانند اینها). برای این سطوح، شمشه کاری و ماله کشی با ماله چوبی لازم و ضروری است. پس از سخت شدن نسبی بتن باید با ماله فلزی، سطحی نسبتاً صاف با حداکثر ناهمواری ۴ میلی متر ایجاد شود.

د- سطح نوع IV

سطوحی که در معرض جریان سریع آب می‌باشند و ایجاد یک سطح کاملاً صاف برای آنها اجباری است (رویه سرریزها، کف آبروها و فلوم‌ها، حوضچه‌های ترسیب و آرامش و نظایر اینها). برای این سطوح، پرداخت دقیق ضروری است و حداکثر ناهمواری قابل قبول ۲/۵ میلی‌متر خواهد بود.

۶-۱۱-۵- درزها

در سازه‌های بتنی درزها به دو دسته درزهای اجرایی و درزهای جابجایی تقسیم می‌شوند. کلا درزها از نقاط آسیب‌پذیر سازه بتنی به‌شمار می‌رود که توجه به مشخصات فنی و خصوصی در اجرای آنها ضروری می‌باشد.

۶-۱۱-۵-۱- درزهای اجرایی

این درزها به منظور تسهیل عملیات بتن‌ریزی، با توجه به محدودیت حجم بتن‌ریزی در نظر گرفته می‌شود. به‌طور کلی هرگاه زمان قطع بتن‌ریزی از ۳۰ دقیقه تجاوز کند، آن سطح یک درز اجرایی به حساب می‌آید.

درز اجرایی در اعضای و قطعه‌های بتن آرمه، نباید در محل تحمل برش حداکثر واقع شود و در صورت لزوم برای انتقال نیروهای برشی و سایر تنش‌ها، در محل درزهای اجرایی باید پیش‌بینی‌های لازم به‌عمل آید. موقعیت و شکل درز اجرایی باید با مطالعه صورت گیرد. در سازه‌هایی که باید آب‌بند باشند، محل درز اجرایی جهت آب‌بند نمودن و جلوگیری از نشت آب باید مورد توجه قرار گیرد.

برای تامین پیوستگی بین لایه‌های بتن در محل درزهای اجرایی باید سطح بتن قبلی را خشن ساخت و پس از تمیز کردن سطح بتن قبلی با فشار آب، مخلوط آب و هوای فشرده و ماسه‌پاشی، لایه بعد را ریخت. همچنین باید کلیه سطوح درزهای اجرایی قبل از بتن‌ریزی مرطوب گردد. استفاده از دوغاب خالص سیمان در محل درز جایز نمی‌باشد. کلیه میلگردهای فولادی باید در محل درزهای اجرایی ادامه یابد و در صورت نیاز برای اتصال محکم‌تر باید از میلگرد در دو جهت استفاده شود.

تعداد درزهای اجرایی باید در کم‌ترین حد ممکن باشد. درزهای اجرایی باید در مقاطع با کم‌ترین تنش‌ها به ویژه تنش‌های برشی با امتداد متعامد بر تنش‌های عمودی پیش‌بینی کرد. باید حتی‌الامکان از ایجاد درزهای بی‌شکل و بزرگ اجتناب کرد و درزهای لازم را به صورت پلکانی یا سطوحی شکسته با زاویه نزدیک به ۴۵ درجه در نظر گرفت.

۶-۱۱-۵-۲- درزهای جابجایی (حرکتی)

درزهای حرکتی، درزهایی هستند که برای همساز کردن حرکت‌های نسبی قسمت‌های مختلف یک سازه به صورت عمودی تعبیه می‌شوند. این حرکت‌ها می‌توانند در اثر تغییرهای درجه حرارت، افت بتن و نشست‌های نامساوی به‌وجود آیند. انواع این درزها در زیر ارائه می‌گردد:

الف- درزهای انقباضی

این درزها به‌منظور جلوگیری از بروز ترک‌های ناشی از جمع شدن بتن تعبیه می‌شوند. محل این درزها باید به نحوی انتخاب گردند که انقباض طرفین درز در محل درز متمرکز گردند. این درزها با عمق مختلف ساخته می‌شوند که به ضخامت بتن بستگی

دارد. در پوشش‌های بتنی درزهای انقباض به شکل شیاری و به عرض ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر در یک سوم بالای ضخامت پوشش، تعبیه می‌شود. بتن‌ریزی پوشش‌های بتنی باید تا حد امکان به صورت شطرنجی با ابعاد برابر، در دو جهت و حدود ۳ متر باشد. برای پوشش‌های بتنی اجرای این درزها در موقع عملیات پرداخت سطح بتن، قابل انجام است.

ب- درزهای انبساط

این درزها برای تامین امکان جابجایی‌های ناشی از انقباض و انبساط در مقابل تغییرهای درجه حرارت تعبیه می‌گردند. این حرکت‌ها به طور مکرر و دایمی بوده و جهت و اندازه بزرگی آن تا حدودی قابل پیش‌بینی است. شکاف پیش‌بینی شده جهت درز انبساط پس از تمیز نمودن با مواد تراکم‌پذیر، پر می‌گردد. قبل از کار گذاشتن مواد درزبندی، کلیه مواد زاید از قبیل خرده بتن، ملات، گرد و خاک، لجن، چربی‌ها و غیره باید از محل درزها برداشته شود. میلگردها نباید درز انبساط را قطع کنند. در درز انبساط از میله‌های اتصال^۱ استفاده می‌شود که در این صورت انتهای لغزشی میله‌های اتصال باید به کلاhek یا درپوش و یا انگشتانه محصور باشد تا مکانی برای حرکت میله اتصال (در جریان انبساط بتن) ایجاد شود. این مکان باید بزرگ‌تر از عرض درز باشد.

ج- درزهای نشست

این درزها برای جلوگیری از نشست‌های نامساوی در محلی از سازه که دارای دو نوع مصالح، دو نوع فونداسیون، تغییر در نوع اجرا و یا تغییر ناگهانی در ضخامت باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

د- درزهای کنترل

انبساط و انقباض بتن، در اثر تغییرهای رطوبت و حرارت در آن، تنش‌هایی را به وجود می‌آورد که گاه از مقاومت بتن بیش‌تر است و به ترک‌خوردگی منجر می‌شود. برای حل این مشکل از درزهای کنترل که حرکت نسبی دال یا دیوار در صفحه خود را امکان‌پذیر می‌سازد، استفاده می‌گردد. بدین منظور باید برای سازه‌های بتنی با طول بیش از ۱۸ متر، این درزها پیش‌بینی گردد.

ه- سایر درزها

از انواع دیگر درزها می‌توان به درزهای لغزشی، درزهای جداکننده، درزهای مفصلی و ... که کاربرد ویژه دارند اشاره نمود.

۱۱-۵-۳- مواد پرکننده درزها

مواد درزبندی باید قابل ارتجاع و چسبنده بوده و قابلیت درزبندی موثر درزهای قطعه‌های بتنی در مقابل نفوذ رطوبت را در تمام دوره‌های مکرر انبساط و انقباض داشته باشند. خاصیت ارتجاعی مواد درزبندی باید در تغییرهای درجه حرارت از ۱۵- درجه سانتی‌گراد تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد، بدون تغییر شکل و شکنندگی حفظ شود. مصالح پرکننده درز ممکن است از نوع الیاف گیاهی، لاستیک، ترکیب‌های آسفالتی، چوب پنبه و مانند آنها باشد. در مواردی که به لحاظ هیدرولیکی لازم باشد تا درزها آب‌بندی شوند، مصالح مصرفی باید دارای قابلیت انعطاف و خاصیت آب‌بندی باشند.

۶-۱۱-۵-۴- لوله‌ها و مجاری مدفون

در قالب‌بندی سازه‌ها، مجاری عبور لوله‌ها، مجاری مورد نیاز سیم‌کشی و سایر موارد باید به‌نحوی پیش‌بینی و اجرا گردد که پس از اتمام بتن‌ریزی، نیازی به تخریب بتن نباشد. لوله‌ها و مجاری آلومینیومی نباید در قطعه‌های بتنی دفن شوند مگر این‌که به نحو موثری روکش شده باشند تا از ترکیب شیمیایی بتن و آلومینیوم و یا از فعل و انفعال‌های الکتروشیمیایی بین فولاد و آلومینیوم جلوگیری به عمل آید.

لوله‌ها و مجاری مدفون در بتن دال، دیوار یا تیر، جز در مواردی که نقشه‌های آنها به تصویب مهندس طراح رسیده باشد، باید چنان کار گذاشته شوند که شرایط زیر تامین شده باشد:

- ابعاد خارجی لوله‌ها و مجاری نباید بزرگ‌تر از یک‌سوم کل ضخامت دیوار، دال یا تیری که در آن دفن می‌شوند باشند.
- فاصله مرکز به مرکز هر دو لوله یا مجرای مجاور هم نباید کمتر از سه برابر قطر یا عرض آنها باشد.

۶-۱۱-۵-۵- قالب‌های ویژه

قالب‌های مجاری دایره‌ای شکل، تونل‌ها و نظایر اینها، قالب مخصوصی با مقطع دایره یا سهمی می‌باشند که قابل حرکت در طول می‌باشند و پس از اتمام بتن‌ریزی در یک قسمت، به قسمت دیگر منتقل می‌شوند. معمولاً قابلیت جمع شدن و کاهش قطر را دارند و در نتیجه امکان حرکت در قوس‌ها بیش‌تر می‌شود.

قالب لغزنده، یکی از روش‌های اجرای سازه‌های مرتفع مانند سیلوها می‌باشد. اساس روش اجرا این است که قالبی با ارتفاع مشخص در فواصل تناوبی معین، هم‌زمان با بتن‌ریزی به بالا کشیده می‌شود و هم‌زمان با حرکت قالب، بتن سخت‌شده از پایین آن خارج می‌گردد. سرعت بالابردن قالب لغزنده باید دقیقاً توسط نیروی متخصص کنترل شود تا سرعت زیاد باعث ریزش بتن و سرعت کم با توجه به اصطکاک ایجاد شده بین قالب و بتن، باعث ترک‌خوردگی بتن نگردد. شرایط جوی مانند گرما یا سرمای شدید یا باد، دقت بیش‌تری در اجرای قالب لغزنده را می‌طلبد.

۶-۱۲- آب‌بندها

آب‌بندها، نوارهای فلزی یا نوارهای نرمی از مواد پی‌وی‌سی (PVC) هستند که برای آب‌بندی کامل و غیرقابل نفوذ کردن درزها، در محل سازه‌های آبی به کار برده می‌شوند.

۶-۱۲-۱- مصالح مصرفی

مصالح آب‌بند می‌تواند از نوع لاستیکی، پلاستیکی (مانند کلروپلی‌وینیل) یا از انواع فلزی (مانند ورق مس) باشد. متداول‌ترین نوع آنها واتراستاپ‌های پی‌وی‌سی کلروپلی‌وینیل کلراید (PVC) می‌باشند که دارای مشخصات زیر است:

- عموماً بتن، افزودنی‌های بتن، اسیدها، قلیایی‌ها، اکسیژن، ازن و غیره بر آنها تاثیر ندارند.
- دارای خاصیت انعطاف‌پذیری و الاستیسیته بالا، مقاومت کششی مناسب و قابلیت افزایش طول زیاد است.

- در موارد متعارف نفوذ آب دریا، آب با کلر زیاد، سود سوزآور، کلرورکلسیم، کربنات سدیم، اسید سولفوریک تری سولفید، روغن‌ها و گازوییل، کاملاً مقاوم است.
- موجب ایجاد الکترولیز در سازه‌های بتنی و یا شبکه آرماتوربندی نمی‌گردد.
- با اضافه نمودن افزودنی‌های مخصوص، مقاومت پی‌وی‌سی (PVC) را می‌توان در برابر موارد خاص از نظر تاثیر مواد شیمیایی افزایش داد.

آب‌بند نباید در معرض اشعه مستقیم خورشید و در تماس با روغن یا چربی قرار گیرد و همچنین باید متراکم، یکنواخت و عاری از سوراخ و سایر عیوب باشد. دوام آب‌بند باید در حد عمر سازه‌ای باشد که آب‌بند در آن به کار گرفته شده است. آب‌بندهای مرغوب از درجه حرارت ۳۵- درجه سانتی‌گراد تا ۵۵+ درجه دارای عملکرد بهینه بوده و حتی دمای موقت ۸۰ درجه سانتی‌گراد (به استثنای محیط‌قلیایی) تغییری در کیفیت آنها پدید نمی‌آورد.

در درزهای جابجایی، آب‌بند باید ضمن ممانعت از عبور آب، در برابر فشار هیدرواستاتیک ناشی از ارتفاع آب مقاومت نماید. عرض آب‌بند باید بزرگ‌تر از عمق نفوذ آب در بتن باشد و قابلیت تغییر شکل، ظرفیت آب‌بندی و ایمنی، با افزایش عرض آن متناسب است. به هر حال عرض آب‌بند نباید از ضخامت قطعه بتن بیش‌تر باشد تا از تضعیف مقطع بتن پرهیز گردد.

۶-۱۲-۲- وصله نمودن و نصب

وصله نمودن آب‌بند باید مطابق توصیه کارخانه سازنده باشد. در مورد آب‌بند پی‌وی‌سی (PVC)، این عمل به وسیله دستگاه جوش مخصوص صورت می‌گیرد. درجه حرارت جوشکاری در حدود ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده و باید مجهز به ترموستات باشد تا حرارت بیش از حد لازم، موجب سوختن مصالح نشود.

هنگامی که دوسر آب‌بند پس از تماس با سر دستگاه جوش کاملاً نرم و چسبنده شدند، آنها را در کنار هم قرارداده و محکم به هم فشار داده می‌شود تا سفت شوند. از تماس مستقیم شعله آتش به آب‌بند جدا باید پرهیز نمود. مقاومت کششی وصله نباید از ۷۵٪ مقاومت قسمت‌های وصله نشده مصالح، کم‌تر باشد.

آب‌بندها باید سطحی غیرصیقلی داشته و بافت آن دندان‌های شکل و دارای شیار و برجستگی باشد و در صورت خم‌کردن، ترک نخورد. همچنین باید کاملاً تمیز باشد، زیرا آب‌بند چرب یا کثیف، چسبندگی مطلوبی با بتن نخواهد داشت. آب‌بند باید دقیقاً در محل خود قرار گرفته و در صورت استفاده انواع حفره‌دار، باید حفره کاملاً داخل درز قرار گیرد. در درزهای اجرایی که فقط ممانعت از آب مطرح است، از آب‌بندهای بدون حفره میانی می‌توان استفاده نمود.

مهار مناسب آب‌بند با استفاده از گیره‌های نگهدارنده که بال آب‌بند را به میلگرد مرتبط می‌سازد، عملی است. گیره‌ها در فواصل ۵۰ سانتی‌متری به بالچه‌های اصلی و ثانویه بسته شده و به میلگردهای اطراف مهار می‌گردند.

تمامی حباب‌های ریز هوا، واقع در بتن تازه اطراف آب‌بند باید توسط ویریه مناسب از میان برده شود و هیچ فاصله و منفذی از هوا در طول تماس بتن و نوار آب‌بند باقی نماند. پس از نصب آب‌بند، قسمت نمایان آن باید از تابش آفتاب و سایر عوامل جوی و مخرب محافظت شود.

۶-۱۲-۳- خصوصیات لازم برای آب‌بند

برای تعیین خصوصیات آب‌بند باید به ازای هر ۱۵۰ متر از هر نوع، یک نمونه که کم‌تر از ۳۰ سانتی‌متر طول نداشته باشد، انتخاب نمود، مشروط بر این‌که حداقل چهار نمونه برای هر نوع و اندازه آن گرفته شود.

از آزمایش‌های لازم برای تعیین کیفیت آب‌بند مشتمل بر مقاومت کششی، حداقل کشیدگی در نقطه پارگی کششی، نرمی، جذب آب، ترک در دمای سرد، آزمایش با استخراج تند شده و آزمایش پایداری درمقابل قلیاها می‌باشد.

نوارهای آب‌بند غیرفلزی، نظیر نوارهای لاستیکی یا پی‌وی‌سی (PVC) باید منطبق بر مشخصات آیین‌نامه ۱۲۳ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (ضوابط و معیارهای طراحی و محاسبه مخازن بتنی) باشند.

فصل ۷

دیوار آب‌بند، سپر کوبی، شمع کوبی و

شمع‌ریزی

۷-۱- دیوار آب‌بند

دیوار آب‌بند، در سازه‌های آبی به‌خصوص سدهای مخزنی، سدهای انحرافی، شیب‌شکن‌ها، سازه‌های تثبیت بستر و خاکریزها، در لایه‌های تحتانی پی سازه با اهداف زیر اجرا می‌گردند:

- کاهش نیروی زیر فشار
 - کاهش گرادیان هیدرولیکی آب خروجی از پایین‌دست سازه و از بین بردن خطر آبشستگی ذره‌های پایین‌دست سازه
 - جلوگیری از خالی شدن تدریجی خاک زیر پی سازه در اثر آبشستگی
- مصلح پرکننده دیوار آب‌بند علاوه بر نفوذناپذیری کافی، باید از رفتار مکانیکی همساز با محیط اطراف خود برخوردار باشد. عمق دیوار آب‌بند با تامین اهداف فوق تعیین گردیده و ضخامت آن تابعی از ضریب نفوذپذیری مصالح دیوار آب‌بند و امکانات اجرایی می‌باشد. غالباً مقاومت فشاری لازم برای این‌گونه دیوارها، ۲ تا ۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و نفوذپذیری آن کمتر از ۱۰^{-۶} سانتی‌متر بر ثانیه می‌باشد.

۷-۱-۱- انواع دیوار آب‌بند

ساخت دیوار آب‌بند به دو صورت، دیوار آب‌بند با بتن سخت معمولی و دیوار آب‌بند با بتن پلاستیک می‌باشد. بتن پلاستیک خود با سه روش، اختلاط خاک و بتونیت، اختلاط سیمان و بتونیت و اختلاط سیمان، بتونیت و مصالح دانه‌ای، قابل طرح و اجرا است. اجرای دیوار آب‌بند عموماً نمی‌تواند کاملاً مانع نشست آب گردد. به‌عنوان یک معیار کلی، نفوذپذیری بتن دیوارهای آب‌بند ۱۰^{-۹} تا ۱۰^{-۶} متر بر ثانیه می‌باشد.

در دیوارهای آب‌بند با بتن معمولی برای دستیابی به یک بتن نفوذناپذیر، باید منحنی دانه‌بندی مصالح پیوسته بوده و حداکثر اندازه شن مصرفی به ۲۵ میلی‌متر محدود گردد. به‌کارگیری مقدار زیاد سیمان، به منظور کارایی و همگن بودن مخلوط، مورد نیاز می‌باشد. ضروری است مسلح نمودن بخش فوقانی دیوار آب‌بند برای افزایش مقاومت کششی دیوار در مقابل لنگرهای ناشی از نیروهای افقی آب و رسوب، مورد توجه قرار گیرد.

از مزایای بتن پلاستیک مشابهت رفتار آن با رفتار توده خاک اطراف آن می‌باشد. به این منظور مدول یانگ مصالح مصرفی باید در حد ۴ تا ۵ برابر بزرگ‌تر از توده خاک محل باشد. بتن‌های پلاستیک با اعمال کمی فشار به مرحله پلاستیک می‌رسد و بدین منظور قبول مقاومت فشاری کمتر برای بتن پلاستیک، به لحاظ نزدیک نمودن مقدار فشار آن به فشار خاک می‌باشد. به‌هرحال مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن باید تحمل فشار تنش‌های خاک را به هنگام عملیات اجرایی و دوران بهره‌برداری بنماید.

عوامل موثر در میزان مقاومت، عمدتاً بستگی به میزان و نوع سیمان دارد. مصالح پلاستیک طی دوره انقباض، حالت نیم‌روان داشته و دچار ترک‌خوردگی نمی‌شود. افزایش کمی بتونیت، ضریب تراوایی را چندین برابر افزایش می‌دهد. با انتخاب صحیح و مناسب بتونیت و سیمان، آب‌های سولفاته معمولاً اثر مخربی بر روی مقاومت و تراوایی نخواهد داشت. جهت ساخت بتن پلاستیک، بتونیت مصرفی به آب در حال دوران سریع، اضافه شده و مخلوط بین ۱ تا ۲ دقیقه با سرعت به‌هم زده می‌شود. آنگاه مخلوط به‌دست آمده حداقل ۲۴ ساعت نگاه‌داشته می‌شود تا جذب آب و تورم بتونیت به‌خوبی صورت گیرد. هر چه دمای آب مصرفی بیش‌تر

باشد، زمان عمل‌آوری دوغاب بنتونیت کم‌تر خواهد بود. بتن ساخته شده با دوغاب بنتونیت، توسط لوله ترمی با رعایت مشخصات فنی مربوط، به محل ترانше هدایت می‌گردد.

۷-۱-۲- مصالح مصرفی

الف- دوغاب حفاری (بنتونیت)

برای حفاری دیوار آب‌بند در زمین‌های سست و ریزشی از دوغاب حفاری (بنتونیت) در حین حفاری استفاده می‌شود. این دوغاب حاصل محلول آب و بنتونیت بوده و غلظت آن با توجه به جنس لایه‌های زمین تعیین می‌شود. دوغاب حفاری سه نقش عمده، پایدارکننده سطح ترانше توسط فشار هیدرواستاتیکی و ایجاد پدیده کیک در سطوح ترانشه، خنک‌کننده سامانه و ابزار حفاری ترانشه و نقش سیال منتقل‌کننده خرده‌سنگ‌ها و مصالح دانه‌ای را بر عهده دارد.

مشخصات دوغاب حفاری در شرایط متعارف به شرح زیر است:

- وزن مخصوص ۱/۱ تا ۱/۲۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب
- گرانروی با قیف مارش برای دوغاب بنتونیتی در زمان تهیه دوغاب به ۴۰ ثانیه و در پایان عملیات حفاری به ۵۰ ثانیه (گرانروی نباید به حدی زیاد باشد که به سهولت و سرعت جاری شود و یا آن قدر کم باشد که مانع رسوب‌گذاری گردد)
- دوغاب بنتونیت در حالت سکون سخت شده و با به هم زدن کافی دوباره به ویژگی اولیه خود باز گردد.
- pH از ۷/۵ تا ۹/۵
- ثابت ماسه‌ای حداکثر ۵ درصد
- مقدار آب ۶۵ تا ۷۵ درصد

افت دوغاب در ترانشه تابعی از سطح آب‌های زیرزمینی، کیفیت دوغاب، نوع مصالح خاکی و سایر عوامل می‌باشد. آفت‌های غیرمنتظره در یک فاصله زمانی کوتاه، بیانگر وجود حفره‌های بزرگ در خاک یا درز در سنگ‌ها است.

ب- آب مصرفی

آب مصرفی، باید عاری از هرگونه ترکیب‌های شیمیایی مضر همچون سولفات‌ها، کربنات‌ها و کلرایدها باشد. باید از مصرف آب ناخالص، خصوصاً شور، در عملیات حفاری و ساخت بتن اجتناب نمود. اگر آب مورد استفاده کم‌تر از ۵ گرم در لیتر نمک داشته باشد با افزایش مقدار کمی بنتونیت معمولی، مشکل را می‌توان حل کرد.

ج- سیمان

سیمان به‌عنوان پیوند دهنده اجزای بتن پلاستیک و بتن معمولی می‌باشد. به‌علت وجود املاح شیمیایی مضر و سولفات‌ها در آب‌های زیرزمینی، استفاده از سیمان ضد سولفات (تیپ II) مورد توصیه است. مقدار مناسب نسبت سیمان به آب برابر ۰/۱ تا ۰/۳ است.

۷-۱-۳- حفاری دیوار آب‌بند

قبل از شروع حفاری، جهت پایدار نمودن محل ترانشه حفاری و هدایت گراپ حفاری، از دو نوع دیوار راهنما^۱ به شکل مستطیلی و یا L شکل به صورت موقت استفاده می‌شود. دیوار راهنما را می‌توان به صورت یکپارچه یا چندتکه درجا با بتن غیرمسلح ساخت. طول هر قطعه اجرایی معمولاً ۳ تا ۱۰ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع تا ۸۰ سانتی‌متر قابل اجرا می‌باشند. از عمده‌ترین مزایای دیوار راهنما می‌توان به هدایت کننده ابزار حفاری به عنوان مجرای عبور دهنده دوغاب یا بتن با کم‌ترین ضایعات، حفاظت‌کننده لایه‌های بالایی خاک هنگام حفاری در برابر ضربه‌های مخرب دستگاه‌های حفاری و کاهش خطر ریزش ترانشه اشاره نمود.

پس از اجرای تیرهای هدایت‌کننده، حفاری دیوار آب‌بند آغاز می‌گردد. چنانچه زمین محدوده اجرای دیوار آب‌بند بکر بوده و زهکش طبیعی برای دفع آب‌های حاصل از حفاری و فرورفتن ماشین‌آلات در گل‌ولای ایجاد شده، موجود نباشد و همچنین در حالتی که حفاری به صورت عدم بازیافت بنتونیت حاصل از حفاری باشد، باید یک پلاتفرم شنی با قلوه سنگ در روی زمین طبیعی به ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر و عرض حداقل ۳ متر اجرا نمود تا عملیات حفاری و تردد ماشین‌آلات با سهولت انجام شود. پس از فراهم شدن بستر مناسب، دستگاه حفاری در محل قرار گرفته و در بین تیرهای هدایت‌کننده اجرا شده، حفاری شروع می‌گردد.

حفاری ترانشه دیوار آب‌بند برای اعماق کم، با بیل مکانیکی و برای اعماق زیاد، با ماشین حفاری کلمشال یا دراگ‌باکت انجام می‌گردد. هر مرحله از حفاری یک بارت می‌باشد و جهت جلوگیری از ریزش دیوارها، هم‌زمان با حفاری ترانشه، دوغاب بنتونیتی به درون گود حفاری (بارت) ریخته می‌شود. پس از اتمام حفاری و پرشدن گود با دوغاب بنتونیتی، ترانشه با مصالح مورد نظر (بتن) جهت ساخت دیوار آب‌بند پر می‌گردد. عمق هر بارت با توجه به سطح سنگ بستر و طول آن و با توجه به محدودیت‌های بتن‌ریزی تعیین می‌گردد. بدیهی است که عرض هر بارت همان عرض تعیین شده در نقشه‌های اجرایی می‌باشد. در صورت متراکم بودن زمین حفاری و عدم امکان حفاری به وسیله گراپ، از تریان استفاده می‌گردد و خاک‌های داخل بارت توسط گراپ تخلیه می‌گردد. عمق هر گراپ توسط متر سیمی تعیین می‌شود. میزان مصرف دوغاب بنتونیت با حجم خاک برداشت شده از هر بارت تقریباً یکسان است.

حفاری دیوار آب‌بند به دو روش کلی اجرای ممتد و اجرای متناوب صورت می‌پذیرد. در روش اجرای ممتد، از یک سو حفاری ترانشه صورت گرفته و به دنبال آن مصالح مورد نظر ساخت دیوار آب‌بند، در محل گود ریخته می‌شود و بدین ترتیب دیوار به دست آمده، یکدست و یکپارچه ساخته خواهد شد. در روش اجرای متناوب، ابتدا پانل‌های اولی به صورت یک در میان و با مصالح دیوار آب‌بند پر می‌گردند. سپس اجرای پانل‌های ثانویه پس از حفاری صورت می‌گیرد.

۷-۱-۴- بتن‌ریزی دیوار آب‌بند

پس از تکمیل عملیات حفاری دیوار آب‌بند، درون بارت قالب‌گذاری می‌شود. با توجه به این‌که بارت یک ژوئن یا دو ژوئن باشد، از یک تا دو قالب استفاده می‌گردد. قالب هر ژوئن از بالا تا پایین بارت ادامه دارد و کف لوله ژوئن به انتهای بارت می‌چسبد. پس از قراردادن قالب‌ها و شاقولی بودن آنها، ریختن بتن معمولی یا بتن پلاستیک در ترانشه دیوار آب‌بند، توسط جرقیل و لوله ترمی انجام می‌گیرد. در بتن‌ریزی با لوله ترمی، دانه‌بندی بتن به هم نخورده و بتن به طور مناسب به کف ترانشه می‌رسد. بهتر است لوله ترمی با قطر ۲۰ تا ۳۵ سانتی‌متر به کار رود و سر لوله ترمی حدود ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر پایین‌تر از سطح بتن قرار گیرد تا پدیده لنز صورت

نگرفته و دانه‌بندی بتن نیز به هم نخورد و همچنین عملیات به گونه‌ای کنترل گردد که از سقوط ذره‌های مخلوط بتن، ممانعت به عمل آید.

پدیده لنز به علت نشست مصالح ماسه، رس و سیلت مصالح ترانشه بر روی بتن متوقف شده، به وجود می‌آید. به منظور جلوگیری از این پدیده ضروری است بتن‌ریزی به صورت پیوسته و ممتد صورت گیرد. هنگام بتن‌ریزی درون هر بارت، دوغاب بنتونیت به تدریج از بارت خارج می‌شود که معمولاً جهت جلوگیری از هدر رفتن دوغاب، باید به فاصله چند متری از بارت مذکور، یک بارت در حال حفاری باشد تا دوغاب به درون بارت حفاری شده مجاور، منتقل گردد. معمولاً با حرکت عمودی لوله ترمی به صورت تدریجی، بتن‌ریزی تکمیل می‌گردد.

در روش اجرای متناوب دیوار آب‌بند، به منظور ایجاد آب‌بندی مناسب بین پانل‌های اولیه و ثانویه و اتصال دو بتن مجاور، ضروری است بتن ریخته شده پانل‌های اولیه بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر از طرفین حفاری گردیده و بتن ثانویه اجرا گردد. در صورتی که در دیوار آب‌بند با بتن معمولی، تراشیدن لبه‌های پانل‌های اولیه، مشکل‌های اجرایی داشته باشد، باید از لوله‌های نگهدارنده انتهایی استفاده گردد. به این وسیله سطح چسبندگی دو بتن اولیه و ثانویه افزایش داده می‌شود.

۷-۱-۵- ملاحظه‌های فنی و اجرایی

به‌طور کلی طراحی دیوارهای آب‌بند باید با توجه به نیاز پروژه و در حد لزوم در زمان تهیه نقشه‌های اجرایی سازه‌های مورد نظر انجام شود و حدود گسترش و عمق آن در هر بخش و چگونگی اتصال آن به سازه و حفظ و پیوستگی آن مورد توجه قرار گیرد. به لحاظ اجرایی حفاری دیوارهای آب‌بند بتنی از تراز آب زیرزمینی باید انجام شود و تراز سطح گل حفاری (بنتونیت) داخل ترانشه می‌باید همواره به اندازه کافی بالاتر از تراز سطح آب زیرزمینی محل مورد نظر باشد. در اجرای دیوار آب‌بند باید موارد زیر، مورد کنترل قرار گیرد:

- عدم وجود درز و ترک در دیوار آب‌بند
 - عدم پیوسته نبودن دیوار آب‌بند
 - عدم وجود درز و ترک و بازشدگی در اتصال‌های پانل‌ها
 - معیوب شدن دیوار آب‌بند به خاطر تغییر شکل ناشی از نشست یا جابجایی در ابتدای بهره‌برداری
- همچنین آزمایش‌های گرانروی (لزجت)، آزمایش چگالی، آزمایش آب کیک، آزمایش اسیدیت و تعیین ثابت ماسه جهت کنترل کیفیت دوغاب حفاری انجام می‌شود.
- برای دوغاب بنتونیت سیمانی، آزمایش‌های گرانروی، سختی و زمان گیرش، آزمایش‌های مقاومت خردشدگی، تراوایی، غلظت مواد شیمیایی کربنات و بی‌کربنات قلیایی، بی‌کربنات و منیزیم، کلرور و سولفات‌ها (SO₄) مورد توصیه است.
- تجهیزات مطالعه رفتار دیوار عبارتند از استفاده از ادوات صوتی جهت اندازه‌گیری تغییر شکل سازه، اندازه‌گیری کرنش، شیب‌سنج، اندازه‌گیری نشست و تراز پیزومتری.

۷-۲- عملیات سپر کوبی

سپر ها سازه‌هایی هستند که باید هر قسمت از آن به تنهایی قادر به تحمل نیروهای وارد شده باشند و در موارد استثنایی حتی نیروهای قائم را هم باید بتوانند به زمین منتقل نمایند. نیروهای وارد شده، شامل رانش خاک و فشار آب می‌باشند. از سپر ها جهت حفاظت گودبرداری‌ها با دیواره قائم، به‌منظور جلوگیری از ریزش خاک و ورود آب به داخل گودال، به‌صورت قسمتی از سازه که در زمین باقی‌مانده جهت تحمل رانش خاک و فشار آب و یا جلوگیری از شسته شدن زیر پی‌ها، حفاظت خاکریزهای با دیواره قائم و همچنین در پی‌سازی با هوای متراکم، استفاده به‌عمل می‌آید. مصالح ساختمانی سپر ها عبارتند از فولاد، بتن فولادی، بتن پیش‌تنیده و چوب.

۷-۲-۱- سپر های چوبی

سپر های چوبی در زمین‌هایی به‌کار برده می‌شود که کوبیدن آنها در اثر تراکم و سختی زمین به اشکال برخورد ننماید. در صورتی که سپر چوبی برای مدت طولانی و یا برای همیشه در زمین باقی بماند، باید آفت‌های چوب در زمین موجود نبوده و خطر فاسد شدن چوب وجود نداشته باشد. عرض سپر های چوبی معمولاً حدود ۲۵ سانتی‌متر و طول آنها حداکثر ۱۵ متر است. به‌طور تجربی ضخامت سپر ها بر حسب سانتی‌متر، دو برابر طول آنها (بر حسب متر) می‌باشد.

در صورتی که در پشت سپر های چوبی آب موجود باشد، باید برای جلوگیری از خروج آب و ورود آب به داخل گودال، سپر ها را به‌صورت نر و ماده به هم وصل نمود. هر قدر زمین سست‌تر باشد لبه پایین سپر تیزتر انتخاب می‌شود. در صورتی که زمین خیلی سخت باشد باید لبه پایین سپر به‌وسیله یک ورقه فلزی به ضخامت حدود ۳ میلی‌متر حفاظت شود. سرسپر ها به‌وسیله یک حلقه از ورقه فلزی به ضخامت حداقل ۲ سانتی‌متر و به ارتفاع حدود ۱۰ سانتی‌متر باید حفاظت شود که در موقع کوبیدن از شکاف خوردن جلوگیری شود. در صورتی که آب موجود نباشد و سپر فقط برای جلوگیری از ریزش خاک باشد، می‌توان سپر ها را بدون نر و ماده در کنار یکدیگر در زمین کوبید و به‌تدریج با فرورفتن سپر ها، گودبرداری نمود. سپر ها به قاب‌های افقی کمر بندی که از داخل نیز به‌وسیله تعداد لازم تیر افقی تقویت می‌شوند، تکیه می‌کنند و تیر های افقی کمر بندی هم به‌وسیله پشت‌بندها به یکدیگر و یا به زمین تکیه می‌کنند. سپر ها و تیر های کمر بندی و پشت بندها باید برای رانش خاک و فشار آب و احیاناً نیروی قائم وارد شده، محاسبه شود.

۷-۲-۲- سپر های فلزی

سپر های فلزی از مهم‌ترین نوع سپر ها بوده و بیش از انواع سپر های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد و در تمامی موارد می‌توان آنها را به‌کار برد، به استثنای مواقعی که مواد مضر برای فولاد در خاک و یا آب محل سپر کوبی موجود باشد. در صورتی که عمق گودبرداری زیاد نبوده و همچنین خطر ورود آب به داخل محل گودبرداری هم موجود نباشد، می‌توان سپر های فلزی را بدون قفل (نر و ماده) به‌کار برد. در صورتی که در پشت سپر ها فشار آب موجود باشد، سپر ها با قفل (نر و ماده) به‌کار برده می‌شوند. در مواردی که عمق گودبرداری زیاد نباشد و در نتیجه سپر بتواند به تنهایی فشار خاک و آب را تحمل نماید، می‌توان سپر را بدون تکیه‌گاه در زمین کوبید. در کلیه موارد دیگر باید سپر ها را به تیر های کمر بندی تکیه داد که این تیر های کمر بندی هم به نوبه خود، بار وارد شده را به‌وسیله پشت‌بندها به زمین و یا به سمت مقابل منتقل می‌نمایند. این پشت‌بندها را بر حسب مقدار نیروی وارد شده از چوب و یا فلز،

می‌توان انتخاب نمود. سپر و این تیرها باید برای رانش خاک و فشار آب و احیاناً نیروهای قائم وارد شده محاسبه شوند. در صورتی که پشت‌بندها در داخل محل گودبرداری مزاحم و مانع عملیات ساختمانی شود باید سپرها را به سمت خارج، در خاک مهار نمود. کاربرد سپرها در عین حال برای قالب‌بندی بتن مجاز است.

۷-۲-۳- سپرهای مرکب از فولاد و چوب

در این روش تیرهای فولادی به فواصل ۱/۵ تا ۲/۵ متر در زمین کوبیده می‌شود و سپس با پیشرفت گودبرداری در بین تیرها، تخته‌هایی به‌طور افقی نصب می‌نمایند. تیرهای فولادی را به‌وسیله تیرهای افقی در جلو به یکدیگر تکیه داده و یا از عقب در خاک مهار می‌نمایند. تیرهای فولادی بسته به مقدار رانش خاک در پشت آنها، معمولاً نیم‌رخ I شکل ۱۴ تا ۴۰ می‌باشند. این تیرها باید حداقل تا حدود ۳ متر در زیر کف گودبرداری، کوبیده شود. تخته‌هایی که به‌طور افقی بین تیرهای فولادی نصب می‌شوند، دارای ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر می‌باشند. استفاده از این تخته‌ها برای قالب خارجی بتن مجاز است. این تخته‌ها می‌تواند در زمین باقی بماند و یا با پیشرفت عملیات اجرایی آنها را از زمین خارج نمود.

تیرهای فولادی معمولاً به‌وسیله پشت‌بندهای چوبی یا فلزی به یکدیگر تکیه می‌کنند. این پشت‌بندهای چوبی و یا فلزی باید برای نیروی وارد شده مورد بررسی قرار گیرد. در صورتی که فاصله بین تیرهای فولادی در دو طرف گودبرداری خیلی زیاد باشد باید از لحاظ اقتصادی در وسط محل گودبرداری هم، پایه‌هایی جهت تکیه‌گاه پشت‌بندها ساخته شود.

۷-۲-۴- سپرهای بتن مسلح

سپرهای بتن مسلح از بتن نسبتاً سخت تهیه شده و در مواردی به‌کار برده می‌شود که بتوان آنها را بدون آن که صدمه‌ای ببینند، کاملاً غیرقابل نفوذ کنار یکدیگر کوبید. سپرهای بتنی باید برای بارهای وارد شده در حین سپرکوبی، در اثر رانش خاک و فشار آب و احیاناً بار قائم، در اثر حمل و نقل از محل انبار یا کارگاه به محل کوبیدن، در اثر بلندکردن در محل سپرکوبی و انبارکردن و روی هم چیدن، طراحی و محاسبه گردند.

ضخامت سپرهای بتنی بستگی به ملزومات طراحی سازه‌ای و شرایط کوبیدن سپر دارد، ولی حداقل ضخامت باید از ۱۲ سانتی‌متر کمتر نباشد. همچنین برای این که وزن سپر هم زیاد از حد سنگین نشود، حداکثر ضخامت معمولاً به ۴۰ سانتی‌متر محدود می‌گردد. عرض سپرها معمولاً ۵۰ سانتی‌متر و طول سپرها معمولاً تا ۱۵ متر و در موارد استثنایی تا ۲۰ متر انتخاب می‌شود. توصیه می‌گردد، مقاومت فشاری بتن سپر در موقع کوبیدن، از ۴۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کمتر نباشد.

اتصال دو سپر بتنی کنارهم، در قسمت پایین سپر تا ارتفاع ۱/۵ متر، می‌تواند به صورت کام و زبانه انجام گیرد ولی در قسمت بالایی سپرها باید در هر دو سپر، یک شیار وجود داشته باشد که پس از کوبیدن کامل دو سپر، این حفره به‌وسیله بتن یا یک ماده عایق‌کننده دیگر، پر می‌شود. عرض این شیارها نباید از یک‌سوم ضخامت سپر بیش‌تر و عمق آنها هم نباید از ۵ سانتی‌متر بیش‌تر باشد که مزاحمتی جهت فولاد تنگ‌های سپر ایجاد ننماید.

سپرها دارای فولاد طولی می‌باشند که باید برای نیروهای وارد شده محاسبه شوند. تنگ‌های سپر معمولاً از میلگرد فولادی با قطر ۵ میلی‌متر و به فاصله ۱۵ سانتی‌متر می‌باشند که در دو انتهای سپر، در طول معینی این فاصله به ۵ سانتی‌متر تقلیل داده می‌شود.

۷-۲-۵- سپرهای مرکب از تیر فولادی و بتن

در این روش ابتدا تیرهای فولادی به فواصل حدود یک تا دو متر در زمین کوبیده شده و سپس حدود یک تا ۱/۵ متر به‌طور قائم بین تیرهای فولادی گودبرداری گردیده و قالب‌بندی و بتن‌ریزی انجام می‌گیرد (در صورت نیاز در بتن میلگردگذاری می‌شود). سپس گودبرداری ادامه یافته و مجدداً عملیات بتن‌ریزی انجام می‌شود و به همین ترتیب تا عمق لازم جهت گودبرداری عمل را ادامه می‌دهند.

۷-۲-۶- سپر مرکب از یک ردیف شمع

این نوع سپرها معمولاً به سه روش اجرا می‌شوند:

- یک سری شمع در کنار یکدیگر به فواصل حدود ۵ سانتی‌متر در یک خط ساخته می‌شوند. این نوع سپرها فقط برای رانش خاک مناسب بوده و در صورتی که آب موجود باشد باید قبلاً آب موجود را از حدود گودال به خارج هدایت نمود.
- ابتدا شمع‌هایی ساخته می‌شود که فاصله بین آنها حدود سه چهارم قطر شمع می‌باشد. این شمع‌ها معمولاً از بتن بدون فولاد ساخته می‌شوند. سپس در بین این شمع‌ها، شمع‌هایی از بتن مسلح ساخته می‌شوند و به این ترتیب شمع‌ها یکدیگر را قطع نموده و یک دیوار ممتد به‌وجود می‌آورند. این نوع سپرها نه تنها رانش خاک را تحمل می‌نمایند، بلکه در مقابل فشار آب هم عایق می‌باشند و در صورتی که در بعضی قسمت‌ها آب نفوذ نماید می‌توان به‌وسیله انژکسیون عایق نمود.
- شمع‌ها به فاصله یک متر الی ۱/۵ متر از یکدیگر ساخته می‌شوند و در بین این شمع‌ها همراه با گودبرداری قوس‌های افقی از سنگ‌های فیلتر ساخته می‌شود.

۷-۲-۷- سپر به‌طریقه دیوار شیاری

در این روش، ابتدا در طولی که سپر باید ساخته شود شیاری در زمین به عرض حدود یک متر و به عمق ۱/۵ متر گودبرداری می‌شود و دو طرف این شیار را با یک قشر بتن مسلح به ضخامت ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متر می‌پوشانند. سپس این گودال را پر از یک مایع تیکسوتروپ^۱ کرده و بقیه گودبرداری را تا عمق لازم انجام می‌دهند. این مایع که از ریزش بدنه گودبرداری جلوگیری می‌کند باید دایماً در گودال ریخته شود که پر باشد. پس از آن که گودبرداری تمام شد این شیار موجود را به‌وسیله لوله‌هایی که در فواصل معینی در شیار قرار داده می‌شود باید به چندین قسمت تقسیم نمود. عرض هر قسمت حدود ۲/۵ الی ۶ متر می‌شود. ضمناً در یک قسمت آرماتور گذاشته و بتن‌ریزی می‌شود و پس از سخت شدن بتن این قسمت، لوله موجود بین این قسمت و قسمت مجاور کشیده شده و قسمت دوم بتن‌ریزی می‌شود. به این ترتیب اتصال قسمت‌های مختلف با یکدیگر به صورت مفصلی می‌باشد. بتن مصرفی باید دارای مقاومت فشاری ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و مقدار سیمان آن ۳۵۰ کیلوگرم در مترمکعب بتن باشد.

بتن‌ریزی به‌وسیله لوله انجام می‌شود. در حین بتن‌ریزی مایع محافظ موجود در گودال به سمت بالا رانده شده که یا به قسمت‌های دیگر دیوار منتقل می‌شود و یا به‌وسیله یک پمپ از گودال خارج و برای تصفیه و مصرف مجدد به یک مخزن ریخته می‌شود. دیواری که بتن‌ریزی می‌شود می‌تواند توپر و یا توخالی باشد. در صورتی که عمق این دیوارها خیلی زیاد باشد ممکن است

لازم شود در موقع گودبرداری در محل سازه اصلی که این دیوار، سپر آن را تشکیل می‌دهد در عمق‌های لازم، به‌وسیله تیرهایی به دیوار تکیه داده شده و یا از خارج مهار شود. ولی در اغلب موارد خود دیوار طوری محاسبه می‌شود که رانش خاک و فشار آب موجود در پشت آن را به تنهایی تحمل نماید. پوشش بتنی روی آرماتورها در صورتی که دیوار به‌صورت سپر موقتی ساخته شود، ۵ سانتی‌متر و در صورتی که به‌صورت قسمتی از سازه برای همیشه باقی بماند ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد.

۷-۲-۸- ملاحظه‌های طراحی سپرها

در طراحی سپرها در اغلب موارد به‌علت این که سازه موقت بوده و در زمره سازه اصلی نمی‌باشند، دقت کافی به‌عمل نمی‌آید و ابعاد آنها به‌طور تقریبی و نظری تعیین می‌شود. این عمل در بعضی موارد ایجاد سانحه‌هایی در محل گودبرداری می‌نماید که خسارت‌های مالی و جانی در بر دارد. سپرها و تیرهای کمربندی و پشت‌بندها و یا مهارهای آنها باید به‌وسیله یک مهندس محاسب با تجربه، برای کلیه نیروهای وارد شده به‌دقت محاسبه و ابعاد آنها در روی نقشه گودبرداری ارائه شود.

رانش خاک باید براساس مشخصات و وزن خاک موجود و سربار آن که مرکب از وسایل نقلیه و غیره می‌باشد، در محاسبه منظور شود. سامانه استاتیکی یک سپر باید برای مراحل مختلف گودبرداری تعیین و محاسبه شود و ابعاد سپر باید برای مرحله‌ای که بزرگ‌ترین نیرو به سپر وارد می‌شود، محاسبه شود.

مقدار و تقسیم رانش خاک در ارتفاع سپر، بستگی با تغییر شکل سپر دارد. طبق آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌هایی که در سپرها یا مهار و یا تکیه‌گاه انجام گرفته، روش زیر برای محاسبه سپرها و تیرهای تکیه‌گاه و مهارها در مقابل رانش خاک توصیه می‌شود. رانش خاک به‌صورت یک بار یکنواخت منظور می‌شود که مقدار کل آن در تمام ارتفاع سپر، معادل رانش خاک طبق تئوری‌های رانش خاک می‌باشد و ضمناً تصحیح‌هایی به‌صورت زیر در مقدار نیروها انجام می‌گیرد:

- در صورتی که سپر فقط دارای یک تکیه‌گاه و یا یک مهار باشد و رانش خاک به‌صورت بار یکنواخت محاسبه شود، باید عکس‌العمل تکیه‌گاه و یا نیروی مهار را به نسبت h/h_f زیاد کرد و ممان مثبت سپر را به نسبت h_f/h کم کرد. h_f عبارت است از فاصله محل تکیه‌گاه یا مهار از کف گودبرداری و h عبارت است از فاصله بالای سپر از کف گودبرداری.
- در صورتی که سپر دارای دو تکیه‌گاه و یا مهار باشد و رانش خاک به‌صورت بار یکنواخت منظور شود، عکس‌العمل تکیه‌گاه و یا نیروی مهار بالایی را باید به نسبت h/h_f زیاد کرد. تقلیل مقدار ممان در این حالت مجاز نیست.
- در صورتی که سپر دارای سه تکیه‌گاه و یا مهار و یا تعداد بیش‌تری باشد و رانش خاک به‌صورت بار یکنواخت منظور شود باید عکس‌العمل تکیه‌گاه و یا نیروهای مهار که در منطقه وسط سپر قرار دارند را ۳۰ درصد زیاد نمود.
- خستگی‌های موجود در سپر و تیرهای کمربندی و پشت‌بندها و مهارها در اثر کل بارهای موجود نباید از خستگی مجاز برای مصالح ساختمانی مربوط تجاوز نماید.
- کلیه قطعه‌هایی که به فشار کار می‌کنند باید برای کمانش محاسبه شوند.

۷-۲-۹- تکیه‌گاه سپرها

تیرهای کمربندی که به‌طور افقی در ارتفاع‌های لازم در روی سپرها نصب می‌شود، باید به‌طور ممتد و یکسره بوده و هیچ نوع تقاطعی در آنها بوجود نیاید. برای این تیرهای کمربندی معمولاً نیم‌رخ فلزی به‌کار می‌رود. این تیرهای کمربندی و یا خود سپر،

مستقیماً به تیرهای پشت‌بند تکیه می‌کنند که بین دو سپر مقابل یکدیگر نصب می‌شوند. این تیرها باید طوری به سپر و یا تیرهای کمربندی متصل شوند که چرخش و تغییر محل آنها ممکن نباشد. در مواردی که عرض گودبرداری؛ یعنی فاصله بین دو سپر بین ۵ تا ۱۰ متر باشد، این پشت‌بندها، چوب گرد می‌باشند. در صورتی که عرض گودبرداری بین ۱۰ تا ۲۰ متر باشد، جنس این پشت‌بندها نیم‌رخ فلزی و بالاخره در صورتی که عرض گودبرداری بیش از ۲۰ متر باشد، خرپاهای چوبی و یا فلزی به کار برده می‌شود. برای مواردی که عرض گودبرداری خیلی زیاد باشد می‌توان سپر را به وسیله تیرهای پشت‌بند به کف گودبرداری تکیه داد که در این حالت در کف گود یک بلوک بتنی و یا پی ساختمان ساخته می‌شود که تیر به آن تکیه کند. این طریقه فقط در مواردی قابل اجرا است که این تیرهای مایل، مزاحم کار ساختمانی نشوند.

۷-۲-۱۰- مهار سپرها

مهارها، میله‌های گرد و یا کابل‌های فولادی می‌باشند که در سوراخ‌هایی که قبلاً در زمین تعبیه شده، قرارداده می‌شوند و سپس با تزریق ملات سیمان در طول معینی در زمین، گیردار گردیده و سر دیگر آنها به سپر و یا تیر کمربندی که در روی سپر نصب شده، وصل می‌شود. این مهارها را می‌توان قبل از اتصال به سپر تحت کشش قرار داد و سپس به سپر متصل نمود که از حرکت بعدی در اثر نیروهای وارد شده، بهتر جلوگیری نماید. بار از فولاد مهار به سه طریق به مصالح تزریق شده منتقل می‌شود. روش اول به وسیله اصطکاک بین فولاد و مصالح تزریقی. روش دوم به وسیله یک صفحه یا جسم دیگر در انتهای فولاد مهار که بر مصالح تزریقی تکیه می‌کند و روش سوم به وسیله یک لوله که به فولاد مهار وصل است و این لوله به وسیله اصطکاک، نیروی خود را به مصالح تزریق شده منتقل می‌نماید.

۷-۲-۱۰-۱- مصالح مصرفی

الف- فولاد مهار

فولاد مهار باید از فولادهای مقاوم و یا فولادهای با مقاومت ۵ که برای بتن پیش‌تنیده به کار می‌رود، باشد. حداقل مقطع فولاد یک مهار باید حدود ۲۲۰ میلی‌مترمربع و هر میله مهار باید حداقل به قطر ۱۰ میلی‌متر باشد.

ب- مصالح تزریقی

مصالح تزریقی معمولاً مخلوط سیمان و آب بوده و نسبت آب به سیمان حدود ۰/۴ تا ۰/۶ می‌باشد. در صورتی که زمین زیاد متخلخل باشد می‌توان ملات سیمان هم به کار برد که به این وسیله در مصرف سیمان صرفه‌جویی شود. ولی سیمان تنها، همواره به علت چسبندگی و اصطکاک بیش‌تر خاک ارجحیت دارد.

۷-۲-۱۰-۲- ملاحظه‌های فنی و اجرایی مهار

خستگی فولاد مهار، برای بارهایی که از سپر به آن منتقل می‌شود باید از حد مجاز تجاوز ننماید. پایداری مجموعه سامانه سپر و مهار در مقابل سرخوردن توده خاک پشت سپر باید بررسی شود.

مصالح تزریقی نیز به نوبه خود به وسیله اصطکاک، نیروها را به خاک منتقل می‌کند. طولی از مهار که جهت انتقال نیرو به زمین باید توسط مصالح تزریقی پوشانیده شود، معمولاً از روی تجربه برای هر نیرو به دست می‌آید و اگر برای زمینی، این مقدار تجربی، مشخص نباشد، باید یک و یا چند مهار آزمایشی، کشیده شود و از روی بار بحرانی آنها با در نظر گرفتن ضریب اطمینان، مقدار مجاز بار هر مهار را پیدا کرد. طولی از فولاد مهار که از مصالح تزریقی پوشیده نمی‌شود باید در مقابل زنگ‌زدن حفاظت شود. برای حفاظت می‌توان در روی فولاد لوله‌های پلاستیکی کشید و یا با نوار مخصوصی باندپیچی نمود.

به منظور اجرای مهارها، ابتدا سوراخ‌هایی به قطر ۷۰ الی ۱۴۰ میلی‌متر تا عمق لازم حفاری می‌شود. حفاری را به دو طریق می‌توان انجام داد. طریقه اول به کمک کوبیدن یک لوله در محل مهار انجام می‌گیرد و با کمک تزریق آب، مواد حفاری شده در انتهای لوله از داخل و یا از روی بدنه لوله به خارج شسته می‌شود. در طریقه دوم، حفاری بدون کمک لوله انجام می‌شود و برای این که بدنه سوراخ حفر شده ریزش نکند باید مایعی مانند بتونیت در داخل سوراخ ریخته شود. پس از آن که حفاری به پایان رسید باید وسایل حفاری را از داخل سوراخ خارج نمود و فولاد مهار در آن کار گذاشته شود. سپس درب سوراخ یا لوله‌ای را که در سوراخ کوبیده شده به وسیله یک درپوش می‌بندند و سیمان در سوراخ تزریق می‌کنند و در حین تزریق به تدریج لوله را به خارج می‌کشند. فشار تزریق سیمان برحسب نوع زمین بین ۵ تا ۲۰ اتمسفر می‌باشد. پس از تزریق سیمان و سخت‌شدگی کافی آن، مهار آزمایش می‌شود. به این منظور معمولاً با نیرویی حدود ۱/۲ برابر نیرویی که بعداً در اثر بارهای وارد شده به مهار وارد می‌شوند، مهار را می‌کشند. پس از آزمایش می‌توان مهار را به سپرها و یا تیرهای کمربندی آنها وصل نمود.

۷-۲-۱۱- کوبیدن سپرها

مشخصات و روش اجرای کوبیدن سپرها همانند عملیات شمع‌کوبی، ارائه شده در بند ۷-۳-۷ این فصل می‌باشد.

۷-۳- عملیات شمع‌کوبی و شمع‌ریزی

شمع عضو سازه‌ای بتنی، فولادی یا چوبی است که در صورت مناسب نبودن ظرفیت باربری زمین و برای انتقال بارهای سطحی به ترازهای پایین‌تر توده خاک، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از شمع معمولاً برای منظوره‌ای زیر استفاده می‌شود:

- برای انتقال بارهای قائم و جانبی روسازه‌ای به ترازهای پایین خاک
- مقابله با نیروهای زیر فشار و واژگونی پی سازه‌ها
- متراکم ساختن نهشته‌های سست و غیرچسبنده از طریق جابجایی حجمی شمع‌ها و ارتعاش‌های کوبش
- کنترل نشست‌های پی‌های منفرد یا گسترده، وقتی بر روی خاکی بسیار تراکم‌پذیر قرار دارند
- در زیر پایه‌های کناری و یا میانی پل‌ها به دلیل مساله آبشستگی و فرسایش

برای انتخاب نوع شمع، اطلاعات ژئوتکنیکی که از طریق گمانه‌های آزمایشی به دست می‌آید، مورد نیاز می‌باشد. عملیات شمع‌سازی، شمع‌کوبی و حفاری محل شمع باید با حضور نماینده متخصص پیمانکار و دستگاه نظارت انجام گیرد و برای هر شمع، صورتجلسه‌ای که حاوی مشخصات کامل شمع و در مورد حفاری، حاوی اطلاعات لازم راجع به خاک در لایه‌های مختلف زمین

می‌باشد، تهیه گردد و در صورتی که نوع خاک در لایه‌های مختلف در هنگام حفاری، با نوع خاک نشان داده شده در نتایج آزمایش‌های اولیه متفاوت باشد، نتایج به‌دست آمده جهت بررسی و تجدید نظر احتمالی در طرح شمع به اطلاع دستگاه نظارت برسد.

۷-۳-۱- انواع شمع‌ها

شمع‌ها براساس مکانیسم انتقال بار به خاک و طول شمع به سه گروه عمده شمع‌های اتکایی، شمع‌های اصطکاکی و شمع‌های تراکمی تقسیم می‌شوند:

الف- شمع اتکایی

وقتی بستر سنگی و یا لایه خیلی متراکم در عمق مناسبی باشد، شمع را می‌توان تا آن لایه ادامه داد که در این حالت، ظرفیت باربری کاملاً بستگی به ظرفیت باربری بستر سنگی در مقابل نوک شمع دارد. به این گونه شمع‌ها، اتکایی می‌گویند.

ب- شمع اصطکاکی

وقتی که عمق بستر سنگی و یا لایه خیلی متراکم زیاد باشد، طول لازم برای شمع اتکایی غیراقتصادی خواهد بود. در چنین شرایطی شمع تا عمق مناسبی در لایه نرم فوقانی کوبیده می‌شود و در این حالت به دلیل ظرفیت اتکایی ناچیز، ظرفیت باربری کلی، محدود به ظرفیت باربری اصطکاکی می‌گردد. به این گونه شمع‌ها، اصطکاکی می‌گویند.

ج- شمع تراکمی

در بعضی موارد خاص، شمع‌ها به این منظور در لایه‌های دانه‌ای کوبیده می‌شوند که تراکم خوبی در لایه سطحی خاک به‌وجود آید. به این گونه شمع‌ها، تراکمی می‌گویند. این گونه شمع‌ها معمولاً کوتاه هستند و برای مشخص کردن طول مناسب آنها، بعضی آزمایش‌های صحرایی لازم است. علاوه بر تقسیم‌بندی بالا، براساس مصالحی که شمع از آن ساخته می‌شود، شمع‌ها دارای انواع بتنی، فولادی، چوبی و مرکب (مختلط) می‌باشند.

۷-۳-۲- شمع‌های بتنی

شمع‌های بتنی به دو صورت پیش‌ساخته و درجا مورد استفاده قرار می‌گیرند. شمع‌های پیش‌ساخته از مقاطع مربع یا هشت ضلعی به‌صورت معمولی و پیش‌تنیده ساخته می‌شوند. شمع پیش‌ساخته با آرماتور معمولی برای مقاومت در برابر خمش ایجاد شده در زمان بلندکردن و حمل و نقل و همچنین خمش ناشی از نیروی جانبی و افزایش مقاومت فشاری طراحی می‌شوند. این گونه شمع‌ها را با استفاده از کشیدن کابل‌های پیش‌تنیدگی فولادی با مقاومت بالا، به‌صورت پیش‌تنیده درمی‌آورد. این کار با کشیدن کابل‌ها تا تنش معینی در داخل قالب صورت می‌پذیرد و سپس درون قالب با بتن پر می‌شود و بعد از سفت شدن بتن، کابل‌ها بریده می‌شوند.

از مزایای شمع بتنی پیش‌ساخته، قابل استفاده بودن در شرایط کوبیدن سخت، مقاومت در مقابل خوردگی و یکپارچه بودن بار و سازه بتنی می‌باشد، البته این گونه شمع‌ها، حمل و نقل سختی دارند و همچنین افزایش طول آنها به‌سادگی میسر نمی‌باشد. شمع‌های بتنی درجا، نسبت به شمع‌های بتنی پیش‌ساخته، دارای قیمت نسبتاً ارزان‌تری هستند.

شمع‌های درجا از حفاری یک چاه در داخل زمین به‌وسیله دست یا ماشین و سپس قراردادن آرماتور و ریختن بتن در داخل آن انجام می‌پذیرد. روش‌های مختلفی برای اجرای شمع‌های درجا وجود دارد که به‌طور کلی در دو گروه اصلی بدون غلاف و غلاف‌دار قرار می‌گیرند. برای اجرای شمع‌های درجا بدون غلاف، حفاری به‌وسیله دست یا دستگاه‌های مخصوص انجام می‌گیرد و یا ابتدا غلاف (لوله فولادی) در زمین کوبیده شده و سپس هم‌زمان با بتن‌ریزی، غلاف به‌تدریج به بیرون کشیده می‌شود. در شمع‌های غلاف‌دار، ابتدا یک لوله فولادی در داخل زمین کوبیده می‌شود و پس از رسیدن به عمق مورد نظر، مصالح داخل آن خالی شده و داخل لوله پس از آرماتورگذاری از بتن پر می‌شود. در شمع بتنی غلاف‌دار امکان بازدید قبل از بتن‌ریزی و همچنین افزایش طول وجود دارد هر چند که مشکل وصله بعد از بتن‌ریزی و صدمه دیدن غلاف نازک در حین کوبیدن نیز وجود دارد. در شمع بتنی بدون غلاف، امکان قطع بتن در هر تراز می‌باشد، البته مشکل وصله بعد از بتن‌ریزی و ریزش جدار سوراخ و ایجاد خلل و فرج در بتن نیز وجود دارد.

۷-۳-۲-۱- ملاحظه‌های فنی و اجرایی شمع‌های بتنی پیش‌ساخته

الف- ساخت شمع

شمع‌های بتنی پیش‌ساخته باید بر روی یک سکوی محکم و هموار ساخته شوند و قالب‌ها باید به‌نحوی باشد که هیچ‌گونه نشست یا تغییر فرم در آنها به‌وجود نیاید. بتن شمع‌ها باید بدون خلل و فرج و ابعاد آن طوری باشد که اختلاف فاصله لبه شمع تا خط مستقیمی که بعد از شمع در انتهای دیگر شمع کشیده شده، از ۲/۵ سانتی‌متر تجاوز نکند. مقاومت فشاری بتن شمع‌های بتنی پیش‌ساخته، حداقل ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است و می‌توان با توصیه دستگاه نظارت از بتن‌های با مقاومت بیش‌تر را استفاده نمود. حداقل ضخامت پوشش بتن روی میلگرد برای شمع‌های پیش‌ساخته، مطابق جدول (۷-۱) می‌باشد.

جدول ۷-۱- حداقل ضخامت پوشش روی میلگرد بر حسب میلی‌متر

شرایطی که شمع در آن قرار می‌گیرد	مقاومت فشاری بتن (kg/cm^2)			
	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰
دایما در زیر خاک	۴۰	۳۰	۲۵	۲۰
متناوباً تر و خشک شود	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰
در معرض آب دریا	-	-	۶۰	۵۰

آرماتورهای طولی نباید از طریق روی هم قرار گرفتن به هم وصل شوند و وصله باید به‌وسیله جوش لب به لب صورت گیرد. این قبیل اتصال‌ها باید حداقل معادل ۶۰ برابر قطر میلگرد از هم فاصله داشته باشند، به‌طوری که در هر ضلع شمع و در هر مقطع عرضی آن، بیش از یک وصله وجود نداشته باشد. چنانچه امکان جوش لب به لب نباشد، جوشکاری باید به روش دیگری که مورد تایید دستگاه نظارت باشد، صورت گیرد و کلیه جوشکاری‌ها باید با مشخصات DIN 4100 مطابقت نماید. میلگرد جوش شده نباید قبل از تصویب جوشکاری توسط دستگاه نظارت به کار برده شود.

بتن‌ریزی هر شمع باید از سر شمع به طرف پاشنه شمع و به‌طور مداوم انجام گیرد. قالب اطراف شمع‌ها را می‌توان پس از ۲۴ ساعت باز نمود. شمع‌ها باید حداقل به مدت ۷ روز، تا وقتی که بتن حداقل دو سوم مقاومت ۲۸ روزه را کسب نماید روی سکوی بتن‌ریزی باقی بمانند و در صورتی که برای عمل آوردن بتن شمع‌ها از حمام بخار استفاده شود، با تصویب دستگاه نظارت می‌توان شمع‌ها را بعد از ۲۴ ساعت از محل ساخت بلند نمود. عمل آوردن بتن شمع‌ها مطابق مندرج‌های فصل بتن خواهد بود.

شمع‌ها پس از ساخته شدن و قبل از بلندکردن باید به دقت نمره‌گذاری شده و طول و تاریخ ساخت به وضوح روی آنها نوشته شود. شمع‌ها باید طوری روی هم چیده و انبار شوند که عبور هوا از بین آنها ممکن باشد. قراردادن شمع‌ها روی هم بدون آن که قطعه تخته‌ای در دو طرف شمع، بین آنها قرار داده شود، مجاز نیست. محل مجاز برای قرار گرفتن تخته‌ها، حدود محلی است که قلاب بلندکردن در آن‌جا قرار دارد.

شمع‌ها نباید زودتر از ۲۸ روز از تاریخ بتن‌ریزی کوبیده شوند. چنانچه شمع بتنی پیش‌ساخته روی لایه‌ای سخت و شیب‌دار و یا لایه قلوه‌سنگی کوبیده شود خطر انحراف شمع در زمین و در نتیجه شکستن شمع در زیر خاک وجود دارد. برای کنترل صحت عملیات با تصویب کارفرما در تعدادی از شمع‌های آزمایشی و تعدادی از شمع‌های کار قبل از بتن‌ریزی، لوله‌های فولادی به قطر داخلی ۴۲ میلی‌متر و ضخامت ۱/۵ میلی‌متر در مرکز و در امتداد محور طولی شمع قرار داده می‌شود. محل قرارگرفتن لوله فوق در یک قطعه ۵ متری از شمع بتنی، نباید بیش از ۵ میلی‌متر از خط مستقیم انحراف داشته باشد. چنانچه شمع از قطعه‌های به‌هم متصل شده تشکیل شده باشد، انحراف لوله بالا در طول اتصال نباید بیش از یک میلی‌متر باشد.

پس از اتمام عملیات کوبیدن، یک لوله به قطر خارجی ۳۶ میلی‌متر به ضخامت ۸ میلی‌متر که طول آن ۱/۸ متر است در داخل سوراخ ۴۲ میلی‌متری فرو می‌برند. چنانچه لوله به انتهای تحتانی شمع با وزن خود فرو رود، شمع سالم است و انحرافی ندارد. در غیر این صورت باید با دستگاه سنجش، میزان انحراف را اندازه‌گیری کرد تا بتوان نسبت به قبول یا رد شمع تصمیم‌گیری نمود.

ب- حمل، کوبیدن و بریدن شمع‌ها

شمع‌ها باید هنگام حمل و نقل در نقاطی که در نقشه‌ها نشان داده شده است تکیه نمایند و هنگام جابجا کردن و حمل و نقل، از یک قلاب و یا وسیله مصوب دیگری استفاده شود. همچنین در موقع بلندکردن شمع‌ها در محل شمع کوبی، باید از نوار سیمی، قلاب یا وسیله مصوب دیگر استفاده کرد.

دستگاه‌های شمع کوب باید مورد تایید دستگاه نظارت بوده و مجهز به چکش با ظرفیت کوبندگی لازم برای شمع‌ها باشند. دستگاه شمع کوب باید چرخ‌های کشش جداگانه برای بلندکردن چکش و شمع‌ها به‌طور مستقل از هم داشته باشد. جرثقیلی که دستگاه شمع کوب روی آن نصب شده باید قادر باشد درحالی که چکش و شمع هر دو به‌طور معلق از آن آویزان است تغییر مکان داده و همچنین بتواند در حال آویزان بودن چکش و شمع، دور خود بچرخد. شمع کوب باید مجهز به یک هادی محکم که به‌طور استوار بر جای خود تکیه کند (جهت هدایت شمع‌های عمودی و همچنین شمع‌های مورب) باشد. وزن مناسب برای دستگاه شمع کوب معادل وزن شمع می‌باشد و می‌تواند حداکثر تا دو برابر وزن شمع افزایش یابد. در زمین‌های سست باید از کوبیدن شمع با چکش‌های زیاد سبک خودداری کرد زیرا باعث آسیب رسیدن به شمع می‌شود و در زمین‌های سخت به کار بردن چکش‌های زیاد سنگین، به شمع

آسیب می‌رساند. شمع کوب باید قادر به کوبیدن شمع‌هایی که طول آنها ۲ متر بیش‌تر از طول نشان داده شده در نقشه‌ها است باشد. از آب یا هوای تحت فشار برای کوبیدن شمع‌ها تنها در صورت تصویب دستگاه نظارت می‌توان استفاده نمود.

هنگام کوبیدن شمع‌ها باید کلاهک یا وسیله مناسب دیگری که مورد تایید دستگاه نظارت است، برای نگه‌داشتن سر شمع در وضع صحیح و مستقیم به کار برده شود. ضربه‌های چکش شمع کوب باید از طریق یک قطعه چوب که الیاف آن در موازات محور شمع باشد، منتقل شود. انواع دیگری از کلاهک شمع کوبی در صورت تایید دستگاه نظارت می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد.

در صورتی که شمع‌ها با دقت مقرر کوبیده نشده باشند و نسبت به وضع صحیح شمع‌ها اطمینان حاصل نشود، باید بیرون کشیده شده و مجدداً کوبیده شوند و یا این‌که شمع جدیدی در مجاورت آن کوبیده شود و این‌گونه عملیات اضافی تماماً به هزینه پیمانکار خواهد بود. هر شمع باید حتی‌الامکان به صورت مداوم تا عمق مقرر در نقشه‌ها و طبق نظر دستگاه نظارت کوبیده شود. چنانچه تامین ظرفیت تحمل رضایت‌بخش بدون ازدیاد طول شمع میسر نگردد، باید طبق دستورهای دستگاه نظارت، یا طول شمع را افزایش یابد یا یک شمع اضافی با طول کافی کوبیده شود. شمع‌های ناقص و آسیب دیده که نتوان تا حد مورد قبول دستگاه نظارت آنها را تعمیر نمود، مردود شناخته خواهد شد. چنانچه کوبیدن شمع‌ها باعث جابجایی و تورم زیاد خاک و احیاناً وارد آوردن خسارت به سازه‌های مجاور باشد، باید فوراً عملیات متوقف شده و در صورت لزوم و تصویب دستگاه نظارت، پیش‌حفاری نمود. در بعضی موارد کوبیدن یک شمع ممکن است باعث بالا آمدن یک گروه از شمع‌های مجاور که قبلاً کوبیده شده‌اند، گردد (البته این احتمال در مورد شمع‌های چوبی بیش‌تر است). با اتخاذ تدابیر مناسب از جمله پیش‌حفاری، از وقوع چنین اتفاقی باید جلوگیری نمود.

آرماتورهای سرشمع‌ها باید با ابزار آلات دستی یا مکانیکی بریده شوند. منفجر نمودن سرشمع‌ها تنها با تصویب دستگاه نظارت مجاز خواهد بود. سرشمع‌ها باید در ارتفاعی بین کف ابنیه فوقانی و پایین‌ترین لایه میلگرد فولادی آن سازه، قطع شوند. هرگاه بتن سرشمع‌ها تا میزانی پایین‌تر از ارتفاع فوق آسیب ببیند، پیمانکار باید به هزینه خود، سر شمع را مرمت نماید.

ج- وصله شمع‌ها

در صورتی که طول یک قطعه شمع بتنی پیش‌ساخته برای تحمل بارهای در نظر گرفته شده کافی نباشد، افزایش طول به یکی از روش‌های زیر انجام می‌گیرد:

- افزایش طول به روش بتن‌ریزی در محل

در این روش میلگردهای موجود در سرشمع‌ها باید در حدود طولی معادل ۵۰ برابر حداکثر قطر آرماتور، لخت شوند. میلگردهای جدید به مقدار و طول تعیین شده، طبق نظر دستگاه نظارت اضافه گردد و میلگردها باید حداقل در طولی معادل ۴۵ برابر حداکثر قطر میلگرد روی هم قرار بگیرند و یا در صورت تصویب دستگاه نظارت در تمام طول با میلگردهای بیرون آمده، جوش شوند. قالب‌بندی باید با دقت زیاد انجام شود تا طول اضافی شمع در امتداد مستقیم شمع که قبلاً کوبیده شده، قرارگیرد. بتن مصرفی باید از نوعی باشد که شمع ساخته شده است. قسمت فوقانی شمع باید طبق نقشه‌های تفصیلی ساخته شود. قسمت تطویلی باید مرتباً در حین عمل آمدن بتن، پوشیده و مرطوب نگه داشته شود و کوبیدن مجدد شمع نباید قبل از ۲۸ روز پس از بتن‌ریزی انجام شود. جهت افزایش طول شمع‌ها با تصویب دستگاه نظارت، می‌توان از سیمان زودگیر استفاده نمود.

- به کار بردن اتصال های خاص

طول شمع بتنی پیش ساخته را می توان با تعبیه اتصال های مخصوصی که به صورت نر و ماده در دو سر شمع قرار گرفته و سر یک قطعه شمع را به قطعه دیگر شمع متصل می نماید، افزایش داد. اتصال های مورد استفاده باید مورد تصویب دستگاه نظارت باشد. مقاومت اتصال ها به کشش و خمش و فشار، حداقل باید برابر مقاومت مقطع بتنی شمع باشد. در صورتی که وضعیت شمع طوری است که اتصال ها در خارج از زمین واقع می شود، به منظور جلوگیری از زنگ زدگی باید روی اتصال ها با رنگ پوشانیده شود.

۷-۳-۲-۲- ملاحظه های فنی و اجرایی شمع های بتنی درجا

الف- حفاری شمع های درجا

حفاری شمع های درجا به وسیله دستگاه های مخصوص و به قطرهای مختلف انجام می گیرد. در صورتی که امکان ریزش دیوارهای محل حفاری شده شمع، در اثر فشار خاک و یا آب وجود داشته باشد باید با تصویب دستگاه نظارت، با یکی از روش های زیر از ریزش جدار جلوگیری نمود.

۱- به کار بردن مخلوط آب و بنتونیت یا مواد مشابه

۲- به کار بردن لوله فلزی در سرتاسر چاه

۳- به کار بردن لوله فلزی در قسمت های اولیه چاه، مخلوط آب و بنتونیت و یا مواد مشابه در سایر قسمت ها

۴- به کار بردن لوله بتنی که در محل باقی می ماند

در مواقعی که برای نگهداری جداره چاه حفاری از بنتونیت یا مواد مشابه استفاده می شود، این مواد چنانچه غلظت زیاد داشته باشند، می توانند در قسمت هایی به جای بتن، جایگزین شده و موجب قطع شمع در قسمت هایی از طول آن گردند. همچنین چنانچه دیواره محل حفاری شده شمع از ماسه یا شن و ماسه بدون چسبندگی تشکیل شده باشد، احتمال ورود ماسه و یا شن و ماسه و قطع پیوستگی بتن در شمع وجود دارد و باید به دقت توسط افراد با تجربه و استفاده از حفاظت های مناسب از وقوع آنها جلوگیری به عمل آورد. لذا باید حتی المقدور از به کار بردن بنتونیت و یا مواد مشابه برای حفاری شمع، خودداری نمود. مگر آن که دستگاه نظارت استفاده از آن را مجاز تشخیص دهد. همچنین می توان جهت جلوگیری از ریزش دیواره ها در قسمت های اولیه و یا تمام طول چاه حفاری، از لوله فلزی استفاده نمود. در پایان حفاری و قبل از بتن ریزی، باید کلیه مواد موجود در محل حفاری شده شمع بیرون آورده شود و طبق نظر دستگاه نظارت به خارج از محل کار، حمل، انبار و تسطیح شود.

حفاری شمع های بتنی درجا باید تا عمق نشان داده شده در نقشه ها و طبق نظر دستگاه نظارت انجام گیرد و کلیه مواد به دست آمده از حفاری که نشان دهنده نوع خاک لایه های مختلف می باشد، جهت بررسی دستگاه نظارت و مقایسه آن با نتایج آزمایش های اولیه، جمع آوری گردد. در صورت نیاز به سکو جهت حفاری، باید طبق دستور دستگاه نظارت نسبت به احداث آن اقدام گردد.

ب- بتن ریزی شمع های درجا

بتن ریزی در محل حفاری شده شمع، به وسیله لوله ترمی انجام می گیرد و باید به صورتی باشد که بتن، حفره های جداره و انبار انتهایی شمع را کاملاً پر نماید، به این منظور باید توجه نمود در مدتی که بتن ریزی ادامه دارد انتهای آن همیشه در بتن قرار گیرد.

آرماتورهای شمع باید قبلاً تهیه و بسته شده باشد و پس از تایید دستگاه نظارت و قبل از بتن‌ریزی، در داخل محل حفاری شده جاگذاری و از بالا مهار شود، به‌طوری که فاصله آن از دیواره چاه حفظ شود. این آرماتورها بعداً طبق نقشه‌ها به آرماتورهای سرشمع متصل خواهند شد.

در صورت استفاده از لوله فلزی جهت حفاری و در حالتی که مقرر است لوله فولادی بیرون کشیده شود، این لوله باید حداکثر بلافاصله بعد از اتمام بتن‌ریزی و قبل از گیرش بتن، بیرون کشیده شود. بتن شمع‌های درجا باید از نوع بتن با عیار ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب سیمان باشد و با سیمان پرتلند ساخته شود مگر آن که نوع دیگری از بتن در نقشه‌ها و یا مشخصات فنی خصوصی ذکر شده باشد. بتن مصرف شده در شمع باید حدود ۱۵۰ میلی‌متر روانی^۱ داشته باشد. میزان روانی بتن شمع باید در نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی مشخص می‌گردد، لذا می‌توان با تصویب دستگاه نظارت از مواد روان کننده در بتن استفاده نمود. در مواردی که قطر شمع زیاد بوده و مدت بتن‌ریزی به علت زیاد بودن حجم بتن طولانی می‌شود، می‌توان در صورت تصویب دستگاه نظارت از مواد کندگیرکننده استفاده نمود، به شرطی که این مواد، مقاومت بتن را کاهش ندهند.

زمان خاتمه حفاری تا شروع بتن‌ریزی نباید بیش از ۶ ساعت به طول انجامد. در صورتی که این مدت به دلایل غیرقابل پیشگیری بیش‌تر شد، رسوب مواد معلق و یا ریزش جداره ممکن است موادی را در ته چاه جمع نماید که باید قبل از شروع بتن‌ریزی با وسایل مناسب تمیز گردد.

بتن‌ریزی باید تا تراز بالاتر از سطح نهایی بتن شمع ادامه یابد. ارتفاع بتن‌ریزی اضافی، در صورتی که بتن‌ریزی در زیر سطح آب انجام شود، معادل ۱/۵ متر تا ۳ متر و در صورتی که بتن‌ریزی در محل خشک انجام شود، معادل ۷/۵ سانتی‌متر تا ۳۰ سانتی‌متر خواهد بود. ارتفاع بتن‌ریزی اضافی باید در نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی تعیین و مشخص گردد. در صورتی که در نقشه‌های مصوب، ارتفاع اضافی بتن‌ریزی مشخص نشده باشد، با توجه به موقعیت محل، توسط دستگاه نظارت تعیین و ابلاغ گردد.

پس از اتمام عملیات بتن‌ریزی شمع، روی شمع‌ها باید برای مدت ۷ روز مرطوب نگهداری شود و سپس سر کلیه شمع‌ها تا اندازه مورد لزوم بریده شده و برای بتن‌ریزی سازه فوقانی آماده گردد.

ج- لوله‌های فولادی (غلاف‌ها)

لوله‌های فولادی باید دارای مقاومت لازم در مقابل ضربه باشند، به‌طوری که قبل از پرشدن با بتن، در اثر فشار خاک و یا کوبیدن شمع‌های مجاور، تغییری در شکل آنها پدید نیاید. این لوله‌ها باید آب‌بند و بدون درز باشند تا آن که قبل از بتن‌ریزی، آب به داخل شمع‌ها نفوذ ننماید. لوله‌ها ممکن است استوانه‌ای شکل و یا دارای مقطع دایره کوچک در نوک و مقطع دایره بزرگ‌تر در انتها^۲ باشند. لوله‌هایی که بدون میله وسط^۳ کوبیده می‌شوند و ضربه، مستقیماً به لوله وارد می‌شود، باید به نوک‌های مقاوم فولادی برای کوبیدن مجهز باشند. تمام اتصالات لوله فولادی باید به صورت یکسره جوش شود. پس از کوبیدن لوله‌ها و قبل از بتن‌ریزی، لوله فولادی باید مورد بررسی قرار گیرد تا اطمینان حاصل شود که شکسته نشده و یا قطر آن در هیچ نقطه از طول کاسته نشده باشد. لوله‌هایی که از طرف دستگاه نظارت رد شوند ولی امکان بیرون آوردن آن میسر نباشد باید با بتن پر شده و سپس لوله‌های جدیدی در مجاورت آن کوبیده شود. داخل لوله‌های فولادی باید قبل از آرماتورگذاری و بتن‌ریزی از مواد خاکی تمیز گردند.

1- Slump
2- Tapered
3- Mandrel

۷-۳-۳- شمع‌های فولادی

شمع‌های فولادی معمولاً دارای مقاطع لوله‌ای و H شکل هستند. از نیمرخ‌های قوطی، I و بال پهن نیز می‌توان برای شمع کوبی استفاده کرد، ولی شمع‌های فولادی با مقطع H، به دلیل مساوی بودن ضخامت بال و جان ترجیح داده می‌شوند. باید دقت زیادی شود که شمع فلزی، مخصوصاً مقطع H شکل، هنگام عبور از طبقه‌های سخت یا نسبتاً سخت، کج یا منحنی نگردد.

شمع‌های لوله‌ای، لوله‌های فولادی بدون درز یا جوش می‌باشند که آنها را می‌توان با دو حالت انتهایی بسته و یا انتهایی باز در زمین کوبید. شمع‌های لوله‌ای ته‌بسته، معمولاً پس از کوبیده شدن با بتن پر می‌شوند. شمع‌های ته‌باز را نیز می‌توان با بتن پر کرد، البته این کار ضرورت ندارد زیرا در عمقی در زیر سرشمع لایه متراکمی از خاک وجود دارد. برای نفوذ در خاک‌های سخت یا خاک‌های حاوی قلوه سنگ (سنگ نرم) در نوک شمع فولادی، از کفشک^۱ استفاده می‌شود که به شکل تخت و مخروطی می‌باشند. در زمین‌های باتلاقی، خاک‌های نباتی، مناطق ساحلی و سایر خاک‌های خورنده، املاح خاک و آب (خاک‌های با PH کمتر از ۷) شمع‌های فولادی را تحت حمله‌های شیمیایی قرار داده و باعث خوردگی شمع می‌شوند. برای جبران کاهش ضخامت به دلیل خوردگی، علاوه بر ضخامت محاسباتی، مقداری ضخامت اضافی در نظر می‌گیرند. همچنین می‌توان با استفاده از رنگ کاری و یا یک لایه پوشش اپوکسی و گاهی اوقات پوشش بتنی که در کارخانه روی شمع‌ها زده می‌شود، از خوردگی جلوگیری کرد. استفاده از حفاظت کاتدیک روش مناسب و مطمئنی برای جلوگیری از خوردگی شمع‌های فولادی است که در حال حاضر کاربرد وسیعی دارد.

نوع فولاد شمع‌های فلزی باید با مشخصات ASTM A36 یا مورد مشابه که مورد تایید دستگاه نظارت باشد، مطابقت نماید. از مزایای شمع‌های فولادی، سهولت حمل و نقل و افزایش طول با وصله، قدرت تحمل تنش‌های بالا در حین کوبیدن، قدرت نفوذ در زمین‌های سخت (تا سنگ نرم) و ظرفیت باربری بالا می‌باشد. البته این گونه شمع‌ها دارای قیمت و هزینه بالایی هستند و از معایب دیگر آنها سروصدای زیاد در حین کوبیدن و خوردگی و کماتش (مخصوصاً H شکل) در کوبیدن به لایه‌های سخت می‌باشد.

۷-۳-۳-۱- اتصال‌های شمع‌های فولادی

در صورتی که طول مورد نیاز برای شمع فولادی بزرگ‌تر از طول یک شاخه شود، شمع‌ها به وسیله جوش یا پیچ و پرچ به یکدیگر وصله می‌شوند. این وصله‌ها براساس آیین‌نامه مربوط برای حالت فشار، کشش، خمش و برش طراحی می‌شوند. شمع‌های فولادی از قطعه‌های با مقطع مساوی تشکیل یافته و اتصال این قطعه‌ها می‌تواند قبل از کوبیدن شمع و یا در حین کار انجام گیرد. قطعه‌هایی که به هم جوش می‌شوند باید تا پایان عمل جوشکاری به وسیله پیچ، گیره و یا خال جوش به یکدیگر مهار شوند. جوش‌ها باید در بررسی عینی، سالم، بدون ترک و به هم پیوسته باشند. همچنین جوش‌ها باید طبق نقشه و مشخصات بوده و در داخل آنها فضای خالی وجود نداشته باشد.

۷-۳-۴- شمع‌های چوبی

شمع‌های چوبی از تنه درخت‌های صاف و بلند (بدون درز و ترک) که شاخه‌های آنها و سطح آن پس از کندن پوست به دقت تراشیده شده و معمولاً با مواد محافظ عمل آمده، ساخته می‌شوند. شمع‌های چوبی در نقاطی که چوب مناسب، فراوان و ارزان باشد و

1- Driving point or slloe

در سازه‌ها موقتی و یا سازه‌های دائمی که شمع کاملاً در زیر تراز آب زیرزمینی قرار گیرد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که شمع چوبی، زیر سطح آب، در حالت دائمی و یا در محیط کاملاً اشباع قرار گیرد، دوام آن بسیار طولانی خواهد بود، اما چنانچه در معرض خشک و تر شدن متوالی قرار گیرد، عمر مفید آن کوتاه خواهد بود (چند ماه)، مگر آن که با مواد محافظ (روغن کروئوزوت^۱) عمل آورده شود.

از مزایای شمع چوبی، قیمت نسبتاً ارزان آنها، سهولت در حمل و نقل و مقاومت در مقابل فساد (شمع‌های دایما غوطه‌ور) می‌باشد و معایب آنها، صدمه دیدن در شرایط کوبیدن سخت، ظرفیت باربری کم، فساد در بالای تراز آب و کاهش ظرفیت باربری بعد از وصله می‌باشد.

کلیه مشخصات شمع‌های چوبی باید با مشخصات ASTM D25 مطابقت داشته باشد، مگر ابعاد آنها که معمولاً به شرح جدول (۲-۷) می‌باشد.

جدول ۲-۷- مشخصات هندسی شمع‌های چوبی

طول (متر)	قطر کلی شمع (سانتی‌متر)	قطر قسمت انتهایی شمع (سانتی‌متر)
تا ۱۲	۳۰ تا ۵۰	۲۰
۱۲ تا ۱۶/۵	۳۰ تا ۵۰	۱۸
۱۷ تا ۲۲/۵	۳۳ تا ۵۰	۱۸
۲۳ تا ۲۷/۵	۳۳ تا ۵۰	۱۵
بیش‌تر از ۲۷/۵	۳۳ تا ۵۰	۱۳

قطر قسمت انتهایی شمع، در فاصله یک متری از انتهای شمع، اندازه‌گیری می‌شود. عرض ترک، در شمع‌های چوبی خام و شمع‌های چوبی اصلاح شده نباید قبل از کوبیدن به ترتیب از ۱ سانتی‌متر و ۱/۲۵ سانتی‌متر تجاوز نماید. کجی چوب در یک قطعه ۲ متری از شمع چوبی، حداکثر معادل یک درصد طول آن می‌باشد.

۷-۳-۴-۱- اصلاح، تقویت و وصله شمع‌های چوبی

رطوبت طبیعی شمع‌های چوبی خام که به کارگاه وارد می‌شوند نباید کمتر از ۱۸ درصد در عمق ۵ سانتی‌متری از سطوح شمع باشد. شمع‌های چوبی باید پس از اصلاح، حداکثر ظرف مدت ۶ ماه کوبیده شوند. رطوبت طبیعی شمع‌های چوبی اصلاح شده نیز نباید کمتر از ۱۸ درصد، در عمق ۵ سانتی‌متری، قبل از عملیات حفاظتی باشد. شمع‌ها باید به‌وسیله نوار فلزی در فواصل حداقل ۳ متر در طول شمع تقویت شوند و علاوه بر آن، شمع‌های چوبی باید به‌وسیله سه نوار فلزی (تسمه فولادی) دیگر به ترتیب در فواصل ۷/۵، و ۳۰ سانتی‌متری سرشمع و دو نوار فلزی که در فاصله ۶۰ سانتی‌متری انتهای شمع قرار می‌گیرند، تقویت شوند. نوارهای فلزی از فولاد سخت و حداقل به عرض ۳/۲ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۸ میلی‌متر می‌باشند و به‌وسیله گیره‌های مخصوص فولادی به طول ۶ سانتی‌متر و ضخامت ۰/۹ میلی‌متر روی شمع، مهار می‌گردند. مقاومت کششی گیره‌ها باید حداقل معادل ۷۵ درصد مقاومت کششی نوارها باشد. نوارهای فلزی یک بار به دور شمع پیچیده شده و به‌وسیله دستگاه‌های مکانیکی یا دستی تا حد امکان کشیده یا مهار می‌گردند.

کلیه بریدگی‌ها و سوراخ‌های شمع‌های چوبی، باید به‌وسیله دو بار اضافه کردن مواد مخصوص از قبیل کرن‌دنت، گودرون، قیر مذاب و مواد مشابه که مورد تایید دستگاه نظارت باشد حفاظت و اصلاح شوند. از وصله شمع‌های چوبی باید اجتناب کرد به خصوص وقتی که شمع نیروی کششی یا جانبی حمل می‌کند. در صورتی که وصله شمع چوبی اجتناب‌ناپذیر باشد، این کار با تسمه‌های فولادی و غلاف‌های فولادی که دارای حداقل طول ۵ برابر قطر شمع باشند، انجام می‌شود. جزییات طرح اتصال باید طبق نقشه و یا طبق نظر دستگاه نظارت انجام گیرد و محل اتصال نباید در وسط طول شمع واقع شود. باید توجه داشت در محل وصله، انتهای شمع به‌صورت گونیا بریده شود تا تماس حاصل بین دو قطعه تامین شود.

از نگهداری شمع چوبی در محل‌هایی که در معرض عوامل فساد چوب است اکیدا باید خودداری شود و محل انبار کردن و نگهداری شمع‌ها باید مورد تایید دستگاه نظارت قرار گیرد.

۷-۳-۴-۲- کوبیدن شمع چوبی و حفاظت سرشمع‌ها

برای کوبیدن شمع چوبی از چکش‌هایی به وزن ۰/۵ تا یک برابر وزن شمع استفاده می‌شود. ارتفاع سقوط در موارد معمولی، حداکثر معادل ۲ متر و در موارد خاص حداکثر ۲/۵ متر خواهد بود. شمع‌های چوبی نمی‌توانند تنش‌های حاصل از کوبیده شدن در لایه‌های سخت را تحمل کنند، برای این منظور از کلاهک‌های فولادی در نوک شمع استفاده می‌شود. ابعاد و اندازه این کلاهک‌ها باید طبق نقشه و با تصویب دستگاه نظارت باشد.

در خاک‌های سخت و دارای قلوه سنگ، احتمال شکستن شمع وجود دارد، در صورت افزایش ناگهانی نفوذ، بدون احتمال چینه خاکی نرم، باید انتظار داشت که بدنه شمع شکسته شده باشد. پس از آن که شمع تا عمق لازم کوبیده شد، سر خرد شده آن به‌صورت گونیا برش داده شده و محل‌های آسیب دیده و انتهای تازه برش داده شده به یکی از روش‌های زیر اصلاح می‌گردد:

- یک لایه مواد حفاظتی چوب به سرشمع مالیده شده و سپس کلاهک حفاظتی از قشرهای قیروگونی به‌صورت سه لایه قشر قیر و دو لایه گونی به آن اضافه می‌گردد. گونی باید از هر طرف سرشمع حدود ۱۵ سانتی‌متر بلندتر بوده و بر روی شمع تا شود و سپس به‌وسیله سیم شماره ۱۰ گالوانیزه که دو بار بر روی آن پیچیده شده به شمع متصل گردد. قشر نهایی قیر بعد از عمل مهار کردن گونی بر روی آن کشیده می‌شود (روی سیم نیز پوشش قیر قرار می‌گیرد).
 - محل بریده شده سه بار با مخلوط گرم کروئوزوت معادل ۶۰ درصد و قیر معادل ۴۰ درصد پوشیده می‌شود و یا سه بار با کروئوزوت گرم برس زده می‌شود و به‌وسیله قیر پوشیده می‌گردد و سپس یک ورق گالوانیزه روی این پوشش قرار داده و اطراف آن را خم کرده تا آب به سرشمع برخورد ننماید.
- عملیات حفاظتی برای شمع‌هایی که در بتن قرار می‌گیرند، ضروری نمی‌باشد.

۷-۳-۵- شمع‌های مرکب (مختلط)

در این نوع شمع‌ها، قسمت‌های فوقانی و تحتانی شمع از دو مصالح ساخته می‌شوند. شمع‌های مختلط فولاد و بتن دارای قسمت تحتانی فولاد و قسمت فوقانی بتن درجا می‌باشند، این نوع شمع وقتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که طول شمع لازم برای تامین ظرفیت باربری از ظرفیت شمع بتنی درجای ساده تجاوز کند.

شمع‌های مختلط چوب و بتن دارای قسمت تحتانی چوبی (که به‌طور دایم در زیر تراز آب زیرزمینی قرار دارد) و قسمت فوقانی بتنی هستند. در هر صورت برای این‌گونه شمع‌ها، وصله در محل اتصال دو مصالح مشکل بوده و به همین علت شمع‌های مختلط دارای کاربردی وسیعی نمی‌باشند.

۷-۳-۶- بارگذاری شمع‌ها و شمع‌های آزمایشی

شمع‌های آزمایشی باید در نقاطی که در نقشه‌ها توسط دستگاه نظارت تعیین شده، کوبیده شود. این‌گونه شمع‌ها باید به همان ترتیب شمع‌های دایمی کوبیده شوند و یک پرونده جامعی در این خصوص طبق نظر دستگاه نظارت تهیه شود. پیمانکار باید قبل از شروع عملیات شمع‌کوبی آزمایشی، نقشه‌های جزییات، شرح و محاسبات و نحوه ترتیب آزمایش بارگذاری را جهت تصویب به دستگاه نظارت ارائه دهد.

بار باید تدریجی، به‌وسیله جک‌های هیدرولیکی مجهز به فشارسنج به شمع آزمایشی وارد شود. میزان نشست شمع آزمایشی در زیر بار به‌وسیله دستگاه میکرومتر اندازه‌گیری می‌شود. آزمایش بارگذاری باید حداقل سه هفته بعد یا طبق دستور دستگاه نظارت بعد از کوبیدن کامل شمع آزمایشی و استقرار سربار مناسب شمع‌های مهار، انجام شود. آزمایش مورد نظر باید در مراحل بارگذاری متوالی هریک به مدت ۱۵ دقیقه و با افزایش ۵ تن بار یا طبق نظر دستگاه نظارت انجام شود و میزان نشست‌ها بعد از ۲، ۴، ۸ و ۱۵ دقیقه، قرائت گردد. پس از رسیدن به حداکثر بار آزمایشی تعیین شده و یا گسیختگی زمین؛ یعنی زمانی که بار فقط به‌وسیله پمپ زدن یکنواخت و ثابت قابل نگهداری می‌باشد، پمپ زنی باید متوقف شود. مقدار نشست‌های کلی، بار و سایر اطلاعات مربوط باید بلافاصله بعد از قطع پمپ‌زنی و مجدداً در فواصل زمانی یاد شده ثبت گردد. سپس کلیه بارها به‌طور تدریجی برداشته شود و نشست‌های کلی باید بلافاصله پس از برداشتن کلیه بارها در فواصل ۵/۰، ۱، ۲، ۴، ۸، ۱۵ و ۳۰ دقیقه و یا بعد از آن در هر ۳۰ دقیقه ثبت شود و جهش نهایی نشست، ۲۴ ساعت بعد از برداشت بار نیز باید ثبت شود. بارگذاری آزمایشی باید فقط در شرایطی که هوا آرام است انجام گیرد. تفسیر نتایج آزمایش و تعیین ضوابط شمع‌کوبی توسط دستگاه نظارت تعیین خواهد شد.

فصل ۸

پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی

۸-۱- کلیات

در این فصل، مشخصات و ملاحظه‌های فنی طراحی و اجرایی پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی، به جز پوشش‌های تورسنگی و پوشش‌ها و روکش‌های ساخته شده از شبکه‌های پلیمری، ارائه شده است. موارد مربوط به پوشش‌های تورسنگی در فصل ۹ و پوشش‌های با مصنوعات پلیمری در فصل ۱۰ به‌طور کامل ارائه شده است.

پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی ارائه شده در این فصل به‌صورت شیب‌دار در کناره‌های خاکی و سواحل رودخانه، طراحی و اجرا می‌شوند. هدف از اجرای این‌گونه سازه‌ها حفاظت از شیب پایدار کناره‌ها و سواحل رودخانه و همچنین جلوگیری از فرسایش کناره‌ها و سواحل، ناشی از جریان آب و امواج و نیز در قسمت‌های ورودی و خروجی سازه‌های رودخانه‌ای می‌باشد. به‌طور کلی پوشش‌های حفاظتی شامل لایه محافظ و زیرلایه می‌باشند و عملکرد آنها به طبیعت خاک زیرین و نحوه ساخت و اجرای آن بستگی دارد. خرابی پوشش‌ها گاهی به‌علت خرابی لایه محافظ، در اثر بارهای شدید، تخریب سطحی و اکثر اوقات به‌علت خرابی زیرلایه، تحت تاثیر نیروهای هیدرولیکی و در نظر نگرفتن این نیروها هنگام طراحی است.

۸-۲- لایه محافظ و زیرلایه

لایه محافظ وظیفه حفاظت مستقیم در مقابل نیروهای فرسایشی جریان، امواج یا تاثیرهای خارجی دیگر را بر عهده دارد و همچنین به دلیل اعمال تنش عمودی مثبت بر خاک زیرین، به پایداری سازه کمک می‌نماید. نفوذپذیری و انعطاف‌پذیری، دو عامل مهم تاثیرگذار بر عملکرد لایه محافظ می‌باشند. نفوذپذیری لایه محافظ تعیین‌کننده میزان تاثیری است که حرکت آب و فشار ناشی از جریان یا امواج بر زیرلایه و خاک زیرین می‌گذارد و خاصیت انعطاف‌پذیری باعث می‌شود لایه محافظ به‌علت نشست، حرکت یا از بین رفتن لایه زیرین دچار تغییرشکل کم‌تری شود.

زیرلایه شامل تمام مصالحی است که بین لایه محافظ و خاک زیرین قرار می‌گیرد و می‌تواند از مصالح دانه‌ای، ژئوتکستایل و یا ترکیبی از آنها باشد. عملکردهای زیرلایه به شرح زیر است:

- جلوگیری از جابجایی خاک به‌علت ورود و خروج آب به خاک زیرین (به‌عنوان فیلتر) و همچنین مهیا نمودن یک ناحیه زهکش به موازات شیب پوشش، تا به زهکشی زیرلایه و خاک زیرین کمک کند.
- محافظت در مقابل فرسایش ناشی از حرکت جریان روی سطح (به موازات سطح پوشش)
- ایجاد یک سطح خاکی صاف جهت اجرای پی
- جدا نمودن لایه محافظ و دیگر قسمت‌های زیرلایه از خاک زیرین
- ایجاد یک حفاظت ثانویه در صورت از بین رفتن لایه محافظ
- مستهلک کردن انرژی جریان داخلی (در خود زیرلایه) که به‌وسیله موج یا جریان تولید شده است. (این عملکرد معمولاً فقط در پروژه‌های حفاظت سواحل که در معرض خطرهای امواج یا جریان شدید قرار دارند در نظر گرفته می‌شود).

۸-۲-۱- انواع پوشش‌ها و لایه‌های محافظ

انواع پوشش‌های حفاظتی به شرح زیر می‌باشند:

- سنگی: شامل سنگ‌چین^۱، سنگ‌فرش، مصالح بنایی، شیاری یا ترانشه‌ای، سنگ‌ریسه، پنجه سنگی طولی و تورسنگ
 - بتنی: شامل بلوک‌های بتنی مسلح و غیرمسلح پیش‌ساخته، بلوک‌های بسته شده با کابل یا مقید شده با ژئوتکستایل و دال‌های بتنی و سازه‌های یکپارچه، بلوک‌ها و کیسه‌های خاک و سیمان
 - آسفالت: شامل آسفالت متراکم سنگی و ژئوتکستایلی
 - مصنوعات و شبکه‌های پلیمری: شامل کامپوزیت‌های پارچه‌ای، توری و حصیری و نگهدارنده‌های سه بعدی
 - طبیعی یا گیاهی: شامل نی‌ها، درخت‌ها، چمن، مصالح چوبی و الوار و بوته
 - سایر مصالح: شامل شبکه‌های توری محدودکننده، روکش‌های چوبی، تایرها و لاستیک‌های چرخ و نخاله‌های فلزی
- در طراحی پوشش‌های حفاظتی باید موارد زیر در نظر گرفته شوند:
- شناسایی شرایط طراحی شامل بارهای طراحی و عملکرد مورد انتظار از حفاظت
 - انتخاب نوع پوشش
 - ارزیابی پایداری ژئوتکنیکی ساحل و کنترل ظرفیت باربری خاک زیرین
 - طراحی لایه محافظ
 - طراحی زیرلایه و جزییات

در هنگام طراحی باید ملاحظه‌های فنی و اقتصادی و به‌خصوص عملکرد خاص حفاظت در نظر گرفته شود. به‌طور مثال در جایی که پوشش، نقش حفاظت در برابر امواج را داشته، در محدوده ارتفاعی از کناره که تحت تاثیر حرکت امواج قرار دارد، ضخامت لایه محافظ باید بیش‌تر در نظر گرفته شود.

ظرفیت باربری زیرلایه (خاک زیرین) باید مورد توجه قرار گیرد. در اکثر مواقع زیرلایه‌ها ظرفیت تحمل وزن پوشش با توزیع یکنواخت را دارا هستند و فقط خاک‌های سیلتی ریزدانه و خاک‌های آلی (به‌خصوص خاک‌های آلی گیاهی)، ظرفیت باربری پایینی دارند و ممکن است تحت وزن لایه محافظ، دچار نشست‌های غیرقابل قبول شوند. تحکیم خاک زیرین نیز می‌تواند منجر به نشست‌های نامساوی و ایجاد تخلخل موضعی در لایه محافظ گردد (مگر آن‌که لایه محافظ از انعطاف‌پذیری قابل قبولی برخوردار باشد).

به‌طور کلی نمی‌توان مدل تحلیلی خاصی برای تعیین نوع و ابعاد پوشش‌های حفاظتی که دربرگیرنده تمامی مقاصد مختلف طراحی باشد، ارائه کرد و به‌طور معمول طراحی‌ها براساس نتایج آزمایشگاهی یا تجربیات اجرایی و قضاوت‌های مهندسی صورت می‌گیرد.

۸-۲-۲- زیرلایه‌ها

بسیاری از خرابی پوشش‌های حفاظتی به جهت عدم شناخت از عملکرد پوشش و در نتیجه عملکرد نادرست زیرلایه بوده و خرابی مستقیم لایه محافظ درصد کمی از خرابی‌ها را شامل می‌شود. اگرچه امروزه استفاده از ژئوتکستایل‌ها به‌عنوان فیلتر و کنترل‌کننده فرسایش، به‌صورت گسترده رواج یافته است، اما استفاده از مصالح دانه‌ای به‌منظور تسطیح، استهلاک انرژی و مقاصد ثانویه حفاظتی متداول‌تر است.

از مزایای استفاده از ژئوتکستایل، می‌توان به مقاومت کششی بالا و ضخامت محدود آنها اشاره نمود. البته لبه‌ها باید به دقت محافظت شوند (در صورت آسیب دیدن به سختی تعمیر می‌شوند) و همچنین طراحی و نصب و اجرا باید با دقت انجام گردد. فیلترهای ساخته شده از مصالح دانه‌ای، قابلیت تغییر شکل داشته و در صورت آسیب دیدن نسبتاً راحت تعمیر می‌شوند و معمولاً بادوام هستند. البته برای تسطیح و رسیدن به ضخامت مورد نظر، کنترل دقیق لازم است و تراکم در سمت شیب مشکل است. همچنین کنترل اجرا و ساخت در زیر سطح آب، به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

۸-۲-۲-۱- طراحی فیلتر

وظیفه فیلتر جلوگیری از جابجا شدن مصالح پایه (عموماً خاک زیرین) می‌باشد. شرایط حرکت آب درون فیلتر به‌گونه‌ای ایجاد می‌شود تا افت بار غیرقابل قبولی رخ ندهد.

مشخصات و ضوابط فنی فیلترهای دانه‌ای و مصنوعی (ژئوتکستایل)، در فصل یازدهم این نشریه، ارائه گردیده است. در این قسمت ملاحظه‌های خاص طراحی و اجرایی عملیات زهکشی و فیلترریزی برای پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی ارائه شده است و رعایت این موارد علاوه بر ضوابط فنی فصل یازدهم این نشریه الزامی می‌باشد.

۸-۲-۲-۲- زهکشی

زهکشی صفحه‌ای در زیر پوشش، به‌صورت سنتی به‌وسیله مصالح دانه‌ای انجام می‌شود. در محل‌هایی که حرکت آب به‌علت امواج روی می‌دهد، می‌توان با استفاده از یک ترکیب ژئوتکستایل- زهکش، عمل زهکشی را انجام داد. ملاحظه‌ها و ضوابط طراحی و اجرایی در فصل دوازدهم (زهکش زیر پوشش‌های حفاظتی) ارائه گردیده است.

۸-۲-۳- ملاحظه‌های خاص طراحی و اجرایی

ارتفاع مجاز گودبرداری در ساحل و نحوه آماده‌سازی ساختار سطح پوشش، به شکل و نوع سازه که قرار است اجرا شود، بستگی دارد. هنگامی که از ژئوتکستایل به‌عنوان فیلتر یا حفاظت در برابر فرسایش استفاده می‌شود، داشتن ساختار و سطح هموار و تماس کافی بین ژئوتکستایل و خاک زیرین ضروری است.

جهت آماده‌سازی شیب‌های سواحل، میزان انحراف خط شیب‌زنی از حد تعیین شده نباید بیش‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر باشد. در صورت ایجاد حفره‌های موضعی عمیق‌تر از این حد، می‌توان به هنگام فیلترریزی یا کارگذاری مصالح پوشش حفاظتی، آن را جبران نمود.

اگر جریان در زیرلایه به موازات شیب (نه عمود بر آن) باشد، به‌منظور جلوگیری از فرسایش خاک زیرین باید سرعت جریان پایین‌تر از سرعت بحرانی باشد و یا این که خاک زیرین به‌وسیله یک زیرلایه محافظ در برابر فرسایش، محافظت شود که معمولاً این

زیرلایه محافظ، ژئوتکستایل است. همچنین در محل‌هایی که خاک زیرین، ظرفیت پایداری داشته و یا سنگ‌چین به‌صورت نامناسب اجرا شده است، استفاده از ژئوتکستایل به‌عنوان یک لایه جداکننده برای جلوگیری از نفوذ مصالح پوشش به درون خاک زیرین، الزامی است.

در پوشش‌های شیب‌دار، در طولانی مدت به‌علت گرادیان‌های هیدرولیکی ناگهانی در خاک زیرین (ناشی از امواج یا پایین افتادن سطح آب) جابجایی ذره‌های خاک زیرین به سمت پایین‌دست رخ می‌دهد. خاک‌های مستعد جابجایی به پایین شیب، خاک‌های با چسبندگی پایین و ریزدانه مانند سیلت، ماسه سیلتی و ماسه ریزدانه هستند. این جابجایی‌ها در نهایت منجر به این می‌گردد که پوشش، تکیه‌گاه خود را از دست داده و دچار خرابی شود. خاک‌های دارای مقادیر ریزدانه کوچک‌تر از ۰/۰۶ میلی‌متر و دارای شرایط زیر، به‌عنوان خاک‌های مستعد جابجایی به سمت پایین شیب، شناسایی شده‌اند:

- ضریب یکنواختی $U < 15$
- مقدار ۵۰ درصد یا بیش‌تر از دانه‌های خاک در محدوده ۰/۱ تا ۰/۰۲ میلی‌متر قرار داشته باشند.
- نشانه خمیری (PI) کم‌تر از ۰/۱۵ داشته باشد.
- جهت جلوگیری از این پدیده می‌توان از روش‌های زیر استفاده کرد:
- استفاده از یک زیرلایه با حداقل ضخامت ۱۰۰ میلی‌متر، بین ژئوتکستایل و لایه محافظ جهت کاهش گرادیان هیدرولیکی
- پایدار کردن سطح خاک با استفاده از یک لایه فیبر زیر^۱ با حداقل ضخامت ۵ میلی‌متر در زیر ژئوتکستایل، تا سطحی یکپارچه به‌وجود آید و سطح خاک را مهار کند.
- استفاده از ژئوتکستایل‌های با مدول انبساطی پایین در زیرلایه

الف- موارد مربوط به استفاده از مصالح دانه‌ای

- در صورت استفاده از مصالح دانه‌ای به‌عنوان زیرلایه، باید موارد زیر را مد نظر قرار داد:
- مصالح دانه‌ای را نباید بر روی لایه‌هایی با ضخامت کم‌تر از ۷۵ میلی‌متر قرار داد. حداقل ضخامت هر لایه مصالح دانه‌ای معمولاً ۲ تا ۳ برابر حداکثر اندازه ذره‌ها در نظر گرفته شود. همچنین در صورت امکان برای حداقل کردن تحکیم پس از پایان ساخت، مصالح دانه‌ای را باید متراکم نمود در غیر این صورت، اثر تحکیم موضعی را باید در طراحی لحاظ نمود.
 - ضخامت هر لایه باید با مصالحی که روی آن قرار داده می‌شوند سازگار باشد. به‌عنوان مثال در جایی که تخته سنگ بر روی زیرلایه دانه‌ای قرارداده می‌شود، ضخامت زیرلایه نباید کم‌تر از نصف کوچک‌ترین ابعاد (D_{50}) مصالح رویی باشد.

ب- موارد مربوط به استفاده از ژئوتکستایل

در صورت استفاده از ژئوتکستایل به‌عنوان زیرلایه، باید اطمینان حاصل شود که ژئوتکستایل ویژگی‌های مناسب جهت مقاصد زیر را دارا است:

- عملکرد مهندسی (فیلتر) و دوام در هنگام ساخت و اجرا و دوام بلندمدت تحت شرایط بهره‌برداری

- نفوذپذیری یا قابلیت انتقال متناسب با مصالح زیر پی و نگهداری خاک، کنترل فرسایش و پایدارسازی
- ویژگی‌های مکانیکی، مقاومت کششی، مقاومت در برابر گسیختگی و مقاومت در برابر ویژگی‌های خاص محیطی مانند مواد شیمیایی و مدول انبساطی مناسب
- همچنین هنگام کاربرد ژئوتکستایل باید موارد زیر را مد نظر قرار داد:
- ژئوتکستایل‌ها باید براساس جهت غالب جریان یا امواج، قراردادده شوند.
- در قسمت‌های درز بین ژئوتکستایل‌ها، ورق‌ها باید به هم دوخته یا مقید شوند و بعد از قراردادن ژئوتکستایل‌ها در محل‌های مناسب، درزهای مقید شده را باید با استفاده از پین یا کیسه شن (بالاست) پایین نگه داشت.
- طراحی ژئوتکستایل‌ها باید به گونه‌ای باشد تا با بارهای زمان اجرا (به‌عنوان مثال اجرای پوشش‌های سنگ‌چین) سازگار باشد.

۸-۳- پوشش سنگ‌چین^۱

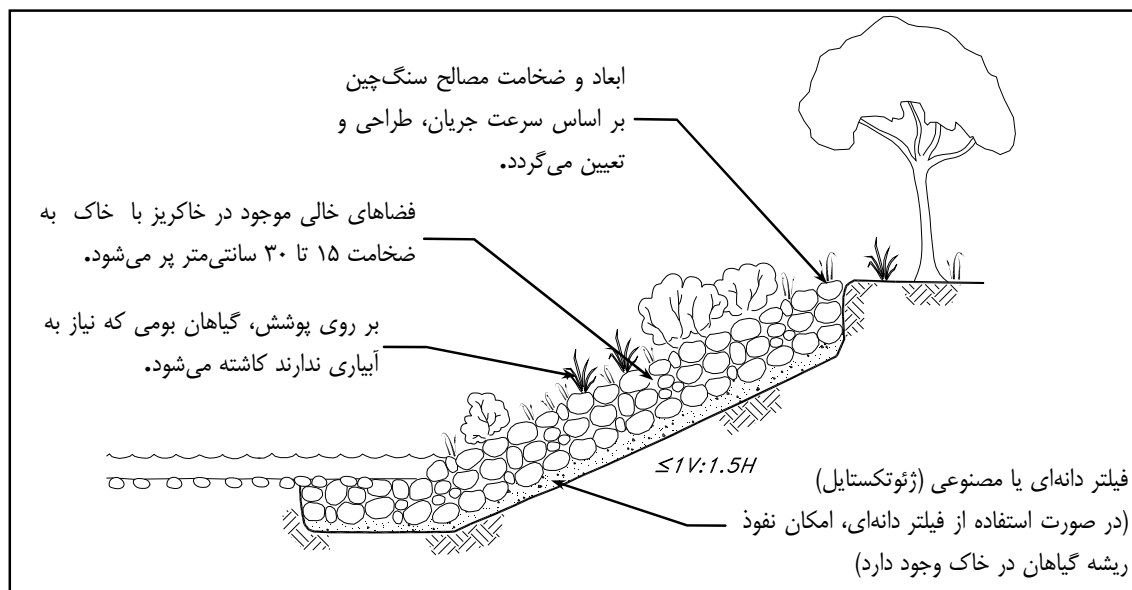
مزایای استفاده از پوشش‌های سنگ‌چین در کارهای مهندسی رودخانه عبارتند از سهولت نصب، انعطاف‌پذیری، امکان اجرا در زیر آب، دارا بودن زبری لازم جهت کاهش امواج و جریان‌ها و نیاز کم به نگهداری و تعمیر.

معمولا اجرای سنگ‌چین با استفاده از ماشین‌آلات صورت می‌گیرد ولی می‌تواند به‌صورت دستی هم انجام شود تا تراکم بهتری پیدا کند. روش اجرا معمولا با توجه به ابعاد و برحسب نوع کار مشخص می‌گردد. با در نظر گرفتن یک کنترل مناسب می‌توان این نوع پوشش را در زیر سطح آب هم اجرا کرد. در هنگام استفاده از ماشین‌آلات باید به این امر توجه نمود که پخش کردن باعث شکستگی، جداشدگی و افزایش زبری سطحی می‌شود.

از مزایای بسیار مهم پوشش سنگ‌چین، انعطاف‌پذیری آن است. به‌همین دلیل در صورت حرکت سنگ‌ها نسبت به هم و آسیب‌دیدگی تدریجی، برخلاف پوشش‌های حفاظتی دیگر (مانند پوشش‌های صلب و بلوک‌های بتنی)، نیاز به تعمیر سریع ندارند. همچنین می‌توان پس از قراردادن مصالح سنگی بر روی شیب به‌وسیله یک صفحه فلزی و با ضربه‌های پیوسته، سطحی هموار و مرتب ایجاد کرد. با این کار قطعه‌های بزرگ سنگ، شکسته شده و قطعه‌های کوچک‌تر حاصل شده، فضاهای خالی سطح پوششی را پر می‌نمایند. شکل (۸-۱) نمونه‌ای از پوشش سنگ‌چین را نشان می‌دهد.

۸-۳-۱- ابعاد و دانه‌بندی

در هنگام طراحی پوشش سنگ‌چین، باید دو جنبه اصلی در نظر گرفته شود. اولاً سنگ‌ها باید به اندازه کافی بزرگ باشند تا توسط جریان حرکت نکنند و ثانياً سرعت جریان که به داخل منافذ سنگ‌چین وارد می‌شود به اندازه‌ای کم باشد تا خاک زیرین و زیرلایه را حرکت ندهد و آبشستگی ایجاد نکند. همچنین باید توجه شود که زبری هیدرولیکی ساحل حفاظت شده نباید خیلی کم‌تر از زبری ساحل طبیعی باشد. در غیر این صورت آبشستگی در پایین‌دست قسمت حفاظت شده به‌علت افزایش سرعت جریان روی می‌دهد.



شکل ۸-۱- پوشش سنگچین (Riprap)

همان‌طور که ذکر گردید پایداری سنگچین تا حد زیادی به ابعاد مصالح وابسته است و بستگی کمتری به دانه‌بندی آن دارد. گسترده‌تر کردن دانه‌بندی باعث کاهش تخلخل گردیده و در نتیجه چگالی حجمی بالا رفته و نفوذپذیری کاهش می‌یابد و سطح ساحل هموار و صیقلی می‌گردد. یک سطح صاف و صیقلی، نیروهای کشش سطحی را کاهش می‌دهد و نیز نفوذپذیری پایین، نیروهای زیر فشار را به علت افزایش فشار آب حفره‌ای بیش‌تر می‌کند. برای دانه‌بندی سنگچین تعریف استاندارد ارائه نشده، اما ضوابطی جهت تعیین حداقل و حداکثر ابعاد دانه‌ها ارائه گردیده است:

$$\frac{W_{100}}{W_{50}} = 2 \sim 5 \quad \frac{W_{85}}{W_{60}} = 1.7 \sim 3.3$$

$$\frac{W_{15}}{W_{50}} = 0.1 \sim 0.4 \quad \frac{W_{85}}{W_{15}} = 4 \sim 12$$

در این رابطه W_x : درصد وزنی سنگ‌های کوچک‌تر از W می‌باشد.

مصالح پوشش سنگچین باید منحنی دانه‌بندی ملایم و خوبی داشته باشد، به گونه‌ای که مصالح کوچک‌تر از W_{15} بیش‌تر از حجم منافذ بین تخته سنگ‌های بزرگ نشوند. مصالح سنگی باید سخت، متراکم و بادوام طولانی و بدون ترک (به‌طور معمول سنگ لاشه) بوده و با توجه به مشخصات عمومی سنگ‌ها، از معادن مورد قبول و با تایید دستگاه نظارت تهیه شده باشند. همچنین باید در برابر هوازدهی مقاوم بوده و عاری از مصالح نامناسب نظیر مواد آلی باشند. مصالح شکسته شده و ترک‌دار و متخلخل و حاوی هر نوع ضعف فیزیکی، برای سنگچین نامناسب است.

به‌طور کلی ابعاد سنگ‌ها به ضخامت لایه‌های سنگچین بستگی دارد. به‌عنوان یک معیار کلی برای یک لایه سنگچینی به ضخامت فرضی T متر، می‌توان از روش زیر استفاده نمود:

- حداقل ۵۰ درصد قطعه‌های سنگ (درصد وزنی) باید دارای چنان ابعادی باشند که وزن هر قطعه به کیلوگرم، معادل $625 \times T^3$ بشود.

- مصالح سنگی باید دارای دانه‌بندی پیوسته بوده و از قطعه‌هایی به وزن $2500 \times T^3$ کیلوگرم تا قطعه‌هایی به وزن یک کیلوگرم تشکیل شده باشد.
- سنگ‌های شکسته کمتر از یک کیلوگرم نباید بیش از ۱۰ درصد (درصد وزنی) کل مصالح را تشکیل دهد.
- بزرگ‌ترین ابعاد سنگ نباید بیش‌تر از ۳ برابر کوچک‌ترین بعد همان سنگ باشد. همچنین حداکثر ابعاد بزرگ‌ترین قطعه در امتداد ضخامت لایه (T) نباید از سه‌چهارم ضخامت لایه بیش‌تر باشد.
- در صورتی که ابعاد مشخصی در طراحی سنگ‌چین تعیین نشده باشد، ابعاد سنگ حفاظتی سنگ‌چین می‌تواند براساس جدول (۸-۱) و با تایید دستگاه نظارت معین گردد.

جدول ۸-۱- ابعاد سنگ حفاظتی سنگ‌چین

ضخامت سنگ‌چین (cm)	حداکثر اندازه (cm)	حداقل اندازه (cm)
۱۵ سانتی‌متر با استفاده از شن درشت‌دانه	۱۵	۱
۳۰ سانتی‌متر با استفاده از سنگ شکسته	۳۰	۳
۳۰ سانتی‌متر سنگ شکسته با ۱۵ سانتی‌متر بستر شنی	۳۰	۳
۴۵ سانتی‌متر سنگ شکسته با ۱۵ سانتی‌متر بستر شنی	۴۵	۱۵

۸-۳-۲- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

- سنگ‌ها باید طوری چیده شوند که به‌خوبی به یکدیگر متصل و درگیر شده، به‌طوری که فضای خالی بین سنگ‌ها در کم‌ترین حد بوده و شکاف و فاصله مشخصی در راستای عمودی و افقی بین سنگ‌ها مشاهده نشود.
- سنگ‌های گوشه‌دار نسبت به سنگ‌های گردگوشه از قفل و بست و پایداری بالاتری برخوردار هستند و احتمال فرسایش توده قلوه سنگی در اثر جریان، بیش‌تر از توده‌های سنگی مکعبی است. در صورت الزام به استفاده از سنگ‌های گرد و قلوه‌ای باید از سنگ‌های با ابعاد بزرگ‌تر از ابعاد طراحی استفاده نمود و زاویه شیب دیواره ساحلی را نیز کاهش داد.
- زاویه استقرار سنگ‌چین تقریباً معادل زاویه اصطکاک داخلی است (معمولاً در محدوده ۳۲ تا ۳۸ درجه- مقادیر بزرگ‌تر مربوط به تخته سنگ‌های تیزگوشه است)
- ابعاد مصالح، بسیار تحت تاثیر وزن متوسط سنگ (W_{50}) بوده و تفاوت‌های منحنی دانه‌بندی و ضوابط مربوط، تاثیر محدودی دارند.
- روش‌های زیادی جهت تعیین بعد متوسط سنگ (D) ارائه شده است که این روش‌ها مقادیر متفاوتی را ارائه می‌دهند. بدین منظور با اندازه‌گیری مستقیم، الک کردن و تبدیل حجم W_{50} به یک مکعب یا کره معادل، اندازه‌های مناسب‌تری به‌دست آمده و رابطه زیر ارائه گردیده است:

$$D_{50} = \left(\frac{W_{50}}{\gamma_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (۸-۲)$$

که در این رابطه D_{50} عبارت است از میانگین کوچک‌ترین سایز، s وزن مخصوص سنگ و γ وزن مخصوص آب می‌باشد.

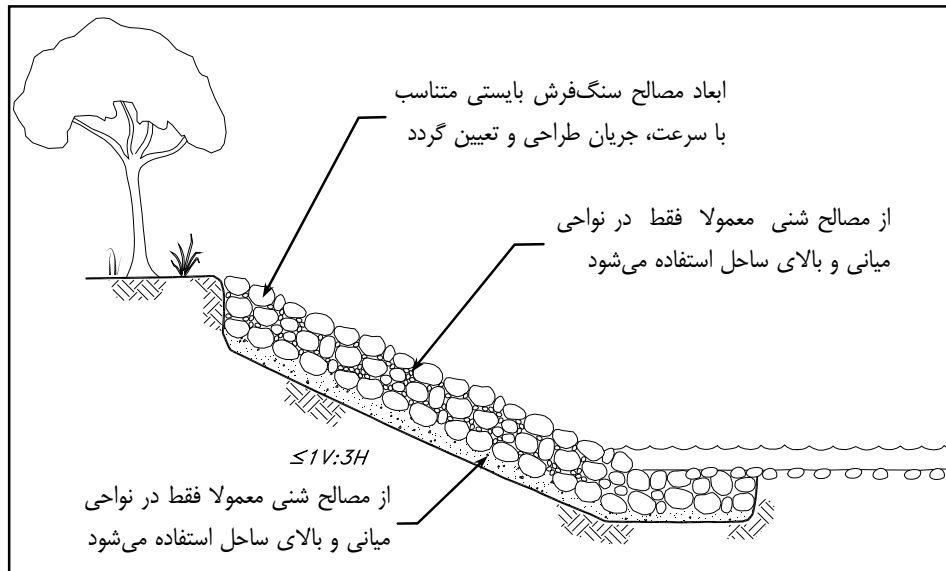
- به طور کلی ضخامت لایه محافظ سنگ چین نباید از $1.5D_{50}$ و یا قطر بزرگترین سنگ (D_{100})، هر کدام که کوچکتر باشد، کمتر باشد و به طور معمول $1/8$ تا 2 برابر D_{50} در نظر گرفته می شود. حداقل ضخامت پوشش به لحاظ مسایل اجرایی نباید کمتر از 300 میلی متر باشد. ضخامت پوشش های تعیین شده وقتی برای زیر آب به کار می روند، باید تا 50 درصد افزایش یابند. در صورتی که پوشش در معرض برخورد اشیای شناور، یخ یا امواج باشد، افزایش ضخامت در حدود 150 تا 300 میلی متر همراه با افزایش ابعاد سنگ ها، باید مد نظر قرار گیرد.
- به طور کلی سنگ های با ابعاد کوچکتر از 5 تا 10 درصد ابعاد تعیین شده نباید بیش از 20 درصد وزن سنگ چین را تشکیل دهند و سنگ های بزرگتر از ابعاد بزرگترین سنگ تعیین شده نباید مورد استفاده قرار بگیرند.
- در محل هایی که سنگ چین بر روی مصالح غیرچسبنده و در معرض زهکشی زیرقشری شدید اجرا می شود باید فیلتر پیش بینی گردد. به طور کلی توصیه می شود در سنگ چین های حفاظتی، لایه فیلتر به ضخامت حداقل 15 سانتی متر اجرا گردد. فیلترها می توانند از انواع فیلترهای دانه بندی شده یا ژئوتکستایلی باشند.
- سواحل با شیب تند را باید با روش های دستی پوشش نمود. به این ترتیب علاوه بر تضمین پایداری، از حجم سنگ چینی نیز کاسته می شود. روش دستی به ویژه برای مواقعی که پهنای آبراهه به علت وجود پل و دیگر تاسیسات تنگتر می شود، توصیه می گردد.
- پاره سنگ ها نباید از ارتفاع های زیاد به پایین ریخته شوند و توصیه می شود که ضخامت لایه و اندازه پاره سنگ ها مقداری افزایش یابد تا به این ترتیب نارسایی های ناشی از کاربرد این روش جبران گردد.
- برای ایجاد پیوستگی کامل در پوشش سنگ چین، از یک لایه مصالح خرده سنگ معدن و یا مخلوط شن و ماسه بر روی بستر آماده شده سطح شیب دار استفاده می شود. سنگ ها باید سطح نشیمن خوب داشته و لایه های سنگ چین نیز با هم موازی و عمود بر شبروانی قرار گیرد.
- پوشش های حفاظت سنگ چین باید در نقطه شروع (بالادست) به خوبی در دیواره قفل شود. همچنین در پایین دست محل انتهایی، پوشش حفاظتی به جایی ختم شود که تاثیرهای نامطلوب احتمالی آن مهم نباشد.
- جهت جلوگیری از آبستستگی موضعی در پنجه پوشش سنگ چین، باید به اندازه عمق آبستستگی و در صورت نامشخص بودن آن، حداقل یک تا $1/5$ متر از حفاظت سنگ چین، در زیر بستر رودخانه ادامه یابد. در صورتی که اجرای حفاظت پنجه در زیر بستر میسر نباشد باید با تایید دستگاه نظارت حداقل $1/5$ تا 2 برابر عمق آبستستگی، در عرض بستر ادامه یابد.
- شیب قرارگیری برای حفاظت های سنگ چین با روش دستی نباید تندتر از یک عمودی به $1/5$ افقی باشد.
- در شرایطی که سرعت جریان بالا می باشد و امواج یا مواد جامد و شناور به سواحل ضربه می زنند، توصیه می شود ضخامت پوشش حداقل به اندازه $1/5$ برابر اندازه بزرگترین سنگ بوده و یا در حدود 15 تا 40 سانتی متر افزایش یابد.
- ملاحظه های خاص طراحی فیلتر (دانه ای یا مصنوعی) که در قسمت های پیش ارائه گردید باید مد نظر قرار بگیرد. در صورت استفاده از فیلترهای دانه ای، وزن مصالح سنگی سنگ چین می تواند باعث پارگی الیاف شود. بدین منظور اجرای لایه شنی به ضخامت 100 تا 150 میلی متر در زیر سنگ چین با دانه بندی $D_{50} > 0.90$ m توصیه می شود.
- فیلتر مصنوعی (ژئوتکستایل) نباید در بستر رودخانه، فراتر از محدوده سنگ چین اجرا گردد و هم پوشانی کافی بین صفحه های متوالی فیلترها، لازم می باشد. این هم پوشانی حداقل بین $3/30$ متر تا $9/30$ متر برای پوشش های زیر آب در نظر گرفته می شود. جهت مهار لایه ها، فواصل بست ها (میخ و واشر) حدود $6/30$ تا $5/30$ متر توصیه می گردد.

- به‌طور معمول وزن سنگ‌های مورد استفاده در پوشش سنگ‌چین بین ۷ تا ۷۰ کیلوگرم می‌باشد.
- ریختن لایه سنگ‌چین و فیلتر زیر آن باید هم‌زمان صورت گیرد. لایه‌های فیلتر اجرا شده باید کنترل گردند. در هر ۱۰۰ متر طول باید از مصالح فیلتر نمونه‌برداری کرد. میزان تغییرهای مجاز ضخامت لایه فیلتر نسبت به طراحی آن، $\pm 10\%$ درصد می‌باشد.

۸-۴- سنگ‌فرش

پوشش‌های سنگی که با دست انجام می‌گردند (سنگ‌فرش)، هزینه‌های اجرایی بالاتر و نیروی کار بیش‌تری نسبت به پوشش سنگ‌چین احتیاج دارند. معمولاً در این نوع پوشش‌ها از یک لایه قیر^۱ که اغلب به‌صورت یک لایه مجزا اجرا می‌گردند، استفاده می‌شود تا سطح نسبتاً صافی به‌دست آید. لایه قیر معمولاً به‌صورت مستقیم بر روی خاک رس یا خاک سواحل با نفوذپذیری پایین یا بر روی یک زیرلایه مناسب قرار داده می‌شود.

پس از قراردادن سنگ‌ها در صورت وجود شکاف، می‌توان آنها را با شن و یا سنگ‌های گوه‌ای شکل پر کرد. این کار باعث می‌شود که نوعی قفل و بست ایجاد گردد. این کار برای خاک‌هایی که دچار تغییر شکل یا حرکت می‌شوند مناسب نیست. به‌طور کلی توصیه می‌گردد این‌گونه سنگ‌فرش‌ها (بدون ملات) برای شیب‌های کم‌تر از ۱ عمودی به ۱/۵ افقی به‌کار برده شود. این نوع پوشش‌ها چون با دست چیده می‌شوند، پایدارتر از پوشش سنگ‌چین می‌باشند. ابعاد مصالح مورد استفاده در پوشش‌های سنگ‌چین تنوع بیش‌تری داشته و در عین حال زاویه اصطکاک داخلی محدودی دارند. شکل (۸-۲) نمونه‌ای از پوشش سنگ‌فرش را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲- پوشش سنگ‌فرش با مصالح شنی

۸-۴-۱- سنگفرش‌های با مصالح دیگر

در سنگفرش‌ها به جای استفاده از سنگ‌های کوچک‌تر جهت قفل و بست می‌توان از ملات سیمان یا آسفالت استفاده نمود. سنگ‌های خردشده را می‌توان با قیر مخلوط و بدین منظور استفاده کرد. البته با این کار نفوذپذیری کاهش می‌یابد که این موضوع را باید در نظر داشت. همچنین این عمل باعث کاهش متوسط بعد سنگ (D_{50}) جهت تامین پایداری می‌شود (کاهش تا ۱۵ درصد در صورتی که ۵۰ درصد منافذ سطحی پر شود).

سنگفرش‌هایی که با ملات تهیه می‌شوند، جهت حفاظت ورودی و خروجی سازه‌ها استفاده می‌گردد. مصالح این نوع پوشش به راحتی در دسترس بوده و هزینه بالایی ندارند و در مناطق شهری از لحاظ ظاهری مناسب می‌باشند.

این نوع پوشش‌ها به علت صلب بودن، به یک پی محکم احتیاج دارند و در صورتی که شرایط خشک برای اجرا حاصل نشود، متداول است که از شمع‌های فولادی و یا ورق‌های فولادی به عنوان پنجه (در سمت رودخانه) استفاده شود. به این منظور می‌توان شمع یا ورق را به آرامی و بالاتر از سطح آب نرمال (در کم آبی) از بالا به درون خاک کوبید. چون این پوشش نفوذناپذیر است، باید تدابیر لازم جهت زهکشی با تعبیه زهکش‌های موضعی (سوراخ در محل‌های خاص) در نظر گرفته شود. پوشش‌های سنگی را می‌توان به روش‌های زیر ملات‌کاری کرد:

– مخلوط نسبتاً خشک ملات سیمان را با فرچه روی سطح سنگ‌ها پخش می‌نمایند تا تمامی شکاف‌ها پر شوند، سپس ملات‌ها، رها شده تا به صورت طبیعی سفت شوند.

– ملات سیمان با آب زیاد بر تمامی سطح تا جایی که تمام شکاف‌ها پر گردند، ریخته می‌شوند.

– شکاف‌های بین سنگ‌ها با ملات به صورت دستی پر می‌شوند. این روش نسبتاً گران است و نیروی کار زیادی احتیاج دارد، اما بهترین شکل را دارا است و مطمئن‌ترین روش برای درزبندی است.

می‌توان جهت افزایش کارایی برای دو روش آخر از مواد مضاف مناسب استفاده نمود.

همچنین می‌توان از قیر (آسفالت) جهت ایجاد سطح یکپارچه استفاده نمود. استفاده از قیر به عنوان ملات، انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به سیمان دارد ولی اجرای آن نیاز به نیروی متخصص دارد. این روش در محیط خشک انجام می‌گیرد. البته آسفالت در زیر آب هم می‌تواند ریخته شود.

۸-۵- پوشش شیاری (ترانشه‌ای)

این نوع پوشش معمولاً با حفر یک ترانشه در پشت کناره رودخانه و با ریختن مصالح سنگی با شیب یک عمودی به ۱/۵ افقی ساخته می‌شود. در این روش پیش‌بینی می‌گردد با فرسایش و آبستگي رودخانه، ناحیه زیر قسمت حفاری شده خالی شده و با ریزش سنگ‌های قرارداده شده در پنجه شیار، از شیب کناره در قسمت قرارگرفته در زیر آب محافظت به عمل می‌آید.

در این نوع حفاظت می‌توان از مصالحی غیر از سنگ، مانند قطعه‌های خاک-سیمان شکسته نیز استفاده نمود. استفاده از این نوع مصالح مستلزم طراحی دقیق یک مخلوط خاک-سیمان و نظارت دقیق بر عملیات اختلاط مصالح، شکستن و جادادن آنها می‌باشد.

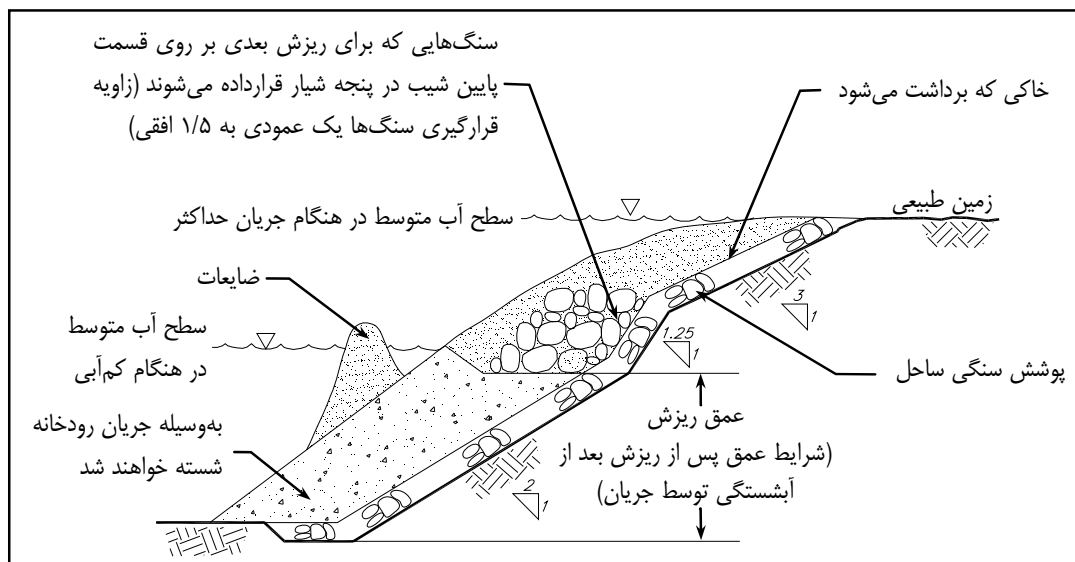
این پوشش حفاظتی برای پیچ‌های طولانی و به منظور مستقیم نمودن مسیر رودخانه و معمولاً برای آبراهه‌های قابل کشتی‌رانی استفاده می‌گردد. همچنین در مواردی که بالا بودن سرعت جریان و سرعت فرسایش و نیز بالا بودن عمق جریان و یا نوسان سریع

سطح آب، عملیات ساختمانی را در داخل مجرای اصلی رودخانه خیلی مشکل می‌کند، از این روش استفاده می‌گردد. قابل ذکر است این روش بیش‌تر در مواقعی کارآیی دارد که مصالح کناره‌ها، اغلب غیرچسبنده باشند. در هنگام طراحی باید به این نکته توجه کرد که این روش نیاز به مصالح سنگی زیادی دارد. در صورتی که دانه‌بندی مصالح سنگی به حد کافی ریزدانه داشته باشد می‌توان انتظار عملکرد مناسب بدون فیلتر یا پوشش‌های تحتانی را داشته باشیم.

۸-۵-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

اجرای این روش پوشش، نیازمند دقت ویژه‌ای می‌باشد. شیب حفاظت پوشش شیاری به جنس مصالح خاکی سواحل و عوامل ژئوتکنیکی بستگی دارد. در هنگام قراردادن مصالح سنگی باید دقت زیادی نمود و سنگ‌ها را به‌طور منظم چید. به‌خصوص اگر ساحل دارای مصالح چسبنده باشد امکان دارد به جای فرسایش یافتن یکنواخت، به‌علت گسیختگی و فرسایش توده‌ای، کناره، دچار عقب‌نشینی گردد.

از آن‌جایی که قراردادن سنگ در کم‌ترین ارتفاع که قابلیت اجرایی داشته باشد مطلوب است، با فرض این که سطح آب زیرزمینی در شیار هم‌تراز سطح آب رودخانه باشد، معمولاً ارتفاع کف لایه محافظ را در حدود ۳ متر پایین‌تر از سطح آب رودخانه در دوران ساخت در نظر می‌گیرند. در زمان ساخت و ایجاد این نوع حفاظت، باید نظارت دقیقی اعمال گردد، به‌طوری که در یک عملیات پیوسته، شیار زیر آب بلافاصله پس از تمام شدن عملیات خاکی، با سنگ پر می‌شود. شکل (۸-۳)، نمونه‌ای از پوشش شیاری (ترانشه‌ای) را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۳- پوشش شیاری (ترانشه‌ای)

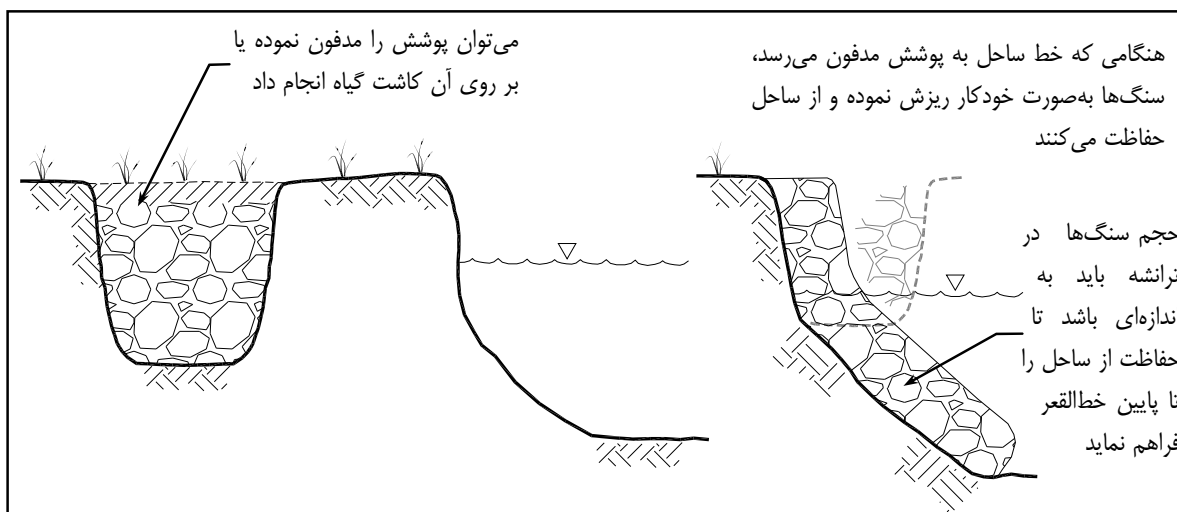
۸-۶- سنگ‌ریسه (پیش‌بند ریزشی)

پوشش سنگ‌ریسه، نوعی پوشش شیاری می‌باشد که از قراردادن سنگ‌ها در انتهای پهنه سیل‌گیر، از خط ساحل موجود به سمت خشکی در موقعیتی که از قبل به‌عنوان حد فرسایش تعیین شده و از فرسایش بیش‌تر پس از آن باید جلوگیری شود، ایجاد می‌گردد. این روش تمام مزایا و معایب پوشش شیاری را داراست و فقط طراحی و ساخت آن ساده‌تر بوده و همچنین باعث اتلاف زیاد سنگ می‌شود. در این روش فرآیند ریزش خود به خود، وقتی که سنگ‌ها باید تمام ارتفاع ساحل را سقوط نمایند، به کارآمدی حالتی نیست که سنگ‌ها از کف شیار حفر شده به یک ارتفاع پایین‌تری ریزش کنند. ساحل‌هایی که دارای مصالح عمدتاً غیرچسبنده هستند مناسب‌ترین محل احداث پوشش سنگ‌ریسه می‌باشند. شکل (۸-۴) نمونه‌ای از پوشش سنگ‌ریسه را نشان می‌دهد.

۸-۶-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

سرعت و مشخصات جریان، اندازه‌ها و ابعاد سنگ‌های مورد استفاده در پوشش سنگ‌ریسه را تعیین می‌کنند. این روش ممکن است برای موقعیت‌های اضطرابی که زمان، هزینه را تحت شعاع قرار می‌دهد و زمان کافی برای طراحی تفصیلی وجود ندارد و همچنین بالا بودن سطح آب و سرعت زیاد جریان رودخانه از انجام عملیات ساختمانی جلوگیری می‌کند، مناسب باشد. روش طراحی مشابه روش پوشش شیاری است با این تفاوت که نیاز به طراحی شیار (گودال) نمی‌باشد.

به‌طور کلی می‌توان گفت براساس مشاهدات میدانی و تجربیات به‌دست آمده از پروژه‌های اجرا شده، پوشش‌های با دانه‌بندی خوب با حداکثر وزن سنگ‌های تا ۹۰ کیلوگرم و با D_{50} حدود ۱۸ تا ۲۰ سانتی‌متر، موثرتر از دانه‌بندی‌های تا حداکثر ۲۲۵ کیلوگرم و با D_{50} حدود ۲۳ تا ۲۵ سانتی‌متر می‌باشند. زیرا سنگ‌های با دانه‌بندی کوچک‌تر در مقایسه با سنگ‌های با دانه‌بندی بزرگ‌تر، لایه‌های با تراکم بیش‌تر و درزهای کوچک‌تر ایجاد می‌کنند. بزرگی سنگ به‌کار رفته برای احداث ریشه باید به اندازه‌ای باشد که با جریان آب حمل نشود.



شکل ۸-۴- پوشش سنگ‌ریسه (پیش‌بند ریزشی)

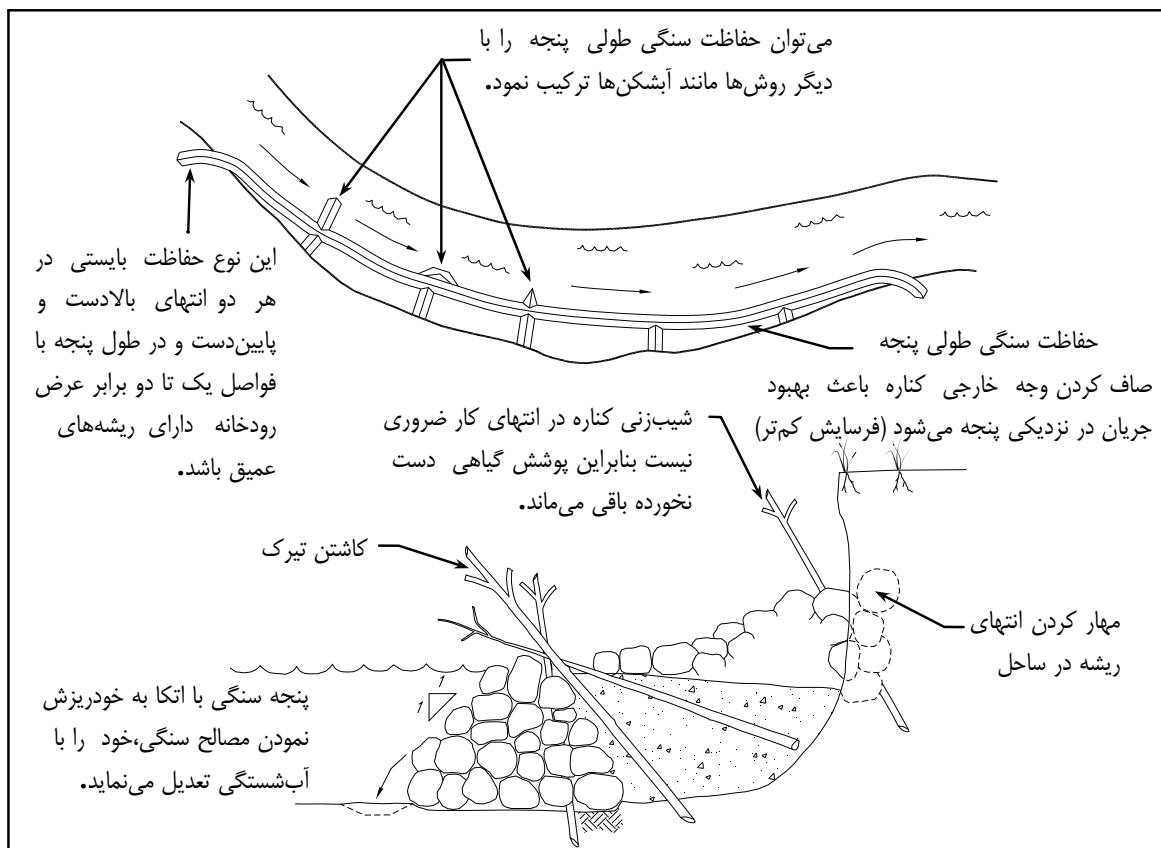
نوع دیگری از پوشش سنگ‌ریسه، حفاظت سنگی طولی پنجه می‌باشد، با این تفاوت که سنگ‌ها به جای این‌که در بالای ساحل قرار داده شوند، در ابتدای بستر موجود رودخانه جا می‌گیرند. حفاظت سنگی طولی پنجه در زیر قسمت بالایی ساحل، در مقابل خط

کناره فرسایش‌پذیر با یک فاصله از قسمت بالای ساحل به سمت رودخانه قرار می‌گیرند. ارتفاع‌های تیپ تاج ممکن است تغییر یابد اما معمولاً بین یک‌سوم تا دوسوم ارتفاع قسمت بالایی کناره قرار می‌گیرند.

موفقیت این روش بر این فرض استوار است که پس از تثبیت پنجه ساحل، فرسایش قسمت بالایی کناره تا زمان ایجاد یک شیب پایدار و تثبیت ساحل ادامه پیدا خواهد کرد. ایجاد پوشش گیاهی معمولاً به پایدار شدن ساحل کمک می‌کند. روش حفاظت سنگی طولی پنجه مخصوصاً برای محل‌هایی که قسمت بالایی شیب (دارای پوشش گیاهی، چسبندگی مصالح یا سرعت جریان نسبتاً کم) دارای پایداری مناسبی می‌باشد و با احداث یک سنگ‌ریسه طولی در پنجه می‌توان از فرسایش جلوگیری کرد، مناسب می‌باشد. استفاده از این روش مخصوصاً برای رودخانه‌های کوچک و فصلی مناسب است. پوشش گیاهی در قسمت‌های خاکی ساحل، نکته بسیار اساسی در موفقیت این روش است. همچنین هنگامی که حفاظت پیوسته در طول کناره رودخانه مورد نظر بوده و قسمت بالای آن برای انجام کارهای بیوتکنیکی پایدار و مناسب باشد، گزینه خوبی محسوب می‌شود.

هنگامی که مصالح ساحل به شدت فرسایش‌پذیر است و سنگ‌های پنجه ممکن است به حاشیه رانده شوند، دایک سنگی با فواصل مناسب از هم، تحت عنوان پشت‌بند می‌تواند برای جلوگیری از این امر و فرسایش پشت سازه احداث گردد. فاصله این پشت‌بندها می‌تواند یک تا دو برابر مجرای اصلی رودخانه باشد. انتهای بالادست و پایین‌دست سازه پوشش باید در مقابل جریان‌های گردابی و جانبی محافظت گردد. حداقل یک پشت‌بند در انتهای پایین‌دست سازه توصیه می‌شود. دو شکل اصلی برای حفاظت طولی پنجه وجود دارد. شکل اول، حفاظت طولی پنجه مجاور قسمت بالایی ساحل رودخانه همراه با پشت‌بندهای سنگی که با قراردادن سنگ که در چال‌های حفاری شده تا بالای ساحل ایجاد می‌شود، می‌باشد. شکل دوم، پوشش طولی پنجه در جهت رودخانه با فاصله از ساحل و به‌صورت ترکیبی از سایر روش‌های حفاظتی می‌باشد.

به‌طور کلی در حفاظت‌های سنگی به روش سنگ‌ریزی (شیاری و سنگ‌ریسه)، توصیه می‌شود ضخامت لایه سنگ‌ریز از $2D_{50}$ کمتر نباشد و یا بین $(1 \sim 1.5)D_{max}$ در نظر گرفته شود. در هر حال حداقل ضخامت لایه سنگ‌ریز، ۳۰ سانتی‌متر بوده و بهتر است دو لایه از ابعاد متوسط سنگ‌ها را دربرگیرد. همچنین در پوشش‌های به روش سنگ‌ریزی توصیه می‌گردد، شیب قرارگیری مصالح تندتر از یک عمودی به ۲ افقی نباشد و هنگامی که حفاظت در زیر سطح متوسط آب انجام می‌پذیرد و رودخانه دارای جریان دائمی است، ضخامت لایه سنگ‌ریز، ۵۰ درصد افزایش یابد. شکل (۸-۵)، نمونه‌ای از حفاظت سنگی طولی پنجه را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۵- حفاظت سنگی طولی پنجه

۸-۷- تشک‌های تورسنگی

استفاده از تورسنگ (گابیون) به صورت گسترده در حفاظت سواحل بسیار متداول است. تشک تورسنگ سبب ایجاد یک لایه محافظ یکپارچه سازه‌ای شده و باعث می‌گردد ضخامت و ابعاد کوچک‌تری از مصالح سنگی (نسبت به حالت سنگ‌فرش) مورد نیاز باشد. همچنین بسیاری از مزایای استفاده از پوشش سنگ‌چین و سنگ‌فرش‌های دستی، از قبیل انعطاف‌پذیری و در دسترس بودن و غیره را داراست.

مشخصات فنی طراحی و اجرایی تشک‌های تورسنگی به طور کامل در فصل ۱۰ (پوشش‌ها و سازه‌های تورسنگی) ارائه گردیده است.

۸-۸- بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته

در سال‌های اخیر با توسعه روش‌های مدرن ساخت بتن پیش‌ساخته و سامانه‌های حفاظت سواحل بتنی، استفاده از این بلوک‌ها در کارهای مهندسی رودخانه متداول شده است. بلوک‌های مورد نظر شامل بلوک‌های با درز باز، با قفل و بست و مقید شده با کابل یا ژئوتکستایل می‌باشند.

از مزایا و معایب استفاده بلوک‌های بتنی می‌توان به ایجاد پوشش گیاهی بین بلوک‌ها و ایجاد لایه نفوذپذیر و زهکشی سواحل، عملیات دستی تا لبه آب، زبری کمتر نسبت به سایر روش‌ها، امکان سرقت و خراب‌کاری در بعضی از مناطق و نیاز به ضخامت‌های کمتر نسبت به پوشش سنگ‌چین اشاره نمود. بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته در رودخانه‌های دائمی، بزرگ و عمیق بیش‌تر به‌کار برده می‌شوند.

برخی از بلوک‌های بتنی جهت حفاظت سواحل، با توجه به مقاصد طراحی، از مصالح و شکل خاصی تبعیت می‌کنند. به‌عنوان مثال در برخی بلوک‌ها جهت مسلح کردن از پوشش‌های گیاهی استفاده می‌شود.

۸-۸-۱- بلوک‌های با درز باز یا به‌صورت ملات‌کاری شده

ساده‌ترین نوع حفاظت سواحل، استفاده از بلوک‌های پیش‌ساخته بدون هیچ‌گونه اتصال با بلوک‌های مجاور است. در این حالت پایداری لایه محافظ تا حد زیادی وابسته به پایداری بلوک‌ها به‌صورت انفرادی است، مگر این‌که حرکت جنبی بین بلوک‌ها، به‌وسیله اصطکاک تماسی بلوک‌ها، مهار شده باشد. این روش در مقابل اقدام‌های خراب‌کارانه، آسیب‌پذیری بالایی دارد مگر این‌که به قدری سنگین باشند که به راحتی قابل حرکت نباشند.

ملات‌کاری بین بلوک‌ها و یا استفاده از مصالح دانه‌ای، پایداری آنها را بیش‌تر می‌کند اما انعطاف‌پذیری پوشش را کاهش می‌دهد. البته باید توجه داشت در صورت استفاده از روش ملات‌کاری، باید مقداری از درزها را بدون ملات‌کاری در نظر گرفت تا در آن محل‌ها، آزاد شدن نیروی فشار از خاک زیرین صورت گیرد. ملات‌کاری و قفل و بست کامل و بدون درز برای بلوک‌هایی که روی یک شیب نفوذناپذیر قرار داده می‌شوند، مانند رس با کیفیت خوب، مناسب است.

نصب بلوک‌ها معمولاً به‌صورت دستی صورت می‌گیرد و در صورتی که بلوک‌ها سنگین باشد از ماشین‌آلات استفاده می‌گردد. این نوع پوشش حفاظتی، نیاز به بازدیدهای دوره‌ای داشته و عملیات نگهداری، تنظیم و جایگزینی بلوک‌ها و یا مصالح دانه‌ای بین آنها به آسانی قابل انجام بوده و نیازی به نیروی کاری متخصص ندارد.

۸-۸-۲- بلوک‌های مقیدشده یا قفل و بست‌دار

استفاده از بلوک‌های مقیدشده تا حدی انعطاف‌پذیری را کاهش می‌دهد. از بلوک‌های با اتصال‌های کام و زبانه برای ایجاد لایه محافظ نفوذناپذیر می‌توان استفاده نمود که بیش‌تر جهت حفاظت سواحل در برابر امواج متداول است. این‌گونه بلوک‌ها اغلب به‌صورت دستی نصب می‌گردند و بعضی از آنها با تمهیدهای خاصی با ماشین‌آلات، قابل نصب می‌باشند. در این‌گونه بلوک‌ها نیز ممکن است در اثر نشست یا دیگر حرکات خاک زیرین، مشکلاتی پدید آید. این بلوک‌ها در انواع سلولی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند (بلوک‌های سوراخ‌دار به‌صورت کام و زبانه).

۸-۸-۳- بلوک‌های بسته شده با کابل یا ژئوتکستایل

این‌گونه بلوک‌ها با کابل در کنار هم نگه‌داشته شده و یا به یک ژئوتکستایل بسته می‌شوند تا شکلی انعطاف‌پذیر را تشکیل دهند. این بلوک‌ها علاوه بر انعطاف‌پذیری بالا، با وجود حفظ مزیت اتصال‌های داخلی (بین بلوک‌ها) برای مهار کردن بلوک‌ها در شرایط

بارگذاری‌های شدید، دارای مزایای کاهش ریسک خرابی موضعی پیش‌رونده تحت بارگذاری‌ها یا تغییر مکان‌های شدید، سهولت نصب در زیر آب و نصب سریع و قلاب شدن به خاک زیرین می‌باشند.

سامانه‌های مقید شده با کابل، هم در انواع بسته شده در یک جهت و هم در هر دو جهت در صفحه پوشش وجود دارند. کابل‌ها ممکن است از فولاد یا فیبر مصنوعی (پلی پروپیلن) ساخته شده باشند. استفاده از فیبرهای مصنوعی، به دلیل ارزان بودن متداول‌تر است و زنگ‌زدگی و خوردگی آنها نسبت به فولاد کم‌تر می‌باشد. در صورت استفاده از کابل‌های مصنوعی، موارد مقاومت در بلند مدت، اجتناب از ساییدگی، حساس بودن به اقدام‌های خراب‌کارانه را باید در نظر گرفت.

در سامانه‌هایی که از ژئوتکستایل استفاده می‌شود، بلوک‌ها به‌طور مستقیم به ژئوتکستایل متصل می‌شوند و یا با قراردادن بلوک‌ها در محل‌های اتصال (بست) که به ژئوتکستایل‌ها بسته شده‌اند، این کار صورت می‌گیرد. مقاومت ژئوتکستایل باید در حد مقاومت بست‌ها و اتصال دهنده باشد. استفاده از این روش چندان متداول نیست.

در نصب به روش ماشینی (با استفاده از جرثقیل)، مجموعه بلوک‌های بسته شده با کابل یا ژئوتکستایل، به‌صورت یک فرش حمل شده و نصب می‌گردند. فرش معمولاً به اندازه معین و به‌صورت مونتاژ شده به محل اجرا منتقل می‌گردد و برحسب مورد می‌توان آن را در محل نیز تولید نمود.

در صورت لزوم و در شرایط خشک، می‌توان بلوک‌ها را با دست در جای خود قرار داد و پس از آن، با کابل آنها را به‌هم بست. هنگام نصب دستی، باید دقت کافی برای ایجاد تماس مناسب بین بلوک‌ها و خاک زیرین در هر فرش لحاظ گردد (به‌ویژه در جاهایی که پوشش در زیر آب ساخته می‌شود). همچنین تدابیر لازم برای حفظ یکپارچگی لایه محافظ در محل‌های اتصال بین فرش‌های مجاور باید در نظر گرفته شود. معمولاً فرش‌های موجود در بالای پوشش را با قلاب مهار می‌کنند. برحسب مورد ممکن است از قلاب‌های اضافی بر روی شیب نیز استفاده گردد و پنجه هم مهار شود. در محل خیم‌ها استفاده از فرش و نصب آن مشکل است. در چنین محل‌هایی توصیه می‌شود از بلوک‌های درهم قفل شونده معمولی یا پوشش سنگ‌چین یا سنگ‌فرش دستی استفاده گردد.

۸-۴-۸- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

با توجه به هموار بودن سطح بلوک‌ها، نیروهای کششی سطحی شدیدی به آنها وارد نمی‌شود و پایداری به‌میزان زیاد به ضخامت بلوک‌ها بستگی دارد و می‌توان گفت در کاربردهای معمولی و برای بلوک‌ها با ابعاد متعارف (بلوک‌هایی که مساحتشان از 0.25 مترمربع کم‌تر نباشد)، پایداری بستگی زیادی به ابعاد بلوک‌ها در پلان ندارد. از آن‌جا که تاکنون روش طراحی واحدی جهت تعیین ابعاد هندسی بلوک تدوین نشده است، پایداری این‌گونه بلوک‌ها با آزمایش مشخص می‌شود. یکی از عوامل مهم جرم ظاهری بلوک است. حداقل ضخامت برای بلوک 80 میلی‌متر و حداقل جرم در حالت غوطه‌ور 140 kg/m^2 است.

آزمایش‌ها نشان می‌دهد بلوک‌هایی که به‌طور مناسب قرار داده شده‌اند (با وزن ظاهری 140 kg/m^2) بر روی شیب‌های یک عمودی به $2/5$ افقی به لحاظ هیدرولیکی در سرعت‌های بیش از پنج متر بر ثانیه پایدار بوده‌اند و خرابی‌ها در آستانه‌های پایین‌تر (اکثراً به همراه تغییر شکل‌های اضافی سطحی) و به دلیل جزییات ضعیف اتصال‌ها و لبه‌ها و طراحی ضعیف زیرلایه بوده است. به‌طور کلی خرابی‌ها اغلب شامل بلندشدگی ناشی از اغتشاش جریان و زهکشی زیرسطحی ضعیف، حفاظت ناکافی از خاک زیرین در مقابل فرسایش (توسط زیرلایه) و نیروی موضعی شدید به‌صورت زیرفشار یا کشش سطحی در بلوک‌های از ردیف خارج شده می‌باشد.

می‌توان گفت که بلوک‌های با حداقل ابعاد ذکر شده در بالا، در صورتی که به خوبی نصب شده باشند، در جریان‌های معمولی با حداکثر سرعت چهار متر بر ثانیه در رودخانه‌ها و آبراه‌ها، از لحاظ هیدرودینامیکی پایدار می‌باشند. استفاده از چنین بلوک‌هایی در جاهایی که تلاطم جریان زیاد باشد و نوسان‌های قابل توجه فشار و برخاست ناشی از آن اتفاق می‌افتد، مناسب نیست.

همچنین هنگام طراحی و اجرای بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته باید موارد زیر را مد نظر داشت:

- بلوک‌ها غالباً به صورت غیرمسلح استفاده می‌گردند و حداقل ضخامت آنها ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر می‌باشند. توانایی یک بلوک غیرمسلح برای مقاومت در برابر بارهای سطحی، به عکس‌العمل خاک زیرین و تا حدودی به لاغری (حداکثر بعد نسبت به ضخامت) بلوک وابسته است.
- در صورتی که بلوک‌های بتنی در معرض بارهای شدید یا بارهای ترافیکی باشند، نسبت لاغری به ۴ محدود می‌شود.
- بلوک‌های بتنی جهت پوشش باید با بتن با کیفیت بالا به منظور داشتن دوام زیاد، ساخته شوند و همچنین مقاومت کافی در برابر یخبندان داشته باشند.
- توجه شود که سطح بتن در بلوک‌های پیش‌ساخته، منافذ بیش‌تری نسبت به بتن ریخته شده در محل دارد و در تمامی حالت، عمل‌آوری با دقت بالا لازم است.
- بلوک‌ها معمولاً بر روی یک زیرلایه (فیلتر) قرار داده می‌شوند و در صورتی که بتوان بلوک‌ها را به طور مستقیم بر روی خاک زیرین نفوذناپذیر از جنس رس قرار داد، نیروهای زیرفشار در زیر بلوک‌ها در شرایط جریان دوره‌ای محدود شده و بلوک‌ها پایداری بیش‌تری پیدا می‌کنند. البته در صورتی می‌توان بلوک‌ها را روی خاک زیرین قرار داد که مصالح خاک زیرین به خوبی متراکم و تحکیم شده و همگن باشد و ساختاری صاف و بدون ترک داشته باشد.
- اتصال‌های بلوک‌ها باید انعطاف پذیر بوده، به طوری که بلوک‌های بتنی در کف و شیب به خوبی روی قسمت‌های یکنواخت قرار بگیرند.
- توصیه می‌شود به منظور حفاظت از آبشستگی پنجه شیب، روکش بتنی با طول حداقل دو برابر عمق آبشستگی احتمالی در عرض بستر رودخانه ادامه یابد.

۸-۹- دال‌های بتنی درجا و یکپارچه

استفاده از دال‌های بتنی درجا و یکپارچه در مقایسه با دیگر روش‌ها، هزینه بالایی دارد و با توجه به شکل ظاهری نامناسب آن و همچنین نیاز به عملیات اجرایی در حالت خشک، کاربرد آن محدود می‌باشد. مزایای استفاده از این روش، دستیابی به مقاومت و دوام بالا، مناسب برای سرعت‌های زیاد جریان و شرایط مختلف، بهره‌برداری بلندمدت و حداقل نگهداری می‌باشد. این روش بیش‌تر در مجاورت سازه‌ها به عنوان انتقال دهنده جریان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به علت صلب بودن بتن و وجود نشست‌های نامساوی، خطر شکستن برای دال‌های بتنی درجا و یکپارچه وجود دارد، لذا استفاده از سازه‌های بتنی انعطاف‌پذیر (بلوک‌های بتنی)، ارجح خواهند بود. در صورت استفاده از دال‌های بتنی درجا و یکپارچه باید تمهیدهای لازم برای سازگاری با حرکت‌های ناشی از حرکت پی و نشست خاک یا خزش و همچنین حرکت‌های حرارتی در نظر گرفته شود.

این نوع پوشش، نفوذناپذیر است و به همین منظور باید تدابیر لازم به وسیله لوله‌های زهکشی^۱ جهت سازگاری با نیروهای زیر فشار و جریان آب زیرزمینی برای جلوگیری از ایجاد ترک و شکست لایه بتنی اتخاذ گردد.

در صورتی که اتصال‌های دال‌های بتنی به گونه‌ای باشد که شرایط پایداری را برآورده نماید، در این صورت ضخامت دال با در نظر گرفتن نیروی زیر فشار و بارهای بهره‌برداری تعیین کننده خواهد بود. در شرایطی که بارگذاری ناچیز باشد و از لحاظ محاسباتی نیاز به آرماتور و شبکه فولادی هم نباشد، باید جهت کنترل ترک‌ها (آرماتور حرارتی) از شبکه‌های فولادی استفاده شود.

حداقل ضخامت بتن، ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر توصیه می‌گردد و ملاحظه‌های مربوط به روش‌های بتن‌ریزی باید در مرحله طراحی در نظر گرفته شود (قالب‌بندی و غیره). تجربه نشان داده است که ریختن بتن متراکم در شیب‌های بیش‌تر از یک عمودی به ۱/۵ افقی، بدون قالب‌بندی مشکل است. باید دقت شود که در هنگام اجرا، اسلامپ بتن از حد مشخصی بیش‌تر نشود (جهت اجرای راحت‌تر)، که در این صورت از مقاومت فشاری بتن کاسته می‌شود.

برای ساخت پوشش‌های با بتن‌های درجا می‌توان از بتن‌های سلولی درجا (سوراخ‌دار) استفاده کرد. بدین منظور بتن را بر روی قالب‌های پلاستیکی می‌ریزند و پس از گیرش مناسب، قالب‌ها برداشته می‌شوند. سلول‌ها را می‌توان با خاک پر کرد و در آنها گیاه کاشت. همچنین می‌توان بتن سلولی درجا را مسلح نمود و لایه محافظ نفوذناپذیر ایجاد کرد.

بتن‌های درجا و یکپارچه در صورتی که به خوبی طراحی و اجرا گردند و در محل اتصال‌های مهم جزییات مناسب داشته باشند، پوشش مقاومی بوده و نیاز به نگهداری خاصی ندارند.

همانند بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته توصیه می‌شود به منظور حفاظت از آبستگي، پنجه بتنی در ادامه پوشش در بستر رودخانه با طول حداقل دو برابر عمق آبستگي احتمالی و یا از ورق‌های فلزی بسته شده به دال بتنی و یا با حفاظت سنگی گسترش یابد.

۸-۱۰- روش‌های کیسه‌ای

از این روش جهت حفاظت و تعمیر سواحل رودخانه‌ها استفاده می‌گردد. هرچند کیسه‌های مصنوعی، پیش‌ساخته و موجود می‌باشند ولی کیسه‌های خاک و سیمان سنتی بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً این روش زمانی که سنگ موجود نبوده و شن و ماسه فراوان در دسترس باشد، استفاده می‌شود.

کیسه‌های خاک و سیمان، بسیار مناسب و سازگار با محیط هستند و به سرعت اجرا می‌شوند. همچنین به آسانی تعمیر می‌گردند و شکل ظاهری مناسب و هزینه پایینی دارند. کیسه‌های خاک و سیمان، قابل اجرا در نواحی پرشیب بوده و باید توجه داشت که به دلیل منفرد بودن کیسه‌ها، تخریب‌های کوچک می‌تواند باعث تخریب‌های بزرگ‌تر گردد.

در این روش، کیسه‌ها (کریاس یا کنف) با موادی مثل خاک و سیمان یا ماسه و سیمان پر شده و با ترتیب خاصی روی هم قرار می‌گیرد، به‌طوری که لایه بالایی مقداری از لایه پایین را بپوشاند. کیسه‌های مذکور باید تا عمق مناسبی در داخل بستر چیده شوند تا کار حفاظت پنجه شیب در مقابل آبستگي را انجام دهند.

کیسه‌ها بعد از مدتی در اثر پوسیدگی ممکن است از بین بروند، اما مخلوط ماسه و سیمان (بتن) که بعد از سفت شدن به یکدیگر قفل شده و شکل گرفته‌اند، ساحل را پوشانده و آن را در برابر آبستکی حفاظت خواهد نمود. خاک یا شن و ماسه باید به صورت خشک در کیسه ریخته شود و عمل گیرش آن پس از جای گذاری، با آب پاشی و جذب آب رطوبت زیرین، صورت گیرد.

۸-۱۰-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

جهت حفاظت پنجه در پوشش شیب‌ها، پایین‌ترین کیسه را در یک ترانشه از پیش حفر شده در داخل آب قرار می‌دهند. این نوع پوشش را می‌توان تا ۱۰ ردیف روی هم ساخت و به همین دلیل برای پوشش شیب‌های تند یا در مواردی که مقاطع از قائم به شیب‌دار یا برعکس تبدیل می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کیسه‌های خاک و سیمان یا بتنی معمولاً همانند آجر، رج‌چینی شده و این کار به صورتی می‌باشد که انتهای باز کیسه به سمت پایین دست جریان باشد (درب کیسه به سمت زیر تا خورده باشد) و ابتدای بسته کیسه بعدی روی قسمت انتهایی کیسه قرار گیرد. اندازه کیسه‌ها معمولاً باید به گونه‌ای باشد که به راحتی قابل حمل باشند. توصیه می‌شود مواد پرکننده کیسه‌ها، ماسه و سیمان بوده و شامل ۵ قسمت مصالح خاکی و یک قسمت سیمان باشد (معمولاً ماسه بستر رودخانه مناسب است). برای شیب‌های تند، کیسه‌ها حتماً باید هم‌پوشانی داشته باشند و به صورت پلکانی چیده شوند.

به منظور حمل راحت‌تر کیسه‌ها، می‌توان آنها را با مخلوط خشک پر نمود و پس از جای گذاری کیسه‌ها، آنها را خیس کرد. برای جلوگیری از حرکت کیسه‌ها می‌توان هر سه کیسه را با یک میلگرد فولادی به قطر ۱۲ میلی‌متر به هم متصل ساخت. کیسه‌های پر شده از ماسه یا رس نیز کاربرد دارند که البته نسبت به پوشش پر شده از بتن یا خاک و سیمان، دوام کم‌تری دارند. در جریان‌های شدید و با سرعت بالا، جهت تقویت می‌توان با عبور دادن میله‌های مهار از داخل آنها یا در محل اتصالشان، آنها را مهار کرد.

۸-۱۱- بلوک‌های خاک و سیمان

بلوک‌های خاک و سیمان از متراکم نمودن مخلوط خاک، سیمان و آب ساخته می‌شوند و همچنین برای ساختن آنها می‌توان از مصالح موجود در محل استفاده نمود. معمولاً این روش از روش سنگ‌چین ارزان‌تر بوده و اغلب در جایی که روش سنگ‌چین به دلایلی، توجیه اجرایی یا اقتصادی نداشته و خاک خوب و مناسب نیز در دسترس باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به سبک بودن، بلوک‌های خاک و سیمان در ابعاد بزرگ‌تری ساخته می‌شوند. بلوک‌های خاک و سیمان معمولاً با مصالح خاکی شامل ۳۵ تا ۵۵ درصد ماسه، ساخته می‌شوند. در مناطقی که سرعت جریان زیاد است باید میزان سیمان مخلوط بیش‌تر باشد.

۸-۱۲- پوشش‌های آسفالتی

به طور کلی به مخلوط‌هایی که از قیر و مصالح دانه‌ای معدنی تشکیل می‌شوند، آسفالت اطلاق می‌گردد. از ویژگی‌ها و خواص آسفالت می‌توان به صلب بودن در بارگذاری‌های کوتاه مدت و انعطاف‌پذیری در برابر بارهای بلند مدت اشاره نمود که باعث کاربرد وسیع آن در ساخت پوشش‌ها شده است. طراحی مخلوط آسفالت را می‌توان به گونه‌ای انجام داد که برحسب شرایط طراحی، نفوذپذیر یا نفوذناپذیر باشد.

۸-۱۲-۱- آسفالت‌های نفوذپذیر

از انواع این نوع آسفالت‌ها می‌توان به آسفالت ماسه‌ای و آسفالت سنگی باز اشاره نمود. آسفالت ماسه‌ای شامل مخلوط ماسه و ۳ تا ۵ درصد وزنی قیر می‌باشد. نسبت تخلخل مخلوط تقریباً به اندازه تخلخل مصالح ماسه‌ای، باقی‌مانده ولی قیر تا حدی چسبندگی ایجاد می‌کند.

آسفالت سنگی باز با استفاده از ملات قیری تولید می‌شود، به‌طوری که سطح سنگ کاملاً پوشیده شده و ساختاری با نسبت تخلخل ۲۰ تا ۲۵ درصد به‌دست می‌آید. اندازه مصالح سنگی برای ساخت این نوع پوشش، ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر می‌باشد. اجرای پوشش با پخش کردن مخلوط در دمای ۱۱۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌گردد. از یک غلتک سبک می‌توان برای متراکم کردن آسفالت استفاده کرد.

۸-۱۲-۲- آسفالت‌های نفوذناپذیر

از انواع این آسفالت‌ها می‌توان به آسفالت با ملات قیری، بتن آسفالتی و آسفالت سنگی متراکم اشاره کرد. آسفالت با ملات قیری شامل مخلوط ماسه، فیلر (شن نرم معدنی، لس نرم یا سیمان) و قیر است. این نوع آسفالت قابلیت ریخته شدن در مناطق گرم را نیز دارد. می‌توان به ملات قیر، شن اضافه گردد تا مقدار قیر کاهش یابد و خواص روان شدن آن را کنترل نمود.

بتن آسفالتی شامل مخلوط شن، ماسه، فیلر (شن نرم معدنی، لس نرم یا سیمان) و ۶ تا ۹ درصد وزنی قیر می‌باشد. هدف، تولید مخلوطی متراکم و پایدار با پایین‌ترین میزان تخلخل ممکن است. این نوع پوشش پس از ریخته شدن برای به‌دست آوردن حداکثر تراکم، فشرده می‌شود.

آسفالت سنگی متراکم از مخلوط ملات قیر و سنگ تشکیل شده است. این نوع مخلوط را می‌توان در مناطق گرم ریخت و مخلوط تحت وزن خودش تحکیم می‌یابد. به‌طور کلی این نوع پوشش حاوی ۵۰ تا ۷۰ درصد سنگ و ۳۰ تا ۵۰ درصد وزنی، ملات قیر است. اندازه مصالح سنگی همانند آسفالت سنگی باز، ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر می‌باشد.

۸-۱۲-۳- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

آسفالت‌های ماسه‌ای را می‌توان برای مصالح زیرلایه یا به‌عنوان پرکننده حجمی در زیر آب و یا در محیط خشک استفاده نمود. آسفالت سنگی باز و بتن آسفالتی باید در شرایط خشک ریخته شوند و باید اطمینان حاصل نمود که عملکرد هیچ‌کدام از اجزای زیرلایه (فیلتر)، تحت تاثیر مخلوط گرم قرار نمی‌گیرد. با توجه به درصد تخلخل بالا در آسفالت سنگی باز، گیاهان نیز می‌توانند در داخل این مخلوط رویش نمایند.

از تشک‌های آسفالتی پیش‌ساخته نیز در بعضی موارد استفاده به‌عمل آمده است. این تشک‌های پیش‌ساخته را در محل‌هایی که خشک نبوده و زیر تراز آب قرار دارند، استفاده می‌نمایند. باید دقت نمود که تماس مناسب با خاک زیرین حاصل شود و عملیات درزبندی در زیر آب چه به‌صورت هم‌پوشانی و چه به‌صورت قفل و بست با ملات قیری انجام شود.

آسفالت سنگی متراکم را می‌توان به‌عنوان لایه محافظ نفوذناپذیر در زیر آب قرار داد. به‌طور کلی در پوشش‌های آسفالتی به‌منظور طراحی، پوشش آسفالتی را مانند یک صفحه بر روی یک پی الاستیک در نظر می‌گیرند. ضخامت آسفالت باید به اندازه‌ای باشد که ممان خمشی ناشی از بارگذاری مستقیم، تنش در آسفالت را به مقدار تنش بحرانی نرساند.

با توجه به کاربرد وسیع آسفالت سنگی باز در پوشش‌های آسفالتی می‌توان به ملاحظه‌های زیر جهت استفاده از این نوع پوشش اشاره نمود:

- ضخامت لایه محافظ پوشش برای رودخانه‌های معمولی در صورت استفاده از پوشش‌های درجا، ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر و به صورت پیش‌ساخته، ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.
- ضخامت لایه محافظ پوشش برای رودخانه‌های بزرگ و مخصوص کشتی‌رانی در صورت استفاده از پوشش‌های درجا، ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر و به صورت پیش‌ساخته، ۱۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.
- برای ضخامت‌های تا ۱۲۰ میلی‌متر لایه محافظ، سنگ‌های با ابعاد ۱۶ تا ۲۲ میلی‌متر و برای ضخامت‌های بیش‌تر از ۱۲۰ میلی‌متر، سنگ‌های با ابعاد ۲۰ تا ۴۰ میلی‌متر استفاده می‌شود.

همچنین در هنگام طراحی باید اثر نیروهای فرسایشی روی پوشش تحت اثر جریان و زیر فشار مد نظر قرار گیرد. در صورت لزوم باید درزهای بین قطعه‌های مجاور آب‌بندی گردد و هرگونه هم‌پوشانی برای حداقل کردن نیروی کشش سطحی موضعی انجام شود. جهت کنترل فرسایش باید آسفالت، مقاومت لازم در مقابل سایش را تامین بنماید. همچنین نشست زیاد خاک زیرین باعث می‌گردد پوشش به صورت موضعی، فاقد تکیه‌گاه شده و قبل از تغییر شکل لازم (انعطاف‌پذیری) و به‌دست آوردن تماس مجدد با خاک زیرین، توسط بارهای مستقیم دچار آسیب شود.

۸-۱۳- تشک‌های پر شده با ملات یا دوغاب

انواع متعددی از تشک‌های پارچه‌ای مصنوعی وجود دارد که پس از قرار دادن آنها در محل، آنها را با ملات پر می‌کنند. تشک به‌عنوان یک قالب عمل کرده و ملات را در زمان گیرش نگه می‌دارد. تخلخل پارچه باعث می‌شود تا آب آزاد شود و در نتیجه فشار منفذی کاهش یافته و مقاومت و سختی آن سریع‌تر به مقدار مورد نظر برسد. تشک‌های پر شده به هم متصل می‌باشند و انعطاف‌پذیری و نفوذپذیری بلند مدت سطح را تامین می‌نمایند. شکل ظاهری این نوع پوشش‌ها بیش‌تر مناسب مناطق صنعتی می‌باشد. می‌توان از پارچه‌های مصنوعی با تورفتگی‌های سطحی استفاده کرد تا شکل ظاهری طبیعی‌تری داشته و در داخل تورفتگی‌های خاک قرار گرفته و گیاهان رشد کنند.

تشک‌ها باید به‌صورت خالی بر روی سواحل قرار داده شوند و در صورتی که بخواهیم آن را در زیر آب قرار دهیم باید آن را سنگین نمود. تشک‌های مجاور به هم دوخته یا جوش می‌شوند. لبه بالایی تشک‌ها مهار شده و سپس ملات به درون تشک، با توجه به توصیه‌های کارخانه سازنده، پمپ می‌شود. این پوشش جهت زیر تراز آب مناسب بوده و می‌تواند بر برجستگی‌ها و گودرفتگی‌های ساحل منطبق شود.

ملاحظه‌های پایداری آن مشابه دال‌های بتنی درجا می‌باشد. در صورتی که در این نوع پوشش به مقاومت کششی نیاز باشد، تشکی که در داخل آن بتن ریخته شده باید مسلح گردد. همچنین پارچه‌های مصنوعی پلی‌استری، در صورتی که با ملات بتن پر شوند، مستعد واکنش با قلیاهای تولید شده از سخت شدن بتن هستند و این موضوع باید مد نظر قرار گیرد.

۸-۱۴- روکش با شبکه‌های توری محدود کننده

در این روش از شبکه‌های توری به منظور محدود و پایدار نمودن خاک و یا مصالح کناره بر روی شیب استفاده می‌گردد. مقاومت و عمر حفاظت این روش کم‌تر از سایر روش‌های حفاظتی است، اما در هر صورت مقاومت بیش‌تری نسبت به خاک بدون پوشش حفاظتی و یا سواحل خاکی ریزدانه و مناطق با پوشش گیاهی دارد. این روش حفاظتی، به صورت ترکیبی با روش‌های طبیعی استفاده از پوشش‌های گیاهی سازگار است.

در صورتی که شبکه‌های توری بر روی مصالح غیرچسبنده قرار گیرد، این نوع پوشش در سرعت‌های بالا مقاومت نخواهد کرد. این نوع روکش در صورت پر شدن با آسفالت یا بتن، مشخصات و ویژگی‌های روکش‌های صلب را دارا می‌باشد. در شیب‌های تند می‌توان به منظور افزایش استحکام از شبکه‌های توری و ترکیب‌های قیر یا مواد مشابه استفاده نمود. نصب شبکه توری باید مطابق با توصیه سازندگان آن صورت پذیرد.

۸-۱۵- پوشش‌ها و روکش‌های پلیمری

از شبکه‌های پلیمری پلی‌اتیلنی و پروپیلنی، در انواع مختلف از قبیل ژئوتکستایل، ژئوگرید و غیره به دلیل مقاومت شیمیایی بالا و مقاومت در برابر تابش، با دیگر مصالح به صورت کامپوزیت و به منظور ایجاد لایه محافظ پوشش استفاده می‌شود. جهت حفاظت سواحل باید از محصول‌های استاندارد و تایید شده استفاده گردد. برای کسب نتیجه مناسب و عملکرد کامل، توصیه می‌شود استفاده از آنها به طور کامل مطابق با دستورالعمل کارخانه سازنده صورت پذیرد.

موارد استفاده و محصول‌های ساخته شده از شبکه‌های پلیمری به همراه سایر مصالح و به صورت ترکیبی با سایر روش‌های حفاظتی، در فصل ۱۰ (شبکه‌های پلیمری) به صورت کامل ارائه گردیده است.

۸-۱۶- پوشش‌های طبیعی یا گیاهی

در این قسمت، مشخصات و ملاحظه‌های فنی طراحی و اجرایی و نگهداری پوشش‌ها و حفاظت‌های طبیعی (گیاهی) ایجاد شده با نی‌ها، درخت‌ها، چمن، مصالح چوبی و الوار و بوته ارائه شده است.

پوشش‌های گیاهی و ریشه‌های در هم تنیده شده در سواحل رودخانه می‌تواند خصوصیات ژئوتکنیکی خاک را اصلاح کند و در مواردی سبب افزایش مقاومت برشی خاک شود و همچنین می‌تواند مقداری مقاومت کششی ایجاد نماید. از بین رفتن پوشش‌های گیاهی، سواحل رودخانه را برای گسیختگی و فرسایش توده‌ای، مستعدتر می‌نماید. درخت‌هایی که در سواحل رودخانه کاشته می‌شوند می‌توانند بستر رودخانه را تثبیت کنند، اما در جریان‌های سیلابی شدید و نیز تحت اثر باد و طوفان ممکن است کنده شوند و در نتیجه باعث فرسایش شدید سواحل و خرابی‌های خارج از تصور گردند.

روش‌های حفاظتی طبیعی تنها در صورتی موفقیت‌آمیز خواهد بود که مهندسین طراح از سازگاری روش‌ها با محیط‌زیست اطمینان حاصل کنند. روش‌های طبیعی حفاظت سواحل در مقایسه با دیگر روش‌های متداول هزینه کم‌تری دارند. البته ممکن است به دلیل نیاز به بازرسی منظم و تعمیرات، هزینه نگهداری بالاتری داشته باشند.

۸-۱۶-۱ ویژگی‌ها و ملاحظه‌های عمومی

پوشش‌های طبیعی (گیاهی) عملکردهای زیر را دارا می‌باشند:

- کندی سرعت جریان در سطح خاک سواحل رودخانه و جلوگیری از فرسایش مصالح خاکی ناشی از جریان و همچنین حفاظت از خاک زیرین
- مسلح نمودن خاک با ریشه‌های گیاه و بالابردن مقاومت خاک زیرین
- قلاب نمودن پوشش گیاهی به وسیله ریشه‌ها به خاک زیرین
- جلوگیری از حرکت توده‌های خاک

به این نکته در هنگام طراحی باید توجه کرد که حفاظت‌های طبیعی، بر حسب نوعشان ممکن است به چندین فصل جهت رشد کافی نیاز داشته باشند تا به استاندارد لازم حفاظتی برسند. همچنین در استفاده از این روش باید تعامل روش حفاظتی با محیط‌زیست در نظر گرفته شود. در انتخاب گیاهان برای حفاظت سواحل باید به این مساله توجه شود تا گیاهان انتخابی با گونه‌های محلی سازگار باشد و یا جلوی رشد و نمو گیاهان محلی را نگیرد.

روش‌های طراحی بیش‌تر براساس تجربیات اجرایی و قضاوت‌های مهندسی می‌باشد و کارایی این نوع پوشش، بیش‌تر تحت تاثیر مدیریت دقیق در مرحله اجرا و در مراحل اولیه رشد گیاهان است. هنگام استفاده از روش‌های طبیعی (گیاهی) حتما باید از نقطه نظرهای متخصص‌های مرتبط استفاده کرد.

به‌طور کلی گیاهانی که به این منظور استفاده می‌شوند گیاهان آبی، علف، درختچه‌ها و درخت‌ها می‌باشند. هنگام انتخاب نوع پوشش گیاهی باید موارد مربوط به نگهداری و هزینه‌های اجرایی و همچنین میزان مدیریت، مد نظر قرار گیرد. همچنین باید خاک مورد نیاز جهت رشد گیاهان تامین شود. مناسب بودن نوع خاک می‌تواند با آزمایش آن مشخص گردد. ضخامت لایه خاک لازم برای رشد گیاه و ریشه، معمولا حداقل ۵/۰ متر در نظر گرفته می‌شود. باید توجه نمود که ملزومات رشد گیاه مانند تراکم پایین خاک، ممکن است با موارد ژئوتکنیکی خاک برای تامین پایداری و مقاومت خاک زیرین مغایرت داشته باشد.

آماده بودن سطح پوشش، اجرای پوشش‌های گیاهی را تسهیل می‌نماید. این عمل با تنظیم کردن شیب پوشش و تیغ زدن یا شیار زدن (جهت جلوگیری از تراکم زیاد خاک)، تامین سطح توپوگرافی مناسب در ساحل رودخانه و کنترل فرسایش در کوتاه مدت تا زمان اجرای پوشش، صورت می‌گیرد.

در مواقعی که خاک سطحی بر روی خاک زیرین قرار داده می‌شود، به خصوص در سواحل شیب‌دار، باید خاک زیرین تیغ و شیار زده شود تا انتقال آب بین سطح مشترک به خوبی صورت گیرد. این کار به ریشه گیاه کمک می‌کند تا درون خاک زیرین نفوذ کند. در شیب‌های تند ممکن است لازم شود از ماشین‌آلات خاک‌برداری با بازوی بلند و دندان‌دار برای شکافتن سطح استفاده شود.

بر حسب نوع گیاه و شرایط، کاشتن گیاهان به روش‌های سوراخ کردن و قراردادن به صورت مستقیم، پخش کردن دانه‌ها در سطح خاک و ... صورت می‌گیرد. همچنین از گیاهان پیش‌رشد یافته و یا پیوند زده شده نیز استفاده می‌گردد.

هنگام طراحی باید این نکته را مد نظر قرار داد که اجرای پوشش‌های گیاهی یک فعالیت فصلی است، و احتمال دارد شرایطی ایجاد شود که پیشرفت عملیات، طبق برنامه‌ریزی و در فصل مورد نظر انجام نگیرد. توصیه می‌شود مسوولیت اجرا و بازرسی و

مراقبت‌های بعدی به یک سازمان داده شود. پوشش‌های گیاهی معمولاً به‌عنوان یک حفاظت مرکب در بالای پوشش‌های دیگر و دیوارها جهت حفاظت در برابر امواج یا جریان آب به کار می‌رود.

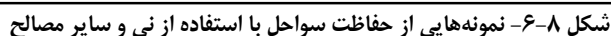
۸-۱۶-۲- استفاده از نیزارها

گیاه نی با کاهش انرژی جریان، ظرفیت حمل رسوب را کاهش داده و سبب ایجاد جزایر رسوبی و لجن می‌شود. البته هنگام استفاده از نی باید به این مساله توجه کرد که این نوع گیاه در محدوده زیادی از عرض مجرا گسترش نیابد و در نتیجه باعث مسدود شدن جریان در آبراهه نگردد. این نوع پوشش در اثر فرسایش خاک و از دست رفتن خاک اطراف ساقه‌ها (به‌عنوان مثال در اثر حرکت قایق‌ها) ضعیف می‌گردد. نی‌ها را جهت استفاده می‌توان به راحتی توسط یک بیل دستی از نزدیک‌ترین منبع محلی مانند یک تالاب، دریاچه و یا حتی کنار رودخانه تامین کرد. توصیه می‌شود نی‌های برداشت شده تا حداکثر یک هفته پس از جدا نمودن از زمین، به فواصل ۰/۵ تا یک متر از هم کاشته شوند.

پوشش نی بیش‌تر برای جریان‌های متوسط و کم و خاک‌های رس و سیلت‌دار مناسب می‌باشد. عمق آب حدود ۰/۵ و تا حداکثر یک متر می‌باشد (در محل کاشت نی). از این پوشش (نی) به‌صورت مرکب با سایر مصالح نیز استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال نی‌ها در کیسه‌های پارچه‌ای و یا سبدهای تورسنگی کاشته می‌شوند و بر روی سطوح شیب‌دار با ایجاد یک برآمدگی و یا قلاب کردن کیسه‌ها به زمین، قرار داده می‌شوند. همچنین در صورت جریان آب و عمق زیاد آب، ساحل و پنجه آن با پوشش سنگ‌چین، لایه‌های ژئوتکستایل و یا شمع‌های عمودی حفاظت شده و حدود ۰/۵ تا یک متر باقی‌مانده تا سطح آب با پوشش نی محافظت می‌گردد. شکل (۸-۶)، نمونه‌هایی از حفاظت سواحل با استفاده از نی و سایر مصالح را نشان می‌دهد.

۸-۱۶-۳- استفاده از درخت‌ها و درختچه‌ها

انواع محدودی از درخت‌ها در برابر جریان آب مقاوم هستند و می‌توان از آنها جهت حفاظت کناره‌ها استفاده کرد. گونه‌های بید، سپیدار و توسکا از انواع مقاوم در برابر جریان آب هستند. در صورتی که ساختار ریشه درخت محکم و متراکم باشد می‌تواند علاوه بر ایجاد حفاظت کناره، با مسلح نمودن خاک، پایداری کناره را هم افزایش دهد. از آنجایی که درخت‌های بید و سپیدار را می‌توان از طریق برش شاخه‌ها توسعه داد، برای این منظور مناسب‌تر می‌باشند. درخت‌هایی که در برابر آب مقاوم نیستند، عملکرد مناسب و مستقیمی در حفاظت کناره‌ها ندارند. ریشه‌های چنین درخت‌هایی تا تراز مشخصی نسبت به سطح آب رشد می‌کنند و دارای عمق کافی نیستند و هر چه بیش‌تر رشد می‌کنند در برابر وزش باد و طوفان و جریان‌های شدید، آسیب‌پذیرتر می‌گردند. در صورت امکان جهت ایجاد دسترسی به آبراهه می‌توان درخت‌ها را به‌صورت گروهی کاشت و بین آنها راه دسترسی قرار داد. در صورتی که درخت‌ها تشکیل یک دیوار ممتد بدهند، این کار از کناره دیگر صورت گیرد.

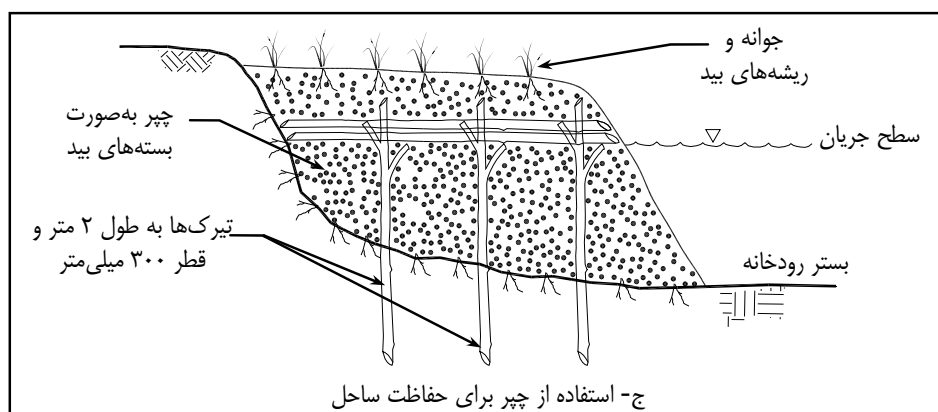
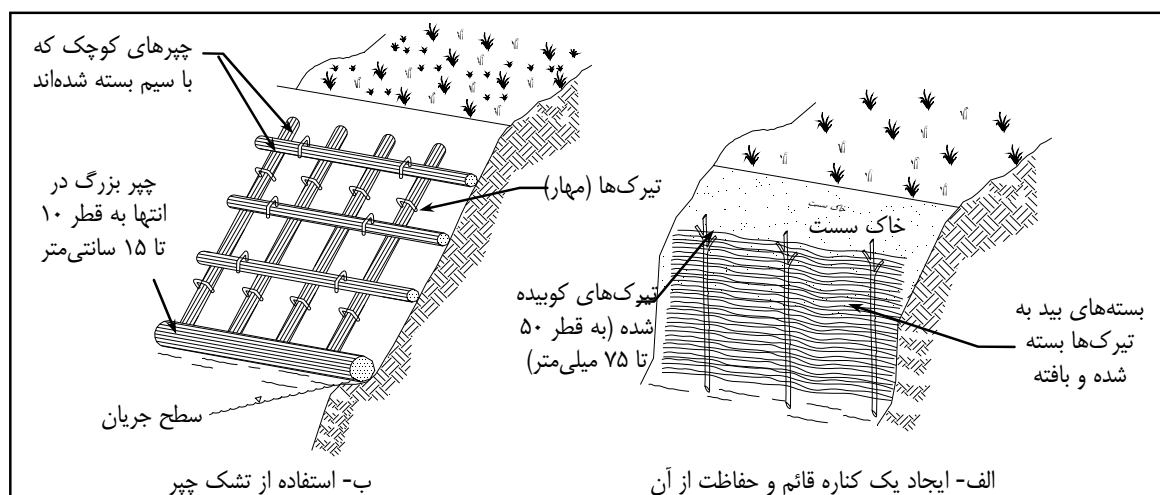


جهت حفاظت کناره از چپر نیز استفاده می‌گردد. چپر، دسته‌هایی از بوته و شاخه‌هایی است که به هم بسته شده‌اند. این‌گونه پوشش بیش‌تر برای کناره‌های پست و کم ارتفاع، به‌منظور جلوگیری از فرسایش ناشی از حرکت قایق و یا سرعت جریان آب، استفاده می‌گردد. دسته‌های بید سبزی با سیم به هم بسته شده و به‌وسیله سنگ آنها را در قسمت سطح پایین آب قرار می‌دهند و چپرهای کوچک‌تر را در بالای آن به‌صورت شبکه‌های عمود بر هم تا بالای ساحل ادامه می‌دهند و به‌وسیله قلاب‌هایی، چپر را به سطح زمین مهار می‌کنند. قطر چپرهای با سیم بسته شده معمولاً ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. چپر را برای ایجاد یک کناره قائم و

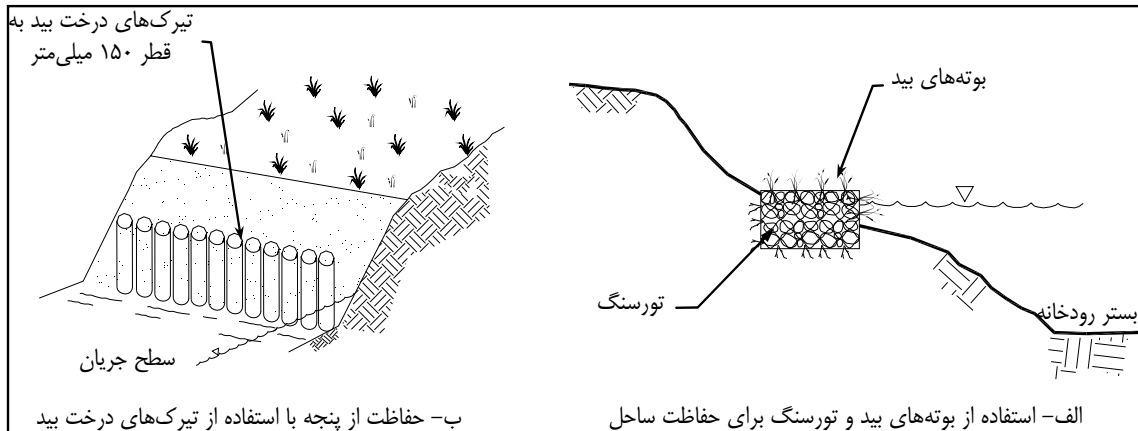
حفاظت از آن هم به کار برده می‌شوند. این کار با بستن چپرها (بسته‌های بید) به تیرک‌های کوبیده شده در زمین (معمولاً تیرک‌های به قطر ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متری از درخت بید)، صورت می‌گیرد. بوته‌های بید در چپرها جوانه زده و با تولید ریشه، خاک را تثبیت و حفاظت می‌کند. شکل (۷-۸)، نمونه‌هایی از حفاظت سواحل با استفاده از چپر را نشان می‌دهد.

همانند نی‌ها می‌توان به صورت ترکیبی از بوته‌های بید کاشته شده در سبدهای تورسنگ، برای حفاظت استفاده کرد. همچنین از تیرک‌های درخت بید به قطر ۱۵۰ میلی‌متر به صورت ردیف کوبیده شده در پایین پنجه کناره استفاده می‌گردد.

برخلاف بید، نهال درخت توسکا باید با فاصله از لبه کناره کاشته شود. رشد درخت توسکا به سرعت رشد بید نیست و این فاصله تا ساحل رودخانه به دلیل فرسایش احتمالی تا زمان رشد کامل ریشه توسکا، باید به نحوی حفاظت گردد. ریشه توسکا قائم و مقاوم است و هنگامی که به رشد کافی برسد، حفاظت و تسلیح و مهار لازم را برای کناره، مهیا می‌کند. ارتفاع درخت توسکا ممکن است به مقدار زیادی افزایش یابد و بنابراین باید به صورت منظم و دوره‌ای کوتاه شود تا از رشد پوشش گیاهی آویزان به درخت که ممکن است اثر معکوس داشته باشد، جلوگیری شود. شکل (۸-۸)، نمونه‌هایی از حفاظت سواحل با استفاده از بوته‌ها و درختان بید را نشان می‌دهد.



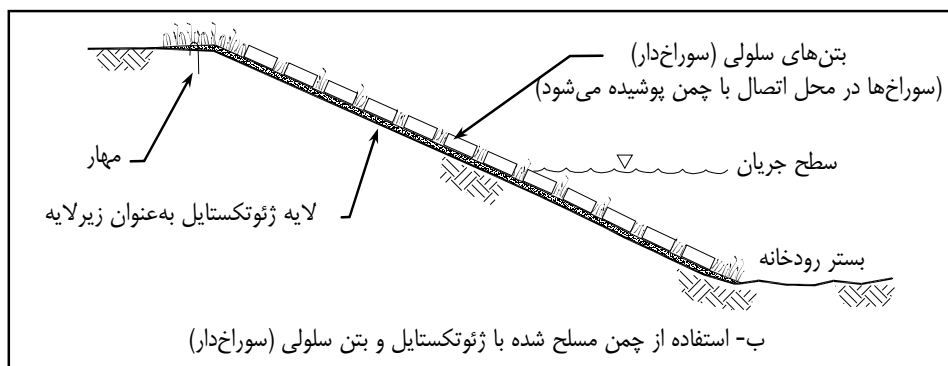
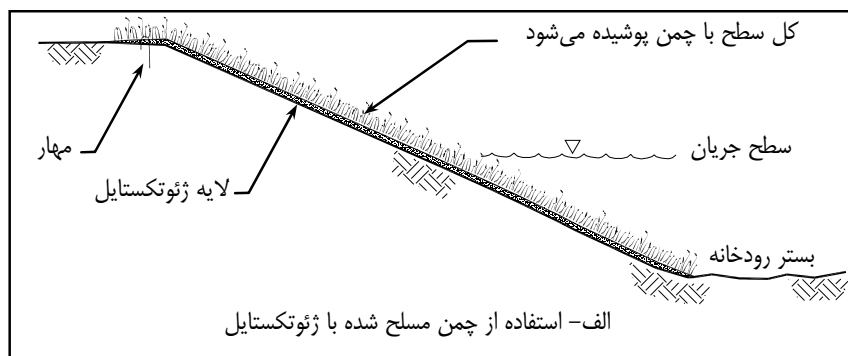
شکل ۸-۷- نمونه‌هایی از حفاظت سواحل با استفاده از چپر



شکل ۸-۸- نمونه‌هایی از حفاظت سواحل با استفاده از بوته‌ها و درختان بید

۸-۱۶-۴- استفاده از چمن

از چمن به صورت گسترده‌ای در حفاظت سواحل و کناره‌ها و در نواحی که ارتفاع آنها بالاتر از تراز نرمال سطح آب است استفاده می‌شود. ریشه چمن توانایی مستغرق بودن طولانی مدت را ندارد و به این موضوع هنگام طراحی باید توجه شود. برای تامین شرایط محیطی و ملزومات مدیریتی مربوط به طرح، می‌توان از گونه‌های مناسب و یا ترکیب مناسبی از روش‌های حفاظتی استفاده کرد. عملکرد اصلی چمن، مسلح نمودن کناره و نگهداشتن خاک است. چمنزار برای خاک، پوشش اصلاح شده‌ای را در برابر نیروی کششی جریان آب ایجاد می‌نماید. ساختار سطحی ریشه با خاک، ایجاد یک حصیر بزرگ و شبکه‌ای خاک-ریشه می‌کند که مقاومت خاک زیرین را در برابر فرسایش کنترل نموده و همچنین توسط ریشه‌های عمیق‌تر به خاک زیرین قلاب می‌شود. ممکن است به همراه چمن از ژئوتکستایل یا بتن مسلح سلولی (به صورت بلوک) استفاده گردد تا نوعی حفاظت مرکب ایجاد شود. فرسایش پوشش چمنی معمولاً توسط جریان آب، در اثر شسته شدن خاک اطراف گیاه روی می‌دهد و در نتیجه مهارشدگی گیاه به خاک، ضعیف شده و در نهایت گیاه توسط نیروی کشش جریان آب، از خاک جدا می‌شود. دسته‌های چمن که به صورت جداگانه قرار دارند و به صورت یکپارچه با بقیه پوشش چمنی نیستند ممکن است به علت در معرض بودن نیروهای کششی موضعی شدید، زودتر از بقیه قسمت‌ها دچار گسیختگی شوند. به طور کلی موثر بودن حفاظت به وسیله چمن در صورت وجود نواحی از کناره که فاقد پوشش گیاهی باشد (یا نسبت به بقیه سطح ضعیف‌تر باشد) به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. شکل (۸-۹)، نمونه‌هایی از حفاظت سواحل با استفاده از چمن را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۹- نمونه‌هایی از حفاظت سواحل با استفاده از چمن

۸-۱۶-۴-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

زبری هیدرولیکی یک سطح پوشیده شده از چمن، به ویژگی‌های فیزیکی چمن، مانند ارتفاع، سختی و تراکم و اثر متقابل آن با جریان آب بستگی دارد. سطح چمن با افزایش بده، صاف می‌شود و در نتیجه زبری هیدرولیکی کم می‌شود. هرچه ارتفاع چمن بلندتر باشد ضریب زبری بالاتر خواهد بود. همان‌طور که گفته شد، بده‌های بالاتر ایجاد زبری هیدرولیکی کم‌تری می‌کنند.

هنگام استفاده از پوشش چمنی باید یک پوشش کامل با اتصال مناسب آن بر روی سطح زمین داشته باشیم و از ایجاد بی‌نظمی‌های سطحی که باعث نیروهای کششی موضعی شدید می‌شود، اجتناب کرد. استفاده از پوشش چمنی بر روی خاک‌های با نفوذپذیری بالا مانند خاک‌های ماسه‌ای، مناسب نمی‌باشد. پوشش چمن مناسب، باید متراکم و به هم پیوسته باشد. چمنی که به تازگی کاشته شده باشد در اولین فصل رشد، پوشش نسبتاً ضعیفی می‌باشد.

مقاومت چمن در برابر فرسایش را می‌توان با استفاده از ژئوتکستایل افزایش داد. این عمل با استفاده از شبکه‌ها و پارچه‌های بافته شده به صورت دوبعدی، تشک‌های سه‌بعدی متشکل از مواد مصنوعی که پس از نصب با خاک سطحی پر می‌شود و تشک‌های سه‌بعدی متشکل از مواد مصنوعی که قبل از نصب با شن و قیر (آسفالت) پر می‌شوند، صورت می‌گیرد. همچنین می‌توان مقاومت در برابر فرسایش چمن را با استفاده از بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته که با کابل یا سیم به هم متصل شده‌اند و یا به صورت کام و زبانه در هم قفل و بست می‌شوند، افزایش داد. این کار با اجرای دال‌های بتنی مسلح درجا که به صورت واحدهای کوچک ریخته می‌شوند نیز صورت می‌گیرد.

در حالت استفاده از ژئوتکستایل، کل سطح خاک پوشیده شده و چمن کاری می‌گردد، به گونه‌ای که ریشه‌های سطحی چمن، ژئوتکستایل را مقید می‌کنند و یک تشک قوی و به هم پیوسته از ژئوتکستایل - خاک - ریشه ایجاد می‌گردد. در حالت استفاده از بتن، قسمت بتنی نقش اصلی حفاظت را تأمین می‌نماید و چمن نیز به عنوان مهارکننده بلوک‌های بتنی به خاک زیرین و نقش قفل و بست بین بلوک‌ها را دارا است. معمولاً به همراه بتن مسلح، یک زیرلایه از جنس ژئوتکستایل نیز استفاده می‌شود که عملکرد مسلح نمودن ریشه را دارد و در زیر بتن ایجاد یک حفاظت ثانویه در برابر فرسایش را می‌نماید.

هنگام استفاده از ژئوتکستایل، هرچه منافذ موجود در ژئوتکستایل کوچک‌تر باشد مقاومت آن در برابر فرسایش بیش‌تر می‌باشد. البته باید توجه داشت که اندازه منافذ نباید به اندازه‌ای کوچک باشد که از رشد گیاهان درون ژئوتکستایل جلوگیری کند و یا مانع آزاد شدن فشار آب در پشت ژئوتکستایل شود (حداقل ابعاد منافذ ۰/۵ میلی‌متر توصیه می‌شود).

میزان تراکم در پاشیدن بذر چمن اهمیت زیادی دارد. در صورتی که میزان تراکم پایین باشد، پوشش چمن سریع‌تر ایجاد می‌شود. اما چمن ضعیف بوده و در مقابل آفات آسیب‌پذیر می‌باشد. همچنین توزیع نامساوی در پخش بذر چمن در برخی قسمت‌ها باعث ایجاد پوشش‌های خالی شده که بسیار مستعد فرسایش می‌باشد.

قبل از پاشیدن بذر، سطح خاک باید آماده شود. هنگامی که ارتفاع کناره کم است و سطح کافی برای کاشت موجود است، بهترین روش کاشت، روش سوراخ کردن خاک می‌باشد. این روش در شیب‌های بیش‌تر از یک عمودی به ۴ افقی دشوار است اما باعث ایجاد یک توزیع یکنواخت می‌گردد و پس از پوشیده شدن بذر با خاک، خطر شسته شدن آن با آب وجود ندارد. البته در این روش، آسیب‌پذیری بذر در مقابل خشکسالی بسیار بالا می‌رود. در سواحلی که شیب بیش‌تر از یک عمودی به ۲/۵ افقی است از روش انتشار یا پخش استفاده شده و سعی می‌گردد تا آن‌جا که مقدور است بذر به صورت یکنواخت و مساوی پخش شود (به صورت دستی یا با ماشین‌آلات). در روش انتشار، بذر در مقابل باد یا جریان آب به راحتی جابجا می‌شود و باید روی بذر با لایه‌ای از خاک یا کود گیاهی پوشیده شود. برای شیب‌های تند، بذر با استفاده از یک پمپ آب با فشار بالا پاشیده می‌شود (هیدروسیدینگ) که البته پرهزینه و مشکل است و برای جاهایی که امکان دسترسی وجود ندارد، استفاده می‌گردد. مخلوط پاشیده شده شامل خاک، مواد معدنی و کود گیاهی است. در کودهای گیاهی ممکن است یک چسب شیمیایی یا قیر استفاده گردد تا بذر و کود به سطح آماده شده بچسبد و تا موقع رویش بذر، کود ضمن حفاظت از شیب مواد معدنی لازم را برای چمن فراهم کند.

در صورت استفاده از ژئوتکستایل، بذر چمن معمولاً بر روی لایه نازکی از خاک (حداکثر ۲۰ میلی‌متر) روی ژئوتکستایل کاشته می‌شود. هرچه خاک کم‌تری روی ژئوتکستایل باشد ریشه‌ها، رشد بیش‌تری در زیر ژئوتکستایل می‌کنند. در صورتی که بذرها زیر ژئوتکستایل کاشته شود، ممکن است فشار گیاه چمن، باعث بلند شدن ژئوتکستایل شود. در شیب‌های تند به علت عدم وجود چسبندگی لازم بین ژئوتکستایل و لایه کود گیاهی، استفاده از پاشیدن بذر با پمپ با فشار بالا نامطلوب است.

در حالت استفاده از بلوک‌های بتنی سلولی، توصیه می‌شود سلول‌های بتنی تا حدود ۲۵ میلی‌متر از بالای بتن، از خاک پر شوند و بذرها را قبل از پر کردن سطح لایه با خاک، در محل خود قرار داد.

به طور کلی بذر چمن باید در خاک گرم و مرطوب کاشته شود. پس از کاشت چمن، به منظور جلوگیری از صدمه زدن توسط گوسفندان و عبور و مرور انسان‌ها تا هنگام رویش، محدوده فنس‌کشی شده و گاهی اوقات ممکن است فنس‌کشی به صورت دائمی صورت گیرد. چمن‌زنی و هرس باید به صورت منظم و دوره‌ای صورت گیرد که باعث می‌گردد پوشش چمنی متراکم و یکدست داشته

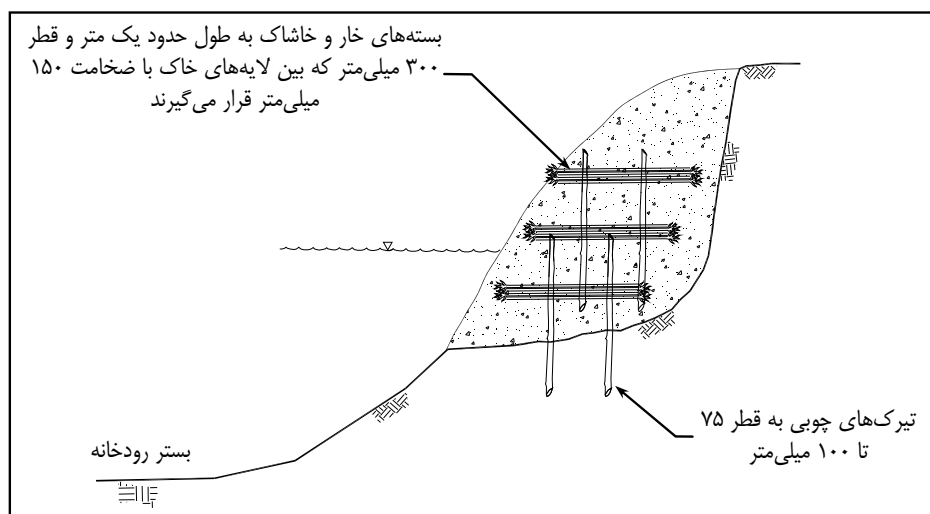
باشیم. به لحاظ حفاظتی در مقابل فرسایش، چمن را هنگامی که بیش از ۱۵۰ میلی‌متر رشد کرده باشد، هرس کرده و توصیه می‌شود طوری کوتاه نگردد تا از ۵۰ میلی‌متر کوتاه‌تر شود.

۸-۱۶-۵- استفاده از مصالح چوبی و الوار

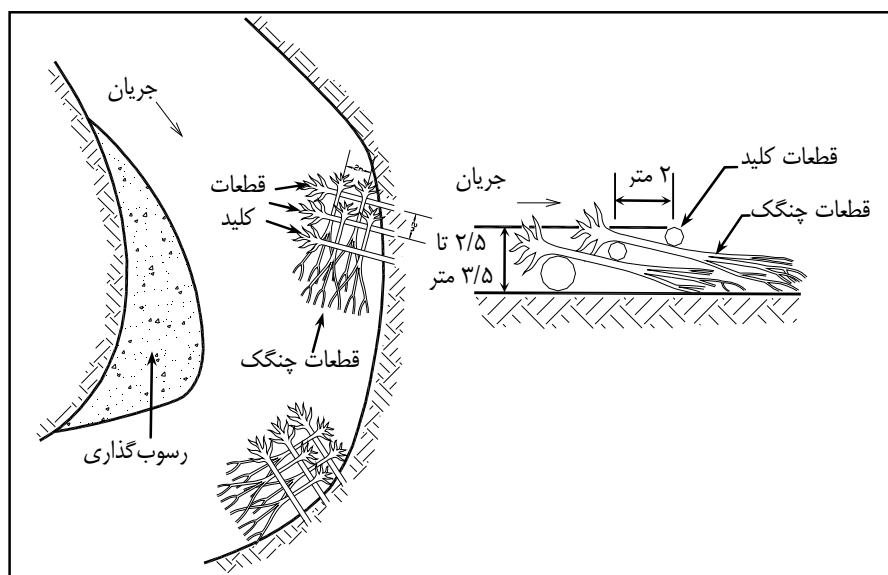
از چوب‌های سفت طبیعی مانند بلوط و نارون جهت حفاظت کناره استفاده می‌شود. مصالح چوبی در زیر آب تا حدود ۵ تا ۱۰ سال عملکرد حفاظتی خود را ایفا می‌کنند و در بیرون آب عمر آنها بیش‌تر می‌باشد. بدترین محیط برای الوار محدوده‌ای است که دایما خشک و تر می‌شود (در حدود تراز نرمال آب).

از شاخه‌ها و قطعه‌های هرس و بریده شده درخت بلوط که با سیم به هم بسته شده‌اند، مشابه روش به‌کار رفته در مورد درختچه‌های بید، می‌توان جهت حفاظت کناره‌ها در مقابل فرسایش استفاده کرد. اما در این حالت شاخه‌ها و قطعه‌ها، جوانه نخواهند زد. همچنین از خار و خاشاک تیغ‌دار نیز که از داخل مزارع اطراف کناره رودخانه هرس شده، به‌منظور مسلح نمودن خاک و زهکشی استفاده می‌گردد. خار و خاشاک را که حدود یک متر طول و ۳۰۰ میلی‌متر قطر دارند با طناب به هم می‌بندند و بر خلاف دسته‌های بید، به‌صورت عمود بر ساحل قرار می‌دهند (در ضخامت‌های ثابت ۱ تا ۳ متری). هر لایه با حدود ۱۵۰ میلی‌متر خاک، پوشیده شده و سپس لایه بعدی روی آن قرار می‌گیرد. هر سه لایه با یک تیرک چوبی به قطر ۷۵ تا ۱۰۰ میلی‌متر و به طول ۵۰۰ میلی‌متر به هم محکم می‌گردند.

از پرچین‌ها به‌صورت سنتی برای حفاظت موقت کناره تا هنگامی که حفاظت دائمی توسط گیاهان ایجاد شود، استفاده می‌گردد. معمولاً پرچین‌ها از نهال درخت‌ها در قطعه‌های به‌طول ۱/۸ متری و ارتفاع متغیر ۱/۲ تا ۱/۸ متر تهیه می‌گردند. از آن‌جایی که پرچین‌ها دایما خشک و تر می‌شوند، دوام محدودی دارند اما ارزان و موثر می‌باشند و به لحاظ زیست محیطی قابل قبول می‌باشند. پرچین‌ها با میخ چوبی یا با تسمه‌های فولادی سبک، به کناره شیب‌دار بسته می‌شوند. شکل (۸-۱۰)، استفاده از خار و خاشاک به‌منظور مسلح نمودن خاک و زهکشی را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۸-۱۱)، نمونه‌ای از استفاده مصالح و نخاله‌های چوبی جهت حفاظت از کناره ارائه گردیده است.



شکل ۸-۱۰- استفاده از خار و خاشاک به‌منظور مسلح نمودن خاک و زهکشی



شکل ۸-۱۱- نمونه‌ای از استفاده مصالح و نخاله‌های چوبی جهت حفاظت از کناره

۸-۱۶-۶- توصیه‌های عمومی

- توصیه می‌شود پوشش‌های گیاهی در مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالا مورد استفاده قرار نگیرند. در هر صورت باید اثرهای پوشش گیاهی بر ضریب زبری و میزان افزایش رقوم آب مورد بررسی قرار گیرد.
- کاشت گیاه باید در زمانی صورت پذیرد که سواحل دچار فرسایش نشده، تا پوشش گیاهی به اندازه کافی رشد نموده و استقرار یابد.
- گیاهان علفی زمان کم‌تری برای رشد اولیه و استقرار و تثبیت دیواره نیاز دارند و برای رودخانه‌هایی که به‌طور مشخص فصول خشک و تر دارند، توصیه می‌شوند.
- پوشش گیاهی چمنی برای سطح دیواره میانی؛ یعنی حد فاصل سطح متوسط کم آبی تا سطح متوسط میانگین، توصیه می‌شود.
- گیاهان آبی برای سواحل و رقوم ارتفاعی توصیه می‌شوند که دایما در آب مستغرق می‌باشند.
- برای حفاظت بخش مرتفع سواحل (سطحی که در مواقع سیلابی به‌طور موقت غرقاب می‌شود) کاشت درخت با ریشه عمیق و قائم توصیه می‌شود.
- خاک محل کشت پوشش گیاهی نباید از نوع خاک‌های سنگین و چسبنده باشد. به علاوه خاک‌های ماسه‌ای و غیرچسبنده نیز نباید مورد استفاده قرار گیرند.
- در صورت افزودن خاک سطحی زراعی به ضخامت ۵ الی ۱۰ سانتی‌متر، توصیه می‌شود روی این دیواره با غلتک سبک تثبیت شود.
- پس از تثبیت کناره‌ها با استفاده از پوشش گیاهی، برای جلوگیری از وارد آمدن صدمه به نهال‌ها، روش‌های زیر توصیه می‌گردند:

- پوشانیدن نهال با پلاستیک تا ارتفاع ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر از سطح زمین
- حصارکشی در اطراف پهنه نهال کاری شده
- پوشانیدن ساقه نهال ها با کلش و بقایای گیاهی و یا با شن و ماسه ریز تا ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر از سطح زمین

۸-۱۷- روش های چوبی

این نوع روش ها از تیرهای چوبی، الیاف گیاهی یا الوار ساخته شده و برحسب نوع مصالح به کار رفته با روش های مختلفی نظیر بافتن، بستن با کابل یا طناب، متصل کردن، مقید کردن با گیره و یا میخ کوب کردن، به کار برده می شوند.

روش های چوبی به وسیله مصالح سنگی و یا سایر مصالح سنگین بر روی ساحل نشانیده و مستغرق می شوند. این روش در صورتی که شرایط طرح اجازه دهد و مصالح چوبی در دسترس باشد، هزینه کمی دربر دارد. مصالح چوبی در صورت غرقاب شدن های مکرر، مقاوم و بادوام است. البته در بلندمدت باعث پوسیدگی آن می شود. طراحی و ساخت این نوع پوشش، پیچیده می باشد و جهت اجرا، دقت و تخصص کافی نیاز دارد.

در شرایطی که عمق و سرعت جریان زیاد است و یا جریان دارای حجم زیاد مواد معلق و رسوب ها است، عملیات اجرایی سخت است. در صورت وجود نیروهای فرسایشی بالا، ضخامت بیش تری مورد نیاز است و ضخامت زیاد نیز باعث کاهش انعطاف پذیری می شود.

حفاظت پنجه در این روش به راحتی میسر نمی باشد. همچنین اتصال ها و بندهای اتصال بر اثر خوردگی و ساییدگی و فرسودگی از بین می روند. در هنگام جاسازی و چیدن قطعه ها، توصیه می شود قطعه ها از پایین دست به سمت بالادست چیده شده به طوری که ردیف های پایین دست بر روی ردیف های بالادست قرار داده شوند تا بدین ترتیب ردیف های بالادست با جریان جابجا نشوند. سطح اجرا شده روش های چوبی باید صاف و بدون ناهمواری باشد و از هرگونه ناهمواری که موجب عدم اتصال مناسب سازه با بستر شود، اجتناب کرد.

۸-۱۸- روش با تایرها و لاستیک های چرخ

در این روش معمولاً از لاستیک های با شکل حلقوی استفاده می شود. البته لاستیک های نصف شده (نیم حلقوی) و یا آسیب دیده، گاهی اوقات مورد استفاده قرار می گیرد. لاستیک ها معمولاً با هزینه کم در دسترس می باشند. هنگام استفاده از این روش ملاحظه های زیست محیطی باید مد نظر قرار گرفته شده و در صورت عدم تامین ضوابط زیست محیطی، این روش نباید مورد استفاده قرار گیرد. این نوع پوشش ظاهر مناسب و زیبایی نداشته و در مناطق شهری کاربرد زیادی ندارد.

روش های لاستیکی برای شرایط سخت و جریان های شدید مناسب نمی باشد مگر این که چندین لایه لاستیک استفاده شود که هزینه را بالا می برد. نیروهای هیدرولیکی، عوامل خراب کارانه و سرقت، مواردی هستند که پوشش های لاستیکی مستعمل را قبل از رویش گیاهان و تثبیت، در معرض خطر قرار می دهند.

پس از اجرا، روی لاستیک ها با خاک پوشانده می شود و برای قسمت های بالایی دیوار از لاستیک های بریده شده یا سوخته شده استفاده می گردد. همچنین لاستیک ها به وسیله مهار به زمین محکم می گردند.

برای جریان‌های متوسط و شرایطی که فرسایش کمی در پنجه ساحل مشاهده می‌شود، توصیه می‌گردد ردیف‌های بالایی لاستیک‌ها با بتن پر شوند. قطر لاستیک‌ها نباید نسبت به هم زیاد متغیر باشد. زیرا در صورت استفاده از لاستیک‌های با قطرهای متفاوت، اتصال و پیوستگی آنها مشکل می‌باشد.

توصیه می‌شود در صورت امکان پس از نصب لاستیک‌ها، روی آنها خاکریزی شده و جهت افزایش پایداری و ثبات و ایجاد ظاهر مناسب و زیبا، پوشش گیاهی بر روی آنها در نظر گرفته شود.

۸-۱۹- نخاله‌های فلزی

در بعضی مواقع به دلیل در دسترس بودن، کم هزینه بودن و نیز سهولت اجرا، از نخاله‌های فلزی جهت حفاظت سواحل استفاده می‌شود. نخاله‌های فلزی کیفیت آب را تحت تاثیر قرار می‌دهند و آثار زیست محیطی آنها باید در نظر گرفته شوند. این نوع مصالح می‌تواند دچار خوردگی شوند و همچنین احتمال برداشتن قطعه‌ها فلزی از سطح پوشش، توسط افراد وجود دارد.

۸-۲۰- استفاده از ملات قیری در پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی

از ملات قیری، جهت قفل و بست انواع پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی از قبیل پوشش‌های سنگ‌چین، سنگ‌فرش‌های دستی، تورسنگ، بلوک‌های بتنی و غیره استفاده می‌شود. انعطاف‌پذیری این مصالح نسبت به پوشش‌هایی که از ملات سیمان استفاده می‌کنند، بیش‌تر است.

کاربرد ملات قیری شامل موارد زیر می‌باشد:

- پر کردن شکاف‌ها و درزهای لایه محافظ به‌صورت کامل، تا یک لایه محافظ کاملاً نفوذناپذیر به‌دست آید.
 - پوشانیدن سطح به‌صورت یکنواخت اما نه در حدی که نفوذ در عمق‌های زیاد رخ دهد، به گونه‌ای که لایه محافظ کاملاً پر نشود و تا حدی لایه محافظ نفوذناپذیر وجود داشته باشد.
 - استفاده از ملات قیری فقط در سطح لایه به گونه‌ای که فقط بعضی قسمت‌های رویی، ملات‌کاری شوند.
- دمای ملات قیری در هنگام مصرف بین ۱۰۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. سنگ یا بتنی که قرار است ملات‌کاری شود باید تمیز بوده و بهتر است پیش از اجرا خشک باشد. عملیات قفل و بست و ملات‌کاری توسط ماشین‌آلات و به‌صورت دستی اجرا می‌گردد. اجرای ملات قیری را می‌توان با ابزارآلات مخصوص در زیر آب هم انجام داد. در هنگام استفاده از ملات قیری در سواحل شیب‌دار باید دقت شود که از پایین شیب بیرون نریزد. اجرای قفل و بست در شیب‌های بیش‌تر از یک عمودی به ۲ افقی، به سختی صورت می‌گیرد. در صورتی که لایه محافظ ژئوتکستایل و مصالح حساس و آسیب‌پذیر باشند، باید دقت نمود آسیبی به ژئوتکستایل یا دیگر اجزای زیرلایه نرسد.

فصل ۹

سازه‌های تور سنگی

۹-۱- کلیات

تورسنگ (گابیون) سازه‌ای است انعطاف‌پذیر که از دو نوع مصالح اصلی شامل تورهای بافته شده با چشمه‌های شش ضلعی و مصالح سنگی درشت‌دانه تشکیل یافته است. انعطاف‌پذیری تورسنگ سبب می‌شود تا سازه، نشست‌های قابل ملاحظه‌ای را بدون شکستگی و گسیختگی تحمل نماید. همچنین به علت قابلیت تراوایی تورسنگ در سال‌های اولیه بهره‌برداری، آب از آن گذر کرده و فشار هیدرواستاتیکی در پشت سازه تورسنگ به میزان چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

تورسنگ‌ها با توجه به کاربردها در اشکال مختلفی ساخته شده و در زمینه‌های گوناگونی از کارهای مهندسی رودخانه کاربرد دارند. موارد اصلی کاربرد تورسنگ عبارتند از:

- حفاظت دیواره‌های ساحلی رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، دریاها و خاکریزها
- احداث بندهای رسوبگیر و سرریزها به منظور حفاظت سازه‌های دیگر، انحراف آب، تنظیم سطح آب جهت آبیاری، تشکیل حوضچه‌های ذخیره‌ای و دریاچه‌های مصنوعی
- احداث باله‌های حفاظتی (اپی‌ها) جهت کنترل مسیر جریان و حفاظت سواحل
- پوشش آبراهه‌ها، زهکش‌ها و چشمه‌ها
- احداث دیواره‌ها به منظور حفاظت سواحل در مقابل فرسایش و تثبیت خاکریزها
- حفاظت پایه‌های پل و کناره‌های سواحل در مقابل آبشستگی
- حفاظت بستر در پایین‌دست سازه‌های تقاطعی و تاسیسات آبیاری با رودخانه‌ها

۹-۲- مشخصات کلی و اشکال تورسنگ

تورسنگ‌ها در اشکال جعبه‌ای، تشکی، کیسه‌ای و یا به صورت توری محافظ مورد استفاده قرار می‌گیرند. تورسنگ‌های جعبه‌ای به صورت مکعب مستطیل ساده شش وجهی و یا تقویت شده با دیافراگم‌های میانی از شبکه توری بافته شده با سیم‌های گالوانیزه، ساخته می‌شوند. این سبد مستطیل شکل با سنگ‌های رودخانه‌ای گردگوشه و یا سنگ شکسته معدن با ابعاد مناسب پر می‌گردد.

تورسنگ جعبه‌ای، معمولاً به ارتفاع ۰/۵ تا یک متر، عرض یک متر و طول ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ متر می‌باشد. توری‌های تورسنگ را معمولاً در کارخانه به صورت شبکه‌های مستوی تا شده ساخته و به صورت بسته‌هایی به محل کار حمل می‌کنند و در پای کار، سبدها را باز نموده، کناره‌های آنها را با سیم بسته و درون آنها را با مصالح سنگی پر می‌کنند.

تورسنگ‌های تشکی، دارای عمق کوچکی نسبت به طول و عرض خود می‌باشند. این تورسنگ از چند خانه (کندو) که توسط دیافراگم‌های عرضی از یکدیگر جدا شده‌اند، تشکیل یافته و معمولاً از شبکه‌های سیمی شش ضلعی ساخته می‌شوند. یک واحد تورسنگ تشکی، دارای ابعادی در حدود ارتفاع ۰/۱۵ تا ۰/۵ متر، عرض ۲ متر و طول ۳، ۴، ۵ و ۶ متر و دارای ۲ تا ۶ خانه یا کندو می‌باشند. در مواردی که باید تشک تورسنگی در شرایط نامطلوب به کار رود، سیم‌های توری، علاوه بر پوشش گالوانیزه دارای پوشش حفاظتی پی‌وی‌سی (PVC) نیز می‌باشند.

تورسنگ کیسه‌ای، شبکه‌ای تک‌لایه به‌صورت استوانه‌ای سرباز و به شکل کیسه از شبکه توری و پوشش گالوانیزه می‌باشد. این نوع تورسنگ به‌صورت منفرد و لوله‌ای ساخته شده و در کنار هم و بر روی شیب سواحل قرار داده می‌شوند. تورسنگ کیسه‌ای یا لوله‌ای کاربرد چندانی نداشته و زیاد متداول نیست.

تورهای حفاظ جهت جلوگیری از ریزش سنگ از کوه‌ها و دامنه‌ها به این صورت به کار می‌رود که بر روی سطوح، گسترده شده و به‌وسیله میل مهارهایی به سطح مورد نظر دوخته می‌شوند. این توری‌های حفاظتی دارای ویژگی‌هایی همانند تورسنگ‌های جعبه‌ای و تشکی می‌باشند.

۹-۳- مصالح اصلی

هر سازه تورسنگ، متشکل از دو نوع مصالح اصلی است که عبارتند از شبکه توری فلزی و مصالح سنگی که در درون قفسه فلزی جای می‌گیرند. مشخصات و ویژگی‌های مصالح باید مطابق با استاندارد مربوط و نقشه‌های اجرایی و طبق نظر دستگاه نظارت و رعایت مندرج‌های این بخش باشد.

۹-۳-۱- شبکه فلزی

شبکه فلزی به کار رفته در تورسنگ، یک توری دو یا سه بار بافته شده (سه پیچه) با چشمه‌های شش ضلعی می‌باشد که سطح آن برای جلوگیری از زنگ‌زدگی و خوردگی، با پوشش‌های پلاستیکی از جمله پی‌وی‌سی (PVC) و یا گالوانیزه محافظت می‌شود. توری مورد استفاده در تورسنگ از سیم‌های فلزی به قطر حدود ۳ میلی‌متر است که با پیچاندن هر جفت سیم (به اندازه سه دور پیچ) شکل می‌گیرد. اندازه چشمه‌های توری بنا بر مشخصات کارخانه و نیاز طراحی مشخص می‌گردد. به هر حال حداکثر بعد چشمه‌های تورسنگی (قطری)، ۱۰ سانتی‌متر و حداقل قطر سیم‌ها، ۳ میلی‌متر می‌باشد.

سیم‌های به کار رفته جهت مهار و دوخت قفسه‌های فلزی و پوشش روی سیم‌های فولادی باید براساس استاندارد مربوط و نیازهای مرتبط با کاربرد تورسنگ باشد. قابل ذکر است مشخصات تمامی مصالح مصرفی مخصوصاً سیم‌های فلزی و پوشش مورد استفاده باید توسط کارخانه سازنده تحویل داده شده و پس از تصویب دستگاه نظارت مورد استفاده قرار گیرد.

کلیه لبه‌ها، دیافراگم‌ها و وجوه انتهایی تورسنگ‌ها، باید دارای قاب تقویتی کناری باشند که از باز شدن توری جلوگیری نموده و مقاومت و تاب مکانیکی شبکه را تامین نماید. قطر سیم فولادی که برای قاب‌بندی شبکه فلزی به کار می‌رود، باید بیش‌تر از قطر سیم متشکله توری باشد.

در موارد ضروری که املاح موجود در آب و خاک زیاد می‌باشد، برای محافظت ویژه، سیم‌های گالوانیزه باید با پوشش پی‌وی‌سی (PVC) حفاظت شوند. ضخامت پوشش پی‌وی‌سی نباید از ۰/۴ میلی‌متر کمتر باشد و پوشش پی‌وی‌سی باید بتواند اثرات مخرب ناشی از شرایط جوی و آب شور را تحمل کند و خواص ماده‌ای آن نسبت به ترکیب اولیه‌اش تغییر چندانی ننماید. خواص و مشخصات عمومی پی‌وی‌سی باید منطبق بر آیین‌نامه ASTM یا BS باشد.

۹-۳-۲- مصالح سنگی

مصالح سنگی به کار رفته در تورسنگ، باید دارای دوام کافی و بدون ترک باشد. همچنین از لحاظ تجزیه‌ناپذیری، تاب مکانیکی، وزن و دیگر خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب باشد تا سازه تورسنگ کارایی لازم را داشته باشد. به‌طور کلی مشخصات و ویژگی‌های مصالح سنگی باید مطابق با مطالب فصل دوم این نشریه باشد.

سنگ‌های مصرفی در تورسنگ بهتر است از نوع سنگ لاشه و تیز گوشه باشند. ولی در صورت ضرورت، استفاده از سنگ‌های گرد گوشه^۱ رودخانه‌ای شکسته شده نیز بلامانع است. کوچک‌ترین بعد سنگ‌ها حداقل باید ۱/۵ برابر ابعاد (قطر) چشمه‌های توری باشد. همچنین دانه‌بندی سنگ‌ها باید متناسب بوده، به‌طوری که بزرگ‌ترین بعد، دو برابر کوچک‌ترین بعد آن باشد و سنگ‌های استقرار یافته در سبد تورسنگ، دارای قفل و بست لازم بوده تا هر واحد از تورسنگ حالت یکپارچه پیدا نماید.

۹-۴- ملاحظه‌های اجرایی و طراحی سازه‌های تورسنگی

در اجرا و طراحی کلیه سازه‌های تورسنگی باید موارد زیر رعایت گردند:

- کلیه لبه‌های کف اصلی و وجوه کناری یک واحد تورسنگ باید به وسیله سیم‌های گالوانیزه با قطر بیش‌تر (۳۰ درصد) تقویت شوند. این قالب‌بندی باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر تقویت سبد تورسنگ، کاربرد آن و اتصال قفسه‌ها به قفسه‌های دیگر را تسهیل نموده و به حفظ شکل و انسجام تورسنگ کمک نماید. توصیه می‌شود کف، کناره‌ها و اضلاع انتهایی از شبکه‌ای یکپارچه ساخته شده و سرپوش تورسنگ به‌صورت ورق توری جداگانه بر روی کار نصب و دوخته شود.
- توصیه می‌شود قبل از پرکردن تورسنگ، سبدهای تورسیمی آماده شده را با میخ چوبی بر روی زمین محکم کرد.
- استفاده از دیافراگم در کلیه انواع سازه تورسنگ ضروری است (به غیر از تورسنگ کیسه‌ای و توری محافظ). دیافراگم‌ها به فاصله یک متر از یکدیگر در داخل سبد تورسنگ قرار می‌گیرند. در مواردی که سازه تورسنگی با پوشش پی‌وی‌سی (PVC) در معرض تنش دایم ناشی از اثر موج و یا سرعت زیاد آب قرار دارند، استفاده از دیافراگم اکیدا توصیه می‌گردد.
- پیش از جاده‌ی سنگ‌ها در قفسه باید سنگ‌های مناسب را انتخاب نموده و آنها را دانه‌بندی و تمیز نمود. همچنین از پرتاب سنگ (از ارتفاع به پایین) می‌باید خودداری نمود. برای سازه‌های بزرگ مانند بندها و سازه‌های مورد استفاده در نواحی ساحلی دریا (رودخانه‌های متصل به دریا)، توصیه می‌شود از پاره‌سنگ‌های بزرگ استفاده شود.
- توصیه می‌شود بافت شبکه توری در قفسه، ترجیحا در جهت قائم قرار گیرد. این عمل باعث افزایش تاب فشاری قفسه‌ها می‌گردد.
- نحوه پرکردن سبدها باید به ترتیب زیر صورت پذیرد:

الف- ابتدا حدود یک سوم ارتفاع سید، سنگ ریخته شده و سپس دو سیم به طور ضربدری به جداره سید وصل گردد تا مانع شکم دادن سید شود.

ب- در هر فاصله یک سوم ارتفاعی سید، این کار تکرار می شود تا سید پر گردد.

ج- پس از پر شدن سید، سرپوش آن توسط شبکه ای از سیم های با پوشش گالوانیزه یا پی وی سی (PVC) بسته شود.

- قفسه های تورسنگ باید تا جایی که ممکن است پر شوند تا از جابجایی بی مورد سنگ ها، (که باعث خروج سنگ های کوچک تر می شود) در درون توری ها جلوگیری به عمل آید. در روش پر کردن دستی (کارهای کوچک)، این کار توسط کارگران با دقت انجام می گیرد و در روش مکانیکی استفاده از سنگ های گردگوشه که بهتر روی هم می لغزند و فضاهای خالی را پر می کنند، مناسب تر بوده و توصیه می گردد.

- برای افزایش پایداری سازه تورسنگ، بستن واحدهای تورسنگ به یکدیگر الزامی است.

- توصیه می شود در سازه های تورسنگی به خصوص سازه های دیوار حایل و بندهای رسوبگیر، سنگ هایی که رو به بیرون قرار می گیرند با دست چیده شوند تا نما و ظاهر مطلوب و مناسبی برای سازه ایجاد گردد.

- پیش از انباشتن سنگ در درون قفسه های فلزی باید قفسه ها را اندکی کشید تا قفسه بندی در اثر تمایل به جمع شدن، حتی المقدور فشرده از کار در آید.

- برای اجرای عملیات ساختمانی، پی باید آماده جای گذاری سبدها گردد. برای این کار ابتدا باید پی را از خاک های نباتی و مواد آلی پاک نمود و سپس برای استحکام بیش تر، محل را با ماشین های متراکم کننده و یا چکش های دستی کوبید.

- استفاده از قفسه های توری با پوشش پی وی سی (PVC) برای سازه های نزدیک به آب های شور و یا محیط هایی که آب های جاری در خاک آن دارای املاح می باشد، الزامی است.

- استقرار سبدها باید به صورت ردیفی و یک در میان، به نحوی اجرا گردد که درز بین سبدها و دیافراگم ها در ردیف های مجاور روی هم قرار نگیرد.

- در مواردی که تورسنگ را به منظور حفاظت کف رودخانه ها، پایه های پل ها و سایر موارد مشابه، در زیر سطح آب جای می دهند باید واحدهای بزرگ تورسنگ را در بیرون از آب و یا بر روی عرشه های شناور ساخته و سپس آنها را با جرثقیل بلند نموده و یا با لغزاندن بر روی سطح شیب دار در درون آب و بر روی کف رودخانه جای داد.

- برای جلوگیری از خوردگی یا برداشت سنگ های تورسنگ توسط اشخاص توصیه می شود سطح تورسنگ ها با پوشش گیاهی یا سایر پوشش ها محافظت گردد.

- در صورتی که سبدها قبل از نصب پر شوند، باید در حمل و نصب آنها دقت کافی اعمال شود تا از تغییر شکل های ناخواسته در تورسنگ جلوگیری شود.

۹-۴-۱- تشک های تورسنگی

در صورت استفاده از تشک های تورسنگی به عنوان پوشش حفاظتی سواحل رودخانه، موارد فنی و اجرایی ارائه شده در فصل ۸ (پوشش ها و روکش های حفاظتی)، تحت عنوان لایه محافظ و زیر لایه، برای این پوشش نیز صادق می باشد.

همان‌طور که در قسمت‌های قبل ذکر گردید ضخامت تشک‌های تورسنگی معمولاً ۰/۱۵ تا ۰/۵ متر می‌باشد. در جدول (۹-۱)، ابعاد جعبه‌های تورسیمی و حداکثر ابعاد مصالح سنگی تورسنگ تشکی ارائه شده است.

جدول ۹-۱- ابعاد جعبه‌های تورسیمی و حداکثر ابعاد مصالح سنگی

ابعاد سنگ		ضخامت (متر)	نوع تورسنگ
(D ₅₀) (میلی‌متر)	محدوده (میلی‌متر)		
85	70-100	0.15-0.17	تشک‌های 50×70 و 60×80
120	70-150	0.20-0.23	
100-160	130	0.25-0.30	
190	120-250	0.50	جعبه‌های 80×100 و 100×120

در صورت استفاده از تشک‌های تورسنگی با ضخامت کم، تاثیر جریان بر فرسایش خاک زیرین سازه را باید مد نظر قرار داد. علاوه بر موارد کلی اجرایی و طراحی سازه‌های تورسنگی ارائه شده در بند ۹-۴، موارد خاص زیر برای تشک‌های تورسنگی نیز باید رعایت گردند:

- تشک‌های تورسنگی که به‌صورت تاشده و مسطح بوده، با دقت و با کنار هم قراردادن لبه‌های عمودی روی شیب، به سمت بستر قرار داده شده و سپس لبه‌های عمودی سرپوش و پانل‌های دیافراگم به اضلاع طولی بسته می‌شوند.
- برای ایجاد تراکم بیش‌تر و محکم بودن پایه سازه، عملیات پرکردن قفسه‌ها در سطوح شیب‌دار باید از پایین به بالا صورت پذیرد.
- برای تورسنگ‌های تشکی، حداکثر شیب سواحل یک عمودی به ۱/۵ افقی توصیه می‌شود. در صورتی که فضای کافی برای تعدیل شیب وجود نداشته باشد و جای‌گذاری سازه به اجبار بر روی شیب تندتر از یک عمودی به ۱/۵ افقی صورت پذیرد، نیاز به نصب مهارهای تقویتی خواهد بود.
- برای پایدارسازی پوشش و جلوگیری از لغزش آن، باید در قسمت بالایی ساحل به کمک مهارهای عمودی، تشک‌های تورسنگی را تثبیت نمود. همچنین برای جلوگیری از لغزش بخش‌های مختلف این سازه‌ها، علاوه بر ایجاد مهار، واحدهای تورسنگی نیز باید به خوبی به یکدیگر متصل گردند. این اتصال‌های عمومی را باید به کمک میلگرد یا نوارهای تقویتی تامین نمود.
- هیچ‌گاه نباید پوشش حفاظتی را بدون تقویت یا دنباله‌ای در پایین و ادامه‌ای در بالا اجرا نمود. در صورتی که اجرای چنین سامانه‌ای میسر نبوده و یا دشوار باشد، حتماً باید به شیوه‌ای مناسب پوشش تورسنگ را به کرانه تثبیت و محکم نمود.
- طول پنجه سازه‌های تورسنگی پیش‌بنددار، معمولاً در جلوی سازه به اندازه ۱/۵ تا ۲ برابر عمق آبشستگی انتخاب می‌گردد. ضخامت کف‌بند حفاظتی بین ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر توصیه می‌شود.
- مهار نمودن پیش‌بندهای تورسنگی با ضخامت ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر الزامی است. مهارها شامل میلگردهای مهاری قلاب‌داری است که به زمین یا سنگ زیرین دوخته می‌شوند. باید میله مهارها بین ۱/۲ تا ۱/۵ متر به درون بستر کرانه فرو رود.

- در بخش پایینی سامانه حفاظتی پیش‌بند تورسنگی، یک لوله پرشده از بتن یا قطعه ریلی باید تعبیه گردد که نقش وزنه‌ای کششی را داشته و سبب می‌شود تا توری کش آمده و صاف باقی بماند.
- اجرای پیش‌بند همراه با دیواره تورسنگی جعبه‌ای، برای حفاظت کف و خود دیواره به‌ویژه در رودخانه‌های بزرگ و نیز در جاهایی که سرعت و فرسایش آب زیاد است، اکیدا توصیه می‌گردد.
- پایداری تشک‌های تورسنگی را می‌توان به‌وسیله استفاده از ملات آسفالت (دوغاب) و در نتیجه محدود نمودن حرکت المان‌های منفرد سنگ افزایش داد. البته باید توجه داشت که این کار باعث کاهش نفوذپذیری، انعطاف‌پذیری و زبری هیدرولیکی می‌گردد. همچنین با تزریق دوغاب در روکش‌های تورسنگی، مقاومت در مقابل سرعت جریان‌های بالا، افزایش می‌یابد. البته در هر صورت مقاومت تورسیمی مهم‌ترین فاکتور کنترل مقاومتی تورسنگ می‌باشد. تزریق دوغاب می‌تواند اثرهای منفی خوردگی، ساییدگی و عوامل خراب‌کارانه و سرقت را کاهش دهد. مصالح مورد استفاده جهت دوغاب می‌تواند شامل دوغاب ماسه-آسفالت یا بتن باشد.

۹-۴-۲- دیوارهای تورسنگی

- دیوارهای تورسنگی سازه‌هایی انعطاف‌پذیر بوده و با نشست یا تحکیم خاک پس از اجرا سازگار می‌باشند. جهت این‌گونه دیوارها، دیوار با وجه کاملاً قائم توصیه نمی‌شود چون ممکن است به‌طور تدریجی دیوار کج و واژگون گردد. حتی اگر اجرای دیوار به‌صورت قائم به لحاظ سازه‌ای پایدار باشد، شکل آن مناسب نمی‌باشد. شیب توصیه شده، ۱۰ عمودی به یک افقی بوده که می‌توان آن را با پله‌ای کردن جعبه‌های تورسیمی (گابیون) تامین کرد.
- دیوارهای تورسنگی به علت ساختار نفوذپذیری که دارند، دچار مشکلات ناشی از اختلاف فشار هیدرولیکی در طول دیوار نمی‌شوند. البته ساختار نفوذپذیر آنها ممکن است باعث شود که مصالح ریزدانه پشت دیوار از طریق تورسنگ به داخل مجرا شسته شده و باعث به‌وجود آمدن نشست و افزایش تخلخل در پشت دیوار شود. بدین منظور می‌توان با اجرای فیلتر مناسب و دانه‌بندی مطلوب مصالح پشت دیوار از این امر جلوگیری کرد.
- علاوه بر موارد کلی اجرایی و طراحی سازه‌های تورسنگی ارائه شده در بند ۹-۴، باید موارد خاص زیر برای دیوارهای تورسنگی نیز رعایت گردند:

- به علت شکل متخلخل تورسنگ‌ها، گیاهان می‌توانند در آنها برویند و یا می‌توان ریشه گیاه را از طریق تورسنگ در خاک پشت آن قرار داد. به دلیل رشد گیاهان امکان دارد قفسه‌های تورسیمی از شکل اولیه خود خارج شود. رشد درختان، ساختار تورسنگ را خراب کرده و باید از رویش آنها جلوگیری نمود.
- در صورتی که خاک زیر سازه تورسنگی حاوی مصالح ریزدانه باشد (رس و سیلت)، باید یک لایه خاک دانه‌ای بین خاک طبیعی و تورسنگ ایجاد و پس از تسطیح و متراکم شدن، سازه تورسنگی بر روی آن قرار گیرد.
- توصیه می‌شود هنگام پرکردن تورسنگ، سیم‌های مهاري افقی و عمودی در داخل سبدها بسته شده (در هر دو ضلع مقابل هم) و تا حدی کشیده شوند تا مصالح سنگی باعث برآمدگی یا تورفتگی دیوارهای سیمی سبد تورسنگ نگردند. فاصله بین هر دو مهار نباید بیش‌تر از ۳۵ سانتی‌متر باشد.

- جهت جلوگیری از آبشستگی خاک زیر تورسنگ می‌توان از یک لایه ژئوتکستایل به‌عنوان فیلتر استفاده نمود. بدین منظور ژئوتکستایل با وزن بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ گرم بر مترمربع استفاده می‌شود.
- برای افزودن بر درجه پایداری دیواره حایل تورسنگی می‌توان دیوارها را به درون خاکریزها مهار نمود. یکی از روش‌های مهار، بستن شبکه‌های توری به سیم‌هایی است که میله‌های مهاری آن در درون سنگ بسته شده‌اند. در صورت مهار دیوارهای حایل تورسنگی با شبکه‌های سیمی، طول مهاری مورد نیاز برای یک متر عمق خاکریز، ۲ تا ۳ متر است. همچنین عرض صفحه‌ها از حداقل ۲ متر تا حدود ۳ تا ۴ متر توصیه می‌شود. این صفحه‌ها باید حداقل یک متر در داخل دیواره تورسنگی قرار گیرند. می‌توان از شبکه تور سیمی مهاری به عنوان درپوش واحدهای تورسنگ مربوط استفاده کرد. طول دقیق‌تر شبکه‌ها با توجه به ارتفاع دیوار و محاسبه‌های مربوط به طول مهاری تعیین می‌گردد.
- استفاده از مهارهای زمینی و یا تقویت‌های نهفته در خاکریز از دیگر روش‌های مهار دیوارهای حایل تورسنگی است. در این روش، خاکریز با دیوار تورسنگی باید توانمند اجرا شود. توصیه می‌شود مهارهای تقویتی به تورسنگ‌ها بسته و در درون خاکریز جای داده شود. عناصر تقویتی باید از تحمل خوردگی بالایی برخوردار بوده و از گیره‌های دنداندار که موجب افزایش اصطکاک می‌شوند و قابلیت کش‌آمدگی کمی دارند استفاده شود.
- در اجرای دیوارهای حایل تورسنگی با ارتفاع ۵ تا ۶ متر، توصیه می‌شود دیوارها با پلکان رو به بیرون اجرا گردند. برای دیوارهای کوتاه‌تر، پلکان پشتی قابل قبول است به شرط آن که شیب دیواره کم‌تر از ۶ درجه (نسبت به امتداد قائم) نباشد.
- تورسنگ‌ها در معرض پارگی توری‌ها، ضربه حاصل از سنگ‌های حمل شده توسط سیلاب، از دست دادن سنگ‌های داخل تورسنگ در اثر خرد شدن و غیره می‌باشند. برای جلوگیری از این آسیب‌ها می‌توان از یک لایه بتن مسلح بر روی تورسنگ استفاده نمود. این لایه بتنی به ضخامت ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر بوده و شامل یک شبکه میلگرد و درزهای انبساطی، به‌منظور جلوگیری از ایجاد ترک بر روی آن می‌باشد. میلگردها باید توسط خاموت به تورسنگ‌های زیرین مهار گردند. همچنین باید لوله‌های زهکش به‌صورت عمودی در داخل لایه بتنی قرار داده شوند تا باعث کاهش نیروی زیرفشار گردند.

۹-۴-۳- بندها و سرریزهای تورسنگی

بندها و سرریزهای تورسنگی (گابیونی) اکثراً به عنوان تاسیسات حفاظتی رودخانه و نیز به عنوان شیب‌شکن (جهت کاهش شیب طولی رودخانه) احداث می‌گردند. این سرریزها ساختمان انعطاف‌پذیری داشته و با توپوگرافی محلی قابل انطباق می‌باشند. این سازه‌ها به دلیل نفوذپذیری بالا، تحت تاثیر نیروهای بالابرنده قرار نمی‌گیرند و همچنین جهت اجرای مرحله‌ای مناسب می‌باشند. نقطه ضعف یک سرریز تورسنگی در آن است که مقاومت و پایداری آن به تورسیمی بستگی دارد و در صورت بریده شدن آن، قطعات سنگ خارج شده و پس از فرو ریختن یک قسمت تورسنگ، بقیه اجزا نیز از آن تبعیت می‌نمایند.

شکل پایین‌دست سرریزهای تورسنگی می‌تواند عمودی، پله‌ای و یا شیب‌دار باشد. سرریز تورسنگی با سطح پایین‌دست عمودی، به حفاظت پایین‌دست طولانی‌تر (حوضچه آرامش و دیوارهای حایل) نیاز دارد، زیرا طول تیغه سرریز شونده در استهلاک انرژی نقشی

ایفا نمی‌کند. سرریز تورسنگی پله‌ای به حوضچه آرامش کوتاه‌تری نیاز دارد و پله‌ها مقداری از انرژی هیدرولیکی جریان سرریز شونده را مستهلک می‌نمایند. سرریز تورسنگی شیب‌دار برای پی‌های ضعیف مناسب است.

در هنگام طراحی، با توجه به این که امکان انسداد فیلترها و نفوذناپذیر شدن تورسنگ‌ها وجود دارد، می‌توان نیروی بالابرنده را مشابه با سازه بتنی معمولی در نظر گرفت. علاوه بر موارد کلی اجرایی و طراحی سازه‌های تورسنگی ارائه شده در بند ۹-۴، باید موارد خاص زیر برای این گونه سازه‌ها نیز رعایت گردند:

- در محل پی سازه بند نباید هیچ‌گونه حفره، ریشه گیاهی یا مجرای مواد حل شده وجود داشته باشد و قسمت حفر شده باید با اندازه کل سازه هماهنگی داشته باشد.
- اگر بخش حفاری بزرگ‌تر از ابعاد پی باشد، قسمت‌های اضافی باید با سنگ‌های کوچک و شن‌های درشت‌تر پر شوند.
- گودال پی بندهای رسوبگیر تورسنگی باید به اندازه یک متر در داخل سواحل نیز ادامه یافته و در دیواره سواحل به ارتفاع تاج بند، خاک‌برداری گردد.
- اگر حفره‌هایی در محل گودبرداری پی و خاک‌برداری دیواره‌ها یافت گردد، یکی از دو روش زیر باید اتخاذ شود:
 - الف- ادامه حفاری تا به زیر حفره
 - ب- پر نمودن آن با مواد متراکم
- در هنگام جای دادن سنگ‌ها باید دقت نمود تا در درون سبد حفره‌هایی پدید نیایند که موجب ایجاد مجرای عبور آب در درون سازه بشوند. عبور آب از درون سازه سنگی پس از گذشت زمان و جابجا شدن سنگ‌ها موجب نشست سازه خواهد شد.
- چنانچه مقداری از سنگ‌های مورد استفاده کوچک باشند، باید سنگ‌های کوچک‌تر را در وسط قفسه و سنگ‌های درشت‌تر را در وجوه بیرونی تورسنگ جای داد.
- توصیه می‌شود برای افزایش طول مسیر آب، در صورتی که طول حوضچه آرامش کافی نباشد، در پایین دست بندها و سرریزهای تورسنگی، پیش‌بند احداث گردد تا ضریب اطمینان، دوام و پایداری سازه افزایش یابد.
- برای بهترین بهره‌برداری از سازه‌های سرریز قائم، باید واحدهای تورسنگی واقع بر روی تاج سرریز و همچنین واحدهای واقع در پایین دست را در مقابل فرسایش، زنگ‌زدگی و آبشستگی پنجه محافظت نمود.
- در رودخانه‌های کم رسوب، بهتر است بالادست سازه تورسنگی را با مصالح درشت‌دانه (متناسب با اندازه چشمه تورها) سنگ‌ریزی نمود به‌طوری که میزان عبور آب از درون جسم تورسنگ کاهش یابد.
- توصیه می‌شود تاج و دیواره‌های کناری سرریزهای تورسنگی شیب‌دار، با پوشش بتنی محافظت گردد. استفاده از بتن مقاوم در محل‌هایی که در معرض فرسایش ناشی از سرعت آب می‌باشد، ارجح است.
- برای محافظت واحدهای تورسنگی واقع بر تاج سرریز در مقابل سنگ‌های بزرگ یا شاخه‌های حمل شده توسط آب، می‌توان از قطعه‌های چوبی دوخته شده به‌هم با سیم‌های فلزی و یا از تاوه‌های بتنی استفاده نمود. حفاظت چوبی را می‌توان بلافاصله پس از اتمام سازه نصب نمود.
- حداقل ضخامت کف حوضچه آرامش تورسنگی براساس نیروی زیر فشار تعیین می‌شود. توصیه می‌گردد ضخامت تورسنگ حوضچه آرامش از یک متر کمتر نگردد.

– در صورتی که بخواهیم یک سازه تورسنگی نفوذناپذیر داشته باشیم (مثل یک سرریز تورسنگی)، روش مناسب برای دستیابی به این منظور، قراردادن یک لایه خاکریز متراکم در سطح بالادست آن می‌باشد. قبل از اجرای لایه خاکریزی متراکم باید یک لایه ژئوتکستایل بر روی سرریز قرار داده شود.

۹-۵- تمهیدهای حفاظتی

پوشش‌های حفاظتی سازه‌های تورسنگی به دو دسته به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

- دسته اول پوشش حفاظت سیم‌های قفسه‌های تورسنگ از قبیل پوشش گالوانیزه و پوشش پی‌وی‌سی (PVC) بوده که استفاده از آنها برای افزایش دوام و مقاومت سیم‌های تورسنگ ضروری است.
- دسته دوم پوشش‌های حفاظتی روی سازه‌ها از قبیل پوشش آسفالت و پوشش بتنی که برای حفاظت کل سازه در برابر برخورد های شدید سنگ و شاخ و برگ درختانی است که با سیلاب انتقال داده می‌شوند و موجب تخریب‌های شدید در سطح سازه و در نتیجه از هم گسیختگی سازه تورسنگی می‌گردند.

۹-۵-۱- پوشش حفاظتی تورسیمی

الف- گالوانیزه نمودن سیم‌ها

حداقل وزن پوشش گالوانیزه بر روی سیم‌ها مطابق آیین‌نامه BS 443/1982 برای قطرهای مختلف به شرح زیر می‌باشد:

- برای سیم‌های به قطر اسمی ۲/۲ میلی‌متر، ۲۴۰ گرم بر میلی‌مترمربع
- برای سیم‌های به قطر اسمی ۲/۷ میلی‌متر، ۲۶۰ گرم بر میلی‌مترمربع
- برای سیم‌های به قطر اسمی ۳/۴ میلی‌متر، ۲۷۵ گرم بر میلی‌مترمربع

چسبندگی پوشش رویین سیم‌ها باید به میزانی باشد که چنانچه هر سیم پوشش‌دار، شش بار به دور استوانه‌ای که قطرش ۴ برابر قطر سیم است پیچانده شود، پوشش روی سیم ترک نخورده و یا تا به حدی ورقه ورقه نشود که پوشش آن در اثر مالش با انگشتان از روی سیم زوده گردد (BS 443/1982).

ب- پوشش پی‌وی‌سی (PVC)

پوشش پی‌وی‌سی (PVC) باید بتواند اثرهای مخرب ناشی از شرایط جوی و غرق شدگی در آب شور را تحمل کند و خواص آن نباید نسبت به ترکیب اولیه‌اش چندان تغییر نماید. ضخامت پوشش پی‌وی‌سی نباید در هیچ جا از ۰/۴ میلی‌متر کمتر باشد. خواص و مشخصات پوشش پی‌وی‌سی باید براساس آیین‌نامه ASTM، BS و یا هر آیین‌نامه‌ای که مورد تایید دستگاه نظارت است، باشد. برخی از ویژگی‌های عمومی پوشش پی‌وی‌سی در زیر اشاره شده است:

- چگالی ویژه پوشش پی‌وی‌سی باید بین ۱/۳ تا ۱/۳۵ کیلوگرم بر دسی‌مترمکعب ((ASTM D792-66(79)) باشد.
- تاب کششی نباید کمتر از ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع (ASTM D412-75) باشد.
- کش آمدگی نباید کمتر از ۲۰۰ درصد و بیش از ۲۸۰ درصد (ASTM D412-75) باشد.

- کاهش وزن (مقاومت در مقابل سایش) نباید بیش از ۱۹/۰ گرم ((ASTM D1242-56(75)) باشد.
- دمای خمش سرد نباید بیش از ۳۰ درجه و دمای پیچش سرد نباید بیش‌تر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد (BS 2782 (104A) باشد.

بعد از انجام آزمایش‌های زمان‌بندی (براساس آیین‌نامه ASTM)، ترکیب پی‌وی‌سی باید دارای خواص زیر باشد:

- پوشش پی‌وی‌سی نباید ترک بخورد، تاول بزند و تغییر قابل ملاحظه‌ای در رنگ آن حاصل گردد.
- چگالی ویژه آن بیش از ۶ درصد مقدار اولیه‌اش تغییر ننماید.
- تاب کششی آن بیش از ۲۵ درصد مقدار اولیه‌اش تغییر ننماید.
- کش‌آمدگی آن بیش از ۲۵ درصد میزان اولیه‌اش تغییر ننماید.
- دمای خمش سرد نباید بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد و دمای پیچش سرد نباید بیش از ۱۸ درجه سانتی‌گراد باشد.

۹-۵-۲- پوشش آسفالت و بتن

در میان پوشش‌های آسفالتی و بتنی، پوشش آسفالتی به دلیل حفظ خاصیت انعطاف‌پذیری سازه تورسنگی در اولویت قرار دارد. این نوع پوشش‌ها می‌تواند نیروی اصطکاکی را کاهش داده و در نتیجه سازه در مقابل اثرهای هیدرولیکی ناشی از سرعت‌های زیاد و امواج، مقاوم‌تر گردد.

ترکیب تزریق قیر با مصالح سنگ و ماسه (آسفالت) به مورد کاربرد و شرایط محیطی بستگی دارد. عمر و دوام مخلوط تزریق را می‌توان با مواد دیگر بهبود بخشید. خمیر ماسه آسفالتی، اولین پوششی است که برای ایجاد حفاظت روی تاج سرریز و حوضچه آرامش توصیه می‌شود. هنگام استفاده از این گونه پوشش‌ها موارد زیر توصیه می‌شود:

- در مواردی که سازه تورسنگ زیر سطح آب قرار می‌گیرد، قبل از جای‌گذاری در محل، روی تورسنگ‌های پرشده با سنگ، آسفالت تزریق گردد.
- برای سازه‌های تورسنگی در شرایط نامناسب که باعث شستگی مصالح خاکی زیر پوشش، فرسایش سنگ‌ها و خوردگی سیم‌های تورسنگ می‌گردد از پوشش‌های حفاظتی تزریق شده با خمیر ماسه آسفالتی استفاده گردد.
- درجه حرارت هنگام ریختن آسفالت، تقریباً ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد بوده که این میزان در مناطق سردسیر بیش‌تر می‌باشد.
- اجرای حفاظت بتنی چند ماه بعد از بهره‌برداری که سازه به اندازه کافی نشست کرده باشد، صورت گیرد. این موارد به‌خصوص در مورد سرریزها باید رعایت گردد.

فصل ۱۰

مصنوعات پلیمری

۱۰-۱- کلیات

از مصنوعات و شبکه‌های پلیمری پلی‌اتیلنی و پروپیلنی در انواع مختلف به دلیل مقاومت شیمیایی بالا، مقاومت در برابر تابش نور آفتاب و شرایط آب و هوایی نامناسب و مقاومت در برابر عوامل فرسایشی و مخرب در خاک، در کارهای مهندسی رودخانه استفاده می‌شود. کاربرد این مصالح به‌طور معمول در موارد زیر می‌باشد:

– مسلح کردن خاک شامل پایدارسازی شیب در مقابل ریزش، ساخت دیوارهای حایل، امکان اجرای شیب‌های خاکی تند و ساخت خاکریزها

– پایدارسازی شامل ساخت جاده‌ها، تقویت بسترهای سست و افزایش باربری شالوده‌های سطحی

– زهکشی دیوارهای حایل، دیوارهای زیرزمینی و بسترها

– کنترل فرسایش و ایجاد لایه نفوذناپذیر و حفاظت شامل تثبیت کناره‌های رودخانه‌ها و آبراهه‌ها و ایجاد شیب‌های پایدار به‌وسیله پوشش گیاهی روی شیب‌ها

در صورت استفاده از مصنوعات و شبکه‌های پلیمری به‌عنوان پوشش حفاظتی سواحل رودخانه، موارد فنی و اجرایی ارائه شده در فصل ۸ (پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی) تحت عنوان لایه محافظ و زیرلایه، برای این پوشش نیز صادق می‌باشد.

۱۰-۲- مصالح مصرفی

ژئوسینتتیک، نام کلی مجموعه مصالحی است که از مواد مصنوعی پلیمری ساخته شده و برای پایداری و بهسازی رفتار خاک استفاده می‌شوند. این مصالح به‌طور معمول به‌صورت شبکه یا ورقه‌های نازک تولید می‌شوند که قابلیت زهکشی، مسلح‌سازی و جداسازی خاک را دارند.

انواع اصلی ژئوسینتتیک‌ها و محصول‌های ساخته شده از مواد پلیمری که در کارهای مهندسی رودخانه کاربرد دارند، شامل ژئوممبران، ژئوتکستایل، ژئوگرید، ژئونت، ژئوبلک، ژئومت، ژئوسل و ژئوکامپوزیت‌ها می‌باشند. در ادامه ویژگی‌ها، مشخصات و کاربرد این محصول‌ها شرح داده شده است.

۱۰-۲-۱- ژئوتکستایل

ژئوتکستایل، به‌طور معمول در زمره منسوجات (پارچه‌گونه‌ها) شمرده شده که به جای الیاف طبیعی از الیاف مصنوعی (پلی‌پریلن یا پلی‌استر) بافته می‌شوند. این محصول‌های پلیمری، انعطاف‌پذیر و متخلخل می‌باشند و در زمینه مسلح‌سازی خاک و پوشش‌های حفاظتی کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده‌اند.

ژئوتکستایل‌ها با دیگر مصالح به‌صورت کامپوزیت و به‌منظور ایجاد لایه محافظ پوشش مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله کاربردهای ژئوتکستایل می‌توان به آب‌بندی و زهکشی در سدها و سرریزها، تثبیت و محافظت پوشش سواحل، حفاظت و آب‌بندی مخازن، عایق‌بندی و زهکشی جدار تونل‌ها اشاره نمود. از پارچه‌های ژئوتکستایل همراه توری‌ها و فرش (MAT) و پوشش‌های گیاهی جهت حفاظت کناره‌های رودخانه نیز استفاده به‌عمل می‌آید.

الف- نگهدارنده‌ها و شبکه‌های سه بعدی

نگهدارنده‌ها و شبکه‌های سه بعدی ژئوتکستایل، معمولاً از الیاف کربن سیاه (نایلن) ساخته می‌شوند که ساختاری با مصالح باز با بیش از ۹۰ درصد فضای خالی دارند. ضخامت شبکه‌های سه بعدی موجود حدود ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر است. برای اجرای این‌گونه پوشش‌ها در زیر سطح آب، فضای خالی باز در محل اجرا، با شن و یا یک پرکننده آسفالتی پر می‌شود. در هر دو حالت، سطحی که بالای تراز آب قرار دارد را می‌توان چمن‌کاری کرد. برخی از شبکه‌های سه بعدی پر شده موجود می‌باشند که برای سرعت جریان‌های تا ۲ متر بر ثانیه معمولاً پایدار هستند. طراحی این پوشش تا حد زیادی تجربی است و باید در روند طراحی، توصیه‌های کارخانه سازنده مد نظر قرار گرفته شود.

شبکه‌های سه بعدی ژئوتکستایل به صورت رول و با عرض مشخص، تولید و عرضه می‌شوند. لبه بالایی شبکه در بالای شیب با قراردادن قسمت پایین لبه در یک ترانشه، محکم شده و جهت اطمینان از برقرار شدن تماس بین فرش و خاک زیرین، از میخ‌های فولادی در طول شیب استفاده می‌گردد.

شبکه‌های از پیش پر شده راه در زیر آب در شرایط جریان متوسط (تا یک متر بر ثانیه) می‌توان قرار داد. جهت پر کردن شبکه‌ها با شن، هنگامی که سطح آب پایین است از مصالح شن ریز استفاده می‌شود تا تماس مناسب بین شبکه (MAT) و خاک زیرین حاصل شود.

از انواع دیگر پوشش‌های ژئوتکستایل می‌توان به ژئوتکستایل‌های ساخته شده از مصالح مصنوعی مانند پلی‌اتیلن به شکل آرایه‌ای از سلول‌ها (همانند کندوی زنبور عسل) اشاره نمود که در انواع مختلف و با عمق و اندازه فضای باز گوناگون ساخته می‌شوند. سامانه مهارشدگی موجود در این نوع پوشش جهت جلوگیری از لغزش به پایین شیب، مناسب می‌باشد. ساختار سلولی در لایه سطحی باعث ایجاد مقاومت اضافی در برابر فرسایش ناشی از جریان به موازات شیب خواهد بود. مصالح مهارکننده می‌تواند شن، قیر و یا خاک معمولی با پوشش گیاهی باشد.

ب- منسوجات و پارچه‌های دو بعدی

از این نوع پوشش برای حفاظت کوتاه مدت سواحل و جاهایی که بارگذاری هیدرولیکی کمی وجود دارد، استفاده می‌گردد. باید توجه کرد که تماس لازم بین ژئوتکستایل و خاک زیرین برقرار گردد. همچنین از پارچه‌های ژئوتکستایلی جیب‌دار و نگه‌داشتن خاک درون جیب‌ها به منظور حفاظت سواحل استفاده می‌شود.

این نوع پوشش به صورت بسته‌های ژئوتکستایلی و نیز بسته لوله‌ای شکل در ابعاد متفاوت وجود دارد. از بسته‌های لوله‌ای شکل می‌توان برای حفاظت پنجه یا به عنوان پوشش در جهت شیب، مشابه تورسنگ‌های لوله‌ای استفاده نمود.

۱۰-۲-۲- ژئوممبران

ژئوممبران‌ها، صفحه‌های نازک یکپارچه ساخته شده از پلیمر با خاصیت انعطاف‌پذیری می‌باشند. ضریب نفوذپذیری پایین این غشاء ($2/7 \times 10^{-13} \text{ cm/sec}$)، باعث گردیده که این فرآورده جایگزین لایه‌های قدیمی متخلخل و نفوذپذیر ساخته شده از مصالح خاکی و بتنی شود. ورق‌های ژئوممبران در مقابل قارچ‌ها و کپک‌ها کاملاً مقاوم بوده و اشعه فرابنفش و سایر عوامل محیطی هیچ‌گونه تاثیر منفی کیفی بر آن ندارند. در تهیه ژئوممبران‌ها از روان‌کننده‌های آلوده‌کننده معمول برای ساخت پلیمرها استفاده نشده

و از این رو استفاده از آنها سبب افت کیفیت آب نمی‌گردد. معمولاً برای ساخت ژئوممبران‌ها جهت استفاده در پوشش‌ها، از رزین پلی‌اتیلن^۱ VFPE به دلیل قابلیت انعطاف‌پذیری و مقاومت کششی بالای آن استفاده می‌گردد.

همچنین به‌منظور بالا بردن مقاومت در برابر ساییدگی و افزایش زبری، از پلی‌اتیلن‌های زبر^۲ جهت ساخت ژئوممبران استفاده می‌گردد که باعث افزایش اصطکاک بین دو لایه شده و امکان طراحی در شیب‌های تندتر را فراهم می‌آورد. پلی‌اتیلن زبر تمامی ویژگی‌های ژئوممبران نرم را دارا می‌باشد.

به‌طور کلی از ژئوممبران‌ها جهت نفوذناپذیر کردن پوشش رودخانه و کانال‌ها با هدف کنترل تراوش (نشت) استفاده می‌گردد. ژئوممبران می‌تواند نقش ثانویه حفاظت از سواحل را در مقابل فرسایش ایفا کند. البته این نوع پوشش، کنترل نشست را به‌طور خاص و کامل انجام نمی‌دهد ولی اثر آن را به‌ویژه در این مورد نباید نادیده گرفت.

ژئوممبران‌ها به شکل صفحه‌های وسیع و با ابعاد مشخص ساخته می‌شوند. پس از آماده‌سازی سطح زیرین آن، در محل اجرا طبق نقشه‌ها بررسی شده و سپس برش داده می‌شوند. بعد از قرارگیری در محل خاص خود، عملیات اتصال آنها (جوشکاری ورق‌ها) آغاز می‌گردد. از پوشش‌های ژئوممبران بیش‌تر جهت آب‌بندی و جلوگیری از به هدر رفتن آب استفاده می‌گردد و برحسب شرایط طرح و نوع استفاده، در ضخامت‌های ۰/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر ساخته می‌شوند.

۱۰-۲-۳- ژئوگرید

ژئوگریدها ورقه‌های شبکه‌ای مانند هستند که بر حسب مورد استفاده در انواع یک سویه، دو سویه و چند لایه دو سویه تولید می‌شوند. ژئوگریدهای یک سویه از تزریق شبکه‌های پلی‌اتیلن با چگالی بالا، با فشار از قالب و به‌صورت یک جهته کشیده و ساخته می‌شوند. این نوع ژئوگریدها از آنجایی که تحت تاثیر فعل و انفعالات شیمیایی قرار نمی‌گیرند و مقاومت کششی بالایی دارند، مخصوص مسلح کردن خاک، تولید شده‌اند. ژئوگرید قرار گرفته در خاک علاوه بر کنترل جابجایی و افزایش مقاومت خاک، سبب ایجاد چسبندگی ظاهری برای مواد غیرچسبنده می‌شود.

ژئوگریدهای دو سویه، به‌صورت خاص برای پایدارسازی و مسلح کردن خاک طراحی شده و از جنس پلی‌پروپیلن می‌باشند و برای افزایش مقاومت کششی، در حین تولید از هر دو طرف کشیده می‌شوند. این نوع ژئوگرید دارای مقاومت کششی بسیار زیاد و مقاومت در مقابل صدمه‌های هنگام نصب هستند. قفل و بست ذره‌های دانه‌ای در بین سوراخ‌ها باعث محصور شدن و تقویت خاک می‌شود.

ژئوگریدهای چند لایه دو سویه، ترکیبی از پلی‌پروپیلن می‌باشد که از ترکیب تعداد خاصی لایه از یک یا چند ژئوگرید به‌دست می‌آید. این محصول می‌تواند با پایداری‌های متفاوت و ویژگی‌های مختلف که مورد نیاز طرح است، تولید شود. ژئوگریدهای استاندارد چند لایه از ترکیب حداکثر پنج لایه ژئوگرید انعطاف‌پذیر سبک به‌دست می‌آید. از ترکیب چند لایه شبکه، ژئوگریدی با مقاومت قابل توجه ایجاد می‌گردد که قادر به تحمل بارهای بسیار شدید است و از آن برای پایدارسازی خاک‌های دارای منافذ بزرگ و حفره‌های ناشی از نشست موضعی استفاده می‌گردد.

1- Ultra Flex
2- Friction Flex

۱۰-۲-۴- ژئوبلوک

ژئوبلوک‌ها، تلفیقی از بلوک‌های بتنی و ژئوگریدهای پلی‌اتیلنی می‌باشند. این بلوک‌ها معمولاً بر روی خاک متراکم قرار گرفته و احتیاج به ملات نداشته و به شکل خشک اجرا می‌شوند. این نوع بلوک‌ها دارای دندانه‌ها و شکاف‌هایی در بالا و پایین و نیز زائده‌های جانبی به شکل نر و مادگی هستند تا استحکام کافی و قفل و بست لازم ایجاد گردد. بعضی از بلوک‌ها به صورت سلولار (سلولی) می‌باشند که فضای سلولی بلوک‌ها در محل با سنگ دانه پر می‌شوند تا وزن بلوک افزایش یابد.

۱۰-۲-۵- ژئونت

ژئونت‌ها مصالح توری‌مانندی می‌باشند که از مشتقات پلی‌اتیلن با چگالی بالا تولید می‌گردند. این مصالح دارای ساختارهایی سه بعدی بوده که از روی هم قرار دادن و به هم تنیدن لایه‌های موازی به وجود می‌آیند. ژئونت‌ها در برابر مواد شیمیایی و زیستی و اشعه فرابنفش مقاوم بوده و در انواع مختلفی ساخته می‌شوند. انواع توری شکل آن (مستطیل و لوزی شکل) با ضخامت ۳ تا ۱۳ میلی‌متر و جرم ۴۵۰ تا ۲۵۰۰ گرم بر مترمربع، قابل دسترس می‌باشند. بعضی از ژئونت‌ها از سه لایه تشکیل شده‌اند. یک لایه در راستای طولی و دو لایه در خلاف جهت‌های یکدیگر، خم و مایل شده‌اند تا حداکثر مقاومت (در برابر فرورفتن ژئوتکستایل یا ژئوممبران موجود در سطح بالایی) در خود را فراهم کنند که بیش‌ترین کاربرد این نوع ژئونت در کارهای زهکشی است.

۱۰-۲-۶- ژئومت

ژئومت‌های سه بعدی تنها با هدف محافظت و کاشت گیاه روی شیب‌هایی که در معرض فرسایش سطحی قرار دارند، طراحی می‌شوند. این لایه‌ها ضخامتی حدود ۲۰ میلی‌متر داشته و از سرهم کردن و درهم بافتن چندین لایه پلی‌پروپیلن و ژئوگریدهای دو سویه تزریقی، تولید شده‌اند.

این دست ژئومت‌ها از دو لایه ژئوگرید که در زیر و روی یک لایه مرکزی منفرد قرار گرفته‌اند، تشکیل شده و این لایه مرکزی به شکل مکانیکی خم و تا شده، تا تامین‌کننده ضخامت و شکل سه بعدی به ژئومت باشد. دو لایه ژئوگرید در طرفین باعث به وجود آمدن نیروی کششی بالایی می‌شوند و کشش طولی را به حداقل می‌رساند. ژئومت‌های چندلایه، محصول‌های ژئوستنتیک پلی‌پروپیلنی هستند که از روی هم گذاردن چندین ژئوگرید تزریقی دو سویه با مقاومت بالا تولید می‌شوند.

۱۰-۲-۷- ژئوسل

ژئوسل‌ها، ساختاری زنبوری شکل داشته و ضخامتی بین ۷۵ تا ۱۵۰ میلی‌متر دارند. این محصول توسط تزریق مداوم پلی‌اتیلن و بدون جوشکاری ساخته می‌شوند. این ساختار مثل یک آکاردئون باز شده و به همین جهت حداقل فضا را در حمل و نقل و نگهداری اشغال می‌کند (قطر هر سلول ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر).

ژئوسل‌ها هنگام نصب تا آخرین حد خود کشیده شده و با خاک پر می‌شوند. در این حالت کشش‌ناپذیر، انعطاف‌پذیر و سخت شده و باعث تثبیت مواد سست در هر سلول می‌گردد و از حرکت آنها در شیب‌های تند جلوگیری می‌کند. همچنین در مقابل نیروهای کششی شدید ناشی از جریان‌های هیدرولیکی، مقاومت می‌کند.

۱۰-۲-۸- ژئوکامپوزیت

محصول‌های به‌دست آمده از مجموعه مصالح بالا، به‌صورت لایه‌ای و ترکیبی است که برای کارهای خاص، مواد افزودنی دیگری هم به آن اضافه می‌شود.

۱۰-۳- مسلح کردن خاک

خاک تقویت شده ترکیبی است که در آن دو مولفه بر روی یکدیگر اثر متقابل می‌گذارند. خاک که دارای قابلیت مقاومت در برابر نیروهای فشاری است و ژئوگریدها که دربردارنده توان کششی هستند. خاک تقویت شده قادر به مقاومت بیش‌تری در مقابل تغییر شکل است. تراکم خاک بر روی لایه ژئوگرید باعث به‌وجود آمدن نوعی قفل و بست بین سنگ دانه‌ها و ژئوگرید می‌شود. جزییات و مشخصات سازه‌های خاک مسلح در فصل ۱۱ (دیوارهای حایل)، به‌طور کامل ارائه گردیده است.

۱۰-۳-۱- پایدارسازی شیب خاکی

برای پایدارسازی یک شیب فروریخته ابتدا خاکریزش کرده، برداشته شده و خاک بستر شیب، کوبیده می‌شود و در نهایت شیب در لایه‌هایی از خاک کوبیده شده و ژئوگرید، ساخته می‌شود. لایه‌های ژئوگرید، سطح لغزش شیب را قطع کرده و مانع لغزیدن و ازدست رفتن شیب از نو بنا شده می‌شوند. قابل ذکر است به دلیل ویژگی‌های الاستوپلاستیکی و تاثیرهای میرایی لرزه‌ای که توسط لایه ژئوگرید به خاک داده می‌شود، شیب خاکی در مقابل لغزش (زلزله) مستحکم و دارای مقاومت خوبی است.

۱۰-۳-۲- ساخت دیوارهای حایل

تکنولوژی دیوارهای حایل ژئوسینتتیک برگرفته شده از ایده خاک مسلح می‌باشد. این دیوارها به شکل‌های متفاوت و با استفاده از انواع ژئوسینتتیک‌ها طراحی و اجرا می‌گردند. این‌گونه دیوارها در انواع زیر مورد استفاده قرار می‌گیرند:

الف- دیوارهای ژئوتکستایل

در این دیوارها، خاکریز به‌صورت لایه‌لایه اجرا شده و هر لایه بین صفحه‌های ژئوتکستایل قرار می‌گیرد. سپس وجه خارجی دیوار برای مقابله با اشعه فرابنفش پوشش می‌شود.

ب- دیوارهای ژئوگرید

در این دیوارها با استفاده از ژئوگرید، دیوارهای حایلی مشابه دیوارهای ژئوتکستایل اجرا می‌شود. به دلیل سوراخ‌های ژئوگرید، امکان رشد گیاهان در فاصله بین این سوراخ‌ها و یا پشت آنها وجود دارد. همچنین تاثیر اشعه فرابنفش هم کم‌تر است و در نتیجه احتیاج به پوشش دادن وجه خارجی این دیوارها نمی‌باشد.

ج- دیوارهای مسلح با ژئوگرید و یا ژئوبلوک

خاک مسلح شده با استفاده از ژئوگریدها، جایگزینی مناسب برای دیوارهای حایل معمولی و یا دیوارهای خاک مسلح تسمه‌ای است، به‌طوری که هزینه عملیات اجرایی تا ۳۰ درصد می‌تواند کاهش یابد. استفاده از ژئوگرید در خاک‌های مسلح، امکان ساخت حفاظت کناره‌ها تا شیب‌های ۸۰ درجه را می‌دهد، ضمن این که امکان افزایش شیب دیوار تا حالت تقریباً قائم، در صورت به‌کارگیری سامانه ژئوبلوک نیز وجود دارد. این نوع بلوک‌های پیش‌ساخته، هم نوعی حفاظت و پوشش و استحکام برای سطح می‌باشند و هم از داخل به شکلی یکپارچه با ژئوگرید، باعث تقویت خاک می‌شوند. انعطاف‌پذیری قابل توجه خاک مسلح ژئوگریدی، استفاده از آن را نیز در خاک‌های دارای ظرفیت باربری پایین، میسر می‌سازد و این به علت قابلیت آن در سازگار کردن خود با نشست‌های بستر است.

۱۰-۱-۲-۳-۱- ملاحظه‌های عمومی دیوارهای ژئوسینتتیک

- به‌طور کلی طراحی دیوارهای ژئوسینتتیک در سه بخش، تامین شرایط پایداری داخلی به‌منظور تعیین ضخامت لایه‌ها و کنترل طول مهاری و تعیین طول کلی ژئوسینتتیک، کنترل پایداری خارجی کلی، شامل شرایط واژگونی و لغزش و ظرفیت باربری، و طراحی سایر جزئیات لازم، نظیر نحوه پوشش دیوار و ... انجام می‌گیرد.
- سامانه سازه‌ای دیوارهای ژئوسینتتیک، انعطاف‌پذیری بالایی داشته و عملیات زهکشی به راحتی در آنها قابل انجام می‌باشد. این سازه‌ها در مقابل نشست‌های نامساوی و همچنین نیروهای لرزه‌ای مقاوم می‌باشند.
- جهت اجرای این دیوارها، تجهیزات سنگین نیاز نبوده و در اجرای آن می‌توان از نیروی انسانی غیرمتخصص استفاده نمود و در مجموع، به‌طور معمول نسبت به سایر دیوارهای حایل اقتصادی‌تر می‌باشند. حجم عملیات خاکی و حفاری پشت این دیوارها نسبت به دیوارهای حایل معمولی و خاک مسلح کم‌تر بوده و همچنین خاکریز پشت دیوار می‌تواند شامل ریزدانه هم باشد.
- برای اجرای دیوارهای ژئوسینتتیک نیازی به عملیات پی‌سازی نیست و تنها باید عملیات بسترسازی انجام شود. مراحل اجرایی به شرح زیر می‌باشد:
- پس از انجام عملیات بسترسازی، یک قالب چوبی با ارتفاع کمی بیش از ارتفاع لایه‌های خاکریزی، بر روی زمین (یا بر روی لایه اجرا شده قبلی) قرار می‌گیرد. این قالب مجموعه‌ای از یک سری نشیمن‌های L شکل فلزی و یک تخته سرتاسری به موازات وجه خارجی دیوار است.
- ژئوتکستایل یا ژئوگرید به‌گونه‌ای گسترده می‌شود که تقریباً یک متر از روی لبه فوقانی قالب بیرون افتاده و آزاد باشد. معمولاً جهت الیاف، عمود بر دیوار بوده و درزهای نوارهای مجاور، دوخته شده یا بر روی هم به‌صورت هم‌پوشانی اجرا می‌شود. طول پوشش در وصله‌های پوششی، تابعی از نوع ژئوسینتتیک، نوع خاکریز و اصطکاک آن با خاکریز می‌باشد. در این روش علاوه بر مصرف بیش‌تر ژئوسینتتیک، انجام آزمایش‌های مربوط به اصطکاک دو لایه ژئوسینتتیک هم الزامی است. با توجه به موارد فوق توصیه می‌شود جهت وصله ژئوسینتتیک‌ها از روش دوختن آنها استفاده شود.
- خاکریز به ارتفاع سه‌چهارم ضخامت لایه (بین ۲۰ تا ۴۵ سانتی‌متر) ریخته شده و متراکم می‌گردد. مصالح خاکریز، به‌طور معمول از خاک‌های دانه‌ای زهکشی شده می‌باشد.

- یک ریس، اندکی بلندتر از ارتفاع لایه، در مجاورت قالب، اجرا شده و انتهای آزاد ژئوتکستایل یا ژئوگرید به روی ریس برگردانده می‌شود.
- بقیه ارتفاع لایه خاکریز تا ضخامت مورد نظر ریخته شده و متراکم می‌گردد. سپس قالب چوبی از جلوی لایه و نشیمن فلزی از زیر آن برداشته شده و اجرای لایه بعدی به همین صورت انجام می‌گیرد.
- پس از اتمام اجرای دیوار، پوسته و نمای خارجی برای جلوگیری از تاثیرهای زیان‌بار اشعه فرابنفش پوشش می‌شود (بیش‌تر برای دیوارهای ساخته شده از ژئوتکستایل). محصول‌های آسفالتی، قیر و یا بتن‌پاشی از پوشش‌های معمول به این منظور می‌باشند.

۱۰-۳-۳- امکان اجرای شیب‌های خاکی تند و ساخت خاکریزها

با استفاده از ژئوگریدها، امکان ساخت شیب‌های تند فراهم می‌گردد. سطح رویی می‌تواند پوشیده از گیاه یا در صورت لزوم می‌تواند با سطوح پیش‌ساخته بتنی پوشیده شود. شیب اصلی باید از پایه خاک‌برداری شود تا دهانه کافی برای ژئوگریدها فراهم شود. به‌طور میانگین این عرض در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد ارتفاع است. اجرای عملیات، نیاز به فضای زیادی ندارد. همچنین جهت ساخت خاکریزهای بزرگ و با ارتفاع زیاد با شیب ۸۰ تا ۸۵ درصد، از ژئوگریدها استفاده می‌گردد. جهت ساخت این خاکریزها امکان بهره‌برداری از هرگونه خاک در دسترس وجود دارد و لذا صرفه‌جویی قابل توجهی را از نظر هزینه‌های ساخت و ساز دربردارد.

از مصالح ترکیبی ژئوگرید یک سویه، شبکه فلزی و پوشش گیاهی برای ایجاد شیب‌های تند و همچنین حفاظت در برابر فرسایش استفاده می‌گردد. این سامانه شامل ژئوگریدهای یک سویه و شبکه‌های فلزی درجا برای شکل دادن ژئوگرید در سطح، که معمولاً به‌صورت شبکه‌های ۲۰۰×۲۰۰ میلی‌متری یا ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متری (آرماتور به قطر ۸ میلی‌متر) هستند، اجرا می‌شوند. این مجموعه پایداری سطح شیب را هنگام کوبیدن هر لایه تامین کرده و با ایجاد یک سطح قابل کشت که می‌تواند به‌صورت یک لایه ژئوتکستایل به همراه خاک قابل کشت بر روی آن باشد (معمولاً گیاه مناسب به‌وسیله پمپ با فشار^۱ بر روی آن قرار داده می‌شود)، وظیفه کنترل فرسایش را بر عهده دارد.

۱۰-۴-۱- پایدارسازی

از ژئوگریدهای دو سویه و چند لایه دوسویه، جهت پایدارسازی بسترهای سست و پی جاده‌ها و همچنین افزایش باربری شالوده‌های سطحی سازه‌ها، استفاده می‌گردد.

۱۰-۴-۱-۱- ساخت جاده‌ها و تقویت بسترهای سست

در صورت ساخت یک جاده روی خاک نرم یا اشباع شده، به‌منظور جلوگیری از نشست در طول ساخت یا بعد از آن، از لایه‌های ژئوگریدهای مسلح کننده لایه اساس که از مواد دانه‌ای تشکیل شده است، جهت محصور کردن خاک و توزیع بار استفاده می‌شود. ژئوگریدهای دو سویه، امکان کاهش لایه اساس را فراهم آورده و عمر استفاده از سازه را افزایش می‌دهند و همچنین می‌توان از

مصالح دانه‌ای ریزتری استفاده نمود. این نوع ژئوگریدها دارای ساختار شبکه‌ای و منفذدار بوده که در این شبکه‌ها مواد دانه‌ای به علت قفل‌شدگی، محبوس و محدود می‌شوند. در ماسه ریزدانه یا خاک‌های رسی، استفاده از ژئوگرید چندلایه و با شبکه‌بندی ریزتر، توصیه می‌شود. زمانی که ویژگی‌های مربوط به ابعاد دانه‌ای خاک، مناسب نمی‌باشند و نمی‌توانند به‌عنوان فیلتری برای لایه تحتانی خود عمل کنند، باید از احتمال نفوذ این لایه تحتانی به درون لایه فوقانی جلوگیری کرد. بدین منظور، استفاده از ژئوکامپوزیت تولید شده از ژئوتکستایل و ژئوگرید، که با قرارگیری یک لایه ژئوتکستایل بافته نشده بر روی یک لایه ژئوگرید دو سویه ساخته می‌شود، به‌عنوان یک عایق جداساز، توصیه می‌گردد. به علت قابلیت بالای تغییر فرم موضعی ژئوتکستایل‌ها در فضای سوراخ‌های ژئوگرید، از قفل و بست بین لایه ژئوگرید و ذره‌های خاک، جلوگیری نشده و این کارایی حفظ می‌شود. این نوع ژئوکامپوزیت دارای مقاومت کششی زیاد و مدول الاستیسیته بالا، مقاومت در برابر صدمه‌های هنگام نصب و مقاومت در برابر عوامل جوی بوده و به‌ویژه برای پایدارسازی خاک‌ها در جایی که هم مستحکم‌سازی و هم جداسازی بین لایه اساس دانه‌ای و خاک نرم بستر مورد نظر باشد، استفاده می‌گردد.

۱۰-۴-۲- افزایش باربری شالوده‌های سطحی

جای دادن یک یا چند لایه ژئوگریدهای دو سویه در زیر فونداسیون سازه و یا بستر خاکریز، می‌تواند ظرفیت باربری را افزایش داده و از سوراخ‌شدگی^۱ ناشی از ظرفیت ناکافی باربری جلوگیری کند. در این شرایط سطح گسیختگی کلی توسط ژئوگریدها عمیق و بزرگ شده و به همین دلیل مقاومت برشی خاک و ظرفیت باربری، به شکل قابل توجهی افزایش می‌یابند. جهت ساخت خاکریزها، ژئوگریدها بین لایه‌ای از مواد دانه‌ای، نصب شده و به این ترتیب سکویی نگهدارنده برای وزن خاکریز به‌وجود می‌آید. چنین ساختاری مانند یک سامانه زهکشی نیز عمل کرده، خاکریز را در مقابل اشباع شدن محافظت نموده و شکاف‌های ناشی از فشار آب را روی بستر خاکریز کاهش می‌دهد. با استفاده از ترکیب ژئوکامپوزیت (ژئوتکستایل و ژئوگرید) و ژئوگریدهای دو سویه می‌توان به یک سامانه فیلتراسیون-زهکش دست یافت که تعبیه آن در جایی که لازم است آب از بستر خاکریز تخلیه شود ضروری می‌باشد.

۱۰-۵- زهکشی

از ترکیب ژئوتکستایل و ژئونت، نوعی از ژئوکامپوزیت ساخته می‌شود که جهت زهکشی و تخلیه آب در پشت دیوارهای حایل، از آن استفاده می‌گردد. این نوع ژئوکامپوزیت‌ها دارای ظرفیت بالای فیلتراسیون و زهکشی هستند و از قرار دادن ژئوتکستایل‌ها بر روی ژئونت‌ها به‌وجود می‌آیند. در صورت پوشاندن ژئونت‌ها که دارای زهکشی و ظرفیت بالای توزیع بار هستند، با ژئوتکستایل‌ها (فیلتراسیون مناسب) یک سامانه فیلتراسیون-زهکش و حفاظتی بسیار منسجم با قابلیت نصب آسان به‌وجود می‌آید. همچنین در سازه‌هایی که علاوه بر زهکشی و تخلیه آب، نقش حفاظتی داشته، مانند سازه‌هایی که پوشش بتنی دارند و لازم است که از ورود و تماس آب با پوشش داخلی جلوگیری شود، از ژئوکامپوزیت‌های متشکل از ژئوتکستایل، ژئونت و ژئوممبران دندانه‌دار استفاده می‌شود. پوشاندن یک ژئوتکستایل فیلترکننده بر روی یک ژئوممبران که دارای ظرفیت بالای کششی و حفاظتی

است، سامانه موثری از فیلتراسیون - زهکش و حفاظتی که عملکردی ضدآب را دارد، ارائه می‌دهد. این نوع ژئوکامپوزیت باعث توزیع یکنواخت بار، کاهش تنش برشی و نشست متوازن می‌گردد (در سازه‌های زیرزمینی کاربرد دارد).

۱۰-۶- کنترل فرسایش و ایجاد لایه نفوذناپذیر

از ژئوسل و ژئومت و محصول‌های ترکیبی آنها جهت کنترل فرسایش شیب‌های خاکی و سواحل و ایجاد سطوح نفوذناپذیر جهت آبراهه‌ها، حوضچه‌ها و دریاچه‌های مصنوعی استفاده به عمل می‌آید.

۱۰-۶-۱- کنترل فرسایش شیب‌های خاکی

با استفاده از ژئوسل می‌توان خاک روی سطح شیب را استحکام بخشید. وقتی که شبکه‌های ژئوسل تا آخرین حد کششی خود باز شوند، با خاک سبک، فشرده شده و یک ساختار پایدار و مستعد برای رشد گیاه فراهم می‌شود. همچنین سطح این لایه را می‌توان با استفاده از ژئومت‌ها یا لایه‌های تجزیه‌پذیر طبیعی، در مقابل فرسایش سطحی مقاوم‌تر کرد. در شیب‌های متشکل از سنگ‌های نرم و ناپایدار مخلوط با مصالح خاکی نرم‌تر، می‌توان از ژئومت‌های چند لایه به دلیل مقاومت بالا و ساختار شبکه‌ای متراکمشان استفاده کرد. این سامانه، حفاظتی موثر در برابر پدیده فرسایش ناشی از جریان پدید می‌آورد. در پوشش‌های گیاهی سطوح شیب‌دار، لایه سطحی خاک در طی مرحله اولیه رشد گیاه به آسانی می‌تواند توسط جریان آب شسته شده و یا تحت اثر باد فرسایش یابد. بدین منظور با استفاده از ژئومت‌های سه بعدی، از فرسایش سطحی و تشکیل شیارها در خاک جلوگیری می‌گردد. این محصول به شکل رول در دسترس بوده و به راحتی نصب می‌گردد. به این ترتیب که از بالای شیب به پایین هل داده شده و با استفاده از دیرک‌های چوبی محکم گردیده، سپس ژئومت‌ها با خاک پر شده و به صورت دستی یا مکانیکی، بذرافشانی می‌گردند. از روش هیدروسیدینگ (کشت بذر به وسیله پمپ با فشار آب) نیز جهت پخش مخلوط خاک با دانه‌های گیاه می‌توان استفاده کرد. حتی پیش از بذرافشانی و رشد دانه‌ها، ژئومت‌های سه بعدی قادر به کاهش خوردگی خاک شیب بوده و از تشکیل شیارها و جوی‌های کوچک و در نتیجه فرسایش شیب‌های جلوگیری می‌کنند.

۱۰-۶-۲- ایجاد لایه نفوذناپذیر

پوشش‌های پلیمری یا رس معدنی متراکم که در پوشاندن و غیرقابل نفوذکردن آبراهه‌ها، حوضچه‌ها یا دریاچه‌های مصنوعی استفاده می‌شوند، باید هم در مقابل سوراخ شدگی مکانیکی و هم در برابر اشعه فرابنفش محافظت شوند و در صورت امکان قسمتی از آنها که بالای سطح آب قرار می‌گیرد با یک لایه پوشش گیاهی، پوشانده شود. بدین منظور از ژئوسل‌ها که دارای ساختار لانه زنبوری شکل هستند، استفاده می‌گردد که در بالای سطح آب با خاک سطحی و در قسمت‌های پایین و زیر آب، با شن یا بتن پوشیده می‌شوند. سوراخ کردن این غشا مجاز نیست و در نتیجه نمی‌توان از دیرک‌های نگهدارنده استفاده کرد. برای تضمین نیروی کششی و امکان اتصال دیوارهای ژئوسل، از یک لایه ژئوگرید دو سویه در زیر لایه ژئوسل استفاده می‌شود.

۷-۱۰- سازه‌ها و پوشش‌های حفاظتی ساخته شده از ژئوتکستایل

سازه‌های حفاظتی که از ژئوتکستایل‌های مقاوم ساخته می‌شوند دارای مزایایی شامل سرعت ساخت، حمل و نقل و نصب آسان، مقاومت و دوام مناسب با توجه به کاربردها می‌باشند.

۱-۷-۱۰- سامانه بلوک فرش^۱

این سامانه، یک روش کنترل فرسایش کناره‌ها می‌باشد که شامل ژئوتکستایل گوشواره‌دار، بلوک بتنی درجا و ابزار قفل و بست، مانند پین‌ها و تیرهای فلزی، می‌باشد. ژئوتکستایل گوشواره‌دار از ورق‌های پلی‌پروپیلن به ضخامت یک سانتی‌متر و با مقاومت بالا تشکیل شده که بلوک‌های بتنی بر روی آن اجرا می‌شود. ابعاد و تعداد بلوک‌ها با توجه به نوع پروژه و نحوه طراحی متفاوت می‌باشد. در خلال قالب‌بندی و ارتعاش بتن، حلقه‌های آجدار (ورق‌های آجدار پروپیلن) در قاعده بلوک بتنی نفوذ می‌کنند و در نتیجه یک اتصال محکم بین بلوک و بستر پلیمری به‌وجود می‌آید و هزینه استفاده از پین‌های فلزی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. این نوع سامانه‌های حفاظتی، به نگهداری نیاز نداشته و عمر طولانی دارند. همچنین قابلیت تغییر شکل یکنواخت (نشست) زیرلایه را دارا می‌باشند و در صورتی که به درستی نصب شوند، در برابر تخریب مقاوم می‌باشند. این پوشش، ثبات و دوام بسیار خوبی در خشکی و آب دارد و حاوی افزودنی‌های خاصی جهت محافظت در برابر فرسایش و اشعه فرابنفش است. همچنین این لایه‌های محافظ دارای مقاومت بسیار خوبی در برابر مواد شیمیایی، سایش و پاره‌شدگی می‌باشند. در جدول (۱-۱۰)، اطلاعات مربوط به بلوک فرش‌های استاندارد (با جرم حجمی ۲۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و موارد استفاده براساس حداکثر سرعت جریان (توصیه کارخانه سازنده) ارائه گردیده است.

جدول ۱-۱۰- نوع بلوک فرش پیشنهادی براساس حداکثر سرعت جریان (m/s)

ارتفاع بلوک (mm)	شیب خاکریز کناره (قائم به افقی)	نوع پوشش	۱ به ۱/۵	۱ به ۲	۱ به ۴ و ملایم‌تر
۴۰	FM40		۲/۵	۲/۷	۲/۹
۶۵	FM65		۳/۲	۳/۴	۳/۷
۱۰۰	FM100		۳/۸	۴/۱	۴/۴
۱۵۰	FM150		۴/۶	۴/۹	۵/۳

به‌طور معمول بلوک فرش‌ها برای جلوگیری از خزش یا لغزش، تحت تاثیر حرکت وسایل نقلیه و دینامیک جریان نیاز به دوخته شدن به لایه زیرین خود دارند. به همین منظور از پین‌های فولادی استفاده می‌گردد. پین‌های کوتاه برای FM40 استفاده می‌شوند و پین‌های بلندتر برای انواع سنگین‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پوشش بلوک فرش، پین‌های عرضی بین دو ردیف بلوک‌های بتنی، بالای بلوک فرش نصب می‌شوند.

۱۰-۷-۲- سامانه لحاف بتنی^۱

این سامانه شامل دو لایه ژئوتکستایل بافته شده با مقاومت کششی بالا می‌باشد که با دوخت محکم به هم، ساختار یک قالب بالشی را تشکیل داده و در نهایت با بتن نفوذناپذیر پر می‌شود. این پوشش بر روی هر بستر و با هر شرایطی قابل اجرا بوده و به علت خاصیت انعطاف‌پذیری دارای مقاومت بالایی در برابر نشست نامتقارن می‌باشد. از ویژگی‌های دیگر این سامانه قابلیت نصب در زیر آب و در سرعت جریان بالا در رودخانه‌ها می‌باشد.

انتخاب نوع محصول لحاف بتنی براساس نیازمندی‌های هر پروژه و تجزیه دینامیکی و سازه‌ای آن استوار است. لایه‌های ژئوتکستایل در کارخانه تولید شده و در ابعاد مشخص به هم دوخته می‌شوند. در محل اجرا، این رول‌ها توسط ماشین‌های دوخت ویژه یا زیپ‌های تعبیه شده در کارخانه، قبل از جایگزینی و بتن‌ریزی به یک واحد تبدیل می‌شوند.

لحاف بتنی به راحتی قابل حمل با کارگر یا وسایل حمل سبک می‌باشد. محل دهانه پمپاژ بتن یا در ابتدای لحاف تعبیه می‌گردد و یا با علامتی که در کارخانه زده می‌شود، داخل سایت، پاره و آماده پمپاژ می‌گردد. سرعت اجرای لحاف بتنی بستگی به نحوه تجهیز کارگاه بتن‌ریزی و آماده بودن بستر دارد. در صورت هماهنگی کارکنان تا بیش از ۳۰۰ مترمربع در روز را می‌توان با این روش پوشش داد.

مقاومت کششی بالای مصالح ژئوتکستایل بافته شده باعث ایجاد یک سامانه دایمی و بدون نیاز به نگهداری دوره‌ای می‌گردد. به دلیل امکان تغییر ابعاد رول‌ها می‌توان از آن در ساخت حوضچه‌ها و پوشش کناره‌ها با پیچ و خم زیاد استفاده کرد. همچنین این پوشش در برابر نور خورشید مقاوم بوده و با آب واکنشی ایجاد نمی‌نماید.

لحاف‌های بتنی شامل دو سامانه F.C.M^۲ و F.F.M^۳ می‌باشند. کاربرد بالشتک‌های بتنی F.C.M، ایجاد یک لایه نفوذناپذیر می‌باشد. سطح مقطع این محصول پس از پر شدن، کاملاً یکسان خواهد بود. با تغییر طول عناصر اتصالی، ضخامت پوشش می‌تواند از ۷/۵ تا حتی ۶۰ سانتی‌متر تغییر کند. کاربرد عمده این محصول، آب‌بندی شیب‌ها و بستر رودخانه برای محل‌هایی است که فشار آب منفذی بالا و شرایط بستر نامناسب است. همچنین این سامانه می‌تواند به‌عنوان یک گزینه مناسب جهت کنترل فرسایش در بسترهای بسیار شیب‌دار مطرح گردد.

هدف اصلی F.F.M ایجاد یک سامانه مقاوم در برابر بارهای هیدرواستاتیک بسیار بالا می‌باشد. این مهم با وزن بالا و قابلیت انعطاف‌پذیری و تحمل نشست‌ها و فشارهای بالا زدگی آب تامین می‌شود. F.F.M، یک سامانه همیشگی مقاوم در برابر فشارهای هیدرواستاتیک است. کاربرد آن در پوشش شیب‌ها و حفاظت کناره‌ها می‌باشد. به‌طور معمول طول استاندارد رول‌های لحاف بتنی، ۱۰۰ متر و عرض آنها ۳/۷۵ متر است. اما در صورت نیاز، قابلیت تولید رول‌ها با ابعاد بیش‌تر نیز وجود دارد. لازم به ذکر است که در محاسبه میزان مساحت لحاف مورد نیاز باید ۱۰٪ کاهش سطح به دلیل انقباض بتن، لحاظ گردد.

1- Flexitex

2- Flexitex Concrete Mattress

3- Flexitex Filter Mattress

فصل ۱۱

دیوارهای حایل

۱۱-۱- کلیات

جهت حفاظت سواحل رودخانه در مناطق و شرایطی که امکان اجرای شیب پایدار (جانبی) و یا پوشش مقاوم (مناطق مسکونی و غیره) وجود نداشته باشد و یا شرایط طرح ایجاب نماید (سرعت جریان و نیروهای وارد شده به کناره) و یا این که ارتفاع زیاد، باعث حجیم شدن خاکریزها و مصالح گردد، از دیوارهای حایل^۱ استفاده به عمل می آید. همچنین از آنها به منظور تکیه گاه های کناری سازه های رودخانه ای (شیب شکن ها، سرریزها و سدهای انحرافی و ...) مورد استفاده قرار می گیرند. این دیوارها معمولاً به منظور حفاظت از تاسیسات جانبی احداث می گردند و همچنین از فرسایش سواحل رودخانه، به دلیل تأثیری که بر روی الگوی جریان موضعی می گذارد، جلوگیری می نمایند.

به طور کلی دیوار حایل، دیواری است که فشار ناشی از وضعیت موجود در اختلاف تراز به وجود آمده به علت خاکریزی، خاک برداری و یا عوامل طبیعی را به صورت پایدار حفظ نماید. دیوار سیل بند^۲، دیوار حایلی است که علاوه بر آن، وظیفه محافظت منطقه ای را از ورود سیلاب عهده دار است. اختلاف عمده دیوارهای حایل معمولی با دیوارهای سیل بند، وجود آب در دیوارهای سیل بند به عنوان عامل فرسایش دهنده و ایجادکننده فشار خارجی است. برحسب نوع زمین، شالوده های دیوارهای حایل می تواند از نوع سطحی یا عمیق (مستقر بر شمع) باشند.

۱۱-۲- انواع دیوارهای حایل

دیوارهای حایل از نظر مصالح، روش اجرا، کاربری و عملکرد در انواع مختلفی می باشند. از لحاظ عملکرد سازه ای، انواع متعارف دیوارهای حایل به شرح زیر می باشد:

الف- دیوارهای حایل صلب^۳

این نوع دیوارها، دیوارهایی هستند که خود را با نشست های محیط میزبان هماهنگ نمی نمایند و شامل دیوارهای حایل وزنی (بتنی، بنایی و خاکی)، دیوارهای حایل غیروزی (طره ای و پشت بنددار و ...) و دیوارهای حایل عمیق (سپرهای بتنی) می باشند.

ب- دیوارهای حایل انعطاف پذیر^۴

این نوع دیوارها، دیوارهایی هستند که خود را با نشست محیط میزبان هماهنگ نموده و شامل دیوارهای خاک مسلح با تسمه های فولادی یا شبکه های پلیمری^۵، دیوارهای تورسنگی^۶، دیوارهای قفسه ای^۷، شمع های پهلوه پهلوه^۸ و سپرهای فولادی

1- Retaining Walls

2- Flood Wall

3- Rigid

4- Flexible

5- Geogrid

6- Gabion

7- Crib

8- Soldier Pile

می‌باشند. هرچند که هزینه اولیه این دیوارها نسبت به دیوارهای صلب کمتر است، ولی باید به عمر کمتر آنها در مقایسه با دیوارهای صلب، توجه خاص نمود و در مقایسه گزینه‌ها آن را مد نظر قرار داد.

۱۱-۲-۱- دیوارهای حایل وزنی

دیوارهای حایل وزنی در انواع بتنی، بنایی و خاکی (خاکی بیش‌تر برای دیوارهای سیل‌بند) ساخته می‌شوند. در ایران نوع سنگی برای ساحل‌سازی رودخانه‌ها و مسیل‌ها، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. شرط استفاده از این دیوارها وجود زمین با مقاومت کافی در زیر آن است.

هندسه دیوارهای حایل وزنی (بتنی و بنایی) طوری انتخاب می‌گردد که برآیند نیروهای وارد بر آن (شامل وزن و نیروهای جانبی)، در قاعده و یا مقاطع افقی آن قرار گیرد. گاهی تنش کششی ناچیزی در مقاطع افقی دیوار و یا منطقه بدون فشار در قاعده دیوار مجاز است.

نوع خاکی، برای افزایش ارتفاع سواحل رودخانه‌ها و یا هدایت رواناب در کناره مسیل و جلوگیری از هجوم سیلاب به اراضی کشاورزی و شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۱-۲-۲- دیوارهای حایل غیروزنی

این نوع دیوارهای حایل که طرح هندسی مقطع آنها شبیه به T وارونه است، برای مقابله با نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از بارها و فشارهای خارجی، با استفاده از آرماتور مسلح می‌گردد. در این نوع دیوارها موارد زیر را باید مد نظر قرار داد:

- عرض پی دیوار طوری انتخاب می‌گردد که از واژگونی و لغزش دیوار جلوگیری به‌عمل آمده و تنش تماسی خاک در زیر آن از مقدار مجاز کمتر باشد. همچنین تراز زیر شالوده باید پایین‌تر از عمق یخبندان در نظر گرفته شود.
- در این دیوارها در صورتی که در روی خاک احداث شوند، برای افزایش ضریب اطمینان در مقابل لغزش، می‌توان از زبانه برش گیر^۱ استفاده نمود.
- چنانچه این دیوارها روی سنگ احداث شوند معمولاً نیاز به زبانه برش گیر نخواهند داشت.
- در صورت احداث این دیوارها در زمین نامناسب، وجود فونداسیون شمعی لازم خواهد بود. استفاده از تدابیری جهت جلوگیری از فرسایش پای دیوار در مقابل جریان آب لازم است. به‌این منظور علاوه بر حفاظت پنجه توسط سنگ‌چین و ...، سپر فلزی در پای دیوار بتنی نیز می‌تواند به‌عنوان یک راه حل مورد توجه قرار گیرد. پی دیوار می‌تواند به‌صورت افقی یا شیب‌دار ساخته شود.

دیوارهای طره‌ای I و L شکل، شامل سپر یا شمع فولادی می‌باشند که در بالای آنها دیوار احداث شده است. از این دیوارها در زمین‌های نرم با ظرفیت باربری کم که احتمال فرسایش ناشی از جریان آب در آنها زیاد است، استفاده می‌شود. در مقایسه با سایر دیوارهای غیروزنی، دیوار حایل طره‌ای از همه ساده‌تر و معمول‌تر است. در دیوارهای بتن مسلح پشت‌بنددار، هرچند ممکن است از نظر مصرف بتن و آرماتور صرفه‌جویی به‌عمل آید، اما به علت مشکل‌های قالب‌بندی و اجرایی چندان کاربری

ندارند. از دیوارهای بتن مسلح پشت‌بنددار جهت دیوارهای سیل‌بند در مواردی که ارتفاع دیوار بلند باشد، استفاده به عمل می‌آید و به علت وزن زیاد، استفاده از آنها در زمین‌های با مقاومت ناکافی میسر نمی‌باشد.

۱۱-۲-۳- سپرهای بتنی مهار شده و سپرهای فولادی

این دیوارها شامل سپرهای بتنی و فولادی می‌باشند. سپرهای بتنی در مجاورت یکدیگر کوبیده شده و در بالای آنها به‌منظور یکپارچگی، کلاف بتنی درجا ریخته می‌شود. از این دیوارها به‌عنوان دیوارهای ساحلی به وفور استفاده می‌شود. استفاده از این دیوارها در مواردی که سطح آب زیرزمینی بالا باشد ایده‌آل است. از انواع دیگر دیوارهای حایل، سپرهای فلزی می‌باشند که می‌توانند به‌صورت مهار شده و یا مهار نشده باشند. در کل، استفاده از سپرهای فولادی از لحاظ اجرا ساده و سریع ولی از لحاظ هزینه گران می‌باشد.

۱۱-۲-۴- خاک مسلح

از خاک مسلح نیز به‌عنوان دیوارهای حایل معمولی و یا سیل‌بند استفاده به عمل می‌آید. خاک مسلح در واقع یک نوع مصالح مرکب، متشکل از خاک و مصالح مسلح کننده است که کیفیت خاک موجود را بهبود می‌بخشد. این مواد معمولاً به شکل نوار، شبکه، میله، الیاف و یا ورقه‌هایی بوده که نقش اصلی آنها، تامین مقاومت کششی لازم برای خاک، به مقداری بیش از مقاومت کششی خاک تنها می‌باشد.

۱۱-۲-۵- دیوار تورسنگی

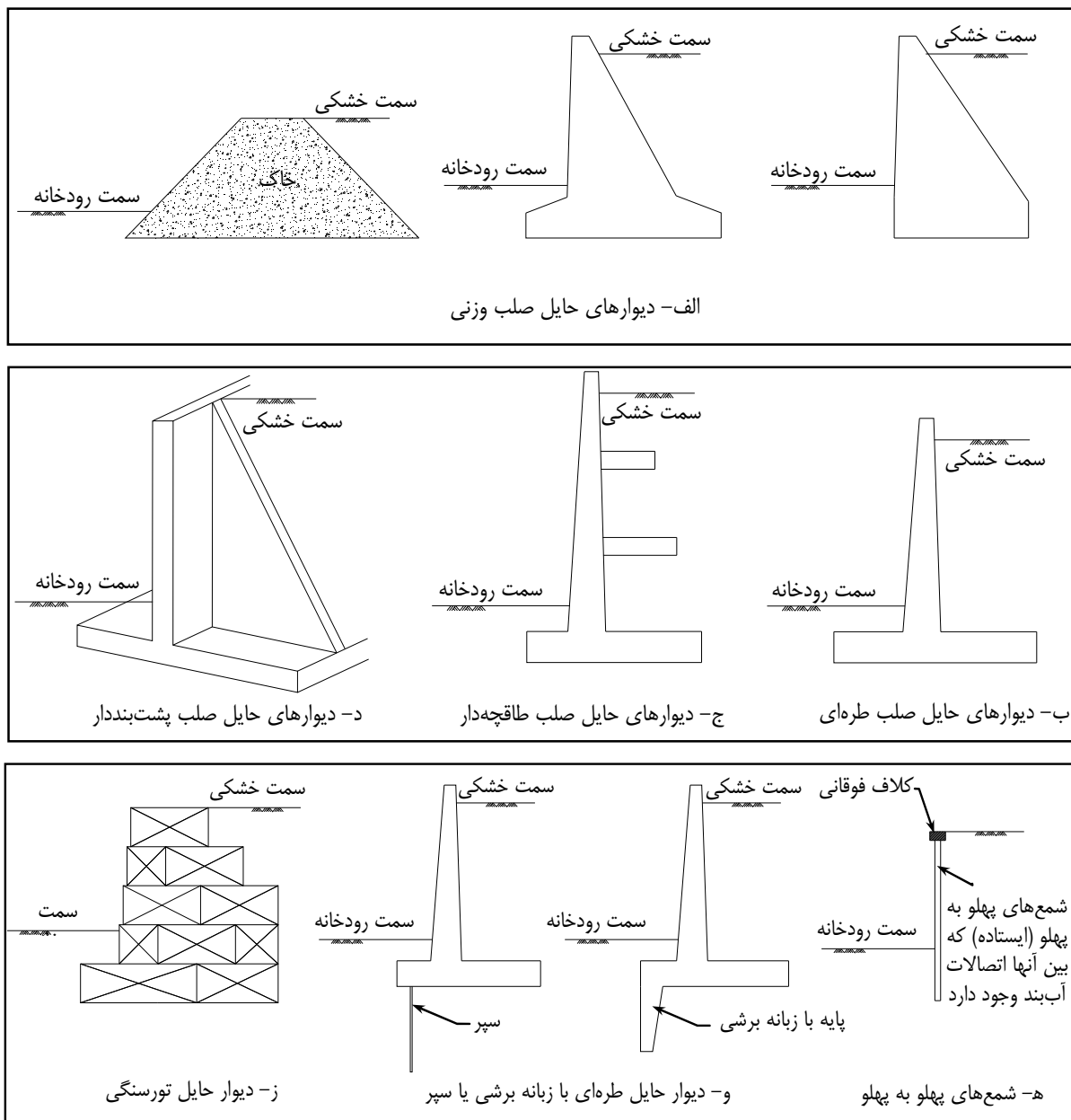
در رودخانه‌های آبرفتی به علت وفور سنگ، دیوارهای تورسنگی انتخاب مناسب و اقتصادی برای ساحل‌سازی و ایجاد دیوارهای حفاظتی و سیل‌بند می‌باشند. مشخصات فنی و اجرایی این گونه سازه‌ها در فصل سازه‌های تورسنگی (فصل نهم) ارائه گردیده است.

۱۱-۲-۶- شمع‌های پهلوه‌پهلوه^۱

در سواحل رودخانه‌ها با آب زیرزمینی بالا و خاک ضعیف، شمع‌های پهلوه‌پهلوه گزینه‌ای مناسب به‌عنوان جایگزین سپرهای فولادی و بتنی به‌منظور ساخت دیوارهای حفاظتی و سیل‌بند است. در این روش شمع‌ها در مجاورت یکدیگر به‌صورت چسبیده، اجرا شده و سپس کلافی در بالای شمع‌ها ساخته می‌شود. این کلاف باعث یکپارچگی شمع‌ها به یکدیگر می‌شود.

۱۱-۲-۷- دیوارهای ساخته شده از مصالح متفرقه

جهت احداث دیوارهای حایل از مصالح دیگری از جمله تیرک‌های چوبی با روکش ژئوتکستایل، تابرهای لاستیکی، یونیت‌های بتنی پیش‌ساخته و همچنین سامانه‌های ترکیبی ساخته شده از تورسنگ یا پانل‌های بتنی با خاک مسلح نیز استفاده به عمل می‌آید. نمونه‌هایی از انواع مختلف دیوارهای حایل در شکل (۱-۱۱) نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱- نمونه‌هایی از انواع مختلف دیوارهای حایل

۱۱-۳- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی عمومی دیوارهای حایل

۱۱-۳-۱- موارد مربوط به طراحی

طراحی دیوار حایل به گونه‌ای انجام می‌گیرد که نه تنها در مقابل نیروهای فرسایشی ناشی از جریان رودخانه، بلکه در مقابل فشار ناشی از خاک و آب زیرزمینی وارد شده از سمت ساحل نیز مقاومت کند.

دیوارهای حایل در مقابل افزایش فشار حفره‌ای آب (به علت افزایش تراز آب زیرزمینی و یا وقوع زلزله) حساس هستند، لذا باید سهولت زهکشی در آنها فراهم گردد. به این منظور از مصالح درشت‌دانه و تمیز (به عنوان مصالح پرکننده در پشت دیوار) و همچنین تعبیه لوله‌های زهکش در بدنه دیوار جهت تسهیل خروج آب‌های جمع شده در پشت دیوار استفاده می‌شود.

به طور کلی برای پایداری دیوارهای حایل و سیل‌بند باید شرایط زیر تامین گردد:

- دیوار باید در مقابل لغزش پایه (شالوده) در داخل هریک از لایه‌های خاک یا سنگ زیر بستر، ایمن باشد.
- دیوار باید در مقابل واژگونی نسبت به پایه خود، ایمن بوده و همچنین در دیوارهای وزنی این ایمنی باید نسبت به هر تراز افقی دیوار تامین گردد.
- دیوار باید در مقابل گسیختگی زمین بستر و نشست‌های نامتقارن بیش از حد شالوده، ایمن باشد.

۱۱-۳-۲- موارد مربوط به اجرا

- در دیوارهای حایل بتنی (حتی اگر خاک پرکننده پشت دیوار حاوی سولفات نباشد) توصیه می‌شود از سیمان‌های مقاوم در برابر سولفات‌ها استفاده شود، زیرا تضمینی وجود ندارد که آب درون مجرا هیچ‌گاه دارای این گونه ترکیب‌ها نباشد. با توجه به این که دیوارهای بتنی درجا، در سواحل به راحتی قابل اجرا نیستند (به دلیل نیاز به تخلیه آب به‌طور مداوم)، توصیه می‌گردد در مخلوط بتن از یک عامل زودگیر استفاده به عمل آید تا بتوان قالب‌ها را سریع‌تر باز نمود و دیوار بتنی در زمان کوتاه‌تری اجرا شود.
- مقطع دیوارهای حایل بتنی باید با توجه به سهولت و استفاده مجدد از قالب‌ها طرح شود. هرگونه محدودیت‌های اجرایی ناشی از جانمایی باید در طراحی در نظر گرفته شود.

۱۱-۳-۱- درزها

در دیوارهای حایل به لحاظ فنی و اجرایی از درزهای انبساطی، انقباضی و اجرایی افقی و همچنین نوارهای آب‌بند به شرح زیر استفاده می‌شود:

الف- درزهای انبساطی

این درزها برای کنترل آثار زیان‌بار ناشی از تغییر طول‌های حرارتی فصلی، نشست‌های تکیه‌گاهی و ارتعاش‌های طولی ناشی از زلزله در دیوارهای حایل تعبیه می‌شوند. معمولاً درزهای انبساطی برای جلوگیری از خردشدن و ترک‌خوردن و گاهی اوقات برای قطع یکسری، مورد نیاز می‌باشند (به فواصل حدود ۳۰ تا ۳۵ متر). همچنین در دیوارهای نسبتاً نازک، در نواحی که انبساط یا نشست‌های نامساوی در آن‌جا قابل انتظار می‌باشد، در نظر گرفته می‌شوند. تعبیه درزهای انبساط در نقاط تغییر در امتداد دیوار، تغییرهای ناگهانی در مقطع، تغییرهای ناگهانی در جنس خاک پی و در فواصل منظم در طول‌های مستقیم لازم است.

در درز انبساط بین دو لبه دیوار، فاصله مناسب منظور شده و آرماتورهای طولی در محل درزها قطع می‌شوند و از آن عبور نمی‌کنند. برای جلوگیری از حرکت‌های خارج از صفحه، می‌توان میلگردهایی به صورت زبانه در محل درز انبساط تعبیه نمود مشروط

براین که با بتن مجاور چسبندگی نداشته باشد (آرماتور برشی). در محل هایی که نیاز به آب بندی وجود دارد، آب بندی درز طبق ضوابط مندرج در فصل ششم این نشریه (کارهای بتنی و قالب بندی) انجام می گردد.

ب- درزهای انقباضی

در دیوارهای طویل یا سطوح وسیع، مقاطعی به طور عمدی ضعیف طراحی می شوند تا ترک خوردن بتن که می تواند اجتناب ناپذیر و غیرقابل پیش بینی باشد در موقعیت ها و سطوح مشخص رخ دهد. از درز انقباضی می توان برای تقسیم سازه دیوار به قطعه های قابل اجرا، به عنوان جایگزین درزهای اجرایی استفاده نمود. با توجه به این که تعبیه آرماتور افقی کافی برای جلوگیری از ایجاد هرگونه ترک، غیرعملی و غیراقتصادی است، بنابراین به عنوان روش عملی، استفاده از درزهای انقباضی قائم با آرماتورهای افقی ممتد برای کنترل موقعیت ترک ها مناسب می باشد. به طور کلی در هر پروژه موقعیت این درزها با بررسی نیازهای طراحی سازه ای، حجم اقتصادی بتن ریزی در یک قطعه اجرایی و استفاده بهینه و اقتصادی از قالب ها مشخص می شوند. به طور معمول درزهای انقباضی در فواصل به طول ۶ تا ۱۰ متر تعبیه می شوند. معمولاً سطح درز انقباضی به صورت صاف و قالب بندی شده می باشد. درزهای انقباضی قائم می تواند به صورت انقباضی- اجرایی و یا انقباضی- القایی باشد. در درز انقباضی- اجرایی، بتن قطع می شود اما در درز انقباضی- القایی، بتن ریزی مداوم است و فقط مقطع درز ضعیف می گردد.

ج- درز اجرایی افقی

این درزها برای تقسیم ارتفاعی دیوار به چند مرحله اجرایی استفاده می شوند اما باید توجه نمود که تعداد آنها تا حد امکان در حداقل حفظ گردد. تعداد این درزها بستگی به ارتفاع مجاز بتن ریزی در یک مرحله دارد. استفاده از زبانه (کلید) در این درزها توصیه نمی شود و استفاده از درز افقی مضرس (خشن)، ارجح است زیرا سطوح با چسبندگی و پیوستگی خوب به یکدیگر، نسبت به انتقال برش عملکرد بهتری دارند.

در دیوارهای وزنی بتنی محل درزهای افقی با توجه به ارتفاع بتن ریزی در هر مرحله^۱ مشخص می شود. معمولاً در این گونه دیوارها، هر مرحله بتن ریزی حدود ۳ متر ارتفاع دارد. سطح بالای هر مرحله بتن ریزی باید تمیز شده و به وسیله فشار جت آب، قبل از بتن ریزی مرحله جدید، به صورت مضرس (خشن) درآید.

در دیوارهای طره ای بتنی باید در محل اتصال دیوار با پی، یک درز اجرایی تعبیه شود و درزهای افقی اضافی در ارتفاع دیوار با فواصلی حدود ۳ متر تعبیه شوند. سطح هر درز جهت کسب مقاومت برشی باید تا حد ممکن مضرس (خشن) شود.

د- نوارهای آب بند^۲

نوارهای آب بند غیرفلزی نظیر نوارهای لاستیکی یا PVC باید منطبق بر مشخصات آیین نامه ۱۲۳ (ضوابط و معیارهای طراحی و محاسبه مخازن بتنی) باشند.

– در هنگام آرماتوربندی پی دیوار حایل بتنی، میلگردهای انتظار به منظور اتصال دیوار به پی، نصب می گردد. پس از تکمیل عملیات بتن ریزی پی، با توجه به ارتفاع کل دیوار، بتن ریزی در چند مرحله انجام می شود و توصیه می شود که هر مرحله

1- Lift

2- Water Stop

بتن‌ریزی بیش از ۲ متر ارتفاع نداشته باشد. بدیهی است بر حسب نوع کاربری دیوار حایل و به‌منظور جلوگیری از نشست و نفوذ آب به داخل تاسیسات هم‌جوار، در هر مرحله از بتن‌ریزی، به‌منظور آب‌بندی، آب‌بند نصب می‌گردد. پس از تکمیل عملیات بتن‌ریزی دیوار، فیلترریزی و نصب لوله‌های زهکش در پشت آن انجام شده و سپس نسبت به خاکریزی پشت دیوار اقدام می‌گردد.

۱۱-۳-۳- خاکریز پشت دیوار^۱ (پشته‌ریزی)

۱۱-۳-۳-۱- مصالح

برای خاکریزی پشت دیوار، مصالح مختلفی را می‌توان استفاده کرد. توصیه می‌شود در صورت امکان از مصالح قابل دسترسی محلی استفاده شود. در صورتی که خاک منطقه مناسب نباشد یا کنترل پدیده رگاب لازم باشد، می‌توان از مصالح مناسب غیرمحلی استفاده نمود.

شن و ماسه تمیز مناسب‌ترین نوع مصالح می‌باشند. این مصالح به سرعت زهکشی می‌شوند و تحت تاثیر یخ‌زدگی قرار نمی‌گیرند و به‌صورت اولیه باقی می‌مانند. ماسه‌های لای‌دار، لای‌ها و خاک‌های درشت‌دانه، شامل مقداری رس، از آن‌جایی که به‌کندی زهکشی می‌شوند چندان مناسب نمی‌باشند. این خاک‌ها تحت تاثیر تغییرهای حجمی فصلی قرار می‌گیرند و مقاومتشان را با گذشت زمان از دست می‌دهند. ایجاد ترک‌های انقباضی ناشی از پرشدن آب در رس‌ها می‌تواند باعث اعمال فشار هیدرواستاتیکی بر دیوار گردد. در هنگام اجرا در زمستان، مصالح خاکریز یخ‌زده، نباید زیر پی سازه دیوار مورد استفاده قرار گیرد. این مصالح ممکن است در هنگام خاکریزی مناسب به نظر برسند اما وقتی که گرم شوند می‌توانند خواص مقاومتی را کسب نمایند.

۱۱-۳-۳-۲- خاکریزی و تراکم

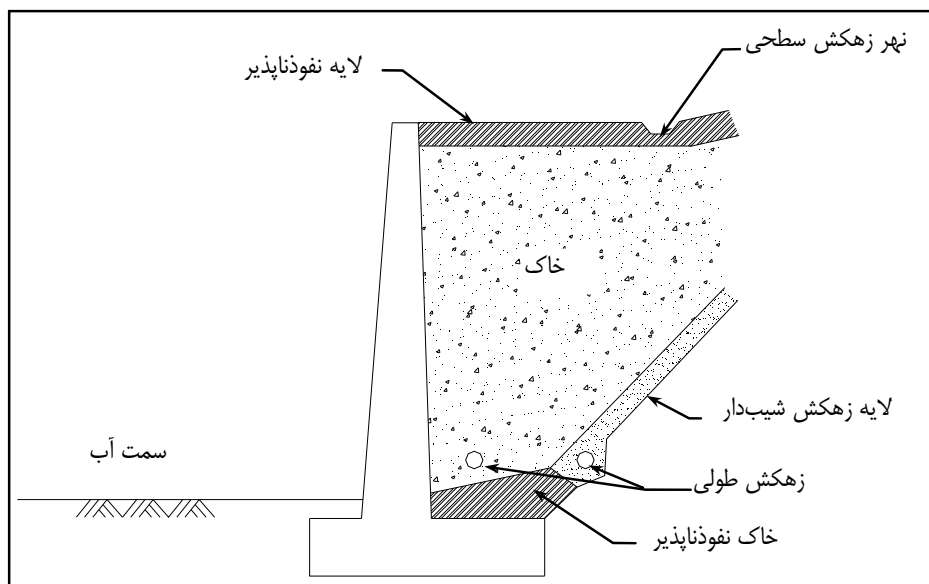
مصالح خاکریزی باید به‌دقت انتخاب شده و به‌منظور جلوگیری از نشست‌های بزرگ ناشی از وزن خاکریز، متراکم گردند. میزان تراکم مورد نیاز، به خواص مصالح و نیازهای سازه‌ای بستگی دارد. در خاک‌های چسبنده، کنترل خیلی شدیدتری برروی میزان تراکم لازم است. به‌طور کلی خاکریزی و تراکم باید منطبق بر مشخصات فصل سوم این نشریه (عملیات خاکی، حفاری و به‌سازی خاک) صورت پذیرد. توصیه می‌شود در بالاترین لایه خاکریزی از یک لایه خاک نفوذناپذیر (آب‌بند) به ضخامت حداقل ۳۰ سانتی‌متر برای کاهش نفوذ آب باران استفاده شود.

۱۱-۳-۳-۳- زهکشی

سامانه زهکشی نامناسب، از عمده‌ترین دلایل خرابی دیوارهای حایل می‌باشد. این سامانه برای از بین بردن فشارهای هیدرواستاتیک وارد بر سطح گسیختگی و سطح پشت دیوار در اثر نشست آب و نفوذ باران، لازم می‌باشند. در برخی از حالات، سامانه زهکشی برای ممانعت از افزایش فشار ناشی از یخ‌زدگی خاکریز یا حداقل کردن فشار ناشی از تورم خاک‌های چسبنده لازم است. نوع

سامانه زهکشی به جنس مصالح خاگریز، مقدار بارش، شرایط آب سطحی و زیرزمینی و پتانسیل یخزدگی بستگی داشته و دیوار باید دارای ضریب ایمنی مناسب در ارتباط با آن باشد.

موثرترین روش برای کنترل زهکشی، انجام خاگریزی بر روی یک لایه زهکش شیبدار همراه با زهکش طولی است. لایه زهکش شیبدار، افزایش فشارهای هیدرواستاتیک بر روی سطح گسیختگی در اثر نشت آب زیرزمینی و نفوذ آب باران را به حداقل می‌رساند. در شکل (۱۱-۲)، نمونه‌ای از استفاده لایه زهکش شیبدار همراه با زهکش طولی نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲- نمونه‌ای از استفاده لایه زهکش شیبدار همراه با زهکش طولی

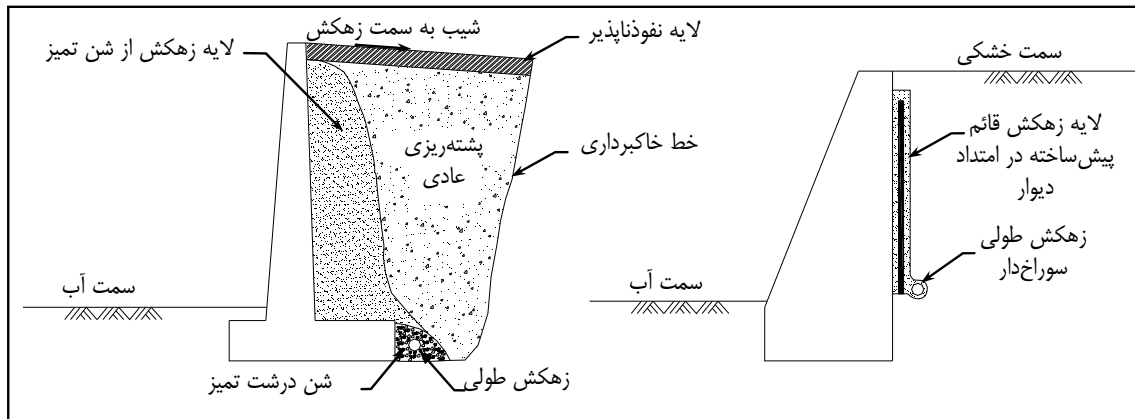
استفاده از زهکش در امتداد دیوار، تاثیر کمتری دارد و غالبا باعث اعمال نیروهای بزرگ‌تری به دیوار می‌شود ولی برای دیوارهای نسبتا کوتاه (تقریبا کم‌تر از ۳ متر)، افزایش این نیروها خیلی زیاد نیست و روش استفاده از زهکش در مجاورت دیوار، اغلب به کار می‌رود.

زهکش‌های در امتداد دیوار را می‌توان به صورت یک لایه زهکش درجا (شن تمیز) یا یک سامانه زهکش پیش‌ساخته در نظر گرفت. در صورت استفاده از زهکش پیش‌ساخته در مجاورت دیوار، مقاومت آن در برابر شکستگی باید از سه برابر حداکثر فشار جانبی وارد بر دیوار، بزرگ‌تر باشد. استفاده از این زهکش‌ها برای زهکش شیبدار، به دلیل امکان وارد آمدن صدمه به زهکش در حین عملیات کوبیدن خاک و همچنین لغزش زهکش در امتداد صفحه زهکش، توصیه نمی‌شود.

زهکش‌های طولی برای تخلیه آب از پشت دیوار حایل به داخل رودخانه یا آبرو استفاده می‌شوند. قطر زهکش‌های طولی باید به اندازه کافی بزرگ باشد و همچنین برای تامین سرعت مناسب جهت شستن رسوبات از داخل زهکش، دارای شیب طولی مناسب باشند. برای حداقل کردن مسدودشدگی در نیمه تحتانی لوله باید سوراخ‌هایی را تعبیه نمود. سوراخ‌های زهکش^۱ لوله‌هایی به قطر حداقل ۷۵ میلی‌متر می‌باشند که به‌طور عرضی در داخل تیغه دیوار قرار دارند. برای جلوگیری از مسدود شدن لوله‌های زهکش باید در ورودی لوله، توده شنی و مصالح فیلتر تعبیه گردد. به‌طور معمول فاصله سوراخ زهکش به صورت قائم و افقی نباید بیش از ۳ متر باشد

1- Weep Holes

(برای یک لوله به قطر ۱۵ سانتی متر حداقل شیب در حدود ۰/۱۵ می باشد). در شکل (۱۱-۳)، استفاده از زهکش در امتداد دیوار نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۳- استفاده از زهکش در امتداد دیوار

زهکش‌ها باید با استفاده از لایه‌های فیلتر به‌طور مناسبی محافظت شوند تا بدون این که مصالح خاکریز به داخل زهکش وارد شود، عمل خروج آب به‌طور آزاد انجام پذیرد. معیار پایداری یا کنترل رگاب، براساس نسبت اندازه دانه‌بندی بین مصالح محافظت شده و مصالح فیلتر، مطابق با مطالب مندرج در فصل دوازدهم این نشریه (عملیات انحراف موقت آب، زهکشی و تخلیه آب‌های مازاد) می باشد.

زهکش باید بتواند جریان آب مورد نظر طراحی را به‌طور آزاد و بدون حرکت ذره‌های خاک از خود عبور دهد. لایه‌های زهکشی را می‌توان از شن و ماسه تمیز یا زهکش مرکب پیش ساخته (برای کارهای خاص) اجرا نمود.

هنگام عملیات اجرایی زهکش‌ها باید موارد زیر را مد نظر قرار داد:

الف- زهکش‌های ساخته شده با شن و ماسه

در هنگام ریختن مصالح زهکش، نباید جدایی^۱ در دانه‌ها به‌وجود آمده و یا دچار آلودگی گردند. جدایی دانه‌ها باعث برهم خوردن شرایط نفوذپذیری و پایداری مصالح زهکش می‌گردد. آلوده شدن مصالح فیلتر به مواد مضر در اثر آب گل‌آلود، گرد و غبار و ...، در حین اجرا، می‌تواند باعث گرفتگی سوراخ‌ها و فضاهای خالی در مصالح شده و مانع انجام زهکشی صحیح گردد. در صورتی که مصالح فیلتر یا زهکشی دارای مواد مضر باشند باید آنها را تعویض نمود. مصالح فیلتر که تحت تاثیر سفت شدن (گیرش) می‌باشد باید خارج شود.

ب- زهکش‌های پیش ساخته

هنگامی که عملیات کوبیدن مصالح خاکریز در نزدیکی زهکش پیش ساخته مجاور دیوار حایل انجام می‌شود باید شرایط خاصی رعایت شود. کوبیدن و تراکم در نزدیکی دیوار حایل می‌تواند فشارهای جانبی را افزایش داده و باعث خرد شدن زهکش پیش ساخته و

یا کاهش نفوذپذیری شود. توصیه‌های سازندگان این زهکش‌ها برای خاکریزی و کوبیدن خاک نزدیک زهکش‌ها باید رعایت شود. هنگامی که از سنگ شکسته به عنوان مصالح خاکریز استفاده می‌شود، لایه‌ای از ماسه باید در مقابل زهکش پیش‌ساخته برای محافظت از آن در برابر آسیب‌های ناشی از تراکم تعبیه گردد.

ج- زهکش‌های طولی

اتصال نامناسب می‌تواند عملکرد کلی سامانه زهکش طولی را مختل سازد. در هنگام کوبیدن و متراکم کردن خاک در بالای زهکش، باید دقت لازم را برای جلوگیری از شکستن لوله انجام داد. نشست‌های نامساوی می‌تواند باعث بازشدن اتصال‌های لوله‌ها به سمت بالا و داخل شدن خاک به درون لوله شوند. برای کاهش این مشکل باید دقت نمود تا مصالح زیر لوله به‌طور یکنواخت و مناسب متراکم شوند.

۱۱-۴- ملاحظه‌های فنی دیوارهای سیل‌بند

عملکرد دیوار سیل‌بند، هدایت رواناب و جلوگیری از گسترش سیل در منطقه مورد حفاظت می‌باشد. دیوار سیل‌بند در یک وجه، تحت تاثیر بارگذاری فشاری هیدرواستاتیک سیلاب و در وجه دیگر، تحت تاثیر فشار خاک و آب زیرزمینی است. سیل‌بندهای رودخانه‌ای در طول مشخصی از ساحل رودخانه یا سیل، اجرا شده و در هنگام سیلاب با جلوگیری از ورود سیل به اراضی کشاورزی و شهری، تحت تاثیر فشار هیدرواستاتیک از سمت رودخانه تا تراز سیلاب قرار می‌گیرند.

۱۱-۴-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

عامل‌های تاثیرگذار در ارتفاع سیل‌بند عبارتند از:

- بده سیلاب طرح و نیمرخ سطح آب
 - تغییرهای کف رودخانه یا ساحل در اثر رسوب‌گذاری یا آبشستگی و یا رشد و از بین رفتن پوشش‌های گیاهی
 - تغییرهای سطح جریان آب در برخورد با پایه پل‌ها و یا در قسمت‌ها و حاشیه‌های ناهموار و در محل پیچ‌ها
 - تغییرها در نوع رژیم سیلاب ناشی از تغییرها در حوضه آبریز منطقه
- در طراحی دیوارهای سیل‌بند ارتفاعی در بالای تراز سیلاب به عنوان ارتفاع آزاد، جهت اطمینان از عدم سرریز آب^۱، کاهش حجم موج سرریز شده و همچنین نشست یا چرخش دیوار سیل‌بند در نظر گرفته می‌شود. به‌طور کلی ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر برای دیوارهای سیل‌بند زمین‌های کشاورزی و ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متر برای دیوارهای سیل‌بند مناطق شهری به عنوان تخمین اولیه انتخاب شود. دیوارهای سیل‌بند، غالباً تحت تاثیر نشست^۲ از میان جسم سازه، زیرنشست^۳ یا جریان زه‌آب در بخش تحتانی و یا نشست در اطراف و انتهای خود می‌باشند. کنترل نشست از جمله ملاحظه‌های اصلی در طرح دیوارهای سیل‌بند بوده و عدم کنترل نشست، معمولاً منجر به افزایش فشار و یا ایجاد فشار برخاست (برکنش) در زیر دیوار و کاهش ضریب ایمنی پایداری خواهد گشت.

1- Over Topping

2- Seepage

3- Under Seepage

افزایش فشار منفذی در مصالح زیر شالوده و یا در حوالی پنجه دیوار ممکن است شرایط ژئوتکنیکی را جهت جوشش ماسه و یا تورم خاک در زیر شالوده فراهم نماید. پدیده نشست در شالوده ممکن است دارای چنان سرعتی باشد که برای جابجایی مصالح چسبنده زیر شالوده و ایجاد پدیده رگاب^۱ کافی باشد. در سیل‌بندها کنترل جریان آب از میان جسم دیوار از طریق نصب لاستیک‌های آب‌بند در درزهای اجرایی یا انبساطی (حرکتی) صورت می‌گیرد. کنترل زه‌آب در دو انتهای دیوار از طریق ساخت خاکریز انتهایی^۲ و آب‌بند نمودن آن با دیوار حایل صورت می‌گیرد. برای کنترل نشست در زیر شالوده دیوار، از پرده آب‌بند^۳، شامل سپرهای فولادی یا بتنی و زهکش سمت خشکی استفاده می‌گردد.

گاهی دیوارهای سیل‌بند روی مصالح آبرفتی اجرا می‌شوند به‌طوری که مصالح نفوذپذیر با ضخامت قابل توجه در زیر لایه نسبتاً نفوذناپذیر فوقانی قرار داشته و به‌صورت هیدرولیکی به رودخانه متصل می‌باشند. به دلیل لایه‌ای بودن مصالح آبرفتی، نفوذپذیری آنها در امتداد افق به میزان قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از نفوذپذیری در امتداد قائم است. مجموع این شرایط باعث وقوع پدیده نشست و جریان آب از زیر دیوار خواهد شد. زمانی که دیوار سیل‌بند بر خاک نفوذپذیر مستقر باشد (در اکثر مواقع) لزوم توجه به پرده آب‌بند جهت قطع زیرنشست، علاوه بر انجام زهکشی جریان آب در پنجه دیوار باید مد نظر قرار گیرد.

۱۱-۴-۱-۱- پرده آب‌بند

پرده آب‌بند می‌تواند شامل ترانشه پرشده با مصالح متراکم نفوذناپذیر، ترانشه پرشده با گل بتونیت، زبانه بتنی برشی و یا سپر کوبیده شده در زمین باشد. پرده آب‌بند معمولاً در انتهای پنجه (سمت آب) دیوار قرار می‌گیرد و باید آن قدر عمیق باشد تا کاهش قابل توجه میزان جریان آب در خاک زیر شالوده دیوار مشهود باشد، هرچند پرده‌های آب‌بند کوتاه‌تر نیز می‌توانند در کاهش فشار برخاست زیر دیوار موثر باشند. نوع و عمق پرده آب‌بند براساس تحلیل نشست و شرایط محل تعیین می‌گردد. سپرهای فولادی به علت عدم درزبندی مناسب در محل قفل و بست لبه‌ها کاملاً نفوذناپذیر نمی‌باشند، با این حال در کاهش گرادبان هیدرولیکی و کاهش پدیده رگاب در پنجه شالوده‌های احداث شده در خاک‌های درشت‌دانه بسیار موثر می‌باشند، به گونه‌ای که اثر آنها در کاهش فشار برخاست زیر شالوده‌های مستقر بر خاک درشت‌دانه تا ۵۰ درصد می‌رسد. اثر پرده‌های آب‌بند در خاک‌های ریزدانه کم‌تر از مصالح درشت‌دانه می‌باشد زیرا چسبندگی موجود در مصالح ریزدانه منجر به وقوع ترک‌خوردگی یا جدایی خاک از پرده آب‌بند می‌گردد.

۱۱-۴-۱-۲- زهکش سمت خشکی

کلیه سیل‌بندهایی که در خشکی قرار می‌گیرند باید مجهز به زهکش در سمت خشکی باشند. این نوع زهکش که در لبه شالوده دیوار در سمت خشکی قرار گرفته و به موازات آن امتداد می‌یابد به‌عنوان مجرای برای خروج جریان‌های موضعی زیر دیوار، کنترل‌کننده پدیده رگاب و فشار برخاست اضافی در نزدیکی شالوده می‌باشد. در مورد شالوده‌های مستقر بر خاک‌های نفوذناپذیر، تعبیه زهکش جهت کنترل مسایل نشست، در زیر دیوار کافی است ولی در مورد خاک‌های نفوذپذیر، استفاده از انواع دیگر سامانه‌های کنترل باید مد نظر قرار گیرد. در مورد شالوده‌های مستقر بر شمع، نصب زهکش معمولاً برای جلوگیری از شسته شدن و از بین رفتن

1- Piping

2- Levee

3- Cut Off Wall

مصالح دانه‌ای زیر پایه دیوار کافی می‌باشد. زهکش نباید هیچ‌گاه در زیر شالوده قرار گیرد تا امکان نگهداری و قابلیت دسترسی به آن فراهم باشد و احیاناً از شکستگی آن جلوگیری شود. زهکش به‌طور معمول شامل لوله‌ای به قطر ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد که نیمه تحتانی آن در فواصل مشخص سوراخ‌کاری شده است و این لوله در درون یک لایه مصالح فیلتر با ضخامتی بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر محصور می‌باشد. آبی که توسط زهکش جمع‌آوری می‌گردد معمولاً به‌صورت ثقیلی به درون کانال‌های جمع‌آوری یا جوی، حوضچه‌های سطحی یا ایستگاه‌های پمپاژ هدایت شده و از محل دور می‌شود. در هنگام طراحی و اجرا باید امکان دسترسی به زهکش جهت رفع مشکل و اجرای عملیات نگهداری و یا تعویض در فواصلی کم‌تر از ۱۵۰ متر فراهم گردد. در ضمن لوله‌های تخلیه نیز باید برای انتقال حداکثر میزان محتمل آب سطحی جمع شده، طراحی گردند.

۱۱-۴-۱-۳- ترانشه زهکش^۱

در صورت کم بودن ضخامت لایه نفوذناپذیر فوقانی و یا عدم وجود چنین لایه‌ای، استفاده از ترانشه زهکش جهت کنترل نشت زیر دیوار در نزدیکی پنجه مد نظر قرار می‌گیرد. ترانشه زهکش عملکردی مشابه زهکش سمت خشکی، ولی در مقیاس بزرگ‌تری دارد و به‌صورت یک خندق یا ترانشه می‌باشد که از سطح زمین شروع شده و تا درون لایه نفوذپذیر سطحی یا زیرسطحی (لایه‌ای که بعد از لایه نفوذناپذیر سطحی قرار دارد) امتداد می‌یابد که این عمق نفوذ عملاً به تجهیزات حفاری موجود و میزان خشکاندازی مورد انتظار برای منطقه بستگی خواهد داشت. انجام حفاری ترانشه، قراردادن لوله‌های زهکش و خاکریزی آن، باید در خشکی کامل و خاکریزی مجدد درون ترانشه توسط مصالح فیلتر صورت می‌گیرد. امکان دسترسی به ترانشه زهکش در فواصل مشخص جهت بازبینی و انجام عملیات تعمیر و نگهداری و همچنین حفاظت از مصالح خاکریز، مشابه زهکش‌های پاشنه (سمت خشکی) نیز باید فراهم گردد.

۱۱-۴-۱-۴- چاه‌های تخلیه یا بارشکن^۲

چاه‌های فشارشکن جهت کاهش فشار برخاست در عمق لایه نفوذپذیر به کار می‌روند. عملکرد این چاه‌ها، کنترل جوشش ماسه در خاک‌های دانه‌ای به علت زیرفشار، کاهش فشار (آزاد کردن فشار) به واسطه تخلیه آب‌های زیرزمینی ولی با حفظ خاصیت مصالح فیلتر و جداکننده زیر شالوده می‌باشند و معمولاً مزیت استفاده از آنها در صورت ضخیم بودن لایه نفوذپذیر یا بیش‌تر بودن ضخامت آن نسبت به لایه‌های ناتراوا مشهود می‌باشد. استفاده از این چاه‌ها به‌خصوص در کنترل نشت زیاد آب در لایه‌های نفوذپذیری که در تماس مستقیم با رودخانه می‌باشند، بسیار مفید است. معمولاً این چاه‌ها در تقاطع با جریان آب‌های سطحی در خاک، فاقد عملکرد مناسب و موثر بوده و در چنین مواردی از ترکیب آنها با زهکش‌های سمت خشکی دیوار استفاده می‌شود. انجام آزمایش پمپاژ بر روی این چاه‌ها در هنگام نصب یا راه‌اندازی لازم است و همچنین بازبینی و مراقبت منظم از آنها در حین دوره بهره‌برداری و انجام عملیات ترمیمی جهت اطمینان از حفظ کیفیت و قابلیت‌های فنی سامانه زهکش، امری ضروری می‌باشد.

در هنگام طراحی باید به این نکته دقت نمود که برای محاسبه فشار برخاست زیر دیوار، ارتفاع فشار در امتداد مسیر چاه باید مساوی میانگین ارتفاع آب در صفحه چاه‌های بارشکن فرض شود.

1- Trench Drain

2- Relief Well

۱۱-۴-۱-۵- کفپوش ناتراوا سمت جریان آب^۱

استفاده از یک لایه نفوذناپذیر روی لایه نفوذپذیر، راه حل مناسبی در کاهش مقدار نشت، فشار برخاست و گرادیان هیدرولیکی در سمت خشکی در زیر دیوار سیل‌بند می‌باشد. جنس کفپوش می‌تواند از مصالح طبیعی نفوذناپذیر مانند خاک رس و یا مواد پلیمری مصنوعی باشد. باید توجه داشت که در مواردی، شیب تند ساحل رودخانه اجرای کفپوش ناتراوا را غیرعملی می‌سازد، همچنین به‌ندرت امکان اجرای این کفپوش روی لایه‌های نفوذپذیر رودخانه در زیر آب وجود دارد. شواهد تجربی حاکی از آن است که وجود ناپیوستگی در کفپوش ناتراوا می‌تواند تاثیر منفی در عملکرد آن بگذارد. همچنین لازم است بین لایه نفوذناپذیر و شالوده دیوار، هم‌پوشانی و اتصال کافی وجود داشته باشد تا به‌واسطه تغییر شکل دیوار به‌سمت خشکی در اثر فشار آب، گسیختگی و ناپیوستگی در لایه ناتراوا به‌وجود نیاید.

کفپوش ممکن است تحت اثر فرسایش ناشی از جریان قرار گیرد و یا در صورتی که در حین اجرا به‌طور کامل و پیوسته مرطوب نشده باشد، احتمال ترک‌خوردگی (باز شدن ترک‌های داخلی) وجود دارد. لذا جهت جلوگیری از وقوع چنین حالتی، حفاظت کفپوش ناتراوا، بلافاصله پس از اجرا، امری ضروری می‌باشد. معمولاً اجرای مناسب پوشش گیاهی جهت مقاومت در مقابل چنین مواردی مناسب بوده و همچنین می‌توان در طول مسیر ساحل رودخانه از سنگ‌چین یا دیگر تمهیدهای حفاظتی استفاده نمود.

۱۱-۴-۱-۶- خاکریزی در سمت خشکی

عملکرد سکوهای خاکی در سمت خشکی، تامین ضخامت اضافی برای خاک، طولانی‌تر کردن مسیر نشت و در نتیجه کاهش گرادیان هیدرولیکی می‌باشد. عرض این سکوها معمولاً ۳۰ تا ۹۰ متر است. نظر به این که معمولاً سیل‌بندها در محلی احداث می‌شوند که حریم ساحلی و یا فضای کافی جهت احداث تاسیسات جانبی وجود ندارد، به‌ندرت سیل‌بندها توام با سکوهای خاکی اجرا می‌گردند.

۱۱-۴-۱-۷- تزریق درزهای لایه سنگی

در حالتی که لایه سنگ سطحی در موقعیتی قرار گرفته که امکان قراردادن مستقیم سازه سیل‌بند بر روی آن وجود دارد، انجام آزمایش‌ها و بررسی لایه سنگی به لحاظ عدم وجود درز و ترک‌های باز در این لایه که به نوعی منجر به نشت آب می‌گردند، ضروری می‌باشد. کنترل این نوع درزها در صورت وجود و باز بودن آنها، از طریق تمیز کردن مواد داخلی و سپس انجام تزریق صورت گرفته و بعد از آن، شالوده سیل‌بند اجرا می‌گردد. در صورت احتمال وجود فرار آب از لایه سنگی به درون لایه‌های نفوذپذیر و عدم عملکرد مناسب تزریق نقطه‌ای، اجرای یک پرده تزریقی در مسیر نشت مفید می‌باشد.

۱۱-۴-۱-۸- حفاظت در مقابل آبشستگی

در اکثر موارد به لحاظ امتداد شکل و سرعت جریان سیلاب، خصوصیات شیمیایی خاکریز و توپوگرافی منطقه، دیوارهای سیل‌بند در معرض آبشستگی قرار می‌گیرند. توجه به آبشستگی زیر شالوده دیوار، بسیار مهم بوده و در صورت احتمال چنین مساله‌هایی باید لایه‌های سنگ‌چین براساس مشخصات فنی مربوط و سایر تمهیدهای لازم حفاظتی، به‌کار برده شوند. در نقاطی

مانند تغییر امتداد، شروع و پایان دیوار و موارد مشابه باید با ایجاد جزئیات مناسب، از یکپارچگی دیوار سیل‌بند اطمینان حاصل کرد. تغییر در امتداد دیوار نیازمند ایجاد بلوک‌های خاصی است. بلوک‌های با تغییر امتداد کمتر از ۱۰ درجه در صفحه افق، نیازمند تحلیل خاصی نیستند. بلوک‌های کنج برای تغییر امتداد ۹۰ درجه در صفحه افق، سازه‌های نامعینی می‌باشند و تحلیل دقیق آنها ممکن است نیازمند مدلسازی سه بعدی با منظور نمودن تاثیرهای دیوارهای متقاطع باشد.

۱۱-۴-۹- بازشوها و محل‌های دسترسی

تعبیه تعدادی بازشو در دیوارهای سیل‌بند جهت تامین دسترسی طرفین دیوار برای مقاصد رفت و آمد، امنیتی و تفریحی در خلال رژیم‌های کم آبی رودخانه لازم می‌باشد که تعداد و اندازه آنها به شرایط و ضوابط خاص محلی بستگی خواهد داشت. بازشوهای مذکور باید دارای دریچه‌های مناسب باشند تا حین سیلاب بسته شوند. در حالت ساده، دریچه‌ها می‌توانند به صورت بلوک‌های بتنی (که به صورت قائم در شیارهای تعبیه شده در دیوارها انداخته می‌شوند) و یا در حالت پیچیده‌تر به صورت دریچه‌های فلزی کشویی باشند. در طراحی دریچه‌ها بارگذاری حداکثر تراز آب و بار زنده در خلال کم آبی رودخانه باید مد نظر قرار گیرد.

۱۱-۵- ملاحظه‌های فنی دیوارهای وزنی بتنی، بنایی و تورسنگی

دیوارهای وزنی دیوارهایی هستند که عامل پایداری آنها در مقابل نیروهای خارجی، وزنشان است. این گونه دیوارها معمولاً از بتن غیرمسلح و یا بنایی سنگی و یا تورسنگی ساخته می‌شوند. عوامل عمده، شامل وضعیت خاک بستر و تنش مجاز آن، مصالح دسترس در منطقه (شن، ماسه، سنگ و سیمان)، بارهای طراحی، هندسه دیوار و کنترل‌های پایداری و تنش‌های مجاز، باید در طرح دیوارهای حایل وزنی مد نظر قرار گیرند.

۱۱-۵-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

- در طراحی و اجرای دیوارهای وزنی بتنی، بنایی و تورسنگی، ملاحظه‌های طراحی و اجرایی به شرح زیر می‌باشد:
- استفاده از بتن با مقاومت فشاری مشخصه ۱۵ تا ۲۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع روی نمونه استوانه‌ای (C-15 تا C-20)، معمولاً نیازهای طراحی دیوارهای حایل وزنی را برآورده می‌نماید. مشخصات مصالح شامل سیمان، سنگ‌دانه‌ها (شن و ماسه)، آب و افزودنی‌ها و روش‌های اختلاط بتن و بتن‌ریزی و آرماتورگذاری باید مطابق بر ضوابط مندرج در این نشریه باشد.
- مشخصات فنی مصالح مورد استفاده در ساخت دیوارهای سنگی و تورسنگی و همچنین روش ساخت این گونه دیوارها باید منطبق بر ضوابط ارائه شده در فصول دوم (مصالح ساختمانی)، چهارم (کارهای بنایی) و نهم (سازه‌های تورسنگی) باشد.
- مشخصات ملات‌های مورد استفاده در دیوارهای بنایی سنگی (ملات ماسه سیمان و ملات باتارد) در فصل چهارم این نشریه ارائه گردیده است.
- نیروهای وارد بر دیوارهای حایل وزنی شامل بارهای مرده و زنده، وزن خاک، فشار جانبی خاک، فشار آب زیرزمینی، فشار برخاست، فشار جانبی ناشی از سربار و نیروهای زلزله می‌باشد.
- تنش‌های مجاز در دیوارهای بتنی به شرح جدول (۱-۱۱) می‌باشند.

f_c (N/mm ²)			تنش مجاز	حالت
15	20	25		
6.75	9	11.25	$0.45 f_c$	تنش مجاز فشاری ناشی از خمش
0.52	0.6	0.68	$0.135 f_c$	تنش مجاز کششی ناشی از خمش
0.39	0.45	0.5	$0.1 f_c$	تنش مجاز برشی

یادآوری: f_c : مقاومت مشخصه نمونه استوانه ای ۲۸ روزه (N/mm²)

۱۱-۶- ملاحظه‌های فنی دیوارهای طره‌ای بتن مسلح

جدول ۱۱-۲- تنش‌های مجاز در دیوارهای بنایی سنگی (N/mm^2)

گروه‌بندی دیوارها					نوع ملات مصرفی	نوع سنگ‌چینی
الف	ب	پ	ت	ث		
0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	ملات باتارد	لاشه چینی با قفل و بست کامل
0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	ملات ماسه سیمان	
0.5	0.7	0.9	1.2	1.6	ملات باتارد	سنگ‌چینی با سنگ بادبر با ابعاد منظم
0.6	1.0	1.2	1.6	2.2	ملات ماسه سیمان	
0.7	0.9	1.2	1.6	2.2	ملات باتارد	سنگ‌چینی با سنگ کلتگی و رگ‌های نامنظم
1.0	1.2	1.6	2.2	3.0	ملات ماسه سیمان	
1.2	1.6	2.2	3.0	4.0	ملات باتارد	سنگ‌چینی با سنگ تیشه‌ای منظم با رگ‌های منظم
1.6	2.2	3.0	4.0	5.0	ملات ماسه سیمان	

گروه‌بندی‌ها:

الف- سنگ‌های آهکی، تراورتن و توف‌های آتشفشانی با حداقل مقاومت فشاری ۲۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع

ب- ماسه سنگ‌های متراکم با حداقل مقاومت فشاری ۳۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع

ج- سنگ‌های آهکی متراکم، دولومیت و مرمر متراکم با حداقل مقاومت فشاری ۵۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع

د- ماسه سنگ‌های کوارتزی و نظایر آن با حداقل مقاومت فشاری ۸۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع

ه- گرانیت، سینت، دیوریت، مدافیر، دیاباز و نظایر آن با حداقل مقاومت فشاری ۱۲۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع

۱۱-۶-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

عموما بتن‌های با مقاومت فشاری مشخصه ۲۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع (C20) و بالاتر در دیوارهای طره‌ای به کار می‌روند. مشخصات مصالح شامل سیمان، سنگ‌دانه‌ها (شن و ماسه)، آب و افزودنی‌ها و روش‌های اختلاط بتن و بتن‌ریزی و آرماتورگذاری باید مطابق بر ضوابط مندرج در این نشریه باشد.

– ضخامت شالوده و ضخامت بالای دیوار در دیوارهای طره‌ای با ارتفاع بیش‌تر از ۲/۴ متر، برای سهولت در بتن‌ریزی نباید کم‌تر از ۳۰ سانتی‌متر باشد. ضخامت تیغه در دیوارهای کوتاه‌تر از ۲/۴ متر و با یک لایه آرماتور قائم را می‌توان تا ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفت.

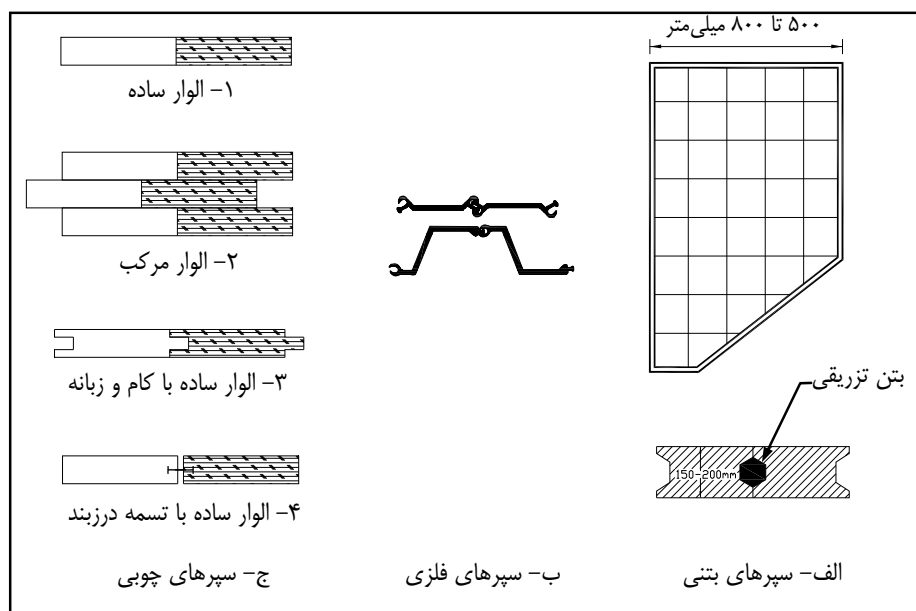
– نیروهای وارد بر دیوارهای طره‌ای بتن مسلح همانند دیوارهای حایل وزنی شامل بارهای مرده و زنده، وزن خاک، فشار جانبی خاک، فشار آب زیرزمینی، فشار برخاست، فشار جانبی ناشی از سربار و نیروهای زلزله می‌باشد.

۱۱-۷- ملاحظه‌های فنی سپرها^۱

مزیت استفاده از سپرها نسبت به دیوارهای حایل دیگر، عدم نیاز به تمهیدهای خاص در محل اجرا است، به‌طوری که نیاز به انحراف و خارج کردن آب نداشته و حتی در داخل آب هم قابل اجرا هستند. همچنین در مناطق بسیار محدود و کوچک (از نظر وسعت جهت اجرای کار) که دیگر انواع دیوارهای حایل قابل اجرا نیستند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. سپرها در انواع مختلف بتنی پیش‌ساخته، فولادی و چوبی ساخته می‌شوند.

از سپرهای چوبی فقط در مورد سازه‌های موقت سبک که در بالای سطح آب قرار دارند، استفاده می‌گردد. این نوع سپرها به‌صورت الوارهای چوبی ۳۰×۵۰ میلی‌متر (در مقطع) بوده و به‌صورت لبه‌های مماس بر هم در داخل زمین کوبیده می‌شوند. الوارهای ساده چوبی را می‌توان به‌صورت کام و زبانه و یا با تسمه درزبند، به هم متصل و استفاده نمود. الوارهای چوبی مرکب، از میخ کردن سه الوار ساده به‌دست می‌آیند که الوار وسطی نسبت به دو الوار دیگر در حدود ۵۰ تا ۷۵ میلی‌متر جابجا شده است.

سپرهای بتنی پیش‌ساخته بسیار سنگین بوده و به‌منظور مقابله با نیروهای ایجاد شده در آنها در حین حمل و نقل، کوبیدن و بهره‌برداری، داخل آنها آرماتوربندی می‌گردد. این سپرها دارای عرض ۵۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر (در مقطع) می‌باشند. در شکل (۱۱-۴)، انواع مختلف سپرها نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۴- انواع مختلف سپرها

کاربرد سپرهای فولادی راحت می‌باشد، زیرا قادر به مقاومت در مقابل تنش‌های قابل توجهی در حین کوبیدن می‌باشند. وزن آنها نیز سبک بوده و قابل استفاده مجدد هستند. سپرهای فولادی امریکایی دارای ضخامت ۱۰ تا ۱۳ میلی‌متر می‌باشند. سپرهای اروپایی نازک‌تر و عریض‌تر هستند. برای درزبندی و یکپارچگی، لبه‌های نیمرخ‌های فولادی به‌نحو خاصی به‌صورت کام و زبانه درمی‌آیند (اتصال‌های کام و زبانه انگشتی، کام و زبانه توپی). در جدول (۱۱-۳)، مشخصات هندسی سپرهای تولید شده در امریکا ارائه شده است.

جدول ۱۱-۳- مشخصات هندسی سپرهای تولید شده در امریکا

تنش مجاز خمشی (N/mm^2)	نوع فولاد
170	ASTM A-328
170	ASTM A-572
170	ASTM A-690

۱۱-۷-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

دیوارهای حایل احداث شده با سپرکوبی به لحاظ عملکرد سازه‌ای به دو دسته اصلی سپرهای طره‌ای^۱ و سپرهای مهار شده^۲ تقسیم می‌شوند. احداث دیوارهای حایل با سپرکوبی به دو طریق می‌تواند انجام شود. در روش اول، سپرها در سمت آب کوبیده شده و پشت آن خاکریز می‌شود (دیوار خاکریزی شده) و در روش دوم، سپرها در سمت خاک کوبیده شده و جلوی آن لایروبی می‌شود

1- Cantilever

2- Anchored

(دیوار لایروبی شده). در هر حال، خاک مورد استفاده برای خاکریز پشت دیوار، معمولاً دانه‌ای است. خاکی که ریشه سپر در آن کوبیده شده، ممکن است ماسه‌ای و یا رسی باشد.

برای اجرای دیوارهای خاکریزی شده، ابتدا خاک موجود در جلو و پشت سپر لایروبی می‌گردد سپس سپرها کوبیده شده و پشت دیوار تا بالای دیوار خاکریزی می‌شود (برای دیوارهای طره‌ای). در صورتی که سپر از نوع مهار شده باشد، پس از کوبیدن سپر، خاکریزی تا تراز مهار دیوار انجام شده و پس از نصب سامانه مهار، خاکریزی تا بالای دیوار ادامه می‌یابد.

برای اجرای دیوارهای لایروبی شده، ابتدا سپرها کوبیده شده و سپس خاکریزی پشت دیوار انجام می‌گردد (سپرهای طره‌ای). در صورتی که سپر از نوع مهار شده باشد، خاکریزی تا تراز مهار و سپس نصب سامانه مهار، انجام شده و بعد خاکریزی پشت دیوار انجام می‌گردد. پس از اتمام خاکریزی، لایروبی جلوی دیوار انجام می‌پذیرد.

همچنین در صورت استفاده از سپرهای طره‌ای و مهارشده باید موارد زیر را مد نظر قرار داد:

– پایداری سپرهای طره‌ای وابسته به خاکی است که درون آن کوبیده می‌شوند و جهت اجرای آنها فضای جانبی محدودی نیاز می‌باشد.

– سپرهای طره‌ای برای عمق‌های حدود ۶ متر یا کمتر از خط لایروبی قابل توصیه هستند. در این حالت رفتار دیوار به صورت یک تیر طره‌ای است.

– وقتی که ارتفاع سپر (از تراز لایروبی) از حدود ۶ متر تجاوز نماید و یا تغییر مکان بالای آن قابل قبول نباشد، به لحاظ فنی و اقتصادی، سپر در بالای نزدیکی آن مهار می‌شود (سپرهای مهار شده). مهار سپر باعث کاهش عمق نفوذ و کاهش لنگر خمشی سپر می‌گردد ولی در طرح و اجرای مهار باید دقت نمود. در سپرهای مهار شده، بلوک مهار شده باید تا دیوار فاصله کافی داشته باشد تا درون هیچ سطح گسیختگی قرار نگیرد.

– برای طرح و اجرای سپرهای مهار شده دو روش پای مفصلی و پای گیردار وجود دارد. در سپر مهار شده با پای مفصلی، طول نفوذ سپر نسبت به حالت گیردار کمتر است و سامانه سازه‌ای آن معین می‌باشد.

– قسمتی از سپر فولادی که دایماً در معرض آب و مستغرق شدن است و تماس زیادی با اکسیژن و آب دارد، مستعد زنگ‌زدگی است. میزان خوردگی ۰/۰۵ میلی‌متر در سال به عنوان معیار زنگ‌خوردگی جهت حفاظت سواحل توصیه می‌گردد (۵ میلی‌متر در هر ۱۰۰ سال). هنگام ارزیابی ریسک زنگ‌زدگی و خوردگی، ملاحظه‌های مربوط به کیفیت آب در بلندمدت باید در نظر گرفته شود. جهت حفاظت می‌توان از یک لایه قیر سطحی استفاده کرد (افزایش هزینه تا ۱۰ درصد). رنگ‌های اپوکسی نوع دیگری از حفاظت هستند که گران‌تر می‌باشند. گالوانیزه کردن نیز ممکن است تا ۳۰ درصد به هزینه مصالح اضافه کند. تمامی روش‌های مذکور در صورتی که به خوبی اجرا شوند، مناسب می‌باشند. روکش‌های حفاظتی ممکن است هنگام نصب صدمه ببینند. یک سامانه حفاظت آسیب ندیده، تقریباً عمر سپر یا شمع را نامحدود می‌کند، بنابراین لازم است حفاظت تا آن‌جا که ممکن است نگهداری شود. در صورت آسیب دیدن روکش حفاظتی، عمر سپر نسبت به حالت حفاظت نشده تغییر چندانی نخواهد نمود. در صورتی که قصد داشته باشیم حفاظت را در جایی دوباره اجرا کنیم، باید پوشش اولیه برداشته شود.

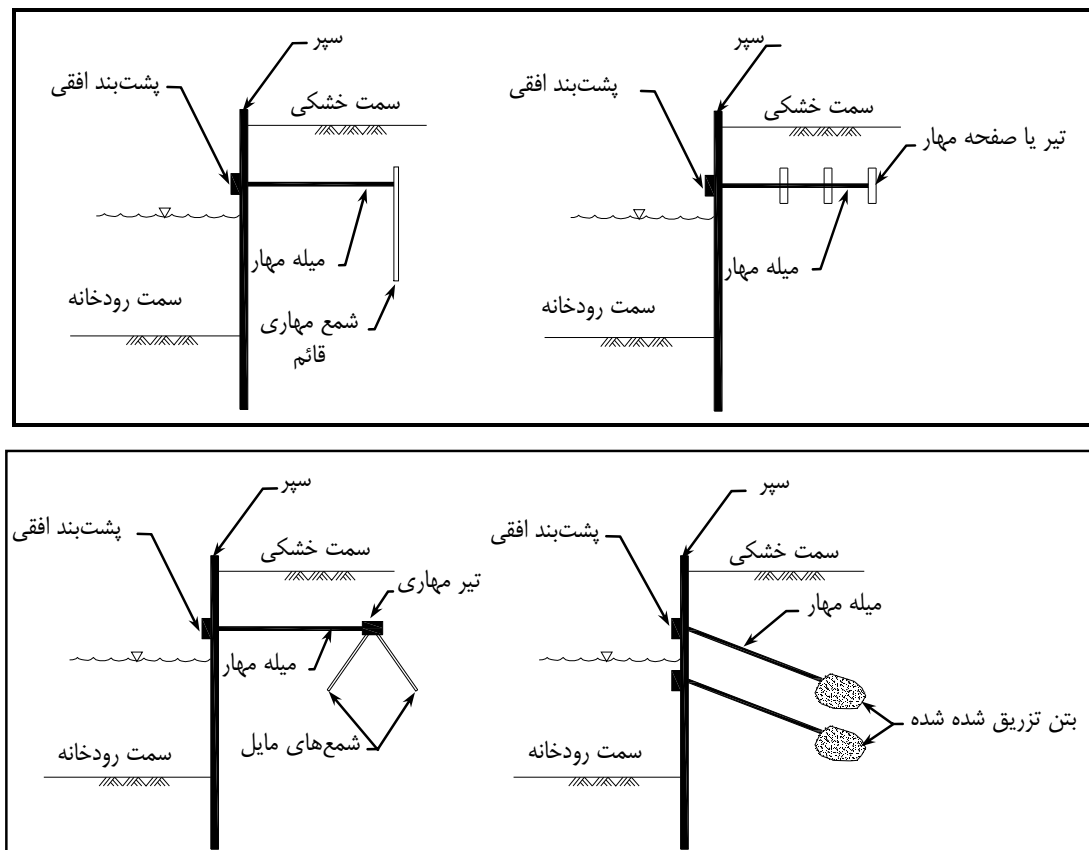
۱۱-۷-۱-۱- مهاری‌ها

انواع مختلف مهاری‌هایی که در سپرهای مهار شده مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از تیرها و صفحه‌های مهار، میله مهاری‌ها با انتهای تزریق شده^۱، شمع‌های مهاری قائم و تیرک‌های مهاری یا شمع‌های مایل.

برای صفحه‌ها و تیرهای مهاری معمولاً از قطعه‌های پیش‌ساخته بتنی استفاده می‌شود. مهاری‌ها توسط میله مهار^۲ به سپر وصل می‌شوند. برای اتصال میله مهاری‌ها به سپر، یک پشت‌بند افقی در جلو و یا پشت سپر قرار داده می‌شود تا تکیه‌گاه مناسب و صلبی برای سپر تامین گردد. برای محافظت میله مهار در مقابل خوردگی، معمولاً روی آن توسط رنگ یا اپوکسی، اندود می‌شود.

در مهار با انتهای تزریق شده، ابتدا یک سوراخ در زمین حفر شده و در داخل آن میله یا کابل مهار قرار داده شده و انتهای آن تزریق می‌شود. کابل‌ها از نوع فولاد پرمقاومت که در کارهای پیش‌تنیده از آنها استفاده می‌شود، می‌باشند.

در روش‌های استفاده از شمع‌های قائم یا مایل، انتهای میله مهار به وسیله شمع‌های قائم یا مایل، ثابت می‌شود. ملاحظه‌ها و روش‌های طراحی مهارها در کتب تخصصی و همچنین در نشریه شماره ۳۰۸- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارائه گردیده است. در شکل (۵-۱۱)، انواع مختلف مهاری‌های مورد استفاده در سپرها نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۱- انواع مختلف مهاری‌های مورد استفاده در سپرها

- 1- Tie Back
- 2- Tie Rods

۱۱-۸- ملاحظه‌های فنی سامانه‌های خاک مسلح

سامانه‌های خاک مسلح عموماً دارای سه قست اصلی شامل عنصر مسلح‌کننده، خاکریز و اجزای نما می‌باشند. عناصر مسلح‌کننده و تقویتی در دو نوع مصالح فلزی و غیرفلزی (از نوع پلیمری شامل ژئوگرید، ژئوتکستایل و پلاستیک) به کار می‌روند. به منظور برآوردن نیازهایی نظیر زهکشی، دوام لازم و انتقال تنش اصطکاکی از عنصر مسلح‌کننده به خاک، عموماً مصالح خاکریز از نوع دانه‌ای انتخاب می‌شوند. در صورت استفاده از خاکریزهای با مصالح ریزدانه و چسبنده، از مفتول‌ها و شبکه‌های جوش شده به واسطه فعال شدن فشار مقاوم خاک، استفاده به عمل می‌آید. اجزای نما برای نگاه داشتن مصالح خاکریز در امتداد دیوار، جلوگیری از فرسایش سطحی، جلوگیری از خوردگی عناصر مسلح‌کننده و همچنین تامین زیبایی به کار برده می‌شوند. اجزای نما تنها برای فشارهای افقی کوچکی طراحی می‌شوند و جنس آنها عموماً از پانل‌های بتنی پیش‌ساخته، ورقه‌های فلزی پیش‌ساخته، تورهای سیمی، شبکه‌های پلیمری و سایر مصالح می‌باشد. ورقه‌های فلزی پیش‌ساخته معمولاً به شکل مقاطع نیم‌بیضی بوده که بسیار انعطاف‌پذیر و مقاوم می‌باشند. برای نصب این المان‌ها آنها را به یکدیگر پیچ کرده و المان‌های مسلح‌کننده را در فاصله بین آنها قرار می‌دهند. استفاده از این روش برای مناطقی که مشکل حمل و نقل و دسترسی دارند به دلیل سبکی، مناسب می‌باشد.

انتقال تنش در خاک در تسمه‌ها، ورق‌ها و میلگردهای مسلح‌کننده از طریق اصطکاک و در شبکه‌های مسلح‌کننده، انتقال تنش از طریق اصطکاک و هم از طریق فشار مقاوم خاک اطراف عنصر مسلح‌کننده در امتداد عرضی نسبت به امتداد حرکت انجام می‌گیرد.

الف- تسمه‌های مسلح‌کننده

به منظور تثبیت مکانیکی خاکریزها، تسمه‌های فولادی مسلح‌کننده به صورت افقی و در فواصل مشخصی از یکدیگر بر روی خاک قرار داده می‌شوند. سپس یک لایه خاک ریخته و متراکم می‌گردد و تسمه‌های ردیف بعدی چیده می‌شوند و این کار تا تراز بالای خاکریز ادامه می‌یابد.

ب- شبکه‌های مسلح‌کننده

سامانه شبکه مسلح‌کننده شامل المان‌های فلزی یا پلیمری می‌باشند که مقاومت کششی بالایی دارند و در صفحه‌های افقی در داخل خاکریز به صورت لایه‌لایه مشابه تسمه‌های فلزی قرار می‌گیرند.

۱۱-۸-۱- مزایا و معایب

- سامانه‌های خاک مسلح در مقایسه با دیوارهای حایل معمولی اقتصادی‌تر بوده و سرعت و سهولت اجرای خاک مسلح نسبت به دیوارهای حایل، بیش‌تر است و به نیروی انسانی زیاد و تجهیزات تخصصی نیاز ندارد.
- بسیاری از اجزای اجرایی خاک مسلح، پیش‌ساخته بوده و به همین علت اجرای آن دقیق و سریع خواهد بود و بدون توجه به ارتفاع و طول دیوار، سازه خاک مسلح در حین اجرا، کاملاً پایدار است.
- سامانه‌های خاک مسلح در مقایسه با دیوارهای حایل طره‌ای از انعطاف‌پذیری بیش‌تری برخوردارند و قادر به تحمل تغییر شکل‌ها و نشست‌های بزرگ‌تری می‌باشند. همچنین در صورت استفاده از حایل‌های خاک مسلح، امکان کاهش ضرایب ایمنی ظرفیت باربری خاک نسبت به حایل‌های صلب معمولی وجود خواهد داشت.

- با توجه به انعطاف پذیری و خاصیت جذب انرژی توده خاک یکپارچه پشت دیوار، عملکرد لرزه‌ای دیوارهای خاک مسلح نسبت به دیوارهای حایل صلب، بهتر می‌باشد.
- با توجه به اینکه اجزای نما دارای نقش درجه دوم در پایداری سامانه خاک مسلح هستند، انعطاف پذیری بیش‌تری در انتخاب هندسه و آرایش آنها به منظور حصول زیبایی نسبت به دیوارهای حایل متعارف وجود دارد. طرح هندسی، رنگ و آرایش عناصر نما که از جنس پانل‌های بتنی پیش ساخته می‌باشند، از جمله عامل‌های قابل تغییر جهت ایجاد طرح‌های متنوع در نمای سامانه‌های خاک مسلح می‌باشند.
- در صورت بالا بودن خاصیت قلیایی خاک، امکان خوردگی تسمه‌های فلزی وجود خواهد داشت. اجرای پوشش‌های ویژه، نظیر گالوانیزه و چسب‌های اپوکسی با ضخامت مشخص بر روی تسمه‌های فلزی، جهت کاهش خوردگی و کاهش ضخامت آنها در طول دوره بهره‌برداری مد نظر می‌باشد.
- هرچند شبکه‌های پلیمری مقاومت اولیه زیادی دارند ولی امکان کاهش مقاومت آنها در حین اجرا و به لحاظ آسیب و ساییدگی، وجود خواهد داشت.
- اجرای سامانه خاک مسلح به لحاظ برداشتن کل خاکریز و ریختن و تراکم مجدد آن، دارای عملیات خاکی بیش‌تری نسبت به حایل‌های معمولی خواهد بود. همچنین باید توجه داشت امکان خاک‌برداری از خاکریزهای مسلح شده وجود ندارد، زیرا پایداری و توان باربری سامانه، به واسطه وزن خاک متکی بر تسمه‌ها یا شبکه‌های مسلح کننده تامین می‌گردد.
- نسبت عرض به ارتفاع در دیوارهای خاک مسلح معمولاً بزرگ بوده و در نتیجه برخلاف دیوارهای حایل معمولی، پدیده تمرکز تنش در پنجه دیوار دیده نمی‌شود. به همین دلیل برای بسترهای با ظرفیت باربری کم، مناسب هستند.

۱۱-۸-۲- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

- سازه‌های خاک مسلح در دو حالت پایداری داخلی و خارجی باید کنترل گردند و کنترل پایداری خارجی آنها مشابه دیوارهای بتنی به صورت یک واحد یکپارچه شامل کنترل واژگونی، لغزش، ظرفیت باربری، کنترل پایداری شیروانی و کنترل نشست‌های نامساوی می‌باشد. کنترل پایداری داخلی این سامانه‌ها شامل بررسی نیروهای داخلی وسایل تسلیح و عدم گسیختگی یا بیرون آمدن آنها تحت بارهای وارد شده می‌باشد.
- کنترل واژگونی در مواردی که حداقل طول تسمه‌های تقویتی حدود ۷۰ درصد ارتفاع دیوار باشد، بعضاً تعیین کننده بوده و همچنین در سازه‌های بلندتر از ۱۰ متر و در خاکریزهای شیب‌دار، عامل لغزش تعیین کننده می‌باشد.
- جهت اطمینان از کفایت ظرفیت گسیختگی (شکست) وسایل تسلیح، سطح مقطع آن با در نظر گرفتن کاهش ابعاد به علت خوردگی، باید در مقابل نیروهای وارد شده کافی باشد. تنش کششی مجاز در تعیین سطح مقطع تسمه‌ها یا ادوات تقویتی معادل ۵۵ درصد حد تسلیم وسایل در نظر گرفته می‌شود ($0.55F_y$).
- معمولاً در شرایط ملایم تا متوسط از لحاظ وجود آب و ترکیب‌های شیمیایی خورنده (با شرایط pH ۵ الی ۱۰، یون کلرید حداکثر ۲۰۰ ppm و یون سولفات حداکثر ۱۰۰۰ ppm)، از مصالح فولادی با روکش گالوانیزه و با رعایت ضخامت لازم جهت تامین مقاومت کافی در طول عمر مفید سازه استفاده می‌شود. در شرایط شدید و خارج از محدوده‌های ارائه شده،

توصیه می‌گردد از دیوارهای حایل وزنی معمولی و یا سامانه‌های خاک مسلح با پوشش گیاهی اپوکسی استفاده گردد. حداقل پوشش اپوکسی، ۴۵۰ میکرون توصیه می‌گردد.

— در صورت استفاده از پوشش‌های اپوکسی، مصالح خاکریز باید گردگوشه بوده و همچنین حداکثر اندازه دانه‌ها معادل ۲۵ میلی‌متر باشد.

— باید تدابیر لازم برای زهکشی خاک پشت دیوار خاک مسلح اتخاذ گردد تا به حالت اشباع درنیاید. همچنین باید از ورود آب‌های سطحی به خاکریز پشت دیوار خاک مسلح به دلیل احتمال آلودگی این آب‌ها به مواد شیمیایی مضر جلوگیری شود. به این منظور می‌توان از غشای نفوذناپذیر بین سطح خاکریز (آسفالت و ...) و اولین ردیف از تسمه‌های فلزی استفاده نمود.

— جهت اجرای عملیات، پانل‌های پیش‌ساخته نما توسط جرثقیل حمل شده و روی شناژ تراز که عملاً یک قسمت غیرسازه‌ای است و در پای دیوار اجرا می‌گردد، استقرار می‌یابد و سپس پشت پانل‌های پیش‌ساخته، لایه اولیه خاکریز پخش شده، تسطیح و متراکم می‌گردد. تراکم بستر خاکریز در هر لایه با استفاده از غلتک‌های ارتعاشی (لرزه‌ای) کوچک در نواحی دور از دیوار و با استفاده از تخماق‌های دستی در نواحی نزدیک به پوسته نما انجام می‌شود. پس از اجرای اولین لایه خاکریز، تسمه‌ها یا انواع دیگر وسایل تسلیح، روی خاکریز استقرار یافته و با لایه دوم خاکریز به طریق یاد شده پوشانده می‌شود و این روند تا تراز فوقانی دیوار تکرار می‌گردد. تجهیزات اجرایی نباید مستقیماً روی وسایل تسلیح حرکت نماید. پانل‌های پیش‌ساخته بتنی باید قدری به سمت خاکریز، به صورت شیب‌دار اجرا شود (در حدود یک افقی به ۵۰ عمودی). مصالح پرکننده (الیاف، فوم، تئوپرن و ...) در حد فاصل درز افقی بین پانل‌های پوسته نما، جهت یکنواختی توزیع فشار پانل‌ها قرارداده می‌شود. معمولاً یک لایه ژئوتکستایل بر روی کل درزهای بین پانل‌های بتنی در سمت خاکریز قرار می‌گیرد تا مانع از رد شدن ذره‌های ریز خاک از درزهای بین المان‌های بتنی پیش‌ساخته گردد.

— توصیه می‌شود دانه‌بندی مناسب به منظور استفاده در سامانه‌های خاک مسلح به نحوی صورت گیرد که PI خاک، کم‌تر از ۶ و درصد‌های عبوری از الک‌ها به شرح زیر باشند:

- برای الک ۱۵۰ میلی‌متری، درصد عبوری ۱۰۰
- برای الک ۷۵ میلی‌متری، درصد عبوری ۷۵-۱۰۰
- برای الک ۷۵ میکرون، درصد عبوری ۲۵-۰

— ضریب اصطکاک داخلی خاک خاکریز مسلح از عوامل مهم طراحی می‌باشد. در سازه‌های آبی مقدار حداقل مساوی $\phi 25$ درجه توصیه می‌گردد.

— به‌طور کلی ارزیابی کیفیت مکانیکی مصالح خاکریز که عمدتاً میزان اصطکاک خاک و تسمه می‌باشد، توسط ضوابط دانه‌بندی بیان می‌شود که عامل تعیین‌کننده، درصد مصالح ریزتر از $80 \mu m$ و $15 \mu m$ می‌باشند. در صورتی که درصد مصالح عبوری از الک $80 \mu m$ کم‌تر از ۱۵ درصد باشد، ضابطه مکانیکی تامین شده و مصالح از این لحاظ قابل استفاده است، در غیر این صورت از جدول (۱۱-۴)، استفاده می‌گردد.

— مصالح مسلح‌کننده در سامانه‌های خاک مسلح عبارتند از فولاد گالوانیزه، آلیاژ آلومینیم-منیزیم، فولاد ضدزنگ و مواد پلیمری. این نوع مواد به اشکال مختلفی نظیر تسمه، شبکه، میله مهار، صفحه‌های گسترده، توری و ... به کار برده

می‌شوند. معمول‌ترین شکل این المان‌ها، تسمه‌های فلزی می‌باشند. مصالح غیرفلزی معمولاً از پلیمرها ساخته می‌شوند. این المان‌ها معمولاً ضعیف‌تر از المان‌های مشابه فلزی می‌باشند ولی دچار خوردگی نمی‌شوند و پدیده خزش معمولاً در این موارد از اهمیت بسیاری برخوردار است.

جدول ۱۱-۴- محدوده دانه‌بندی مناسب برای ضوابط مکانیکی (برای درصد عبوری $80\ \mu\text{m}$ بزرگ‌تر از ۱۵ درصد)

درصد μ عبوری از $15\ \mu\text{m}$	$\leq 10\%$	ضابطه مکانیکی را تامین می‌کند	
	10% تا 20%	تسمه‌های با پیوستگی بالا (آجدار)	زاویه اصطکاک داخلی ≤ 25 درجه
		تسمه‌های صاف	زاویه اصطکاک داخلی > 25 درجه
	تسمه‌های صاف		زاویه اصطکاک خاک و تسمه ≤ 22 درجه
		تسمه‌های صاف	زاویه اصطکاک خاک و تسمه > 25 درجه
	$> 20\%$		مصالح غیرقابل استفاده در خاک مسلح

۱۱-۹- ملاحظه‌های فنی سامانه‌های پیش‌ساخته بتنی مدولار

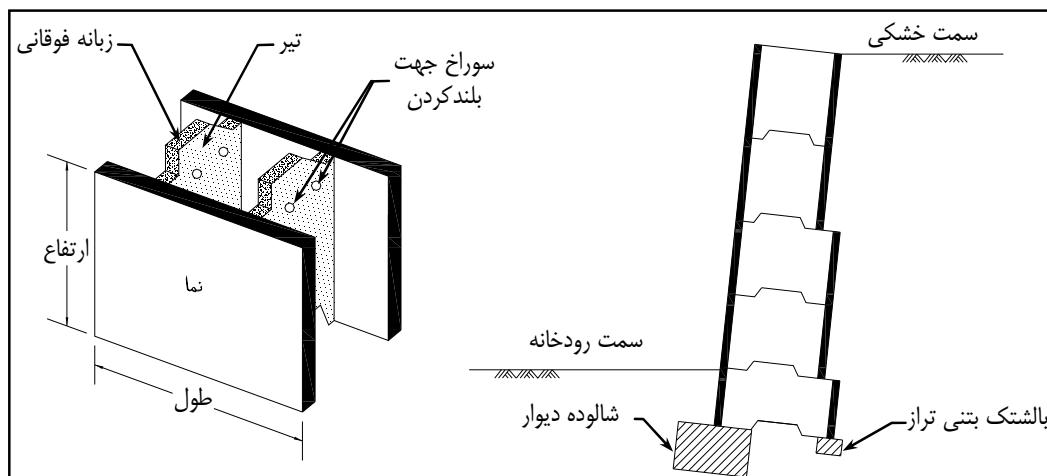
سامانه‌های مدولار بتن پیش‌ساخته در واقع متشکل از بلوک‌های بتنی توخالی بوده که با خاک پر شده و با قفل و بست و درگیری در یکدیگر، به‌صورت حایل وزنی عمل می‌کنند. سرعت زیاد اجرای این سامانه معمولاً باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها نسبت به سامانه‌های خاک مسلح می‌باشد.

اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این سامانه، قطعه‌ها یا بلوک‌های بتن مسلح پیش‌ساخته‌ای می‌باشند که در قسمت داخلی خود فضای خالی داشته و این مجموعه پس از سرهم‌بندی و درگیری مکانیکی، بر روی خاک طبیعی و یا بر روی یک شالوده بتنی قرار می‌گیرند. بعضی از انواع این سامانه‌ها دارای آرایش خاص و یا بازشویی در قسمت میانی سازه دیوار می‌باشند و در بعضی موارد امکان پرورش گل و گیاه در قسمت میانی این سامانه نیز وجود دارد.

این نوع دیوارها به‌لحاظ عملیات حفاری و محل قرارگیری، نسبت به دیوارهای حایل معمولی بسیار اقتصادی هستند. به‌خصوص، در حالتی که سطح دیوار بیش از 500 مترمربع و ارتفاع کل دیوار بیش از $2/5$ متر باشد.

سرهم‌بندی بلوک‌های پیش‌ساخته، نیازی به قفل و بست و گیره و یا سایر ادوات مکانیکی ندارد و حتی استفاده مجدد از آنها نیز امکانپذیر است. همچنین در این سامانه از هیچ‌گونه المان تقویتی (فلزی یا غیرفلزی) در داخل خاک استفاده نمی‌گردد و انجام حفاری در خاکریز پشت دیوار، پایداری مجموعه حایل را برخلاف دیوارهای خاک مسلح به خطر نمی‌اندازد.

حایل‌های اجرا شده با استفاده از بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته مدولار، ترک‌های نسبتاً کوچکی در محل اتصال‌های داخلی به یکدیگر که عموماً ناشی از تغییر مکان‌های نامتقارن طولی است، متحمل می‌شوند. این ترک‌ها نشست نامتقارنی به میزان یک سانتی‌متر در 2 متر طول دیوار به‌وجود می‌آورند (مقدار مجاز). در شکل (۱۱-۶)، استفاده از بلوک‌های پیش‌ساخته بتنی نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۶- استفاده از بلوک‌های پیش‌ساخته بتنی

۱۱-۹-۱- ملاحظه‌های اجرایی و طراحی

کنترل پایداری این نوع سازه مشابه دیوارهای حایل معمولی صورت می‌گیرد و در این مورد نیز فرض بر رفتار یکپارچه سامانه مدولار بلوک بتنی پیش‌ساخته و خاک درون آن می‌باشد. با توجه به این که بلوک‌های بتنی در جهت قائم فاقد اتصال مکانیکی به یکدیگر می‌باشند، لذا کنترل واژگونی باید تراز به تراز و بر اثر بارهای وارد شده در یک عرض مشخص از دیوار صورت گیرد. در کلیه ترکیب‌های بارگذاری، سطح کل شالوده باید در تماس با زمین یا خاک طبیعی باشد و یا به عبارتی منطقه بدون فشار وجود نداشته باشد. معمولاً در مورد این دیوارها کنترل واژگونی در طراحی، تعیین‌کننده می‌باشد.

اجرای تمهیدهای خاص جهت زهکشی پشت دیوار و جلوگیری از اشباع شدن خاک پشت دیوار ضروری می‌باشد. همچنین اجرای حایل‌های مدولار از بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته، نیازمند به نیروی انسانی متخصص و یا تجهیزات ویژه‌ای نمی‌باشد و پیش‌ساخته بودن قطعه‌های مصرفی، موجب سهولت حمل و نقل و چیدمان و اجرای سریع آن می‌گردد. خاکریز موجود در پشت دیوار باید حتی‌المقدور متراکم گردد تا از پس نشست‌های اجرایی، جلوگیری به عمل آید.

۱۱-۱۰- ملاحظه‌های فنی دیوارهای ساخته شده از مصالح متفرقه

۱۱-۱۰-۱- تیرک‌های چوبی با روکش ژئوتکستایل

از برخی ژئوتکستایل‌های مقاوم می‌توان برای احداث دیوارهای حایل با ارتفاع محدود استفاده نمود. به این منظور از پارچه‌های ژئوتکستایلی دولایه که بر روی تیرک‌ها و ستون‌های چوبی مستحکم شده در خاک قرار گرفته‌اند، می‌توان استفاده کرد. مصالح ژئوتکستایل باید در شرایط بلندمدت زیر اشعه فرابنفش، پایدار باشند. پایداری این نوع سازه وابسته به پایداری و مقاومت ستون‌های چوبی دارد. استفاده از این روش برای خاک‌های سست و فشار خاک زیاد در پشت دیوار مناسب نیست. البته می‌توان با مهار قسمت بالای هر ستون، پایداری را تا حدودی بهبود داد. در طولانی مدت، پوشش گیاهی می‌تواند درون یا قسمت بالای ژئوتکستایل را بپوشاند، ولی با این وجود این دیوار شکل ظاهری مطلوبی ندارد.

۱۱-۱۰-۲- تایرهای لاستیکی

از تایرهای لاستیکی می‌توان همانند ژئوتکستایل استفاده کرد. این روش، برای ارتفاع کم مناسب بوده و مهارشدگی و پایداری تا حد زیادی به ستون‌های قائم که تایرها بر روی آنها قرار داده می‌شوند، بستگی دارد. برای اجرای یک حفاظت مناسب از دو ردیف لاستیک استفاده می‌شود. هرچند هزینه اجرایی این روش نسبتاً ارزان است ولی به لحاظ جنبه‌های زیست‌محیطی مناسب نیست.

۱۱-۱۰-۳- یونیت‌های بتنی پیش‌ساخته

این قطعه‌ها معمولاً به صورت T وارونه می‌باشند ($\perp$) و از بتن مسلح ساخته می‌شوند. بارهایی که به این نوع دیوارها اعمال می‌شوند مشابه بارهای دیوارهای وزنی است با این تفاوت که بیش‌تر وزن مهارکننده توسط خاک موجود، در بالای پاشنه قطعه تامین می‌شود. این قطعه‌ها برای نصب شدن روی زمین نیازمند یک شالوده بوده که معمولاً برای اجرای آن باید محل خشک باشد که در نتیجه به یک بند موقت یا سامانه انحراف جهت اجرا نیاز می‌باشد.

۱۱-۱۰-۴- تورسنگ یا پانل‌های بتنی با خاک مسلح

این نوع اجرا ساختاری مرکب دارد که معمولاً از تورسنگ یا پانل‌های بتنی که توسط شبکه‌های آرماتور به خاک متراکم شده کناره بسته شده‌اند، تشکیل گردیده است. در این حالت می‌توان به‌جای تسمه‌های و شبکه‌های فولادی از شبکه‌های پلیمری (ژئوتکستایل یا ژئوگرید) نیز استفاده می‌شود.

شکل اجرای دیوار باید به گونه‌ای باشد که هیچ‌کدام از مصالح پرکننده از بین قطعه‌ها خارج نشود. طول شبکه فلزی باید به اندازه‌ای باشد که مقاومت اصطکاکی لازم را در تمامی شرایط ممکن ایجاد کرده و از تمامی سطوح گسیختگی عبور کند. جهت زهکشی خاک باید تدابیر لازم در نظر گرفته شود چرا که با افزایش فشار آب حفره‌ای، نیروی اصطکاکی کاهش می‌یابد. همچنین باید شبکه فلزی و قطعه‌ها در مقابل حمله‌های شیمیایی آب و خاک، مقاوم باشند.

فصل ۱۲

عملیات انحراف موقت آب، زهکشی و

تخلیه آب‌های مازاد

۱۲-۱- عملیات انحراف موقت آب

به‌طور کلی این فصل در برگرنده مسایل کلی و مهم در مورد سامانه انحراف موقت آب، شامل برنامه‌ریزی، طراحی و اجرا، نگهداری و برچیدن ابنیه موقت مورد نیاز برای انحراف آب می‌باشد. مراقبت از سامانه انحراف آب طی دوران اجرای ابنیه دایم و حفظ مناطق حفاری شده و ابنیه اجرا شده به‌منظور جلوگیری از خسارات وارد شده ناشی از سیلاب، بارندگی، رواناب سطحی، طغیان رودخانه‌ها، آبراهه‌ها و آبگذرهای طبیعی، نهرها و آبراهه‌های آبیاری نیز می‌باید مد نظر قرار گیرد.

بدیهی است در روند اجرایی عملیات انحراف آب با هر نوع مصالح و یا روشی که انجام شود، توجه به مشخصات فنی مربوط به جزییات صحیح کار هر بخش، ضروری است و برای دسترسی به مشخصات فنی مورد نظر باید به سایر فصول این مجموعه مراجعه شود.

۱۲-۱-۱- سامانه انحراف آب

هدف اصلی از اجرای سامانه انحراف موقت آب، فراهم نمودن فضایی خشک در محل اجرای اجزای مختلف پروژه برای انجام عملیات ساختمانی می‌باشد.

هر ساختگاه، ویژگی‌ها و محدودیت‌های مربوط به خود را دارد. ویژگی‌های عرض و عمق رودخانه می‌تواند در تعیین روش انحراف آب موثر باشد. عوامل موثر دیگر، عمق و جنس آبرفت، توپوگرافی و رژیم جریان آب رودخانه می‌باشد. وجود فصول خشک یا سدهای تنظیمی در بالادست رودخانه از دیگر عوامل موثر در انتخاب روش انحراف آب است. حفظ قابلیت ترابری در رودخانه و مهاجرت ماهی‌ها، از سایر عوامل محدود کننده می‌باشد. بر حسب شرایط ساختگاهی، روش انحراف آب متفاوت بوده و با توجه به محدودیت‌های موجود در هر منطقه، می‌توان عملیات انحراف موقت آب را اجرایی نمود.

سامانه انحراف آب عموماً شامل فرازبند، نشیب‌بند و مجرای انتقال می‌باشد. فرازبند سازه‌ای (به‌طور معمول دایک خاکی) می‌باشد که هدایت آب رودخانه به مجرای انتقال را به عهده دارد و نشیب‌بند سازه‌ای برای جلوگیری از ورود آب از پایین‌دست به کارگاه می‌باشد. بر حسب شرایط طرح می‌توان از سازه‌هایی نظیر گالری و حتی تونل (در مناطق کوهستانی) استفاده نمود.

اصولاً با توجه به طرح پیشنهادی مهندس مشاور و همچنین شرایط توپوگرافی و در نظر گرفتن مسایل هیدرولیکی و ژئوتکنیک محل، برنامه‌ریزی، تهیه نقشه‌های اجرایی، نگهداری و سایر اقدامات مرتبط با سامانه انحراف موقت آب رودخانه در دوران اجرا، پیمانکار باید عملیات ساختمانی پروژه را به‌گونه‌ای انجام دهد که اجرای تمام قسمت‌های دایم کار بتواند در محیطی خارج از مسیر جریان رودخانه و ایمن در برابر وقوع سیلاب‌های با دوره برگشت مشخص شده، انجام گردد. همچنین پیمانکار نباید در اجرای سامانه انحراف آب، در جریان طبیعی هیچ یک از نهرها و آبراهه‌های آبیاری به هر دلیل یا هدفی، بدون تایید کتبی دستگاه نظارت، دخالت نموده یا آن را قطع نماید.

۱۲-۱-۱-۱- عملیات انحراف آب در دره‌های عمیق و کم عرض

در دره‌های عمیق و کم عرض، عملیات انحراف آب رودخانه از طریق روش‌های احداث تونل و یا آبروی لوله‌ای موقت انجام می‌شود.

در حالت انحراف تونلی عملیات پرهزینه خواهد بود و این شیوه اجرایی بیش تر برای احداث سازه های بزرگ (سدها) به کار گرفته می شود. حالت انحراف لوله ای معمولاً جهت انحراف رودخانه های با بده کم کاربرد دارد. در این روش با احداث فرازبند و نشیببند و کارگذاری لوله ها، جریان آب از زیر بستر اصلی سازه منحرف گردیده و پس از تکمیل عملیات اجرایی، نسبت به پرنمودن لوله ها به صورت درجا و تزریقی، مسیر انحراف آب مسدود و با برچیدن خاکریزهای فرازبند و نشیببند، رودخانه به مسیر اصلی برگردانده می شود.

۱۲-۱-۱-۲- عملیات انحراف آب در بسترهای عریض

عملیات انحراف آب در بسترهای عریض به دو روش ساخت آبراه انحراف و یا انحراف آب به صورت مرحله ای، صورت می گیرد.

الف- ساخت آبراه انحراف

عملیات ساخت آبراه انحراف بسیار شبیه به تونل انحراف آب بوده و به گونه ای است که در نظر گرفتن محدودیت های توپوگرافی، با احداث آبراه در یکی از جناحین رودخانه انجام می شود و شامل عملیات خاکبرداری، خاکریزی و سنگ چینی با تورسنگ و یا خشکه چینی با سنگ لاشه می باشد. در این حالت آبراه به صورت روباز بوده و پس از تکمیل عملیات اجرایی آبراه انحراف، احداث خاکریز در بالادست (فرازبند) آغاز شده و در نهایت با اجرای خاکریز در پایین دست (نشیببند)، آب رودخانه به آبراه، منحرف شده و عملیات اصلی شروع می گردد. در این روش، توجه به بده طراحی آبراه انحراف، لحاظ نمودن طول مدت اجرای عملیات اصلی و تامین مصالح مورد مصرف از مهم ترین عامل های کنترلی می باشند.

ب- انحراف آب به صورت مرحله ای

در انحراف آب به صورت مرحله ای با استفاده از احداث خاکریزها، بخشی از بستر از محیط اطراف جدا شده و عملیات اجرایی قسمتی از سازه در آن انجام می شود. سپس توسط خاکریزهایی که به صورت نعل اسبی احداث می گردند، بخشی دیگر از بستر، از محیط اطراف جدا شده و پس از انحراف آب به قسمت ساخته شده، بخش دوم از سازه در سمت حفاظت شده ساخته می شود. در این روش، انحراف معمولاً در دو یا چند مرحله انجام می شود و عمده ترین عملیات اجرایی، احداث خاکریزهای موقت (به صورت نعل اسبی) و خشکه چینی با سنگ لاشه می باشد.

۱۲-۱-۲- طرح پیشنهادی پیمانکار

نقشه های سامانه انحراف موقت آب رودخانه که در مجموعه نقشه های اجرایی منظم به پیمان، در اختیار پیمانکار قرار می گیرد، می تواند با توجه به روش های اجرایی و امکاناتی که پیمانکار در اختیار دارد با شرایط محلی تطبیق داده شده، توسعه یابد و دستخوش تغییرات گردد و یا پیمانکار به طور کلی گزینه مناسب دیگری را مورد توجه قرار داده و نقشه های اجرایی لازم را تهیه نماید. در این شرایط پیمانکار باید روش و یا گزینه مورد نظر خود را که ضمن عدم افزایش هزینه، تامین کننده هدف از یک طرف و برخوردار از ایمنی کافی از طرف دیگر باشد، همراه با جزییات کافی، در اسرع وقت جهت بررسی و تایید به دستگاه نظارت ارائه نماید.

مهلت ارائه پیشنهاد پیمانکار و مدت زمان لازم برای رسیدگی دستگاه نظارت، در صورت لزوم می تواند در مشخصات فنی خصوصی هر پروژه مشخص و گنجانیده شود.

۱۲-۱-۳- مسوولیت پیمانکار

پیمانکار در ارتباط با تامین و تدارک مصالح و لوازم، ساخت، نگهداری و بهره‌برداری و برچیدن تمام مستحقات و تمهیدات اجرا شده، کاملاً مسوول می‌باشد. همچنین مسوولیت کلیه خسارت‌هایی که به کارهای دایم و موقت، فرازند و نشیب‌بند، بازوهای خاکی، تاسیسات پمپاژ و محل نصب آنها، ماشین‌آلات و لوازم اجرای کار و تسهیلات و امکانات تدارک دیده شده وارد گردیده است بر عهده پیمانکار بوده و باید کلیه خسارات احتمالی به‌وجود آمده را به هزینه خود جبران و جایگزین نماید.

پیمانکار علاوه بر آنچه ذکر شد، موظف به جبران خسارت وارد شده به اشخاص حقیقی یا حقوقی است که متضرر گردیده‌اند و در صورت طرح دعوی در محاکم قضایی و یا به اشکال دیگر، پیمانکار موظف به پاسخگویی و اجرای رای صادره خواهد بود.

بدیهی است فرازند، نشیب‌بند و مجرای هدایت آب طراحی شده، باید سیل با دوره بازگشت معین و با بده مشخصی را در دوره اجرای عملیات عبور داده و کارگاه را در مقابل جریان آب سطحی، حفاظت نماید. اگر سیلاب بزرگ‌تر از مقدار یادشده که مقدار آن برای هر طرحی در نقشه‌های اجرایی و مشخصات فنی خصوصی مشخص و معین می‌گردد، در طول اجرای عملیات در رودخانه، جریان یابد و فرازند و نشیب‌بند و یا دیواره هدایت جریان و غیره را تخریب و به کارهای انجام شده موقت و یا دایم خسارت وارد نماید، هزینه پیمانکار برای تعمیر و احداث مجدد، جبران و پرداخت می‌گردد ولی مسوولیت خسارات وارد شده به ماشین‌آلات، لوازم و مصالح پیمانکار به عهده خود پیمانکار خواهد بود. اندازه‌گیری مقدار سیلاب، در ایستگاه هیدرومتری نزدیک به محل اجرای پروژه و به ترتیبی که در مشخصات فنی خصوصی ذکر می‌شود و یا براساس عرف معمول اندازه‌گیری توسط سازمان متولی این امر، انجام و ملاک عمل قرار خواهد گرفت و در صورت عدم وجود آمار، دستگاه نظارت با بررسی‌های مهندسی، موضوع را رسیدگی و سیل مربوط را برآورد و اعلام می‌نماید.

پیمانکار باید توجه لازم را به آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی از هر منبعی، به همان‌گونه که مشخص شده بنماید، به‌طوری که تمامی کارهای ساختمانی ابنیه در محیطی عاری از آب انجام شود. به این منظور باید تمام ابنیه حفاظتی را که ممکن است لازم باشد، ایجاد و احداث نماید و هرگونه خسارت به تاسیسات و ابنیه حفاظتی و یا تاخیر در انجام امور ناشی از این‌گونه وقایع به عهده پیمانکار می‌باشد.

پیش از شروع هر کاری در زمینه ساخت ابنیه حفاظتی، پیمانکار باید طرح خود را برای کارهای حفاظتی که شامل طرح عملیات و ابنیه حفاظتی و وسایل مربوط به آن می‌باشد به‌منظور توجه و کنترل صحیح آب، به دستگاه نظارت تحویل نماید. طرح پیمانکار برای هر کار حفاظتی می‌باید با تایید دستگاه نظارت صورت پذیرد.

با توجه به این‌که سامانه انحراف آب برای دوره‌های بازگشت سیل کوتاه‌تری نسبت به دوره بازگشت سیل مورد نظر برای تاسیسات اصلی طراحی می‌شود، خطر تخریب یا آسیب سامانه انحراف و کارگاه و تجهیزات داخل کارگاه در دوران ساخت بیش‌تر از مخاطره‌ای است که از سیل طراحی متوجه تاسیسات اصلی است. به همین دلیل پیمانکار باید کلیه تاسیسات و تجهیزات کارگاه را در دوران ساخت، بیمه تمام خطر مهندسی نماید. در قرارداد بیمه باید حد و حدود خسارت‌هایی که بیش‌تر از آن به عهده بیمه‌گر و کم‌تر از آن به عهده پیمانکار است به وضوح تعیین و تشریح شود.

مراحل مختلف انحراف آب رودخانه اصولاً با توجه به شرایط و ریخت‌شناسی محل، خصوصیات طرح و تاسیسات وابسته، مدت زمان اجرا، خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه و سایر شرایط تعیین می‌گردد.

شرح جزییات مراحل انحراف آب در نقشه‌های اجرایی و مشخصات فنی خصوصی هر پروژه ارائه می‌گردد و پیمانکار باید با برنامه‌ریزی لازم، اجرای عملیات مربوط به انحراف آب رودخانه در هر مرحله را ضمن تطبیق با برنامه زمانی واقعی کار و کسب تایید دستگاه نظارت، مطابق با نقشه‌های اجرایی انجام دهد.

در تمام مراحل انجام عملیات اجرایی پروژه به خصوص اجرای سامانه انحراف آب و برچیدن آن، پیمانکار مسؤول حفظ ریخت‌شناسی رودخانه می‌باشد و در صورت لزوم برداشت مصالح از بستر و سواحل و یا انباشت موقت مصالح در بستر رودخانه (حتی در دوره کم آبی رودخانه) باید طبق نقشه و با تایید کتبی دستگاه نظارت و موافقت کارفرما صورت گیرد.

پیمانکار باید به‌صورت موردی و به خصوص پس از وقوع هر سیلاب و فروکش کردن آن از مسیر سامانه انحراف آب رودخانه، بازوهای خاکی و به‌طور کلی، کلیه بخش‌های مربوط را بازدید نماید. در صورت بروز تخریب احتمالی، به خصوص تخریب موضعی پوشش بازوهای خاکی، پیمانکار باید بلافاصله عملیات ترمیم و بازسازی را به هزینه خود و مطابق نظر دستگاه نظارت انجام دهد.

۱۲-۱-۴- برچیدن سامانه انحراف آب

برچیدن بازوهای خاکی و تمهیدات مربوط به انحراف آب در هر مرحله باید پس از اتمام کامل عملیات اجرایی پیش‌بینی شده در محدوده آن مرحله از انحراف آب، به‌طور کامل انجام گردد، به‌طوری که هیچ‌گونه مانعی در مقابل جریان طبیعی رودخانه قرار نداشته باشد. پاک‌سازی مسیر باید به تایید دستگاه نظارت برسد.

۱۲-۱-۵- انحراف آب نهرها و جابجایی سردهنه‌های موجود

در صورتی که محل اجرای سازه‌های مربوط به پروژه، منطبق و یا در مجاورت محدوده سردهنه‌ها و یا آبراه‌های موجود قرار گیرد، به‌منظور انجام عملیات اجرایی در شرایط مناسب، پیمانکار باید با برنامه‌ریزی و رعایت نقشه‌ها و مشخصات فنی خصوصی تهیه شده (یا نقشه‌هایی که راسا تهیه و به تایید دستگاه نظارت می‌رساند)، در مورد چگونگی جابجایی سردهنه‌ها و یا انحراف موقت مسیر نهرها، نگهداری، بهره‌برداری و در نهایت برچیدن آنها اقدام نماید، به نحوی که در طول اجرای عملیات و تا زمان تحویل قطعی آن، تامین آب مورد نیاز حقابه‌بران نهر و یا نهرهایی که جابجا شده‌اند و یا در تمام و یا بخشی از آنها دخل و تصرف شده است، به خوبی امکان‌پذیر بوده و وقفه‌ای در تامین آب نهرها به‌وجود نیاید.

محل سردهنه‌های جایگزین و جدید باید در فاصله کافی از مسیر اجرای عملیات و به‌خصوص تمهیدات انحراف موقت آب رودخانه قرار داده شود تا در طول اجرای عملیات بتواند همواره به نحو مطمئنی مورد استفاده قرار گیرد و در صورت امکان از دوباره‌کاری نیز جلوگیری شود.

چنانچه مسیر آبراه موجود با محدوده اجرایی عملیات تلاقی داشته باشند، با توجه به این‌که معمولاً در اجرای سازه‌ها، انجام پی‌کنی عمیق ضروری می‌باشد، لذا رعایت فاصله و مستحکم‌سازی مسیر جدید آبراه در محدوده اجرا با توجه به شیب پایدار گودبرداری‌ها، ابعاد سازه‌ها و مساله نفوذ آب، بسیار حایز اهمیت است و باید این بخش از کار با دقت و پیش‌بینی کافی به لحاظ پایداری اجرا گردد. نقشه‌های اجرایی این عملیات باید با جزییات کافی تهیه و به تایید دستگاه نظارت برسد.

نگهداری سردهنه‌ها و مسیرهای انتقال مربوط به انحراف موقت نهرها به‌منظور برقراری دایم جریان آب از وظایف پیمانکار است. در این خصوص می‌توان به تمیز نمودن دهانه آبیگر سنتی و شبکه آشغالگیر به‌صورت موردی و به خصوص پس از وقوع هر سیلاب

و مسدود کردن موقت سردهنه‌ها در مواقع بروز سیلاب‌های بزرگ (با هماهنگی و تایید کارفرما و دستگاه نظارت) و برقراری مجدد جریان آب به‌طوری که وقفه‌ای در امر آبرسانی نهرها به‌وجود نیاید، اشاره نمود. هزینه اجرای تمهیدات فوق و نگهداری سامانه موقت مذکور در فصل تجهیز و برچیدن کارگاه منظور می‌گردد، مگر این‌که در شرایط خصوصی پیمان و مشخصات فنی خصوصی و یا سایر اسناد پیمان به‌گونه‌ای دیگر پیش‌بینی و معین شده باشد.

۱۲-۲- زهکشی و تخلیه آب‌های مازاد

جمع شدن آب‌های مازاد در پشت سازه‌ها که می‌تواند ناشی از بارندگی و یا جریان آب‌های سطحی باشد از جمله مسایلی است که می‌تواند پایداری سازه‌ها را با خطر مواجه کند. لذا تخلیه این آب‌ها حایز اهمیت می‌باشد. جمع شدن آب در پشت سازه‌ها می‌تواند باعث افزایش فشارهای هیدرواستاتیکی، تورم خاک اشباع شده پشت سازه در اثر یخبندان و افزایش نیروهای وارد شده و غیره شود. با توجه به موارد فوق، زهکشی و تخلیه آب‌های مازاد از پشت سازه‌های هیدرولیکی و دیوارهای حایل مورد استفاده در کارهای مهندسی رودخانه از اهمیت خاصی برخوردار است. بدین منظور با استفاده از مصالح فیلتر و لوله‌های زهکشی در فواصل مناسب و تخلیه آب‌های نشئی، خاک پشت دیوار خشک نگه داشته می‌شود. دانه‌بندی مصالح فیلتر با توجه به مشخصات سوراخ‌های لوله زهکشی و مشخصات خاک پشت دیوار تعیین می‌گردد.

همچنین به‌منظور امکان انجام عملیات ساختمانی، در برخی موارد انحراف آب و دور نمودن آب‌های ناشی از بارندگی، سیلاب، ذوب برف و یخ و کنترل سطح آب‌های زیرزمینی در تراز پایین در برخی موارد اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. عملیات زهکشی همچنین با هدف جمع‌آوری و هدایت زه‌آب و کاهش اضافه فشار منفذی در خاکریزهای متراکم و یا مقابله با احتمال آبستگي در هنگام تخلیه سریع مخزن، پیش‌بینی و اجرا می‌شود. در این بخش انواع و مشخصات فنی زهکش‌ها، استاندارد مصالح مصرفی و نکات خاص عملیات اجرایی تشریح شده است.

۱۲-۲-۱- سامانه‌های زهکشی

با در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی طرح و یا شرایط تحمیلی ناشی از خصوصیات خاص پروژه، جهت زهکشی از سامانه ثقلی و یا از سامانه پمپاژ استفاده می‌شود. انتخاب نوع سامانه زهکشی براساس مشخصات فنی و پس از تایید روش اجرا توسط دستگاه نظارت، قابل قبول خواهد بود.

۱۲-۲-۱-۱- سامانه ثقلی

در این حالت رواناب موجود در محدوده عملیات ساختمانی یا آب زیرزمینی، بالاتر از تراز کار در زهکش‌های فرعی تعبیه شده و با استفاده از شیب خط کف مسیر در زهکش اصلی یا کلکتور، تخلیه شده و سپس از محدوده کار خارج می‌شوند. یکی از ساده‌ترین روش‌های انحراف آب، استفاده از خاکریزها و دایک‌های انحراف آب می‌باشد. ولی در برخی موارد ممکن است به لحاظ شرایط خاص توپوگرافی و محدودیت مکانی و یا نیازهای زمانی بهره‌برداری، لازم باشد از مقاطع بتن مسلح، نظیر دیوار حایل و یا مقاطع جعبه‌ای و فلوم استفاده شود.

مسیر انحراف آب باید طوری طراحی شود که دارای فاصله مناسب از گودبرداری احداث سازه‌ها باشد. در برخی موارد ممکن است میزان بده آب نشستی به نحوی باشد که اجرای دیوار آب‌بند در زیر دایک‌های انحراف لازم باشد. پلان و شیب زهکش‌های فرعی و محل قرارگرفتن زهکش اصلی باید براساس حالت بهینه فنی و اقتصادی و با تایید دستگاه نظارت تهیه شود.

۱۲-۱-۲- سامانه پمپاژ

در مواردی که شیب طبیعی زمین اجازه تخلیه ثقلی را از طریق زهکش‌های فرعی نمی‌دهد با پیش‌بینی چاهک‌های پمپاژ در محل‌های مناسب، تخلیه آب‌های جمع‌آوری شده به‌وسیله پمپ انجام می‌شود.

۱۲-۲-۲- انواع زهکش

با توجه به مصالح مصرفی و کاربری مورد انتظار از یک زهکش می‌توان آنها را به زهکش روباز، زهکش مدفون، کلکتورها، لایه زهکش دایک‌ها، زهکش زیر پوشش حفاظتی خاکریزها و لوله زهکش ابنیه فنی تقسیم‌بندی کرد.

۱۲-۲-۲-۱- زهکش روباز

این نوع زهکش که به آبکش نیز معروف است مانند یک آبراه با بهترین مقطع هیدرولیکی که با شرایط اقتصادی و توپوگرافی و ژئوتکنیکی همخوانی دارد، طراحی و اجرا می‌گردد. لذا در حفر زهکش روباز رعایت کلیه مشخصات فنی مندرج در فصل عملیات خاکی الزامی است.

زهکش‌های روباز معمولاً برای انحراف آب در حین ساختمان، تخلیه آب‌های زاید در پی سازه‌ها و یا جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی احداث می‌شوند. در حالت آبکشی برای تخلیه آب‌های زاید در پی‌ها باید به‌منظور احتراز از مشکلاتی اعم از تهدید پایداری شیروانی‌ها و گود ابنیه فنی در اثر خروج آب از خاک (این مساله عمدتاً در خاک‌های فاقد چسبندگی مهم است) و بالا آمدن کف گود در اثر فشار آب به‌ویژه بعد از توقف پمپاژ، تمهیدات لازم به‌عمل آید.

۱۲-۲-۲-۲- زهکش مدفون (زیرزمینی)

این نوع زهکش شامل ترانشه و لوله‌های مشبک است که در میان قشری از مصالح فیلتر قرار دارد. لوله‌های مصرفی در زهکش‌های زیرزمینی در انواع مختلفی نظیر سفال، بتن، فلز و پلاستیک و در اشکال متفاوت چون ساده، مشبک و موج‌دار ساخته می‌شوند.

حفر ترانشه تا عمق مورد نیاز، مطابق خطوط تراز، شیب و رقوم مشخص شده در نقشه یا دستورالعمل دستگاه نظارت صورت می‌گیرد. پس از اتمام عملیات خاکی، نخستین قشر مصالح فیلتر (در ضخامت حداقل ۲۰ cm) پخش می‌شود و بعد از اتمام عملیات لوله‌گذاری و پخش فیلتر در اطراف و روی لوله‌های زهکش (در ضخامت حداقل ۲۰ cm) و با تایید دستگاه نظارت عملیات خاکریزی و پرکردن ترانشه به‌صورت لایه‌های افقی صورت می‌گیرد. ترانشه‌ای که حفر می‌شود باید در اسرع وقت شن‌ریزی، لوله‌گذاری و خاکریزی شود. در صورتی که لازم باشد ترانشه‌ای برای مدت طولانی بماند، اخذ موافقت دستگاه نظارت ضرورت دارد.

نقطه ضعف لوله‌های زهکش زیرزمینی، عدم وجود دوام آنها است. به خصوص در صورت استفاده از الیاف قیری، پلاستیکی و یا حتی بتنی، امکان گسیخته شدن لوله‌ها تحت اثر بار زیاد وجود دارد.

در صورت استفاده از لوله‌های آزیست و سیمان، این لوله‌ها باید از یک مخلوط کاملاً همگن از سیمان، آزیست و آب ساخته شود و این مخلوط از هرگونه مواد خارجی که موجب فرسایش تدریجی لوله‌ها می‌شود، عاری باشد. لوله‌های زهکش برای تخلیه آب، معمولاً بدون اتصال و با درز یا سوراخ‌هایی به قطر ۱۰ میلی‌متر در زوایای ۶۰ درجه با امتداد قائم به کار می‌روند. با گذشت زمان ممکن است مواد ریزدانه و آشغال در درز یا سوراخ‌های لوله، گیر کرده و آنها را مسدود کنند. لذا دقت در انتخاب دانه‌بندی مصالح فیلتر اطراف لوله، ضروری است. جنس لوله‌های زهکش می‌تواند سفالی، بتنی، پلاستیکی و یا فلزی باشد. تنبوشه سفالی در قطعات ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری و تا قطر ۳۰۰ میلی‌متر قابل استفاده بوده و مزیت آن مقاومت در برابر اسید و سولفات است. لوله‌های سیمانی در قطر بیش‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر ساخته می‌شوند و لازم است برای ایجاد مقاومت در برابر حمله سولفات‌ها، در ساخت آنها از سیمان نوع ۵ استفاده شود. لوله‌های پلاستیکی با مزیت شکل‌پذیری در حرارت معمول ساخته می‌شوند ولی در دمای صفر درجه ترد و شکننده می‌باشند. لوله‌های فلزی در قطرهای مختلف برای تحمل بار زیاد و با هزینه زیاد ساخته می‌شوند.

در صورت عبور لوله زهکش مدفون از زیر ابنیه فنی باید تمهیدات لازم برای جلوگیری از نشست نامتقارن پی سازه و عدم گسیختگی لوله زهکش به عمل آید و با پیش‌بینی طوقه^۱، طول خط زه‌آب افزایش یابد.

۱۲-۲-۲-۳- جمع‌کننده (کلکتور)

جمع‌کننده (کلکتور)، برای جمع‌آوری آب‌های سطحی یا زه‌آب موجود در زهکش‌های فرعی روباز یا مدفون احداث شده و در نهایت آب جمع‌آوری شده را به خارج از ساختمان یا به چاهک پمپاژ انتقال می‌دهد. برای سهولت اجرا، شیب لوله و آبراه فرعی زهکش ۳ تا ۴ در هزار در نظر گرفته می‌شود که در کلکتورها با محدود کردن عدد فرود (برای جلوگیری از رسوب‌گذاری و فرسایش) بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۵، از فرمول‌های تجربی موجود مانند مانینگ قابل محاسبه است.

۱۲-۲-۲-۴- زهکش بدنه خاکریزهای حفاظتی (دایک‌ها)

زهکشی بدنه، به‌منظور جمع‌آوری و هدایت زه‌آب عبور کرده از بدنه یا شالوده خاکریز، احداث می‌شود و هدف آن کنترل نشست و کاهش اضافه فشار آب منفذی در بدنه خاکریز است. در برخی موارد با توجه به دانه‌بندی مصالح، فیلتر باید به‌صورت چند لایه طراحی شود که در این صورت هر لایه حکم فیلتر برای لایه زیرین را خواهد داشت.

۱۲-۲-۲-۵- زهکش زیر پوشش‌های حفاظتی

زهکشی زیر پوشش حفاظتی خاکریزها به‌منظور جلوگیری از اثر فرسایشی موج بر خاکریز و نیز حفاظت خاکریز در برابر خطر شسته شدن در هنگام فروکش سریع جریان، اجرا می‌شود. این نوع زهکش بیش‌تر در محل‌هایی که سطح آب زیرزمینی بالا بوده و یا احتمال بالا آمدن آن وجود داشته و باعث خسارت به پوشش خواهد شد، طبق نقشه‌ها و دستورالعمل دستگاه نظارت، احداث می‌شود. بدیهی است نقاطی از دامنه بالادست که همیشه در زیر آب قرار دارند نیازی به حفاظت و در نتیجه فیلتر ندارند.

زهکشی صفحه‌ای در زیر پوشش به صورت سنتی به وسیله مصالح دانه‌ای انجام می‌شود. در محل‌هایی که حرکت آب به شکل امواج وجود دارد می‌توان با استفاده از یک ژئوتکستایل - زهکش، به صورت ترکیبی عمل زهکشی را انجام داد.

در زهکش‌های دانه‌ای برای اطمینان از پایداری کافی در برابر جابجایی مصالح ریزدانه در ناحیه زهکشی باید $D_{60f} \leq 10D_{10f}$ باشد که عامل D_{nf} قطر متناظر با n درصد وزنی عبوری مصالح فیلتر می‌باشد، یا به عبارتی دیگر n درصد وزنی ذرات فیلتر کوچک‌تر از قطر D را نشان می‌دهد (اندیس f مربوط به فیلتر می‌باشد).

ظرفیت هیدرولیکی زهکش باید به اندازه‌ای باشد تا بتواند حداکثر جریان زهکشی تخمین زده شده را با یک افت بار قابل قبول انتقال دهد. این امر می‌تواند تعیین کننده ضخامت زهکش دانه‌ای باشد.

۱۲-۲-۶- لوله‌های زهکش ابنیه فنی

لوله‌های زهکش ابنیه فنی برای خروج آب از پشت دیواره سازه‌های هیدرولیکی یا کاهش فشار نیروی زیرفشار در کف حوضچه‌های آرامش پیش‌بینی و اجرا می‌گردند. این نوع لوله‌ها معمولاً از جنس پی‌وی‌سی (PVC) و به صورت مشبک نصب می‌گردند. لازم است با اجرای فیلتر با دانه‌بندی مناسب از گرفتگی لوله‌های مذکور جلوگیری به عمل آید.

۱۲-۲-۳- آبروها و لوله‌ها

جهت انحراف موقت آب و یا تخلیه زهکش‌ها به داخل رودخانه و نیز لوله‌های زهکشی، از آبروها و لوله‌ها استفاده می‌گردد. آبروها و لوله‌ها از مصالح بتنی یا بتن پیش‌تنیده با و یا بدون هسته فولادی، فولاد، چدن نشکن، پلی‌اتیلن و پی‌وی‌سی (PVC) و ... ساخته می‌شوند.

به‌طور کلی این مجاری به سه روش کلی، درجا، نیمه پیش‌ساخته و پیش‌ساخته اجرا می‌گردند. اجرای درجا، اغلب برای مجاری با مقاطع بزرگ به کار می‌رود. روش اجرای نیمه پیش‌ساخته، برای مجاری با طول زیاد و روش اجرای پیش‌ساخته، برای مجاری تحت فشار استفاده می‌گردند.

حفاری و پی‌کنی آبروها و لوله‌ها باید طبق اندازه‌های تعیین شده در نقشه‌ها و دستور دستگاه نظارت انجام گیرد. پی‌کنی در بستر زیرین آبروها و لوله‌ها باید با دقت کامل و منطبق با تراز مشخص شده در نقشه و در سراسر طول آبرو انجام گیرد. در صورتی که تراز قسمت زیرین، پایین‌تر از حدود مورد نظر بوده و یا بستر با شیب صحیح، شکل نگرفته باشد، باید آن را با مصالح بنایی یا بتن لاغر اصلاح نمود. در صورت نامناسب بودن بستر زمین مجرا، تعویض آن با مصالح قابل قبول تا عمق لازم با تایید دستگاه نظارت انجام می‌گیرد. همچنین هرگاه لازم باشد و دستگاه نظارت تشخیص دهد باید اقدام به سپرکوبی، حایل‌بندی و تلمبه‌زنی نمود و پس از خاتمه کار، این حایل‌ها و پشت‌بندها را از محل کار خارج کرد.

سطح درونی آبروها و لوله‌های بتنی باید کاملاً مستقیم و اختلاف مجاز آن با ابعاد واقعی از ۱/۵ درصد بیش‌تر نباشد. همچنین ضخامت مجرا نباید کم‌تر از ۹۵ درصد ضخامت مشخص شده در نقشه‌ها باشد. توصیه می‌شود در لوله‌های بتن مسلح و غیرمسلح، عیار سیمان هیچ‌گاه کم‌تر از ۳۵۰ کیلوگرم در مترمکعب بتن نباشد. نوع سیمان، شن و ماسه، نسبت آب به سیمان، حمل و اختلاط و ... باید با مندرجات این نشریه تطبیق نماید.

پرکردن فضای خالی اطراف لوله‌ها و یا دیوارهای آبرو باید بعد از پاک کردن کامل درون لوله‌ها و آبروها و طرفین دیوارها از مصالح اضافی و بازدید و تایید دستگاه نظارت انجام گیرد. این فضای خالی باید در لایه‌های به ضخامت حداکثر ۱۵ سانتی‌متر با مصالح مناسب و منتخب پر شود. لایه‌های اولیه روی آبرو باید عاری از سنگ و کلوخ بوده و همچنین مصالح روی آبرو پرتاب نشود. عملیات خاکریزی و کوبیدن باید به طریقی صورت گیرد که تراز طرفین آبروها و لوله‌ها در هر لحظه یکسان بوده و به لوله‌ها و دیوارها در حین انجام کار آسیبی وارد نشود.

۱۲-۳- فیلتر

فیلتر لایه‌ای است از جنس مصالح دانه‌ای یا مصنوعی و به منظور جلوگیری از شسته شدن، حرکت و جدایی ذرات خاک در اثر جریان زه‌آب و برای کاهش فشار هیدرواستاتیکی وارد بر سازه، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مصالح فیلتر باید از شسته شدن ذرات ریز خاک جلوگیری کند و مقاومت آن در برابر حرکت زه‌آب، بیش از خاک مورد حفاظت باشد.

۱۲-۳-۱- فیلترهای دانه‌ای

فیلترهای دانه‌ای با اندازه ذرات مشخص می‌شوند. بر حسب مورد می‌توان از بیش از یک لایه برای به‌دست آوردن ویژگی‌های مورد نظر فیلتر استفاده کرد. به این نکته باید توجه کرد که در جایی که فیلتر نقش زهکشی جریان داخلی را به موازات شیب پوشش داراست، یکنواختی فیلتر باید کنترل گردد تا جابجایی داخلی ذرات فیلتر روی ندهد. ضوابط فیلترها به شرح زیر می‌باشند:

$$U = D_{60} / D_{10} \text{ ضریب یکنواختی خاک:}$$

$$D_{50f} < 3 \sim 5D_{50b} \text{ (با ضریب یکنواختی } U < 5 \text{):}$$

$$D_{15f} < 3 \sim 5D_{85b} \text{ و } D_{50f} < 25D_{50b} \text{ (با ضریب یکنواختی } U > 10 \text{):}$$

خصوصیات دانه‌بندی، عموماً با اندازه الک نشان داده می‌شود. عامل D_{nb} قطر متناظر با n درصد وزنی عبوری مصالح خاک می‌باشد، یا به عبارتی دیگر n درصد وزنی ذرات خاک کوچک‌تر از قطر D را نشان می‌دهد (اندیس b مربوط به خاک و اندیس f مربوط به فیلتر می‌باشد). در روابط بالا ضرایب کوچک‌تر از ۳، مربوط به شرایط جریان نوسانی متناوب شدید و ضرایب بالاتر از ۵، مربوط به شرایط جریان پایا است.

– در تمامی حالات، منحنی دانه‌بندی فیلتر باید به‌صورت تقریبی به موازات منحنی دانه‌بندی خاک زیرین باشد.

– نفوذپذیری خاک زیرین و فیلتر به‌وسیله ابعاد دانه‌های کوچک مشخص می‌گردد (برای فیلترهایی که به‌صورت قابل

$$\text{توجهی از خاک زیرین نفوذپذیرتر هستند): } D_{15f} > 5D_{15b}$$

– حداکثر اندازه دانه‌های مصالح فیلتر ۷۵ میلی‌متر باشد.

$$D_{5f} > 0.075 \text{ mm (جهت جلوگیری از مسدودشدگی):}$$

– مصالح فیلتر باید غیرخمیری باشد.

– همچنین برای جلوگیری از ورود مصالح به داخل سوراخ لوله‌های زهکش زیرزمینی باید روابط زیر برقرار باشد:

$$D_{85f} > 1.0 \sim 1.4 d \text{ و } D_{85f} > 1.2 \sim 1.4 W \text{ که در آن } W \text{ پهنای سوراخ و } d \text{ قطر حفره می‌باشد.}$$

مصالح فیلتر باید بتواند ضوابط مربوط به پایداری و نفوذپذیری را تامین نمایند، لیکن برای اقناع شرایط مربوط به سوراخ‌ها، باید ریزدانه باشند. بنابراین ممکن است استفاده از فیلترهای لایه‌بندی شده لازم باشد. در این مورد استفاده از فیلترهای پیش‌ساخته ممکن است مناسب‌تر بوده و باعث سهولت گردد. تجربیات و طراحی‌ها نشان می‌دهد ضخامت لایه فیلتر برای فیلترهای تک لایه، ۱۵۰ تا ۳۸۰ میلی‌متر و برای لایه‌های منفرد فیلترهای چند لایه، ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد.

۱۲-۳-۲- فیلترهای مصنوعی (ژئوتکستایل)

اجرا و نصب این‌گونه فیلترها سریع بوده و معمولاً نسبت به فیلترهای دانه‌ای، اقتصادی‌تر و دارای کیفیت و اطمینان بالاتر می‌باشند. عملکرد فیلترهای مصنوعی وابسته به خصوصیات زیر می‌باشد:

- دانه‌بندی مصالح که با اندازه الک نشان داده می‌شود.
 - ضریب یکنواختی خاک $U = D_{60} / D_{10}$
 - تراکم یا سست بودن، چسبنده یا غیرچسبنده بودن خاک
 - نفوذپذیری خاک در جهت جریان (K_b)
 - نوع پارچه ژئوتکستایل (بافته شده یا غیر بافتنی) و نفوذپذیری ژئوتکستایل (گذردهی)
- ژئوتکستایل باید طوری طراحی شود که:
- نفوذپذیری آن برابر یا بزرگ‌تر از نفوذپذیری خاک زیرین باشد.
 - حداکثر ابعاد منافذ ژئوتکستایل که با O_{90} سنجیده می‌شود، نباید بیش‌تر از $0/3$ تا $0/5$ میلی‌متر باشد.
 - برای نگهداری خاک باید $O_{90} > D_{90b}$ باشد که مقادیر λ از ۱ تا ۲، بر حسب وزن مخصوص و یکنواختی خاک، تغییر می‌کند (به‌طور کلی می‌توان گفت خاک‌های با ضریب یکنواختی بیش‌تر از ۵، ویژگی‌های خودفیلتری بهتری دارند).
 - اجرای فیلترهای مصنوعی در زیر آب دشوار می‌باشد و نصب برخی از انواع آن نیازمند تمهیدات ویژه برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی در برابر تابش آفتاب می‌باشد. همچنین دوام آنها برای طول عمر یک پروژه مهندسی هنوز به اثبات نرسیده است. در این نوع فیلترها، در سواحلی که تحت تاثیر امواج هستند، مصالح زیرین فیلتر تمایل به حرکت به سمت پایین شیب دارند (این پدیده در فیلترهای دانه‌ای مشاهده نمی‌شود).

فصل ۱۳

سازه‌های اصلی و ملاحظه‌های

طراحی و اجرایی آنها

۱۳-۱ - سازه‌های سیل‌بند

سازه‌های سیل‌بند در امتداد رودخانه برای حفاظت اراضی جانبی در برابر سیل، طراحی و اجرا می‌گردند. این گونه سازه‌ها با استفاده از مصالح خاکی، بتنی، سنگ و سیمان، تورسنگ و خاک مسلح احداث می‌شوند. از معایب اجرای این سازه‌ها می‌توان به قطع دسترسی مستقیم به رودخانه، برهم زدن ترکیب و ساختار طبیعی رودخانه، تامین مصالح و نیز امکان بروز اثرهای منفی زیست محیطی و اجتماعی اشاره نمود.

سازه‌های سیل‌بند اغلب با استفاده از مصالح خاکی احداث می‌گردند. از سیل‌بندهای با مصالح دیگر (بتنی و سنگ و سیمان، تورسنگ و خاک مسلح)، بیش‌تر برای بازه‌های کوتاه رودخانه و با توجه به مسایل فنی و اقتصادی استفاده به‌عمل می‌آید. موارد فنی و اجرایی دیوارهای سیل‌بند بتنی، سنگ و سیمان، تورسنگ و خاک مسلح در فصل ۱۱ (دیوارهای حایل) ارائه گردیده است.

۱۳-۱-۱ - ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

یکی از عوامل مهم در عملکرد مطلوب سازه‌های سیل‌بند، انتخاب مسیر مناسب و جانمایی آن می‌باشد. مشخصات مسیر به‌وسیله نقشه‌های هوایی و زمینی، نیازهای مهار سیل، بده طراحی، پهنه سیلاب و بازدیدهای صحرایی از مسیر تعیین می‌گردد. با توجه به شرایط محلی و چنانچه مسیر رودخانه مستقیم باشد، سازه‌های سیل‌بند معمولاً در فواصل مساوی دوطرف رودخانه احداث می‌گردند. در رودخانه‌های دارای پیچ و خم (اغلب رودخانه‌ها)، سازه‌های سیل‌بند با پیچ و خم‌ها انطباق کامل نداشته و اغلب مسیر سیل‌بند مستقیم‌تر از مسیر رودخانه می‌باشد و همچنین نباید آن‌قدر به پیچ رودخانه نزدیک باشد که در معرض خطر فرسایش و فروریختن ساحل رودخانه قرارگیرد. همچنین توصیه می‌شود تغییر خم‌های سازه سیل‌بند به‌صورت انحنای با شعاع زیاد انجام پذیرد. نقاط ابتدایی و انتهایی سازه سیل‌بند باید به مواضع مرتفع و مستحکمی وصل گردد و در صورتی که این مواضع به‌طور طبیعی وجود داشته باشد با کاهش تدریجی ارتفاع سازه به سمت پایین‌دست، تاثیر آن را باید مستهلک نمود. در غیر این‌صورت می‌توان از عوارض مصنوعی نظیر جاده استفاده نمود.

فاصله و ارتفاع سازه‌های سیل‌بند به عوامل اقتصادی، ملاحظه‌های فنی و سیلاب طراحی، ایمنی و هیدرولیک طرح و شرایط محلی و قانونی، نظیر محدودیت‌های سلب مالکیت بستگی دارد. هر چه سازه‌های سیل‌بند به هم نزدیک‌تر باشد، با توجه به ایجاد مقطع عرضی کم‌تر برای عبور جریان، رقوم سطح آب در سیلاب‌ها بالا رفته و منجر به ازدیاد ارتفاع سازه و افزایش حجم عملیات و هزینه اجرایی می‌گردد و هر چه فاصله سازه سیل‌بند از هم بیش‌تر شود با کاهش رقوم سطح آب سیلابی، سازه‌های کم ارتفاع‌تری نیاز می‌باشد. در تعیین ارتفاع نهایی سازه سیل‌بند، نشست را که بعد از تکمیل و اجرا روی خواهد داد، باید منظور نمود. این نشست بستگی به خصوصیات مصالح، درجه اشباع، روش اجرای سازه و ظرفیت باربری خاک پی دارد. همچنین توصیه می‌شود قسمت فوقانی سازه از تراز سطح آب به اندازه ۰/۴ تا یک متر، برحسب جریان آب و امواج سطحی، بالاتر باشد.

قبل از ساخت سازه‌های سیل‌بند، باید لایه سطحی زمین را صاف کرده و از گیاهان، بقایای نباتی، قلوه‌سنگ‌های بزرگ و مواد آلی پاک نمود. ضخامت این لایه برحسب موقعیت محل و نوع خاک تعیین می‌شود.

دیوارهای سازه سیل‌بند، مانع از زهکشی طبیعی اراضی حاشیه رودخانه می‌شوند، لذا اقدام‌های خاصی به‌منظور تخلیه آب‌های اضافی و همچنین تخلیه آبراه‌های فرعی به رودخانه باید در نظر گرفت.

۱۳-۱-۲- گورها یا سیلبندهای خاکی

گورها یا سیلبندهای خاکی، خاکریزهایی هستند که عمدتاً با استفاده از مصالح و منابع قرضه مجاور رودخانه احداث می‌گردند. مقطع عرضی گورها، اکثراً به صورت همگن و از یک نوع مصالح (موجود در محل) ساخته می‌شود، ولی گاهی نیز به صورت غیرهمگن که دارای یک هسته نفوذناپذیر رسی یا رس و سیلت باشد، طراحی می‌گردد. از معایب احداث گورها علاوه بر موارد ارائه شده، می‌توان به ایجاد خسارت بالا در صورت تخریب هنگام سیل اشاره نمود.

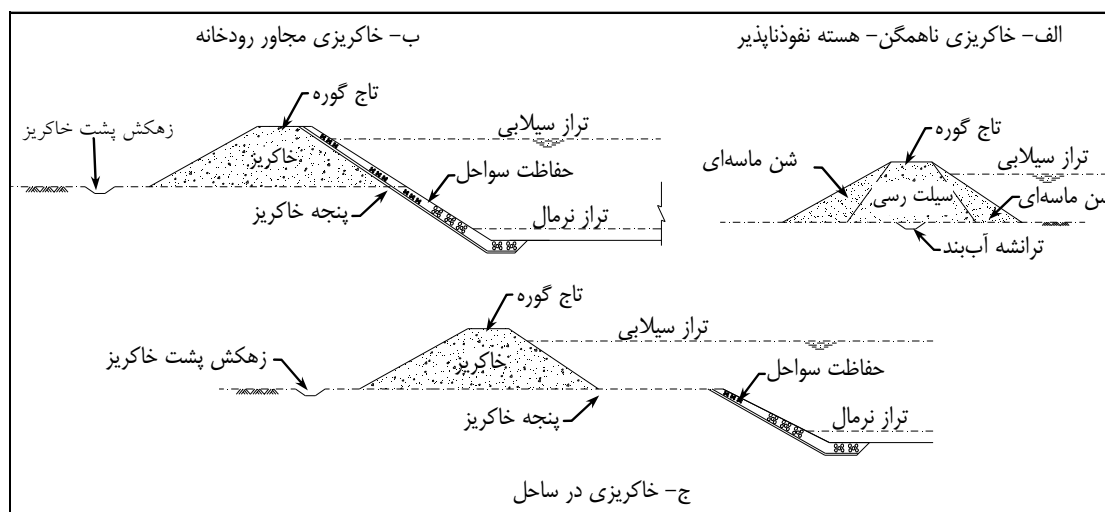
گورها نسبت به سایر روش‌های مهار سیل دارای مزایایی به شرح زیر می‌باشند:

- برای طراحی گورها با ارتفاع کم، حداقل اطلاعات کفایت می‌کند.
 - هزینه ساخت گورها نسبتاً زیاد نیست (به خصوص هنگامی که ارتفاع کم باشد).
 - در اغلب حالات مصالح مورد نیاز برای خاکریزی در محل یا مجاورت آن یافت می‌شود.
 - گورها در اغلب موارد، رژیم طبیعی رودخانه را چندان تغییر نمی‌دهند.
- پهنای تاج گوره اساساً به میزان سیل طراحی، نوع مصالح بدنه و میزان ترافیک روی آن (در صورت وجود) بستگی دارد. پهنای تاج عمدتاً در حدود ۳ تا ۵ متر، برحسب ارتفاع گوره و ترافیک عبوری از روی آن انتخاب می‌گردد. برای گوره‌های با ارتفاع کم‌تر یا مساوی ۳ متر، پهنای تاج ۲ متر در نظر گرفته شده و برای گوره‌های بلندتر، عمدتاً این پهنای ۴ متر در نظر گرفته می‌شود.
- در طراحی گورها باید پایداری در مقابل گسیختگی خاک بدنه گوره و شالوده و همچنین پایداری در مقابل آبشستگی ناشی از تراوش از بدنه و شالوده و عوامل فرسایشی را مد نظر قرار داد. شیب‌های گوره با توجه به نوع خاک بدنه، ارتفاع گوره و ظرفیت باربری شالوده باید طوری طراحی شود تا پایداری در مقابل گسیختگی برشی خاک در بدنه گوره و شالوده تامین گردد.
- همان‌طور که ذکر گردید، دیواره‌های گوره، مانع از زهکشی طبیعی اراضی حاشیه رودخانه می‌شوند، لذا اقدام‌های خاصی به منظور تخلیه آب‌های اضافی و همچنین تخلیه آبراه‌های فرعی به رودخانه، باید در نظر گرفت.

معمولاً جهت تامین ایمنی کافی در برابر فرسایش ناشی از جریان رودخانه و آثار مخرب بارندگی‌های شدید، از پوشش‌های حفاظتی نظیر سنگ‌چین، تورسنگ، پوشش‌های بتنی، پوشش‌های گیاهی و غیره، جهت حفاظت شیب جانبی گوره استفاده می‌گردد.

احداث گوره‌های همگن از عمومیت بیش‌تری برخوردار بوده و این نوع گورها عمدتاً از خاک‌های ریزدانه نظیر سیلت، ماسه سیلت‌دار (لوم) و یا رس ماسه‌دار ساخته می‌شوند. خاک‌های ریزدانه اغلب ناپایدار بوده و با افزایش رطوبت، خطر روان‌گرایی آن تشدید می‌شود. از این جهت در استفاده از این خاک‌ها باید تمهیدهای پیش‌گیرنده از قبیل استفاده از شن و دانه‌های متورق نظیر میکا در ترکیب سیلت و در نتیجه بالا بردن تراکم‌پذیری آنها، ملحوظ شود. به علاوه استفاده از یک سامانه زهکشی مناسب در پاشنه سازه می‌تواند در استحکام و پایداری خاک‌های ریزدانه موثر باشد. علاوه بر خاک‌های ریزدانه، در مواردی از مصالح درشت‌دانه نظیر شن و ماسه جهت احداث گوره‌های همگن نیز استفاده به عمل می‌آید.

برای احداث گوره‌های بلند و تضمین سلامت و پایداری آنها، از گوره‌های غیرهمگن و یا چند لایه استفاده می‌شود. این گورها تلفیقی از خاک‌های ریزدانه و درشت‌دانه می‌باشد. استفاده از گورها به لحاظ کاربرد در شکل (۱-۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۱- استفاده از گوره‌ها به لحاظ کاربرد

۱۳-۱-۲-۱- روش‌های اجرا

به‌طور کلی گوره‌ها به سه روش متراکم، نیمه‌متراکم و غیرمتراکم اجرا می‌گردند که کاربرد هر روش برحسب اهمیت و هدف کاربرد، شرایط منطقه و همچنین ارزش و وسعت زمین‌های حفاظت شده می‌باشد.

الف- گوره‌های متراکم

مقطع گوره‌های متراکم، فضای کمی را اشغال کرده و با توجه به قابلیت تراکم کم که در این روش در گوره ایجاد می‌شود، شرایط مناسبی را برای عبور راه‌های اصلی از روی آن فراهم می‌کند. این نوع گوره باید روی شالوده با قابلیت تراکم پایین احداث گردد و مصالح مورد استفاده در ساخت، باید حاوی رطوبت طبیعی نزدیک به حدود مشخص شده (رطوبت بهینه تراکم) باشد. در هنگام اجرا باید به ضخامت خاک سست سطحی که برداشته می‌شود، توجه خاصی نمود و همچنین به‌منظور دستیابی به تراکم لازم، نباید از وسایل ساده‌تر استفاده شود (نتایج مثبتی نخواهد داشت)، لذا باید از وسایل ایجاد تراکم، نظیر غلتک‌های پآچه‌بزی، چرخ لاستیکی یا چرخ فولادی استفاده شود. خاکریزی باید در لایه‌های به ضخامت حداکثر ۲۵ الی ۳۰ سانتی‌متری صورت گیرد.

ب- گوره‌های نیمه‌متراکم

گوره‌های نیمه‌متراکم در محل‌هایی احداث می‌شود که هیچ محدودیت و مشکلی از نظر فاصله آن نسبت به رودخانه وجود نداشته و نیازی به گوره متراکم نباشد. این نوع گوره بر روی شالوده‌های نسبتاً ضعیف که ظرفیت باربری آن کم‌تر از بار حاصل از گوره متراکم باشد، احداث می‌گردد. در صورت مرطوب بودن مصالح یا ریزش باران در طول فصل اجرا، احداث این نوع گوره‌ها نسبت به احداث گوره متراکم ارجحیت دارد. لایه‌های خاکریزی، ضخیم‌تر از لایه‌های خاکریزی گوره متراکم بوده (حدود ۳۰ سانتی‌متر) و خاک با رطوبت طبیعی موجود در آن و بدون بررسی رطوبت مصالح، متراکم می‌گردد.

گوره‌های نوع هیدرولیکی (گوره‌های نیمه‌متراکم) روش خاصی است که در گوره‌های با مصالح ماسه‌ای نفوذپذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، خاکریزی توسط بیل مکانیکی و لودر با مخلوط نمودن آب و مواد لایروبی شده انجام می‌گیرد. دانه‌بندی ماسه باید به‌صورتی باشد که حداقل ۷۰ درصد مصالح از الک شماره ۴ گذشته و نیز بیش از ۵ درصد ذره‌ها از الک شماره ۲۰۰ عبور نکند. این گوره‌ها بیش‌تر برای حفاظت اراضی کشاورزی به‌کار می‌رود.

ج- گوره‌های غیرمتراکم

گوره غیرمتراکم در مواردی که مصالح قرصه خیلی مرطوب بوده و غالباً شامل مواد آلی می‌باشد و همچنین در مکان‌های پرباران احداث می‌شود. احداث این گوره اغلب به‌صورت درجا و در لایه‌های ضخیم و بدون پخش مصالح انجام می‌گیرد. در این روش، عمده مصالح توسط لودر و بیل مکانیکی و بدون ایجاد تراکم، به‌صورت درجا ریخته و انباشته می‌گردد. عمدتاً از این نوع گوره در مواقع اضطراری استفاده می‌شود.

قبل از ساخت گوره‌ها باید لایه سطحی زمین را صاف کرده و از گیاهان، بقایای نباتی، قلوه‌سنگ‌های بزرگ و مواد آلی پاک نمود. ضخامت این لایه برحسب موقعیت محل و نوع خاک تعیین می‌شود. سطح شالوده نیز باید شیار زده شود تا اتصال بهتری بین بدنه گوره و شالوده ایجاد گردد.

۱۳-۲- پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی

جهت تثبیت و حفاظت سواحل رودخانه و محدود نمودن اراضی سیلابی، از روش اصلاح شیب کناره‌های رودخانه و ایجاد پوشش‌های حفاظتی مقاوم با مصالح سنگی و تورسنگی (گابیون)، بتنی، کیسه‌های خاک و سیمان، پوشش‌های گیاهی، آسفالت، ژئوتکستایل و غیره استفاده می‌گردد. طراحی شیب پایدار (جانبی) و انتخاب نوع پوشش حفاظتی، با توجه به جنس لایه‌های خاک سواحل و خصوصیات ژئوتکنیکی آن، سرعت جریان و مصالح در دسترس، شرایط طرح، منطقه (آب و هوایی) و هزینه‌های اجرایی، مشخص می‌گردد. مشخصات فنی طراحی و اجرایی انواع پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی در فصل ۸ این نشریه، به‌طور کامل ارائه گردیده است.

۱۳-۳- دیوارهای حایل حفاظتی

در مناطق و شرایطی که امکان اجرای شیب پایدار (جانبی) و یا پوشش مقاوم (مناطق مسکونی و غیره) وجود نداشته باشد و یا شرایط طرح ایجاب نماید (سرعت جریان و نیروهای وارد به سازه) و یا ارتفاع زیاد باعث حجیم شدن خاکریزها و مصالح سنگی گردد، از دیوارهای حایل بتنی، سنگ و سیمان، تورسنگ و یا سامانه‌های خاک مسلح استفاده می‌شود. همچنین دیوارهای حایل حفاظتی به‌منظور تکیه‌گاه‌های کناری شیب‌شکن‌ها و سرریزها، سدهای انحرافی، پایه‌های کناری سازه آبگیر، متصل‌کننده سازه‌ها به کناره‌ها و سواحل رودخانه و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دیوارها معمولاً به‌منظور حفاظت از تاسیسات جانبی احداث می‌گردد و همچنین از فرسایش سواحل رودخانه به دلیل تأثیری که بر روی الگوی جریان محلی می‌گذارد، جلوگیری می‌نماید.

شکل و نوع دیوارهای حایل به عواملی از قبیل شرایط طرح، ریخت‌شناسی رودخانه و توزیع درزهای انبساطی و اجرایی، مصالح در دسترس و ... بستگی دارد. مشخصات و موارد فنی طراحی و اجرایی دیوارهای حایل به‌طور کامل در فصل ۱۱ ارائه گردیده است.

۱۳-۴- اپی‌ها و آرام‌کننده‌های جریان

اپی‌ها (آبشکن یا باله) به‌صورت سامانه‌ای از سازه‌های منفرد که تا مجرای اصلی جلو می‌آیند و معمولاً با جریان تقاطع دارند، تعریف می‌شوند و اگر فقط تا مسافت کوتاهی تا مجرای اصلی جلو آمده باشند و ایجاد یک نقطه محکم در سواحل رودخانه نمایند، اصطلاحاً به آنها نقطه سفت^۱ می‌گویند.

آرام‌کننده‌های جریان به‌صورت یک سازه پیوسته و تقریباً موازی جریان رودخانه می‌باشند و همچنین می‌توانند به‌صورت یک سازه منفرد یا چند سازه نزدیک یا موازی هم بوده که در این حالت ممکن است فضای بین آنها با مصالح مختلف پر گردد. اصطلاح‌های دیگری که بعضی اوقات برای این سازه‌ها به‌کار می‌روند، عبارتند از دایک‌های طولی، دایک‌های موازی، اسکله‌ها، دیوارهای هادی و دیوارهای ساماندهی.

اپی‌ها و آرام‌کننده‌ها، راستای جریان را به نحوی تغییر می‌دهند که نیروهای هیدرولیکی در کناره مجرا تا حدی که دیگر فرساینده نباشند کاهش یابند. این‌گونه سازه‌ها برای انحراف و کنترل جریان رودخانه از نقاط بحرانی، جلوگیری و کنترل آبشستگی ساحل و در نهایت تثبیت و حفاظت سواحل رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهت اجرای این سازه‌ها نیازی به آماده‌سازی نبوده و یا نیاز کمی به آماده‌سازی می‌باشد. این مساله هزینه‌های اجرایی و ملاحظه‌های زیست‌محیطی مربوط به رودخانه را کاهش می‌دهد و در طراحی بسیاری از آنها می‌توان از مصالح قابل دسترس محلی استفاده کرد.

پس از احداث دایک‌ها و آرام‌کننده‌ها، ظرفیت جریان رودخانه کاهش یافته و با تشدید رسوب‌گذاری در پنجه کناره، پایداری ژئوتکنیکی کناره را افزایش می‌دهند. در بعضی موارد رودخانه با ایجاد یک مقطع عرضی عمیق‌تر و باریک‌تر جریان را تعدیل می‌کند به نحوی که حتی ممکن است ظرفیت جریان افزایش یابد. در صورت استفاده از اپی‌ها و آرام‌کننده‌ها در پروژه‌های مربوط به انتقال سیلاب رودخانه باید این مساله مد نظر قرار گیرد.

این نوع سازه‌ها بیش‌تر برای رودخانه‌های کم عمق و عریض مورد استفاده قرار می‌گیرند. کم عمق بودن، ارتفاع سازه موردنیاز را کاهش می‌دهد و یک مجرای عریض، فضای لازم را برای تعدیل مسیر و هندسه رودخانه فراهم می‌نماید. همچنین می‌توان از آنها برای تثبیت مسیر مجرا در بالادست و پایین‌دست پوشش‌های محافظ، در محل پیچ‌ها استفاده نمود.

هنگام استفاده از اپی‌ها و آرام‌کننده‌ها، حفاظت پنجه و جلوگیری از آبشستگی موضعی باید مد نظر قرار گیرد. استفاده از مصالح حفاظتی دائمی (در برابر آبشستگی) مانند سنگ، به‌صورت ترکیبی با اپی‌ها و آرام‌کننده‌هایی که با مصالح کم دوام‌تر احداث شده‌اند توصیه می‌گردد.

۱۳-۴-۱- اپی‌ها

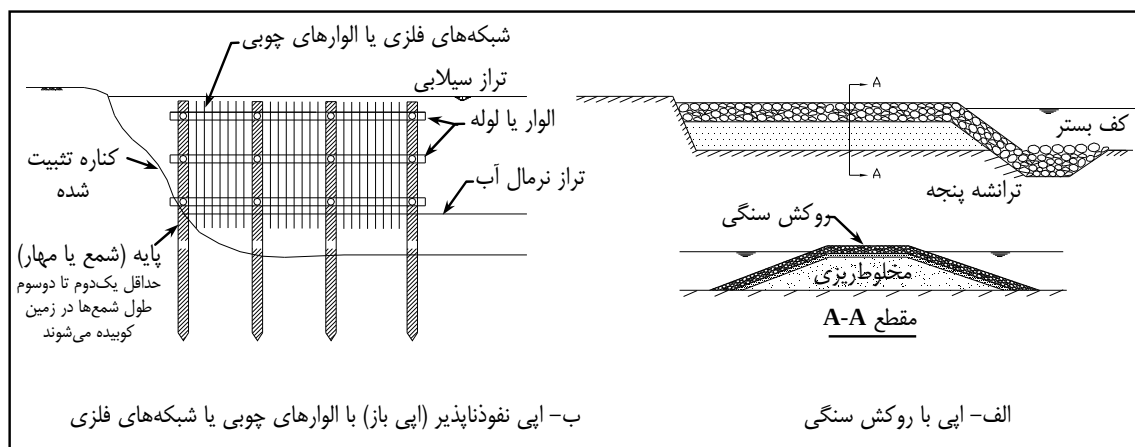
اپی‌ها با توجه به نوع مصالح به کار گرفته شده جهت احداث، به دو صورت نفوذپذیر و نفوذناپذیر طراحی می‌گردند. از اپی‌های نفوذپذیر بیش‌تر برای رودخانه‌هایی که دارای غلظت نسبتاً بالای رسوب‌های معلق هستند استفاده می‌شود. البته دوام آنها نسبت به اپی‌های ساخته شده از سنگ و یا مصالح نفوذناپذیر دیگر، کم‌تر می‌باشد و زیبایی کم‌تری هم دارند، که می‌توان با پوشش گیاهی این عیب را پوشاند.

اپی‌های نفوذناپذیر را می‌توان با مصالح سنگی، تورسنگی (گابیون)، بتنی، خاکی و یا سایر مصالح (و ایجاد لایه محافظتی بر روی آن)، کیسه‌ها یا لاستیک‌های ماشین (که با ماسه یا ملات پر شده باشند)، دیوارها و شمع‌های فولادی یا چوبی و یا شمع کوبی بتنی احداث نمود. از بین مصالح فوق، سنگ و تورسنگ (گابیون) متداول‌ترین مصالح مورد استفاده می‌باشند. البته بعضی از مصالح فوق کاملاً نفوذناپذیر نیستند اما نفوذپذیری اپی‌های ساخته شده از آنها به قدری کم است که مقدار جریان عبورکننده از سازه، قابل صرف‌نظر کردن است.

همچنین می‌توان براساس عملکرد اپی‌ها، آنها را به دو نوع اپی‌های بسته (سنگی، تورسنگی، بتنی و ...) و اپی‌های باز (شمع فلزی) طبقه‌بندی نمود. در اپی‌های بسته برخلاف اپی‌های باز، آب از میان بدنه اپی عبور نمی‌کند و رسوب‌گذاری بین دو اپی متوالی، سریع‌تر از نوع شمع فلزی (باز) صورت می‌گیرد. در اپی شمع فلزی به دلیل عبور جریان آب از داخل بدنه اپی، در محل پیشانی آنها جریان گردابی نسبتاً کاهش یافته و آبشستگی کم‌تری در این محل رخ می‌دهد. نمونه‌هایی از انواع اپی‌ها در شکل (۱۳-۲) نشان داده شده است.

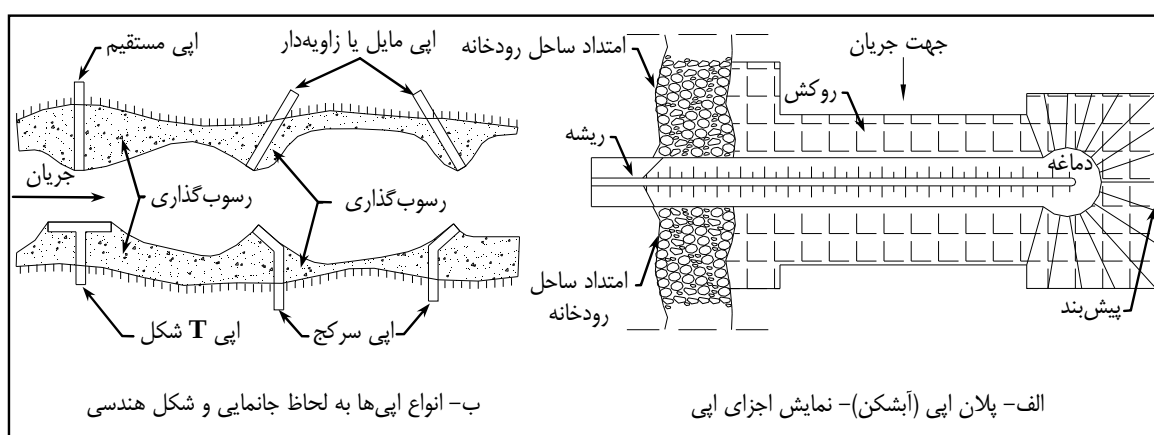
۱۳-۴-۱-۱- ملاحظه‌های کلی طراحی و اجرایی

از اپی‌ها معمولاً در بازه‌های مستقیم رودخانه و پیچ‌های دارای شعاع انحنای زیاد استفاده می‌شود، زیرا وقتی شعاع انحنای پیچ کاهش می‌یابد باید فاصله بین اپی‌های متوالی کاهش یابد. در این صورت با توجه به افزایش تعداد اپی‌ها و بالا رفتن هزینه، استفاده از آرام‌کننده‌ها و یا (در صورتی که لازم نباشد مسیر رودخانه را تغییر دهیم)، روش پوشش حفاظتی سواحل مقرون به صرفه‌تر است.



شکل ۱۳-۲- نمونه‌هایی از انواع اپی‌ها

به منظور طراحی ایی باید عامل‌های نفوذپذیری، طول و ارتفاع ایی، فاصله بین ایی‌ها، زاویه ایی نسبت به جریان، ارتفاع کناره و حفاظت، جهت جلوگیری از آبستنگی، مشخص و مد نظر قرار گیرد. نفوذپذیری به صورت درصد (نسبت مساحت درزها و سوراخ‌ها در ایی به کل سطح طراحی ایی) مشخص می‌شود. توصیه می‌شود در محل‌هایی مانند سر پیچ‌های تند (که لازم است سرعت جریان در نزدیکی کناره به مقدار زیادی کاهش یابد)، نفوذپذیری از ۳۵ درصد بیش‌تر نشود. در جاهایی مثل پیچ‌های ملایم و با مصالح دارای فرسایش‌پذیری کم (که میزان کاهش سرعت، متوسط است)، می‌توان از نفوذپذیری تا ۵۰ درصد استفاده نمود. همچنین با کاهش اندازه (ابعاد) و مقدار رسوب معلق حمل شده توسط جریان رودخانه، نفوذپذیری باید کاهش یابد؛ یعنی اگر مقدار زیادی از رسوب‌ها به صورت معلق حمل می‌شود یا بیش‌تر رسوب‌های حمل شده ریزدانه هستند، سازه‌های با نفوذپذیری کم‌تری مورد نیاز است. نمونه‌هایی از جانمایی و شکل هندسی ایی‌ها در شکل (۱۳-۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۳- نمونه‌هایی از جانمایی و شکل هندسی ایی‌ها

طول سازه‌ای ایی منفرد با توجه به مسیر مورد نظر مجرای اصلی رودخانه (در صورت تغییر در مسیر مجرا) تعیین می‌گردد. طول بهینه ایی تا حدود زیادی تابعی از نفوذپذیری ایی می‌باشد. جدول (۱۳-۱)، یک راهنمای کلی بدین منظور می‌باشد.

در ایی‌های متوالی، فاصله‌گذاری و طول ایی‌ها به هم مرتبط می‌باشد و با توجه به خصوصیات محل و شرایط طراحی و ملاحظه‌های فنی و اقتصادی باید مشخص شود که کدام یک از دو حالت، طول ایی‌های کوتاه‌تر و فاصله‌گذاری کم‌تر بین ایی‌های متوالی و یا طول ایی‌های بلندتر و فاصله‌گذاری بیش‌تر بین ایی‌های متوالی، مناسب‌تر می‌باشد. به عنوان یک معیار کلی، ایی‌های با طول کوتاه و فاصله‌گذاری کم‌تر تأثیر کم‌تری بر ساحل مقابل دارند. همچنین ایی‌های بلندتر با فاصله‌های بیش‌تر احتمال خطرپذیری بالاتری برای ایی داشته، ولی در شرایط یکسان نیاز به تعداد ایی‌های کم‌تری می‌باشد. در هر صورت هزینه تمام شده ایی‌های کوتاه نسبت به ایی‌های بلند بیش‌تر می‌باشد. فاصله‌گذاری‌های بین ایی‌های متوالی همان‌طور که تابعی از طول، زاویه و نفوذپذیری ایی‌ها است، تابعی از انحنا رودخانه نیز می‌باشد. در مورد ایی‌های نفوذناپذیر توصیه می‌گردد:

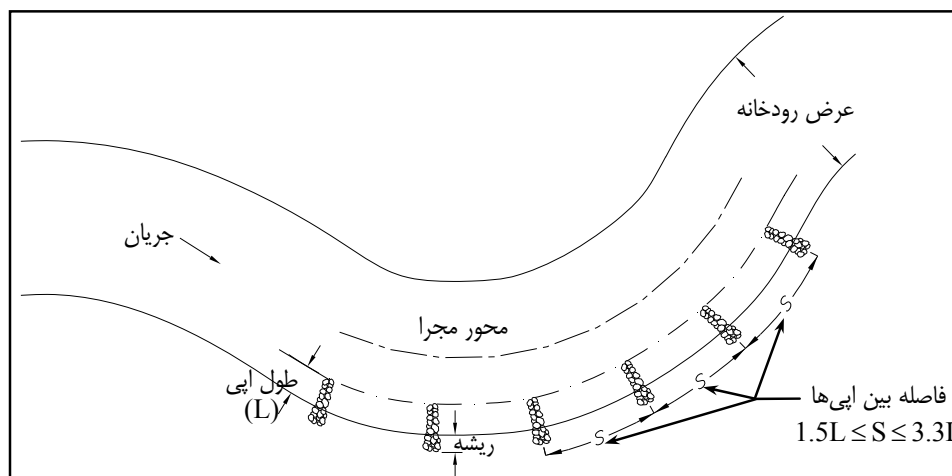
- در محل پیچ‌های رودخانه، فاصله بین ایی‌ها به‌طور متوسط بین ۲ تا ۳ برابر طول ایی باشد.
- از ایی‌های نفوذناپذیر خیلی کوتاه^۱ در یک بازه مستقیم از فواصل ۳ برابر طول ایی استفاده شود.

جدول ۱۳-۱- راهنمای کلی طول بهینه اپی

طول تصویر اپی در راستای عمود بر جهت جریان اصلی (درصد نسبت به عرض مجرا) ^۱	نفوذپذیری ^۲ (درصد)
۱۵ درصد یا کمتر	۰-۳۵
۲۵ درصد یا کمتر	۸۰

براساس تجربیات و آزمایش‌های انجام شده، در صورتی که از اپی‌ها به منظور حفاظت از سواحل رودخانه استفاده به عمل آید، طول حفاظت شده توسط هر اپی حداقل ۳ تا ۴ برابر طول اپی عمود بر جریان می‌باشد. همچنین توصیه می‌شود فاصله اپی‌ها برای حفاظت سواحل، بین ۲ تا ۶ برابر تصویر طول اپی در بالادست (فاصله عمودی سر اپی تا ساحل رودخانه) انتخاب گردد.

برای اپی‌های نفوذناپذیر معمولاً اپی بالادست با یک زاویه حدود ۱۵۰ درجه احداث شده و در اپی‌های بعدی این زاویه کاهش یافته تا در نهایت به یک زاویه حداقل ۹۰ درجه برای اپی پایین دست برسد. اپی‌های نفوذپذیر بعضی مواقع به سمت پایین دست زاویه دارند. برخلاف آنچه به نظر می‌رسد، اپی‌هایی که به طرف پایین دست زاویه دارند، ممکن است نسبت به هنگامی که عمود بر کناره یا زاویه دار به سمت بالادست جریان هستند، بیش تر باعث ایجاد خف‌های آبستگي شوند. زیرا جریان‌های سرریزکننده باعث ایجاد یک گرداب فرساینده یا جریان انحرافی، درست نزدیک سازه یا موازی آن خواهند شد که برای پایداری کناره، زیان‌آور است. در زمان طراحی زاویه اپی نسبت به جهت جریان باید مانند فاصله‌گذاری اپی‌ها، هرگونه تغییر مسیر جریان به علت تغییر موقعیت و مسیر مجرای اصلی نسبت به کناره در بالادست را در نظر بگیریم. در شکل (۱۳-۴)، پارامترهای طول و فاصله بین اپی‌ها ارائه شده است.



شکل ۱۳-۴- پارامترهای طول و فاصله بین اپی‌ها

ارتفاع اپی‌ها اغلب به ارتفاع کناره و در نتیجه به سطح آب رودخانه بستگی دارد. در هر صورت هرگونه رابطه طراحی بین ارتفاع اپی با ارتفاع ساحل، بیش تر مفهومی است و جنبه تجربی دارد که در ادامه ارائه می‌گردد.

- ارتفاع اپی نباید از ارتفاع بالای کناره رودخانه بیش تر و از ۰/۹ متر پایین تر از تراز سطح آب طراحی، کم تر باشد.

۱- عرض مجرا معادل عرض مجرا در بده مقطع پر تعریف می‌گردد.

۲- برای نفوذپذیری‌های بین ۳۵ تا ۸۰ درصد می‌توان میان‌یابی خطی بین ۱۵ تا ۲۵ درصد نمود.

– اپی‌های غیرقابل نفوذ در سخت‌ترین شرایط قابل انتظار جریان، باید حدود ۰/۹ متر زیر سطح آب قرار گیرند، زیرا به نظر می‌رسد آبستتگی موضعی مربوط به اپی‌های مستغرق در مقایسه با اپی‌های غیرمستغرق کم‌تر است و در فاصله دورتری نسبت به کناره اتفاق می‌افتد.

– ارتفاع تاج اپی‌های نفوذپذیر باید کم‌تر از تراز سطح آب جریانی که مقدار زیادی بار واریزه‌ای حمل می‌کند باشد.

– در عمل، جنبه‌های اقتصادی ساخت اپی اغلب باعث می‌شود که رقوم بالای اپی‌ها به مقدار قابل ملاحظه‌ای از رقوم قسمت بالای کناره کم‌تر باشد. با افزایش ارتفاع اپی‌ها، هزینه احداث آنها به سرعت افزایش می‌یابد. براساس تجربه توصیه می‌شود ارتفاع اپی‌ها بین یک سوم تا دوسوم ارتفاع کناره باشد. در مورد رودخانه‌های شریانی نیز ارتفاع اپی بین یک سوم تا دوسوم فاصله بین پایین‌ترین سطح آب و ارتفاع سطح آب مربوط به دوره بازگشت یک تا ۲ ساله خواهد بود. می‌توان ارتفاع اپی را به صورت شیب‌دار از بالای کناره تا رودخانه کاهش داد که در این صورت با افزایش جریان، قسمت سمت رودخانه مستغرق شده و فشار کم‌تری ایجاد می‌شود (این مساله مخصوصاً برای اپی‌های نفوذناپذیر مهم است).

طراحی یک اپی باید به نحوی انجام شود که به علت فرسایش جانبی، از کناره رودخانه جدا نشود. برای جلوگیری از فرسایش می‌توان شیاری در ساحل حفر کرده و اپی تا درون شیار ادامه یابد (ریشه اپی). همچنین کناره پایین‌دست با پوشش سنگی حفاظت گردد (در یک طراحی محتاطانه می‌توان تا طول کمی به سمت بالادست با پوشش سنگی حفاظت کرد). طول ریشه اپی در کناره، حداقل به اندازه ارتفاع کناره می‌باشد. به طور کلی طول ریشه به عمق رودخانه یا ارتفاع کناره، سرعت جریان و طول اپی بستگی دارد. خاکریزی بر روی ریشه اپی، زهکشی سطحی و دور کردن آب از قسمت خاکریزی شده و ایجاد پوشش گیاهی، از فرسایش جلوگیری می‌نماید و زیبایی پروژه را بهبود خواهد بخشید.

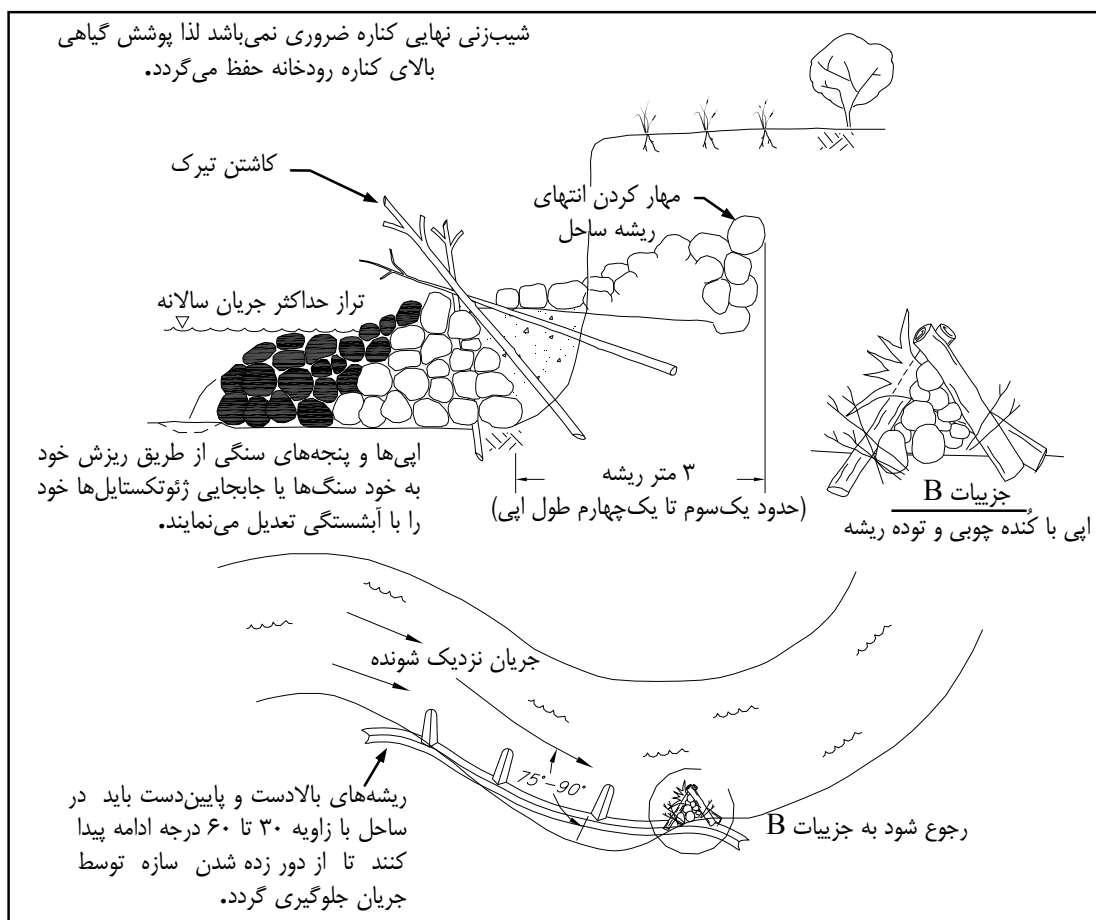
یک روش ساده، ریختن مصالح حاصل از خاک‌برداری با سرعت و اجازه دادن به نشست بعدی مصالح به صورت طبیعی می‌باشد. روش پیچیده‌تر عبارت است از پرکردن تمام حفره‌ها در ریشه سنگی با جاری ساختن و قراردادن ماسه به درون فضاهای خالی و سپس تکمیل خاکریزی با سیلت و رس متراکم و بعد اجرای پوشش گیاهی در قسمت‌های خاکریزی شده می‌باشد.

در صورت نیاز به استفاده از پوشش حفاظتی در پایین‌دست اپی، توصیه می‌شود طول آن حدود سه برابر ارتفاع کناره باشد. در بالادست، استفاده از پوشش حفاظتی سنگی اختیاری است و در هر صورت لزومی ندارد که طول سنگ‌چینی از ارتفاع کناره بیش‌تر باشد. به عنوان یک معیار کلی، اندازه و ضخامت سنگ در این پوشش‌ها باید بزرگ‌تر از مقادیر طراحی شده برای سنگ‌های روکش‌های حفاظتی در نقاط دور از اپی و حدوداً ۱/۵ تا دو برابر آنها باشد.

سنگ، یکی از مصالح مناسب برای استفاده در ریشه اپی می‌باشد، حتی اگر خود اپی از مصالح دیگر ساخته شده باشد. بررسی‌ها نشان داده است یک کف‌بند سنگی یا توری سنگی قابل انعطاف در بستر رودخانه در زیر و نزدیک به اپی، عمق آبستتگی در تاج اپی را کاهش نمی‌دهد ولی با دور کردن آبستتگی از آن، پایداری سازه را افزایش می‌دهد.

اپی‌های مرکب (سرکچ) سبب ایجاد رسوب بیش‌تری بین اپی‌ها و آبستتگی کم‌تری در انتهای آنها می‌گردند. در اپی‌های شمع فلزی، چون عمل رسوب‌گذاری در مقابل ساحل قدیم به‌کندی صورت می‌گیرد، فرسایش در ساحل مقابل نیز از سرعت کم‌تری برخوردار بوده و در نتیجه زمان لازم برای اتخاذ تصمیم‌های ضروری وجود خواهد داشت. زمان اجرای اپی تورسنگی یا سنگی، غالباً در فصل کم‌آبی انتخاب می‌شود در حالی که کوبیدن شمع‌های فلزی در بیش‌تر فصول (کم‌آبی و پرآبی) قابل اجرا می‌باشد.

جهت حفاظت سواحل، از اپی به همراه حفاظت سنگی طولی پنجه نیز استفاده می‌گردد. در شکل (۵-۱۳) نمونه‌ای از این نوع حفاظت ترکیبی نشان داده شده است. ملاحظه‌های فنی و اجرایی حفاظت سنگی طولی پنجه، در فصل هشتم (پوشش‌ها و روکش‌های حفاظتی) ارائه گردیده است.



شکل ۵-۱۳- حفاظت سواحل با استفاده از اپی به همراه حفاظت سنگی طولی پنجه

الف- موارد خاص مربوط به اپی‌های نفوذپذیر

علاوه بر ملاحظه‌های کلی که در سطرهای قبلی ارائه گردید، موارد زیر نیز باید مد نظر قرار گیرد.

- نوعی از اپی‌های نفوذپذیر به نام «پرچین» وجود دارد که از قطعه‌های تورهای مصنوعی وصل شده به مهارهایی که به ساحل و بستر کوبیده شده‌اند، تشکیل گردیده است. درختان و بوته‌های مهار شده، یک مجموعه مصالح و قطعه یک تکه را جهت حفاظت کناره ایجاد می‌نمایند. نقطه ضعف این روش کم دوامی و در بعضی مناطق دسترسی کم به مصالح می‌باشد. در طراحی و احداث اپی‌های نفوذپذیر از نوع پرچینی، بارهای جانبی (نیروهای کششی جریان، ضربه و ...)، فاصله‌گذاری، اندازه و عمق نفوذ شمع‌ها، اندازه اجزای سازه (تخته‌ها، پرچین‌ها، کابل‌ها و مهارها) و مهارهای تکمیلی از عوامل موثر می‌باشند.

- در اپی‌های ساخته شده با شمع در رودخانه‌های عمیق شمع‌ها با فاصله کم کوبیده می‌شوند و از مصالح جداگانه‌ای برای نما استفاده نمی‌شود. متداول‌ترین نماها تخته‌های چوبی و انواع مختلف حصارهای سیمی می‌باشند. هنگام استفاده از روش شمع کوبی، تا زمانی که اپی به خاطر از دست دادن عمق نفوذ شمع دچار فرسایش شود، نسبت نفوذپذیری اصلی را (حتی در صورتی که بستر زیر اپی دچار آبستنگی شود)، حفظ می‌کند. با شمع کوبی ساختن یک اپی نفوذپذیر حتی در آب نسبتاً عمیق امکان‌پذیر می‌باشد.
- با اضافه شدن ارتفاع اپی، میزان آسیب‌پذیری در برابر فرسایش ناشی از بارهای جانبی افزایش می‌یابد زیرا بازوی گشتاور بزرگ‌تر شده و احتمال دارد با افزایش سطح آب رودخانه، سرعت برخورد نیز بیش‌تر شود. در این صورت افزایش ابعاد اعضای سازه‌ای و نیز عمق شمع کوبی برای طرح‌هایی که از شمع کوبی استفاده می‌نمایند، ضرورت پیدا کرده و این عوامل باعث می‌شوند هزینه ساخت نیز بیش‌تر شود. با توجه به تجربیات کارهای گذشته در زمینه استفاده از شمع‌ها و ستون‌ها، توصیه می‌گردد حداقل یک‌دوم تا دوسوم طول شمع‌ها و ستون‌ها در زمین کوبیده شوند. عوامل تاثیرگذار بر عمق کوبیدن شمع‌ها و ستون‌ها، مصالح بستر و زیربستر و میزان آسیب‌پذیری در برابر آبستنگی و بارهای جانبی می‌باشد.
- همچنین توصیه می‌گردد درختان بزرگی را که ممکن است بعداً دچار زیرکنی شده و بر روی اپی‌ها بیفتند، قبل از احداث اپی برچیده شوند و اگر احتمال زیرکنی درختان وجود ندارد باید تا حد امکان پوشش گیاهی موجود، حفظ گردد.

ب- موارد خاص مربوط به اپی‌های نفوذناپذیر

- علاوه بر ملاحظه‌های کلی که در بالا ارائه گردید، موارد زیر نیز باید مد نظر قرار گیرد:
- بیش‌ترین ابعاد سنگ مورد نیاز برای ساختن اپی‌ها، بزرگ‌تر از سنگ‌های مورد نیاز برای ایجاد لایه حفاظتی سنگ‌چین برای همان رودخانه می‌باشد زیرا آشفته‌گی و جریان موضعی نزدیک اپی، نیروهای هیدرولیکی بزرگ‌تری ایجاد می‌کند. حداکثر وزن سنگ مورد استفاده در محدوده ۹۰ تا ۲۲۷۰ کیلوگرم می‌باشد که برای اپی مورد نظر، به عمق آب و سرعت جریان بستگی دارد. البته دانه‌بندی سنگ در کم‌تر از اندازه حداکثر تا مقدار زیادی به مسایل اقتصادی و حمل سنگ‌ها بستگی دارد. زمانی دانه‌بندی سنگ مطلوب است که درصد سنگ‌های خردشده و دورریز کم باشد.
 - عرض تاج اپی‌های سنگی به مقدار آبستنگی قابل پیش‌بینی در نزدیکی سازه و ارتفاع سازه بستگی دارد (در ملاحظه‌های کلی قبلاً مورد بحث قرار گرفته است). براساس تجربه، عرض تاج حداقل حدود ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد. در صورتی که بیش‌ترین اندازه سنگ مورد استفاده از ۶۰ سانتی‌متر بزرگ‌تر باشد و یا احتمال آبستنگی قابل توجهی در نزدیکی سازه داشته باشیم و نیز ارتفاع اپی آن‌قدر کم باشد که مقدار سنگ در دسترس (جهت ریزش کردن به سمت شیب پایین‌دست)، برای تامین ارتفاع موثر جهت اپی ناکافی باشد، باید عرض تاج را بیش‌تر از ۶۰ سانتی‌متر در نظر بگیریم.
 - معمولاً از اپی‌هایی که دارای هسته‌ای از خاک یا سایر مصالح و یک پوشش حفاظتی در لایه رویی می‌باشند استفاده نمی‌گردد. زیرا این نوع سازه‌ها در مقایسه با سازه‌های ساخته شده از مصالح سخت، ضریب اطمینان پایینی در مقابل

آبشستگی و یا سایر شرایط هیدرولیکی دارند. در صورت استفاده از اپی‌های با هسته خاکی نیاز به فیلتر بین مصالح هسته و پوشش حفاظتی بوده که هزینه را بالا می‌برد. همچنین ساختن این نوع سازه در زیر آب عملی نیست.

۱۳-۴-۲- آرام‌کننده‌های جریان

استفاده از آرام‌کننده‌های جریان در محل‌هایی انجام می‌شود که باید مسیر مجرای اصلی رودخانه تغییر کند ولی شعاع انحنای پیچ، فرسایش‌پذیری کناره و شرایط هیدرولیکی رودخانه به گونه‌ای سخت و بحرانی است که احداث اپی موثر و اقتصادی نیست. در بعضی مواقع که مسیر مجرای اصلی تغییر نمی‌کند، امکان دارد احداث سازه‌های آرام‌کننده ارزان‌تر و اقتصادی‌تر از ایجاد لایه محافظتی برای ساحل باشد. از آرام‌کننده‌های نفوذپذیر، بیش‌تر برای رودخانه‌هایی که دارای غلظت نسبتاً بالای رسوب‌های معلق هستند استفاده می‌شود و به دلیل در دسترس بودن مصالح مورد نیاز، اغلب اقتصادی‌تر و ارزان‌تر هستند. همچنین آرام‌کننده‌های نفوذپذیر در مقایسه با آرام‌کننده‌های ساخته شده از سنگ و دیگر مصالح نفوذناپذیر، دوام کم‌تری دارند. آنها همچنین مانعی در برابر دسترسی به مجرای اصلی رودخانه می‌باشند.

بیش‌تر جنبه‌های مربوط به مصالح و طراحی سازه‌های آرام‌کننده نفوذپذیر همانند اپی‌های نفوذپذیر می‌باشد که قبلاً مورد بحث قرار گرفت. تقریباً یک آرام‌کننده نفوذناپذیر ساخته شده از سنگ، همانند یک حفاظت پنجه طولی سنگی است.

۱۳-۴-۲-۱- ملاحظه‌های کلی طراحی و اجرایی

ارتفاع یا رقوم یک آرام‌کننده، با در نظر گرفتن عواملی که قبلاً برای اپی‌ها مورد بحث قرار گرفتند تعیین می‌شود. رقوم یک آرام‌کننده در اطراف یک پیچ (تهدید نیروهای فرساینده کناره و فرسایش‌پذیری مصالح) تغییر می‌کند به‌طوری که احتمال دارد بیش‌ترین ارتفاع در راس پیچ وجود داشته و با یک شیب به ارتفاع حداقل، در دو انتهای بالادست و پایین‌دست پیچ رسانیده شود. البته در این حالت باید به این مساله توجه شود که انحنای پیچ در پایین‌دست در جریان‌های زیاد، در معرض نیروهای فرساینده بیش‌تری است و به خاطر رقوم کم آرام‌کننده دارای ریسک بیش‌تری نسبت به انتهای بالادست می‌باشد.

از میل مهارها جهت اتصال آرام‌کننده به کناره استفاده می‌شود. ارتفاع بالای میل مهار معمولاً با ارتفاع آرام‌کننده یکسان است البته در طراحی‌های اقتصادی‌تر و با محافظه‌کاری کم‌تر می‌توان رقوم کم‌تری برای میل مهار در نظر گرفت. راستای قرارگیری میل مهارها بر روی خط عمود بر جریانی که قرار است تغییر مسیر دهد و خط عمود بر خط کناره موجود می‌باشد.

در بعضی اوقات از آرام‌کننده‌های نفوذپذیر دو ردیفی، برای افزایش پایداری سازه‌ای و کاهش بیش‌تر جریان در پشت آرام‌کننده استفاده می‌گردد. در طراحی‌های دو ردیفی، پنجه، حفاظت بهتری می‌شود. گاهی اوقات فضای بین آرام‌کننده‌های دو ردیفی با مصالح پر می‌شوند. استفاده از مصالح محلی مانند علف‌ها یا بوته‌ها، نفوذپذیری کم‌تر و همچنین هزینه کم‌تری دارند ولی مصالح دارای دوام کمی می‌باشند. پر کردن با مصالح سنگی، باعث ایجاد حفاظت پنجه به‌صورت دائمی شده و نفوذپذیری را کاهش می‌دهد و البته هزینه بیش‌تری دربردارد.

۱۳-۵- پره‌های مستغرق

پره‌ها سازه‌های غیرپیوسته بوده که به‌صورت عرضی در سواحل احداث گردیده و باعث انحراف مسیر جریان می‌شوند. این سازه با زاویه به داخل جریان فرو رفته (به سمت بالادست) و با انحراف جریان از کناره‌ها به وسط رودخانه، باعث کاهش فرسایش موضعی سواحل می‌شوند. بدنه پره‌ها در داخل جریان معمولاً با ارتفاع کمی اجرا می‌شوند تا اکثر جریان‌های رودخانه (بده پایه رودخانه و سیلاب‌های طراحی) از روی تاج سازه عبور کنند. همچنین تاج سازه با شیب مناسب از نوک سازه تا تراز مقطع پر رودخانه در ساحل امتداد می‌یابد. این نوع سازه در مقایسه با پوشش‌های حفاظتی، مزایای زیست محیطی بیشتری را فراهم می‌آورند. البته استفاده از پره‌ها باعث افزایش سطح سیل‌گیری به واسطه برگشت آب، افزایش آبستگي موضعی، افزایش طول لبه یا ساحل و تغییرات در عمق آب و سرعت جریان می‌شوند.

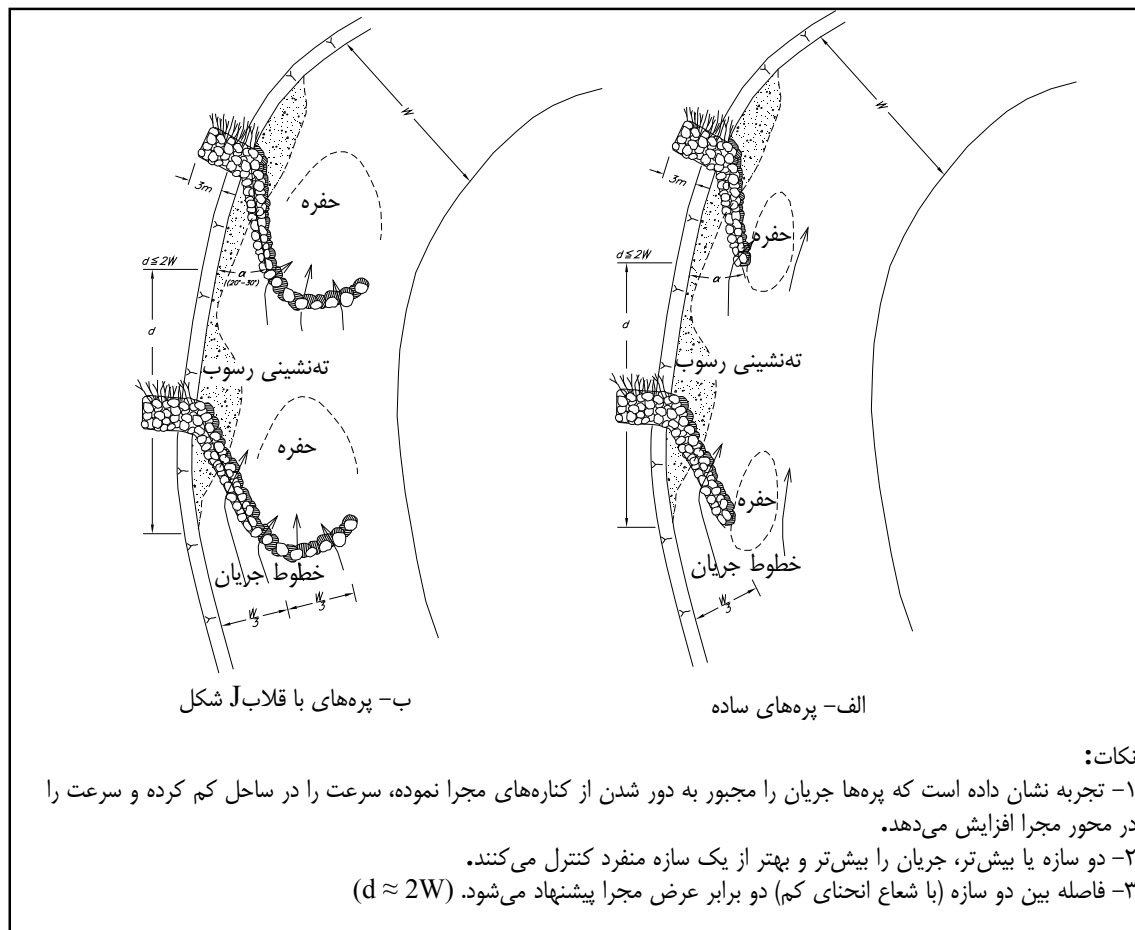
۱۳-۵-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

در صورت جانمایی مناسب، پره، جریان را از کناره رودخانه دور نموده و باعث رسوب‌گذاری در بالادست و پایین‌دست خود می‌شود. انحراف جهت جریان، باعث کاهش سرعت و تنش برشی در کناره رودخانه شده و در عین حال باعث به‌وجود آمدن یک جریان ثانویه می‌شود که انرژی جریان را به سمت داخل رودخانه منتقل می‌نماید.

پره‌های سنگی به میزان یک‌سوم عرض مقطع پر، در جریان فرو رفته و با زاویه‌ای در حدود ۲۰ الی ۳۰ درجه به سمت بالادست جانمایی می‌شوند و خط‌القعر جریان را به‌طور متوسط حدوداً ۲۰ درصد عرض مقطع پر جریان از کناره در حال فرسایش، دور می‌نمایند. پره‌های با قلاب J شکل را می‌توان به‌صورت جفت به‌کار برد تا باعث به‌وجود آمدن پیچانورد و یا انتقال و حرکت آن شود. در شکل (۱۳-۶) نمونه‌ای از جانمایی پره‌های ساده و پره‌های با قلاب J شکل نشان داده شده است.

از موارد کاربرد پره‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- پره‌ها در خم‌های بیرونی رودخانه‌ها، که سرعت و تنش برشی بالا، باعث فرسایش شدید در کناره‌ها می‌شوند، احداث می‌گردند.
- پره‌ها بیش‌تر در محل‌هایی که پوشش سنگ‌چین قابل استفاده بوده ولی ملاحظه‌های زیست محیطی بیش‌تری مد نظر می‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- پره‌ها را می‌توان هم‌زمان با سنگ‌ریزه‌های طولی پاشنه، پوشش سنگ‌چین و یا پوشش‌های گیاهی به‌کار برد.
- کارایی پره‌ها در رودخانه‌های با عرض مقطع ۹ تا ۱۵۰ متر و با شیب ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۵ بیش‌تر است.
- توصیه می‌شود این سازه‌ها در رودخانه‌های با نسبت عرض به عمق حداقل ۱۲ به‌کار روند.
- پره‌ها را می‌توان در جاهایی که حفظ هر چه بیش‌تر پوشش گیاهی کناره ضرورت دارد و یا وقتی وجود زیستگاه‌های آبی و قشرهای لایه‌ای بستر اهمیت فراوان دارند به‌کار برد.



شکل ۱۳-۶- جانمایی پره‌های ساده و پره‌های با قلاب J شکل

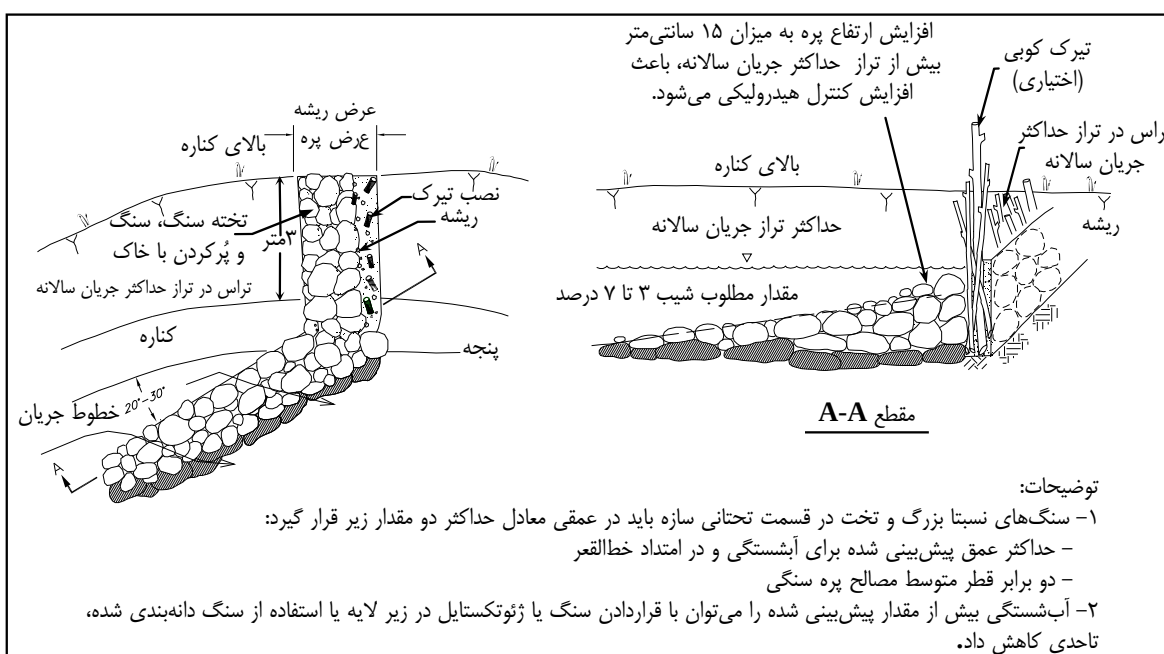
عوامل طراحی پره‌ها، شامل طول، زاویه، تراز تاج، شیب، ابعاد سنگ، جای‌گذاری مناسب سنگ‌های زیرین و فاصله بین پره‌ها در صورت اجرای پره‌های متوالی می‌باشد. اولین و اصلی‌ترین معیار هیدرولیکی در طراحی پره‌ها، تراز سطح آب در بده مقطع پر باشد. پره‌های عرضی، مستقل از بده‌های سیلابی بالا و عمق آزاد بوده و تثبیت پوشش گیاهی کناره از تراز بده مقطع پر تا بالای کناره، رایج‌ترین حفاظت کناره می‌باشد.

طول پره، حداکثر بین یک‌چهارم تا یک‌سوم عرض بده مقطع پر رودخانه در نظر گرفته می‌شود. این مقدار حداکثر، برای رودخانه‌های کوچک صادق است و هرچه رودخانه بزرگ‌تر باشد، طول پره در مقایسه با عرض رودخانه کوتاه‌تر در نظر گرفته می‌شود. عملکرد بهینه پره هنگامی حاصل می‌آید که پره با زاویه بین ۲۰ تا ۳۰ درجه نسبت به کناره تحت حفاظت، به سمت بالادست احداث شده باشد. استفاده از زاویه ۲۰ درجه باعث طولانی‌تر شدن طول پره شده ولی در عوض طول بیش‌تری از کناره را حفظ می‌کند. هنگام جانمایی پره به منظور حفاظت از کناره‌های پل‌ها و هدایت جریان به وسط و کاهش آبشستگی موضعی در پای کوله‌های پل، یک زاویه ۳۰ درجه در مقایسه با زاویه ۲۰ درجه، عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

تراز پره در انتهای متصل به کناره تحت حفاظت باید هم‌تراز با سطح آب در حالت بده مقطع پر یا تراز پرآبی سالانه باشد. ریشه پیش‌بینی شده در کناره نیز در همین تراز اجرا می‌شود. پره‌ها باید ریشه‌ای به طول حداقل ۳ متر در کناره داشته باشند. در صورتی که

پایداری بیش‌تر و کنترل بهتر فرسایش در قسمت ریشه را می‌توان با پوشش گیاهی یا جای‌گذاری الوار بید و تشکیل لجن در محل مهیا نمود.

شیب تاج از طرف کناره تا نوک سازه به صورت شیب دار و با شیب ۳ تا ۷ درصد اجرا می شود. پره های با شیب بیش تر مانند اپی ها عمل نموده و اثرهای متفاوتی بر آبشستگی موضعی و سرعت جریان دارند. در شکل (۱۳-۷)، نحوه استفاده از پره های مستغرق نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۷- نحوه استفاده از پره‌های مستغرق

در صورت امکان پره‌ها باید با مصالح سنگی دانه‌بندی شده (با قابلیت خودریزشی) ساخته شوند. چنین ساختار مصالحی، پاشنه سازه را در هرگونه حفره ناشی از آبستستگی، پایدار نگه می‌دارد. در جاهایی که آبستستگی بیش‌تر و بزرگ‌تری پیش‌بینی می‌شود، می‌توان سنگ بیش‌تری را به‌منظور تعریض تاج سازه به‌کار برد. پره‌های ساخته شده بر روی مصالح فاقد شن، بر اثر شسته شدن ذره‌های ماسه از زیر سنگ‌های سازه نشست می‌نمایند. بدین منظور یک لایه فیلتر در زیر سازه پیش‌بینی می‌شود. در سازه‌هایی که بدون لایه فیلتر بر روی مصالح شنی و ماسه‌ای ساخته می‌شوند، مقداری سنگ خودریزشی اضافی در طراحی پیش‌بینی می‌شود. این مقدار سنگ اضافه از طریق تعریض و کاهش تراز تاج سازه و افزایش مقطع تماس سازه با مصالح بستر (۲ تا ۴ متر) فراهم می‌آید.

پره‌های طراحی شده با عرض زیاد و تراز کم تاج و با مصالح دانه‌بندی ضعیف، پتانسیل آبستستگی در رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای را کاهش می‌دهند. در رودخانه‌های با لایه‌های عمیق ماسه در بستر، اجرای پره‌ها با مصالح سنگی با دانه‌بندی خوب (شامل

مصالح ریزتر که باعث جلوگیری از حرکت ماسه از فضای بین مصالح بزرگتر شده)، آبخستگی نامناسب به دست آمده را دفع کرده یا کاهش می‌دهد.

ابعاد سنگ‌های مورد استفاده بستگی به شرایط رودخانه و میزان سرعت و تنش‌های برشی دارد. سنگ‌های زیرین پنجه باید نسبت به متوسط سنگ‌های به کار رفته در بدنه سازه اصلی، سنگین‌تر، درازتر و پهن‌تر باشند. در رودخانه‌های ماسه‌ای، یک لایه اضافی از سنگ‌های زیرین پنجه^۱ ممکن است به عنوان جبران آبخستگی اضافی ضروری باشد. حتی در رودخانه‌های کوچک با مصالح ماسه‌ای، عمق آبخستگی معادل حدود ۲ متر در نزدیکی پره‌ها، غیرمحمول نمی‌باشد.

توصیه می‌شود فاصله بین دو پره متوالی، معادل دو برابر عرض رودخانه در نظر گرفته شود. هنگام کاربرد پره‌ها در قوس خارجی رودخانه توصیه می‌شود اولین پره بالادست در محلی که جریان رودخانه در حال تخریب کناره می‌باشد، احداث شود و پره بعدی در محل برخورد جریان منحرف شده توسط پره اول به کناره، احداث گردد. در این روش تعیین فاصله طراحی باید براساس زاویه جریان، عمق و جهت جریان صورت پذیرد. به عنوان یک قاعده کلی در رودخانه‌های کوچک تا متوسط با عرض کم‌تر از ۲۰ متر، پره‌ها به فواصل تقریباً دو برابر عرض رودخانه بوده و یک سوم عرض را دربر می‌گیرند.

در صورت کاربرد پره‌ها در وسط بستر رودخانه فرم آبراه حوضچه تشکیل گردیده و نیز افزایش رسوب‌گذاری در بالادست پدید می‌آید که از مهم‌ترین مزایای زیست محیطی استفاده از پره‌ها می‌باشند.

پره‌ها را می‌توان از بالای کناره‌ها و بدون نیاز به اصلاح شیب ساحل اجرا نمود. اگر پره‌ها به نحو مناسبی در کناره‌ها قفل نشده باشند، احتمال تخریب آنها وجود دارد. زاویه و تراز تاج نامناسب پره‌ها نیز باعث انحراف جریان به مسیری ناخواسته شده و فرسایش در پایین دست سازه آغاز یا تشدید می‌شود.

در صورت نیاز به سنگ‌های زیرین پنجه، حفر ترانشه جهت اجرای پنجه ضروری می‌باشد. عمق ترانشه برحسب نوع مصالح بستر متفاوت می‌باشد. در یک رودخانه با بستر شن و قلوه سنگی، عمق، معادل دو برابر متوسط قطر سنگ‌های بدنه پره برای ترانشه توصیه می‌شود. سنگ‌های پنجه باید با فاصله برابر یک سوم قطر خود جای‌گذاری شوند تا بتوانند در صورت ریزش سنگ‌های سازه اصلی، قفل شده و پایداری خود را حفظ نمایند. در بسترهای ماسه‌ای، عمق ترانشه باید حدود چهار برابر متوسط قطر سنگ‌های بدنه اصلی سازه بوده و سنگ‌های پنجه بدون فاصله از هم قرار گیرند. تعبیه یک لایه فیلتر زیر سنگ‌های پنجه در بسترهای ماسه‌ای توصیه می‌گردد.

یک پره طولی حدوداً معادل دو برابر طول خود، از کناره رودخانه محافظت می‌کند و تحت شرایط مناسب، هزینه پره‌های سنگی در مقایسه با پوشش سنگ‌چین (برای طولی که پوشش سنگ‌چین حفاظت می‌کند)، نصف می‌باشد.

پره‌ها عموماً با سنگ‌های دانه‌بندی شده ساخته می‌شوند. از مصالح چوبی به صورت الوار و یا ترکیبی از الوار و مصالح سنگی جهت ساخت پره‌ها نیز استفاده می‌شود. یک دستگاه حفاری (خاک‌برداری) معمولاً برای حفر مسیر ریشه و جای‌گذاری مصالح سنگی مورد نیاز می‌باشد. اخیراً پره‌هایی با پارچه‌های ژئوتکستایل (گونی) که با مصالح ماسه‌ای پر شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند که به آنها پره‌های ژئوبرم می‌گویند.

۱۳-۶- تاسیسات انحراف و آبیگری از رودخانه

تاسیسات آبیگری از رودخانه معمولاً با سدهای انحرافی و یا در صورت وجود شرایط مناسب بدون نیاز به سد انحرافی احداث می‌گردند. شرایط رودخانه‌ها از نظر ابعاد و بده عبوری، نسبت بده انحراف به بده رودخانه‌ها و تغییرات عمق آب در شرایط حداقل و حداکثر آبدهی از عوامل موثر در انتخاب سامانه آبیگری می‌باشد.

در رودخانه‌های با شیب ملایم در شرایطی که نسبت بده انحرافی به حداقل بده رودخانه، کمتر از ۲۵ درصد و حداقل عمق جریان در مجاورت دهانه آبیگر حدود ۱/۵ متر باشد، می‌توان بدون استفاده از سد انحرافی از رودخانه آبیگری نمود که بیش‌تر در رودخانه‌های بزرگ و پرآب امکان‌پذیر است.

۱۳-۶-۱- سد انحرافی

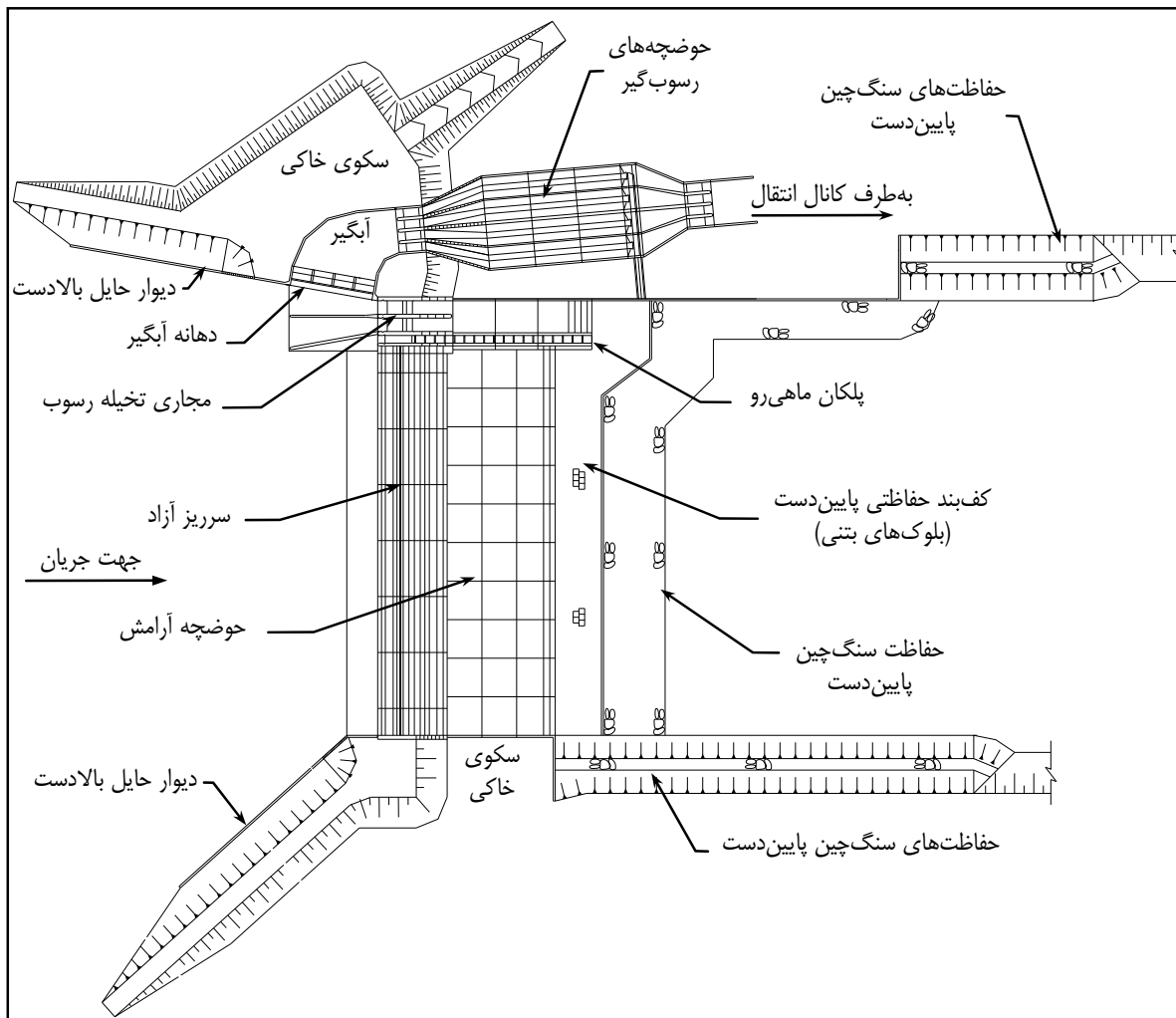
سد انحرافی به‌منظور بالابردن سطح آب رودخانه و انحراف آن به سمت سامانه انتقال و یا حوضچه ایستگاه پمپاژ و هدایت آب از طریق دریچه آبیگر به آبراه هدایت‌کننده آب استفاده می‌گردد. معمولاً در مجاورت آبیگر یک مجرای تخلیه رسوب که توسط دریچه کنترل می‌شود برای دفع رسوب‌های بار بستر انباشته شده در جلوی دهانه آبیگر، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواقع سیلابی بده مورد نیاز آبیاری توسط دریچه‌های آبیگر کنترل شده و بقیه جریان از روی سرریز سد انحرافی عبور می‌کند. سد انحرافی شامل یک سرریز روگذر آزاد یا دریچه‌ای می‌باشد که ممکن است کل عرض جریان را دربرگیرد. چنانچه از کل تاج سد به عنوان سرریز استفاده نشود، قسمتی که جزء سرریز نیست، ممکن است از جنس خاک، سنگ، بتن یا بتن مسلح ساخته شود. سدهای انحرافی علاوه بر این که به‌منظور تامین مطمئن آب مورد نیاز شبکه‌های آبیاری، شرب و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توانند برای انحراف سیلاب مازاد بر ظرفیت رودخانه به کانال سیلاب‌روی احداثی، نیز طراحی و اجرا گردند.

به‌طور کلی سرریز سدهای انحرافی را می‌توان به دو نوع سرریز آزاد و سرریز دریچه‌دار تقسیم‌بندی نمود. در سدهای انحرافی با سرریز آزاد، آب اضافی به‌طور آزاد از روی سرریز عبور نموده و وارد حوضچه آرامش می‌شود. همراه سد، یک مجرای تخلیه رسوب طراحی می‌شود که ممکن است از چند دریچه تشکیل گردد.

سدهای انحرافی با سرریز دریچه‌دار، توسط دریچه کنترل می‌شوند و می‌توان در زمانی که بده رودخانه سیلابی باشد آنها را باز نمود و سطح آب را پایین آورد. به این ترتیب می‌توان از ارتفاع خاکریزهایی که به‌منظور حفاظت سواحل در برابر افزایش ارتفاع آب در زمان سیلاب احداث می‌گردند، کاست.

سدهای لاستیکی^۱ و سدهای انحرافی باز نیز دارای عملکرد مشابه سدهای انحرافی دریچه‌دار می‌باشند. سدهای انحرافی باز از یک سری دریچه‌هایی در کنار همدیگر تشکیل شده که بین آنها دیوارهای جداکننده قرارداده می‌شود. این دریچه‌ها تا کف رودخانه ادامه دارند. در سدهای انحرافی باز، مجرای تخلیه رسوب‌ها جداگانه لازم نیست زیرا رسوب‌ها می‌توانند به‌طور مستقیم از زیر دریچه‌ها عبور کنند. در زمان‌های سیلابی می‌توان کلیه دریچه‌ها را باز نگهداشت. این نوع سدها در مناطقی که بار رسوب‌ها خیلی زیاد باشد، مناسب است. لازم به ذکر است که این سدها گران هستند و نیاز به کنترل و نگهداری دارند در صورتی که سدهای انحرافی

روگذر نیاز به کنترل نداشته و ارزان می‌شوند. شکل (۸-۱۳)، نمونه پلان سد انحرافی با سرریز آزاد و تاسیسات جانبی آن را نشان داده است.



شکل ۸-۱۳- نمونه پلان سد انحرافی با سرریز آزاد و تاسیسات جانبی آن

۱۳-۶-۲- ملاحظات کلی طراحی و اجرایی

از نقطه نظر طراحی با توجه به این که سد انحرافی سازه‌ای پیچیده، غیرتیپ و تشکیل شده از قسمت‌های مختلف می‌باشد، لذا طراحی آن می‌باید در جهت اهداف تعیین شده برای پروژه مورد نظر انجام گردد. بدیهی است این امر از انتخاب محل، تعیین نوع سازه و تا تهیه نقشه‌های جزییات باید دقیقاً مورد توجه قرار گیرد. نکته‌ای که باید تذکر داده شود رعایت حفظ ریخت‌شناسی طبیعی رودخانه تا حد امکان در انتخاب محل، ابعاد، تراز و جانمایی است که می‌باید در ارتباط با شرایط رودخانه به آن توجه شود. در این ارتباط، به خصوص لازم است طراحی به گونه‌ای انجام شود که تا حد امکان رژیم طبیعی جریان به صورت عمده تحت تاثیر سازه سد انحرافی قرار نگیرد (به خصوص در مناطق پست و کم شیب).

به لحاظ اجرای عملیات، ضمن رعایت مشخصات فنی عمومی بخش‌های مختلف تشکیل دهنده سد انحرافی، از نظر مهندسی رودخانه توجه به حفظ ریخت‌شناسی رودخانه بسیار ضروری است و این امر می‌باید در مراحل مختلف اجرای عملیات مانند تجهیز کارگاه، انحراف موقت آب رودخانه، اجرای عملیات سازه اصلی، برچیدن سامانه انحراف موقت آب و نهایتاً برچیدن کارگاه، مورد دقت لازم قرار گیرد. اصولاً با توجه به حساسیت کار، تهیه مشخصات فنی خصوصی متناسب با هر پروژه سد انحرافی از ضروریات است و باید این مشخصات با دقت لازم تهیه و به اسناد پیمان منضم گردد.

از نکات حایز اهمیت، عدم برداشت مصالح به‌صورت بی‌رویه از بستر و سواحل رودخانه در محدوده طرح بوده و نزدیکی منابع قرضه درشت‌دانه و یا ریزدانه به کارگاه سد انحرافی نباید باعث تمرکز برداشت مصالح از بستر و سواحل رودخانه (به‌خصوص پایین دست سد انحرافی) شود. بدیهی است که برداشت مصالح رودخانه‌ای تنها با بررسی کارشناسی و با توجه به ظرفیت رودخانه و حفظ ریخت‌شناسی بستر و سواحل رودخانه می‌تواند مورد تایید باشد.

از موارد کلی که باید به‌دقت به آن توجه شود، عدم انباشت مصالح عمده در بستر رودخانه در حین اجرای عملیات و همچنین جمع‌آوری کلیه موانع، انباشت‌ها و بازوهای خاکی انحراف موقت آب و برگرداندن ریخت‌شناسی رودخانه به حالت طبیعی پس از اتمام عملیات اجرایی و برچیدن کارگاه می‌باشد. چون عدم انجام به‌موقع این کار، باعث تغییر مسیر جریان سیل، فرسایش موضعی در سواحل مقابل و یا کف‌کنی و تخریب محل خواهد گردید.

۱۳-۷- سرریز

سرریز یکی از اجزای اصلی اکثر سازه‌های رودخانه‌ای از قبیل سد انحرافی، شیب‌شکن و ... می‌باشد. این سازه که در سدهای انحرافی ممکن است به‌صورت سرریز آزاد، سرریز دریچه‌دار و یا لاستیکی طراحی شود، دارای وظایف چندگانه به شرح زیر است:

- انحراف آب اضافه بر ظرفیت ناشی از سیلاب، بدون بالارفتن حداکثر سطح آب پیش‌بینی شده جهت حفاظت بدنه سازه و تاسیسات وابسته
- حفظ سطح نرمال آب مورد نیاز (N.W.L)
- کمک به کنترل ریخت‌شناسی رودخانه و تثبیت بستر و حفظ شیب پایدار رودخانه

۱۳-۷-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

انتخاب نوع سرریز بستگی به فاکتورهایی از قبیل نوع سازه یا سد، بده طراحی، نوع فونداسیون، توپوگرافی و شرایط اقتصادی طرح دارد. سرریز باید قادر باشد بده طراحی را در مواقع سیلابی به طریقی دفع کند که صدمه‌ای به بدنه سازه وارد نگردد. در سدهای انحرافی ارتفاع تاج سرریز باید طوری باشد که بتوان عمق و سرعت لازم را در سامانه انتقال با در نظر گرفتن آفت‌های انرژی (در هنگامی که بده رودخانه حداقل باشد)، تامین نمود.

سرریز می‌تواند جزیی از بدنه بتنی سازه که تاج آن به‌صورت سرریز روگذر طراحی شده است باشد. طول سرریز با توجه به وضعیت ریخت‌شناسی رودخانه و متناسب با عرض پایدار آن محاسبه می‌شود. با داشتن طول سرریز می‌توان ارتفاع حداکثر تیغه آب بالای تاج سرریز را به‌دست آورد. بدیهی است در صورتی که طول سرریز کم انتخاب شود، ارتفاع تیغه آب زیاد می‌شود و در نتیجه

ارتفاع خاکریزهای حفاظتی سواحل، بالا خواهد بود. این امر ممکن است به غیراقتصادی بودن طرح منجر شود که در این صورت با تغییر نوع سرریز آزاد به دریچه‌دار می‌توان این امر را مرتفع نمود. در سرریزهای کنترل شونده (دریچه‌دار)، کنترل جریان توسط دریچه‌ها صورت می‌گیرد. این نوع سرریزها در محل‌هایی از رودخانه که عرض آن نسبتاً باریک است مناسب می‌باشد.

رقوم ارتفاعی تاج سرریز آزاد معمولاً هم‌تراز سطح آب نرمال و یا در حدود ۰/۱۵ متر بلندتر از سطح نرمال آب (در سدهای انحرافی) به خاطر جلوگیری از به هدر رفتن آب (در اثر سرریز شدن‌های تصادفی ناشی از عمل موج) می‌باشد. همچنین در صورتی که طول سرریز زیاد باشد، شیب جزئی حدود ۰/۱ درصد در تاج سرریز و به سمت دهانه آبگیر یا پلکان ماهی‌رو بر پایداری و تمرکز جریان به سمت سازه‌های ذکر شده کمک می‌کند.

شکل مقطع عرضی سرریز (در جهت عمود بر جریان رودخانه) به عوامل هیدرولیکی و شرایط پی بستگی دارد. اگر سرریز روی سنگ ساخته شود، سطح بالادست آن را می‌توان عمودی و یا کمی شیب‌دار در نظر گرفت و اگر روی خاک‌های نفوذپذیر احداث گردد، سطح بالادست باید به گونه‌ای طراحی شود که وزن سازه و در نتیجه پایداری آن، افزایش پیدا کند و همچنین با افزایش سطح پی، تنش روی خاک پی کاهش یابد.

طراحی قسمت پایین‌دست سرریز به‌طور معمول به عوامل هیدرولیکی بستگی دارد و معیار طراحی آن به انطباق تاج سرریز با سطح پایین تیغه آب عبوری باید به گونه‌ای ارتباط پیدا کند که بتواند بده طراحی را در شرایط حفظ سطح آب از خود عبور دهد. همچنین تراز قسمت انتهایی سرریز (پنجه) معمولاً رقوم حوضچه آرامش بعد از سرریز می‌باشد. در این ناحیه جریان در انتهای سطح شیب‌دار به‌طور ناگهانی مسیر خود را تغییر می‌دهد و فشارهای گریز از مرکز قابل توجهی روی بدنه سرریز وارد می‌شود. به همین منظور جهت جلوگیری از تأثیرهای منفی ناشی از برخورد آب (صدمه به بتن و شستشوی مجرای پایین‌دست)، باید پنجه سرریز به وسیله یک سطح استوانه‌ای، مماس با سطح افقی و ملایم به دال افقی متصل گردد.

در سرریزهای دریچه‌ای یک آستانه حجیم^۱ جهت نگهداری و پایداری دریچه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ستون‌ها (دیوارها) که دهانه‌های دریچه‌ها را از هم جدا می‌کنند، هرگونه وسیله بالابرنده دریچه، عرشه بهره‌برداری و یا پل عبوری را محافظت و نگهداری می‌نمایند.

آستانه، سازه حجیمی است که تاج آن معمولاً در تراز متوسط بستر و در رقوم پایین قرار دارد. تاج آستانه برای بار کم (۲ تا ۲/۵ متر) باید پهن بوده و بده آن برای شرایط لبه پهن طراحی گردد. در مورد بارهای بزرگ‌تر بهتر است که شکل تاج آستانه از شرایط سرریز شونده تبعیت نماید و به دلیل این که بالادست در نهایت تا تراز تاج آستانه از مواد رسوبی انباشته می‌شود، از نقطه نظر ایمنی بهتر است که بده سرریز در شرایط لبه پهن طراحی گردد.

سرریزها معمولاً با بتن یا بتن مسلح ساخته می‌شوند ولی در برخی موارد امکان ساخت آنها با مصالح خاکی یا سنگ‌ریزه‌ای و تورسنگی نیز وجود دارد. مشکل عمده در سرریزهایی که با مصالح غیربتنی ساخته می‌شوند این است که مصالح نفوذناپذیر نظیر شن سیلی یا رسی در هنگام سرریز شدن با فرسایش مواجه می‌گردند و مصالح مقاوم نظیر پوشش سنگ‌ریز^۲ و یا تورسنگ نسبت به سرعت جریان‌های زیاد، خیلی نفوذپذیر هستند.

1- Massive Sill

2- Riprap

همان‌طور که در فصل سازه‌های تورسنگی (بندها و سرریزهای تورسنگی) اشاره گردید، این نوع سرریزها انعطاف‌پذیر بوده و با توپوگرافی محلی قابل انطباق می‌باشند و به دلیل نفوذپذیری بالا، تحت تاثیر نیروهای بالابرنده قرار نمی‌گیرند و همچنین جهت اجرای مرحله‌ای، مناسب می‌باشند. نقطه ضعف یک سرریز تورسنگی در آن است که مقاومت و پایداری آن به تورسیمی بستگی دارد. (موارد فنی و اجرایی سرریزهای تورسنگی در قسمت مربوط ارائه شده است).

در سرریزهای خاکی یا سنگ‌ریزه‌ای پوشش‌دار جهت جلوگیری از فرسایش تیغه سرریز شونده از استقرار دستی پوشش سنگ‌ریز روی یک لایه فیلتر به گونه‌ای که خاکریز متراکم نفوذناپذیر را بیوشاند، استفاده می‌شود و یا می‌توان سطح خاکریز متراکم را به وسیله دال‌های بتنی روی یک لایه فیلتر پوشاند.

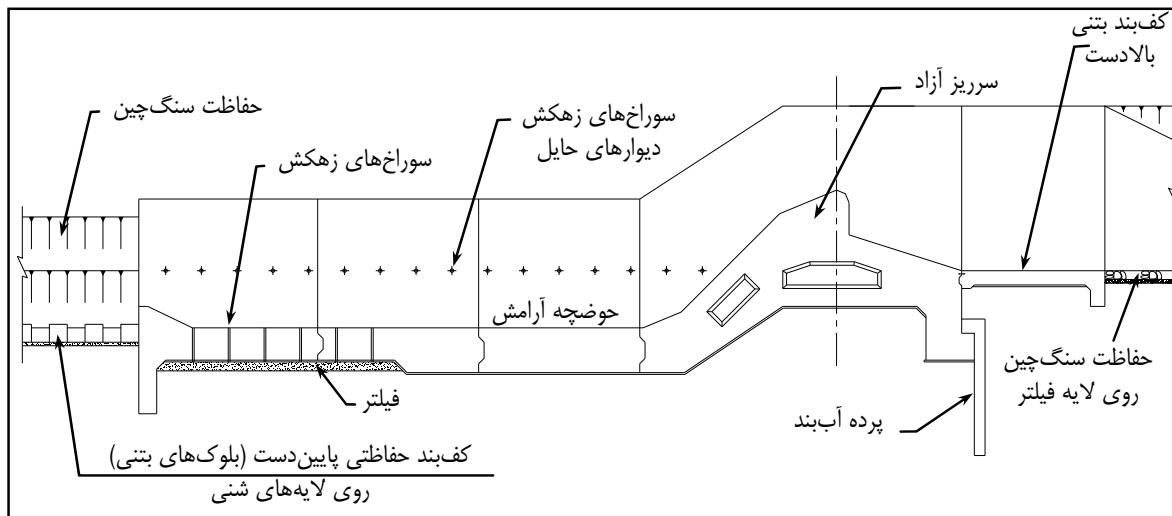
هنگام اجرای سرریز که پس از تکمیل اجرای دیوار آب‌بند آغاز می‌گردد معمولاً با توجه به مقطع اجرای سرریز و به منظور رعایت سایر مشخصات اجرایی، تقسیم‌بندی قسمت‌ها و بتن‌ریزی و اجرایی نمودن مراحل عملیات، به عنوان اولین گام مورد عمل قرار می‌گیرد. شکل سازه سرریز، ارتفاع مجاز بتن‌ریزی، کنترل دمای بتن، حجم بتن اجرایی در هر مرحله، از جمله مهم‌ترین عامل‌های تقسیم‌بندی مراحل بتن‌ریزی می‌باشد.

پس از تقسیم‌بندی قسمت‌های مختلف اجرای عملیات بتن‌ریزی، عملیات قالب‌بندی و بتن‌ریزی هریک از مراحل آغاز می‌گردد. از نکات قابل ذکر در اجرای مراحل اولیه عملیات اجرایی اجزای سرریز، اتصال سازه بتنی به کلاهی دیوار آب‌بند می‌باشد که باید به وسیله نوار آب‌بند، آب‌بندی زیر سازه به منظور جلوگیری از پدیده زیرشویی، تامین شود. هر بلوک اجرایی سازه سرریز به بیش از سه مرحله تقسیم‌بندی می‌گردد که مهم‌ترین بخش اجرایی سرریز، مرحله پایانی و یا رویه سرریز می‌باشد که در این مرحله از بتن‌ریزی، در عرض سرریز و به ضخامت حدود ۴۰ سانتی‌متر، بتن با مقاومت بالا اجرا می‌گردد. جهت اجرای روکش سرریز، از تلفیق دو سامانه قالب و شابلون استفاده می‌گردد، به گونه‌ای که قالب رونده برای عمل‌آوری بتن و از شابلون برای شمشه‌کشی و پرداخت و تنظیم سطح مطلوب کار استفاده می‌شود. به منظور حصول به این مهم، ابتدا بتن مراحل اولیه به صورت پله‌ای و به ارتفاع متغیر تا ۱/۵ متر، با استفاده از قالب‌بندی اجرا شده و سپس در هر بلوک سرریز، شابلون‌ها با میلگردهایی که از قبل در نظر گرفته شده است، بدون اتصال به شبکه میلگرد فوقانی، به صورت جداگانه و بدون تغییر مکان در محل ثابت شده و سپس روی مراحل قبلی بتن‌های اجرا شده، بتن با مقاومت بالا اجرا می‌گردد. در این مرحله پس از ویریه نمودن و پر نمودن فضای رویه سرریز، به منظور ایجاد سطح صیقلی، یک شابلون عرضی در بین دو شابلون ثابت شده به عنوان قالب متحرک و به سمت بالا در رویه سرریز حرکت می‌دهند. پس از این عمل ماله‌کشی به صورت کاملاً آهسته و پیوسته از پایین به بالا صورت می‌پذیرد. با توجه به این که عمل‌آوری و نگهداری بتن رویه سرریز با مرطوب نمودن امکان‌پذیر نمی‌باشد، در روزهای اولیه اجرای آن از ماده شیمیایی کیورینگ استفاده می‌گردد. شکل (۱۳-۹)، نمونه مقطع طولی سرریز آزاد و و حوضچه آرامش را نشان داده است.

۱۳-۸- آبیگر و حوضچه رسوبگیر

در آبیگری با احداث سد انحرافی، دو نوع آبیگر جانبی (افقی) و قائم (تیرولس) مورد استفاده قرار می‌گیرد. آبیگرهای قائم (تیرولس) روی تاج سرریز تعبیه می‌گردد و آب از طریق گالری به طرف سواحل هدایت می‌شود. به منظور ورود قطعی جریان مورد نیاز

به داخل تاسیسات آبیگری، آستانه سرریز آبیگر (تیرولس) در مقابل جریان رودخانه، حدود ۰/۵ متر پایین تر از رقوم تاج سرریز اصلی در نظر گرفته می شود.



شکل ۱۳-۹- نمونه مقطع طولی سرریز آزاد و و حوضچه آرامش

این نوع آبیگری با توجه به وضعیت توپوگرافی محدوده طرح، میزان و دانه بندی رسوب در مواقع پرابی و امکانات بهره برداری برای رودخانه هایی که دارای شیب بیش از ۱/۵ درصد بوده و بار بستر آنها در مواقع پرابی زیاد و قطر ذرات ریز است، توصیه می گردد. در آبیگرهای قائم به منظور ته نشینی رسوب های درشت دانه (عبوری از شبکه آشغالگیر) تاسیسات ماسه گیر در ادامه گالری آبیگر طراحی می گردد و رسوب های درشت دانه تجمع یافته در این تاسیسات، از طریق مجرای روبسته به پایین دست سرریز تخلیه می گردد. آبیگرهای جانبی (افقی) معمولاً در مجاورت مجرای تخلیه رسوب ها پیش بینی می شود تا امکان شستشوی رسوب های انباشته شده در جلوی آن فراهم گردد. این نوع آبیگر عمدتاً در رودخانه های با شیب طولی کمتر از ۱/۵ درصد توصیه می گردد. جهت جلوگیری از ورود رسوب های بار معلق به آبراه آبیگری، حوضچه رسوبگیر بلافاصله پایین دست تاسیسات دهانه آبیگر قرار می گیرد.

۱۳-۸-۱- ملاحظه های طراحی و اجرایی

به طور کلی آبیگر، سازه ای است برای تفکیک و کنترل جریان انحرافی رودخانه و هدایت آن به ورودی سازه انتقال و شامل اجزای زیر می باشد:

- آستانه ورودی آبیگر
- دهانه ورودی آبیگر متشکل از یک یا چند دهانه مستطیل شکل (که به وسیله پایه جدا شده و روی آستانه ورودی قرار می گیرد)
- آشغالگیر و دریچه های کنترل و تیرک های سدکننده فرازبند یا نشیببند
- سازه تبدیل که آبیگر را به دهانه سامانه انتقال متصل می کند.

به‌طور کلی طراحی آبگیر باید به شکلی باشد که از ورود رسوب‌های درشت‌دانه به داخل دهانه آبگیر جلوگیری شود. به همین منظور مدخل ورودی آبگیر باید در قسمت خروجی قوس خارجی رودخانه ساخته شود تا ورود رسوب‌های درشت‌دانه به داخل آبگیر به حداقل برسد.

آستانه ورودی جهت جلوگیری از ورود مستقیم جریان‌های تحتانی و ورود مواد رسوبی درشت‌دانه به داخل دهانه آبگیر احداث می‌گردد. بر حسب شرایط، حداقل ارتفاع آستانه ۰/۳ تا ۰/۵ متر و حداکثر آن حدود ۰/۴ تا ۰/۵ برابر عمق جریان در جلوی دهانه آبگیر توصیه می‌شود، ولی اصولاً حداکثر ارتفاع آستانه آبگیر بستگی به شرایط هر پروژه مشخص دارد.

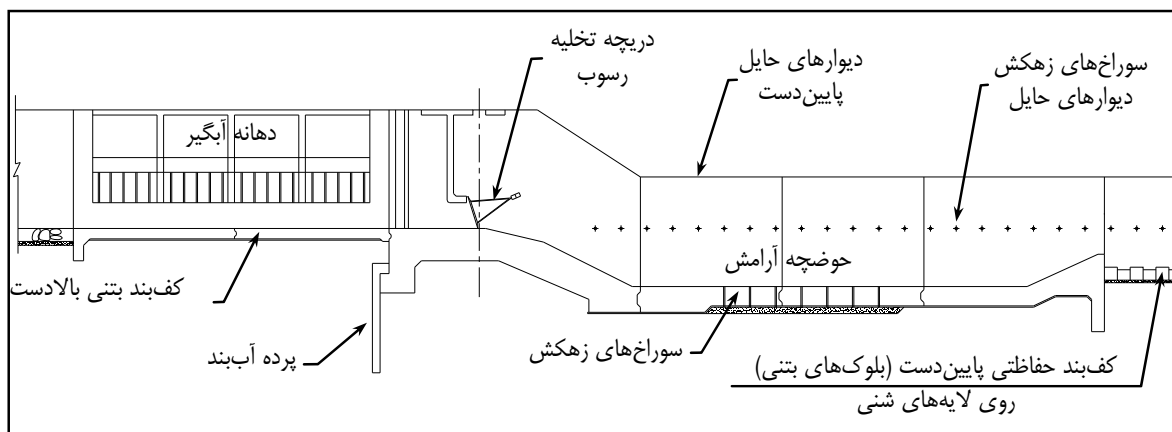
دریچه‌ها و دهانه ورودی آبگیر براساس نیاز آبی (بده مورد نیاز طراحی) طراحی می‌گردد. نوع محفظه آبگیر با توجه به کاری که انجام می‌دهد، تعیین می‌گردد و ممکن است به عنوان یک سازه تبدیلی و یا حوضچه آرامش مورد استفاده قرارگیرد. وقتی محفظه آبگیر به عنوان یک سازه تبدیلی^۱ طراحی می‌شود، دهانه ورودی آبگیر را به‌صورت یک سازه منشوری (همگرا) به آرامی به دهانه ورودی سازه انتقال متصل می‌کند. در صورت تعبیه حوضچه‌های رسوبگیر در تاسیسات، محفظه آبگیر به‌صورت منشوری با پهنای ثابت، تقریباً برابر پهنای دهانه ورودی آبگیر، جهت پایین نگه‌داشتن سرعت متوسط جریان، به حوضچه‌های رسوبگیر متصل می‌شود. در مواقعی که محفظه آبگیر به عنوان حوضچه آرامش طراحی می‌شود، باید بتواند پرش هیدرولیکی را در خود جای دهد. شکل منشوری کمی همگرا برای حوضچه آرامش مناسب است و حوضچه باید به نحوی طراحی شود که عمق جریان و طول لازم برای پرش را در محفظه آبگیر فراهم نماید (تعبیه حوضچه آرامش در طرح‌هایی که سطح آب سیلابی رودخانه نسبت به سطح آب سازه انتقال، افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند و انرژی سینماتیک بالایی در جریان انحرافی پدید می‌آید، مورد نیاز می‌باشد).

حوضچه‌های رسوبگیر باید طوری طراحی شوند که سرعت جریان آب از داخل آن به طرف آبراه اصلی به قدری کم باشد که ذرات معلق با قطر بیش از ۰/۲۵ میلی‌متر بتوانند در حوضچه ته‌نشین کنند. طول حوضچه رسوبگیر بستگی به عمق و میزان رسوب‌گذاری مورد نظر دارد. معمولاً حوضچه رسوبگیر به چند سلول تقسیم می‌گردد. خالی کردن حوضچه از رسوب‌ها از طریق گالری تخلیه رسوب یا با وسایل مکانیکی انجام می‌گیرد. در ابتدای مجاری تخلیه رسوب، دریچه تعبیه می‌شود و مقطع آن معمولاً مستطیلی انتخاب می‌گردد.

۱۳-۹- مجرای تخلیه رسوب‌ها

مجرای تخلیه رسوب‌ها در مجاورت آبگیر سدهای انحرافی در نظر گرفته می‌شود و از یک یا تعدادی از یک سری دریچه که توسط جداکننده‌ها از همدیگر جدا می‌گردند، تشکیل می‌شود. در انتهای مجرای تخلیه رسوب‌ها، حوضچه آرامش برای استهلاک انرژی جریان قرار گرفته است. مجرای تخلیه رسوب‌ها باید در مجاورت آبگیر قرار گیرد تا اگر رسوب‌ها در جلوی ورودی آبگیر جمع شوند، با باز کردن دریچه‌های مجرای تخلیه، رسوب‌های ذکر شده توسط جریان از طریق مجرای تخلیه رسوب‌ها دفع گردد.

کف قسمت بالادست مجرای تخلیه رسوب‌ها به اندازه کافی پایین‌تر از کف آبگیر قرار دارد تا از ورود رسوب به آبگیر جلوگیری کند. رقوم کف حوضچه آرامش مجرای تخلیه رسوب‌ها، ماند کف حوضچه آرامش سرریز باید با توجه به شرایط هیدرولیکی جریان محاسبه و تعیین شود. شکل (۱۳-۱۰)، نمونه مقطع طولی مجرای تخلیه رسوب‌ها و حوضچه آرامش را نشان داده است.



شکل ۱۳-۱۰- نمونه مقطع طولی مجرای تخلیه رسوب‌ها و حوضچه آرامش

۱۳-۹-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

عرض مجرای تخلیه رسوب‌ها به عوامل زیادی بستگی دارد و در صورت کمبود آب برای شستشو، توصیه می‌شود که به دو دهانه تقسیم شود. در این صورت عملکرد و انعطاف‌پذیری بهتری در بهره‌برداری فراهم می‌گردد.

ظرفیت مجرای تخلیه بستگی به مقدار جریان رودخانه و همچنین مقدار رسوب‌های رودخانه دارد که قرار است از جلو تاسیسات دهانه آبگیر تخلیه شود و ضمناً باید به اندازه کافی بزرگ باشد که مسیری به طرف تاسیسات دهانه آبگیر باز بماند. اغلب بده عبوری، حداقل دو برابر بده تاسیسات دهانه آبگیر انتخاب می‌شود.

توصیه می‌شود که دریچه‌های تخلیه رسوب‌ها، به محض گذشت بده سیلابی از نقطه ماکزیمم کاملاً باز گردد، زیرا حداکثر بده رسوب نسبت به حداکثر بده جریان تاخیر دارد. در مواقع معمولی ممکن است رسوب‌ها به تدریج انباشته شوند و توسط جریان به طرف آبراه آبیاری حمل گردند، بنابراین باید به‌طور متناوب دریچه‌های تخلیه رسوب‌ها باز شوند تا رسوب‌ها از جلوی دریچه‌های آبگیر دفع شوند. همچنین می‌توان در هنگام پرابی، دریچه‌های تخلیه رسوب‌ها را به‌طور مداوم و در حد لزوم باز نگه داشت.

دیواری که بین سرریز و مجرای تخلیه رسوب‌ها ساخته می‌شود، دیوار جداکننده نام دارد. این دیوار تا قسمت‌های بالادست ورودی آبگیر در مخزن سد امتداد دارد. انحنای دیوار باعث ایجاد جریان در قوس خارجی می‌نماید که به نوبه خود آبگیری را آسان می‌سازد. همچنین دیوار مذکور، جریان آب را به‌طور یکنواخت به مجرای تخلیه رسوب‌ها هدایت می‌نماید و باعث افزایش سرعت جریان شستشو خواهد شد. شکل دقیق امتداد دیوار، جهت جلوگیری از ایجاد جریان‌های گردابی توسط مدل هیدرولیکی تعیین می‌شود.

۱۳-۱۰- حوضچه آرامش

به منظور استهلاک انرژی در پایین دست سرریز، شیب شکن و یا مجرای تخلیه رسوبها (در سدهای انحرافی)، حوضچه آرامش طراحی می‌گردد. شرایط هیدرولیکی جریان در پایین دست و نکات فنی و اقتصادی، مبنای طراحی و تعیین نوع حوضچه آرامش قرار می‌گیرد.

حوضچه آرامش معمولاً حوضچه‌ای بتنی با مقطع مستطیلی (که از دال بتنی کف همراه با آستانه انتهایی و دیوارهای جانبی تشکیل شده است) می‌باشد. در بعضی از حوضچه‌ها، دندان‌هایی نیز احداث می‌گردند که نیروی عکس‌العمل در برابر نیروی جریان ایجاد می‌نمایند و به نوبه خود به تشکیل پرش هیدرولیکی کمک می‌نمایند. ولی استفاده از این دندان‌ها در رودخانه‌های حاوی رسوب‌های درشت‌دانه به علت فرسوده شدن شدید، اصولاً توصیه نمی‌شود. حوضچه‌های آرامش با توجه به شرایط طرح می‌تواند با مصالح سنگی و یا تورسنگی (در سرریزهای تورسنگی) نیز احداث گردند که شرایط طراحی آن مشابه با حوضچه آرامش بتنی است.

۱۳-۱۰-۱- ملاحظه‌های طراحی و اجرایی

متغیرهای مهم در طراحی حوضچه آرامش، عرض حوضچه، طول حوضچه، ارتفاع دیوارها و رقوم کف حوضچه می‌باشند. عرض حوضچه یک متغیر بسیار مهم می‌باشد زیرا ابعاد پرش هیدرولیکی تابع آن است.

به طور کلی اگر عرض حوضچه زیاد باشد، عملکرد حوضچه از نظر هیدرولیکی بهتر خواهد بود، زیرا بده در واحد عرض کم‌تر خواهد شد و اندازه قدرت گرداب‌های ایجاد شده پس از پرش کم‌تر خواهد بود. همچنین پایین بردن کف حوضچه آرامش برای انجام پرش مطلوب می‌باشد ولی این امر باعث افزایش هزینه می‌گردد.

در حوضچه‌های آرامش تیپ I و USBR، IV که معمولاً در سدهای انحرافی و اغلب شیب شکن‌ها استفاده می‌شوند، طول حوضچه آرامش متناسب با طول پرش هیدرولیکی است. ضخامت کف حوضچه با توجه به پایداری آن در قبال شناور شدن در حالت‌های مختلف بهره‌برداری مشخص می‌گردد. در حوضچه‌های آرامش مورد استفاده در سدهای انحرافی و سرریزها و یا شیب شکن‌های بلند، به منظور جلوگیری از فرسایش بتن در برابر عبور مواد کف بستر و در مواقع سیلابی، قشر رویی سرریز و حوضچه آرامش از یک لایه بتن با مقاومت بالا به ضخامت حدود ۴۰ سانتی متر پوشیده می‌شود.

معمولاً در زیر حوضچه آرامش، از زهکش‌ها به صورت لوله‌های سوراخ‌دار استفاده می‌شود که در پیرامون آنها صافی معکوس قرارداد شده است. این مجموعه آب تراوش را جمع کرده و بار فشاری آن را از طریق تبدیل به بار سرعت، کاهش داده و در نتیجه نیروی بالابرنده را کاهش می‌دهد. استفاده از صافی معکوس طول مسیر خزش را کم نموده و خطر پدیده آبستنگی داخلی را کاهش می‌دهد. به علاوه چون صافی معکوس اثر کاهش دهنده در میزان نیروی بالابرنده دارد، می‌توان طول دیوار آب‌بند کم‌تری به کار برد. آستانه انتهایی در حوضچه آرامش، دال حوضچه را به بستر مجرای پایین دست مرتبط می‌کند و از ورود ذره‌های رسوبی تصادفی در میان گرداب یا غلطاب^۱ که موجب ایجاد چاهک آبستنگی موضعی می‌گردند جلوگیری می‌کند. آستانه دارای نوعی تاثیر توزیعی می‌باشد و تمرکز جریان را در مجرای پایین دست کاهش داده و در سرریزهای دریچه‌دار، آستانه انتهایی به یکنواختی جریان کمک

می‌نماید. آستانه انتهایی را می‌توان تا عمق مناسبی به‌صورت دیواره آب‌بند در بستر رودخانه ادامه داد و این عمل از فروکشی آبشستگی موضعی و حفر و تخریب زیر سازه حوضچه آرامش ممانعت به عمل آورده و در کنترل نشت زیر پی تاثیر به‌سزایی دارد. تاج آستانه باید کمی از رقوم بستر رودخانه بالاتر باشد. در شکل (۱۳-۸)، نمونه‌ای از پلان یک سد انحرافی با سرریز آزاد به همراه تاسیسات جانبی (آبگیر، مجرای تخلیه رسوب، حوضچه آرامش، پلکان ماهی‌رو و ...) نشان داده شده است.

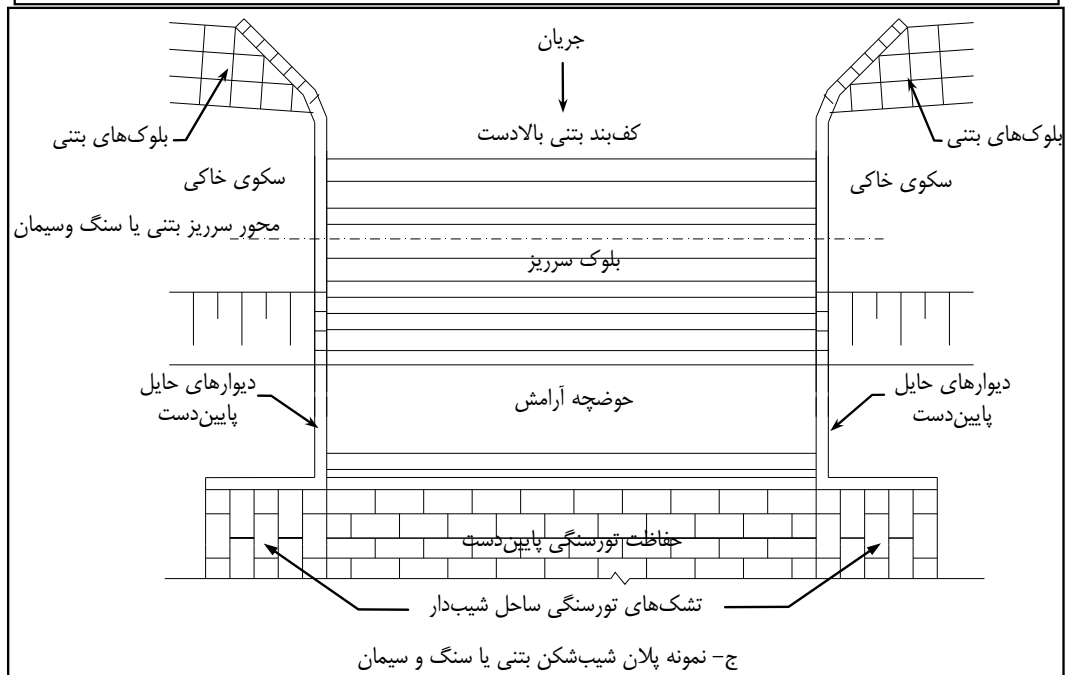
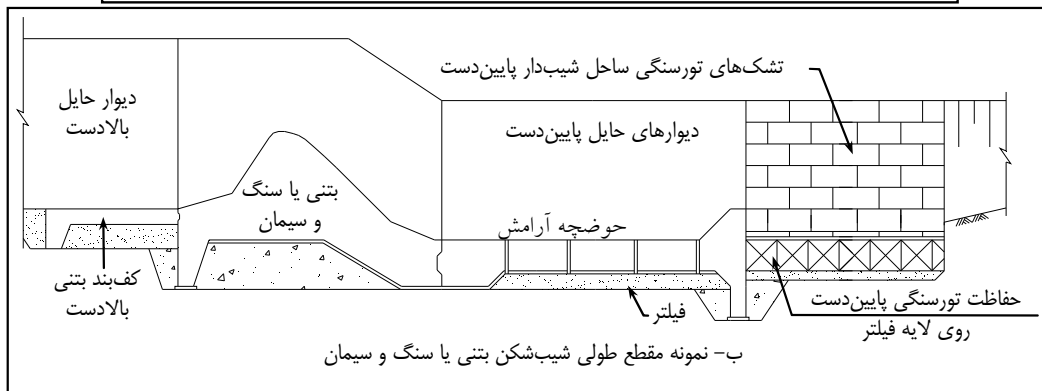
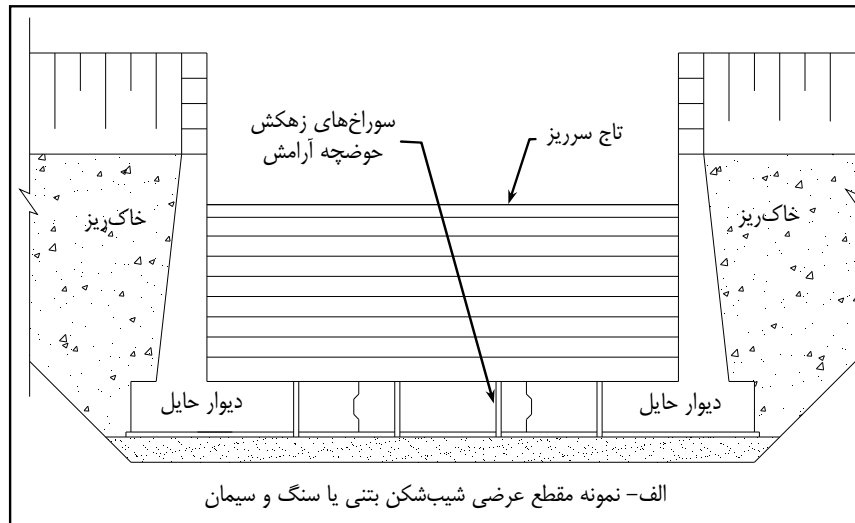
۱۱-۱۳- شیب‌شکن

شیب‌شکن‌ها جهت کاهش یا مهار فرآیند فرسایش و گودافتادگی بستر رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سازه‌ها با افزایش ارتفاع سطح آب و کاهش شیب انرژی و تثبیت شیب بستر، نهایتاً موجب افت پتانسیل انتقال و برقراری حالت تعادل می‌گردند. در عمل برای کاهش گرایان جریان، از یک سری شیب‌شکن در طول مسیری از رودخانه استفاده می‌گردد تا به این ترتیب با بالا آمدن بستر رودخانه از طریق رسوب‌گذاری بین پنجه و تاج‌های متوالی، شیب تعادل ایجاد شود (شیبی که طی آن فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه به تعادل رسیده باشند). با استفاده از این سازه‌ها هم شیب ملایم‌تر ایجاد می‌گردد و هم انرژی مازاد جریان در پنجه سازه‌ها گرفته می‌شود. استفاده از شیب‌شکن‌ها در رودخانه‌های کوهستانی که دارای شیب تندی می‌باشند، متداول است. سرریزها و شیب‌شکن‌ها از لحاظ هیدرولیکی عملکردی مشابه دارند و مشخصات فنی و ضوابط طراحی و اجرایی آنها تقریباً مشابه می‌باشد. شیب‌شکن‌ها معمولاً از بتن ساخته می‌شوند ولی همانند سرریزها می‌توان با توجه به شرایط طرح از مصالح خاکی و سنگی و یا تورسنگی نیز استفاده نمود. در اشکال (۱۳-۱۱) و (۱۳-۱۲)، نمونه‌های پلان و مقاطع طولی و عرضی شیب‌شکن‌های بتنی یا سنگ وسیمان و تورسنگی نشان داده شده است.

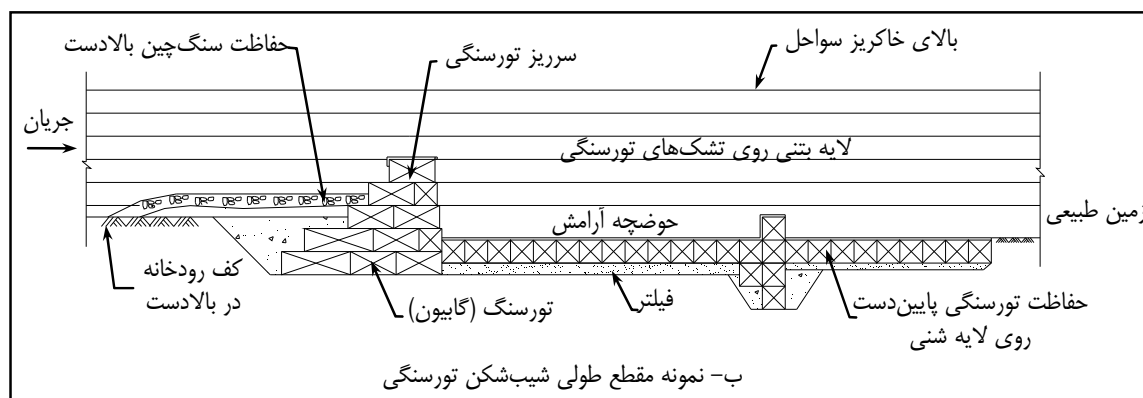
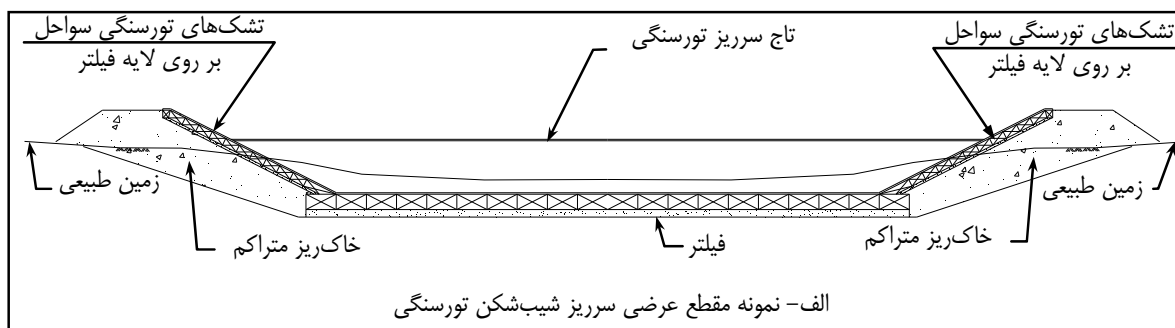
۱۲-۱۳- پلکان ماهی‌رو

سازه‌ای است که جهت تردد ماهی‌ها بر روی بدنه سرریز (سد انحرافی یا شیب‌شکن) به سمت پایین‌دست، جهت تردد ماهی‌ها ایجاد می‌گردد. به‌طور کلی پلکان ماهی از یک شوت با مقطع مستطیل و شیب ملایم یک عمودی به ۸ تا ۱۲ افقی تشکیل می‌گردد. این شوت توسط دیوارهای قائم به تعدادی حوضچه تقسیم می‌شود. در صورت تعبیه بازشدگی در دیوارهای مذکور، معمولاً به‌صورت روزنه‌ای در پایین و بازشدگی در بالای دیوار می‌باشد.

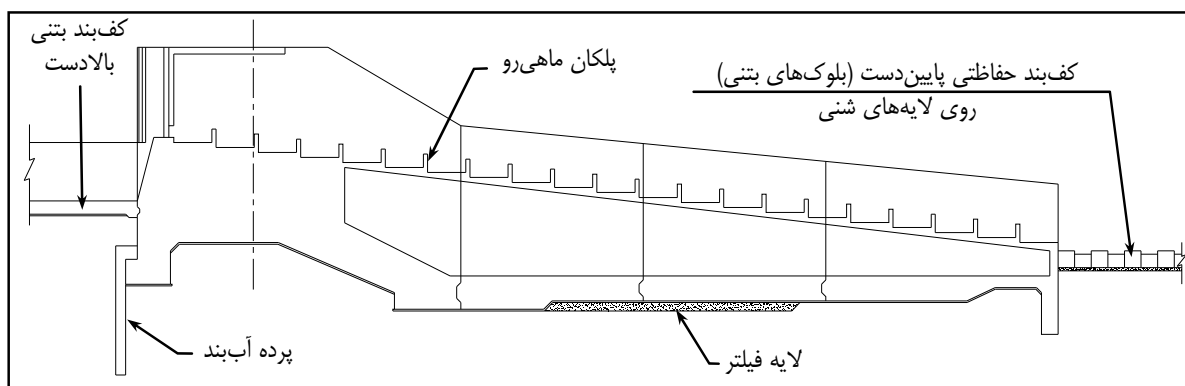
محل اتصال پلکان ماهی به مخزن باید تا حدود زیادی آرام و ساکن باشد تا ماهی‌هایی که از سمت پایین‌دست به سمت بالادست حرکت می‌کنند، در اثر جریان به عقب رانده نشوند. حداکثر سرعت جریان آب معمولاً نباید از ۱/۵ متر بر ثانیه در طول قسمت روزنه تجاوز کند و این موضوع باعث می‌شود ارتفاع بین حوضچه‌های پشت سرهم پلکان حدود ۰/۳ متر گردد، زیرا همین ارتفاع تبدیل به سرعت می‌شود. در پلکان‌های کوتاه، اختلاف ارتفاع تا ۰/۶ متر نیز به کار برده می‌شود. سرعت‌های کم باعث می‌شود طول پلکان بیش‌تر شده و در نتیجه هزینه بالا رود. در پایین پلکان ماهی، سرعت خروجی آب باید به مقداری باشد تا ماهی‌ها بتوانند آن را پیدا کنند (سرعت جریانی حدود یک متر بر ثانیه مناسب است). در شکل (۱۳-۱۳)، نمونه مقطع طولی پلکان ماهی‌رو نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۱۳- نمونه‌های پلان و مقاطع طولی و عرضی شیب‌شکن بتنی یا سنگ و سیمان



شکل ۱۳-۱۲- نمونه‌های مقاطع طولی و عرضی شیب‌شکن تورسنگی



۱۳-۱۳- کف‌بندهای حفاظتی

جهت جلوگیری از به مخاطره افتادن سازه‌ها و سواحل رودخانه ناشی از آبشستگی و فرسایش بستر در پایین‌دست آنها، کف‌بند حفاظتی پایین‌دست به‌منظور کنترل استهلاک انرژی و کاهش سرعت جریان (تا حد سرعت مطمئن)، پیش‌بینی می‌گردد. در بالادست سازه‌ها نیز جهت افزایش طول مسیر نشت و کاهش نیروی زیر فشار، جلوگیری از فرسایش و حفاظت بستر و کناره‌های بالادست، از کف‌بندهای حفاظتی استفاده می‌گردد.

کف‌بند می‌تواند یک سازه سخت و محکم شامل بلوک‌های بتنی، یک لایه سنگ‌فرش و تورسنگ (گابیون) و یا دال‌های بتنی (اغلب در بالادست) باشد. استفاده از بلوک‌های بتنی در پایین‌دست، باعث تقویت پرش هیدرولیکی و کاهش طول پرش می‌شود. معمولاً بلوک‌های بتنی، مکعب‌هایی می‌باشند که درزهای بین آنها (با ضخامت حدود ۱۰ سانتی‌متر) به وسیله شن و ماسه رودخانه‌ای پر می‌گردند. طول فیلتر معکوس و بلوک‌های بتنی روی آن معمولاً ۱/۵ برابر عمق فرسایش پایین‌دست در رودخانه است.

حفاظت‌های سنگی را باید روی بستری از شن یا سنگ‌ریزه قرار داد تا از بالا آمدن مواد بستر از درز و شکاف‌های بستر حفاظتی جلوگیری شود. در حالتی که بستر رودخانه از مواد ریز تشکیل شده باشد، این بستر را می‌توان به صورت یک فیلتر ساخت که لایه زیرین آن ماسه باشد و یک لایه شن نیز در روی آن قرار گیرد.

کاهش طول کف‌بند پایین‌دست بدون توجه به تمهیدهای دیگر، موجب آبشستگی موضعی در انتهای کف‌بند می‌گردد. برای جلوگیری از این پدیده، لازم است کف‌بند کوتاه پایین‌دست همراه با حفاظ انتهایی منظور گردد. حفاظ انتهایی با احداث یک قسمت سخت عمودی نظیر سپر فولادی یا دیواره عمودی زیرزمینی و یا قراردادن لایه‌های سنگ‌چین و تورسنگ روی هم، درنظر گرفته می‌شود.

معمولاً هنگامی که از فیلتر معکوس و بلوک‌های بتنی در پایین‌دست استفاده می‌گردد، برای جلوگیری از تخریب فیلتر و بلوک‌ها (در صورت ایجاد حفره‌های آبشستگی)، در ادامه آن پوشش سنگی به طول ۲/۵ برابر عمق سپر پایین‌دست در زیر بستر رودخانه در نظر گرفته می‌شود.

حداکثر سرعت جریان در بالادست سازه‌ها، کم‌تر از سرعت قبل از احداث سازه (سد انحرافی، شیب‌شکن و ...) می‌باشد و همچنین نسبت به سرعت پایین‌دست کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد. به همین دلیل ضرورت ندارد در بالادست، سنگ‌چین متراکم درنظر گرفته شود ولی به هر حال باید طوری باشد که در زمان‌های سیلابی پایدار بماند. طول کف‌بندهای حفاظتی بالادست، حداقل معادل دو برابر عمق سپر بالادست زیر بستر رودخانه درنظر گرفته می‌شود. همچنین در بالادست تاسیسات از مصالح ریزدانه رسی به عنوان بستر غیرقابل نفوذ جهت افزایش مسیر عبور آب و کاهش نیروی زیر فشار استفاده می‌گردد. پایین بودن هزینه‌ها و سهولت اجرایی، از مزایای این روش است. از معایب آن، می‌توان به صدمه‌پذیری در مقابل سیلاب‌ها، مخصوصاً در سال‌های اولیه بهره‌برداری اشاره نمود. به علاوه مصالح مصرفی (رس) باید از مشخصات فنی بالایی برخوردار بوده و اتصال آن به سازه‌های بتنی نیز دارای حساسیت ویژه‌ای می‌باشد.

۱۳-۱۴- دیوارهای عمودی زیرزمینی و دیوارهای آب‌بند

به منظور جلوگیری از بروز پدیده رگاب^۱ و فرسایش و آبشستگی در پایین سازه‌ها، اعم از سدهای انحرافی، شیب‌شکن‌ها و یا سازه‌های تقاطعی با رودخانه (پل‌ها، سیفون‌ها، کالورت‌ها و ...) و همچنین جهت تثبیت بستر و جلوگیری از پایین افتادگی در یک بازه مشخص از رودخانه از دیوارهای عمودی زیرزمینی استفاده می‌گردد.

دیوارهای آب‌بند به‌منظور کنترل نشت آب از زیر پی تاسیسات و سازه‌ها (سدهای انحرافی، شیب‌شکن‌ها و ...) و جلوگیری از پدیده آبشستگی و همچنین افزایش مسیر خزش، پیش‌بینی می‌شوند. این دیوارها عموماً با بتن، سپرهای فلزی و یا خاک متراکم نفوذناپذیر احداث می‌گردند.

در صورتی که با توجه به جنس خاک و پی، عمق آب زیرزمینی و دیگر ملاحظه‌های اجرایی، حفر ترانشه به کمک بتونیت امکان‌پذیر باشد، دیوار زیرزمینی یا آب‌بند با روش جایگزینی بتونیت توسط بتن احداث می‌گردد. این روش با این‌که هزینه‌های اجرایی نسبتاً بالایی دربردارد، به لحاظ عملکرد مطلوب و بالا بودن ضرایب اطمینان و آسیب‌ناپذیری، پاسخگوی نیازهای طراحی در اغلب موارد می‌باشد. در مواردی که می‌توان از برخورد به آب زیرزمینی ممانعت به‌عمل آورد و جنس مصالح پی به نحوی است که ریزش دیوارهای ترانشه مطرح نیست، اجرای دیوار با عمق کم به روش حفر ترانشه (گودبرداری و پی‌کنی) و بتن‌ریزی درجا احداث می‌گردد.

عملیات اجرایی و کوبیدن سپرهای فولادی در صورت وجود قلوه‌سنگ‌ها و تخته‌سنگ‌ها در بستر رودخانه اصولاً غیرممکن بوده، ولی بطور معمول در آبرفت‌های فاقد سنگ مقدور می‌باشد. به‌منظور حفاظت سطوح خارجی ورقه‌های فولادی کوبیده شده در خاک، استفاده از سامانه حفاظت کاتدیک در اغلب موارد الزامی می‌نماید تا به این وسیله از خوردگی فولاد در برابر واکنش‌های الکتروشیمیایی ایجاد شده مابین سپرها و خاک و ایجاد زنگ ممانعت به‌عمل آید.

ملاحظه‌های طراحی و اجرایی خاص دیوارهای آب‌بند و سپرهای فلزی در فصل ۷ این نشریه ارائه گردیده است.

۱۳-۱۵- سدهای تاخیری

این سدها به‌منظور ذخیره آب در هنگام سیل و سپس آزاد کردن آن به‌طور تدریجی ساخته می‌شوند؛ به‌عبارت دیگر به‌منظور کنترل سیلاب احداث می‌گردند. توپوگرافی محل احداث سد باید طوری باشد که برای ارتفاع مشخص، حجم مناسبی برای مخزن سد ایجاد شود و در عین حال خسارت مخزن حداقل باشد.

نوع سد تاخیری پیشنهادی اعم از سد وزنی بتنی، سد خاکی (متشکل از خاک طبیعی متراکم شده یا شن و ماسه یا رس و یا مخلوطی از اینها) و سد سنگ‌ریزه‌ای (متشکل از سنگ‌ریزه و قلوه سنگ با هسته نفوذناپذیر ریزدانه و یا پوشش بتنی)، بستگی به شرایط پی و مقدار و کیفیت مصالح در دسترس دارد.

معمولاً به‌ندرت می‌توان فقط با احداث چنین سدهایی، شهرها و بازه‌های پایین‌دست را در برابر سیل محفوظ نگه‌داشت، مگر این‌که دیوارها و خاکریزهای ساحلی برای رودخانه در پایین‌دست نیز ایجاد گردد. چنانچه ظرفیت تخلیه سرریز سد تاخیری بیش‌تر در نظر گرفته شود، بده حداکثر عبوری از روی سرریز افزایش می‌یابد و در نتیجه با افزایش بده عبوری، هزینه مخزن و سد به علت کاهش ذخیره سیل، کاهش پیدا می‌کند. این در حالیست که هزینه سرریز و ارتفاع لازم دیوارها و خاکریزهای ساحلی پایین‌دست افزایش می‌یابد و در نتیجه هزینه این بخش کار بیش‌تر خواهد شد. به هر حال طول سرریز و یا به عبارتی ظرفیت آن باید طوری انتخاب شود که جمع هزینه‌های سد، سرریزها و دیوارها و خاکریزهای ساحلی به حداقل برسد.

ضمناً اگرچه سدهای تاخیری دارای مجرای با گشودگی کافی در قسمت تحتانی می‌باشند ولی به‌علت این‌که در زمان بالا آمدن سطح آب مخزن، سرعت جریان در مخزن کاهش می‌یابد، بخشی از رسوبات در مخزن ته‌نشین خواهند شد. این رسوبات الزاماً در

فروکش سطح آب مخزن شسته نخواهند شد (با توجه به شرایط توپوگرافی و شکل مخزن) و حجم مفید مخزن سد تاخیری کاهش خواهد یافت و باید تا آن جا که قابل پیش‌بینی و برآورد است مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به این که سازه سدهای تاخیری به لحاظ هندسی و عملکرد شبیه سدهای مخزنی می‌باشند، اصولاً باید به‌هنگام طراحی و اجرای عملیات ساختمانی آنها، ضوابط مربوط به سدهای مخزنی را در مورد آنها رعایت نمود. مشخصات فنی، ضوابط و ملاحظه‌های طراحی و اجرایی در نشریه‌ها و استانداردهای مربوط ارائه گردیده است.

فصل ۱۴

راه‌سازی (جاده‌های سرویس و

دسترسی)

۱۴-۱- کلیات

در اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه، احداث جاده‌هایی با اهداف خاص به شرح زیر ضرورت پیدا می‌نماید:

- **راه دسترسی:** راهی است که یکی از راه‌های موجود در منطقه طرح را به کارگاه متصل می‌کند.
 - **جاده سرویس:** راهی است که برای دستیابی به محل اجرای عملیات، احداث می‌شود.
 - **راه انحرافی:** راهی است که برای تامین تردد وسایل نقلیه عمومی که قبلاً از مسیر موجود انجام می‌شد، اما به علت انجام عملیات اجرایی موضوع پیمان قطع شده است، احداث می‌شود. این گونه راه‌ها با توجه به اهمیت و ترافیک عبوری، دارای عرض ۴ تا ۶/۵ متر و شیب طولی آن حداکثر ۱۲ درصد و در موارد خاص (مثل *Ramp* در محل اتصال به تاج خاکریزها)، حداکثر ۱۵ درصد توصیه می‌گردد.
- به‌طور کلی شیب عرضی (از محور راه) حداقل یک و حداکثر دو درصد می‌باشد. شیب شیروانی‌های خاکریز در مسیرهایی که در خاکریزی قرار می‌گیرند، معمولاً یک به یک و شیب ترانشه‌ها در قسمت‌هایی که در خاک‌برداری قرار می‌گیرند، یک به یک تا یک افقی به ۱۰ عمودی در نظر گرفته می‌شود که البته بستگی به جنس خاک دارد. حداقل تراکم زمین طبیعی ۸۵ درصد و حداقل تراکم لایه‌های خاکریز ۹۰ درصد به روش آشتو اصلاح شده (T-180) و حداکثر ضخامت لایه‌های خاکریزی، ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. همچنین حداقل شعاع قوس‌ها ۲۰ متر توصیه می‌گردد.
- در بسیاری از موارد، راه‌های دسترسی و انحرافی، فاقد رویه آسفالت می‌باشند. این گونه راه‌ها باید حداقل دارای رویه شنی به ضخامت ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر باشند. دانه‌بندی رویه شنی باید مطابق با دستورالعمل آشتو و دیگر استانداردهای مندرج در نشریه ۱۰۱ (مشخصات فنی عمومی راه) باشد و پس از تایید دستگاه نظارت، به مرحله اجرا درآید.

۱۴-۲- زمین بستر راه

زمین بستر راه باید توان باربری ترافیک طراحی را داشته و تغییر حالت ندهد. قبل از احداث جسم راه باید بستر راه کاملاً پاک گردد، لذا باید نسبت به برداشت لایه نباتی به انضمام ریشه‌کشی و دور ریختن زباله و دیگر مواد زاید و درختان اقدام گردد. در صورتی که بستر راه در برش خاکی باشد و میزان تراکم لازم از آن حاصل نشود، حفاری کف برش چندین سانتی‌متر بالاتر از بستر راه متوقف می‌شود. به‌طوری که پس از کوبیدن تراز مورد نظر به‌دست آید. پس از تامین رطوبت لازم، کف برش با غلتک‌های مناسب متراکم می‌گردد تا در عمق ۳۰ سانتی‌متر از بستر راه، میزان تراکم نسبی مورد نظر حاصل شود. در صورتی که وضع زمین طبیعی کف برش خاکی طوری باشد که تراکم لازم پس از کوبیدن به ترتیب بالا حاصل نشود، بستر راه به عمق ۲۰ سانتی‌متر شیار داده شده و مخلوط می‌گردد. سپس رطوبت لازم تامین شده و با غلتک‌های مناسب کوبیده می‌شود تا بستر راه طبق مشخصات، متراکم و تراز مورد نظر پی به‌دست آید.

برای آماده‌سازی بستر راه در برش‌های مختلف به شرح زیر عمل می‌گردد:

الف- بستر راه در برش سنگی

در برش‌های سنگی، کف برش باید چند سانتی‌متر پایین‌تر از بستر راه حفاری بوده و سطح برش تا تراز بستر راه، با مصالح مرغوب و شنی، خاکریزی و به میزان ۱۰۰ درصد (به روش پروکتور استاندارد) متراکم شود. در هر صورت ناهمواری‌های سنگی نباید بالاتر از تراز زمین بستر راه باشد.

ب- بستر راه در خاکریزی

جنس مصالح خاکی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر از تراز بستر راه باید مناسب باشد و در صورت امکان از برش‌ها برای این منظور استفاده شود. چنانچه در این عمق، مصالح خاکی مناسب نباشد و مشخصات لازم به‌دست نیاید، خاک‌های نامناسب باید تعویض و عملیات خاکریزی و تراکم (کوبیدن) تجدید شود.

ج- بستر راه در سطح راه موجود

هرگاه بستر راه بر روی سطح راه موجود قرار گیرد، سطح راه موجود باید پس از شخم‌زنی به عمق ۱۰ سانتی‌متر با مصالح زیراساس و یا سایر مصالح مناسب، اصلاح، آبپاشی و متراکم شود تا در مقاطع عرضی و طولی راه، تراکم لازم بر طبق مشخصات به‌دست آید.

۱۴-۳- جسم راه

جسم راه، روی زمین بستر راه و زیر لایه روسازی ساخته می‌شود. عموماً کلیه خاک‌هایی که در گروه هفت گانه A-1 تا A-7 مشخصات TM-145 آشتو قرار می‌گیرند، برای خاکریزی جسم راه، قابل قبول هستند. کلیه خاک‌های گچی، نمکی، نباتی و مصالح دارای مواد آلی و رستنی‌ها و کلیه خاک‌هایی که حداکثر وزن مخصوص خشک آنها مطابق با روش آشتو (T-180 روش D) کم‌تر از ۱/۵۵ تن در مترمکعب باشد در شمار مصالح نامناسب قرار می‌گیرند.

۱۴-۴- ملاحظه‌های اجرایی عمومی

در این قسمت، به ملاحظه‌ها و موارد کلی اجرایی مراحل مختلف عملیات راه‌سازی شامل بسترسازی و اجرای لایه‌های زیراساس و اساس اشاره می‌شود. مشخصات و موارد خاص فنی و اجرایی در قسمت‌های مربوط به‌طور کامل ارائه شده است.

۱۴-۴-۱- پخش مصالح، آبپاشی و غلتک‌زنی

پخش مصالح به صورت لایه به لایه صورت می‌پذیرد و هنگام پخش نباید دانه‌های درشت و ریز از هم جدا شوند. پس از پخش و پروفیل نمودن مصالح، آبپاشی توسط تانکر آبپاش با فشار یکنواخت انجام می‌شود. آبپاشی باید به‌نحوی انجام شود که تمام دانه‌های مصالح به‌طور یکنواخت مرطوب گردد. مقدار آب لازم برای آبپاشی بر مبنای درصد رطوبت بهینه با روش آشتو (T-180)

مشخص می‌گردد. پس از آب‌پاشی، بلافاصله غلتک‌زنی (با غلتک‌های استوانه‌ای شکل و یا غلتک‌های چرخ‌لاستیکی) انجام می‌شود. نوع و وزن غلتک‌ها باید متناسب با نوع مصالح مصرفی بوده و نباید سبب خرد شدن دانه‌های مصالح ریز غلتک گردد. برای تراکم خاک‌های ریزدانه رسی، استفاده از غلتک‌های پاچه‌بزی و چرخ‌لاستیکی و در مورد مصالح شن و خرده‌سنگ، غلتک چرخ فولادی استاتیکی توصیه می‌شود. غلتک‌زنی باید از کناره‌های راه شروع شده و به محور آن ختم شود. غلتک‌زنی در پیچ‌ها از داخل قوس شروع و به خارج قوس ختم می‌شود. برای غلتک‌زنی می‌توان از غلتک لرزشی استفاده نمود ولی قبل از استفاده از غلتک لرزشی، باید غلتک‌زنی اولیه با غلتک استوانه‌ای استاتیکی صورت گرفته و پستی و بلندی‌هایی که در اثر غلتک‌زنی در مصالح به‌وجود می‌آید، با استفاده از گریدر تنظیم شود.

۱۴-۴-۲- کنترل سطوح تمام شده

کنترل سطح تمام شده هر لایه از قشر زیراساس و اساس، قبل از پوشش با لایه بعدی به وسیله شمشه‌های فلزی ۴ متری و با توجه به نیمرخ‌های طولی و عرضی صورت می‌گیرد. اختلاف بین رقوم‌های مورد نظر و آنچه اجرا گردیده است، نباید از ۲ سانتی‌متر برای قشر زیراساس و ۱/۵ سانتی‌متر برای قشر اساس تجاوز کند و شیب‌های طولی و عرضی باید با نقشه‌ها مطابقت داشته باشند. در صورتی که شمشه ۴ متری در جهات مختلف بر روی سطح زیراساس و اساس قرار گیرد ناهمواری‌های آن به ترتیب نباید از ۲/۵ سانتی‌متر و ۱/۵ سانتی‌متر تجاوز نماید.

۱۴-۵- مشخصات فنی و روش اجرای قشر زیراساس

قشر زیراساس^۱، در محل‌هایی ساخته می‌شود که جسم راه، توان باربری لازم را ندارد. زیراساس قشری است از مصالح سنگی و مواد چسبنده با مشخصات فنی و ضخامت مشخص که بر روی بستر راه به منظور تحمل بارهای وارد شده از جانب قشر اساس^۲ قرار می‌گیرد. قشر زیراساس بر دو نوع می‌باشد:

۱- **صلب:** این نوع قشر برای جاهای خاص که زمین بستر راه خیلی سست می‌باشد، توصیه می‌گردد. این نوع زیراساس از انواع شفته آهکی و توونان یا خاک مناسب با سیمان^۳ و ماکادام ملاتی ساخته می‌شود.

۲- **انعطاف‌پذیر:** این نوع قشر در جاهایی که ضریب نشست زمین همه‌جا یکسان نیست مانند دره‌های ماهوری و کوهستانی اجرا می‌گردد. زیراساس انعطاف‌پذیر بدون این که خراب شود به خوبی از نشست بستر خود پیروی می‌کند. از انواع آن، شن و ماسه درهم، شفته قیری، شن و ماسه درهم قیراندود و ماکادام سنگی می‌باشد.

مصالح مصرفی برای قشر زیراساس، عموماً شن و ماسه رودخانه‌ای یا سنگ شکسته معدن و یا مخلوطی از آنها با مقداری مصالح ریزدانه به عنوان ماده چسبنده می‌باشد. سایر مشخصات و دانه‌بندی مصالح اساس و زیراساس در نشریه ۱۰۱ (مشخصات فنی عمومی راه) ارائه شده است.

1- Sub-Base

2- Base

3- Soil-Cement

۱۴-۵-۱- روش اجرا

قبل از اجرای قشر زیراساس، بستر باید عاری از هر گونه مواد زاید و اضافی بوده و طبق نیمرخ‌های طولی و عرضی آماده شده باشد. همچنین همواری سطح بستر با استفاده از شمشه کنترل گردیده و ناهمواری‌های آن نیز نباید از ۳ سانتی‌متر تجاوز نماید. ضخامت قشر زیراساس باید براساس مشخصات مربوط بوده و در هر حال ضخامت هر لایه پس از کوبیده شدن از ۱۵ سانتی‌متر تجاوز نکند. مصالح هر لایه به‌طور یکنواخت مخلوط و پخش می‌گردد و کلیه پستی و بلندی‌هایی که در موقع غلتک‌زنی ایجاد می‌شود باید به‌وسیله تیغه گریدر و یا اضافه کردن مقدار لازم مصالح زیراساس اصلاح شود. در صورتی که مشاهده شود عمل اختلاط در قسمتی از بستر راه به‌طور صحیح انجام نگرفته (از جمله جدا شدن مصالح ریزدانه از درشت‌دانه) باید آن قسمت از بستر راه را با برداشتن مصالح ریخته شده و ریختن مصالح مرغوب اصلاح نمود.

مقدار آب لازم برای آب‌پاشی زیراساس، بر مبنای درصد آب مناسب و با در نظر گرفتن آب موجود درون مصالح به‌دست آمده در آزمایشگاه، برای تراکم ۱۰۰ درصد به روش پروکتور استاندارد تعیین می‌شود.

آب‌پاشی نباید به نحوی انجام شود که موجبات بروز صدمه به بدنه خاکی جسم راه گردد. به این منظور روی هر مترمربع بستر راه، حدود ۱۸۵ لیتر مصالح زیراساس پهن و روی آن با شانه کلنگ گریدر، شخم زده می‌شود. سپس ۵۰ درصد آب بهینه روی آن پاشیده و چندبار آن را با تیغه گریدر برگردانده تا دانه‌های مصالح خیس شود. در ادامه سطح لایه آب‌پاشی شده هموار و مجدداً شخم زده می‌شود و روی آن ۴۰ درصد آب پاشیده و پس از چندبار برگردان کردن، صاف می‌گردد. لایه مذکور باید چندبار با غلتک ۱۰ تا ۲۰ تنی استاتیک فولادی یا چرخ‌لاستیکی (پس از پاشیدن ۱۰ درصد آب)، با غلتک لرزشی کوبیده شود. تراکم نسبی در قشر زیراساس باید معادل ۱۰۰ درصد پروکتور استاندارد باشد.

۱۴-۶- مشخصات فنی و روش اجرای قشر اساس

قشر اساس بر روی قشر زیراساس و یا بستر آماده شده به منظور تحمل بارهای وارد شده از جانب لایه رویه قرار می‌گیرد و قشری است که از مصالح سنگی و یا مخلوطی از مصالح سنگی و مواد چسبنده (قیر یا سیمان) تشکیل شده است. قشر اساس در انواع شنی و یا سنگی، ماکادامی، سیمانی، بتنی و قیری می‌باشد. دانه‌بندی و مشخصات فنی مصالح باید با استاندارد مرتبط (نشریه ۱۰۱ یا آشتو) مطابقت داشته و به تایید دستگاه نظارت برسد.

۱۴-۶-۱- روش اجرا

قشر اساس همانند قشر زیراساس ساخته می‌شود با این تفاوت که در دانه‌بندی، توان باربری مصالح، تراکم و مشخصات آن دقت بیش‌تری به‌عمل می‌آید. قشری که مصالح اساس روی آن ریخته می‌شود، باید قبل از پخش مصالح کاملاً کوبیده شده و منطبق با نیمرخ‌های طولی و عرضی نقشه‌ها باشد و در صورتی که رقوم آن با نقشه‌های اجرایی مغایرت داشته باشد باید با افزودن یا برداشتن مصالح، اصلاح شده و به تایید دستگاه نظارت برسد.

ضخامت قشر اساس باید براساس مشخصات مربوط بوده و در هر حال ضخامت هر لایه پس از کوبیده شدن از ۱۵ سانتی‌متر تجاوز نکند. تراکم نسبی در قشر اساس باید معادل ۱۰۰ درصد به روش پروکتور استاندارد باشد.

۱۴-۷- مشخصات فنی و روش اجرای اندود نفوذی (پریمکت)

به منظور غیرقابل نفوذ کردن و تحکیم سطح شنی راه (بستر روسازی راه) و همچنین به خاطر ایجاد چسبندگی بین این قشر و لایه رویی، روی قشر اساس یک لایه قیر مخلوط با گرانروی کم پخش می نمایند که آن را اندود نفوذی یا اصطلاحاً پریمکت می نامند.

انتخاب نوع قیر مخلوط برای انجام پریمکت از اهمیت خاصی برخوردار است. نفوذ قیر پریمکت در سطح راه شنی بستگی به میزان گرانروی و درجه حرارت محیط دارد، لذا انتخاب نوع قیر مخلوط باید با توجه به درجه حرارت هوا، بافت سطح راه شنی و طول زمان عمل آوری صورت پذیرد. به طور کلی در هوای سرد از قیر RC-70 و در صورت عدم دسترسی از قیر RC-250 و یا MC-30 استفاده می شود. در هوای معتدل، علاوه بر قیرهای توصیه شده در هوای سرد می توان از قیرهای MC-70 و MC-250 استفاده نمود. در شرایطی که هوا گرم باشد (بالای ۳۵ درجه سانتی گراد) علاوه بر قیرهای یاد شده می توان از قیرهای SC-70 و یا SC-250 استفاده نمود. انتخاب قیر پریمکت نباید بدون توجه به بافت سطح شنی راه انجام گردد. به عنوان مثال برای سطح راه شنی با بافت ریزدانه و متراکم باید از قیرهای مخلوط با گرانروی کم مانند RC-70 و یا MC-30 استفاده نمود و بالعکس برای سطح شنی با بافت درشت دانه می توان قیرهای با گرانروی بالاتر مانند MC-250 به کار برد.

۱۴-۷-۱- روش اجرا

قبل از اجرای پریمکت، سطح راه شنی باید از مواد زاید و گرد و غبار پاک گردد. باید از مصرف امولسیون ها در اجرای پریمکت خودداری گردد زیرا امولسیون پس از شکستن در سطح راه، ایجاد پوسته های قیری می نماید. برای گرم کردن قیر باید از وسایل قابل کنترلی که مورد تایید دستگاه نظارت باشد استفاده نمود. میزان مناسب قیر مخلوط پریمکت مقداری است که پس از ۲۴ ساعت از زمان پخش کاملاً جذب سطح راه شده باشد. به طور کلی برای سطح شنی راه که بافت آن ریزدانه با تراکم بالا باشد، مقدار قیر پریمکت ۰/۸ کیلوگرم بر مترمربع و برای سطح شنی راه که بافت آن درشت دانه^۱ باشد مقدار قیر پریمکت حدود ۲ کیلوگرم بر مترمربع مناسب است.

هرگاه محدودیت زمانی در بین نباشد و فرصت بیش از ۲۴ ساعت (زمان لازم برای جذب قیر به سطح راه) موجود باشد، می توان قیرهای با گرانروی بالاتر را جایگزین قیرهای با گرانروی کم تر نمود. قیر مخلوط باید به وسیله دستگاه قیرپاش مجهز به سرعت سنج، گرم کن و حرارت سنج، به طور یکنواخت و به مقدار تعیین شده در سطح راه پخش شود و عمل قیرپاشی باید در مواقعی انجام شود که هوا بارانی و مه آلود نبوده و سطح راه خشک و یا دارای رطوبت جزئی باشد. در موقع پخش قیر، درجه حرارت هوا در سایه، هنگامی که هوا رو به گرمی می رود بیش از ۱۰ درجه سانتی گراد و وقتی هوا رو به سردی می رود بیش از ۱۵ درجه سانتی گراد باشد. مقدار قیری که در سطح راه پخش می شود نباید از ۱۱۰ درصد مقدار مشخص شده توسط دستگاه نظارت بیش تر و از ۹۰ درصد آن کم تر باشد.

۱۴-۸- روسازی راه (آسفالت)

آسفالت، قشر رویه و بدون درز روسازی راه می‌باشد که از مخلوط‌های قیر و مصالح سنگی انتخابی، جهت پوشش و محافظت راه در مقابل عوامل جوی، غیرقابل نفوذ کردن و جلوگیری از فرسایش سطح راه، تشکیل یافته است. آسفالت بر حسب نوع و دانه‌بندی مصالح مصرفی، نوع قیر، روش حمل، ریختن، عمل آوردن و در نهایت درجه مرغوبیت دارای انواع مختلفی می‌باشد. مشخصات فنی مصالح آسفالت مصرفی باید مطابق با نشریه ۱۰۱ باشد.

۱۴-۸-۱- آسفالت گرم (بتن آسفالتی)

آسفالت گرم یا بتن آسفالتی، ترکیبی از مصالح سنگی با دانه‌بندی منظم و پیوسته و قیر خالص است که بر حسب نوع قیر و دانه‌بندی مصالح در درجه حرارت ۸۰ الی ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در کارخانه تهیه و در همین درجه حرارت در سطح راه پخش و کوبیده می‌شود. در بتن آسفالتی گرم مرغوب، حجم فضای خالی بین ۳ تا ۸ درصد است. بتن آسفالتی گرم برای قشر اساس آسفالتی، قشر آستر آسفالتی^۱ و قشر رویه آسفالتی^۲ استفاده می‌گردد.

۱۴-۸-۱-۱- مصالح مصرفی

مصالح سنگی، شامل مصالح ریزدانه و درشت‌دانه از نظر دانه‌بندی، کیفیت، روش تهیه و انبارکردن باید مشخصات فنی لازم را دارا بوده و مطابق با فصل دو این نشریه (مصالح ساختمانی، ماشین‌آلات و تجهیزات هیدرومکانیکی) باشد. قیر مصرفی باید از نوع قیرهای خالص بوده که از تقطیر مستقیم مواد نفتی تهیه می‌شوند. این قیرها باید فاقد آب و همگن بوده و در درجه حرارت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد به هیچ وجه کف نکنند. قیرهای مورد مصرف در آسفالت به دو گروه قابل تقسیم هستند:

۱- گروه قیرهای نفوذی شامل قیرهای 40-50 و 60-70 و 85-100 و 120-150 و 150-300

۲- گروه قیرهای گرانروی شامل قیرهای AC-2.50 و AC-5 و AC-10 و AC-20 و AC-40

از عوامل مهم در انتخاب نوع قیر، کیفیت و دانه‌بندی مصالح مصرفی، شرایط آب و هوایی محل اجرای پروژه و نوع بار ترافیک روی محور مورد نظر می‌باشد. به‌طور کلی قیر با گرانروی بیش‌تر (درجه نفوذ کم‌تر) برای محورهای با ترافیک سنگین و آب و هوای گرم و خشک و قیر با گرانروی کم‌تر (درجه نفوذ بیش‌تر) برای بار ترافیک سبک و آب و هوای سرد توصیه می‌شود. قیر 60-70 که تقریباً معادل قیر AC-10 است برای شرایط اقلیمی گرم و معتدل ایران مناسب است. برای دمای محیط از ۶۰ درجه سلسیوس بیش‌تر، باید قیر با گرانروی بیش‌تر؛ یعنی قیر 40-50، معادل AC-20 انتخاب شود.

درجه حرارت قیر وارد شده به مخلوط‌کن کارخانه آسفالت، در هیچ حالتی نباید از ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز نماید. به‌منظور دستیابی به آسفالت با کیفیت مرغوب باید طرح اختلاط توسط آزمایشگاه تهیه گردد. سایر مشخصات روسازی راه (آسفالت و ...)، در نشریه ۱۰۱ ارائه شده است.

1- Binder

2- Topka

۱۴-۸-۱-۲- روش اجرا

اختلاط به روش‌های مارشال (ASTM-D1559) و یا Hveem (آشتو T-110) صورت می‌گیرد که در هر دو روش، قطر حداکثر دانه‌ها ۲۵ میلی‌متر می‌باشد.

قبل از حمل و پخش آسفالت باید بستر کار از هرگونه مواد خارجی، گرد و غبار و گل‌ولای، با جاروهای مکانیکی یا هوای فشرده پاک شده و اندود نفوذی و سطحی قیری به شرح زیر اجرا شود:

آسفالت گرم باید در حداکثر زمان ۲ ساعت با کامیون حمل و با فینیشر پخش گردد. فینیشر باید بتواند مخلوط آسفالتی را به‌صورت یکنواخت در عرض، ضخامت و شیب مورد نظر پخش نماید. پخش آسفالت با گریدر تنها با رعایت کامل مشخصات فنی از نظر میخ‌کوبی، ریسمان‌کشی و غیره و توسط رانندگان مجرب و با تایید دستگاه نظارت میسر می‌باشد.

درجه حرارت پخش مخلوط آسفالتی، تابع دمای محیط اجرای کار، نوع و دانه‌بندی مصالح و نوع قیر مصرفی است. به‌طور کلی حداقل درجه حرارت مخلوط‌های آسفالتی پیوسته، هنگام پخش، ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده و در مورد آسفالت‌های با دانه‌بندی گسسته، ۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

تراکم آسفالت با غلتک‌هایی به شرح زیر صورت می‌گیرد:

– غلتک‌های فولادی که شامل غلتک‌های صاف (استاتیک) و لرزشی می‌باشند. وزن غلتک‌های دو چرخ یا سه چرخ حداقل ۸ تن و فشار وارد شده از عرض چرخ حداقل ۴۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

– وزن غلتک لرزشی حداقل ۷ تن و میزان ارتعاش باید ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ در دقیقه باشد. سرعت غلتک‌ها نباید از ۵ کیلومتر در ساعت تجاوز نماید.

– غلتک لاستیکی باید خودرو بوده و وزن آنها بین ۱۵ تا ۳۰ تن باشد. فشار باد چرخ این غلتک‌ها باید بین ۵ تا ۸/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع باشد. حتی‌الامکان باید چرخ‌ها در تمام مدت کار گرم بماند تا آسفالت به چرخ نچسبد. سرعت این غلتک‌ها نباید از ۸ کیلومتر در ساعت تجاوز نماید.

تراکم آسفالت باید بلافاصله و هم‌زمان با پخش انجام شده و در مرحله اول، کوبیدن مخلوط آسفالتی با غلتک‌های سه‌چرخ، دوچرخ و یا لرزشی انجام شود. بلافاصله در پشت سر فینیشر و با فاصله کمتر از ۵۰ متر باید غلتک سه‌چرخ با سرعت ۳ کیلومتر در ساعت و وزن ۸ الی ۱۲ تن عمل نماید. در مرحله دوم که هنوز آسفالت حالت خمیری دارد و درجه حرارت آن ۹۰ درجه سلسیوس می‌باشد، غلتک‌زنی توسط غلتک چرخ لاستیکی یا لرزشی صورت می‌پذیرد. غلتک‌زنی در مرحله نهایی به عنوان عمل کمکی و برای محو آثار ناشی از چرخ غلتک‌های مراحل پیشین صورت می‌گیرد. غلتک‌زنی تا حصول تراکم حداقل ۹۷ درصد نمونه آزمایشگاهی مارشال باید انجام گیرد. عبور و مرور پس از گذشت حداقل ۳ ساعت از خاتمه زمان پخش آسفالت و یا کاهش درجه حرارت آسفالت از ۴۰ درجه سانتی‌گراد مجاز خواهد بود. برای جزییات بیش‌تر در روش‌های اجرای راه‌سازی می‌توان به نشریه ۱۰۱ مراجعه نمود.

۱۴-۸-۲- آسفالت سطحی

آسفالت سطحی، یک لایه نازک و کم هزینه رویه آسفالتی است که معمولاً برای میزان آمد و شد کمتر از ۳۰۰ وسیله نقلیه در روز به‌کار می‌رود. برای ساخت آسفالت سطحی ابتدا قیر لازم به مقدار کافی بر روی سطح آماده شده راه، پخش گردیده و سپس بر روی آن

به میزان لازم مصالح سنگی پخش می‌شود. تراکم این لایه با غلتک‌زدن صورت گرفته به نحوی که تا حدود دوسوم قطر دانه‌ها در قیر فرو رود. ضخامت این لایه کم‌تر از ۲/۵ سانتی‌متر بوده و مصالح سنگی از نوع شکسته و تمیز می‌باشد. مقدار مصالح براساس نوع دانه‌بندی (نشریه ۱۰۱ یا آشتو) از ۶ تا ۲۸ کیلوگرم در مترمربع و مقدار قیر از ۰/۵ تا ۲/۳ کیلوگرم در مترمربع متغیر است.

۱۴-۸-۳- آسفالت سرد

آسفالت سرد، به مخلوطی از مصالح سنگی و قیر مخلوط یا امولسیون قیری گفته می‌شود، که عمل اختلاط قیر و مصالح سنگی در حرارت محیط انجام می‌شود. در بعضی مواقع ممکن است فقط نیاز به گرم کردن قیر باشد ولی مصالح حرارت داده نمی‌شوند. تهیه آسفالت سرد به دو طریق پیش‌ساخته و ردمیکس صورت می‌گیرد. در روش پیش‌ساخته، مصالح سنگی و قیر در حرارت محیط و در کارخانه آسفالت مخلوط می‌شوند و در روش ردمیکس^۱، مصالح سنگی در کنار راه ریسه شده و روی مصالح قیر پاشیده می‌شود و سپس در سطح راه عمل اختلاط انجام می‌گردد.

قبل از پخش آسفالت سرد باید سطح راه از گرد و خاک تمیز شده و پریمکت سطح راه طبق مشخصات انجام شده باشد. مصالح سنگی مصرفی باید از نوع مصالح سنگی مرغوب و تمیز بوده و از شن و ماسه شکسته یا سنگ کوهی سخت و مقاوم باشند. دانه‌بندی مصالح سنگی و ویژگی‌های آن و همچنین نوع و درجه حرارت اختلاط قیر مصرفی باید براساس مشخصات فنی باشد. باید از مصرف قیرهای RC که کاربرد آن خطرهای زیادی دارد خودداری شود.

ضخامت لایه آسفالتی حداکثر ۷/۵ سانتی‌متر بوده و در صورت پخش با گریدر، حداقل ضخامت ۶ سانتی‌متر و در صورت پخش با فینشر حداقل ۴ سانتی‌متر است. حمل آسفالت سرد با کامیون کمپرسی انجام می‌شود. تراکم لایه‌ها بلافاصله بعد از پخش باید ابتدا با غلتک چرخ‌آهنی دوچرخ، سپس با چرخ‌آهنی سه‌چرخ و در پایان با غلتک چرخ لاستیکی یا غلتک ویبره انجام شود. لایه‌ها باید به صورت یکنواخت و بدون ناهمواری باشند. میزان رواداری ناهمواری‌ها در طول شمشه ۳ متری نباید در امتداد محور مسیر از ۵ میلی‌متر و در امتداد عمود بر محور از ۸ میلی‌متر تجاوز نماید. پخش آسفالت سرد در درجه حرارت محیط کم‌تر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد، مجاز نیست.

۱۴-۹- کنترل مشخصات فنی مصالح اجرا

کنترل و بازرسی مشخصات مصالح و روش‌های اجرایی راه‌سازی اعم از مشخصات مسیر، خاک‌برداری و خاکریزی‌های مسیر، زیراساس، اساس و روسازی راه باید براساس مشخصات فنی مندرج در نشریه ۱۰۱ بوده و آزمایش‌های مرتبط، براساس استانداردهای معتبر و شامل موارد زیر می‌باشد:

- تعیین جنس و مشخصات خاک‌های موجود در مسیر راه و یا مجاورت آن
- تعیین محل و عمق آب‌های زیرزمینی موجود در مسیر راه و یا در مناطق مجاور آن
- تعیین محل و جنس مصالح مناسب برای به‌کار بردن در خاکریزها، زیراساس، اساس و آسفالت
- تعیین نوع مواد تثبیت‌کننده مناسب برای خاک‌های سست

- تعیین گروه و طبقه‌بندی مصالح جسم راه به روش آشتو
- تعیین حداکثر وزن مخصوص خشک مصالح برای جسم راه
- دانه‌بندی مصالح قشر زیراساس و قشر اساس
- تعیین درصد ریزدانه عبوری از الک شماره ۲۰۰ مصالح قشر زیراساس و قشر اساس
- کنترل مقدار دانه‌های ریز از نظر تاثیر یخبندان در مصالح قشر زیراساس
- تعیین حد روانی دانه‌های عبوری از الک شماره ۴۰ و ضریب خمیری آن برای قشر زیراساس و قشر اساس
- تعیین ضریب هم ارز ماسه قشر زیراساس و قشر اساس
- تعیین درصد ساییدگی بر روی مصالح درشت دانه قشر زیراساس و قشر اساس
- تحمل بار اشباع شده مصالح برای قشر زیراساس و قشر اساس
- تعیین درصد مصالح شکسته شده در یک جبهه برای قشر اساس
- تعیین درصد افت وزنی مصالح با سولفات سدیم برای قشر اساس
- تعیین دانه‌بندی مصالح آسفالت سرد و دانه‌بندی مصالح درشت‌دانه، ریزدانه و فیلر به‌طور مجزا برای مصالح سنگی آسفالت گرم
- تعیین دامنه خمیری مصالح مانده روی الک نمره ۴۰ مصالح سنگی انواع آسفالت
- تعیین وزن مخصوص و جذب آب مصالح سنگی انواع آسفالت
- تعیین درصد مصالح شکسته شده در یک جبهه برای مصالح سنگی مانده روی الک نمره ۴ انواع آسفالت
- تعیین ارزش ماسه‌ای و افت وزنی برای مصالح آسفالت
- تعیین ضریب سایش برای مصالح آسفالت و مقاومت مصالح سنگی در مقابل عوامل جوی
- تعیین ضریب تورق و تطویل برای دانه‌ها در مصالح آسفالت
- تعیین ضریب نرمی ماسه و حداکثر درصد وزنی ماسه طبیعی مصرفی در مصالح قشرهای آستر و رویه آسفالت گرم
- تعیین وزن مخصوص فیلر
- تعیین روش نگهداری و انبار نمودن مصالح سنگی آسفالتی گرم
- تعیین نوع و مقدار قیر مصرفی در انواع آسفالت
- انجام آزمایش چسبندگی قیر به مصالح برای قشرهای آستر و رویه آسفالت گرم
- تعیین طرح اختلاط مصالح آسفالت
- تعیین شرایط و مشخصات کارخانه آسفالت و بازرسی آن
- تعیین درجه حرارت پخش آسفالت براساس دانه‌بندی مصالح، دمای سطح راه و ضخامت مخلوط آسفالتی
- تعیین وزن مخصوص حداکثر مخلوط آسفالتی
- تعیین چگالی مخلوط آسفالتی کوبیده شده سطح راه
- تعیین نوع، مقدار و درجه حرارت قیراندود نفوذی و اندود سطحی

فصل ۱۵

بهره‌برداری و نگهداری

۱۵-۱- کلیات

هدف از تهیه این قسمت از نشریه، بالا بردن آگاهی برای برطرف نمودن خسارت‌هایی است که به علت عدم بهره‌برداری صحیح و مناسب از تاسیسات آبی به وجود آمده و در نتیجه موجب اتلاف سرمایه و منابع ملی کشور خواهد شد. به این منظور فهرست کنترلی اجزای کارهای مهندسی رودخانه در زمان تحویل موقت به شرح زیر ارائه می‌گردد:

۱۵-۲- فهرست کنترلی اجزای کارهای مهندسی رودخانه در زمان تحویل موقت

۱۵-۲-۱- کنترل خاکریزها

- ۱- وجود آبستتگی در سطوح شیب‌دار خارجی خاکریز
- ۲- رگلاژ کامل سطوح خاکریزی
- ۳- وجود ترک خوردگی عمیق طولی و عرضی در سطوح و بدنه خاکریزها
- ۴- کنترل نظری شیب نهایی سطوح خاکریزی
- ۵- کنترل نشت از بدنه خاکریزی به خصوص در پاشنه خاکریز
- ۶- کنترل سطح بالای خاکریزی
- ۷- وجود فرسایش ناشی از جریان هرزاب‌ها در پاشنه خاکریزها
- ۸- موقعیت درست خاک‌های مازاد^۱ نسبت به سطوح خاکریزی
- ۹- وجود ترک در خاکریز روی سازه‌ها
- ۱۰- کنترل حفاظت بدنه خاکریزها
- ۱۱- خاک‌برداری کامل خاکریزهای دایک‌های انحراف آب
- ۱۲- کنترل خاکریزی کامل کانال انحراف آب و مسدود نمودن آن
- ۱۳- کنترل خاکریزهای اجرا شده در سکوها
- ۱۴- کنترل خاکریزهای پشت دیوار حایل

۱۵-۲-۲- کنترل خاک‌برداری‌ها

- ۱- ترمیم کامل سطوح خاک‌برداری در سواحل رودخانه، در بالادست و پایین‌دست سازه‌ها
- ۲- تراکم کافی سطوح نهایی
- ۳- تثبیت سطوح فرسایش‌پذیر در سواحل رودخانه
- ۴- کفایت جویچه پاشنه سطح خاک‌برداری و جهت تخلیه آن
- ۵- وجود نشت از پاشنه ترانشه و دفع صحیح آن در ترانشه‌ها و سواحل رودخانه

- ۶- وجود فرسایش در پاشنه ترانشه سواحل رودخانه
- ۷- وجود فرسایش ناشی از بارندگی در بدنه ترانشه سواحل رودخانه
- ۸- وجود شواهدی دال بر امکان لغزش بخشی از بدنه ترانشه سواحل رودخانه در اثر وجود حالت اشباع یا ترک‌های ناشی از گسیختگی
- ۹- خاک‌برداری کامل کف رودخانه در پایین‌دست حوضچه آرامش
- ۱۰- خاک‌برداری و رگلاژ کف رودخانه در بالادست سازه
- ۱۱- خاک‌برداری و رگلاژ سطوح کانال هدایت آب به سمت آبگیرها
- ۱۲- خاک‌برداری و انحراف آب به مسیر طبیعی رودخانه در بالادست و پایین‌دست
- ۱۳- خاک‌برداری و پاک‌سازی پشت سازه سرریز از نخاله‌های اجرایی
- ۱۴- پاک‌سازی کف حوضچه آرامش و سازه‌های تخلیه رسوب‌ها و تخلیه ماسه از رسوب‌های احتمالی

۱۵-۲-۳- کنترل تاسیسات حفاظتی و ایمنی

- ۱- اطمینان از عملکرد دریچه‌های تخلیه اضطراری
- ۲- نصب نردبان‌ها و پله‌های ایمنی در مسیر آدم‌روها و دریچه‌های بازدید
- ۳- نصب حفاظ در اطراف دیوارهای حایل اطراف آبگیرها و سایر سازه‌ها
- ۴- نصب و رنگ‌آمیزی کامل نرده‌ها و توری‌های حفاظتی
- ۵- نصب علائم هشداردهنده در محل سازه‌های خطرناک
- ۶- کنترل حفاظت خاکریزها و سواحل رودخانه در بالادست و پایین‌دست
- ۷- کنترل حفاظت کف رودخانه در پایین‌دست
- ۸- کنترل حفاظت پشت سرریز
- ۹- کنترل حفاظت‌های انجام شده در طرفین سازه فیوزپلاگ
- ۱۰- کنترل و پاک‌سازی ورودی مجاری رسوب‌بر و آشغالگیرها
- ۱۱- کنترل خروجی سوراخ‌های زهکشی^۱ در کف حوضچه آرامش

۱۵-۲-۳-۱- کنترل جاده سرویس‌ها

- ۱- شیب عرضی و زهکشی سطحی جاده‌های دسترسی
- ۲- فواصل پارکینگ‌ها و رمپ‌های ورود و خروج به جاده در محل سکوها
- ۳- شیب رمپ‌های ورودی و خروجی و شن‌ریزی آنها (در محل دسترسی به کف رودخانه)
- ۴- عدم تجمع آب در طول جاده در مقاطع خاکریزی و خاک‌برداری
- ۵- شیب‌بندی جویچه کنار جاده و تخلیه صحیح آن به سامانه زهکشی

۶- نصب علائم هشدار دهنده در محل اتصال جاده‌های دسترسی به جاده‌های اصلی

۱۵-۲-۴- کنترل بتن

- ۱- وجود ترک در مواد آب‌بندی و چسبندگی آنها به کناره‌های درزهای انقباض و انبساط
- ۲- پر نمودن محل بولت‌ها و خروج بولت‌ها و نگهدارنده‌های قالب از سازه‌های بتن
- ۳- وجود ترک‌های طولی و عرضی غیرمجاز
- ۴- وجود پوکی ظاهری در محل درزها
- ۵- کامل بودن آب‌بندی درزها
- ۶- کفایت ارتفاع پوشش بتنی برای عبور جریان آب در شرایط حداکثر جریان بدون پس‌زدگی آب
- ۷- صیقلی بودن سطوح و ماله‌کشی
- ۸- عملکرد درست دریچه‌های یک‌طرفه
- ۹- تخلیه صحیح خروجی لوله‌های زیر پوشش حوضچه آرامش و دیوارهای حایل
- ۱۰- عدم بازشدگی درزهای طولی و عرضی به واسطه نشست
- ۱۱- پاک‌سازی و رویش نهایی داخل مجاری تخلیه رسوب‌ها و تخلیه‌کننده‌ها
- ۱۲- نشست و جابجایی بلوک‌های بتن‌ریزی
- ۱۳- صیقلی بودن سطوح هیدرولیکی
- ۱۴- قابلیت مانور دریچه‌ها و بتن‌های ثانویه آن
- ۱۵- کنترل بتن و موانع موجود احتمالی در محل‌هایی که سرعت آب بسیار زیاد می‌باشد
- ۱۶- وجود پوکی بتن در پایه‌ها و دال‌های شیب‌ها

۱۵-۲-۵- کنترل تجهیزات هیدرومکانیکال و تاسیسات برقی

- ۱- دریچه‌ها و آشغالگیرها
- ۲- جرثقیل‌ها و راه‌اندازی آنها
- ۳- آب‌بندی دریچه‌ها و آب‌بندها
- ۴- انبار آب‌بندها

۱۵-۳- نگهداری در دوره تضمین

در این قسمت وظایف پیمانکار و نحوه همکاری دستگاه نظارت و کارفرما در دوره تضمین شرح داده می‌شود.

نگهداری و مراقبت از تاسیسات، بررسی طغیان‌ها و بازدید از کلیه قسمت‌های عمده کارهای مهندسی رودخانه و تاسیسات جنبی پس از طغیان، تهیه دستورالعمل‌های مختلف، برنامه‌های عملیاتی و غیره از موارد عمده وظایف پیمانکار می‌باشد که با همکاری دستگاه نظارت و کارفرما انجام می‌پذیرد.

عناوینی مثل کارفرما، دستگاه نظارت، پیمانکار، تحویل موقت، تحویل قطعی، رفع نواقص، دوره تضمین، صورت وضعیت قطعی و غیره که در این فصل ذکر می‌شود، عیناً بر تعاریف مندرج در شرایط عمومی پیمان منطبق می‌باشد.

۱۵-۳-۱- مسوولیت‌ها و وظایف پیمانکار

مسوولیت‌ها و وظایف پیمانکار در دوره تضمین عبارت است از:

- رفع نواقص مندرج در صورت‌جلسه تحویل موقت و رفع اشکال‌ها در سامانه‌های اندازه‌گیری

پیمانکار موظف است در دوره تضمین موارد زیر را انجام دهد:

- تعمیر و ترمیم قسمت‌هایی که در صورت‌جلسه تحویل موقت به عهده پیمانکار گذاشته شده است.
- جایگزین نمودن قطعه‌ها و قسمت‌های معیوب، به همان نحو که در صورت‌جلسه تحویل موقت قید گردیده است.
- رفع اشکال‌ها و نواقص و در صورت لزوم جایگزین نمودن اتصال‌ها و قطعه‌های ابزارهای اندازه‌گیری دقیق، طبق مفاد صورت‌جلسه تحویل موقت
- رعایت مدت تعیین شده در صورت‌جلسه تحویل موقت برای کلیه کارهای پیش‌بینی شده
- اعلام انجام موارد رفع نقص به دستگاه نظارت و کارفرما و پیگیری مراحل بازدید مجدد و اخذ گواهی رفع نقص

- نگهداری کارهای موضوع پیمان در دوره تضمین

وظایف پیمانکار در خصوص نگهداری کارهای موضوع پیمان عبارت است از:

- تعمیر و جایگزین کردن قطعه‌های معیوب دستگاه‌های برقی و مکانیکی و همچنین رفع نقص از کلیه ساختمان‌ها و تاسیسات تحویل شده به کارفرما در دوره تضمین
- نگهداری، مراقبت و کنترل عملکرد تاسیسات و تجهیزات مختلف نظیر دریچه‌ها، آشغالگیرها، جرثقیل‌ها و غیره در طول دوره تضمین و گزارش هر نوع نارسایی به دستگاه نظارت و ارائه پیشنهادها و راه‌حل‌های لازم جهت رفع این اشکال‌ها (این گزارش‌ها پس از بررسی دستگاه نظارت برای کارفرما ارسال خواهد شد)
- رفع نواقص و اشکال‌های ایجاد شده مندرج در فوق، بلافاصله پس از صدور دستورالعمل‌های دستگاه نظارت و اعلام انجام آن جهت بررسی و بازدید به دستگاه نظارت
- بازدید مستمر از سرریزها، تاسیسات و تجهیزات مربوط به آن، بررسی وضعیت تراوش‌ها به‌ویژه پس از هر طغیان و ارائه گزارش‌ها و پیشنهادها لازم به دستگاه نظارت و کارفرما
- تهیه دستورالعمل‌های نحوه کار و نگهداری دستگاه‌ها و تاسیسات مختلف و ارائه آن به کارفرما

- برچیدن موانع و جمع‌آوری و خارج کردن هر نوع قطعه‌های اضافی و یا خرد و ریزه‌هایی که در اثر عملیات تعمیر و نگهداری ایجاد می‌گردد.

- تهیه نقشه‌های چون ساخت با همکاری دستگاه نظارت

پیمانکار باید فعالیت‌های زیر را برای تهیه نقشه‌های چون ساخت انجام دهد:

- جمع‌آوری اسناد، مدارک، دستورکارها و صورتجلسه‌ها، تغییرهای ضمن کار و همچنین کارهای انجام شده در دوره تضمین، درج تغییرها روی نقشه‌ها و ارسال آنها برای دستگاه نظارت جهت تایید و تهیه آلبوم کامل نقشه‌های چون ساخت که مورد تایید دستگاه نظارت قرار گرفته است. این نقشه‌ها که باید برای کارهای سیویل، معماری، تاسیسات برقی و مکانیکی، تجهیزات هیدرومکانیک و هیدروالکتریک و غیره به تفکیک تهیه می‌گردد در تهیه متره‌های قطعی برای صورت وضعیت قطعی و همچنین در دوره بهره‌برداری مورد استفاده قرار خواهد گرفت.
- تهیه و ارائه گزارش‌های فنی شامل محاسبه‌های عملیات مربوط به تغییرهای ضمن کار که منجر به تهیه نقشه‌های جدید چون ساخت شده است. این گزارش‌ها باید مورد تایید دستگاه نظارت قرار گرفته باشد.
- ارائه آلبوم عکس‌های تهیه شده از روند عملیات اجرایی قسمت‌های مختلف طرح

- حضور مستمر کارشناسان و متخصصان رشته‌های مختلف پیمانکار در کلیه مراحل آزمایش‌ها و ایجاد امکانات و تسهیلات و تهیه وسایل لازم برای انجام آزمایش

در این خصوص نکات زیر باید از سوی پیمانکار در دوره تضمین رعایت شود:

- حضور و در دسترس بودن رئیس کارگاه و نمایندگان تام‌الاختیار پیمانکار در تمام دوره تضمین
- درخواست مجوزهای لازم از کارفرما برای حضور کارشناسان و نمایندگان خارجی سازنده‌ها، در صورت لزوم و همکاری با کارفرما در این مورد
- درخواست مجوزهای لازم از مراجع قانونی و محلی و ایجاد هماهنگی با ارگان‌های دولتی از طریق کارفرما برای عبور از تاسیسات خاص
- انجام کلیه کارها و تهیه لوازم مورد نیاز آزمایش‌ها که طبق دستور مهندس ناظر و کارفرما اعلام می‌گردد
- ارسال نتایج آزمایش‌ها به دستگاه نظارت و کارفرما
- اعلام ضرورت انجام بعضی از آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها به دستگاه نظارت و تهیه وسایل و ابزار لازم و انجام آزمایش‌ها، پس از موافقت دستگاه نظارت و کارفرما

– تهیه و تحویل قطعه‌های یدکی دستگاه‌ها و تجهیزات (که در دوران ۵ ساله اول بهره‌برداری مورد نیاز می‌باشد) به نمایندگان معرفی شده کارفرما

پیمانکار موظف است علاوه بر تهیه و تحویل قطعه‌های یدکی مورد نیاز هر یک از دستگاه‌ها و تجهیزات به تفکیک، به همراه لیست کامل قطعه‌ها، نقشه‌ها و دستورالعمل‌های نصب و جایگزینی قطعه‌ها (که در دوره ۵ ساله نخست بهره‌برداری مورد نیاز می‌باشد)، به نمایندگان کارفرما، موارد زیر را نیز انجام دهد:

- تهیه دستورالعمل‌های نحوه بهره‌برداری و تعمیر دستگاه‌ها، با کمک سازنده‌ها و دستگاه نظارت و تحویل آنها به نمایندگان معرفی شده کارفرما
- آموزش کارکنان معرفی شده کارفرما جهت بهره‌برداری درست از تاسیسات، تعمیرات و جایگزینی قطعه‌های تعویض شده با همکاری دستگاه نظارت
- تهیه دستورالعمل‌های ایمنی و هشدار دهنده به همراه تصاویر و تابلوهای لازم و تحویل آنها به نمایندگان معرفی شده کارفرما
- اخذ کلیه دستورالعمل‌های راهبری، نگهداری و تعمیرات از سازنده‌ها، ترجمه و تدوین آنها با همکاری دستگاه نظارت و تحویل آنها به کارفرما برای استفاده در دوره بهره‌برداری

– آماده‌سازی کلیه کارهای مربوط به ساخت و نگهداری و تاسیسات جنبی برای تحویل قطعی

رعایت موارد زیر از سوی پیمانکار ضروری است:

- تمیز و آماده نگه‌داشتن کلیه معابر، راه‌های ارتباطی، سکوها و غیره به‌منظور بازرسی عملیات برای تحویل قطعی
- ارائه کلیه مدارک و نتایج کارها و آزمایش‌های انجام شده به دستگاه نظارت و کارفرما
- ارائه نتایج و گزارش تحلیلی قرائت‌های دوره‌ای ابزارهای اندازه‌گیری به دستگاه نظارت و کارفرما
- ارائه کلیه نقشه‌ها و جزییات تغییر یافته در دوره تضمین به همان نحوی که انجام شده است
- ارائه گزارش‌های تحلیلی از رویدادها و اتفاقات در طول دوره تضمین، نظیر سیل، زلزله و ...، به همراه عکس‌ها و فیلم‌های آنها و سایر مستندها به دستگاه نظارت و کارفرما
- برچیدن کلیه تاسیسات، ماشین‌آلات و لوازم متعلق به پیمانکار و حمل آنها به خارج از محل کارگاه با اخذ اجازه از کارفرما
- حمل و خارج نمودن کلیه مواد و مصالح باقی‌مانده در کارگاه (که مورد نیاز کارفرما نمی‌باشد)، با اخذ اجازه از کارفرما
- به حالت اولیه برگرداندن کلیه زمین‌ها و اماکنی که جهت اجرای عملیات مورد پیمان در اختیار پیمانکار گذاشته شده است.
- عودت کلیه تاسیسات و ماشین‌آلاتی که به‌منظور اجرای عملیات توسط کارفرما در اختیار پیمانکار قرار گرفته است، به کارفرما (این تاسیسات و ماشین‌آلات باید بدون نقص بوده و پس از انجام تعمیرهای لازم به کارفرما تحویل گردد)
- تخریب و برچیدن ساختمان‌های موقت و پیش‌ساخته و حمل آنها به خارج از کارگاه با اخذ اجازه از کارفرما و با هماهنگی دستگاه نظارت و تسطیح و تمیز کردن محل آنها

- درخواست تحویل قطعی در پایان دوره تضمین و شرکت فعال در کلیه مراحل آن

موارد زیر در مورد تحویل قطعی موضوع پیمان باید از جانب پیمانکار رعایت شود:

- درخواست تحویل قطعی عملیات موضوع پیمان از کارفرما، در پایان دوره تضمین و پس از انجام کلیه کارهایی که طبق مفاد پیمان و دستور کارهای داده شده بر عهده پیمانکار می‌باشد
- تعیین و معرفی کارشناسان و متخصصان مورد نیاز در مراحل تحویل قطعی
- هماهنگی لازم با کارفرما و دستگاه نظارت جهت تعیین تاریخ تحویل قطعی و فراهم کردن مقدمات آن
- حضور فعال پیمانکار به همراه کارشناسان و متخصصان در کلیه مراحل بررسی عملیات مورد پیمان، طی مراحل تحویل قطعی به منظور راهنمایی‌های لازم و پاسخ به پرسش‌های اعضای کمیسیون تحویل قطعی
- فراهم نمودن کلیه عوامل و وسایل و ابزار لازم برای انجام بررسی و قطع و وصل و راه‌اندازی دستگاه‌ها و سامانه‌هایی که جهت تحویل قطعی، مورد نیاز اعضای کمیسیون تحویل باشد

- همکاری با دستگاه نظارت در تهیه و تنظیم صورت وضعیت قطعی

برای تهیه صورت وضعیت قطعی، پیمانکار باید همکاری‌های مندرج در این بند از مشخصات فنی عمومی را که حداقل همکاری‌هایی است که باید صورت گیرد، با دستگاه نظارت انجام دهد:

- تهیه و ارائه کلیه مدارک، مستندات، نقشه‌ها و دستور کارها و صورت‌مجلس ابلاغ شده جهت تنظیم صورت وضعیت قطعی به دستگاه نظارت
- شرکت در کلیه مراحل اندازه‌گیری کارهای انجام شده، محاسبه‌های متره و برآورد نهایی کارها و انجام کلیه همکاری‌های لازم با دستگاه نظارت
- رعایت کامل مفاد شرایط عمومی پیمان در مورد مدت و نحوه تهیه صورت وضعیت قطعی
- رعایت کامل مفاد شرایط ویژه پیمان در مورد تهیه صورت وضعیت قطعی
- پیگیری و انجام تنظیم و تکثیر اوراق متره و سایر اوراق خلاصه متره مالی صورت وضعیت قطعی با همکاری دستگاه نظارت جهت ارسال برای کارفرما
- پیگیری مراحل بررسی و تصویب صورت وضعیت قطعی توسط کارفرما و اخذ تسویه حساب نهایی از کارفرما

۱۵-۴- دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری از سازه‌های اصلی

۱۵-۴-۱- مدارک و اطلاعات مورد نیاز

در این خصوص باید یک دوره از کلیه نقشه‌های اجرا شده که مهندسان مشاور در اختیار دستگاه بهره‌برداری قرار می‌دهند در دسترس باشد. همچنین باید گزارش‌های اجرایی طرح و اطلاعات و مدارک قابل استفاده، همراه با دستورالعمل‌های بهره‌برداری مربوط فراهم باشد.

۱۵-۴-۲- بررسی و تنظیم جریان آب

- استفاده از حداقل یک نفر آشنا به امور بهره‌برداری و نگهداری (اولویت با فردی خواهد بود که قبلاً در احداث تاسیسات همکاری داشته و با مسایل آشنا باشد)
- نصب وسایل و لوازم اندازه‌گیری مناسب و دقیق به‌منظور بررسی و تنظیم آب در بالادست و پایین‌دست
- برای آبیگری باید براساس نیازهای آبی و مقدار آب قابل تحویل، ضمن هماهنگی با مدیریت سد مخزنی (در صورت وجود)، قبلاً برنامه‌ریزی لازم انجام گیرد. بدیهی است در این برنامه‌ریزی باید آب مورد نیاز سایر مصارف (براساس شرایط طراحی، وضع موجود و نحوه تخصیص آب برای مصارف مختلف) مورد توجه قرار گیرد
- تنظیم رقوم ارتفاعی مهم براساس ضوابط طراحی شده نظیر تراز سطح آب در کانال، حداکثر تراز سطح آب در سراب و پایاب سازه و تاثیرات در بهره‌برداری
- حداقل و حداکثر مقدار آب مورد نیاز در مقاطع مختلف زمانی مشخص و همراه با برنامه تامین آب روزانه شبکه در اختیار اپراتور قرار گیرد تا بر حسب تغییرهای احتمالی در مقدار جریان آب رودخانه و براساس دستورالعمل‌هایی که برای این‌گونه موارد تهیه می‌شود، اقدام‌های لازم به‌عمل آید.
- نحوه آبیگری و تنظیم جریان با توجه به میزان مواد معلق موجود در آب و سامانه شبکه توزیع آب، مورد توجه و دقت مستمر قرار گیرد.
- عوامل آلوده کننده آب و منشا آنها مشخص شود و به‌طور مستمر مورد بررسی کامل قرار گیرد.
- به هنگام وقوع سیلاب‌ها، اپراتور تاسیسات باید از دستورالعمل‌های خاصی که در اختیار خواهد داشت، استفاده نماید.
- پدیده‌های رژیم رودخانه‌ای و عوارض ناشی از وقوع سیلاب‌ها بررسی و ثبت گردد.
- بهره‌برداری از معادن شن و ماسه در طول مسیر رودخانه باید مورد کنترل مستمر قرار گیرد و از انجام دادن هرگونه برداشت غیرمجاز شن و ماسه در محدوده سازه‌های مهندسی رودخانه که منجر به بروز خسارت به تاسیسات و محیط زیست گردد، جلوگیری به‌عمل آید.
- بازدید از بدنه سازه‌های مهندسی رودخانه به لحاظ نشست‌های موضعی احتمالی و همچنین دایک‌های حفاظتی در محدوده تاسیسات آبیگری به صورت دوره‌ای و به‌خصوص بعد از وقوع هر سیلاب

۱۵-۴-۳- تعمیرات و سرویس

- انجام برنامه تعمیرات حتی‌المقدور براساس برنامه زمان‌بندی مصوب
- مانور و سرویس کامل دریچه‌ها در ابتدای هر فصل آبی
- رنگ‌آمیزی دریچه‌ها و کلیه ادوات فلزی در پایان هر دوره بهره‌برداری
- بررسی و کنترل ظرفیت دریچه‌های آبیگری و چگونگی عملکرد دریچه تخلیه رسوب در ابتدای هر فصل آبی

۱۵-۴-۴- تخلیه رسوب و تعیین میزان آبشستگی

- در ابتدای هر دوره بهره‌برداری باید رسوب‌های پشت دریچه‌ها تخلیه شود. همچنین اجسام شناور در آب نظیر تنه درختان جمع‌آوری و به خارج از محدوده منتقل گردد.
- تخلیه رسوب‌ها برحسب ظرفیت و ابعاد آن با یکی از روش‌های استفاده از انرژی آب (عملیات شاس)، استفاده از تجهیزات مکانیکی نظیر لودر یا قایق‌های مخصوص لایروبی و به‌صورت دستی در حوضچه‌های کوچک انجام می‌شود.
- سازه‌ها و تاسیسات پایاب آنها نظیر حوضچه آرامش به لحاظ آبشستگی، نشست و غیره، در پایان هر دوره بهره‌برداری و همچنین بعد از وقوع هر سیلاب باید مورد بررسی و دقت کامل قرار گیرد.
- در سدهای انحرافی تنظیمی، مدت زمان و چگونگی تخلیه آب پشت سد در حالت اضطراری مورد بررسی کامل قرار گیرد و براساس دستورالعمل‌های ارائه شده، انجام شود. به‌طور کلی می‌توان گفت که تخلیه آب باید به‌صورت تدریجی و حداکثر ۳۰ سانتی‌متر در شبانه‌روز انجام گیرد.

فصل ۱۶

حفاظت و ایمنی

۱۶-۱- کلیات

این فصل از مشخصات فنی، شامل الزام هایی است که تحت شرایط عمومی پیمان باید توسط پیمانکار در مورد تامین حفاظت و ایمنی رعایت شود.

علاوه بر استانداردهایی که در این قسمت ذکر شده اند، روش ها و ابزار تامین ایمنی پیمانکار باید بر قوانین، مقررات، آیین نامه ها و استانداردهای مربوط به ایمنی، بهداشت کار و محیط زیست که در سطح کشور یا منطقه طرح لازم الاجرا هستند، منطبق باشد. در مواردی که بین این مشخصات و چنین قوانین و مقرراتی مغایرتی وجود داشته باشد، رعایت قوانین مملکتی اولویت دارد و در صورتی که مندرج های این مشخصات سختگیرانه تر باشد، علاوه بر تطبیق با قوانین مملکتی، باید روش ها و وسایل مندرج در این قسمت نیز به کار گرفته شوند. پیمانکار باید مفاد استاندارد Construction Safety Standards از نشریه های USBR را کاملاً رعایت نماید. (در این فصل از مشخصات فنی عمومی به دلیل تکرار ارجاع به این استاندارد، به طور خلاصه عنوان این استاندارد USBR: CSS نامیده شده است).

۱۶-۲- مسوولیت های پیمانکار

مسوولیت تطابق تمام فعالیت ها و تجهیزات و وسایل در کارگاه با مطالب این قسمت و استانداردهای مذکور در آن، بر عهده پیمانکار خواهد بود. این مسوولیت شامل تمام مواردی است که توسط پیمانکار اصلی یا پیمانکاران دست دوم و یا تولیدکنندگان دیگر، اجرا، راه اندازی، نگهداری و یا ساخته می شود.

هیچ یک از کارکنان پیمانکار، پیمانکاران دست دوم و تولیدکنندگان طرف قرارداد پیمانکار اصلی، نباید تحت شرایط غیربهداشتی و مضر یا خطرناک به شرح مندرج در این قسمت و استانداردهای مرجع آن کار کنند. مندرج های این مشخصات و کاستی های احتمالی آن از مسوولیت پیمانکار برای تامین ایمنی و بهداشت کارکنان نمی کاهد.

انتقال، نگهداری و دورریزی مواد سمی از هر نوع، باید به گونه ای انجام شود که موجب آلودگی محیط زیست، مخازن آب، رودخانه ها، دریاچه ها، نهرها و هوای محیط نشود. دفع تمام این گونه مواد مانند زباله، فاضلاب و نظایر آن، باید منطبق بر استانداردها و قوانین مملکتی باشد.

۱۶-۳- تغییر در مشخصات

در صورتی که تحت شرایط خاصی مندرج های این فصل از مشخصات فنی قابل اجرا نباشد، تغییر در مشخصات از مسوولیت های دستگاه نظارت خواهد بود. این تغییرهای احتمالی پس از درخواست پیمانکار، مورد بررسی دستگاه نظارت قرار خواهد گرفت. درخواست پیمانکار باید حاوی توجیه لزوم این تغییرها، روش پیمانکار برای تامین سلامت و امنیت کارکنان کارگاه و استاندارد مرجع پیمانکار باشد. تنها روش هایی مورد تایید دستگاه نظارت خواهد بود که روش پیشنهادی در آنها برای تامین سلامت و امنیت کارکنان، با مطالب این قسمت و قوانین کشوری مغایرتی نداشته باشد. تا زمانی که تایید کتبی دستگاه نظارت صادر نشده باشد، هیچ تغییری در روش های حفاظت و ایمنی کارگاه، قابل اجرا نخواهد بود.

۱۶-۴- برنامه حفاظت و ایمنی

پیش از آغاز عملیات اجرایی، نمایندگان پیمانکار باید تشکیلات حفاظت و ایمنی مورد نظر خود را برای کلیه مراحل اجرایی کارهای موضوع قرارداد و همچنین روش‌های تطابق با این مشخصات فنی عمومی، استانداردها و قوانین مملکتی برای دستگاه نظارت تشریح کرده و توضیح دهند.

برنامه حفاظت و ایمنی شامل تمام مراحل اجرایی طرح خواهد بود که توسط پیمانکار تهیه و به‌صورت گزارش به دستگاه نظارت ارائه می‌شود. تصویب این برنامه توسط دستگاه نظارت، از مسوولیت پیمانکار برای تامین سلامت و ایمنی کارکنان نمی‌کاهد. طراحی وسایل اصلی، ابزار، سامانه‌ها یا سازه‌های نگهدارنده، خاکریزی‌ها و قالب‌بندی که نصب یا کار با آنها خطرآفرین باشد و توسط پیمانکار یا سازنده‌های دیگر ساخته می‌شود، باید برای استفاده در موردی که مد نظر است تایید شده باشد. این تاییدیه‌ها یا گواهی‌های کتبی، توسط سازنده یا کارشناس مورد تایید دستگاه‌های دولتی صادر و قبل از ساخت این وسایل، سازه‌ها یا سامانه‌ها، برای تایید به دستگاه نظارت ارائه می‌شود.

۱۶-۵- موارد پزشکی

۱۶-۵-۱- مسایل عمومی

قبل از آغاز عملیات اجرایی، پیمانکار وسایلی را به شرح مندرج در این مشخصات برای انجام عملیات کمک‌های اولیه و پزشکی، تهیه و افرادی را به این منظور استخدام خواهد کرد. همچنین باید شرایطی مهیا شود که امکان کمک‌رسانی به هر یک از کارکنان در مواقع اضطراری مهیا باشد. باید روشنایی اضطراری در محل کمک‌های اولیه و درمانگاه کارگاه مهیا باشد. پیمانکار قبل از آغاز عملیات اجرایی باید مدارک بیمه تمام کارکنان را در مقابل حوادث (مطابق با آیین‌نامه‌های مملکتی)، به دستگاه نظارت ارائه کند.

۱۶-۵-۲- وسایل کمک‌های اولیه

اگر در مشخصات فنی خصوصی در این خصوص مطلبی قید نشده باشد، حداقل امکاناتی که پیمانکار باید به عنوان کمک‌های اولیه تهیه نماید به شرح زیر خواهد بود:

- کمک‌های اولیه

در کارگاه‌هایی که کم‌تر از ۱۰۰ نفر در آنها مشغول به کار باشند (مجموع کارکنان پیمانکار، دستگاه نظارت و کارفرما در طولانی‌ترین نوبت کاری) و در نزدیکی آنها ایستگاه کمک‌های اولیه یا درمانگاه وجود ندارد، وسایل کمک‌های اولیه باید توسط پیمانکار تهیه شده و به سهولت در دسترس باشد. این وسایل و محل استقرار آنها باید به تایید پزشک همکار پیمانکار برسد، اما در هیچ شرایطی نباید کم‌تر از یک جعبه ۱۶ واحدی کمک‌های اولیه برای حداکثر هر ۲۵ نفر کارکنان کارگاه در نظر گرفته شود. جعبه کمک‌های اولیه باید در مقابل عوامل جوی مقاوم بوده و حاوی بسته‌بندی‌های آب‌بندی شده هر یک از اقلام لازم باشد. جعبه کمک‌های اولیه باید هر هفته بازدید شود و اقلامی که کم شده یا تاریخ مصرف آنها منقضی شده باشد، تکمیل یا با اقلام جدید جایگزین گردند. حداقل یک نفر که قادر باشد کمک‌های اولیه را در مواقع اضطراری انجام دهد باید در هر نوبت کاری در کارگاه

حاضر و مسوول ارائه کمک‌های اولیه به کارکنان مجروح و مصدوم باشد. تیم‌های کاری که دور از دسترسی به جعبه‌های کمک‌های اولیه نصب شده در کارگاه و یا مراکز پزشکی دیگر کار می‌کنند باید یک جعبه کمک‌های اولیه در اختیار داشته باشند.

- ایستگاه کمک‌های اولیه

در کارگاه‌هایی که کارکنان آنها بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ نفر هستند (مجموع کارکنان پیمانکار، دستگاه نظارت و کارفرما در طولانی‌ترین نوبت کاری)، یک ایستگاه کمک‌های اولیه که به تایید پزشک همکار پیمانکار رسیده باشد، تاسیس خواهد شد. ایستگاه کمک‌های اولیه، حداقل ۲۰ مترمربع زیربنا خواهد داشت که باید مجهز به روشنایی، گرما، آب آشامیدنی، تاسیسات دفع زباله، تهویه و وسایل ارتباطی باشد.

یک پزشک یا یک پرستار در تمام زمان‌هایی که کار جریان دارد در این ایستگاه کمک‌های اولیه حاضر خواهد بود و به‌طور مستقیم تحت نظر پزشک همکار پیمانکار، فعالیت خواهد کرد. در هیچ شرایطی مفاد این مشخصات بر توصیه‌ها و تاییدهای پزشک همکار پیمانکار، ارجح نخواهد بود. همچنین این گونه کارگاه‌ها باید دارای آمبولانس باشند. آمبولانس مورد استفاده باید مورد بازرسی و تایید پزشک همکار پیمانکار قرار گیرد. این پزشک لوازم و تجهیزاتی که باید در آمبولانس برای کمک به بیماران و مجروحین تامین شود را تعیین و تایید خواهد کرد. راننده هر آمبولانس علاوه بر مهارت در رانندگی و نگهداری آمبولانس در شرایط اضطراری، باید قادر باشد عملیات کمک‌های اولیه را به خوبی اجرا کند. این مهارت‌ها باید به تایید وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و یا پزشک همکار پیمانکار رسیده باشد.

۱۶-۵-۳- گواهی‌های جسمانی کارکنان

کارکنانی که استخدام خواهند شد باید از نظر جسمانی قادر باشند وظایف خود را در شرایط ایمن اجرا کنند. این توانایی توسط پزشک همکار پیمانکار تایید خواهد شد. کارکنانی که توانایی جسمانی آنها به دلایل استفاده از مواد مخدر، فرسودگی، بیماری، مسمومیت یا دلایل دیگر برای انجام کار مورد نظر کافی نباشد، با توجه به این که خود و دیگران را به خطر خواهند انداخت، به کار گمارده نخواهند شد.

تمام افرادی که راهبری خودروها، تجهیزات متحرک، تجهیزات بالابر و تجهیزات خطرناک دیگر به آنها محول می‌شود باید قادر به خواندن علائم، راهنماها، اخطارها و دستورهای عملیاتی باشند و آنها را درک کنند. به‌ویژه رانندگان کامیون‌ها و ماشین‌آلات سنگین باید توسط مسوولین پیمانکار از نظر جسمانی و روانی آزمایش شوند تا ثابت شود که قادرند بدون به خطر انداختن خود و دیگران، مسوولیت‌های محوله را انجام دهند. افرادی که به لحاظ جسمانی یا روانی توانایی نداشته باشند و یا تحت تاثیر مواد مخدر و الکل باشند، به هیچ وجه به این قبیل فعالیت‌ها گمارده نخواهند شد. رانندگان جرثقیل‌ها و بالابرها باید سالانه مورد آزمایش جسمانی قرار گیرند.

۱۶-۶- برنامه‌ریزی برای شرایط اضطراری

برنامه ایمنی پیمانکار باید شامل پیش‌بینی‌های ضروری برای ایمنی در شرایط اضطراری احتمالی و مواجهه سریع با این شرایط باشد. چنین وضعیتی ممکن است ناشی از سیل، آتش‌سوزی، فرونشست زمین، رانش، انفجار، اختلال‌های برق، توفان، زلزله و سایر اتفاق‌های مشابه باشد. این برنامه باید روش عملیات، شرایط کارگاه و مقدار در معرض خطر بودن افراد و اموال را مد نظر داشته باشد. پیمانکار می‌تواند با تایید دستگاه نظارت، اجرای عملیات اضطراری را در چنین مواقعی به شخص ثالث محول کند. افرادی که مواجهه با شرایط غیرعادی و اضطراری به آنها محول می‌شود باید به اندازه کافی اجرای عملیات در مواقع اضطراری را تمرین کنند. سامانه‌های هشدار دهنده باید در کارگاه نصب و آزمایش شوند تا از طریق آنها به افرادی که در معرض خطر هستند و یا باید در عملیات نجات شرکت کنند، اخطار و خبر داده شود. به هر حال ایمنی کارکنان، عموم مردم و اموال نباید به هیچ دلیلی به مخاطره بیفتد و شرایط اضطراری دلیلی برای رفع مسوولیت پیمانکار و کارکنان آن در انطباق با الزام‌های این مشخصات فنی نیست.

۱۶-۷- بهداشت و سلامتی

وسایل و موارد مربوط به بهداشت و سلامتی افراد و کیفیت و کمیت آنها شامل آب آشامیدنی مناسب، سرویس‌های بهداشتی، آبدارخانه‌ها و وسایل پخت و پز، سامانه‌های گرمایش و سرمایش، سامانه‌های دفع زباله، روشنایی و غیره باید توسط پیمانکار و با تایید دستگاه نظارت تهیه گردد.

۱۶-۷-۱- آلودگی صوتی

پیمانکار مسوول حفاظت کارکنان و عموم مردم از تاثیرهای اصوات ناهنجار ناشی از فعالیت‌های کارگاه است. این مسوولیت شامل پیش‌بینی و محاسبه‌ی مقدار اصوات ناهنجار و محافظت از شنوایی افراد در زمان‌هایی است که سطح آلودگی صوتی از حدود مجاز فراتر رود. محاسبه سطح صدا در مواقعی که سطح اصوات بیش از 85 dB باشد یا کارکنان از اصوات آزرده شوند و یا هنگامی که مهندس ناظر تشخیص دهد الزامی می‌باشد.

محاسبه‌ی سطح اصوات توسط افراد متخصصی که از صداسنج‌های منطبق بر استاندارد ANSI S1/4 (مشخصات فنی صداسنج‌ها) و یا از دوزیمترهای ۱ منطبق بر استاندارد ANSI S1/25 (مشخصات فنی دوزیمترهای شخصی) استفاده می‌کنند، انجام می‌شود و در گزارش آنها، روش‌های مواجهه با آلودگی‌های صوتی به مهندس ناظر ارائه خواهد شد.

هنگامی که سطح اصوات یا مدت توقف در برابر آنها به گونه‌ای است که از مقادیر مجاز تجاوز می‌کند، پیمانکار باید برنامه محافظت از شنوایی را با حداقل پیش‌بینی‌هایی که در ادامه آمده‌اند اجرا کند.

الف- باید یک مرکز شنوایی‌سنجی را برای برنامه محافظت از شنوایی به عنوان دستگاه نظارت، استخدام کند. اگر دستگاه نظارت تشخیص دهد که شرایط آلودگی صوتی همکاری چنین مرکزی را ایجاب نمی‌کند، می‌تواند پیمانکار را از استخدام چنین همکاری معاف کند.

ب- کارکنان باید مجهز به گوشی‌های محافظ شنوایی منطبق بر استاندارد ANSI S3/19 بشوند.

۱۶-۷-۲- آلودگی هوا

پیمانکار باید تمام عملیات، مصالح و تجهیزات را به گونه‌ای انتخاب کند که گازهای سمی، دودها، بخارها، غبارها و سایر آلودگی‌های هوا ایجاد نشود یا در حدود مجاز باشد.

اگر پیش‌بینی می‌شود که چنین آلاینده‌هایی در محیط‌هایی خواهد بود که کارکنان مشغول کار هستند، غلظت این آلاینده‌ها از طریق طراحی‌ها و کنترل‌های مهندسی در حدود مجاز و امن، حفظ خواهد شد. برخی از این تمهیدهای مهندسی عبارتند از تهویه، تصفیه هوا یا نصب هواکش‌ها.

به هر حال تمام روش‌های پیمانکار برای کاهش آلودگی هوا و محافظت از کارکنان و عموم مردم در مقابل آلاینده‌های سمی، براساس بند ۱۰ - ۷ استاندارد USBR: CSS خواهد بود.

۱۶-۷-۳- سرما و گرما

کارکردن کارکنان در گرمای بیش‌تر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد توصیه نمی‌شود. در صورت اجبار باید مطابق با برنامه تنظیم شده که به تایید پزشک همکار پیمانکار و دستگاه نظارت رسیده باشد، کارکنان به نوبت و در فواصل ۲ ساعتی کارکنند، به طوری که هر کارگر بین هر دو نوبت کار ۲ ساعتی، ۴ ساعت استراحت کند.

در دمای کم‌تر از منفی ۱۵ درجه سانتی‌گراد نیز کار تعطیل خواهد بود. در دمای هوای بین صفر درجه سانتی‌گراد و منفی ۱۵ درجه سانتی‌گراد، کار تنها با پوشش مناسب و تناوب‌های کار و استراحت به ترتیب ۲ و ۴ ساعته مجاز خواهد بود که باید به تایید پزشک همکار پیمانکار و دستگاه نظارت رسیده باشد.

۱۶-۷-۴- موارد متفرقه

در صورت وجود خطر حشره‌ها و مارها، باید تمهیدهایی از قبیل موارد زیر در نظر گرفته شود:

- تهیه وسایل حفاظتی مانند چکمه، کلاه، توری، دستکش، ماسک و امثال آن
- زهکشی، سمپاشی، سوزاندن یا تخریب مکان‌های ازدیاد و تولید مثل حشره‌ها و مارها
- واکسن‌کوبی کارکنان در معرض حشره‌ها و مارها در صورت صلاحدید پزشک همکار پیمانکار
- در دسترس بودن کمک‌های اولیه و عملیات پزشکی

در مناطقی که کارکنان در معرض گیاهان سمی مانند پاپیتال (پیچک)، بلوط، سماق و امثال آن هستند، باید تمهیدهای حفاظتی از قبیل از بین بردن این گیاهان، استفاده از لباس‌های حفاظتی، استفاده از کرم‌های محافظ و کمک‌های اولیه و تجهیزات پزشکی تایید شده برای مواقع ضروری، از سوی پیمانکار اتخاذ گردد.

ترابری، انبارکردن و استفاده از اسیدها، سوزآورها و سایر مصالح و مواد شیمیایی خطرناک باید براساس توصیه‌های تولیدکننده و تحت نظارت کارشناس متخصص صورت گیرد. انبارکردن این قبیل مواد و مصالح در محل‌هایی انجام خواهد شد که فقط در دسترس افراد مجاز باشد. دور ریختن مواد شیمیایی اضافی نباید به صورتی انجام شود که منابع آب، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مخازن، نهرها و چشمه‌ها را آلوده نماید.

افرادی که با این قبیل مواد کار می‌کنند باید با پوشش‌های مناسب ایمنی کار کنند. جعبه کمک‌های اولیه و تجهیزات پزشکی مورد تایید پزشک همکار پیمانکار باید در محل‌هایی که این قبیل مواد وجود دارند و با آنها کار می‌شود، به سهولت قابل دسترسی باشد. در محل‌هایی مانند آزمایشگاه‌ها و امثال آن که مقادیر زیادی از این مواد وجود دارد باید داروهای شستشوی سریع و اضطراری چشم‌ها و امکان دوش گرفتن سریع کارکنان مهیا باشد.

۱۶-۸- خوابگاه‌ها

معماری خوابگاه‌ها باید به تایید دستگاه نظارت رسیده باشد. تمام آیین‌نامه‌های وزارت کار و امور اجتماعی و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی در مورد این قبیل اماکن باید در تاسیس، نگهداری و استفاده از خوابگاه‌های کارگری رعایت گردد. در فضای داخلی خوابگاه‌ها باید موارد زیر رعایت شود:

- دیوارهای داخلی با رنگ پوشیده شوند
- تامین روشنایی مناسب
- تامین کف‌های چوبی و غیرقابل نفوذ
- تامین توری برای درها و پنجره‌ها
- نصب وسایل اطفای حریق به تعداد کافی

۱۶-۹- لوازم ایمنی

این بند از مشخصات فنی عمومی حداقل الزام‌ها در مورد لوازم ایمنی شخصی را ارائه می‌کند. پیمانکار، مسوول تهیه و در دسترس قراردادن، نگهداری و استفاده صحیح از لوازم ایمنی شخصی تعیین شده در این مشخصات است. لوازم ایمنی شخصی باید منطبق بر استانداردهای NIOSH و MSHA و در موارد خاص که در مشخصات فنی خصوصی قید می‌شود، منطبق بر استاندارد ANSI باشد.

- حفاظت سر

کارکنان پیمانکار شامل مهندسان، بازرسان، جوشکارها، کارگران ساختمانی، آهنگرها، اپراتورهای تجهیزات، کارگران کارگاه‌ها و تعمیرگاه‌ها، مکانیک‌ها، نمایندگان تولیدکنندگان و تامین‌کنندگان مصالح و ماشین‌آلات و غیره و همچنین کارکنان دستگاه نظارت و بازدیدکنندگان، باید به هنگام ورود یا کار در قسمت‌هایی از کارگاه که با تابلو مشخص شده‌اند، کلاه ایمنی بر سر بگذارند. در تمام قسمت‌های کارگاه که عملیات ساختمانی اجرا می‌شود، استفاده از کلاه ایمنی الزامی است. با این تعریف در تمام محوطه کارگاه به استثنای دفاتر، کمپ‌های مسکونی و خوابگاه‌ها و پارکینگ‌ها، کلاه ایمنی باید مورد استفاده قرار گیرد. کلاه‌های ایمنی باید بر مشخصات کلاه‌های کلاس B، از آخرین ویرایش استاندارد ANSI 289 منطبق باشد. هنگامی که هوای محیط کار سرد باشد، کلاه ایمنی زمستانی در اختیار کارکنان قرار داده می‌شود.

- حفاظت صورت و چشم

کارکنانی که صورت و چشم آنها در معرض خطر بالقوه مصدومیت‌های ناشی از پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی باشد، باید از محافظ‌هایی که به‌منظور حفاظت از صورت و چشم طراحی و ساخته شده‌اند استفاده کنند. این قبیل محافظ‌های چشم و صورت باید منطبق بر آخرین ویرایش از استاندارد ANSI 287/1 باشد.

- حفاظت تنفسی و شنوایی

در قسمت‌هایی از کارگاه که هوا آلوده است، کارکنان باید مجهز به لوازم ایمنی شخصی تنفسی منطبق بر آخرین ویرایش از استاندارد ANSI 288/2 باشند. در مورد حفاظت شنوایی به بند ۱۶-۶-۱ این مشخصات رجوع شود.

- پوشش‌های حفاظتی

کارکنانی که در عملیات جوشکاری یا سوزاندن کار می‌کنند باید دستکش‌های چرمی، روپوش یا کت چرمی و امثال آن بپوشند. پیش‌بند و دستکش چرمی برای کسانی که در عملیات بلندمدت جوشکاری مشغولند، الزامی است. دستکش‌ها، پیش‌بندها، روکش‌ها و شلنگ‌های لاستیکی، باید توسط پیمانکار در اختیار کارکنانی قرار گیرند که با اتصال‌ها و تجهیزات برقی کارگاه کار می‌کنند. این لوازم باید توسط کارکنان مذکور استفاده شود و با استانداردهای ASTM در مورد کالاهای لاستیکی تطابق داشته باشد. پوشیدن دستکش‌های نفوذناپذیر برای کارکنانی که با اسیدها، سوزآورها (بازها)، حلال‌ها و سایر مواد مسموم‌کننده کار می‌کنند، الزامی است و باید توسط پیمانکار تامین شود. پوتین‌ها یا چکمه‌های ایمنی که تمام کارکنان کارگاه می‌پوشند باید الزام‌های استاندارد ASTM 241 را تامین کند.

- کمربند ایمنی، ریسمان ایمنی

کارکنانی که بر روی شیب‌های تندتر از ۱/۵ عمودی به یک افقی کار می‌کنند و یا امکان فروافتادن آنها از ارتفاعی معادل یا بیش از ۲ متر وجود دارد و به‌وسیله داربست مطمئن، نرده محافظ یا تورهای ایمنی محافظت نشده‌اند، باید به‌وسیله کمربند ایمنی و ریسمان ایمنی محافظت شوند. پیمانکار باید این لوازم، تمرین با آنها و دستورالعمل‌های ضروری در رابطه با استفاده از آنها را مهیا کند. کمربند یا ریسمان ایمنی مورد لزوم، کمربند یا ریسمانی است که بتواند ۲۵۰۰ کیلوگرم بار مرده را تحمل کند. روش‌های پیمانکار برای استفاده از کمربند یا ریسمان ایمنی، مبتنی بر بند ۸-۸ از استاندارد USBR: CSS خواهد بود که قبل از عملیات به تایید دستگاه نظارت می‌رسد.

- سایر لوازم ایمنی

سایر لوازم ایمنی مانند تورهای ایمنی، کمربندهای ایمنی، ماشین‌آلات متحرک و لوازم ایمنی خاصی که کارکنان را از خطرهای ویژه محافظت می‌کند، اگر در مشخصات فنی خصوصی تعیین نشده باشد، باید براساس یکی از استانداردهای مورد قبول دستگاه نظارت، طراحی و ساخته شده باشد.

برای راهبری ماشین آلاتی مانند جرثقیل ها و دکل ها، از علائم استاندارد استفاده می شود که توسط فرد علامت دهنده، به اپراتورهای ماشین آلات نشان داده می شود. این علائم هنگامی به کار گرفته خواهد شد که فاصله علامت دهنده تا اپراتور، حداکثر ۷۵ متر باشد. در فواصل بیش تر از ۷۵ متر یا مواقعی که به دلایل آلودگی هوا، مه و امثال آن، اپراتور نتواند علامت دهنده را به وضوح ببیند، باید از سامانه های مخابراتی بیسیم یا تلفن یا روش های الکتریکی دیگری که علائم صوتی یا تصویری را ارسال می کنند استفاده شود. هنگامی که از علائم دست استفاده می شود، باید استاندارد USBR: CSS (Appendix F) را رعایت نمود. افرادی که این علائم را برای اپراتورها نشان می دهند باید با استانداردهای علائم آشنا باشند و صلاحیت آنها قبلاً تأیید شده باشد.

۱۶-۱۰- آتش سوزی

برای پیشگیری و مقابله با آتش سوزی و همچنین اجرای عملیات نجات، رعایت استاندارد USBR: CSS الزامی است.

۱۶-۱۱- الزامهای ایمنی جهت عملیات اجرایی

برای تأمین ایمنی در کارهای بتنی، باید مندرج های استاندارد USBR: CSS (Appendix R) و همچنین موارد اشاره شده در این مشخصات رعایت شود.

عملیات سنگی و سنگبرداری ها، چه در فضای باز و چه در فضای تونل ها و شافت ها، باید با مندرج های فصل ۲۴ از استاندارد USBR: CSS و نیز موارد اشاره شده در این مشخصات، منطبق باشد.

همچنین در مورد ترابری، تجهیزات، مصالح و افراد، مندرج های فصل ۱۱ از استاندارد USBR: CSS و نیز موارد اشاره شده در این مشخصات، باید معیار قرار گیرند.

تمام تجهیزاتی که در عملیات بارگیری و انتقال با جرثقیل، شمع کوب ها، چال زنی ها و امثال آن مورد استفاده هستند و از فولاد ساخته می شوند، مانند کابل های فولادی، قلاب ها، زنجیرها، قرقره ها و لوازم مشابه، باید منطبق بر فصل ۱۷ از استاندارد USBR: CSS و نیز موارد مندرج در این مشخصات باشد.

نکات ایمنی لازم الاجرا در مورد نقاله ها، شمع کوب و بالابر ها و همچنین اجرای عملیات ایمنی با این ماشین آلات، باید منطبق بر فصل ۱۸ از استاندارد USBR: CSS باشد.

برای تأمین ایمنی در کارهای عملیات خاکی، حفاری و تزریق، ساخت و نصب تجهیزات هیدرومکانیک، مندرج های استاندارد USBR: CSS و نیز موارد اشاره شده در این مشخصات باید رعایت شود.

در مورد عملیات مربوط به برق، فصول ۱۲، ۲۷ و ۲۸ از استاندارد USBR: CSS به ترتیب، اولویت خواهند داشت. ابزارها، اعم از دستی و ماشینی و همچنین جک ها و روش استفاده از آنها، مطابق با فصل ۱۶ استاندارد USBR: CSS باید مورد استفاده قرار بگیرند.

نکات ایمنی در مورد تجهیزات مکانیزه پیمانکار اعم از ثابت یا متحرک، باید منطبق بر فصل ۱۹ از استاندارد USBR: CSS بوده و اجرای عملیات با آنها و نگهداری از آنها، الزام های ایمنی این استاندارد را تأمین کند.

منابع و مراجع

- ۱- ضوابط و معیارهای فنی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مشخصات فنی عمومی (نشریه شماره ۱۰۸)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۲- ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف (نشریه شماره ۱۹۸)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۳- مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی (نشریه شماره ۱۲۴)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۴- ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی (نشریه شماره ۱۲۳)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۵- مشخصات فنی عمومی راه (نشریه شماره ۱۰۱)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۶- راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری گورها (نشریه شماره ۲۱۴)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۷- راهنمای طراحی دیوارهای حایل (نشریه شماره ۳۰۸-الف)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۸- آیین‌نامه بتن ایران "آبا" (نشریه شماره ۱۲۰)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۹- راهنمای مطالعات طرح‌های کنترل سیلاب- استاندارد مهندسی آب- وزارت نیرو
- ۱۰- فرسایش و رسوبگذاری در محدوده آب‌شکن‌ها (نشریه شماره ۲۴۸)، شرکت مدیریت منابع آب ایران
- ۱۱- راهنمای تعیین آبستگي در سازه‌های مهم هیدرولیکی (نشریه شماره ۱۳۶)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۱۲- راهنمای مهار سیلاب رودخانه‌ها (نشریه شماره ۲۴۲)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۱۳- راهنمای طراحی و ساخت دیواره‌های مهار سیلاب (گورها)، شرکت مدیریت منابع آب ایران
- ۱۴- دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات و تجهیزات شبکه‌های آبیاری و زهکشی (نشریه شماره ۱۵۸)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۱۵- دستورالعمل بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی (نشریه شماره ۱۷۰)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۱۶- دستورالعمل اجرایی خدمات بهره‌برداری و نگهداری از ماشین‌آلات مورد نیاز شبکه‌های آبیاری و زهکشی (نشریه شماره ۱۵۷)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۱۷- آسیب دیدگی‌های بتن، علل و عوامل آن، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- ۱۸- بتن در مناطق گرمسیر، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
- ۱۹- دستور فنی شماره ۱۱ وزارت راه و ترابری
- ۲۰- سازه‌های هیدرولیکی، م. بیرامی
- ۲۱- هیدرولیک رسوب، محمود شفاعی بجستان
- ۲۲- کاربرد سنگریز در سازه‌های هیدرولیکی، دیوید استفنسن (ترجمه ولی پورگودرزی)
- ۲۳- اصول مهندسی ژئوتکنیک و پی‌سازی، شاپور طاحونی
- ۲۴- سازه‌های تورسنگی، محمود جوان

- ۲۵- روش‌های کلی اجرا، ابوالحسن و کامبیز بهنیا
- ۲۶- آنالیز و طراحی سازه‌های بتن آرمه، امیرمسعود کی‌نیا
- ۲۷- اطلاعات و مشخصات برگرفته از کارهای انجام شده شرکت مانا صنعت بهین، دپارتمان ژئوسنتتیک (ژئوگرید-ژئوتکستایل-ژئوبلوك)، نماینده فروش و اجرای شرکت‌های زنجیره‌ای GSE آلمان و TENAX ایتالیا
- ۲۸- گزارشات مربوط به مشخصات فنی طراحی و اجرایی طرح‌ها و پروژه‌های خاتمه یافته و در دست اقدام شرکت مهندسی مه‌باب قدس

- 29- Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures – HEC 23.(2001)
- 30- Braided Rivers.(2006)
- 31- Canal & Related Structures (U.S.B.R – Standard No.3)
- 32- Design of Riprap Revetment – HEC 11.(1989)
- 33- Design and Construction of Levees. U.S Army Corps of Engineers, Engineer Manual 1110-2-1913 (1978)
- 34- Environmetal Sensitive Channel and Bank Protection Measures.(2005)
- 35- Euro Design Handbook , Concrete Structures.
- 36- "Earth Manual" (U.S.B.R)
- 37- Hydraulic Design of Flood Control Channels. U.S Army Corps of Engineers, Engineer Manual 1110-2-1601 (1970)
- 38- Hydraulic Structures. M.M. Grishin , Translated From The Russian , Mir Publishers Moscow.
- 39- Hydraulic Structures. P. Novak and others , Unwin Hyman.
- 40- Irrigation and Water Engineering. B.C. Punmia , India.
- 41- Manual for River Works in Japan. Published by River Burea ,Ministry of Construction , Japan.
- 42- Manual of Flood Control Methods and Practices. K.K. Framji et al , Int. Com. of Irring and Drainage , New Dehli , India.
- 43- Open Channel Flow. F.M. Henderson , The Macmillan Company , New York.
- 44- Protection of River and Canal Banks.(1989)
- 45- Principles of River Engineering.(1979)
- 46- River Training and Protection (Technical Instruction NO.6).(2005)
- 47- River Engineering. M.S. Petersen , Prentice Hall Englewood Cliffs.(1986)
- 48- River Intake and Diversion Dams. E. Rezvan , Elsevier Amesterdam.
- 49- Small Dams & Weirs in Earth and Gabion Materials.(2001)
- 50- The WES Stream Investingation and Streambank Stabilization Handbook.(1997)

- ۵۱- مشخصات محصولات شرکت‌های زنجیره‌ای GSE آلمان (ورق‌های ژئوممبران)
- ۵۲- مشخصات محصولات شرکت‌های زنجیره‌ای TENAX ایتالیا (شبکه‌های پلیمری)