جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

ضوابط طراحی کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر

ضابطه شماره ۷۰۱

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی

امور نظام فنی و اجرایی کشور

nezamfanni.ir

وزارت نیرو

دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست‌محیطی آب و آبفا

http://seso.moe.gov.ir

۱۳۹۵

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۵/۵۳۴۱۸۶**
	تاریخ:	**۱۳۹۵/۰۳/۰۹**

موضوع: ضوابط طراحی کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۷۰۱ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان « ضوابط طراحی کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر » از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۵/۰۷/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

امور پیمان
omoorepeyman.ir

ش ش: ۹۳۲۸۸۰

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت بـه تهیـه این ضابطه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثـر مصـون از ایراد و اشکال نیست.

از ایـن رو، از ***شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتـب را بـه صورت زیر گزارش فرمایید:***

۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.

۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن

۳۳۲۷۱ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی

Email:info@nezamfanni.ir **web: nezamfanni.ir**

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

استقرار پهنه‌های مسکونی، تجاری، اداری، صنعتی و تاسیسات زیربنایی در حاشیه رودخانه، تثبیت و پایدارسازی بستر و کناره‌های رودخانه‌ها را ضروری می‌سازد. نشریه حاضر ضوابط لازم برای طراحی و اجرای سازه‌های کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر رودخانه‌ها را ارائه می‌دهد. این سازه‌ها برای پایدارسازی و مهار فرسایش و آبشستگی بستر رودخانه‌ها به‌کار می‌رود.

با توجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه ضابطه «ضوابط طراحی کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر» را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال نمود که پس از بررسی، براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه، آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوب شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷ هـ- مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده‌است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

بدین وسیله معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی از تلاش ها و جدیت رییس امور نظام فنی و اجرایی کشور جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان محترم امور نظام فنی و اجرایی و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس تقی عبادی و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

بهار ۱۳۹۵

omoorepeyman.ir

تهیه و کنترل «ضوابط طراحی کف‌بندها و تثبیت کننده‌های بستر» [ضابطه شماره ۷۰۱]

مجری: معاونت پژوهشی دانشگاه تهران

مشاور پروژه: محمدابراهیم بنی‌حبیب دانشگاه تهران دکترای عمران – مهندسی آب

اعضای گروه تهیه‌کننده:

محمدابراهیم بنی‌حبیب	دانشگاه تهران	دکترای عمران- مهندسی آب
آذر عربی	موسسه پژوهشی مهندسی و مدیریت منابع آب رایان‌پژوه	فوق‌لیسانس آبیاری و زهکشی
لیلا قاسمی	موسسه پژوهشی مهندسی و مدیریت منابع آب رایان‌پژوه	فوق‌لیسانس زمین‌شناسی مهندسی
امیر کنشلو	موسسه پژوهشی مهندسی و مدیریت منابع آب رایان‌پژوه	لیسانس مهندسی عمران- آب

اعضای گروه نظارت:

محمود افسوس	شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران	فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولیک
فیروز بهادری خسروشاهی	دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	دکترای عمران - آب
نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو	لیسانس مهندسی آبیاری
محمود شفاعی بجستان	دانشگاه شهید چمران اهواز	دکترای عمران- هیدرولیک

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

محمود افسوس	شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران	فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولیک
غزال جعفری	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق‌لیسانس مهندسی عمران - آب
محمدحسن چیتی	شرکت مهندسین مشاور پژوهش‌عمران راهوار	فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های آبی
نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو	لیسانس مهندسی آبیاری
حسن سید سراجی	پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور	دکترای مکانیک سیالات
حسام فولادفر	موسسه تحقیقات آب	دکترای سازه‌های آبی
سیدکمال‌الدین نوری	وزارت کشور	فوق‌لیسانس مهندسی منابع طبیعی – محیط‌زیست
جبار وطن‌فدا	وزارت نیرو	فوق‌لیسانس مهندسی سازه‌های هیدرولیکی

omoorepeyman.ir

اعضای گروه هدایت و راهبری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور:

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی
سیّد وحیدالدین رضوانی	کارشناس آبیاری و زهکشی، امور نظام فنی و اجرایی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	**۱**
فصل اول- کلیات	**۳**
۱-۱- انواع روش‌های حفاظت بستر	۵
۱-۲- کاربرد کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر در طرح‌های ساماندهی رودخانه	۶
۱-۲-۱- کف‌بندها	۶
۱-۲-۲- آستانه	۶
۱-۲-۳- آبشار یا شیب‌شکن	۷
۱-۲-۴- سدهای اصلاحی	۸
۱-۲-۵- پوشش‌ها	۸
۱-۳- مزایا و معایب استفاده از کف‌بندها	۹
۱-۴- تعاریف و واژه‌ها	۹
فصل دوم- طبقه‌بندی انواع کف‌بندها و تثبیت کننده‌های بستر	**۱۳**
۲-۱- کلیات	۱۵
۲-۲- انواع تثبیت کننده‌های بستر	۱۵
۲-۲-۱- کف‌بندها	۱۵
۲-۲-۲- شیب‌شکن‌ها	۱۶
۲-۲-۳- آستانه	۱۸
۲-۲-۴- پوشش‌ها	۱۸
فصل سوم- داده‌های پایه مبانی طراحی	**۲۱**
۳-۱- کلیات	۲۳
۳-۲- اطلاعات پایه مورد نیاز	۲۳
۳-۲-۱- آمار و اطلاعات عمومی منطقه طرح	۲۳
۳-۲-۲- آمار و اطلاعات هیدروکلیماتولوژی، هیدرولیک و ریخت‌شناسی	۲۴
۳-۲-۳- آمار و اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک	۲۴
۳-۳- ملاحظات و داده‌های طراحی	۲۵

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۳-۱- بررسی پایداری رودخانه	۲۵
۳-۳-۲- بررسی و تعیین بده طراحی	۳۱
۳-۴- مبانی هیدرولیکی	۳۵
۳-۴-۱- متغیرهای طراحی و روش‌ها	۳۵
۳-۴-۲- تعیین ضریب زبری و چگونگی تغییرات آن با توجه به وضعیت رودخانه و ویژگی‌های جریان	۳۵
۳-۴-۳- تعیین مشخصه‌های جریان	۳۶
۳-۴-۴- تعیین ظرفیت انتقال رسوب در بازه‌های فرسایش‌پذیر	۳۶
۳-۴-۵- بررسی اثرات احداث کف‌بند در رفتار ریخت‌شناسی و هیدرولیکی رودخانه	۳۷
۳-۴-۶- راستای رودخانه و ابعاد هندسی مقاطع آن و بررسی پایداری	۳۸
فصل چهارم- معیارها و ملاحظات انتخاب روش تثبیت	**۳۹**
۴-۱- کلیات	۴۱
۴-۲- معیارهای هیدرولیکی	۴۱
۴-۳- معیارهای ریخت‌شناسی و انتخاب روش تثبیت برای انواع آن	۴۲
۴-۴- ملاحظات اجتماعی و زیست‌محیطی در انتخاب روش تثبیت	۴۳
۴-۴-۱- ملاحظات اجتماعی	۴۳
۴-۴-۲- ملاحظات زیست‌محیطی	۴۳
۴-۵- ملاحظات اقتصادی	۴۵
۴-۵-۱- برآورد و بهینه‌سازی اقتصادی	۴۵
۴-۶- ملاحظات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک	۴۷
فصل پنجم- نرم‌افزارهای موجود برای بررسی پایداری آبراهه و طراحی تثبیت‌کننده‌های بستر	**۴۹**
۵-۱- کلیات	۵۱
۵-۲- معرفی نرم‌افزارها	۵۱
۵-۲-۱- نرم‌افزارهای تحلیل هیدرولیک جریان	۵۱
۵-۲-۲- نرم‌افزارهای بررسی پایداری آبراهه، تحلیل پایداری آن و طراحی	۵۲
۵-۲-۳- نرم‌افزارهای تحلیل ریخت‌شناسی آبراهه	۵۲

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵-۲-۴- نرم‌افزارهای موجود	۵۲
۵-۳- انتخاب نرم‌افزارهای مناسب	۵۹
فصل ششم- طراحی سدهای اصلاحی	**۶۱**
۶-۱- کلیات	۶۳
۶-۲- سدهای اصلاحی موقتی	۶۳
۶-۳- سدهای اصلاحی دائمی	۶۳
۶-۴- تعیین ابعاد کلی سدهای اصلاحی	۶۴
۶-۴-۱- بررسی‌های مورد نیاز میدانی	۶۴
۶-۴-۲- عوامل موثر در تعیین ابعاد سدهای اصلاحی	۶۴
۶-۵- طرح هیدرولیکی سدهای اصلاحی	۶۶
۶-۵-۱- دیواره‌های بالی	۶۶
۶-۵-۲- حفاظت دیواره‌های آبراهه در پایین‌دست سد اصلاحی	۶۶
۶-۵-۳- سرریز	۶۸
۶-۵-۴- آبشستگی	۶۸
۶-۶- طرح سازه‌ای	۷۰
۶-۶-۱- نیروهای وارده بر سازه	۷۱
۶-۶-۲- بررسی پایداری در مقابل واژگونی	۷۲
۶-۶-۳- بررسی پایداری در مقابل لغزش	۷۳
۶-۶-۴- نشست سازه	۷۴
۶-۷- تعیین ابعاد سدهای اصلاحی	۷۴
۶-۷-۱- تعیین ابعاد بندهای چپری	۷۵
۶-۷-۲- تعیین ابعاد بندهای چوبی	۷۵
۶-۷-۳- تعیین ابعاد بندهای فلزی سبک	۷۶
۶-۷-۴- تعیین ابعاد بندهای خشکه‌چین	۷۷
۶-۷-۵- تعیین ابعاد سدهای سنگی ملاتی و بتنی	۷۸

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۶-۷-۶- تعیین ابعاد بندهای L شکل	۷۹
۶-۷-۷- تعیین ابعاد سدهای توری‌سنگی	۸۰
۶-۸- تعیین ابعاد بهینه سد	۸۵
۶-۹- جزییات طراحی، اجرا و نگه‌داری	۸۷
فصل هفتم- طراحی کف‌بندها	**۸۹**
۷-۱- کلیات	۹۱
۷-۲- طراحی کف‌بندها	۹۱
۷-۳- طراحی فیلتر معکوس	۹۲
فصل هشتم- طراحی آستانه‌ها	**۹۵**
۸-۱- کلیات	۹۷
۸-۲- انواع آستانه‌ها	۹۷
۸-۳- طراحی هیدرولیکی و سازه‌ای	۹۸
۸-۴- آبشستگی پایین‌دست سازه	۱۰۰
فصل نهم - طراحی شیب‌شکن‌ها	**۱۰۳**
۹-۱- کلیات	۱۰۵
۹-۲- انواع شیب‌شکن‌ها	۱۰۵
۹-۳- حوضچه آرامش	۱۰۸
۹-۳-۱- محاسبه ضخامت بتن در حوضچه آرامش شیب‌شکن‌ها	۱۰۸
۹-۳-۲- حفاظت بستر رودخانه در پایین‌دست حوضچه	۱۰۹
۹-۴- دیوار هدایت	۱۱۰
۹-۴-۱- سطح مقطع و ارتفاع دیوار هدایت	۱۱۰
۹-۴-۲- طول دیوار هدایت	۱۱۱
۹-۵- طراحی شیب‌شکن‌های قائم	۱۱۱
۹-۵-۱- شیب‌شکن‌های مستقیم	۱۱۱
۹-۵-۲- شیب‌شکن با حوضچه از نوع بلوک ضربه‌ای USBR	۱۱۲

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۹-۵-۳- شیب‌شکن از نوع Sarda (هندی)	۱۱۴
۹-۵-۴- شیب‌شکن از نوع YMGT (ژاپنی)	۱۱۶
۹-۵-۵- شیب‌شکن با سرریز مستطیلی همراه با تاج بالارونده	۱۱۷
۹-۶- طراحی شیب‌شکن مایل	۱۱۸
فصل دهم- ضوابط و روش‌های ساخت کف‌بندها و تثبیت کننده‌ها	**۱۲۱**
۱۰-۱- کلیات	۱۲۳
۱۰-۲- مراحل ساخت سازه‌های تورسنگی	۱۲۳
۱۰-۳- مراحل ساخت سازه‌های سنگ سیمانی و بتنی	۱۲۴
۱۰-۴- مراحل ساخت سازه‌های خشکه‌چین و سنگ‌چین	۱۲۴
۱۰-۵- پیش‌بینی عملیات انحراف جریان جهت اجرای سازه	۱۲۵
۱۰-۶- بررسی امکان اجرای سازه‌ها بدون انحراف جریان	۱۲۵
۱۰-۷- آماده‌سازی زمین برای اجرای سازه	۱۲۶
۱۰-۷-۱- برداشت خاک نباتی و لجن‌برداری	۱۲۶
۱۰-۷-۲- انجام آزمایش‌های صحرایی در محل در صورت نیاز	۱۲۶
۱۰-۷-۳- نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها آزمایشگاهی در صورت نیاز	۱۲۸
۱۰-۸- شناسایی منابع قرضه	۱۲۹
۱۰-۸-۱- بررسی مشخصات مصالح	۱۲۹
۱۰-۸-۲- انجام آزمایش‌های مربوط به کیفیت مصالح	۱۳۰
۱۰-۹- انتخاب ماشین‌آلات مورد نیاز در اجرای طرح	۱۳۱
۱۰-۱۰- انجام آزمایش‌های مورد نیاز در هنگام اجرای سازه	۱۳۲
۱۰-۱۰-۱- آزمایش‌های تعیین مقاومت خاک	۱۳۳
۱۰-۱۰-۲- دانه‌بندی مصالح	۱۳۳
۱۰-۱۱- بررسی جانمایی و تطبیق با نقشه‌های اجرایی	۱۳۴
۱۰-۱۲- تعبیه درزهای ساختمانی و اجرایی	۱۳۴
۱۰-۱۲-۱- درزهای انقباضی	۱۳۴

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱۰-۱۲-۲- درزهای انبساطی	۱۳۴
۱۰-۱۲-۳- درزهای اجرایی	۱۳۵
۱۰-۱۳- بررسی جزییات تقاطع کف‌بند با تکیه‌گاه‌ها	۱۳۵
فصل یازدهم- مبانی و ملاحظات طراحی تثبیت بستر با پوشش‌های نرم	**۱۳۷**
۱۱-۱- کلیات	۱۳۹
۱۱-۲- تنش برشی آبراهه‌های پایدار	۱۳۹
۱۱-۳- طراحی آبراهه‌ها با پوشش گیاهی	۱۴۰
۱۱-۳-۱- انتخاب گونه گیاهی	۱۴۱
۱۱-۳-۲- تعیین عوامل طراحی آبراهه	۱۴۴
۱۱-۳-۳- روش عمومی طراحی آبراهه با پوشش گیاهی	۱۴۶
فصل دوازدهم- حفاظت بستر با کیسه‌های ژئوبگ	**۱۵۱**
۱۲-۱- کلیات	۱۵۳
۱۲-۲- نظریه طراحی	۱۵۳
۱۲-۳- تعیین ابعاد و جزییات اجرایی	۱۵۴
۱۲-۴- حفاظت با کیسه‌های ژئوبگ	۱۵۶
۱۲-۴-۱- اثرات بر روی اکوسیستم	۱۵۷
۱۲-۴-۲- اثرات بر روی شیلات	۱۵۸
فصل سیزدهم- پایش، حفاظت، بهره‌برداری، نگه‌داری و ارزیابی سازه‌ها و تثبیت کننده‌های بستر	**۱۶۱**
۱۳-۱- دستورالعمل بهره‌برداری و نگه‌داری کف‌بندها	۱۶۳
۱۳-۲- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در زمان بهره‌برداری	۱۶۳
۱۳-۳- بازرسی ادواری و کنترل سازه کف‌بند در زمان بهره‌برداری	۱۶۴
۱۳-۴- برآورد هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری	۱۶۵
منابع و مراجع	**۱۶۹**

omoorepeyman.ir

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- نمونه‌ای از کف‌بند توری سنگی در کنار دیواره سنگی	۶
شکل ۱-۲- آستانه نوع شمع‌کوبی	۷
شکل ۱-۳- آبشارهای متوالی بر روی سطح شیب‌دار	۷
شکل ۱-۴- نمای جلویی سد اصلاحی چپری	۸
شکل ۲-۱- تثبیت بستر با استفاده از کف‌بندها	۱۵
شکل ۲-۲- نمونه‌ای از یک کف‌بند افقی	۱۶
شکل ۲-۳- نمونه‌ای از یک کف‌بند شیب‌دار	۱۶
شکل ۲-۴- شیب‌شکن قائم	۱۷
شکل ۲-۵- شیب‌شکن مایل مستطیلی موسسه USBR	۱۷
شکل ۲-۶- نمونه‌ای از یک آستانه از نوع شمع‌کوبی	۱۸
شکل ۲-۷- انعطاف‌پذیری پوشش توری‌سنگ در مقابل نشست‌های قائم	۱۹
شکل ۳-۱- توزیع تنش برشی مرزی در آبراهه‌های ذوزنقه‌ای	۲۷
شکل ۳-۲- توزیع تنش برشی مرزی در پیچانرودها با استفاده از تجربیات ایپن و درینکر (۱۹۷۰)	۲۸
شکل ۳-۳- تنش برشی مرزی بیشینه در پیچانرودها	۲۹
شکل ۳-۴- سرعت بحرانی جریان برای رسوبات کوارتز به عنوان تابعی از اندازه متوسط ذرات	۳۰
شکل ۳-۵- نحوه تعیین بده موثر از ترکیب منحنی توزیع فراوانی جریان و منحنی سنجه رسوب	۳۲
شکل ۶-۱- منحنی تعیین قطر سنگ‌ها بر روی سنگ‌چین	۶۷
شکل ۶-۲- نیروهای وارده بر سد اصلاحی	۷۰
شکل ۶-۳- بررسی پایداری سدهای اصلاحی	۷۳
شکل ۶-۴- نمای جلویی سد چپری	۷۵
شکل ۶-۵- سد اصلاحی چوبی از نمای جلو	۷۶
شکل ۶-۶- نمای جلویی بندهای فلزی سبک	۷۷
شکل ۶-۷- نمای جلویی بندهای اصلاحی خشکه‌چین	۷۸
شکل ۶-۸- نمای جلویی سد اصلاحی سنگی ملاتی	۷۸
شکل ۶-۱۰- نمای جلویی بندهای توری‌سنگی	۸۱
شکل ۶-۱۰- نمایی از یک سازه توری‌سنگی قائم	۸۲
شکل ۶-۱۱- نیروهای وارد بر یک واحد توری‌سنگ در سازه پلکانی	۸۳
شکل ۶-۱۲- پایداری توری‌سنگ پلکانی	۸۴
شکل ۶-۱۳- واحدهای توری‌سنگ بر روی سطح شیب‌دار	۸۵
شکل ۶-۱۴- نمایی از توری‌سنگ شیب‌دار	۸۵
شکل ۶-۱۵- تغییرات تعداد سد نسبت به ارتفاع‌های مختلف آن	۸۶

omoorepeyman.ir

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۶-۱۶- تغییرات هزینه نسبت به ارتفاع ۸۷
شکل ۷-۱- کف‌بندهای انعطاف‌پذیر و انعطاف‌ناپذیر در ابتدا و انتهای سازه ۹۳
شکل ۷-۲- ساختار فیلتر ۹۳
شکل ۷-۳- نمونه ای از منحنی دانه‌بندی لایه فیلتر (لایه میانی) ۹۴
شکل ۸-۱- نمونه‌ای از آستانه بتنی برای کنترل آبشستگی در محدوده پل ۹۷
شکل ۸-۲- معرفی پارامترهای طراحی ۹۸
شکل ۸-۳- ضریب بده در طراحی آستانه از نوع سپری ۹۹
شکل ۸-۴- اندازه سنگ‌های مورد نیاز در طراحی آستانه سپری ۹۹
شکل ۸-۵- آبشستگی پایین‌دست آستانه با تاج کوتاه ۱۰۱
شکل ۸-۶- آبشستگی پایین‌دست آستانه با تاج پهن ۱۰۱
شکل ۸-۷- معرفی پارامترهای آبشستگی پایین‌دست آستانه شیب‌دار ۱۰۲
شکل ۹-۱- نمونه‌های پلان و مقاطع طولی و عرضی شیب‌شکن بتنی یا سنگ و سیمان ۱۰۶
شکل ۹-۲- نمونه‌های مقاطع طولی و عرضی شیب‌شکن تورسنگی ۱۰۷
شکل ۹-۳- دیاگرام پیش‌بینی نوع حوضچه آرامش در شیب‌شکن‌ها ۱۰۸
شکل ۹-۴- دیوارهای سپری در بالادست و پایین‌دست شیب‌شکن‌ها ۱۰۹
شکل ۹-۵- جزییات تیپ دیوار هدایت ۱۱۰
شکل ۹-۶- شیب‌شکن مستقیم ۱۱۱
شکل ۹-۷- نمونه‌ای از شیب‌شکن با حوضچه از نوع بلوک ضربه‌ای USBR ۱۱۳
شکل ۹-۸- مقادیر L_d / d به ازای شماره شیب‌شکن‌های مختلف ۱۱۳
شکل ۹-۹- شیب‌شکن از نوع Sarda ۱۱۴
شکل ۹-۱۰- تاج مستطیلی ۱۱۵
شکل ۹-۱۱- تاج ذوزنقه‌ای ۱۱۵
شکل ۹-۱۲- شیب‌شکن نوع YMGT ۱۱۷
شکل ۹-۱۳- شیب‌شکن با سرریز مستطیلی همراه با تاج بالارونده ۱۱۸
شکل ۹-۱۴- شیب‌شکن مایل مستطیلی موسسه USBR ۱۲۰
شکل ۱۰-۱- استفاده از بارج در اجرای پوشش‌های کف رودخانه ۱۳۲
شکل ۱۱-۱- موقعیت تنش برشی به همراه پارامترهای طراحی در قوس آبراهه(North American Green) ۱۴۹
شکل ۱۲-۱- نحوه قرارگیری کیسه‌های ژئوبگ از کناره تا کف آبراهه ۱۵۳
شکل ۱۲-۲- کیسه‌های ژئوبگ پس از دو هفته خشک شدن مواد درون آن ۱۵۴
شکل ۱۲-۳- مقطع نیمه پر ژئوبگ ۱۵۵

omoorepeyman.ir

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- انواع روش‌های حفاظتی بستر در ساماندهی رودخانه ۵
جدول ۳-۱- حداکثر سرعت مجاز و مقادیر تنش برشی ۳۰
جدول ۳-۲- روش‌های مورد استفاده در برآورد بده سیلاب ۳۳
جدول ۳-۳- ضریب زبری هیدرولیکی انواع پوشش ۳۶
جدول ۳-۴- مدل‌های ریاضی متداول در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها ۳۷
جدول ۴-۱- محدودیت‌های مربوط به معیارهای هیدرولیکی در هر یک از روش‌های تثبیت بستر آبراهه ۴۱
جدول ۴-۲- ریخت‌شناسی مناسب هریک از روش‌های تثبیت بستر رودخانه‌ها ۴۲
جدول ۴-۳- میزان اثرات زیست‌محیطی روش‌های تثبیت بستر ۴۴
جدول ۶-۱- ضرایب خزشی bligh و Lane برای خاک‌های مختلف پی ۷۰
جدول ۷-۱- دانه‌بندی و شکل ذرات فیلتر ۹۲
جدول ۱۰-۱- طبقه‌بندی خاک‌ها در آزمایش فشارسنجی ۱۲۸
جدول ۱۰-۲- فواصل بین درزهای اجرایی در پوشش بتنی ۱۳۵
جدول ۱۱-۱- شاخص C_f به همراه مقادیر مختلف تراکم ساقه در گیاهان مختلف ۱۴۵
جدول ۱۳-۱- اطلاعات مورد نیاز در حین بازرسی سازه با توجه به نوع مصالح به کار رفته در سازه‌ی حفاظتی ۱۶۴

omoorepeyman.ir

مقدمه

رودخانه‌ها اغلب تحت تاثیر عوامل طبیعی و یا دخالت‌های انسانی دستخوش تغییرات می‌شوند که فرسایش بستر یا کف‌کنی و پایین‌افتادگی ممتد و مستمر از جمله موارد بارز آن تلقی می‌شود. پایین افتادن تراز آب دریا و یا دریاچه‌ها نیز از دیگر عوامل طبیعی است که آغاز فرسایش بستر و پایین‌افتادگی کف بستر را در رودخانه‌های منتهی به دریا و دریاچه باعث می‌شود. انسان نیز با دخالت‌های خود تعامل موجود را برهم زده و باعث ناپایداری و تشدید این پدیده‌ها می‌شود. احداث سد بر روی رودخانه و یا کاهش عرض، استخراج معادن شن و ماسه و به‌طور کلی بسیاری از اقدامات مهندسی نظیر احداث پل، جاده‌سازی و سایر فعالیت‌های عمرانی هریک به نوعی در فرآیند فرسایش و گودافتادگی بستر موثر می‌باشد.

- هدف

هدف از تهیه این ضابطه، تدوین مجموعه‌ای از ضوابط و معیارهای طراحی و ساخت کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر رودخانه‌ها می‌باشد. لذا ابتدا انواع کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر معرفی شده، سپس ضوابط و معیارهای طراحی و ساخت آن‌ها ارائه گردیده است. در نهایت در زمینه بهره‌برداری و نگه‌داری از آن‌ها بحث شده است.

- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد ضابطه حاضر، برای تثبیت بستر رودخانه بوده و شامل حفاظت از سواحل و کناره‌های رودخانه‌ها نمی‌شود. همچنین برای رودخانه‌هایی که سیلاب‌های واریزه‌ای حاوی رسوب‌هایی در ابعاد سنگ، تخته‌سنگ و تنه درختان می‌باشند، این ضابطه کاربرد نخواهد داشت. لذا در رودخانه‌های کوهستانی که دارای بستر ناپایدار و حاوی رسوب واریزه‌ای هستند کاربرد این ضابطه دارای محدودیت است.

omoorepeyman.ir

فصل ۱

کلیات

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- انواع روش‌های حفاظت بستر

به طور کلی روش‌های مختلف ساماندهی رودخانه مطابق جدول (۱-۱) به دو گروه روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای تقسیم می‌شوند که در ادامه بیش‌تر در مورد آن‌ها توضیح داده شده است [۲۰]. این جدول همچنین پیامدهای این روش‌ها را از دیدگاه فرسایش و رسوب نشان می‌دهد. مطابق این جدول، کف‌بندها، سرریزها و شیب‌شکن‌ها جزو روش‌های سازه‌ای در جهت تثبیت بستر رودخانه می‌باشند و روش‌های غیرسازه‌ای شامل پوشش‌های گیاهی و ورق‌های پلی‌شیت می‌باشد.

روش‌های سازه‌ای متشکل از سازه‌های طولی و عرضی هستند که کف‌بندها، شیب‌شکن‌ها و غیره جزو این گروه هستند. این سازه‌ها از نظر عملکرد رفتاری در مقابل پدیده کف‌کنی و یا پنجه‌شویی از نوع صلب و یا انعطاف‌پذیر تلقی می‌شوند که معمولا از جنس بتن و یا سنگ و سیمان می‌باشند [۷۲]. پوشش‌های گیاهی که از جمله روش‌های غیرسازه‌ای تثبیت و حفاظت کناره رودخانه‌ها می‌باشند، از نظر ملاحظات زیست‌محیطی و انطباق‌پذیری با اقلیم محیط، مورد توجه متخصصان بخش ساماندهی رودخانه می‌باشند. همچنین امروزه به‌کارگیری ورق‌های پلی‌شیت به‌دلیل سهولت اجرا و انعطاف‌پذیری مطلوب در طرح‌های ساماندهی مانند مهار فرسایش و تثبیت موقعیت رودخانه نیز کاربرد دارد [۹۲].

جدول ۱-۱- انواع روش‌های حفاظتی بستر در ساماندهی رودخانه [۲۰]

روش حفاظتی		نوع سازه یا اقدامات اصلاحی	پیامدهای اقدامات ساماندهی				هدف از اقدامات ساماندهی			
			فرسایش موضعی	فرسایش عمومی	رسوب‌گذاری موضعی	رسوب‌گذاری عمومی	تثبیت و حفاظت کناره	تثبیت کف	کنترل سیلاب	ایجاد راستای مناسب
سازه‌ای	سازه‌های عرضی	کف‌بند	×			×		×		
		شیب‌شکن	×			×		×		
		سرریز	×		×	×		×		
	سازه‌های طولی	پوشش حفاظتی بستر	×				×	×		×
غیرسازه‌ای	پوشش غیرسازه‌ای	پوشش گیاهی	×		×		×			×
		ورق‌های پلی‌شیت	×				×	×		×

براساس تقسیم بندی دیگری اقدامات حفاظت از بستر رودخانه خود به دو دسته کلی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های حفاظتی مستقیم شامل پوشش‌های محافظتی است که مستقیما بر روی رودخانه اجرا گردیده تا از فرسایش و تخریب احتمالی توسط جریان آب جلوگیری گردد. کف‌بند، آستانه، پوشش‌های گیاهی و ورق‌های پلی‌شیت، جزو پوشش‌های حفاظتی مستقیم می‌باشند. همچنین پوشش‌های پلی‌شیت از نظر سهولت اجرا و انعطاف‌پذیری مناسب در طرح‌های ساماندهی مانند جلوگیری از فرسایش و تثبیت بستر رودخانه‌ها موثر می‌باشند [۲۰]. در روش‌های حفاظتی غیرمستقیم از طریق کاهش شیب آبراهه و یا فراهم آوردن موجبات ته‌نشست رسوبات، قدرت تخریبی جریان کاهش می‌یابد. از جمله اقدامات حفاظتی در این زمینه احداث آب‌شکن و آبشار می‌باشد. در بخش بعدی به تشریح هر یک پرداخته شده است.

omoorepeyman.ir

۱-۲- کاربرد کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر در طرح‌های ساماندهی رودخانه

۱-۲-۱- کف‌بندها[1]

کف‌بندها، سازه‌هایی هستند در عرض بستر رودخانه، هم سطح کف بستر ساخته می‌شوند. این سازه بستر آبراهه را از فرسایش حفاظت می‌کند [۴۳]. این سازه‌ها در حدود تراز کف طبیعی رودخانه جهت حفاظت بستر رودخانه، در مقابل تنش برشی جریان ساخته می‌شوند. در شرایطی که سرعت آب به دلیل شتاب ایجاد شده، بیش‌تر شود، این سازه از تماس آب با مواد بستر جلوگیری می‌کند. به طور کلی دو نوع کف‌بند وجود دارد: کف‌بند افقی و شیب‌دار. از کف‌بندهای افقی در جایی که شیب بستر خیلی کم است، استفاده می‌شود. این در حالی است که کف‌بندهای شیب‌دار مخصوص بسترهای پرشیب می‌باشند [۴۳]. از طرف دیگر کف‌بندها با استفاده از مصالحی چون سنگ، سنگ و سیمان، توری سنگی و بتن ساخته می‌شوند. بر این اساس انواع مختلف آن شامل کف‌بند تورسنگی تشکی، جعبه‌ای، سنگ‌چین، بتنی، بلوک‌های بتنی، بلوک‌های بتنی به هم بافته شده، لحاف بتنی و کیسه‌های ماسه‌ای را می‌توان نام برد. شکل (۱-۱) نمونه‌ای از کف‌بند توری سنگی در پایین‌دست حوضچه آرامش را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۱- نمونه‌ای از کف‌بند توری سنگی در کنار دیواره سنگی [۱۳]

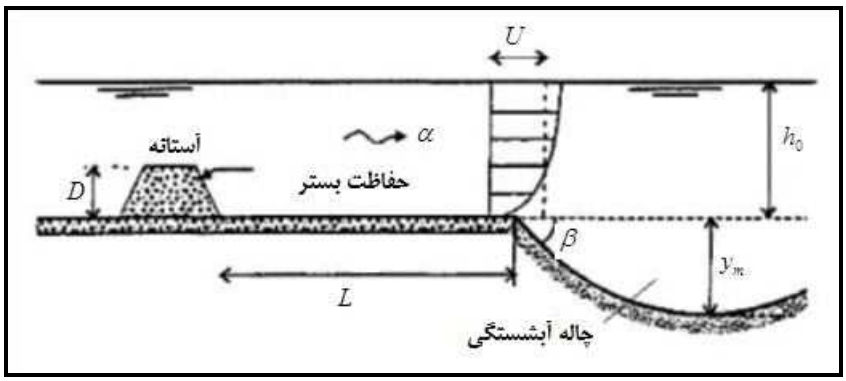
۱-۲-۲- آستانه[2]

آستانه یکی دیگر از سازه‌های ثبیت‌کننده بستر است و به نحوی در عرض رودخانه ساخته می‌شود که تراز تاج آن با تراز بستر تقریبا یکسان یا بالاتر و کف‌بستر در بالادست و پایین‌دست سازه تقریبا یکسان باشد [۹۸]. این سازه با استفاده از مصالح سنگی، شمع‌کوبی یا سپری، بتنی، گابیون یا توری‌سنگی و یا به صورت ترکیبی از آن‌ها ساخته می‌شود [۹۸].

1- Sills
2- Sill

امور پیمان
omoorepeyman.ir

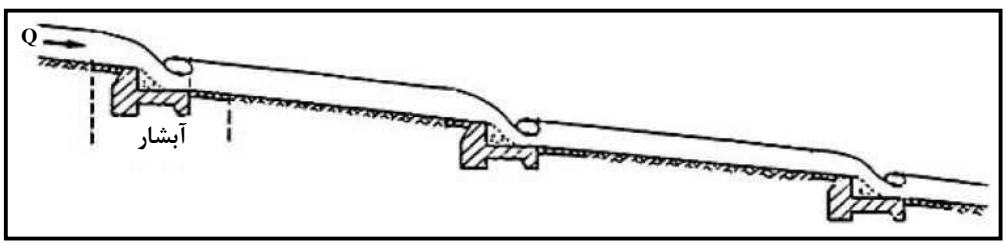
نمونه‌ای از آستانه نوع شمع‌کوبی در شکل (۱-۲) نشان داده شده است. این سازه در کنترل شیب، تراز بستر و تراز سطح آب و جلوگیری از فرسایش بستر کاربرد فراوان دارد [۲۷].



شکل ۱-۲- آستانه نوع شمع‌کوبی [۲۷]

۱-۲-۳- آبشار یا شیب‌شکن[1]

آبشارها سازه‌هایی هستند که با ارتفاع کم در عرض رودخانه ساخته می‌شوند [۱۳]. این سازه‌ها معمولا به دو نوع با کف‌بند و آستانه انتهایی و دیگری با کف‌بند و بدون آستانه انتهایی تقسیم‌بندی می‌شوند [۸۱]. تعداد آن‌ها به شیب رودخانه و ارتفاع سازه بستگی دارد [۳۴]. در شرایطی که از چند آبشار متوالی استفاده گردد، ارتفاع آن‌ها نسبت به حالت عادی کاهش می‌یابد [۸۱]. از آن‌جایی که این سازه‌ها را با استفاده از بتن، سنگ‌چین، توری‌سنگی، شمع‌های چوبی و سپرهای فلزی می‌سازند، معمولا عرض مجرا را پوشش می‌دهند. برای شیب‌شکن‌های کوچک و کانال‌ها با عرض کم، از مصالحی از جنس سنگ‌چین و شمع‌های چوبی استفاده می‌گردد. توری‌سنگی‌ها و سازه‌های بتنی معمولا برای شیب‌شکن‌های بزرگ با عرض جریان زیاد به کار می‌روند. این سازه‌ها به منظور کنترل پایین افتادگی بستر و تثبیت تراز بستر، در مجاری شیب‌دار استفاده می‌گردند. این سازه‌ها همچنین به عنوان استهلاک کننده انرژی نیز ساخته می‌شوند و از آبشستگی بستر در بالادست خود جلوگیری می‌نمایند [۸۱]. نمونه‌ای از آبشارهای متوالی برروی یک سطح شیب‌دار در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.



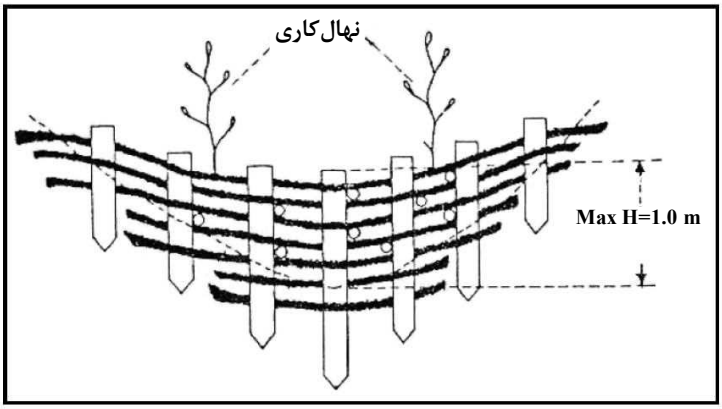
شکل ۱-۳- آبشارهای متوالی بر روی سطح شیب‌دار [۱۳]

1- Drop Structure

omoorepeyman.ir

۱-۲-۴- سدهای اصلاحی[1]

سدهای اصلاحی یکی از روش‌های سازه‌ای برای کنترل فرسایش سطحی بستر رودخانه و تثبیت آن می‌باشند. این سدها بر حسب نوع مصالح به کار گرفته شده به انواع مختلفی چون سدهای چپری، فلزی سبک، چوبی، خشکه چین، سنگ و سیمان و توری‌سنگی طبقه‌بندی می‌شوند. در شکل (۱-۴) نمونه‌ای از سد اصلاحی چپری نشان داده شده است. این سدها در آبراهه‌های نواحی کوهستانی به‌دلیل وجود فرسایش زیاد و در نتیجه تولید رسوب زیاد، کاربرد فراوان دارند. با احداث سدهای اصلاحی می توان شیب رودخانه را اصلاح نمود و فرسایش کف و جداره رودخانه را مهار کرد [۵]. گاهی اوقات نیز با برداشت شن و ماسه منجر به تغییر شیب و در نهایت کف‌کنی در بالادست می‌گردند. لذا احداث این سدها در این نواحی، در مهار فرسایش کف و جداره رودخانه و حفاظت از سازه‌هایی مثل پل، زمین‌ها و جاده‌های حاشیه رودخانه موثر می‌باشد.



شکل ۱-۴- نمای جلویی سد اصلاحی چپری [۱۳]

۱-۲-۵- پوشش‌ها

پوشش ها از جمله سازه‌هایی هستند که جهت حفاظت و تثبیت بستر و کناره رودخانه‌ها در مقابل فرسایش ناشی از جریان، بارش باران، موج و تراوش زه‌آب زیرزمینی ساخته می‌شوند. اصولا پوشش‌ها برای حفاظت از هر سطحی که در معرض فرسایش رودخانه‌ای است (نظیر شیب کناره، بدنه سازه‌های رودخانه‌ای و سطوح کف)، می‌توانند کاربرد داشته باشند. به طور کلی پوشش‌ها به دو دسته نفوذپذیر و نفوذناپذیر تقسیم می‌شوند. در پوشش‌های نفوذپذیر دولایه وجود دارد. لایه رویی که لایه سپر نام دارد و لایه زیرین که لایه فیلتر نامیده می‌شود. این در حالی است که در پوشش‌های نفوذناپذیر، معمولا نیازی به لایه فیلتر نیست [۸۷]. برای جزییات بیش‌تر به ضابطه شماره ۳۳۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان «راهنمای طراحی، ساخت و نگه‌داری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه» مراجعه فرمایید.

1- Check Dam

omoorepeyman.ir

۱-۳- مزایا و معایب استفاده از کف‌بندها

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره گردید، کف‌بندها سازه‌هایی هستند که بستر آبراهه را حفاظت می‌کنند [۴۳]. از جمله پیامدهای بارز این سازه، تغییر رژیم رسوب‌دهی است که به نوبه خود روند رسوب‌گذاری را کاهش داده و از وارد آمدن خسارت به اراضی پایین‌دست و سدهای مخزنی جلوگیری می‌کند. بنابراین احداث کف‌بند در مسیر رودخانه در تثبیت بستر رودخانه و کاهش فرسایش و رسوب بالارونده در مسیر رودخانه موثر می‌باشد. یکی از معضلات مربوط به این سازه‌ها، وقوع پدیده آبشستگی در پایین‌دست آن‌ها می‌باشد که به منظور جلوگیری از آن توصیه می‌شود که همواره در پایین‌دست آن‌ها حوضچه آرامش احداث گردد. لازم به ذکر است که کف‌بندهای شیب‌دار به‌دلیل عمق آبشستگی کم‌تر و نیز پایداری بهتر، بر سازه‌های شیب‌شکن ترجیح داده می‌شوند [۱۳].

۱-۴- تعاریف و واژه‌ها

- ساماندهی رودخانه[1]: مجموعه اقداماتی که برای مهار و تثبیت یک رودخانه در یک مسیر مورد نظر و مناسب انجام می شود. این اقدامات اهداف مختلفی نظیر مهار سیل، مهار رسوب، تامین یک آبراه کشتیرانی مناسب، حفاظت بستر و کناره‌های رودخانه در مقابل فرسایش و هدایت جریان در یک مسیر مشخص می‌باشد [۱۰].
- بستر[2]: آن قسمت از رودخانه، نهر یا مسیل است که در هر محل با توجه به آمار هیدرولیک و داغاب و حداکثر طغیان با دوره بازگشت ۲۵ ساله به وسیله وزارت نیرو یا شرکت‌های آب منطقه‌ای تعیین می‌شود.
- فرسایش[3]: فرسایش به فرآیندی اطلاق می شود که موجب جدا شدن ذرات خاک از بستر و حمل آن‌ها به‌وسیله آب جاری، یخچال‌ها، باد و امواج می‌گردد [۱۰].
- کناره ساحل[4]: کناره طبیعی رودخانه، دریاچه، دریا و یا کناره دست‌ساز آبراه یا کانال را گویند [۱۰].
- آبشستگی بستر[5]: فرسایش و کنده‌شدن مواد سنگی، خاکی یا رسوبی از بستر یک آبراهه به‌وسیله جریان آب یا امواج را گویند [۱۰].
- آبشستگی موضعی[6]: این نوع فرسایش در نتیجه تاثیر مستقیم سازه ها بر روی جریان رخ می دهد و ناشی از نوع و عملکرد سازه می‌باشد. این پدیده در پایین‌دست سدها و بندهای انحرافی، اطراف پایه پل‌ها، دماغه آبشکن‌ها،

1- River Training
2- Bed
3- Erosion
4- Bank
5- Bed Scour
6- Local Scour

omoorepeyman.ir

پایه آستانه‌ها و تنداب‌ها و غیره به وقوع می‌پیوندد و به عنوان عوامل مهم تخریب این نوع سازه‌ها شمرده می‌شود. آبشستگی موضعی بر فرسایش عمومی و فرسایش ناشی از تنگ‌شدگی رودخانه[1] اضافه می‌شود [۱۰].

- حفاظت کف[2]: به کارهای مهندسی که با هدف حفاظت کف رودخانه در مقابل فرسایش ناشی از جریان آب انجام می‌گیرد، گفته می‌شود [۱۰].
- تثبیت آبراهه[3]: به اقداماتی نظیر ایجاد پوشش‌های حفاظتی، آبشکن‌ها، تثبیت‌کننده‌های بستر، پوشش‌های گیاهی و غیره در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها گفته می‌شود که جهت جلوگیری از فرسایش بستر رودخانه انجام می‌شوند.
- بستر فرسایش‌پذیر[4]: بستر رودخانه‌ای که مواد تشکیل دهنده آن در اثر عوامل فرساینده نظیر عبور جریان، تراوش و غیره در حال جابجایی بوده و در اثر جابجایی مواد، بستر قابلیت فرسایش دارد [۱۰].
- کف‌بند: سازه‌هایی هستند که در عرض بستر رودخانه، همانند یک بند اصلاحی با ارتفاع صفر از کف بستر ساخته می‌شوند. این سازه بستر آبراهه را از فرسایش حفاظت می‌کنند [۴۳].
- حریم: اراضی مجاور در بستر رودخانه به عرض ۱ تا ۲۰ متر که به عنوان حق ارتفاق برای کمال انتفاع و حفاظت از بستر رودخانه لازم است [۲۲].
- آستانه: یکی از سازه‌های ثبیت‌کننده بستر است و به نحوی در عرض رودخانه ساخته می‌شود که تراز تاج آن با تراز بستر تقریبا یکسان یا بالاتر و کف بستر در بالادست و پایین‌دست سازه تقریبا یکسان است [۹۲].
- آبشار یا شیب‌شکن: از جمله سازه‌های ثبیت‌کننده بستر هستند که با ارتفاع کمی از کف بستر در عرض رودخانه ساخته می‌شوند [۱۳].
- سدهای اصلاحی: سدهای اصلاحی یکی از روش های سازه‌ای برای کنترل فرسایش سطحی بستر رودخانه و تثبیت آن می‌باشد که دارای انواع مختلفی چون سدهای چپری، فلزی سبک، چوبی، خشکه‌چین، سنگ و سیمان و توری سنگی طبقه‌بندی می‌شوند [۵].
- بندهای چپری: یکی از انواع سدهای اصلاحی، بندهای چپری می‌باشند که با فروبردن پایه‌هایی در زمین واقع در عرض آبراهه و قراردادن چوب در لابه‌لای آن ساخته می‌شوند[۵].
- بندهای چوبی: یکی از انواع سدهای اصلاحی، بندهای چوبی هستند که با الوار تخته‌های بزرگ، تراورس‌های مستعمل راه‌آهن و تیر و در مناطقی که الوار ضخیم و سنگین به مقدار فراوان موجود باشد، ساخته می‌شوند [۵].

1- Constriction Scour
2- Bottom Protection
3- Channel Stabilization
4- Erodible Bed

omoorepeyman.ir

- بندهای فلزی سبک: بندهای فلزی سبک که از انواع سدهای اصلاحی می‌باشند، سدهای کوچکی هستند که برای نگه‌داری مواد ریزدانه ساخته می‌شوند. این سدها از مصالحی چون پایه‌های فولادی(نبشی و سپری) و توری و شاخه برگ درختان ساخته شده‌اند [۵].
- بندهای خشکه‌چین: بندهای خشکه‌چین که یکی از انواع سدهای اصلاحی می‌باشند، با استفاده از سنگ و بدون ملات و در محلی ساخته می‌شوند که در آن منطقه به اندازه کافی سنگ وجود داشته باشد [۵].
- سدهای سنگی ملاتی و بتنی: نوع دیگری از سدهای اصلاحی بوده که با سیمان و سنگ های خرد نشده ساخته می‌شوند و در مهار سیلاب و فرسایش نقش موثری دارند [۵].
- سدهای توری سنگی[1]: این نوع از سدهای اصلاحی از دو نوع مصالح شامل تورهای بافته شده به صورت باکس با چشمه‌های شش ضلعی و مصالح سنگی درشت‌دانه ساخته شده‌اند که عمود بر جریان آب ساخته می‌شوند [۵].
- سنگ‌چین[2]: به سنگ‌چینی دیواره و کف انهار و یا رودخانه، در قسمت‌های حساسی که باید در مقابل فرسایش محافظت گردند، گفته می‌شود. برای اجرای این نوع پوشش حفاظتی معمولا از قطعات سنگی یا بتنی هم‌اندازه استفاده می‌گردد. در مواردی که از آن برای حفاظت در مقابل امواج بزرگ و سنگین استفاده گردد، اندازه قطعات آن باید حداقل ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر در سطح باشد [۱۰].
- سنگریسه[3]: نوعی پوشش حفاظتی که با انباشت ریسه گونه قطعات سنگ در بالا یا پایین کناره و یا در امتداد آن بر روی زمین و یا داخل شیار ایجاد می گردد. در صورت فرسایش پنجه و یا تخریب کناره رودخانه، قطعات سنگ فروریخته و حفاظت کناره را در مقابل فرسایش بیش‌تر، تامین می‌کنند [۱۹].
- تورسنگ، توری سنگ[4]: نوعی سازه حفاظتی متشکل از دو مصالح اصلی سنگ و توری سیمی (گالوانیزه یا با روکش پلیمری) که به صورت جعبه‌ای، تشکی و لوله‌ای یا کیسه‌ای ساخته می‌شود و به منظور حفاظت کناره‌های رودخانه و سواحل دریا، خاکریزها و همچنین ساخت آبشکن‌ها، دیواره‌های ساحلی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۹].
- لغزش[5]: حرکت سریع و توده‌ای قسمتی از رودخانه که معمولا در اثر مرطوب‌شدن لایه‌های زیرین زمین و عدم تحمل وزن توده لایه‌های رویین و ناپایداری آن اتفاق می‌افتد [۱۰].
- رودخانه‌های مستقیم[6]: این نوع رودخانه‌ها کوتاه و ناپایدارند و به ندرت در بیش از ۱۰ برابر عرضشان طول مستقیمی دارند. در این نوع رودخانه‌ها درجه‌ی انحنا رودخانه (نسبت به طول مسیر خط‌القعر به مسیر دره)

1- Check Dams
2- Rip-rup
3- Rock Windrow
4- Gabion
5- Sliding
6- Straight

omoorepeyman.ir

در شرایط لبریز کم‌تر است. در بده‌های کم، بارهای رسوبی متناوب در بستر رودخانه تشکیل می‌گردد و مسیر خط‌القعر با دور زدن بارهای رسوبی حالت پیچشی به خود می‌گیرد [۱۳].

- رودخانه‌های پیچانرودی[1]: این نوع رودخانه ها در پلان شامل یک سری قوس هستند که یک در میان جهت انحنای آن‌ها عوض می‌شود و به صورت تعدادی S به‌هم پیوسته که بعضا به وسیله قطعات مستقیم کوتاه به هم اتصال دارند، دیده می‌شود. این نوع رودخانه‌ها اغلب در بازه‌های پایین‌دست که دارای شیب ملایمی می‌باشند، تشکیل می‌شوند [۱۳].
- رودخانه‌های شریانی[2]: این قبیل رودخانه‌ها معمولا دارای شیب تند و حامل رسوبات زیادی است و الگوی مسیر در این رودخانه‌ها ناپایدار است. از آن‌جا که ورودی رسوب در این نوع رودخانه‌ها بیش از ظرفیت عمل آن است، در مسیر آن رسوب گذاری شده، عمق کاهش یافته و عرض آبراهه چندان زیاد می‌شود که جریان منحرف شده و آبراهه به چند شاخه تقسیم می‌شود [۱۳].

1- Meandering
2- Braided

omoorepeyman.ir

فصل ۲

طبقه‌بندی انواع کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- کلیات

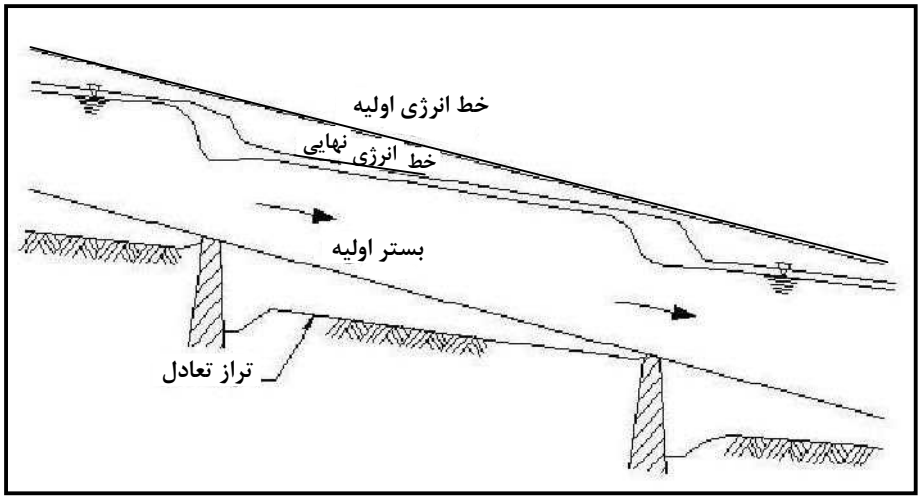
روش‌های متعددی به منظور تثبیت بستر در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر حسب نوع مصالح، طول عمر، انعطاف‌پذیری، نفوذپذیری و غیره به انواع گوناگون تقسیم می‌شوند. در این فصل طبقه‌بندی انواع تثبیت کننده‌های بستر از نظر مصالح مورد استفاده، کاربرد و خصوصیات فیزیکی ارائه می‌گردد.

۲-۲- انواع تثبیت کننده‌های بستر

جهت تثبیت بستر از کف‌بندها، آستانه، سدهای اصلاحی، پوشش‌ها و شیب‌شکن‌ها استفاده می‌شود. در ادامه در مورد هر یک از این تثبیت‌کننده‌ها و نوع طبقه‌بندی آن‌ها مطالبی ارائه می‌گردد.

۲-۲-۱- کف‌بندها

جاری شدن جریان‌های سیلابی در رودخانه‌ها موجب فرسایش در کناره و بستر آن‌ها می‌شود. کف‌بندها سازه‌هایی هستند که در عرض و بستر رودخانه به گونه‌ای ساخته می‌شوند که تراز بالای آن‌ها هم‌تراز کف طبیعی رودخانه بوده و مانند یک بند انحرافی با ارتفاع صفر از کف بستر احداث می‌شوند. کف‌بندها زمانی موثر هستند که نسبت عمق سیلابی در پایین‌دست به عمق بحرانی آن به گونه‌ای باشد که جهش حاصل از عبور آب از کف‌بند در پایین‌دست به سرعت مستهلک شده و جریان به حالت فوق بحرانی تبدیل نشود [۹۰]. در شکل (۲-۱) نحوه تثبیت بستر با استفاده از کف‌بندها نشان داده شده است.

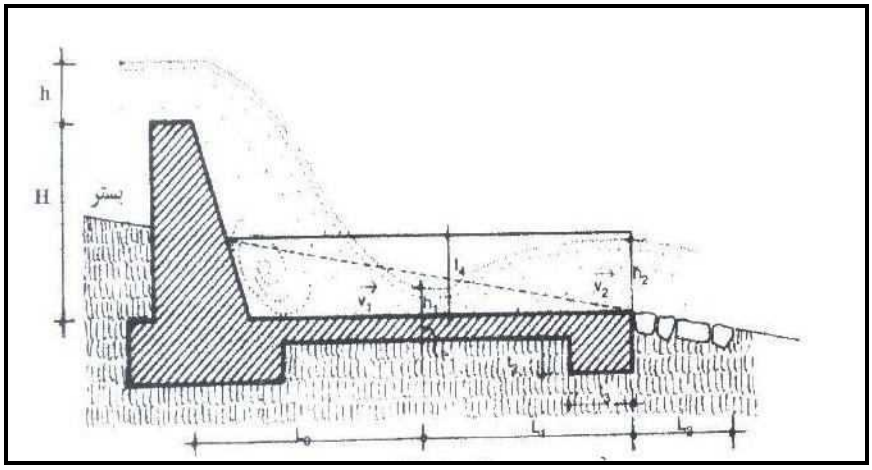


شکل ۲-۱- تثبیت بستر با استفاده از کف‌بندها [۱۲]

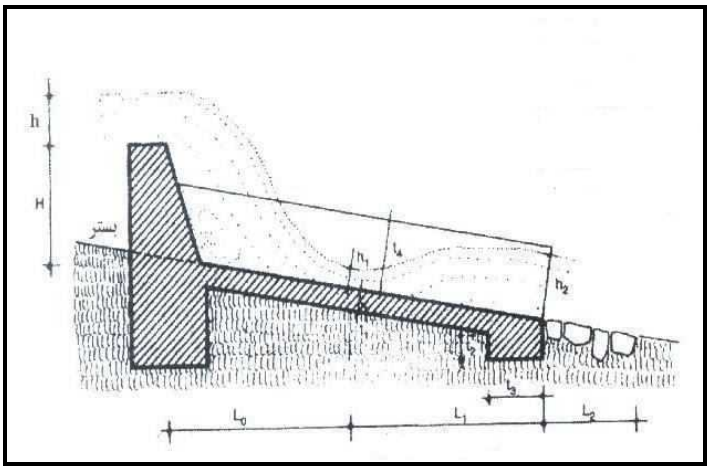
در ساخت کف‌بندها از مصالحی نظیر سنگ، سنگ و سیمان، توری‌سنگ، بتن یا سپرهای فلزی استفاده می‌شود. کف‌بندها عموما به دو دسته کف‌بند افقی و شیب‌دار تقسیم‌بندی می‌شوند. از کف‌بند افقی فقط در جایی که شیب بستر خیلی کم است استفاده می‌شود. در شکل (۲-۲) نمونه‌ای از یک کف‌بند افقی نشان داده شده است. در جایی که زمین

omoorepeyman.ir

شیب‌دار است از کف‌بندهایی استفاده می‌شود که از شیب زمین تبعیت می‌کنند. به این کف‌بندها، کف‌بندهای شیب‌دار گفته می‌شود. در شکل (۲-۳) نمونه‌ای از یک کف‌بند شیب‌دار نشان داده شده است [۳۷].



شکل ۲-۲- نمونه‌ای از یک کف‌بند افقی [۳۷]

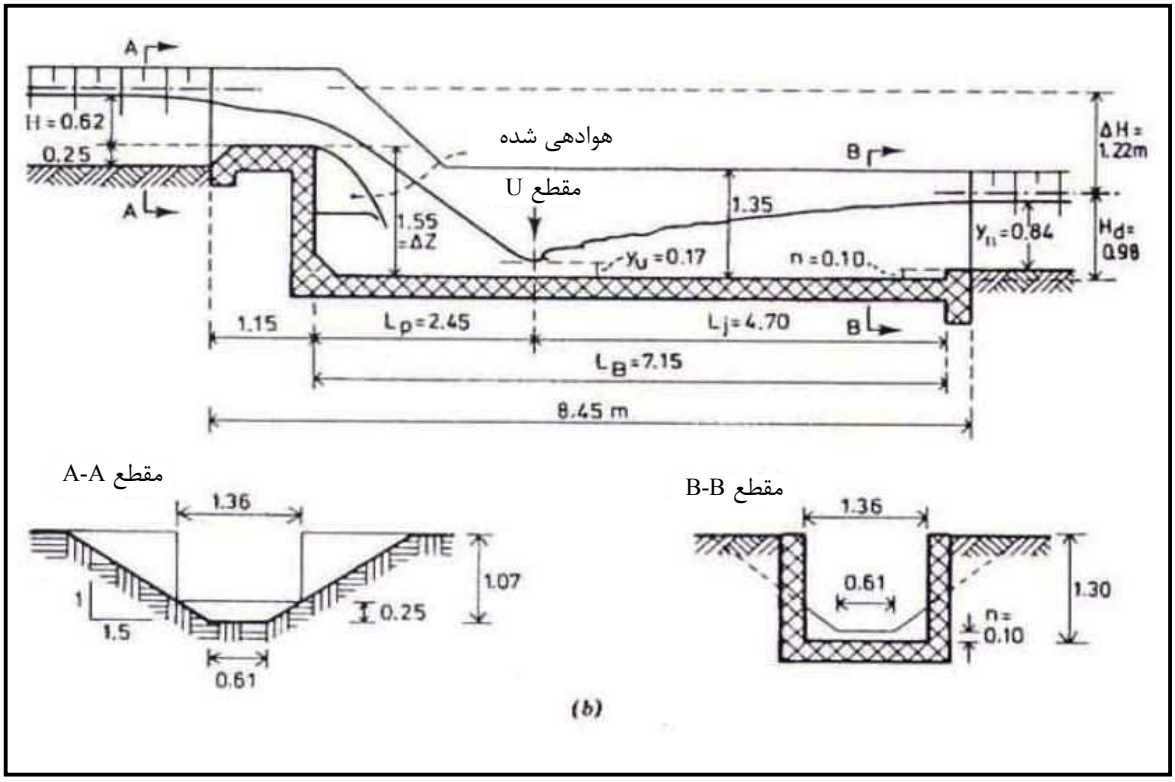


شکل ۲-۳- نمونه‌ای از یک کف‌بند شیب‌دار [۳۷]

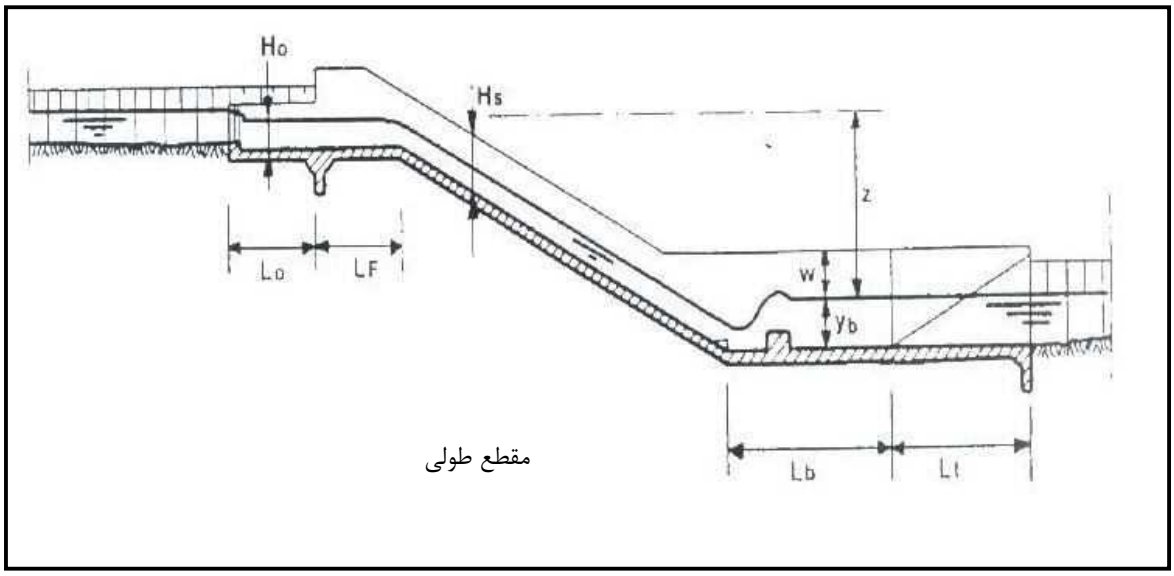
۲-۲-۲- شیب‌شکن‌ها

احداث شیب‌شکن یکی از روش‌های متداول در کاهش فرآیند فرسایش و گودافتادگی بستر می‌باشد که باعث افزایش سطح آب و کاهش شیب انرژی و در نهایت تثبیت بستر در حد معینی می‌گردد که نهایتا موجبات افت پتانسیل انتقال و برقراری حالت تعادل را فراهم می‌آورد. شیب‌شکن‌های مورد استفاده در تثبیت بستر معمولا به دو دسته شیب‌شکن‌های قائم و شیب‌شکن‌های مایل تقسیم‌بندی می‌شوند. شیب‌شکن‌های قائم معمولا برای اختلاف ارتفاع تا ۱/۵ متر و شیب‌شکن‌های مایل برای اختلاف ارتفاع تا ۵ متر به‌کار گرفته می‌شوند. استفاده از شیب‌شکن‌ها عمدتا در رودخانه‌های کوهستانی که دارای شیب تندی می‌باشند متداول است. در شکل‌های (۲-۴) و (۲-۵) انواع مختلف شیب‌شکن‌ها نشان داده شده‌اند [۶].

omoorepeyman.ir



شکل ۲-۴- شیب‌شکن قائم [۶]



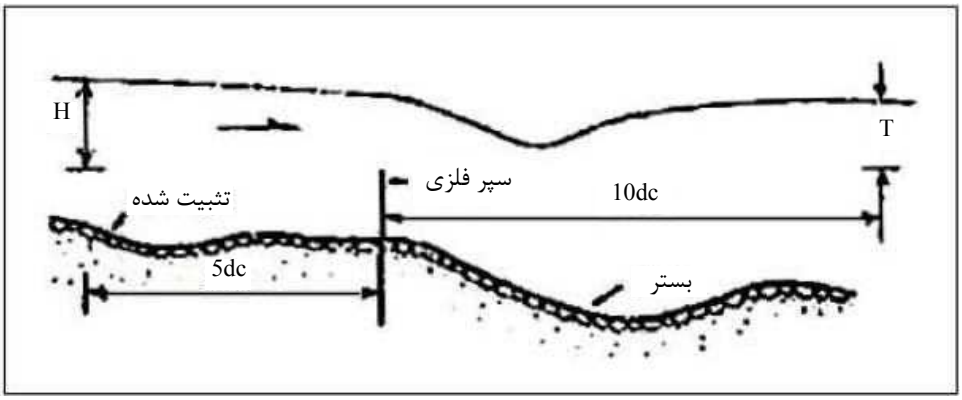
شکل ۲-۵- شیب‌شکن مایل مستطیلی موسسه [USBR۶]

آبشارهای کوتاه از مصالح مختلفی نظیر سنگ و سیمان، توری سنگی و دیواره‌های بتنی و غیره احداث می‌گردند. چنانچه ارتفاع آبشار زیاد باشد بهتر است به‌صورت پلکانی احداث شود. در چنین شرایطی بخش مهمی از انرژی جنبشی در حین عبور از روی پلکان مستهلک می‌گردد [۳۵].

omoorepeyman.ir

۲-۲-۳- آستانه

آستانه صرفا باعث تثبیت بستر در بالادست آن می‌گردد و معمولا در پایین‌دست آبگیرهای رودخانه‌ای احداث می‌شوند تا تراز بستر رودخانه بالادست آن در اثر فرسایش پایین نیفتد. آستانه‌ها از لحاظ ساخت به آستانه‌های ساخته شده از مصالح سنگی، شمع‌کوبی یا سپری، بتنی، گابیون یا توری‌سنگی طبقه‌بندی می‌شوند. البته ممکن است آستانه به‌صورت ترکیبی از این مصالح نیز ساخته شود. در شکل (۲-۶) نمونه‌ای از یک آستانه از نوع شمع‌کوبی نشان داده شده است.



شکل ۲-۶- نمونه‌ای از یک آستانه از نوع شمع‌کوبی [۹۸]

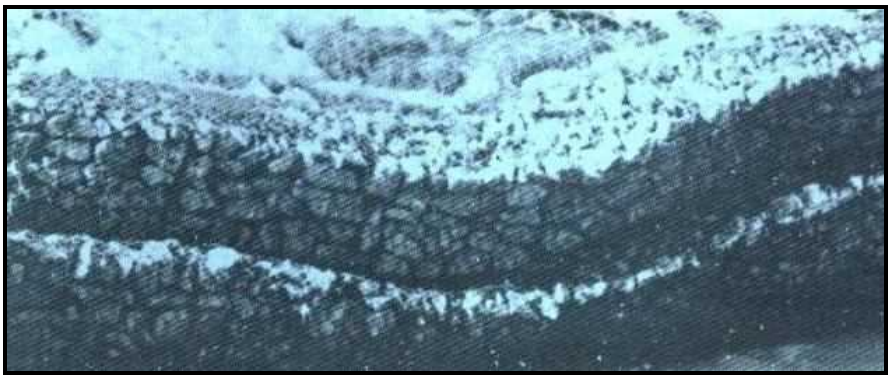
۲-۲-۴- پوشش‌ها

پوشش‌ها سازه‌هایی هستند که روی شیب کناره‌ها و بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها، کانال‌ها و همچنین روی خاکریزهای سیل بند و سدهای خاکی، برای حفاظت و تثبیت آن در برابر فرسایش ناشی از جریان، موج، بارش باران و تراوش زه آب زیرزمینی ساخته می‌شوند. انواع سازه‌های پوشش مانند سنگ‌چین، تورسنگ و بلوک‌های بتنی در کف رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، در اطراف پایه‌های پل و در پایین‌دست بندهای انحرافی برای حفاظت از بستر و جلوگیری از فرسایش موضعی به‌کار می‌رود. پوشش کف عموما به‌صورت موضعی اجرا می‌شود و در بازه‌های طولانی از نظر ملاحظات اقتصادی کاربردی ندارد. معمولا برای کنترل کف‌کنی که در بازه طولانی رخ می‌دهد از سازه‌های تثبیت کننده مانند کف‌بندها استفاده می‌شود. به طور کلی پوشش‌ها به دو دسته کلی نفوذپذیر[1] و نفوذناپذیر[2] تقسیم می‌گردند. پوشش‌های نفوذپذیر معمولا از دو لایه تشکیل شده که لایه رویی، لایه سپر و لایه زیرین، لایه فیلتر می‌باشد. پوشش‌های نفوذناپذیر معمولا نیاز به لایه فیلتر ندارند [۹۲]. پوشش‌ها از لحاظ عملکرد نیز به دو گروه پوشش صلب و انعطاف‌پذیرتقسیم‌بندی می‌شوند. منظور از پوشش انعطاف‌پذیر پوششی است که با گذشت زمان امکان انطباق با تغییرات کف و دیواره‌های رودخانه ناشی از نشست یا آبشستگی را دارد. پوشش‌های صلب یا انعطاف‌ناپذیر پوشش‌هایی هستند که امکان جابجایی در آن‌ها وجود ندارد و در صورت جابجایی ناشی از نشست، فرسایش یا رگاب به سازه پوشش آسیب وارد می گردد. در واقع هرگونه حرکتی در آن‌ها

1- Permeable
2- Impermeable

omoorepeyman.ir

با تخریب و گسستگی بخش اعظم یا کل سازه حفاظت همراه است [۱۰]. از رایج‌ترین پوشش‌های صلب می‌توان به بتن مسلح، مخلوط خاک و سیمان و سنگ اشاره کرد. مواردی چون توری‌سنگ، سنگ‌چین و پوشش‌های کیسه‌ای جزو پوشش‌های انعطاف‌پذیر هستند. شکل (۲-۷) نمونه‌ای از پوشش انعطاف‌پذیر را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷- انعطاف‌پذیری پوشش توری‌سنگ در مقابل نشست‌های قائم [۹]

پوشش نفوذپذیر یا تراوا نوعی پوشش حفاظتی است که قابلیت نفوذ یا عبور جریان آب زیر زمینی به داخل رودخانه و یا جریان آب رودخانه را به لایه آب‌های زیرزمینی دارا می‌باشد. پوشش‌هایی که از قطعات سنگی یا بتنی، شمع‌های مختلف و توری سنگی ساخته می‌شوند در این گروه هستند. از پوشش‌های نفوذ ناپذیر می‌توان به قطعات بتنی پیش ساخته یا درجا، آسفالت و مخلوط خاک سیمان اشاره کرد [۱۰]. برای جزییات بیش تر به ضابطه شماره ۳۳۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور مراجعه فرمایید.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۳

داده‌های پایه مبانی طراحی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-۱- کلیات

روش‌های متعددی به منظور تثبیت بستر در رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد که بر حسب نوع مصالح، طول عمر، انعطاف‌پذیری، نفوذپذیری و غیره به انواع گوناگون تقسیم می‌شوند. جهت طراحی هر یک از سازه‌های تثبیت بستر که در فصل قبل به آن‌ها اشاره گردید ابتدا لازم است داده‌های پایه طراحی تعیین گردد. در این فصل به‌طور کلی داده‌های پایه طراحی که برای طراحی هر سازه‌ای لازم است بحث می‌گردد. ابتدا مراحل تعیین داده‌های پایه طراحی معرفی شده و سپس در مورد هر کدام توضیحات لازم ارائه می‌شود.

۳-۲- اطلاعات پایه مورد نیاز

در طرح‌های مهندسی و به خصوص در مطالعات طرح‌هایی که در ارتباط با پدیده‌های طبیعی است و طراحی‌ها براساس روش های تحلیلی و تجربی می باشد، وجود آمار و اطلاعات کافی دارای نقش به سزایی است. در مهندسی آب و به ویژه مهندسی رودخانه که با یکی از عناصر پیچیده طبیعت به نام رودخانه سر و کار داشته و عوامل و متغیرهای متعددی در رخدادها و پدیده‌های مرتبط با آن دخیل می‌باشند، دستیابی به آمار و اطلاعات ثبت شده اهمیت زیادی دارد. آمار و اطلاعات مورد نیاز طراحی تثبیت کننده‌های بستر در ادامه ارائه می‌گردد.

۳-۲-۱- آمار و اطلاعات عمومی منطقه طرح

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

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

omoorepeyman.ir

- اطلاعات مربوط به تاسیسات و ابنیه موجود در حاشیه و یا در تقاطع با رودخانه مانند سدها، بندهای انحرافی، پل‌ها، جاده‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، خطوط لوله، دکل‌های برق، کانال‌ها و ساختمان‌ها
- اطلاعات مربوط به سایر طرح‌های در دست مطالعه یا در دست اجرا در حاشیه و یا مرتبط با رودخانه
- نقشه موقعیت جاده‌های ارتباطی و دسترسی منطقه طرح در مقیاس ۱:۵۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰

۳-۲-۲- آمار و اطلاعات هیدروکلیماتولوژی، هیدرولیک و ریخت‌شناسی

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

- گزارش‌های هواشناسی، هیدرولوژی، هیدرولیک و ریخت‌شناسی موجود و مرتبط با منطقه طرح
- آمار و اطلاعات مربوط به شرایط اقلیمی منطقه مانند میزان بارش، دما، میزان تبخیر و تعرق، سرعت و جهت باد و تغییرات رطوبت نسبی در طول فصول سال
- آمار و اندازه‌گیری‌های انجام شده در زمینه بده جریان و تغییرات سطح آب رودخانه در سال‌های گذشته و به ویژه در مواقع سیلابی در محدوده طرح
- آمار کیفیت آب شامل کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی
- آمار و اطلاعات مربوط به نوع، میزان و مشخصات بار رسوبی معلق و بستر رودخانه

در رودخانه های کشندی (جزر و مدی)، آمار و اطلاعات مربوط به تغییرات کشند (جزر و مد) و به‌خصوص شرایط خاص حداکثرهای برکشند (مد)، حداقل زیرکشند (جزر) و غیره در گذشته، به منظور پیش‌بینی تغییرات در آینده مورد نیاز خواهد بود. بدیهی است اگر چنین آماری موجود نباشد، براساس دستورالعمل های تهیه شده باید تغییرات کشند در فواصل ۳۰ دقیقه یا ۱ ساعت و برای مدت حداقل ۳۰ روز انجام شود.

در رودخانه‌های منتهی به دریا یا دریاچه، تغییرات سالانه سطح آب دریا یا دریاچه مورد نیاز است.

۳-۲-۳- آمار و اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک

روش های حفاظت رودخانه، به منظور حفاظت بستر رودخانه ترجیحا با مصالح محلی، طرح و اجرا خواهند شد. بنابراین به منظور بررسی امکان و پتانسیل فرسایش پذیری رودخانه و نیز آگاهی از خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک محل و همچنین شناخت انواع و کیفیت و کمیت مصالح محلی، جمع آوری آمار و اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک به شرح زیر ضروری خواهد بود:

- نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناسی منطقه طرح در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و در صورت عدم وجود، در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰

omoorepeyman.ir

- گزارش‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیک و مکانیک خاک موجود و مرتبط با طرح‌های اجرا شده قبلی و در دست اجرا و سایر طرح‌های مطالعاتی در منطقه طرح
- آمار و اطلاعات مربوط به تغییرات سطح آب زیرزمینی و مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن در حاشیه رودخانه
- آمار و اطلاعات مربط به مشخصات زلزله‌های واقع شده در منطقه و وضعیت گسل‌ها و ترانشه‌های موجود در محدوده طرح
- آمار مربوط به زمین لغزه‌ها و گسستگی‌های ناشی از روان‌گرایی ناحیه‌ای و محلی، فرونشست‌های منطقه‌ای، تورم‌پذیری خاک و لایه‌های ضعیف در بستر رودخانه
- مشخصات و ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی لایه‌های بستر رودخانه (محل‌های مورد نظر برای حفاظت) و همچنین مصالح منابع قرضه مانند طبقه‌بندی خاک، میزان رطوبت، حدود اتربرگ، تراکم‌پذیری، تحکیم‌پذیری و مقاومت برشی برای خاک‌های ریزدانه چسبنده و همچنین طبقه‌بندی و وزن مخصوص، دانه‌بندی، میزان نفوذپذیری، تحکیم‌پذیری و مقاومت برشی برای خاک‌های درشت دانه و مشخصاتی مانند هوازدگی، خردشدگی و وزن مخصوص برای سنگ‌ها
- عمق و نوع لایه‌های خاک زیرزمینی در بستر رودخانه و به ویژه خاک‌های سست و مساله‌دار مانند خاک‌های واگرا، خاک‌های رمبنده و خاک‌های پس مانده معدنی و همچنین سنگ کف.

۳-۳- ملاحظات و داده‌های طراحی

در این بخش ابتدا نحوه بررسی پایداری رودخانه با توجه به روش‌های موجود ارائه شده و سپس نحوه تعیین بده طراحی شرح داده می‌شود.

۳-۳-۱- بررسی پایداری رودخانه

رفتار جریان در آبراهه ها به دلیل تاثیرپذیری از شرایط طبیعی رودخانه پیچیده بوده و به تبع آن بررسی پایداری بستر رودخانه نیز مشکل می‌باشد. مهم‌ترین مسایلی که آبراهه‌ها با آن مواجه هستند مسایل مربوط به فرسایش و رسوب‌گذاری در بستر و کناره رودخانه می‌باشد که باید در هنگام بررسی پایداری آن‌ها مورد توجه قرار گیرند. روش‌های متعددی برای بررسی پایداری رودخانه‌ها وجود دارد که عبارتند از [۵۷]:

- تئوری رژیم
- تئوری نیروی برشی مجاز
- روش حداکثر سرعت مجاز

omoorepeyman.ir

۳-۳-۱-۱- تئوری رژیم

یک آبراهه زمانی در حال رژیم است که شیب و سطح مقطع آن در شرایط پایدار بوده و در یک بازه زمانی طولانی مثلا ۵ سال تغییرات مورفولوژی رودخانه ناچیز باشد. معادلات رژیم کانال‌ها و رودخانه‌های طبیعی ابتدا در قرن نوزدهم توسط مهندسین انگلیسی در هندوستان پیشنهاد شد. از معادلات متداول رژیم می توان به معادله لیسی، سیمون و آلبرتسون اشاره کرد. جهت مطالعه تفصیلی در مورد جزییات تئوری رژیم، به ضابطه شماره ۶۴۳ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان «راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه»، مراجعه گردد.

۳-۳-۱-۲- روش نیروی برشی مجاز

هنگامی‌که آب در کانال جریان می‌یابد نیرویی در جهت حرکت آب بر سطح بستر کانال وارد می‌آید. این نیرو که با نیروی اصطکاک در جریان یکنواخت برابر بوده و درجهت مخالف آن است، بنام نیروی برشی یا نیروی مالشی معروف است.

$$\tau = \frac{\gamma ALS_{\circ}}{PL} = \gamma RS_{\circ} \qquad (۱-۳)$$

در این رابطه، P، پیرامون تر شده و R، شعاع هیدرولیکی می باشد. برای کانال های عریض مستطیلی شعاع هیدرولیکی را می‌توان با عمق آب برابر فرض کرد و تنش برشی به‌صورت $\gamma yS_{\circ}$ خواهد بود. برای طراحی آبراهه پایدار در این روش تنش برشی در بدنه آبراهه باید کم‌تر از تنش برشی مجاز باشد.

۳-۳-۱-۲-۱- تنشی برشی مرزی[1] در آبراهه‌ها

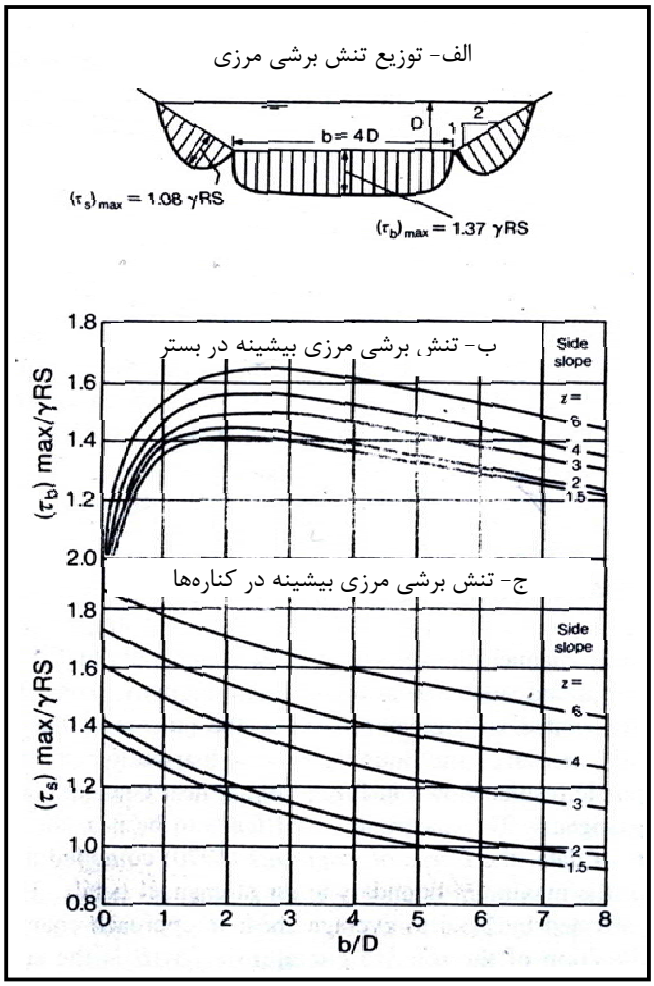
با فرض جریان یک بعدی برای تنش برشی مرزی معادله $\tau_0 = \gamma RS_{\circ}$ به‌دست می‌آید. در پیچانرودها توزیع تنش یکنواخت نیست. توزیع تنش برشی مرزی در آبراهه های مستقیم توسط اولسن و فلوری[2] (۱۹۵۲) با استفاده از مقایسه پوسته‌ای مطالعه گردید. برای مقاطع مختلف توزیع تنش برشی مرزی حول محیط تر شده در شکل (۳-۱ الف) نشان داده شده است. نتایج اولسن و فلوری در سال ۱۹۷۰ توسط کمیته تحقیقات بزرگراه‌های امریکا بسط داده شده است که در شکل‌های (۳-۱ب) و (۳-۱ج) نمودارهای توزیع تنش برشی مرزی بسط داده شده نشان داده شده است. در شکل‌های (۳-۱ب) و (۳-۱ج) تنش برشی بیشینه به‌صورت نسبتی از γRS برای نسبت‌های مختلف $\frac{b}{D}$ برای بستر و کناره آبراهه ارائه شده است. این منحنی‌ها نشان می‌دهد که با کاهش نسبت $\frac{b}{D}$ به زیر ۲ تنش برشی در بستر کاهش می‌یابد ولی در کناره‌ها روند افزایشی دارد. این کاهش تنش برشی در بستر مربوط به اثر دیواره‌های کناری است. مقدار بیشینه تنش برشی به‌طور محافظه کارانه‌ای به‌صورت تقریبی از رابطه (۳-۲) به‌دست می‌آید:

$$(\tau_0)_{max} = 1.5\gamma RS \qquad (۲-۳)$$

۱- تنش برشی که بین خاک و آب در بستر و کناره‌های رودخانه (در قسمت محیط تر شده) ایجاد می‌گردد.

2- Olsen and Florey

omoorepeyman.ir



شکل ۳-۱- توزیع تنش برشی مرزی در آبراهه‌های ذوزنقه‌ای [۵۷]

به عنوان نمونه آبراه‌های با عمق ۳ متر و عرض تحتانی ۹ متر و شیب جانبی ۲ به ۱ با پوشش سنگ چین حفاظت شده است. بستر آبراهه ماسه‌ای است که در هنگام وقوع بده طراحی جابجا می‌شود. اگر زاویه پایداری سنگ‌چین ۳۵ درجه و شیب آبراهه ۰/۰۰۲ باشد می‌خواهیم تنش برشی بیشینه (نیروی کششی واحد) در بستر و کناره‌ها را به‌دست آوریم. با توجه به داده‌های موجود $\frac{b}{D}$ برابر است با ۳ و R (شعاع هیدرولیکی) با استفاده از روابط هندسی آبراهه‌های ذوزنقه‌ای برابر با ۲/۰۴ متر به‌دست می‌آید. با استفاده از شکل‌های (۳-۱ب) و (۳-۱ج) مقادیر تنش برشی ماکزیمم در بستر و کناره به صورت زیر به‌دست می‌آید:

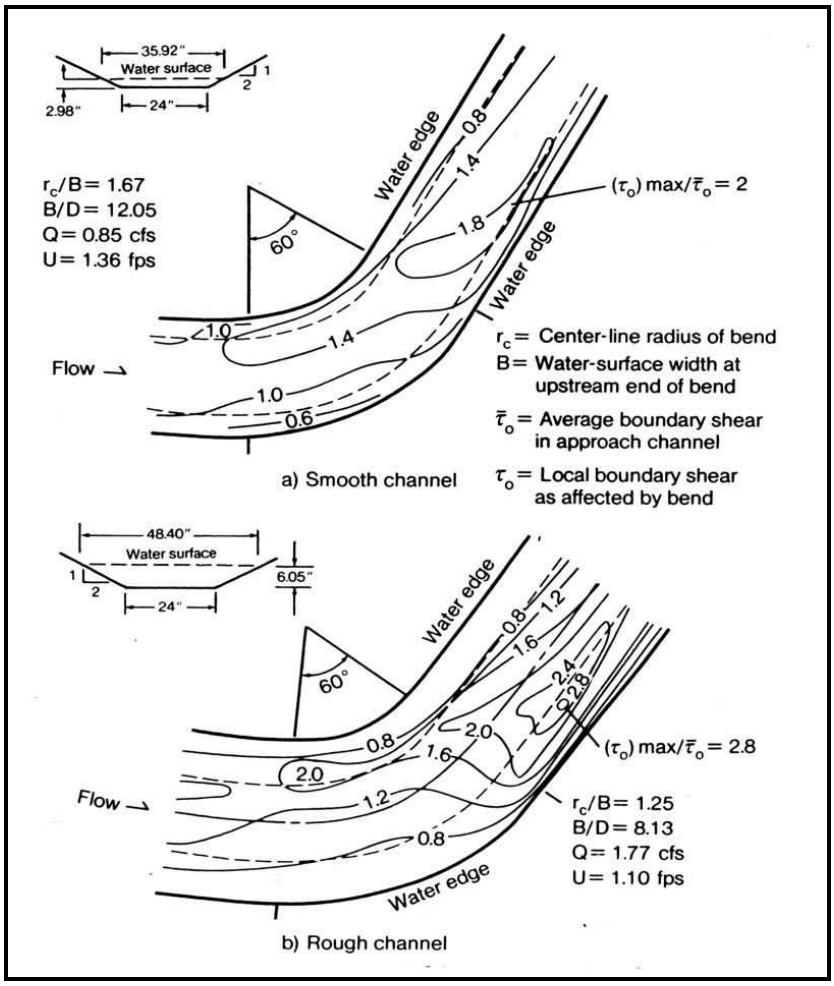
$(\tau_b)_{max} = 1.42\gamma RS = 57Pa$

$(\tau_s)_{max} = 1.15\gamma RS = 46Pa$

omoorepeyman.ir

۳-۳-۱-۲-۲- تنش برشی مرزی در پیچانرودها

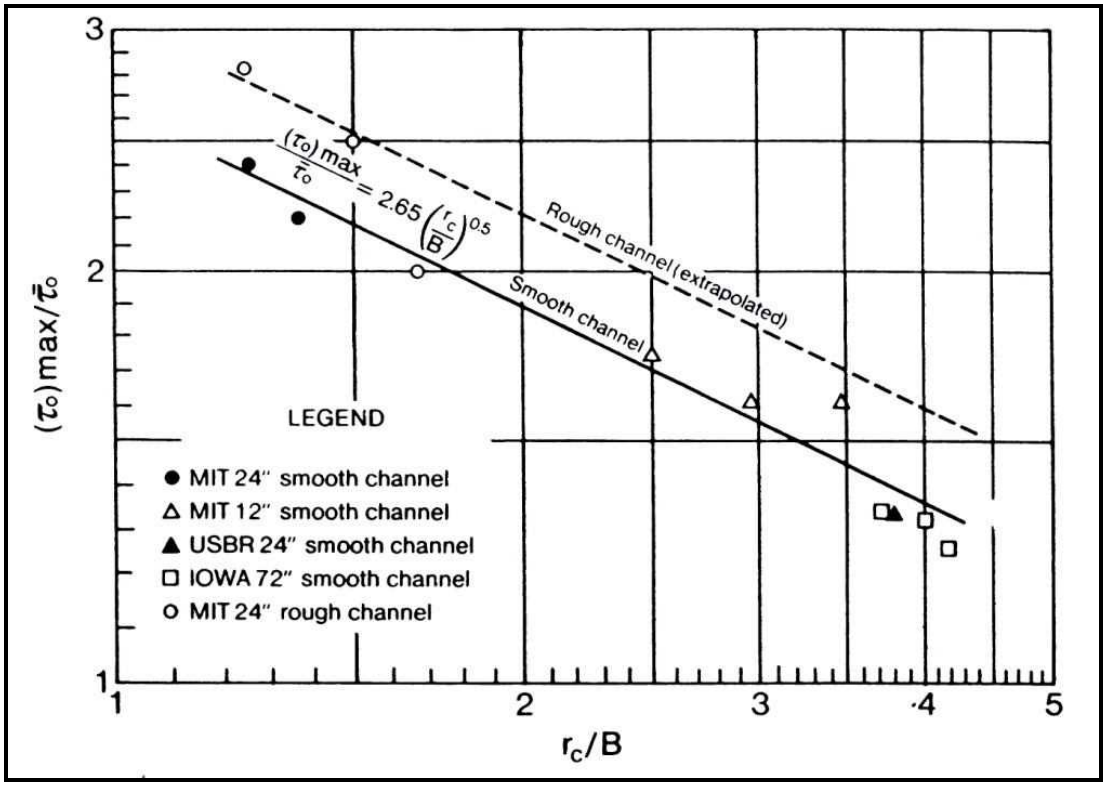
در رودخانه های پیچانرودی، سرعت جریان عموما در قوس خارجی بیش‌تر و نزدیک قوس داخلی کم‌تر است. این توزیع سرعت با تنش برشی بیش تر در قوس خارجی در ارتباط است. ایپن و درینکر[1] (۱۹۶۲) توزیع تنش مرزی در آبراهه‌های پیچانرودی را اندازه‌گیری کردند که نتایج کار آن‌ها در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. احتمال وقوع تنش برشی بیشینه در قوس خارجی بیش‌تر است. با استفاده از داده‌های دیگر رسته مهندسی ارتش آمریکا در سال ۱۹۷۰ روش جدیدی را برای تعیین تنش برشی مرزی بیشینه در پیچانرودها ارائه کرد که در شکل (۳-۳) نشان داده شده است. جهت انتخاب مناسب ترین روش جهت بررسی پایداری رودخانه به ضابطه شماره‌ی ۶۴۳ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان «راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه»، مراجعه شود.



شکل ۳-۲- توزیع تنش برشی مرزی در پیچانرودها با استفاده از تجربیات ایپن و درینکر (۱۹۷۰) [۵۷]

1- Ippen and Drinker

omoorepeyman.ir



شکل ۳-۳- تنش برشی مرزی بیشینه در پیچانرودها [۵۷]

۳-۳-۱-۳- سرعت مجاز

سرعت مجاز سرعت متوسط بیشینه‌ای است که باعث ایجاد فرسایش در مرزهای آبراهه نمی‌شود. اغلب اوقات به این سرعت، سرعت بحرانی نیز گفته می‌شود، برای این‌که این سرعت به عنوان شرایط آستانه حرکت نیز می‌باشد. فورتیر و اسکوبی[1] (۱۹۲۶) سرعت مجاز بیشینه را برای آبراهه ها با مصالح بستری متفاوت تعیین کردند که توسط دفتر عمران ایالات متحده امریکا USBR[2] با توجه به تنش برشی توسعه داده شد که در جدول (۳-۱) آورده شده است. طراحی آبراهه در این روش بر این مبنا استوار است که سرعت متوسط بیش تر از سرعت مجاز نیست. هر چند این روش ساده برای طراحی آبراهه، شکل آبراهه و عمق جریان را در نظر نمی‌گیرد. با همین سرعت متوسط در آبراهه‌های با شکل‌ها و عمق‌های متفاوت ممکن است تنش‌های برشی مختلفی در مرزهای آبراهه اتفاق بیفتد. به عبارت دیگر سرعت مجاز به عمق جریان وابسته است.

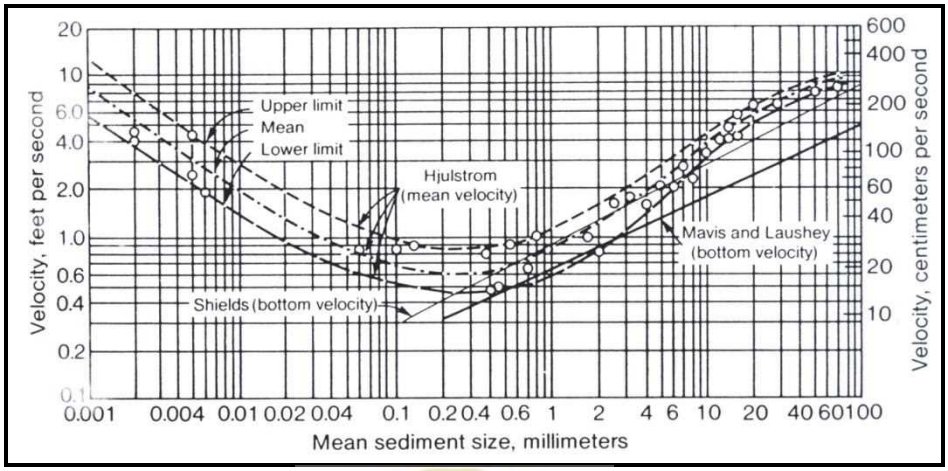
1- Fortier and Scobey (1926)
2- United States Bureau of Reclamation

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۱- حداکثر سرعت مجاز و مقادیر تنش برشی [۵۷]

مصالح به کار رفته	ضریب زبری	در شرایطی که آب زلال باشد (در بندهای انحرافی)		جریان همراه با سیلت‌های کلوئیدی (در منطقه مورد نظر و پایین‌دست آن)	
		سرعت مجاز (m/s)	تنش برشی (N/m^2)	سرعت مجاز (m/s)	تنش برشی (N/m^2)
ماسه ریز، کلوئیدی	۰/۰۲	۰/۴۶	۱/۲۹	/۷۶	۳/۵۹
لوم شنی، غیرکلوئیدی	۰/۰۲	۰/۵۳	۱/۷۷	۰/۷۶	۳/۵۹
لوم سیلتی، غیرکلوئیدی	۰/۰۲	۰/۶۱	۲/۳	۰/۹۱	۵/۲۷
سیلت آبرفتی، غیرکلوئیدی	۰/۰۲	۰/۶۱	۲/۳	۱/۰۷	۷/۱۹
لوم سفت معمولی	۰/۰۲	۰/۷۶	۳/۵۹	۱/۰۷	۷/۱۹
خاکستر آتشفشانی	۰/۰۲	۰/۷۶	۳/۵۹	۱/۰۷	۷/۱۹
خاک رس سفت، بسیار کلوئیدی	۰/۰۲۵	۱/۱۴	۱۲/۴۵	۱/۵۲	۲۲/۰۳
سیلت آبرفتی، کلوئیدی	۰/۰۲۵	۱/۱۴	۱۲/۴۵	۱/۵۲	۲۲/۰۳
شیل‌ها و زمین سخت	۰/۰۲۵	۱/۱۳	۳۲/۰۹	۱/۸۳	۳۲/۰۹
شن ریز	۰/۰۲	۰/۷۶	۳/۵۹	۱/۵۲	۱۵/۳۳
لوم درجه‌بندی شده غیرکلوئیدی	۰/۰۳	۱/۱۴	۱۸/۲	۱/۵۲	۳۱/۶۱
سیلت درجه‌بندی شده غیرکلوئیدی	۰/۰۳	۱/۲۲	۲۰/۶	۱/۵۲	۳۸/۳۲
شن درشت غیرکلوئیدی	۰/۰۲۵	۱/۲۲	۱۴/۳۷	۱/۸۳	۳۲/۰۹
سنگ فرش‌ها و مصالح سیمانی	۰/۰۳۵	۱/۵۲	۴۳/۵۹	۱/۵۲	۵۲/۶۹

کمیته انجمن مهندسی عمران آمریکاASCE[1](۱۹۶۷) یک رابطه گرافیکی (شکل(۳-۴)) ارائه کرده است که در آن سرعت‌های بحرانی جریان برای رسوب کوراتز به عنوان تابعی از اندازه متوسط ذرات نشان داده شده است. در این شکل اطلاعات و منحنی های شکل در بالا، وسط و پایین محدوده سرعت متوسط بحرانی از نتایج تحقیقات هالستروم[2] اخذ شده است. این منحنی‌ها برای ۴ نوع جریان با اعماق بیش‌تر از یک متر هستند. اطلاعات اندازه متوسط رسوبات کم‌تر از 0.01mm از تحقیقات فورتیر و اسکوبی (۱۹۲۹) گرفته شده است.



شکل ۳-۴- سرعت بحرانی جریان برای رسوبات کوارتز به عنوان تابعی از اندازه متوسط ذرات [۵۷]

1- American Society of Civil Engineers
2- Hjulstrom

omoorepeyman.ir

برای این رسوبات دانه ریز، چسبندگی یک عامل مهم در کاهش سرعت بحرانی است. از آن جایی که رابطه سرعت مجاز شکل (۳-۴) برای عمق‌های جریان بیش‌تر از ۱متر است تغییرات سرعت مجاز با عمق جریان با استفاده از ضرایبی اصلاح می شود. ضریب اصلاح سرعت مجاز با توجه به تغییرات عمق جریان توسط مه روتا[1] (۱۹۸۳) به‌دست آمده است.

$$k = \frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^{\frac{1}{6}} \qquad (۳-۳)$$

۳-۳-۲- بررسی و تعیین بده طراحی

رودخانه های آبرفتی شکل و ابعاد خود را با بده جریان آب و رسوب هماهنگ می‌نمایند. بده جریان غالب برای محاسبه مقدار بار رسوب معلق و طراحی هیدرولیکی سازه های مورد نظر و تعیین عرض بهینه اهمیت دارد و در شناسایی آن لازم است بده موثر، بده مقطع پر و متوسط سیل سالانه را به دست آورد. در ادامه در مورد تعیین پارامترهای مذکور بحث می‌شود.

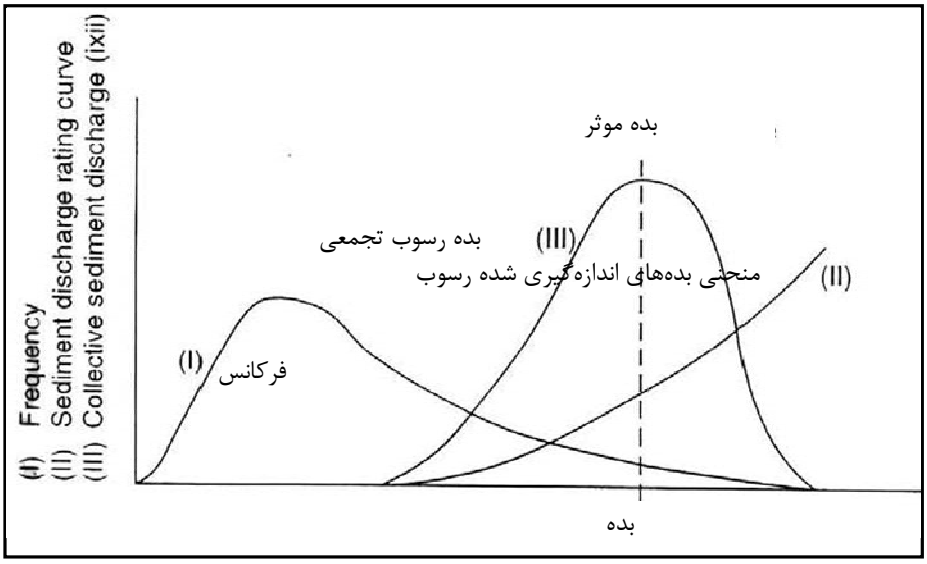
۳-۳-۲-۱- بده موثر

تعیین بده موثر و خصوصیات آن، که بیش ترین مقدار رسوب را در طولانی مدت حمل می کند، اهمیت زیادی دارد. به عبارتی بده موثر مقدار آب‌دهی است که در طول یک دوره مشخص بیش‌ترین وزن رسوب را انتقال می‌دهد. روند تعیین بده موثر در سه مرحله زیر انجام می‌شود [۶۲]:

- با استفاده از اطلاعات تداوم جریان، توزیع فراوانی جریان به‌دست می‌آید.
- با استفاده از داده‌های رسوب، منحنی سنجه بار بستر تهیه می‌شود.
- از ترکیب توزیع فراوانی جریان و منحنی سنجه بار بستر، هیستوگرام بار بستر تهیه می شود. این هیستوگرام بار رسوب را به عنوان تابعی از بده در دوره‌های آماری تعریف شده نشان می دهد. نقطه اوج این هیستوگرام بده موثر را نشان می‌دهد. در شکل (۳-۵) نحوه تعیین بده موثر ارائه شده است.

1- Mehrota

omoorepeyman.ir



شکل۳-۵- نحوه تعیین بده موثر از ترکیب منحنی توزیع فراوانی جریان و منحنی سنجه رسوب [۶۲]

توزیع فراوانی جریان‌های متوسط روزانه رژیم جریان را مشخص می‌کند. با توجه به این‌که بیش‌ترین بار رسوبی در خلال سیلاب‌های رخ داده منتقل می‌شود بده‌های متوسط روزانه نمی‌تواند نماینده مناسبی برای جریان‌های سیلابی مخصوصا در حوضه‌های با شیب تند و تراز سطح آب کوچک باشد. از این رو تحلیل تداوم جریان براساس فواصل زمانی کوچک‌تر از یک روز می‌تواند دقت محاسبات را افزایش دهد. منحنی سنجه رسوب نیز با تعریف رابطه بین متوسط بار رسوبی حمل شده به‌وسیله رودخانه و متوسط بده متناظر آن استخراج می‌شود.

۳-۳-۲-۲- بده مقطع پر

مقطع پر به مقطعی از رودخانه اطلاق می‌شود که در آن آبراهه اصلی رودخانه لبریز شده و در آستانه طغیان قرار می‌گیرد. لذا پس از آن افزایش بده باعث ورود آب به سیلاب‌دشت می‌گردد. اطلاعات حاصل از بررسی رودخانه‌ها و فلوم‌های آزمایشی نشان می‌دهد که بده مقطع پر، بیش‌ترین اثر را در شکل‌گیری آبراهه اصلی رودخانه دارا می‌باشد. بده مقطع پر در حقیقت تعیین کننده ابعاد مقطع رودخانه است و در آن رابطه پیوستگی بده و رسوب برقرار بوده و مشخصات هندسی مجرا نسبت به زمان تغییر محسوسی نمی یابد. به همین علت روابط هندسی-هیدرولیکی (روابط رژیم) با استفاده از مشخصات مقطع پر تعیین می‌گردد[۱۷].

براساس نحوه و معیار تعیین بده مقطع پر، مقطع پر به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود:

الف- تراز سیلاب‌دشت فعال (براکنریج ۱۹۸۸)

ب- ترازی که در آن نسبت عرض به عمق در مقابل عمق در یک دستگاه متعامد به حداقل خود برسد (کارلینگ ۱۹۸۸). این روش برای پیچانرودها که در آن‌ها نهشته‌های رسوبی در قوس داخلی شکل گرفته‌است در حالی که تراز مقطع پر واقعی بالاتر از تراز نهشته رسوبی قرار دارد با مشکل مواجه می‌شود. در این حالت منحنی نسبت عرض به عمق جریان در مقابل عمق جریان دارای دو مقدار حداقل می‌باشد که دومین مقدار حداقل تراز مقطع پر

omoorepeyman.ir

واقعی است. مشکل دیگری که ممکن است باعث ایجاد خطا در این روش گردد کاهش ناگهانی شیب کناره آبراهه است. در این حالت نیز نسبت عرض به عمق حداقل، در پایین‌تر از تراز سیلاب‌دشت فعال مشاهده می‌شود.

ج- تراز منطبق بر اولین مقدار حداکثر شاخص BI (ریلی ۱۹۷۲). براساس ریلی (۱۹۷۲) شاخص BI به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$BI = \frac{W_i - W_{i+1}}{d_i - d_{i+1}} \qquad (۴-۳)$$

در این رابطه W عرض جریان، d عمق جریان و i به تقسیمات متوالی و مساوی مقطع در راستای قائم می‌باشد. این شاخص با اندازه‌گیری شیب نسبی کناره در جایی به مقدار حداکثر خود خواهد رسید که آبراهه به‌طور ناگهانی پهن شود.

د- تراز منطبق با تغییر ناگهانی در نسبت مساحت مقطع عرضی به عرض سطحی آبراهه (ویلیامز ۱۹۷۸). همان مشکلات ایجاد خطا در بخش ب در بخش‌های ج و د نیز ممکن است ایجاد شود.

هـ- برابر با تراز حد پایین پوشش گیاهی دائمی (پتس ۱۹۷۷)

۳-۳-۲-۳- بده با دوره بازگشت‌های مختلف

در برآورد بده سیلاب می‌توان از روش‌های متعددی استفاده کرد که انتخاب آن‌ها بستگی به عواملی چون هدف مورد انتظار، آمار موجود، مشخصات حوضه، اهمیت طرح و مدت زمان موجود برای تجزیه و تحلیل داده‌ها دارد. روش‌های متداول در این زمینه در جدول (۳-۲) ارائه شده است [۴۲].

جدول ۳-۲- روش‌های مورد استفاده در برآورد بده سیلاب [۴۲]

مساحت (کیلومترمربع)	روش‌های مورد استفاده
کم‌تر از ۲/۵	منحنی‌های نفوذپذیری، روش شماره منحنی
کم‌تر از ۲۵۰	هیدروگراف رواناب سطحی، هیدروگراف واحد، آنالیز منطقه‌ای سیلاب، روش حداکثر سیلاب بر حسب سطح حوضه، روش شماره منحنی
۲۵۰-۵۰۰۰	هیدروگراف واحد، آنالیز سیلاب، روش حداکثر سیلاب بر حسب سطح حوضه
بیش‌تر از ۵۰۰۰	آنالیز منطقه‌ای سیلاب، روش حداکثر سیلاب بر حسب سطح حوضه

با توجه به گستردگی روش‌های برآورد بده سیلاب و با توجه به این‌که این روش‌ها در اکثر کتب هیدرولوژی با جزییات کامل بیان شده است لذا در این راهنما فقط به نام این روش‌ها اشاره می‌گردد. برای مطالعه جزییات کامل روش‌ها به مرجع [۴۲] این راهنما و ضابطه شماره ۳۱۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان «راهنمای تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه»، مراجعه شود. روش‌های تجربی برای برآورد بده سیلاب عبارتند از:

- روش‌های مبتنی بر سطح حوضه مانند روش کریگر[1]، رابطه دیکن[2]، منحنی پوش و رابطه تجربی فولر
- روش‌های مبتنی بر خصوصیات حوضه مانند روش‌های اول و دوم کوک[3]

1- Creager
2- Dicken's Formula
3- Cook

omoorepeyman.ir

۳-۳-۲-۴- تعیین بده طرح در ساختگاه‌های بدون ایستگاه اندازه‌گیری

در ساختگاه‌های فاقد آمار و یا دارای آمار محدود، نمی‌توان از توزیع‌های آماری استفاده کرد. درچنین مواردی، یکی از راه حل‌ها برای برآورد بده سیل با دوره بازگشت مورد نظر، انجام تجزیه وتحلیل سیلاب منطقه‌ای است. از روش های تحلیل منطقه‌ای سیلاب در حوضه‌های بدون آمار یا با آمار ناقص می‌توان استفاده کرد [۸۰]. به طوری که بر مبنای بده متوسط سیل حوضه که از روش‌های مختلفی مانند رابطه سطح حوضه و یا روابط بین بده با بارندگی و خصوصیات فیزیکی حوضه به‌دست می‌آید، بده سیل در دوره بازگشت‌های مختلف، محاسبه می‌گردد [۴۲]. اطلاعات تکمیلی در این زمینه در ضابطه «راهنمای تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه» و نیز ضابطه شماره ۳۰۷ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور تحت عنوان «راهنمای پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه»، ارائه شده است.

۳-۳-۲-۵- تعیین بده طراحی

تصمیم‌گیری در مورد دوره بازگشت سیلاب طراحی به بررسی معیارها و ملاحظات متعددی نیاز دارد که از نظر اقتصاد کلان ملی و تامین ایمنی در مقابل خطر سیلاب دارای اهمیت به سزایی است. به‌طور کلی می‌توان روش‌های تعیین دوره بازگشت را به سه دسته زیر طبقه‌بندی نمود:

الف- تعیین دوره بازگشت سیلاب طرح براساس تحلیل اقتصادی

ب- تعیین دوره بازگشت سیلاب طرح براساس تحلیل خطرپذیری

ج- تعیین دوره بازگشت سیلاب طرح براساس ملاحظات اجتماعی

اگر برای یک پروژه تلفات جانی وجود نداشته باشد و امکان تعیین خسارت به ازای سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های مختلف فراهم آمده باشد، تحلیل اقتصادی به عنوان ابزار اصلی تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی خواهد بود. اساس تحلیل اقتصادی بیشینه نمودن نسبت سود به هزینه یا سود خالص طرح می‌باشد. این محاسبات باید براساس داده‌های سال مبنا انجام شود. آیتم‌های مهم در این تحلیل هزینه‌ها، فایده‌ها و شاخص‌های اقتصادی (نسبت فایده به هزینه و ارزش حال خالص) می‌باشد. مراحل محاسبات تعیین بده طراحی براساس تحلیل اقتصادی را می‌توان به دو بخش اصلی تهیه منحنی خسارت- احتمال رخداد و تهیه جدول تحلیل اقتصادی تقسیم نمود. برای مطالعه جزییات بیش تر این روش به ضابطه «راهنمای تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه» مراجعه شود [۱۴].

به هنگام طراحی یک سازه باید احتمال وقوع سیلی را در طول عمر سازه پیش‌بینی نمود. البته نمی‌توان سیل را خیلی بزرگ و یا خیلی کوچک در نظر گرفت. ممکن است که یک سیل بسیار بزرگ هیچ‌گاه در طول عمر سازه پیش نیاید. درصورتی‌که چنین مقدار بزرگی برای سیلاب در نظر گرفته شود منجر به ساخت سازه‌ای پر هزینه می‌گردد. از سوی دیگر در صورت انتخاب سیلی بسیار کوچک با آمدن سیلی بیش از مقدار پیش بینی شده امکان تخریب سازه وجود

omoorepeyman.ir

داشته و خرابی‌های بسیار زیادی نیز می‌تواند در صورت نبود سازه رخ دهد. با توجه به این‌که سازه‌های تثبیت بستر سازه‌های با اهمیت بالا نمی‌باشد لذا دوره بازگشت سیل طراحی با هماهنگی با کارفرما ۱۰ سال انتخاب گردد.

۳-۴- مبانی هیدرولیکی

۳-۴-۱- متغیرهای طراحی و روش‌ها

در طراحی سازه‌های تثبیت بستر پارامترهای جریان نظیر ضریب زبری، سرعت و عمق جریان و مشخصه‌های رسوب نظیر بار بستر، بار معلق و ظرفیت انتقال رسوب تاثیرگذار هستند. در ادامه در مورد هر یک از این پارامترها مطالبی ارائه می‌گردد.

۳-۴-۲- تعیین ضریب زبری و چگونگی تغییرات آن با توجه به وضعیت رودخانه و ویژگی‌های جریان

ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه (منظور از ضریب زبری، ضریب مانینگ است) به درجه مقاومت در مقابل جریان گفته می شود. بعد و واحد ضریب زبری به نوع رابطه جریان بستگی دارد. ضریب زبری برای محاسبات سرعت و بده جریان در مجاری باز نظیر رودخانه‌ها به نوع‌های مختلف تعریف شده است.

عوامل مختلفی بر زبری هیدرولیکی رودخانه تاثیر می گذارند. برخی از این عوامل تابع شرایط هیدرولیکی نظیر رژیم جریان نیز می‌باشند. عوامل موثر بر زبری هیدرولیکی رودخانه را می‌توان شامل مواردی نظیر قطر دانه‌های رسوب در بستر آبراهه اصلی و سیلاب دشت رودخانه ها، عمق جریان، لزجت جریان، شکل بستر آبراهه، موانع موجود در بستر آبراهه و سیلاب‌دشت، تغییرات شکل و اندازه مقاطع رودخانه، پوشش گیاهی بستر آبراهه و سیلاب‌دشت، پیچانرودی بودن رودخانه و غلظت رسوب جریان دانست. به‌طور کلی روش‌های برآورد ضریب زبری را می‌توان به دو دسته طبقه‌بندی نمود:

- روش‌هایی که ضریب زبری ناشی از یکی از عوامل موثر را تعیین می‌کنند.
- روش‌هایی که زبری هیدرولیکی ناشی از مجموع چند عامل موثر را تعیین می‌کنند.

در طرح‌های مهار فرسایش و رسوب رودخانه نیاز به تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه می‌باشد. روش‌های مهار فرسایش و رسوب شامل انواع احداث پوشش‌های طبیعی و مصنوعی بر روی بستر و کناره‌های رودخانه می‌باشد. در این روش با پوشاندن سطح بستر و یا کناره و یا سیلاب‌دشت رودخانه با مصالح غیرقابل فرسایش رودخانه در مقابل جریان حفاظت می‌شود. در این صورت می‌توان ضریب زبری هیدرولیکی برای آبراهه اصلی و سیلاب‌دشت را از جدول (۳-۳) تعیین نمود [۶۵].

از دیگر روش های متداول جهت تعیین ضریب زبری، روش کاون است. اطلاعات کامل این روش و سایر اطلاعات تکمیلی در زمینه ضریب زبری در نشریه شماره ۳۳۱- الف طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی آب و آبفا تحت عنوان «راهنمای تعیین زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها» ارائه شده است [۱۵].

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۳- ضریب زبری هیدرولیکی انواع پوشش [۶۵]

نوع پوشش	حداقل	متوسط	حداکثر
سنگی	۰/۰۲۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸
قلوه سنگ	۰/۰۳۰	۰/۰۳۳	۰/۰۳۸
خاکی	۰/۰۱۸	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳
رسی	۰/۰۱۸	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳
شمع صفحه‌ای	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰
علف	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴۰
بوته	۰/۰۳۸	۰/۰۴۵	۰/۰۵۰
درخت	۰/۰۴۰	۰/۰۴۵	۰/۰۵۰
بلوک سنگی	۰/۰۳۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴۰
چپری	۰/۰۲۰	۰/۰۲۵	۰/۰۳۰
تورسنگ	۰/۰۳۵	۰/۰۳۸	۰/۰۴۰
بتن	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۲۲
سنگ چین	۰/۰۳۷	۰/۰۴۰	۰/۰۴۳
شمع چوبی/ الوار	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	۰/۰۳۰
پوشش حصیری	۰/۰۱۹	۰/۰۲۳	۰/۰۲۷
سنگ ملات	۰/۰۱۷	۰/۰۲۵	۰/۰۳۰
آجر چینی	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸

۳-۴-۳- تعیین مشخصه‌های جریان

سازه‌های تثبیت بستر برای جریان‌های دائم یکنواخت و یا حداکثر دائم غیریکنواخت طراحی می‌شوند.

در جریان دائم مشخصات جریان نظیر بده و یا عمق جریان در یک مقطع معین نسبت به زمان ثابت می باشد. درصورتی که ویژگی‌های جریان نظیر عمق در طول مسیری از رودخانه ثابت بماند یعنی نسبت به مکان ثابت باشد جریان را یکنواخت می‌نامند. به‌طور مثال جریان در یک رودخانه یا آبراهه منشوری که بده معینی را با سرعت ثابت از خود عبور می‌دهد یک جریان تقریبا یکنواخت است. البته اگر این مشخصات در طول مسیر آبراهه تغییر کند جریان غیریکنواخت است.

۳-۴-۴- تعیین ظرفیت انتقال رسوب در بازه‌های فرسایش‌پذیر

وقوع فرسایش از جمله پدیده‌های بارز انتقال رسوب در رودخانه‌ها می‌باشد. در سازه‌هایی نظیر بندهای اصلاحی نیاز است بدانیم که چه مقدار رسوب در پشت این سازه جمع می شود. زیرا به مرور زمان رسوب این بندهای اصلاحی را پر می‌کند. مواد رسوبی در رودخانه‌ها عموما به دو صورت بار بستر و بار معلق جابجا می‌شوند. عواملی نظیر خصوصیات دانه‌بندی، چگالی دانه‌ها، دمای آب، هیدرولیک جریان و مشخصه‌های هندسی رودخانه در نحوه انتقال مواد رسوبی تاثیرگذار می باشند. بار کل مجموع بار بستر و بار معلق است که به عنوان آورد رسوبی رودخانه قلمداد می شود. تاکنون معادلات مختلفی برای تعیین بار کل توسط محققین و متخصصین ارائه شده است که جزییات کامل این روش ها در

omoorepeyman.ir

ضابطه شماره ۲۷۳ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان «راهنمای تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلبی» و نیز ضابطه شماره ۵۹۰ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان «راهنمای محاسبه بار رسوب معلق و بستر»، ارائه شده است. همچنین استفاده از مدل‌های ریاضی برای تعیین بار کل از جمله راهکارهای متداولی است که امروزه در عرصه مهندسی رسوب از جایگاه مهمی برخوردار می باشد. در جدول (۳-۴) مدل های ریاضی متداول در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها [۲۰] ارائه شده است.

جدول ۳-۴- مدل‌های ریاضی متداول در تعیین بار رسوبی رودخانه‌ها[۵]

ویژگی‌ها	نام مدل				
	HEC-6	GSTARS	MOBED	MIKE-11	SEFLOW
نوع مدل	یک‌بعدی	شبه دوبعدی	یک‌بعدی	یک‌بعدی	یک‌بعدی
نوع جریان	ماندگار	ماندگار	غیرماندگار	ماندگار و غیرماندگار	غیرماندگار
نوع رسوب	درشت‌دانه و ریزدانه	درشت‌دانه و ریزدانه	درشت‌دانه	درشت‌دانه و ریزدانه	درشت‌دانه و ریزدانه

شایان ذکر است کاربرد اصلی این گونه مدل‌ها شبیه‌سازی فرایند فرسایش و رسوب‌گذاری در مسیر رودخانه‌ها و یا داخل مخزن سدها می‌باشد. از این‌رو لازم است مقدار بار کل حمل شده توسط جریان (شامل بار بستر و بار معلق) توسط مدل شبیه‌سازی شود.

۳-۴-۵- بررسی اثرات احداث کف‌بند در رفتار ریخت‌شناسی و هیدرولیکی رودخانه

کف‌بندها زمانی موثرند که نسبت عمق سیلابی در پایین‌دست به عمق بحرانی آن به‌گونه‌ای باشد که جهش حاصل از عبور آب از کف‌بند در پایین‌دست به سرعت مستهلک شده و جریان به حالت فوق بحرانی تبدیل نشود. این سازه به‌ویژه در بازه‌هایی که فرسایش بسیار شدید و رسوب‌گذاری نامطلوبی در پایین‌دست رودخانه ایجاد می‌شود، به کار می‌رود. عملکرد کف‌بندهای کوتاه مستغرق برای رودخانه‌های با شیب کم براساس تحقیق کنسس[1] و همکاران (۱۹۸۸) به صورت زیر ارائه شده است [۹۲]:

- ساخت کف‌بند موجب جلوگیری از فرسایش بستر در محل ساخت کف‌بند می‌گردد.
- فرسایش مابین دو کف‌بند متوالی تا جایی که شیب پایدار برقرار گردد ادامه می‌یابد.

پدیده آبشستگی موضعی در پایین‌دست کف‌بندها مانند دیگر سازه‌های هیدرولیکی رخ می‌دهد. برای محاسبه عمق این آبشستگی روابط مختلفی توسط محققین ارائه شده است. زبرمن و مانیاک (۱۹۶۷) رابطه‌ای را برای میزان عمق آبشستگی در انتهای کف‌بند افقی با آستانه انتهایی ارائه کرده‌اند [۲۸]:

$$d_s = \frac{2.89q^{0.82}}{D_{85}^{0.23}}\left(\frac{d_2}{q^{0.66}}\right)^{0.93} - d_2$$

که در این رابطه:

1- Knasus

omoorepeyman.ir

d_s: عمق آبشستگی در انتهای کف‌بند (متر)

q: بده جریان در واحد عرض (مترمکعب بر ثانیه بر متر)

d_2: عمق جریان در پایین‌دست کف‌بند (متر)

D_{85}: اندازه دانه‌بندی ذرات نظیر ۸۵ درصد وزنی

لارسن و فلیک (۱۹۸۳) نیز برای محاسبه عمق آبشستگی کف‌بند شیب‌دار رابطه زیر را پیشنهاد نمودند [۱۶]:

$$\frac{D_s}{y_c} = 4\left(\frac{y_c}{d}\right)^{0.2} - 3\left(\frac{d_{yy}}{y_c}\right)^{0.1}$$

که در این رابطه:

D_s: عمق آبشستگی در پایین‌دست سازه (متر)

y_c: عمق بحرانی (متر)

d: قطر ذرات مواد بستر (متر)

d_{yy}: اندازه لایه پوشش سنگی محافظ سازه (متر)

شایان ذکر است جهت مهار فرسایش و تثبیت بستر استفاده از کف‌بندهای شیب‌دار به دلیل عمق آبشستگی کم‌تر و نیز پایداری بهتر بر سازه‌های شیب‌شکن ارجحیت دارند.

۳-۴-۶- راستای رودخانه و ابعاد هندسی مقاطع آن و بررسی پایداری

راستای رودخانه به طور کلی به سه دسته شریانی، پیچانرودی و مستقیم تقسیم بندی می‌شود. متناسب با راستای رودخانه روش طراحی متفاوت است. اطلاعات کامل در مورد راستای رودخانه در «راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه»، ارائه شده است که لازم است برای جزییات بیش‌تر در این خصوص به این نشریه مراجعه شود [۱۶].

omoorepeyman.ir

فصل ۴

معیارها و ملاحظات انتخاب روش تثبیت

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۴-۱- کلیات

روش‌های مختلف تثبیت بستر در رودخانه، همان‌طور که در مابقی فصول به آن‌ها اشاره شده است، هریک دارای مزایا و معایب مخصوص به خود می باشند. این در حالی است که انتخاب یک روش مناسب به عوامل متعددی بستگی دارد. عوامل موثر در انتخاب این روش‌ها شامل معیارها و ملاحظات هیدرولیکی، ریخت‌شناسی، اجتماعی، زیست‌محیطی، اقتصادی و ژئوتکنیکی است. همچنین به هنگام انتخاب روش مناسب برای تثبیت بستر باید به زمین شناسی و مصالح موجود در منطقه نیز توجه شود که ضمن در نظر گرفتن معیارهای ذکر شده در بالا روش مناسب انتخاب و با توافق کارفرما بهینه گردد [۱۳]. در این فصل معیارها و ملاحظات موثر در انتخاب روش‌های ثبیت‌کننده بستر به تفکیک تشریح شده است.

۴-۲- معیارهای هیدرولیکی

اصولا طرح ابتدا از نظر فنی تایید می شود که شامل طراحی هیدرولیکی است، سپس از نقطه نظر زمین شناسی و ژئوتکنیک بررسی می گردد. بعضا شرایط ژئوتکنیک ممکن است باعث شود که نوع طرح تغییر کند؛ مثلا در مواردی ناچار خواهیم بود به جای آب‌شکن قائم ۴ متری از آب‌شکن ۱ متری استفاده نماییم. نوع رسوب رودخانه نیز مهم است. در رودخانه‌هایی که رسوب درشت‌دانه (قلوه‌سنگ) و شیب تندی دارند، سازه‌های بتنی به علت تخریب بتن در اثر ضربه‌های پیاپی خیلی سریع تخریب می‌شوند. همچنین در رودخانه‌هایی که در آن‌ها اجسام شناور نظیر تنه درختان زیاد حرکت می کنند (رودخانه‌هایی که از مناطق جنگلی عبور می کنند) استفاده از مقطع گابیونی مناسب نیست چرا که تنه درختان به آن‌ها گیر کرده و باعث تخریب آن‌ها می‌شود. علل اصلی خرابی بسیاری از سازه‌های تثبیت بستر در آبراهه‌ها، عدم توجه به معیارهای هیدرولیکی در طراحی، اجرا و نگه داری از آن‌ها است. از جمله این عوامل می توان به سرعت، عمق، بده و غیره اشاره نمود که برای هر روش محدودیت‌های خاص خود را ایجاد می کنند. در جدول (۴-۱) روش‌های مختلف تثبیت بستر به همراه محدودیت‌های مربوط به پارامترهای هیدرولیکی آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۴-۱- محدودیت‌های مربوط به معیارهای هیدرولیکی در هر یک از روش‌های تثبیت بستر آبراهه

نام روش	سرعت	عمق	نسبت عرض به عمق رودخانه	بده
کف‌بندهای بتنی	–	–	–	–
آستانه	–	–	–	–
شیب‌شکن با تاج مستطیلی	–	–	–	مناسب برای شرایطی که بده حداکثر ۱۰ m^3/s باشد [۸۶]
شیب‌شکن با تاج ذوزنقه‌ای	–	–	–	مناسب برای شرایطی که بده حداقل ۱۰ m^3/s باشد[۸۶]
شیب‌شکن YMGT (ژاپنی)	مناسب برای سرعت کم[۸۶]	مناسب برای عمق کم[۸۶]	–	مناسب برای شرایطی که بده حداکثر ۱ m^3/s باشد[۸۶]
شیب‌شکن مایل معمولی	–	–	–	مناسب برای شرایطی که بده بین ۱/۴ تا ۲/۸ m^3/s باشد[۱۳و۱۹]
شیب‌شکن مایل با ریزش تند آب	–	–	–	مناسب برای شرایطی که بده حداکثر ۰/۷۵ m^3/s باشد[۸۶]

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۴-۱- محدودیت‌های مربوط به معیارهای هیدرولیکی در هر یک از روش‌های تثبیت بستر آبراهه

نام روش	سرعت	عمق	نسبت عرض به عمق رودخانه	بده
شیب‌شکن آبشاری	مناسب برای سرعت زیاد [۸۶]	مناسب برای عمق زیاد[۸۶]	–	مناسب برای بده زیاد [۸۶]
شیب‌شکن پلکانی	متوسط [۸۶]	۲/۵ – ۲ متر	–	متوسط [۸۶]
تایرهای لاستیکی	باید سرعت جریان در مسیرهای پرپیچ و خم دو برابر مسیر مستقیم باشد [۸۲]	مناسب برای عمق زیاد [۸۲]	–	–
کیسه‌های شنی	مناسب برای سرعت کم [۷۵]	مناسب برای عمق کم [۷۵]	–	مناسب برای بده کم [۷۵]
پوشش گیاهی	بسته به نوع خاک [۹۱]	مناسب برای عمق کم [۹۱]	–	حداکثر بده ۵ برابر زمانی که آبراهه بدون پوشش است [۹۱]
سد اصلاحی	زیاد [۵]	–	–	زیاد [۵]

۴-۳- معیارهای ریخت‌شناسی و انتخاب روش تثبیت برای انواع آن

به طور کلی اقدامات مهندسی رودخانه در بستر رودخانه ها منجر به تغییر شرایط طبیعی رودخانه و ایجاد شرایط جدیدی در رودخانه می‌شود. با تغییر شرایط رودخانه‌ها، ممکن است تغییراتی در ریخت‌شناسی رودخانه‌ها به‌وجود آید. در این میان شناخت معیارهای ریخت‌شناسی منجر به آگاهی از عکس‌العمل رودخانه به‌صورت کمی و یا کیفی و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده و نیز از خطرات جبران‌ناپذیری که در اثر تغییرات و جابجایی‌های رودخانه‌ها ممکن است به‌وجود آید، جلوگیری می‌کند [۱۳].

از طرف دیگر امروزه استفاده از روش های حفاظت از بستر رودخانه‌ها منجر به تغییر مسیر و بعضا محدودسازی بستر آبراهه می‌گردد، که عدم توجه به مسایل ریخت‌شناسی، منجر به مشکلات تغییرات و جابجایی‌های مسیر رودخانه‌ها خواهد شد و طبعا خسارت‌های زیان‌باری به وجود خواهد آمد [۱۳]. لذا در این بخش ریخت‌شناسی مناسب هر یک از روش‌های تثبیت بستر آبراهه ارائه شده است. در جدول (۴-۲) این محدودیت‌ها برای هر یک از روش‌های تثبیت بستر به تفکیک ارائه شده است.

جدول ۴-۲- ریخت‌شناسی مناسب هریک از روش‌های تثبیت بستر رودخانه‌ها

نام روش	رودخانه مستقیم[1]	پیچانرودی[2]	شریانی[3]
کف‌بندها	✓[۴۷]	-	✓[۴۷]
آستانه	✓[۵۹]	✓[۵۹]	✓[۵۹]
شیب‌شکن‌ها	✓[۸۶]	-	-
سدهای اصلاحی	✓[۵]	-	-
پوشش گیاهی	✓[۹۱]	✓[۹۱]	-
کیسه‌های شنی	✓[۹۴]	✓[۹۴]	✓[۵]
تایرهای لاستیکی	✓[۸۲]	✓[۸۲]	✓[۸۲]

1- Straight River
2- Meandering River
3- Braided

omoorepeyman.ir

۴-۴- ملاحظات اجتماعی و زیست‌محیطی در انتخاب روش تثبیت

یکی دیگر از مواردی که در هنگام طراحی و اجرای یک روش تثبیت بستر رودخانه باید مورد توجه قرار دارد، معیارها و ملاحظات اجتماعی و زیست‌محیطی است که در ادامه به تشریح شده‌اند.

۴-۴-۱- ملاحظات اجتماعی

در ملاحظات اجتماعی به بررسی نظرات مردم در انتخاب روش‌های تثبیت بستر که مرسوم است، پرداخته می‌شود. همواره توصیه می‌شود که روش‌هایی را انتخاب کنیم که بیش‌تر مورد استقبال مردم است. در ارزیابی میزان رضایت مردم در مورد روش به کار رفته، می‌توان از پرسش‌نامه‌های مربوط و کسب نظرات جمعیت به‌صورت مستقیم استفاده نمود [۴]. میزان مشارکت مردم در اجرای طرح، سازگاری طرح با وضعیت اجتماعی منطقه، سهولت نگه داری و عدم تخریب و سرقت مصالح از دیگر مسایل مربوط به ملاحظات اجتماعی می باشد. به منظور آگاهی یافتن از افکار عمومی و ذهنیت جامعه نسبت به اقدامات به کار رفته می‌توان با مراجعه مستقیم به افراد مختلف جامعه و نظرخواهی از آن‌ها پرسش‌نامه‌هایی را تهیه نمود. این پرسش‌نامه‌ها حاوی سوالات مناسب می‌باشند و با تکمیل آن‌ها در بازدیدهای میدانی، نظرات مردم درباره اقدامات اجرایی صورت گرفته در آن به طور مستقیم جمع‌آوری می‌گردد [۴]. این پرسش‌نامه‌ها موارد کلی زیر را بررسی می‌کنند [۴]:

- اطلاعات شخصی بازدیدکنندگان
- میزان آگاهی مردم از اقدامات انجام شده
- تاثیرات اجتماعی اقدامات انجام شده

در طراحی این پرسش‌نامه‌ها سعی می‌شود تا سوالاتی مطرح گردد که به تاثیرات اجتماعی طرح انجام شده پرداخته و نظرات استفاده‌کنندگان را جمع‌آوری کند [۴].

۴-۴-۲- ملاحظات زیست‌محیطی

یکی دیگر از مواردی که در مورد روش‌های تثبیت بستر باید مورد توجه قرار داد، توجه به مسایل زیست محیطی آن است. اصولا محیط‌زیست شامل آبزیان و گیاهان اطراف می‌باشد که سازه‌های پیشنهادی نباید به مهاجرت آبزیان لطمه‌ای وارد کرده و یا ایجاد رسوب زیاد کند و باعث خفگی شود و یا باعث بالا آمدن سطح آب و از بین رفتن پوشش گیاهی شود. سازه‌هایی چون شیب‌شکن‌های عمودی امروزه در اروپا ممنوع شده‌اند. استفاده از تایرهای لاستیکی امروز ممنوع شده‌اند. سازه‌هایی که اختلاف ارتفاع بیش از توان پرش ماهی را دارند باید مایل با حوضچه‌هایی برای استراحت ماهیان طراحی شوند.

به‌طور کلی اثرات زیست‌محیطی به معنی تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی محیط‌زیست که بر اثر یک یا چند اقدام به‌وجود می‌آید، می‌باشد. به‌طوری که شناسایی اثرات زیست- محیطی، بخش عمده و اصلی در طرح‌های مهندسی رودخانه می‌باشد. از طرف دیگر طرح‌های مهندسی رودخانه، در مرحله اجرا و

omoorepeyman.ir

بهره‌برداری در برگیرنده فعالیت‌هایی است که محیط‌زیست را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۳۹]. به منظور شناسایی این‌گونه اثرات، در مراحل اجرا و بهره‌برداری لازم است به موارد زیر توجه شود [۳۹]:

- ابتدا کلیه فعالیت‌ها در طرح، نوع مصالح، نیروی انسانی و منابع و ماشین‌آلات به کار گرفته شده در طرح مشخص شده و محل اجرا و زمان اجرای هر یک از فعالیت‌ها معین گردد.
- بررسی کامل و گسترده‌ای از محیط فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، اقتصادی- اجتماعی در محل و یا محدوده طرح بر حسب نیاز انجام شود. در این بررسی به ویژه باید عوامل زیست‌محیطی تاثیرپذیر، شناسایی شوند.

به‌دلیل تنوع اقدامات ساماندهی و ضرورت استفاده از سازه‌های مختلف و ملاحظات فنی، جامع‌نگری و بررسی پیامدهای ناشی از این اقدامات بر روی محیط زیست به منظور ارزیابی عملکرد رودخانه و اتخاذ تدابیر لازم برای مقابله با اثرات منفی اقدام انجام شده ضروری است. به عنوان نمونه با ساخت سدهای اصلاحی، بازه‌های پایین‌دست دچار فرسایش و کف‌کنی شده و در بازه‌های بالادست فرآیند رسوب‌گذاری ممکن است رخ دهد [۹۷]. سایر سازه‌های عرضی مانند شیب‌شکن‌ها، کف‌بندها، و غیره نیز هر یک به نوعی اثرهای فرسایش و رسوب‌گذاری متقابل را تجربه می‌کنند [۷۷و۹۰]. لذا شناخت این پیامدها در جهت ارزیابی روش به کار رفته در تثبیت بستر رودخانه و اتخاذ راه حل لازم برای جلوگیری از اثرات منفی آن، موثر می‌باشد. در جدول (۴-۳) فهرستی از روش‌های مختلف تثبیت بستر و میزان آسیب‌های وارد آمده از طرف هریک از آن‌ها بر محیط‌زیست ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که اکثر روش‌های تثبیت بستر، آسیب چندانی به محیط‌زیست وارد نمی‌آورند. البته استفاده از کیسه‌های شنی به صورت موضعی برای کنترل آب شستگی اشکالی ندارند ولی برای کنترل فرسایش عمومی و استفاده در بازه طولانی برای تخم ریزی ماهیان و سایر آبزیان مشکل ایجاد می‌کنند که در این صورت استفاده از آن‌ها توصیه نمی‌شود. همچنین در سازه‌هایی مانند آستانه و شیب‌شکن اگر اختلاف ارتفاع بالا و پایین سازه زیاد باشد ایجاد اشکال می‌نماید.

جدول ۴-۳- میزان اثرات زیست‌محیطی روش‌های تثبیت بستر

نام روش	میزان آسیب به محیط‌زیست			
	کم	متوسط	زیاد	برگشت‌ناپذیر
کف‌بندها	✓ [۲۰]			
آستانه	✓ [۷۷]			
شیب‌شکن	✓ [۲۰]			
سدهای اصلاحی		✓ [۲۰]		
پوشش‌های گیاهی	✓ [۲۰]			
کیسه‌های شنی		✓ [۲۰]		
تایرهای لاستیکی	✓ [۹۴]			

omoorepeyman.ir

۴-۵- ملاحظات اقتصادی

امروزه روز به روز بر اهمیت سنجه‌های اقتصادی در تصمیم‌گیری طرح‌های مختلف افزوده شده و ضرورت همسان‌سازی عوامل موثر در محاسبات هزینه و فایده‌ها بیش‌تر گردیده است. به‌طور کلی چارچوب اساسی ارزیابی اقتصادی طرح‌های مهندسی رودخانه را مقایسه هزینه‌ها و فایده‌های طرح تشکیل می‌دهد که در ادامه به طور مفصل تشریح شده‌اند [۲۳].

۴-۵-۱- برآورد و بهینه‌سازی اقتصادی

در پروژه‌های مهندسی، اقتصاد طرح نقش تعیین کننده در تصمیم‌گیری‌ها دارد و در بعضی مواقع اقتصاد طرح نوع پروژه را تغییر و منجر به عدم اجرای آن می‌گردد. همچنین در این پروژه‌ها بیش‌تر براساس سود به هزینه، طرح اقتصادی می‌شود و یا این‌که از نظر اقتصادی سازه‌های مختلف با هم مقایسه می‌شوند (مثلا سدهای سنگی ملاتی با توری‌سنگی و غیره) و سپس تصمیم‌گیری قطعی راجع به به‌کارگیری نوع روش گرفته می‌شود. در مورد ابعاد بهینه‌سازه‌های عرضی ثبیت‌کننده بستر توصیه یا پیشنهادی به‌طور قطعی ارائه نشده است.

در مورد سدهای اصلاحی نیاز به تعیین فاصله بهینه بین آن‌ها می‌باشد که تشریح کامل آن در فصل ۶ این ضابطه ارائه شده است. در مورد روش‌های دیگر حفاظت بستر آبراهه، باید در هنگام طراحی ابعاد سازه‌های مورد نظر، ضمن این که آن سازه از نظر فنی درست طراحی گردد، باید به هزینه‌های در برگیرنده آن نیز توجه شود و درصورتی‌که بتوان مثلا برای یک سازه، ابعاد مختلف را در طرح مورد نظر در نظر گرفت باید آن ابعادی از آن سازه را در نظر گرفت که کم ترین هزینه را در برداشته باشد. همچنین طراحی سازه‌های ثبیت‌کننده بستر باید به نحوی باشد که ضمن در نظر گرفتن مسایل مربوط به پایداری سازه در برابر معضلاتی چون لغزش و واژگونی، به هزینه‌های اقتصادی طرح نیز توجه گردد [۵].

چارچوب اساسی ارزیابی‌های اقتصادی طرح‌های مهندسی مقایسه هزینه‌ها و فایده‌های طرح می‌باشد. تشخیص و برآورد اصولی و نزدیک به واقع هزینه‌ها و فایده‌ها و تهیه داده‌های پایه مورد نیاز در این زمینه با توجه به بررسی‌های اقتصادی صورت می‌گیرد [۲۳]. از کلیه عوامل موثر در برآورد نزدیک به واقع هزینه‌ها و فایده‌های طرح به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

- شناخت خصوصیات طرح
- امکانات تجهیزاتی، نهادی، مدیریتی و سازمانی
- تاثیر عوامل خارجی در اجرا و بهره‌برداری از طرح
- پیش‌بینی پیامدهای ناشی از اجرا و بهره‌برداری از طرح
- توانایی در قضاوت‌های فنی

لذا با بررسی هزینه‌ها و فایده‌ها و استفاده از اصول اقتصاد مهندسی لازم است بین اجزای مختلف طرح تناسب برقرار گردد و از بین گزینه‌های مختلف، مطلوب‌ترین گزینه انتخاب شود [۲۳].

omoorepeyman.ir

۴-۵-۱-۱- برآورد هزینه‌های طرح

برآورد هزینه ها که به عنوان یکی از ارکان اصلی مطالعات اقتصادی می باشد، باید با دقت مناسب و مبتنی بر مدارک قابل قبول باشد. به طور کلی در تحلیل های مالی، برآورد هزینه‌ها با استفاده از قیمت تمام شده و در تحلیل های اقتصادی با استفاده از شبه قیمت‌ها انجام می‌شود. همچنین در تحلیل‌های مالی، هزینه‌ها فقط شامل هزینه‌های مربوط به سازمان اجرایی و بهره‌برداری طرح است ولی در تحلیل های اقتصادی باید کلیه هزینه‌های مستقیم و ناملموس را در نظر گرفت [۲۳]. به طورکلی هزینه‌های یک طرح را می‌توان به هزینه‌های مستقیم، هزینه‌های وابسته و هزینه‌های ناملموس تقسیم‌بندی نمود که در ادامه به تشریح هر یک پرداخته شده است [۲۳]:

۱- هزینه‌های مستقیم طرح شامل: هزینه‌های مهندسی برای تهیه طرح، اجرا، نظارت بر اجرا و بهره‌برداری، هزینه‌های خرید اراضی، جابجایی و اسکان و هزینه‌های نگه‌داری و بهره‌برداری می‌باشند.

۲- هزینه های وابسته طرح؛ که این دسته از هزینه ها ارزش کلیه کالاها و خدماتی هستند که جزو هزینه های احداث طرح نمی‌شوند. یعنی آن بخشی از هزینه‌ها که مستقیما از فایده‌های طرح کسر و باقی‌مانده فایده با هزینه طرح مقایسه می‌گردد.

۳- هزینه‌های ناملموس طرح: این نوع از هزینه‌ها، کلیه هزینه‌هایی را در بر می‌گیرند که ناشی از زیان‌های وارد بر جامعه در اثر اجرای طرح است و به درستی در ارزش‌گذاری هزینه‌های مستقیم انعکاس دارد. از جمله این هزینه‌ها می‌توان به تاثیرات منفی در محیط اجتماعی، محیط‌زیست، سطوح زندگی بخش‌هایی از جامعهو آثار تورمی بر اقتصاد اشاره نمود.

در مطالعات اقتصادی لازم است عوامل مختلف هزینه ها (اقلام عمده) تا حد امکان به تفکیک و به طور مستقل برآورد شوند. همچنین از آن‌جایی که طرح باید مشخص شود، لازم است مقادیر هزینه‌های طرح در سال‌های مختلف اجرای طرح تعیین گردد [۲۳].

۴-۵-۱-۲- برآورد فایده‌های طرح

در هر پروژه‌ای، آثار مفید و عمده ناشی از اجرای طرح به عنوان فایده‌های طرح محسوب می‌شود. ارزیابی نمودن آثار مفید طرح های مختلف، در تحلیل اقتصادی و تحلیل مالی متفاوت است. در تحلیل مالی با محاسبه نمودن فایده مستقیم ارزیابی آثار طرح صورت می گیرد، این در حالی است که در تحلیل های اقتصادی ارزیابی باید جامع و در قالب اهداف و سیاست‌های توسعه اقتصادی کشور باشد [۲۳]. به طور کلی فایده‌های طرح به سه دسته فایده‌های مستقیم [۶۶]، فایده‌های غیرمستقیم [۷۱] و فایده های ناملموس تقسیم می شوند که در ادامه به تشریح هر یک پرداخته شده است [۲۳]. فایده‌های مستقیم طرح را با استفاده از قیمت‌ها و شبه قیمت‌ها می‌توان ارزیابی نمود. از جمله این نوع فایده‌ها می‌توان به افزایش ارزش زمین اصلاح شده در اثر کاهش خسارت ناشی فرسایش آن و کاهش خسارت‌های ناشی از اقدامات به‌عمل آمده اشاره نمود. در مورد فایده‌های غیرمستقیم، در صورت مهم بودن آن‌ها، با ضمیمه نمودن طرح های ممکن به طرح اصلی به روش فایده های مستقیم ارزیابی

omoorepeyman.ir

می‌شوند. از جمله مصادیق این نوع فایده‌ها می‌توان به کاهش هزینه‌های مربوط به تولیدات کشاورزی وصنعتی و یا سایر فعالیت‌های ناشی از اختلالات حاصل از عدم اجرای صحیح سازه‌ی ثبیت‌کننده اشاره نمود. این در حالی است که فایده‌های ناملموس که از طریق آحاد پولی قابل اندازه گیری نمی‌باشند، حتی‌الامکان با استفاده از ضوابطی چون تغییرات در توزیع فایده، تامین شغلی و تاثیرات بر روی محیط‌زیست ارزیابی می‌شوند. از جمله مصادیق این نوع فایده عبارتست از: جلوگیری از تلفات جانی، بهبود در وضعیت رفاه عمومی و امنیت و آرامش اهالی منطقه در اثر اجرای طرح [۲۳].

۴-۵-۱-۳- تعیین فاصله و ابعاد بهینه سازه‌ها

تعیین ابعاد و فاصله بهینه‌سازه‌ها فاکتور مهمی است که منجر به پایین آمدن هزینه‌های طرح می‌شود. در مورد سدهای اصلاحی به همان شیوه‌ای که در بند ۶-۸ فصل ۶ ارائه شده است، فاصله بهینه تعیین می‌شود [۵] و در مورد مابقی سازه‌ها روش خاصی برای تعیین فاصله بهینه آن‌ها تحقیقی ارائه نشده است. اما در مورد ابعاد بهینه سازه‌های دیگر همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره گردید اگر بتوان ابعاد مختلفی اعم از طول و یا عرض برای سازه در نظر گرفت؛ باید به ازای هر یک، هزینه های ناشی از اجرای آن سازه را نیز حساب کرد و سپس آن گزینه‌ای را انتخاب نمود که ضمن در برداشتن نکات فنی مورد نیاز، از نظر اقتصادی از کم‌ترین هزینه برخوردار باشد.

۴-۵-۱-۴- انتخاب روش تثبیت بر مبنای تحلیل اقتصادی

در برنامه‌های عمرانی و مهندسی، تصمیم‌گیری و طراحی بدون توجه به اصول و مفاهیم اقتصادی بی‌مفهوم است. در واقع از جمله اساسی‌ترین ارزیابی‌ها در مطالعات عمرانی، بررسی اقتصاد طرح است که قبل از تصمیم‌گیری و انجام سرمایه‌گذاری صورت می‌گیرد. لذا هیچ یک از روش‌های ثبیت‌کننده بستر مورد تصویب قرار نمی‌گیرد مگر این که از لحاظ اقتصادی توجیه شده و مزایای آن نسبت به معایب و هزینه‌های آن غالب باشد. اقتصادی شدن طرح‌های حفاظت از بستر آبراهه با توجه به تحقق اهداف طرح تعریف می‌شود به نحوی که با اجرای آن از خسارت و تلفات مالی و جانی بسیاری در محدوده طرح جلوگیری شود [۱۳].

۴-۶- ملاحظات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک

به طور کلی در طراحی، نگه‌داری و بهره‌برداری از روش‌های تثبیت بستر، بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیک از جمله عوامل موثر و حایز اهمیت محسوب می‌شود. لذا خصوصیات خاک و زمین‌شناسی محلی باید به شکلی مطلوب مورد شناسایی قرار گیرد. در این زمینه، باید به نکاتی به شرح زیر توجه شود. [۱۹]:

- انتخاب بهترین روش از نظر کاربرد و عملکرد آن
- بررسی پایداری کوتاه‌مدت و درازمدت شیب‌ها
- انتخاب مصالح مناسب
- انتخاب محل‌های مناسب به منظور گودبرداری‌ها و استقرار مصالح

omoorepeyman.ir

- اصلاح طراحی در مرحله ساخت به منظور در نظر گرفتن هرگونه تغییر ایجاد شده در خصوصیات خاک زیـرین یا تغییر در نوع مصالح نسبت به آنچه که هنگام طراحی در نظر گرفته شده است.
- مشکلات ویژه ساخت سازه‌های حفاظتی بر روی خاک‌های مساله‌دار مانند خاک‌های نرم
- تحلیل آثار بارهای دینامیکی مانند امواج و زلزله روی گسیختگی شیب‌ها و پی
- بررسی پایداری درازمدت و تحکیم
- بررسی پدیده‌ها و مخاطرات زمین‌شناسی مهندسی همچون رگاب[1] و روان‌گرایی[2]

به طور کلی، در ارتباط با جنبه‌های زمین‌شناختی، طراحی و احداث سازه‌های تثبیت بستر در رودخانه باید به گونه‌ای انجام شود که تعادل متقابل بین این سازه‌ها و شرایط زمین‌شناسی به‌وجود آید. لذا برای رسیدن به این هدف، دو موضـوع زیر اهمیت بیش‌تری دارد [۲۵]:

الف- شناخت کامل تمامی عوامل موثر در طراحی و اجرای سازه مورد نظر، از جمله نوع مصـالح، بارهـای اسـتاتیکی و دینامیکی، عوامل زیست محیطی، تاثیرات شیمیایی و غیره موثر بر محیط. این مورد توسط طراح سازه مشـخص می‌شود که به عنوان داده برای برنامه‌ریزی مطالعات زمین‌شناسی مهندسی به کارگرفته می‌شود [۱۹].

ب- شناخت محیط زمین‌شناسی از جمله عوامل شکل‌دهنده آن مانند شکل‌گیری اولیه، عوامـل تکتـونیکی، تـاثیرات عوامل جوی و آبشناسی بر آن و شاخص های فیزیکی و شیمیایی و تاثیر آن‌ها بـر روی سـازه مـورد نظـر کـه بـا کوشش مهندس زمین‌شناس و براساس روش‌های مختلف اکتشافی در مرحله طراحی حاصل می‌شود [۱۹].

محدوده گسترش انواع سنگ ها و خاک ها در اطراف رودخانه، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آن‌ها از جملـه مقاومت آن‌ها در مقابـل فرسـایش و درجـه هـوازدگی، سـاختارهای زمـین شناسـی، فرآینـدهای زمـین شناسـی و زمـین ریخت شناسی حاکم بر منطقه، چگونگی عملکرد و میزان تاثیر و اهمیـت آن‌هـا از قبیـل فرسـایش، بـاتلاق و فرآینـدهای ثقلی، خطرهای طبیعی از جمله زمین لغزش، فرونشست، سیلاب ها، تغییرات مقاومت نفوذپذیری در تشـکیلات پوشـاننده محدوده اطراف رودخانه و خصوصیات زمین ساختی، ژئومکانیکی و تکتونیکی زمین ماننـد گسـله هـای مهـم و لایـه هـای ضعیف و دگرسان شده از جمله عوامل موثر در اجرای سازه‌های تثبیت بستر رودخانه‌ای می‌باشند. این اطلاعات مورد نیـاز در طراحی و اجرای هر یک از روش‌های ثبیت‌کننده بستر رودخانه، در طی مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیـک بـه‌دسـت می‌آیند. با انجام مطالعات و عملیات صحرایی و آزمایشگاهی، می‌توان آن‌ها را شناسایی نمود. هر چـه اطلاعـات بـه‌دسـت آمده دقیق‌تر باشد، طراح به همان نسبت می‌تواند با هزینه کم‌تر و اطمینان بیش‌تری طرح خود را اجرا کند. بدین ترتیـب بررسی مطالعات و ملاحظات ژئوتکنیک، برای طرح‌های مهندسی رودخانه و خصوصا در طراحی سازه‌های حفـاظتی مـورد بحث از مطالعات پایه و ضروری به حساب می‌آید [۱۹].

1- Piping
2- Linquefaction

omoorepeyman.ir

فصل ۵

نرم‌افزارهای موجود برای بررسی پایداری آبراهه و طراحی تثبیت‌کننده‌های بستر

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۵-۱- کلیات

رفتار جریان در آبراهه، همواره تحت تاثیر فرآیندهای هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی قرار می‌گیرد. همچنین وقوع تغییر و تحولات طبیعی و مصنوعی ؛که به دست بشر ایجاد می‌شود، منجر به تغییر الگوی جریان در آبراهه‌ها می‌گردد. این امر شرایط را برای فرسایش و کف‌کنی بستر آبراهه‌ها فراهم می‌آورد. لذا شناخت پدیده‌های طبیعی و مصنوعی و آثار ناشی از تغییرات آن‌ها در شرایط هیدرولیکی و همچنین پیش‌بینی رخدادهای تاریخی در آبراهه‌ها نقش موثری در به حداقل رساندن خسارت وارده به آبراهه‌ها ایفا خواهد نمود. پس از شناخت رفتار هیدرولوژیک و مورفولوژیک و عوامل تاثیرگذار در این پدیده‌ها، یافتن ابزاری مناسب جهت تحلیل این پدیده‌ها حایز اهمیت است. امروزه، با پیشرفت تکنولوژی ساخت رایانه‌ها و موفقیت‌های اخیر در زمینه توسعه نرم‌افزارهای کامپیوتری، مدل‌های ریاضی به عنوان ابزاری کارآمد در تحلیل مسایل مربوط به پایداری آبراهه‌ها و تثبیت‌کننده‌های بستر معرفی شده‌اند [۳۶]. اصولا این دسته از نرم‌افزارها جهت تعیین شرایط هیدرولیک و رسوب جریان هستند و از آن‌جایی که برای طراحی سازه‌های مختلف ثبیت‌کننده بستر نیاز به تعیین پارامترهای هیدرولیکی و رسوب است، از این نرم‌افزارها استفاده می‌شود.

۵-۲- معرفی نرم‌افزارها

۵-۲-۱- نرم‌افزارهای تحلیل هیدرولیک جریان

تاکنون مدل‌های ریاضی زیادی توسط محققین مختلف برای مطالعات متعدد بر روی آبراهه‌ها توسعه پیدا کرده‌اند. به طوری که برخی از آن‌ها بسیار کاربردی بوده و در پروژه‌های مختلف در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این میان هدف از تهیه نرم‌افزارهای تحلیل هیدرولیک جریان عبارت است از [۲۴]:

- درک و شناخت مناسب و دقیق الگوی جریان و مکانیزم‌های موجود در آن
- محاسبه عمق سیلاب در نقاط مختلف
- برآورد ظرفیت انتقال رودخانه و بررسی سناریوهای مختلف در جهت افزایش ظرفیت انتقال آن
- تاثیر تغییرات هندسی بر روی رژیم هیدرولیک رودخانه
- ارزیابی اثر سازه‌های هیدرولیکی بر الگوی جریان

نرم‌افزارهای Branch، BRI-Stars، CCHE2D، DAFLOW، DELFT3D، Flow3D، FLUENT، FLUVIAL12، Fourpt،GSTARS3، HEC6، HEC-RAS، MIKE 11، MIKE21، SMS 8، SSIM و WSPRO از این دسته هستند که تشریح کامل آن‌ها در بند ۵-۲-۴ ارائه شده است.

omoorepeyman.ir

۵-۲-۲- نرم‌افزارهای بررسی پایداری آبراهه، تحلیل پایداری آن و طراحی

چون آبراهه‌های آبرفتی از مواد رسوبی فرسایش‌پذیری تشکیل شده‌اند و تنش برشی وارده به علت نیروی جریان آب بیش از مقاومت رسوب بستر بوده، ممکن است بستر و دیواره آبراهه به طور طبیعی در طول زمان تغییر کند. لذا تحلیل پایداری آبراهه یکی از مسایل مهم در مطالعات ساماندهی رودخانه به حساب می‌آید. برای تحلیل پایداری آبراهه می‌توان از نرم‌افزار استفاده کرد. این نرم‌افزارها اهداف زیر را دنبال می‌کنند:

- بررسی پایداری آبراهه
- ارزیابی تغییرات تراز بستر رودخانه به‌دلیل وجود سازه‌های هیدرولیکی

از میان نرم‌افزارهای موجود برای تحلیل پایداری آبراهه، نرم‌افزارهای HEC6 و HEC-RAS می‌باشند که در بند ۵-۲-۴ تشریح شده‌اند [۲۴].

۵-۲-۳- نرم‌افزارهای تحلیل ریخت‌شناسی آبراهه

برای توصیف و تشریح فرآیندهای مورفولوژیکی مختلف از مدل‌های عددی یک بعدی جریان و انتقال رسوب استفاده می‌گردد [۶۸]. استفاده از مدل‌های عددی به درک بهتر شرایط هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی رودخانه‌ها کمک نموده و ابزاری هستند جهت حل مسایل پیچیده مهندسی محیط‌زیست و رودخانه. با استفاده از این مدل‌ها می‌توان حالت‌های مختلف، تحت شرایط متفاوت هیدرولیکی را شبیه‌سازی نمود. این قابلیت به دانشمندان و مهندسان در حل مسایل پیچیده موجود و پیش‌بینی رخدادهای آتی کمک می‌نماید. در این میان اغلب مدل‌های انتقال رسوب مورد استفاده در مسایل مهندسی رودخانه، یک بعدی بوده؛ به خصوص آن‌هایی که به منظور شبیه‌سازی مسیر طولی رودخانه استفاده می‌گردند. این مدل‌ها به حداقل داده‌های میدانی برای واسنجی و رسوب نیاز دارند. حل عددی این معادلات یک بعدی نسبت به معادلات دو بعدی پایدارتر و زمان محاسبات آن‌ها کوتاه‌تر می‌باشد؛ اما به هر حال معادلات یک بعدی در شرایطی که مقطع عرضی آبراهه دارای تغییراتی چون به‌وجودآمدن مسیرهای پرپیچ و خم می‌باشد و یا متصل شدن چندین آبراهه به یکدیگر هستند، مناسب نمی‌باشند [۷۹]. تحلیل ریخت‌شناسی آبراهه‌ها با به‌کارگیری مدل‌های ریاضی CCHE1D، CCHE2D، FLOW3D، DELFT3D، FLUVIAL12 و MIKE11، HEMAT1D،GSTARS3 و HEC-RAS صورت می‌گیرد که تشریح کامل آن‌ها در بخش ۵-۲-۴ ارائه شده است.

۵-۲-۴- نرم‌افزارهای موجود

۵-۲-۴-۱- نرم‌افزار BRANCH

نرم‌افزار BRANCH مدلی است یک بعدی برای شبیه‌سازی جریان دائمی و غیردائمی در مسیر کانال باز یا یک شبکه و نیز در مسیرهای با هندسه‌های پیچیده. این نرم‌افزار قادر به ارزیابی جریان در رودخانه‌ها، شبکه‌های کانال باز در سواحل، همراه با اندرکنش جریان‌های ورودی آب شیرین و شور در شرایط جزر و مد می‌باشد. این نرم‌افزار همچنین

omoorepeyman.ir

می‌تواند تغییرات تراز آب، بده جریان و سرعت متوسط در هر مکانی را محاسبه نماید. یکی دیگر از قابلیت‌های این نرم‌افزار این است که در صورت ترکیب آن با مدل‌های USGS (MODBRANCH)، اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی را می‌تواند شبیه‌سازی کند. در این نرم‌افزار همچنین تاثیر سازه‌های هیدرولیکی نیز در نظر گرفته شده است. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل هندسه کانال، ضریب زبری، اطلاعات ترازهای کف رودخانه، افت‌های انرژی (موضعی، بازشدگی یا تنگ شدگی)، شرایط اولیه، شرایط مرزی هیدرولیکی (هیدروگراف بده، منحنی بده- اشل)، گام زمانی شبیه‌سازی و اطلاعات خروجی آن شامل پروفیل سطح آب و سرعت جریان می‌باشد. به طور کلی از این نرم‌افزار در تحلیل هیدرولیک جریان استفاده می‌شود. برای انجام عمل واسنجی نیز این نرم‌افزار نیاز به اطلاعاتی چون ضریب زبری، ضرایب بازشدگی و تنگ‌شدگی دارد [۲۴].

۵-۲-۴-۲- نرم‌افزار BRI-STARS

مدلی است شبه دو بعدی که برای شبیه‌سازی رسوب و نیز جریان آب به‌کار می‌رود. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان تغییرات تراز کف بستر و پایین‌افتادگی کف آبراهه را محاسبه نمود. این نرم‌افزار همچنین توانایی شبیه‌سازی پدیده بازشدگی و تنگ‌شدگی کانال را دارا می‌باشد و قادر است پدیده آبشستگی را شبیه‌سازی نماید. همچنین این نرم‌افزار دارای یک نمای گرافیکی جامع است و از مفهوم لوله‌های جریان استفاده می‌نماید. به طور کلی از این نرم‌افزار در تحلیل هیدرولیک جریان استفاده فراوان می‌شود. برای انجام عمل واسنجی این نرم‌افزار نیاز به اطلاعاتی چون ضریب زبری و ضریب افت انرژی دارد. همچنین اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل معادلات انتقال رسوب، بده رسوب، دمای آب، تعداد کلاس اندازه ذرات، مشخصات ذرات رسوبی، ضخامت لایه فعال، معادله آبشستگی پایه و کوله‌ی پل، ضرایب معادلات، ضخامت لایه فعال و جریان رسوب ورودی جانبی است و داده‌های خروجی آن شامل تغییرات تراز کف، فرسایش و رسوب‌گذاری اطراف پایه‌های پل می‌باشد [۲۴].

۵-۲-۴-۳- نرم‌افزار CCHE2D

مدلی است دو بعدی که به منظور شبیه‌سازی هیدرودینامیک در شرایط ماندگار و غیرماندگار در آبراهه‌ها استفاده می‌شود. این نرم‌افزار از روش المان موثر و حجم کنترل برای حل معادلات استفاده می‌نماید و از روش سطوح خشک به منظور شبیه‌سازی جریان‌های غیرماندگار و حرکت مرزهای آن استفاده می‌نماید. به طور کلی از این نرم‌افزار در تحلیل هیدرولیک جریان استفاده فراوان می‌شود. عمل واسنجی این نرم‌افزار براساس پارامتر مقاومت بستر که همان ضریب مانینگ است صورت می‌گیرد. همچنین در این نرم‌افزار نیاز به اطلاعات ورودی چون زمان شبیه‌سازی، شرایط اولیه و مرزی، اعماق‌تری و خشکی، تراز اولیه سطح آب، زبری بستر و کناره‌ها دارد و داده‌های خروجی آن شامل تراز سطح آب، مولفه‌های سرعت، توزیع تنش برشی و توزیع لزجت گردابه‌ای می‌باشد [۲۴].

omoorepeyman.ir

۵-۲-۴-۴- نرم‌افزار DAFLOW[1]

این نرم‌افزار که توسط موسسه نقشه‌برداری آمریکا[2] توسعه داده شده است، مدلی است یک بعدی به منظور شبیه‌سازی جریان غیردائمی در آبراهه‌ها و رودخانه‌های با اختلاط کامل. این نرم‌افزار همچنین می‌تواند شبکه‌های شاخه‌ای را مدل نماید. همچنین این نرم‌افزار برای جریان‌های برگشتی استفاده می‌شود. به طور کلی از این نرم‌افزار در تحلیل هیدرولیک جریان استفاده می‌شود. امروزه نسخه اصلاح شده این نرم‌افزار در ترکیب با نرم‌افزار آب زیرزمینی MODFLOW قادر به شبیه سازی اندرکنش‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی است و به علت سادگی و دارا بودن حداقل اطلاعات نتایج خوبی به همراه دارد [۲۴]. اطلاعات ورودی نرم افزار شامل اطلاعات مربوط به مشخصات شبکه از جمله طول شاخه، نمودار هیدروگراف ورودی، شرایط مرزی بالادست و مشخصات هندسی رودخانه می باشد. همچنین اطلاعات خروجی نرم افزار شامل مقدار بده جریان، مساحت مقطع عرضی، عرض بالا، جریان ورودی شاخه در هر نقطه می‌باشد. این نرم‌افزار را با استفاده از ضریب هندسه هیدرولیکی می‌توان واسنجی نمود [۷۸].

۵-۲-۴-۵- نرم‌افزار DELFT3D

این نرم‌افزار، می‌تواند شبیه‌سازی دو بعدی و سه بعدی جریان و ریخت‌شناسی را انجام دهد. به طور کلی از این نرم‌افزار در تحلیل هیدرولیک جریان و تحلیل ریخت‌شناسی استفاده می‌شود. این نرم‌افزار انعطاف‌پذیر بوده که در شبیه‌سازی سواحل، رودخانه‌ها و خورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار شامل مدول‌های هیدرودینامیک است که می‌تواند جریان‌های غیردائمی در شرایط آب کم را شبیه‌سازی نماید. این مدول‌ها شامل مدول موج که در آن انتشار غیردائمی امواج روی بسترهای ناهموار، شکست موج، انکسار و کم‌عمقی در نظر گرفته می‌شود؛ مدول کیفیت آب که قادر به شبیه‌سازی فرآیندهای انتقال و کیفیت آب می‌باشد؛ مدول ریخت‌شناسی که تغییرات بستر ناشی از انتقال رسوب را شبیه‌سازی می‌نماید؛ مدول انتقال رسوب که انتقال، فرسایش و نشست رسوبات را شبیه‌سازی می‌نماید و مدول اکولوژیکی که فرآیندهای حاکم حیاتی اکوسیستم‌ها را شبیه‌سازی می‌نماید. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل عمق آب، خط ساحلی، مشخصات اصطکاکی کف، مشخصات سازه و ویژگی‌های رسوب می‌باشد [۲۴]. واسنجی نرم‌افزار را با استفاده از پارامترهایی چون سرعت جریان، تراز سطح آب، داده‌های تغییر مورفولوژی می‌توان انجام داد. همچنین اطلاعات خروجی این نرم‌افزار شامل تغییرات تراز سطح آب، مقدار بده جریان و مشخصات ریخت‌شناسی می‌باشد [۶۴].

۵-۲-۴-۶- نرم‌افزار FLUENT

نرم‌افزاری است برای شبیه‌سازی جریان سیال با هندسه‌های پیچیده دو بعدی و سه بعدی که امکان تغییر شبکه و تحلیل جریان با شبکه‌های غیرساختار یافته را فراهم می‌سازد. این نرم‌افزار همچنین امکان بهبود شبکه را فراهم می‌کند

1- Diffusion analogy flow model
2- US Geological Survey

omoorepeyman.ir

که این امر باعث می‌شود که در ناحیه‌هایی که گرادیان‌های شدید وجود دارد، نتایج دقیقی حاصل گردد. به طور کلی این نرم‌افزار کاربرد فراوانی در تحلیل مسایل هیدرولیکی دارد.

داده‌های ورودی این نرم‌افزار شامل ابعاد مساله و دقت آن (دو بعدی یا سه بعدی و دقت معمولی یا مرتبه دوم)، شبکه حل، نوع مدل شامل مدل های حل دائم یا غیردائم، مدل های آشفتگی، نوع و مشخصات موارد مورد نیاز (شامل جامد یا سیال بودن، چگالی، ویسکوزیته، ضریب هدایت حرارت و ...)، تعریف فازها و مواد مربوط به هر یک و ضرایب مربوط به اندرکنش بین آن‌ها، شرایط مرزی شامل مرز جامد و مشخصاتی چون سرعت مرز، زبری و غیره، مرز سرعت ورودی و مشخصات مربوط به مقدار و جهت سرعت، فشار ورودی، تعریف پارامترهای جانبی نظیر مرزهای پریودیک، تعیین شرایط حل شامل ضرایب زیر تخفیف، معادلات مورد نظر برای حل، طرح های مورد نظر برای هر یک از معادلات، شرایط اصلاح شبکه دینامیک و محدودیت های حل، شرایط آغازین و مقادیر پارامترهای مختلف در آن، تعیین شرایط حل شامل گام زمانی، تعریف پارامترهای لازم برای گام متغیر، تعداد تکرار در هر گام زمانی می باشد. در مقابل اطلاعات خروجی آن شامل بردارهای سرعت یا ترکیبی از بردارها از پارامترها، خطوط مسیر و خطوط رگه ذرات فرضی در انواع مختلف، نمایش پارامترها در نمودارهای دو بعدی و سه بعدی می باشد. همچنین این نرم‌افزار را می‌توان براساس ترم‌های آشفتگی در مرزها واسنجی نمود [۲۴].

۵-۲-۴-۷- نرم‌افزار FLUVIAL12

این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی یک بعدی جریان استفاده می‌شود. در این نرم‌افزار معادلات پیوستگی و مومنتم که برای شبیه‌سازی جریان استفاده می‌شوند، با استفاده از روش تفاضل محدود حل می‌گردند. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل زمان شروع و پایان هیدروگراف و گام زمانی شبیه سازی، معادله انتقال رسوب مربوط، روش برآورد پروفیل سطح آب (روش استاندارد و موج دینامیک)، دمای آب، شیب مقطع پایین دست، مشخصات مقاطع، فاصله بین مقاطع، شعاع انحنای مقاطع، ضریب مانینگ مقاطع، هیدروگراف های ورودی جریان، مشخصات جریان ورودی و رسوب شاخه های انشعابی می‌باشد. همچنین داده‌های خروجی نرم‌افزار شامل تراز سطح آب، عرض جریان، عمق جریان، سرعت متوسط در هر مقطع، شیب خط انرژی، عدد فرود در هر مقطع می‌باشد. این نرم‌افزار را می‌توان براساس ضریب مانینگ، گام زمانی و ضخامت لایه فعال واسنجی نمود [۵۸].

۵-۲-۴-۸- نرم‌افزار FourPt

این نرم‌افزار که توسط USGS توسعه یافته است، قادر به شبیه‌سازی یک بعدی جریان‌های غیردائمی در شبکه کانال‌های باز می‌باشد که در آن معادلات آب کم‌عمق با استفاده از روش تفاضل محدود ضمنی چهار نقطه‌ای حل می‌شود. لذا محدودیتی برای جریان‌های برگشتی ندارد. در این نرم‌افزار سینوسیته کانال و چگالی آب می‌تواند متغیر باشد. به طوری که در صورت متغیر بودن آن‌ها مقدار آن‌ها باید توسط کاربر به نرم‌افزار داده شود. این نرم‌افزار دارای قابلیتی است که کاربران می‌توانند قیود مرزی مورد نظر خود را به برنامه اعمال نمایند. همچنین این نرم‌افزار فاقد نمایش گرافیکی است [۲۴].

omoorepeyman.ir

۵-۲-۴-۹- نرم‌افزار GSTARS3

این نرم‌افزار که در کشور آمریکا توسعه یافته است، قادر به شبیه‌سازی جریان و رسوب می‌باشد. این نرم‌افزار، شبه دوبعدی است. چرا که در آن از مفهوم لوله جریان در تعیین پارامترهای هیدرولیکی جریان استفاده می شود. همچنین این نرم‌افزار علاوه بر تغییرات طولی توانایی بررسی تغییرات جریان در عرض را هم دارا می‌باشد. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل ابعاد مساله (شامل تعداد رودخانه، کلاس رسوبات، تعداد لایه‌های بستر)، شرایط حل شامل هیدرولیک جریان(دائم، غیردائم با موج یکنواخت یا دینامیک)، زمان و گام شبیه سازی، روش برآورد پروفیل سطح آب (روش استاندارد، روندیابی موج دینامیکی)، دمای آب، مشخصات مقاطع، فاصله بین مقاطع، محدوده های غیرفعال هر مقطع، محدوده‌های غیرفعال دائمی جریان، محدوده‌های خشک بستر، محدوده‌های بلوک شده، افت انرژی در هر مقطع، توزیع ضریب مانینگ در مقاطع، تعریف شرایط مرزی بالادست، پایین‌دست و میانی می‌باشد. اطلاعات خروجی نرم‌افزار شامل مقاطع (هندسه مقاطع)، پروفیل بستر، تراز سطح آب، بده جریان و تنش برشی می‌باشد. پارامترهای واسنجی نرم‌افزار شامل ضریب مانینگ، گام زمانی، ضخامت لایه فعال و ضرایب بازشدگی و جمع شدگی جریان می‌باشد [۲۴].

۵-۲-۴-۱۰- نرم‌افزار HEC6

یکی از متداول‌ترین مدل‌های کامپیوتری جریان برای محاسبات یک بعدی در رودخانه می‌باشد. این نرم‌افزار از روش تفاضل محدود برای حل معادلات خود استفاده می کند. این نرم‌افزار قادر است قدرت رودخانه برای حمل رسوب را شبیه‌سازی نماید. این نرم‌افزار برای جریان ماندگار توسعه یافته است و با توجه به این که مدلی یک بعدی است، قادر به شبیه‌سازی پدیده پیچانرودی نمی‌باشد. لذا از این نرم‌افزار نمی‌توان در رودخانه‌های پیچانرودی برای تعیین پارامترهای هیدرولیکی استفاده نمود. به طور کلی این نرم افزار برای تحلیل مسایل هیدرولیکی، پایداری و طراحی آبراهه مناسب می باشد. اطلاعات ورودی این نرم افزار شامل مشخصات هندسی (مقاطع، فاصله بین مقاطع، شعاع انحنای مقاطع، ضریب مانینگ مقاطع، ضریب بازشدگی و جمع شدگی جریان)، شرایط مرزی (هیدروگراف ورودی جریان، مشخصات جریان ورودی، تراز آب و بده - اشل در پایین‌دست) می‌باشد. همچنین داده‌های خروجی نرم‌افزار شامل تراز سطح آب، عمق جریان، سرعت متوسط در هر مقطع می‌باشد. همچنین واسنجی نمودن نرم‌افزار را می‌توان براساس ضریب مانینگ، ضرایب فرسایش‌پذیری در سیلاب‌دشت‌ها انجام داد [۲۴].

۵-۲-۴-۱۱- نرم‌افزار HEC-RAS

از رایج‌ترین نرم‌افزارهای کامپیوتری که می‌تواند جریان متغیر تدریجی را با هر نوع مقطعی شبیه‌سازی نماید، می‌باشد. این نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی جریان‌های زیربحرانی و فوق بحرانی و ترکیبی است. به طوری که در حل جریان غیردائمی از نرم‌افزار UNET اقتباس می‌کند. اساس محاسبات این نرم‌افزار را معادلات انرژی تشکیل می‌دهند و در شرایطی که تغییرات پروفیل سطح آب سریع باشد از معادلات مومنتم استفاده می کند. همچنین این نرم افزار قادر است

omoorepeyman.ir

انواع پل‌ها، آبگذرها، سرریزها، سازه‌های موجود در سیلاب‌دشت و انواع کانال‌ها با شکل‌های مختلف را شبیه‌سازی نماید. این نرم افزار قادر به طراحی کانال پایدار نیز می باشد. برای این منظور از سه روش کاپلند، رژیم و نیروی برشی استفاده می کند. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل داده‌های هندسی مربوط به مقاطع عرضی، طول بازه‌ها، ضرایب افت انرژی، اطلاعات اتصال، اطلاعات سازه‌های هیدرولیکی (مانند پل‌ها، آبگذرها و غیره)، ضریب زبری در کانال اصلی و سیلاب دشت‌ها، رژیم جریان (زیربحرانی، فوق بحرانی و مختلط)، شرایط مرزی (تراز سطح آب، عمق بحرانی، عمق نرمال، منحنی بده- اشل)، زمان شبیه‌سازی، تحلیل جریان دائمی یا غیردائمی می‌باشد. همچنین داده‌های خروجی شامل پروفیل سطح آب، سرعت جریان، شیب خط انرژی، سطح جریان، عرض بالای جریان و عدد فرود جریان می‌باشد. به منظور واسنجی نمودن نرم‌افزار نیز از پارامترهای ضریب زبری در کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها، ضرایب بازشدگی و جمع‌شدگی جریان می‌توان استفاده نمود [۲۴].

۵-۲-۴-۱۲- نرم‌افزار MIKE11

این نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها و رودخانه‌ها می‌باشد که اولین بار در کشور دانمارک توسعه یافت که در سطح وسیعی از کشورها به خصوص ایران مورد استفاده قرار گرفت. این نرم‌افزار یک بعدی قادر به شبیه‌سازی جریان، پیش‌بینی سیلاب، انتقال رسوب، تغییرات ریخت‌شناسی در حالت‌های ماندگار و غیرماندگار است. اطلاعات ورودی این نرم افزار شامل مقادیر اولیه تراز آب و بده جریان، اطلاعات باد (ضریب اصطکاک)، ضریب زبری بستر و سیلاب‌دشت (ضریب مانینگ یا شزی)، تقریب موج، محاسبه موازنه دما، مشخصات لایه‌بندی شامل تعداد لایه‌ها، مدل آشفتگی در سیال و در بستر، ضرایب پخش و انتقال، زمان و گام شبیه‌سازی می‌باشد. در مقابل داده‌های خروجی شامل سرعت و بده جریان، مساحت سطح مقطع، عرض جریان، عدد فرود، جریان های جانبی، شیب تراز آب، شیب تراز انرژی، تنش برشی بسترو گام زمانی می‌باشد. همچنین با تغییر پارامترهای ضریب زبری، ضرایب پخش و ضریب لزجت آشفتگی می‌توان نرم‌افزار را واسنجی نمود [۲۴].

۵-۲-۴-۱۳- نرم‌افزار MIKE21

نرم‌افزاری است کاربردوست که از آن به منظور شبیه‌سازی هیدرولیک جریان، انتقال رسوب در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، خلیج‌ها و مناطق ساحلی و نیز سیستم‌های آبیاری استفاده می‌گردد. این نرم‌افزار از پنج مدول شامل: مدول هیدرولوژیکی برای تحلیل فرایند بارش رواناب، مدول هیدرودینامیکی برای بررسی تغییرات بده و تراز سطح آب، مدول انتقال رسوب برای بررسی تغییرات تراز بستر، مدول انتقال- پخش برای شبیه سازی فرآیندهای مختلف انتقال رسوبات چسبنده و مدول کیفیت آب به منظور ارزیابی و شبیه‌سازی فرآیندهای شیمیایی آب استفاده می‌کند. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل داده‌های هیدروگرافی، زمان شبیه‌سازی، شرایط اولیه و شرایط مرزی، چشمه و چاه، اعماق تری و خشکی و تراز اولیه سطح آب می‌باشد. همچنین داده‌های خروجی آن شامل تراز سطح آب، فلاکس جریان و مولفه‌های

omoorepeyman.ir

سرعت می باشد. این نرم‌افزار را با استفاده از پارامترهایی چون مقاومت بستر(ضریب مانینگ یا شزی) و ضریب لزجت گردابه‌ای می‌توان واسنجی نمود [۲۴].

۵-۲-۴-۱۴- نرم‌افزار SMS8.0

این نرم‌افزار که جهت مدل‌سازی هیدرودینامیکی یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی به کار می‌رود، نرم‌افزار بسیار جامعی است. از آن به منظور شبیه‌سازی پروفیل سطح آب، آنالیز و طراحی آن استفاده می‌شود. این نرم‌افزار همچنین می تواند محاسبات مربوط به تراز سطح آب و سرعت جریان برای جریان‌های کم‌عمق را انجام دهد. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل اطلاعات هندسی (شبکه مناسب و اطلاعات هیدروگرافی)، ضریب زبری، ضریب ویسکوزیته گردابی، شرایط اولیه، شرایط مرزی بالادست و پایین دست(جریان موازی، بده یا سرعت جریان، تراز سطح آب، منحنی بده - اشل)، تعداد تکرارها و درصد خطای مجاز و اطلاعات خشک و تر شدن المان‌ها می باشد. داده‌های خروجی نرم‌افزار شامل پروفیل سطح آب و سرعت جریان می‌باشد [۲۴].

۵-۲-۴-۱۵- نرم‌افزار SSIM

این نرم افزار که توسط بخش مهندسی هیدرولیک در موسسه تکنولوژی نروژ تولید شده است، مدلی است عددی که به مطالعه بر روی مهندسی رودخانه، مهندسی محیط زیست و مهندسی هیدرولیک رودخانه می پردازد. این مدل سه بعدی همچنین دارای دو نسخه ۱ و ۲ می‌باشد که در نسخه ۱ آن شبکه به صورت ساختار یافته می‌باشد و هر سلول آن با سه شاخص که نشان دهنده جهت است، معرفی می گردد. در حالی که در نسخه ۲ مدل خود شبکه را تولید می‌نماید. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل هندسه کانال، ضرایب زیر تخفیف، شرایط اولیه، شرایط مرزی (تراز سطح آب، بده جریان)، زمان شبیه‌سازی، ضریب زبری بستر و دیواره و تعیین نوع مدل آشفتگی است. همچنین داده‌های خروجی نرم‌افزار شامل تراز سطح آب، سرعت جریان و شار جریان می‌باشد. واسنجی نرم‌افزار را نیز می‌توان با استفاده از ضریب زبری بستر و دیواره انجام داد [۲۴].

۵-۲-۴-۱۶- نرم‌افزار WSPRO

این نرم‌افزار قادر است پروفیل سطح آب را برای جریان‌های زیربحرانی، بحرانی و فوق بحرانی شبیه‌سازی نماید. همچنین این نرم‌افزار قادر است پروفیل سطح آب رودخانه متشکل از یک یا چند پل و یا آبگذر را محاسبه نماید. اطلاعات ورودی این نرم‌افزار شامل داده‌های کنترل پروفیل و تعریف مقطع عرضی می‌باشد. همچنین اطلاعات خروجی این نرم‌افزار شامل مشخصات مقاطع، جدول استاندارد به‌دست آمده در نتیجه محاسبات انجام شده و اطلاعات مربوط به مقاطع عرضی می‌باشد. واسنجی نرم‌افزار با استفاده از پارامتر ضریب زبری مانینگ انجام می‌شود [۹۹].

omoorepeyman.ir

۵-۳- انتخاب نرم‌افزارهای مناسب

مدل‌های ریاضی همواره قادرند مولفه‌های اساسی محیطی را کـه بـر فرآینـدهای مختلـف تاثیرگـذار هسـتند در نظـر بگیرند. در این مدل ها همواره درجات مختلفی از سادگی تا پیچیدگی در نظـر گرفتـه شـده کـه باعـث توسـعه آن‌هـا در زمینه‌های مختلف گردیده است. لذا به منظور شبیه‌سازی یک یا چند پـارامتر خـاص در منطقـه مـورد نظـر گزینـه‌هـای مختلفی پیش روی مهندس طراح قرار می‌گیرد که باید از بین آن‌ها یک مدل مناسب را انتخاب نمود [۲۴].

به طور کلی برای انتخاب یک مدل مناسب، باید مراحل ز یر را طی نمود:

۱- تعیین لیستی از مدل‌های موجود برای ارزیابی پدیده‌های مختلف

۲- توسعه مجموعه‌ای از معیارها به منظور ارزیابی مدل‌های کاندیدا برای ارزیابی نهایی

۳- توسعه معیارها به منظور دسته‌بندی توانایی‌های مدل‌ها درون هر دسته از مدل‌ها

از طرف دیگر در انتخاب مدل مناسب توجه به ویژگی‌های موثر در انتخاب آن‌ها اهمیت دارد. این ویژگی‌ها شامل:

۱- وجود مراجع علمی و راهنمای مدل

۲- امکان حمایت و پشتیبانی فنی و علمی از مدل

۳- کاربر دوست بودن مدل

۴- توانایی انعطاف‌پذیری شبکه در مناطق مختلف میدان جریان

۵- حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز و ارائه معیار در انتخاب برخی مقادیر ورودی

۶- سهولت دسترسی به مدل و نسخه جدید آن

۷- حداقل نیاز مدل به عمل واسنجی: مسلما هرچه مدل نیاز کم‌تـری بـه واسـنجی داشـته باشـد، بـرای نـواحی بیش‌تری می‌توان از آن استفاده نمود.

۸- صحت سنجی مدل

۹- رسیدن مدل به دقت مورد نیاز کاربر: منظور دقتی است که توسط کاربر تعیین می‌شود و مورد دلخواه اوست.

۱۰- دریافت نتایج خروجی مناسب

۱۱- قابلیت استفاه مدل در سخت‌افزارهای معمول

۱۲- موفقیت حاصله در کاربردهای قبلی توسط دیگران

۱۳- امکان ارتباط مدل با سیستم اطلاعات جغرافیایی و تبادل اطلاعات با آن

۱۴- عمومی بودن فرض‌ها و حالت‌های پیش‌بینی شده در مدل

که تشریح هر یک از این ویژگی‌ها در ضابطه شماره ۵۸۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور تحت عنوان «راهنمـای کاربرد مدل‌های ریاضی و فیزیکی در مطالعات مهندسی و ساماندهی رودخانه»، ارائه شده است [۲۴].

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۶

طراحی سدهای اصلاحی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۶-۱- کلیات

یکی از روش‌های سازه‌ای که به طور گسترده برای مهار فرسایش آبراهه و تثبیت بستر آن استفاده می‌شود، احداث سدهای اصلاحی است. این سازه‌ها، سدهای کوچکی هستند که در عرض آبراهه به منظور کاهش سرعت جریان آب و نیز جلوگیری از فرسایش بستر ساخته می‌شوند که این امر باعث اصلاح نیم‌رخ طولی آبراهه‌ها می‌گردد، به همین دلیل این سازه‌ها به سدهای اصلاحی شهرت یافته‌اند. این سازه‌ها صرفا در آبراهه‌های با شیب تند (عمدتا در سرشاخه‌های رودخانه‌های مناطق کوهستانی) و با هدف اصلی کاهش انتقال رسوب به پایین‌دست و یا مهار رسوب استفاده می‌شوند. عملکرد دیگر آن‌ها مهار سیل به دلیل افزایش زمان تمرکز می باشد [۵]. در این فصل ابتدا، انواع سدهای اصلاحی معرفی شده‌اند و سپس روش‌های طراحی سازه‌ای و هیدرولیکی این سدها و نیز ضوابط خاص جهت اجرا، حفظ و نگه‌داری این سازه‌ها ارائه شده است.

۶-۲- سدهای اصلاحی موقتی

یکی از انواع سدهای اصلاحی، سدهای اصلاحی موقتی است. این نوع از سدهای اصلاحی معمولا متخلخل بوده و باعث کند شدن سرعت جریان آب و ته‌نشست رسوبات در پشت آن می‌گردند. همچنین از آن‌جایی که قسمتی از جریان آب قادر است از بدنه سد عبور کند، این امر باعث کاهش فشار آب بر روی بدنه سد می‌شود. لذا این دسته از سدهای اصلاحی را تراوا نیز می نامند [۵]. زمانی از سدهای اصلاحی موقتی استفاده می شود که رویش پوشش گیاهی در آبراهه، به دلایلی چون شرایط نامناسب محیط با مشکل روبه رو باشد. در شرایطی که امکان رشد گیاه در بستر آبراهه وجود داشته باشد، به منظور کنترل فرسایش می‌توان تا زمان رشد گیاه از سدهای موقتی استفاده نمود. سدهای چپری، چوبی، فلزی سبک، خشکه‌چین، سنگی جزو این دسته می‌باشند [۵].

۶-۳- سدهای اصلاحی دائمی

زمانی که سدهای اصلاحی موقتی برای کنترل نمودن فرسایش کفایت نکنند، از سدهای دائمی استفاده می شود. این سدها برای مهار فرسایش در آبراهه‌های بزرگ ساخته می‌شوند. از آن‌جایی که برای ساخت این سدها از مصالح ساختمانی و سنگ و سیمان استفاده می‌شود، لذا هزینه ساخت آن‌ها در مقایسه با سدهای موقتی بیش‌تر است. ولیکن هزینه نگه‌داری کم‌تری را به دنبال دارند. سدهای سنگی و ملاتی، توری‌سنگی و بتنی جزو این گروه هستند [۵].

omoorepeyman.ir

۶-۴- تعیین ابعاد کلی سدهای اصلاحی

۶-۴-۱- بررسی‌های مورد نیاز میدانی

به منظور تعیین ابعاد سدهای اصلاحی به مجموعه ای از اطلاعات نیاز داریم که با استفاده از بازدیدهای میدانی و نیز با استفاده از آمار و اطلاعات به‌دست می‌آیند. اطلاعاتی که از بررسی‌های میدانی به‌دست می‌آید، در رابطه با مباحث سنگ‌شناسی (ارزیابی استحکام مواد تشکیل‌دهنده زمین) و بررسی دقیق محل احداث سد می‌باشد. همچنین اطلاعات به‌دست آمده از مطالعات میدانی باید با داده‌های نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی مطابقت داده شود [۳۲].

۶-۴-۲- عوامل موثر در تعیین ابعاد سدهای اصلاحی

به منظور تعیین ابعاد سدهای اصلاحی عوامل مختلفی را باید بررسی نمود که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است.

۶-۴-۲-۱- مصالح مورد استفاده

ساخت سدها، ممکن است با استفاده از مصالح مختلفی باشد. به طوری که نوع مصالح به کارگرفته در ساخت سدها، نقش موثری در کاهش هزینه‌ها دارد. در هنگام انتخاب نوع مصالح برای ساخت سدهای اصلاحی به منابع قرضه موجود نیز می‌بایست توجه نمود و به منظور کم کردن هزینه‌ها تا حد امکان از مصالح موجود در محل استفاده نمود. این در حالی است که استفاده از مصالح مختلف خود نیز با محدودیت‌هایی روبروست. از طرف دیگر عوامل زیست‌محیطی نیز نقش به‌سزایی در انتخاب مصالح مورد استفاده دارند [۴۰]. لذا بر این اساس در هنگام انتخاب نوع مصالح باید به موارد زیر توجه نمود:

- سدهای چوبی در بسترهای سنگی کاربردی ندارد [۴۰].
- سدهای چوبی و چپری و فلزی سبک، سازگاری بیش تری با محیط داشته و مشکلی برای رشد گیاهان به‌وجود نمی‌آورند [۴۰].
- زمانی از سدهای اصلاحی سنگی، ملاتی و توری‌سنگی استفاده می‌شود که نیاز به ارتفاع بیش‌تری برای سد باشد. در این سدها دسترسی به مصالح و هزینه، نقش موثری دارد [۴۰].
- سدهای اصلاحی چوبی، چپری و خشکه‌چین که معمولا کوتاه و در تعداد زیاد ساخته می‌شوند، نیز براساس دسترسی به مصالح، جنس بستر و هزینه‌های نگه‌داری آن‌ها انتخاب می‌شوند [۴۰].

۶-۴-۲-۲- جانمایی سازه

منظور از جانمایی سازه ارائه دادن محل هر یک از اجزای مختلف سازه مورد نظر می باشد. به طور کلی اولین اقدام در طراحی، پس از آنالیز پایداری، ارائه دادن یک جانمایی اولیه از سازه مورد نظر است [۴۸]. در جانمایی سدها به طور کلی به نکات زیر باید توجه نمود [۵۳]:

omoorepeyman.ir

- مقطعی که برای سازه طراحی می شود باید به نحوی باشد که هم قابلیت لازم را از نظر فنی دارا باشد [۵۳]. تاج سد باید به نحوی باشد که در فصول موسمی سال آب مازاد از روی آن ریزش نماید [۵۵] و ساختار آن نیز باید به شکلی باشد که باعث اتلاف انرژی در پایین‌دست و لذا منجر به کاهش فرسایش در پایین‌دست گردد.
- تاج سد از عرض کافی برخوردار باشد. همچنین ارتفاع تاج سد به نحوی باید تعیین شود که در شرایط وقوع سیلاب خطر سرریز شدن آب از روی آن وجود نداشته باشد [۵۵]. تعیین فاصله در سدهای اصلاحی نقش موثری در هزینه طرح دارد. به طور کلی بهترین و اقتصادی‌ترین فاصله در سدهای اصلاحی، فاصله‌ای است که به موجب آن هر سد در بالادست پنجه آخرین رسوبات سد پایین دستی قرار می گیرد [۴۰]. به طور کلی فاصله بین سدهای اصلاحی به ارتفاع موثر، شیب آبراهه و شیب پایدار رسوبات بستگی دارد. هیدومافیچ در سال ۱۹۷۷ در کلرادو آمریکا، رابطه‌ی زیر را برای تعیین فاصله بین سدهای اصلاحی ارائه نمود [۷۴]:

$$L = \frac{H}{KG\cos\varphi} = \frac{H_e}{K\sin\varphi} \qquad (۱-۶)$$

براساس فرمول بالا، L فاصله بین سدهای اصلاحی (متر)، H_e ارتفاع موثر سد (متر)، G شیب کف آبراهه (متر بر متر)، ϕ زاویه بستر آبراهه با افق بر حسب درجه و K یک ضریب تجربی است که بنا به توصیه ارائه دهنده می بایست مقدار آن با توجه به رسوبات بالادست سدهایی که به شیب تعادل رسیده‌اند، تعیین گردد. بر این اساس ضریب اصلاح شده K مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۵]:

$$K = 0.054672G + 0.367236\frac{D_{50}}{D_{90}} - 0.00424D_{50} + 0.00129D_{90} + 0.1805 \qquad (۲-۶)$$

که در آن D_{50} قطر متوسط ذرات(میلی‌متر)، D_{90} قطر دانه‌هایی که ۹۰٪ ذرات مساوی و یا کم‌تر از آن باشد (میلی‌متر) و G شیب کف آبراهه (متر بر متر) می‌باشد.

۶-۴-۲-۳- تعداد سدهای اصلاحی

تعداد سدهای اصلاحی به طول آبراهه، شیب اولیه آن، شیب آن پس از تثبیت (شیب حد) و ارتفاع موثر سد بستگی دارد. برای این منظور با استفاده از رابطه زیر تعداد سدهای اصلاحی تعیین می‌شود [۵]:

$$N = L\frac{i - I}{H_e} \qquad (۳-۶)$$

که در آن N تعداد سدهای اصلاحی، L طول آبراهه (متر)، i شیب اولیه آبراهه (متر بر متر)، I شیب حد آبراهه (متر بر متر) و H_e ارتفاع موثر سد اصلاحی (متر) می‌باشد.

۶-۴-۲-۴- بررسی ژئوتکنیکی پی سد اصلاحی

پی سد، به منظور افزایش استحکام سد و جلوگیری از ریزش آن از ناحیه پایه توسط آب، ساخته می‌شود. در آبراهه هایی که بده اوج سیلاب در آن‌ها زیاد است و یا آبراهه فرسایش پذیر است، احداث پی ضروری است. مطالعات

omoorepeyman.ir

ژئوتکنیکی مختلف نشان داده که در خاک‌های سست به منظور جلوگیری از تراوش آب از زیر پی، باید عمق پی را زیاد در نظر گرفت. همچنین بررسی‌ها نشان داده است که در خاک‌های رسی احتمال لغزش سد، بالا است و لذا در این خاک ها نیز باید عمق پی را زیاد در نظر گرفت. این در حالی است که در اراضی سنگی با توجه به استحکام بالای آن نسبت به اراضی رسی، باید عمق پی را کم درنظر گرفت [۵].

۶-۵- طرح هیدرولیکی سدهای اصلاحی

منظور از طرح هیدرولیکی سدهای اصلاحی، طراحی سرریز، دیوارهای بالی، حفاظت از دیواره های سدهای اصلاحی و نیز بررسی مشکلاتی است که در نتیجه برخورد آب با خاک و سازه به‌وجود می‌آید. در ادامه به تشریح هر یک از این موارد پرداخته شده است.

۶-۵-۱- دیواره‌های بالی

در سدهای اصلاحی دیوارهای بالی به دیوارهایی گفته می‌شود که در داخل دیواره‌های آبراهه قرار می‌گیرند. طول دیواره‌های بالی بر حسب خصوصیات خاک دیواره‌های آبراهه، متفاوت است. در شرایطی که خاک دیواره‌های آبراهه سست باشد، طول آن‌ها را باید بیش‌تر در نظر گرفت. خاصیتی که این دیوارها دارند، یکی افزایش استحکام سد و دیگری جلوگیری از نفوذ جریان آب از بین سد در دیوارهای آبراهه می‌باشد. لذا وجود این دیواره‌ها مانع شسته شدن دیواره‌های آبراهه و جلوگیری از به‌وجود آمدن شکاف بین سد و کناره‌های آبراهه می‌گردد [۵ و ۳۲]. این دیواره‌ها، نقش عمده‌ای در اصلاح الگوی جریان در مقطع تنگ شده ایفا می‌کنند. وجود این دیواره‌ها باعث کاهش اندازه گردابه‌ها و یا از بین رفتن آن‌ها در نزدیکی سد می‌شود. این دیواره‌ها به شکل‌های دیوار هدایت طراحی می‌شوند که تشریح کامل آن‌ها در بند ۹-۴ این راهنما ارائه شده است.

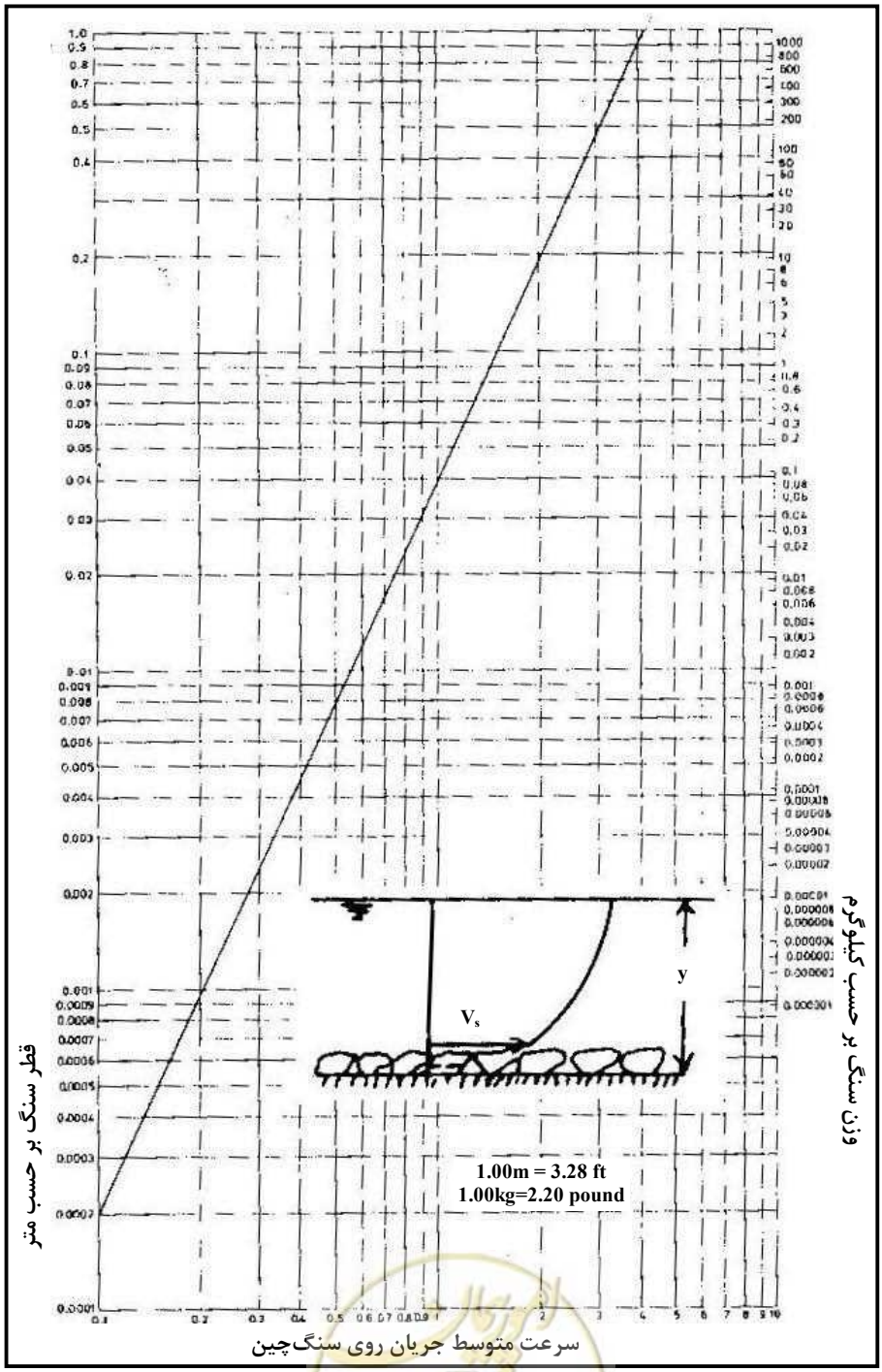
۶-۵-۲- حفاظت دیواره‌های آبراهه در پایین‌دست سد اصلاحی

از آن‌جایی که جریان‌های چرخشی متلاطم به‌وجود آمده در پایین‌دست سد، می‌تواند باعث شسته شدن دیواره‌های آبراهه گردد، حفاظت دیواره‌ها لازم و ضروری است [۵]. شسته شدن دیواره‌ها می‌تواند شکافی را بین سد و آبراهه به‌وجود آورد که منجر به تخریب سد می‌گردد. با استفاده از قطعات درشت سنگ و مصالح ساختمانی این دیواره‌ها حفاظت می‌شوند. همچنین در شرایطی که در منطقه موردنظر سنگ درشت وجود نداشته باشد، باید سنگ‌های ریز را در تورهای سیمی قرار داد و سپس به وسیله تیرهای فولادی در دیوار محکم نمود [۵]. در پایین دست سدها به علت بالا بودن سرعت، از سنگ‌چین با اندازه‌های بزرگ استفاده می‌کنند. در سدهای مهم استفاده از مدل‌های هیدرولیکی به منظور بررسی موثر بودن حفاظت توسط سنگ‌چین لازم است [۴۵]. موسسه USBR برای محاسبه قطر یا وزن سنگ‌هایی که برای پوشش، مناسب می باشد، منحنی شکل (۶-۱) را ارائه داده است. براساس این شکل V_s سرعت آب در نزدیک بستر پوشش بر حسب متر بر ثانیه است که مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۵]:

omoorepeyman.ir

$$\frac{V_s}{V}=\frac{0.71}{0.68\log\left(\frac{y}{D_e}\right)+0.71} \qquad (۴-۶)$$

که در آن y عمق آب در آبراهه (متر)، Vs سرعت آب در کنار پوشش (متر بر ثانیه)، V سرعت متوسط جریان در آبراهه (متر بر ثانیه) و D_e قطر معادل سنگ (متر) می‌باشد.



شکل۶-۱- منحنی تعیین قطر سنگ‌ها بر روی سنگ‌چین [۸۹]

omoorepeyman.ir

۶-۵-۳- سرریز

به قسمتی از سد که آب می‌تواند از آن ریزش کند، سرریز گویند. سرریزها قادر هستند جریان‌های بیشینه پیش‌بینی شده را از خود عبور دهند [۴۰]. با توجه به ارتفاع سد، مصالح موجود و سهولت در اجرا، نوع سرریز انتخاب می شود که در سدهای اصلاحی از نوع لبه پهن استفاده می شود. انتخاب نوع و ابعاد سرریز، براساس مطالعات هیدرولوژی، هیدرولیکی، زمین‌شناسی و محل سد تعیین می‌شود [۳۲].

سدهای اصلاحی با تاج کرانه عمودی، شاخ و برگ و قطعات شناور در آب را بیش‌تر از سرریزی که کرانه تاج آن شیب‌دار است، نگه می‌دارند. لذا در سدهای اصلاحی، مقاطع ذوزنقه‌ای شکل از مقاطع مستطیلی بهتر می‌باشند [۴۰]. یکی از عوامل مهم در طراحی طول تاج سرریز، عامل هزینه است. به طوری که اقتصادی‌ترین طول تاج سرریز برای مقدار مشخصی سیل با مقایسه‌ی هزینه سرریزهای مختلف با طول‌های مختلف تعیین می‌شود. به عبارت دیگر اقتصادی‌ترین طول تاج سرریز گزینه‌ای است که در آن هزینه عوامل فوق‌الذکر، حداقل گردد. طول سرریز را متناسب با عرض کف آبراهه در نظر می‌گیرند که باید طول آن کم‌تر از پهنای کف آبراهه باشد. هرچه طول سرریز بیش‌تر باشد، ارتفاع آب بر روی سرریز و فشار آب کاهش یافته و لذا ابعاد سد کاهش داده می‌شود [۵و۳۲]. به منظور محاسبه بده در سرریز این سدها از فرمول زیر استفاده می‌شود [۴۸]:

$$Q = CLH^{3/2} \qquad (۵-۶)$$

که در آن L طول سرریز (m)، H ارتفاع سرریز (m)، Q بده سرریز (m^3/s) و C ضریبی است که بین ۱/۷ تا ۱/۸ متغیر می‌باشد.

۶-۵-۴- آبشستگی

آبشستگی عبارتست از جابجایی ذرات توسط جریان از محل اسقرار اولیه خود [۲۶]. به طور کلی آبشستگی مورد بحث در این فصل شامل دو گروه آبشستگی زیرپی و آبشستگی پایین‌دست سد می‌باشد که در ادامه به تفکیک در مورد آن‌ها بحث شده است.

۶-۵-۴-۱- لانه روباهی

در پایین‌دست سدهای اصلاحی پدیده لانه روباهی اتفاق می‌افتد. این امر در شرایطی است که گرادیان هیدرولیکی در قسمت پایین‌دست سازه زیاد شده و موجب شسته شدن خاک می‌گردد. به طوری که ابتدا ریزترین ذرات شسته می‌شوند که این امر باعث کم شدن مقاومت ذرات خاک و درنتیجه افزایش گرادیان هیدرولیکی شده و سپس ذرات درشت‌تر خاک نیز شسته شده و به این ترتیب فرسایش با سرعت پیش‌رونده‌ای اتفاق می‌افتد. این امر موجب تشکیل تونلی در پایین‌دست سازه می‌گردد که به این تونل لانه روباهی گویند و لذا در چنین شرایطی ساختمان سد تعادل خود را از

omoorepeyman.ir

دست می‌دهد و در نهایت سد ریزش می‌کند. به منظور محاسبه احتمال به‌وجود آمدن پدیده لانه روباهی، روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که مهم‌ترین آن‌ها روش لین و بلای است [۲].

الف- روش بلای

بلای در سال ۱۹۱۲ تئوری خزشی خود را ارائه نمود. به طوری که مطابق این روش، آب در زیر سازه آبی کوتاه ترین فاصله یا مسیر تماس سازه را با پی می‌پیماید. براساس این رابطه طول خزش به صورت زیر محاسبه می‌شود [۶]:

$$L = L_v + L_H \qquad (۶-۶)$$

که در آن L_v مجموع طول‌های عمودی خزش (متر) و L_H مجموع طول‌های افقی خزش(متر) می‌باشد.

چنانچه ضریب خزش بلای در رابطه $C = \frac{L}{H_s}$ که در آن L طول خزش و H_s ارتفاع آب در بالادست سد می باشد، از مقدار داده شده در جدول (۶-۱) بیش‌تر یا حداقل مساوی آن باشد، مطابق با قانون بلای، سازه آبی در مقابل پدیده لانه روباهی مقاوم خواهد بود.

ب- روش لین

لین در سال ۱۹۳۲ تئوری خزشی- وزنی خود را براساس نظریه بلای و در جهت اصلاح آن ارائه نمود. براساس تئوری او افت بار در جهت قائم بیش از افت بار در جهت افق است. زیرا که فشار آب در جهت قائم باعث مقاومت بیش تر در مقابل حرکت می‌شود. مطابق این تئوری طول خط خزش به صورت زیر محاسبه می‌شود [۶]:

$$L_w = L_v + \frac{1}{3}L_H \qquad (۶-۷)$$

که در آن L_v مجموع طول‌های عمودی خزش (متر)، L_H مجموع طول‌های افقی خزش(متر) می‌باشد. شیب هیدرولیکی (i) در تمام طول مسیر خزش (متر بر متر)، در این تئوری نیز مقداری ثابت و به صورت رابطه زیر خواهد بود.

$$i = H_s / (L_V + \frac{1}{3}L_H) \qquad (۶-۸)$$

لین ضریبی را شبیه ضریب خزشی بلای ولی به عنوان ضریب تراوش[1] (PF) به صورت زیر ارائه داده است:

$$PF = \frac{L_W}{H_s} \qquad (۶-۹)$$

که در آن L_W طول خزش (متر) و H_s ارتفاع آب در بالادست سد (متر) می‌باشد. در این روش نیز چنانچه ضریب خزش (PF) از مقدار داده شده در جدول (۶-۱) بیش تر یا حداقل مساوی آن باشد، مطابق با قانون لین، سازه آبی در مقابل پدیده لانه روباهی مقاوم خواهد بود.

1- Percolation Factor

omoorepeyman.ir

جدول ۶-۱- ضرایب خزشی bligh و Lane برای خاک‌های مختلف پی [۶]

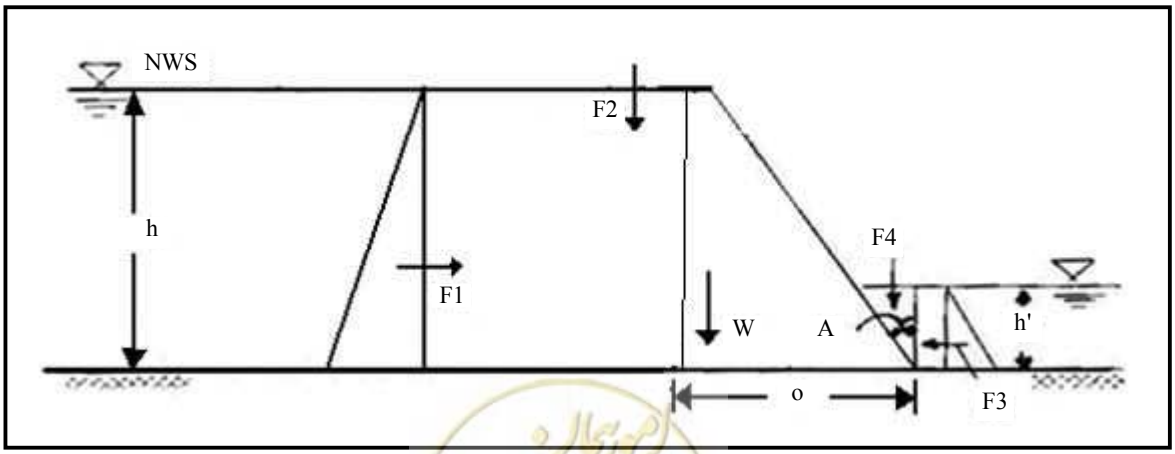
نوع خاک پی	ضریب خزشی بلای FIELD	ضریب تراوش لین (PF)	نوع خاک پی	ضریب خزشی بلای FIELD	ضریب تراوش لین (PF)
ماسه بادی	۱۸	۸/۵	شن درشت با قلوه سنگ	-	۳
ماسه ریز	۱۵	۷	شن با قلوه سنگ	۴-۶	۲/۵
ماسه متوسط	-	۶	شن و ماسه و تخته سنگ	-	۲
ماسه درشت	۱۲	۵	رس نرم (خمیری)	-	۳
شن ریز	-	۴	رس متوسط	-	۲
شن متوسط	-	۳/۵	رس سخت	-	۱/۸
شن و ماسه	۹	۳	رس خیلی سخت	-	۱/۶

۶-۵-۴-۲- آبشستگی پایین‌دست سد

زمانی که آب از روی سرریز بر روی بستر رودخانه می‌ریزد یک جریان فوق‌بحرانی به‌وجود می‌آید که دارای سرعت زیادی است. انرژی این آب باعث شسته شدن ذرات خاک و به عبارتی به‌وجود آمدن پدیده آبشستگی می‌شود [۹]. اصولا چون مصالح به کار رفته در سدهای اصلاحی نفوذپذیر هستند، امکان وقوع این پدیده کم است. به خصوص که اختلاف بار آبی دو طرف سد بسیار کم و مصالح بستر نیز درشت‌دانه هستند. برای محاسبه آبشستگی پایین‌دست سد روابط متعددی وجود دارد که برای اطلاع از جزییات این روابط به ضابطه شماره ۵۴۹ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور تحت عنوان «روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی»، مراجعه شود [۳۰].

۶-۶- طرح سازه‌ای

بررسی سازه‌ای سدهای اصلاحی شامل مطالعه‌ی نیروهای وارده، پایداری در مقابل واژگونی، پایداری در مقابل لغزش، تنش‌ها و نشست سازه می‌باشد که در ادامه به تشریح هر یک پرداخته شده است (شکل ۶-۲).



شکل۶-۲- نیروهای وارده بر سد اصلاحی [۵۶]

omoorepeyman.ir

۶-۶-۱- نیروهای وارد بر سازه

این نیروها به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند [۵۶]:

الف- نیروهایی که در جهت پایداری سد عمل می‌کنند (شکل ۶-۲) شامل:

۱- نیروی ناشی از وزن سد(W):

به منظور محاسبه این نیرو، مقطع طولی سد را به یک سری مثلث و مستطیل تقسیم نموده و سطح آن را به دست می‌آوریم. سپس سطح به‌دست آمده را در وزن مخصوص بتن و یا سنگ ضرب می‌نماییم تا نیروی وارده بر یک متر پهنای سد به‌دست آید [۵۶]. لازم به ذکر است که وزن مخصوص بتن معادل ۲۴۰۲/۷ کیلوگرم بر مترمکعب است [۵۲] و وزن مخصوص سنگ با استفاده از آیین نامه مقررات ملی ساختمان بسته به نوع سنگ مورد استفاده به‌دست می‌آید [۱۱].

۲- نیروهای فشار قائم آب (F_2 و F_4):

نیروهای قائم آب که در جهت پایداری سد می‌باشند، به شرح زیر محاسبه می‌شوند [۵۶]:

$$F_2 = \frac{1}{2}\gamma h^2 \tan\theta \qquad (۶-۱۰)$$

$$F_4 = \frac{1}{2}\gamma h'^2 \tan\theta' \qquad (۶-۱۱)$$

۳- نیروی فشار افقی آب در جهت خلاف حرکت آب (F_3):

براساس شکل (۶-۲) این نیرو در جهت خلاف حرکت آب به بدنه سد وارد می گردد که با استفاده از رابطه زیر مقدار آن محاسبه می‌شود [۸۵]:

$$F_3 = \frac{1}{2}\gamma h'^2 \qquad (۶-۱۲)$$

ب- نیروهایی که در جهت عدم پایداری سد عمل می‌کنند عبارتند از:

۱- نیروی ناشی از فشار افقی آب در جهت حرکت آب (F_1) است. این نیرو، مولفه افقی نیرویی است که از طرف آب و در جهت حرکت آن به بدنه سد وارد می‌شود (شکل ۶-۲) و به صورت زیر محاسبه می‌شود [۵۶]:

$$F_1 = \frac{1}{2}\gamma\ h^2 \qquad (۶-۱۳)$$

۲- نیروی زیرفشار (U):

این نیرو مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود [۵۶]:

$$U \cong \frac{1}{2}\gamma b\left(h + h'\right) \qquad (۶-۱۴)$$

با توجه به این که این نیرو به عنوان نیروی مخرب به حساب می آید، کاهش آن توسط زهکش در نزدیکی پاشنه سد در بالادست در جهت پایداری سد خواهد بود. در روابط (۶-۱۰) تا (۶-۱۴) γ وزن مخصوص آب (تن بر مترمکعب)، n

omoorepeyman.ir

تخلخل خاک (که معادل حجم خلل و فرج در خاک به حجم کل خاک) و θ زاویه بین سازه با سطح افق (درجه) می‌باشد. لازم به ذکر است که از بین نیروهای ارائه شده در بالا، نیروهای ناشی از وزن سد، فشار آب و زیرفشار به عنوان نیروهای اصلی در محاسبات می‌باشند [۵۶].

۶-۶-۲- بررسی پایداری در مقابل واژگونی

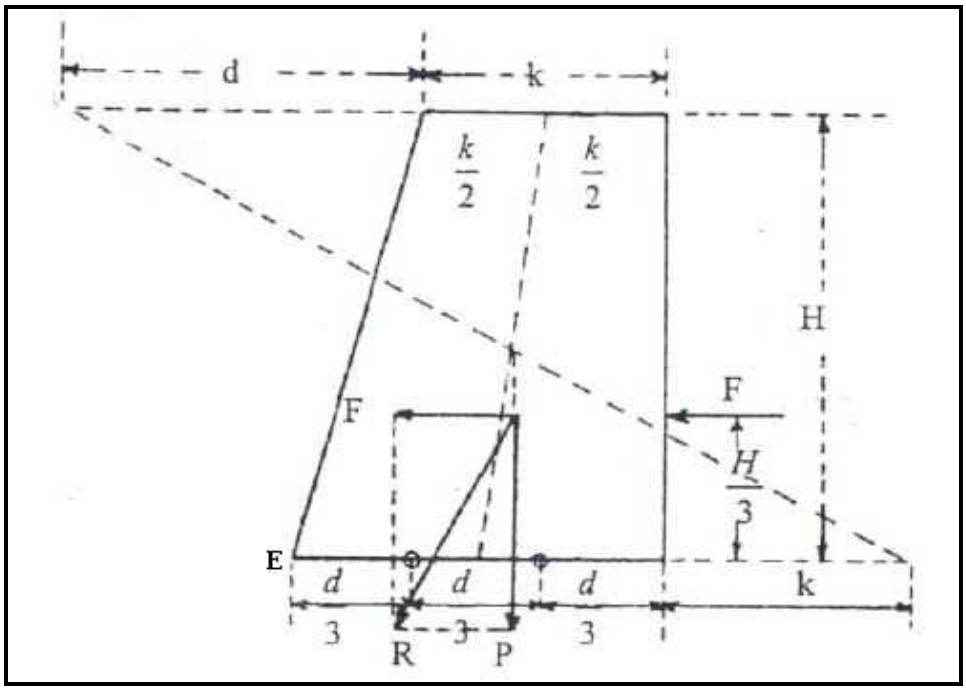
به طور کلی سدهای اصلاحی، سدهای وزنی[1] بوده و پایین‌دست آن‌ها شیب‌دار و بالادست آن‌ها معمولا قائم است. در سدهای وزنی، وزن بند و آبی که از روی سرریز می گذرد به عنوان نیروی قائم عمل می کند. فشار آب در سطح بالادست از محلی که پرشده تا سطح تراز سرریز نیروی افقی قلمداد می شود. برآیند این دو نیرو که به صورت مایل به پی وارد می شود باید از $\frac{۱}{۳}$ میانی عرض قاعده بگذرد. برای پایداری، وزن سدهای وزنی که روی زمین سنگی یا بستر آبرفتی قرار می‌گیرند، نباید از ۵۰ تن بر مترمربع یا ۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تجاوز کند. اگر فشار وارده بر زمین کم‌تر از ۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع باشد و برآیند نیروها (R) از $\frac{۵}{۶}$ عرض قاعده بگذرد، سد اصلاحی وزنی یا حجمی شکسته نخواهد شد. سدهای اصلاحی خشکه‌چین و قلوه‌سنگی سدهای نسبتا کوچکی هستند. حداکثر ارتفاع آن‌ها با درنظرگرفتن ارتفاع پی دو متر است. در این‌صورت فشار حاصل از آن‌ها بر روی زمین معمولا از ۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کم‌تر است [۴۰]. به طور کلی پایداری در مقابل واژگونی در یک سازه هنگامی رخ می‌دهد که گشتاور نیروهای مقاوم بیش‌تر از نیروی واژگون کننده باشد [۴۰]. به عبارت دیگر چنانچه مجموع لنگرهای مقاوم نسبت به پنجه سد (نقطه E در شکل(۶-۳))، ۱/۵ تا ۱/۷ برابر مجموع لنگرهای واژگون کننده نسبت به همان نقطه باشد، سد مورد نظر در مقابل واژگونی پایدار خواهد بود. در این شرایط رابطه زیر همواره برقرار می‌باشد:

$$SF_{(over)} = \frac{\sum M_E}{\sum M'_E} > 1.5 \qquad (۱۵-۶)$$

که در آن $\sum M_E$ مجموع لنگرهای مقاوم نسبت به پنجه سد، $SF_{(over)}$ ضریب اطمینان و $\sum M'_E$ مجموع لنگرهای واژگون کننده می‌باشد.

1- Gravity Dam

omoorepeyman.ir



شکل ۶-۳- بررسی پایداری سدهای اصلاحی [۴۰]

۶-۶-۳- بررسی پایداری در مقابل لغزش

به منظور ارزیابی پایداری در مقابل لغزش، سه روش متفاوت وجود دارد که به شرح زیر می‌باشد [۵۶]:

۶-۶-۳-۱- ضریب لغزش مطمئن (f)

این ضریب برابر است با نسبت مجموع نیروهای افقی $(\sum F_H)$به مجموع نیروهای قائم $(\sum F_v)$، با در نظر گرفتن نیروی زیر فشار که از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۵۶]:

$$f = \frac{\sum F_H}{\sum F_V} \le f' \qquad (۱۶-۶)$$

که در آن $\sum F_H$ مجموع نیروهای افقی، $\sum F_v$ مجموع نیروهای قائم، f ضریب لغزش مطمئن و f' ضریب اصطکاک استاتیکی می‌باشد. با توجه به رابطه بالا چنانچه f محاسبه شده مساوی و یا کوچک‌تر از ضریب اصطکاک استاتیکی (f') باشد، سد در مقابل لغزش پایدار خواهد بود. همچنین لازم به ذکر است در شرایطی که نیروی زمین لرزه وجود ندارد باید $f \le 0.65$ باشد و در شرایطی که این نیرو موجود باشد، باید $f \le 0.85$ باشد تا سد پایدار گردد [۵۶].

۶-۶-۳-۲- ضریب اطمینان در مقابل لغزش (SF)

در این روش نیروهای برشی در جهت افزایش پایداری تلقی می‌شوند. برای سدهای کوتاه بر روی پی‌های سنگی این ضریب ۱ تا ۱/۵ خواهد بود. با توجه به نیروهای زیرفشار و زمین لرزه این ضریب تا حدود یک کاهش می‌یابد [۵۶].

omoorepeyman.ir

$$SF = \frac{f' \sum F_V}{\sum F_H} \qquad (۱۷-۶)$$

که در آن SF ضریب اطمینان در مقابل لغزش، $\sum F_H$ مجموع نیروهای افقی، $\sum F_V$ مجموع نیروهای قائم و f' ضریب اصطکاک استاتیکی می‌باشد.

۶-۶-۴- نشست سازه

سدهای اصلاحی عمدتا کوچک یا دارای پی گسترده هستند و در مناطق کوهستانی با بستر درشت‌دانه احداث می‌شوند. در هنگام ساخت سدهای مختلف به علت تغییرات تنش کل، اثرات ثانویه زمان (خزش)، فشار حفره‌ای و سایر عوامل از قبیل توزیع و انتقال بار و غیره، تغییر شکل‌های داخلی به‌وجود می‌آیند. نشست سدها، به جز مواردی که ناشی از حوادث غیرمترقبه از قبیل زلزله و وقوع سیلاب های بزرگ است، تقریبا همیشه با هشدارهای نگران‌کننده‌ای از قبیل عدم پیوستگی کرنش‌ها، ترک خوردگی‌ها، نشت‌ها و افزایش فشار حفره‌ای همراه بوده است [۱]. لذا تخمین نرخ و مقدار این نشست ها در کنترل پایداری سازه اهمیت بسیاری دارد. در این میان سدهای اصلاحی که از مصالحی چون سنگ و خاک تشکیل شده‌اند، تمایل زیادی به رفتار غیرخطی و غیرالاستیک دارند که این امر باعث شده که در حین بارگذاری و باربرداری زهکشی رفتار پیچیده‌ای از خود نشان دهند [۳۸]. به طور کلی نشست سدها به دو مولفه نشست حین ساختمان سد و نشست بعد از اتمام سد تقسیم بندی می شوند. لذا براساس اطلاعات در دسترس، حداکثر نشست در پایان ساختمان سد، در بالا و یا زیر میانه ارتفاع سد رخ می دهد [۴۵و۵۲]. در هر حال در یک سوم الی یک دوم ارتفاع سد، حداکثر نشست آن رخ می دهد [۶۰ و ۶۹]. همچنین با استفاده از رابطه (۶-۱۸)، میزان نشست در انتهای ساخت تعیین می‌شود که در آن H ارتفاع سد (متر) و S مقدار نشست سد (متر) را نشان می‌دهد [۳۰].

$$S = 0.035(H - 13) \qquad (۱۸-۶)$$

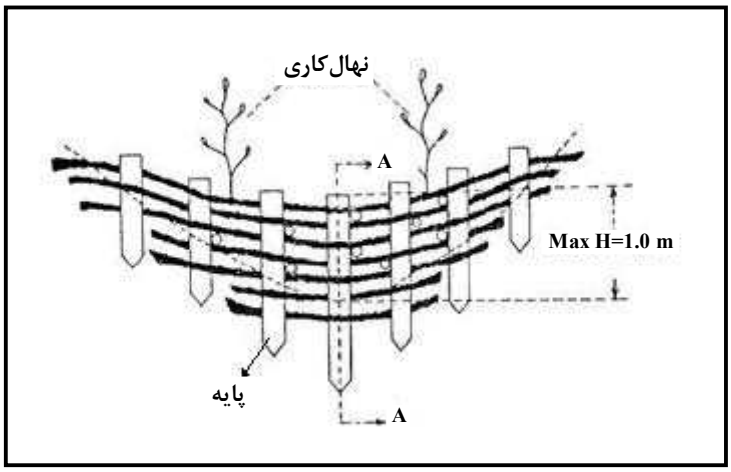
۶-۷- تعیین ابعاد سدهای اصلاحی

همان طور که قبلا نیز اشاره گردید عوامل مختلفی در تعیین ابعاد سدهای اصلاحی نقش دارد که باید به آن‌ها توجه نمود. بهترین مقطع برای سدهای اصلاحی ساختاری است که کم‌ترین هزینه و بیش‌ترین پایداری را به همراه داشته باشد. در ادامه نحوه تعیین ابعاد انواع مختلف سدهای اصلاحی ارائه شده است [۵].

omoorepeyman.ir

۶-۷-۱- تعیین ابعاد بندهای چپری[1]

سدهای چپری با فروبردن پایه‌هایی در زمین واقع در عرض آبراهه و قراردادن چوب در لابه لای آن ساخته می‌شوند. در شرایطی که عرض آبراهه از یک متر تجاوز نکند، می توان از این نوع سدهای اصلاحی برای تثبیت آبراهه استفاده نمود. هدف از ساخت سدهای چپری حفظ مواد ریزدانه‌ای است که به همراه آب حمل می‌شود. نمونه‌ای از این نوع سدهای اصلاحی در شکل (۶-۴) ارائه شده است [۴۰].



شکل ۶-۴- نمای جلویی سد چپری [۷۰]

در تعیین ابعاد سدهای چپری مهم‌ترین عامل تعیین کننده، مقاومت چوب و ارتفاع سد است. ارتفاع موثر سد، حداکثر یک متر بوده و هر دو طرف آن باید با شیب ۳۰ درصد ساخته شود. پایه های سد به عمق $\frac{۱}{۳}$ تا $\frac{۱}{۲}$ طول پایه و به فاصله ۰/۳ تا ۰/۴ از یکدیگر در جهت عرض خندق قرار داده می‌شوند. ابعاد پایه‌ها (شکل ۶-۴) در هر گودال ۰/۲ تا ۰/۳ متر است. طول پایه‌ها در حدود ۱ تا ۱/۵ متر و قطر انتهایی بالایی آن ۸ تا ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد [۵].

۶-۷-۲- تعیین ابعاد بندهای چوبی

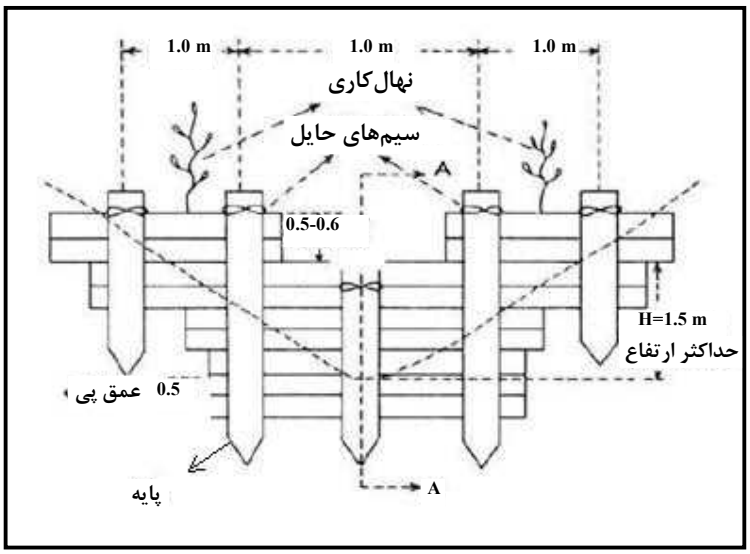
مهم ترین عوامل در تعیین ابعاد سدهای چوبی، ارتفاع سد، مقاومت خمشی، فشاری، برشی و مقاومت آن در برابر تر و خشک شدن و آفات است. سدهای چوبی ممکن است با الوار تخته‌های بزرگ، تراورس‌های مستعمل راه آهن و تیر و در مناطقی که الوار ضخیم و سنگین به مقدار فراوان موجود باشد، ساخته شوند. این بندها در نگه داشتن مصالح ریز و درشتی که توسط جریان آب حمل می شود، نقش موثری دارند. در شرایطی که طول خندق کم‌تر از ۱۰۰ متر باشد و مساحت حوضه نیز از دو هکتار بیش‌تر نباشد، سدهای چوبی کاربرد دارند [۵]. نمونه‌هایی از این نوع سدهای اصلاحی در شکل (۶-۵) ارائه شده است. ماکزیمم ارتفاع این بندها از سطح زمین ۱/۵ متر بوده و دو طرف تیرهای آن که در

1- Brushwood Check Dams

omoorepeyman.ir

بالادست و پایین دست قرار دارد، باید حدود ۲۵ درصد به سمت بالادست شیب داشته باشد. پایه های سد در عرض خندق و در دو ردیف حداقل یک متر و یا به اندازه نصف طول آن‌ها قرار دارند. به طوری که طول پایه‌ها حدود ۱ تا ۲ متر و قطر آن‌ها باید بیش از ۸ سانتی متر باشد [۷۰]. مصالح مورد استفاده در این سدها از جمله تخته، تخته سنگ، تیر و غیره باید طوری در بین دو ردیف قرار گیرند که سرریز در وسط بند واقع گردد. به طوری که طول سرریز در حدود یک تا دو متر و عمق آن ۰/۵ تا ۰/۶ متر باشد.

انتهای الوارهای به کار رفته باید حداقل ۵۰ سانتی متر در کناره های خندق فرو برود. به طوری که با استفاده از سیم به پایه‌ها بسته می‌شوند. گاهی برای این که آب از دیوار خندق نفوذ نکند، چوب‌هایی را به عنوان دیوارهای بالی در داخل خندق فرو می‌کنند. به طوری که ارتفاع این دیواره‌ها باید به اندازه عمق سرریز و بالاتر از تراز سرریز باشد. همچنین باید از دیواره‌های کناری سرریز در مقابل ریزش آب از روی دستک‌ها محافظت نمود. زاویه این دستک‌ها در حدود ۳۰ تا ۴۵ درجه است [۷۰].



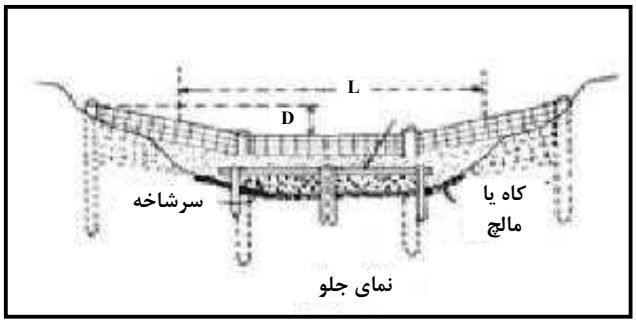
شکل ۶-۵- سد اصلاحی چوبی از نمای جلو [۷۰]

۶-۷-۳- تعیین ابعاد بندهای فلزی سبک

بندهای فلزی، سدهای کوچکی هستند که برای نگه داری مواد ریزدانه ساخته می شوند. این سدها از مصالحی چون پایه‌های فولادی (نبشی و سپری) و توری و شاخ برگ درختان ساخته شده‌اند. این بندها در نواحی با مساحت کم به طوری که سیلاب‌ها نتوانند تخته‌سنگ و قلوه‌سنگ‌ها را جابجا کنند، ساخته می‌شوند. نمونه‌ای از این بندها در شکل (۶-۶) نشان شده است. حداکثر ارتفاع این بندها یک متر می باشد. تیرهای فولادی در گودالی به ابعاد ۰/۴× ۰/۳ متر و به عمق ۰/۶ متر قرار می گیرند به طوری که ابعاد این تیرها از نبشی ۴ یا قوطی ۴×۴ است. فاصله تیرک‌ها یک متر از یکدیگر بوده و شبکه سیم‌ها یا سیم‌های نمره بالا (به قطر ۴ میلی‌متر و بیش‌تر) در مقابل پایه قرار داده می‌شوند و مابین آن‌ها را با شاخ و برگ درختان پر می نمایند [۵]. این بندها به شکل هلال و یا در جهت عمود بر خندق ساخته می شوند. این امر منجر به افزایش طول سرریز

omoorepeyman.ir

می گردد. همچنین تاج سرریز مسطح ساخته می شود تا آب به صورت یکنواخت بر روی آن پخش گردد. برای جلوگیری از فرسایش تاج سرریز، روی آن را با شاخه‌های کوچک می‌پوشانند و برای سرعت دادن به عمل پوشاندن آن، از کاه، شاخه‌های نازک و موارد مشابه در پشت شبکه سیمی در بالادست تاج سرریز استفاده می کنند. به منظور محکم کردن شاخه های کوچک به زمین، لایه‌ای نازک از مالچ در کف‌بند قرار داده می‌شود. از موادی چون تخته‌سنگ، سرشاخه یا کلوخه‌های چمنی برای کف‌بندها استفاده می‌شود. انتهای شاخه‌ها در داخل سیم‌ها نمره بالا کشیده می‌شوند به طوری که این لایه‌ی شاخه‌ها، باید حداقل به فاصله ۱/۲ متر از پایه‌ها و به اندازه حداقل ۰/۶ متر از هر طرف پایه ادامه داشته باشند. روی این شاخه‌ها و در محل کف‌بند، یک تیر افقی که متصل به چند پایه عمودی است، قرار داده می‌شود [۴۰].



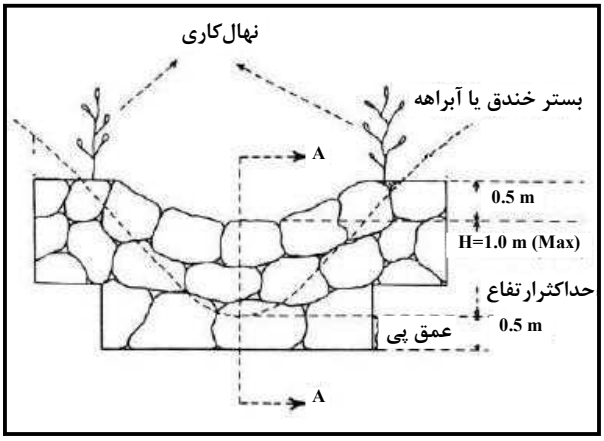
شکل۶-۶- نمای جلویی بندهای فلزی سبک [۲۹]

۶-۷-۴- تعیین ابعاد بندهای خشکه‌چین[1]

این سدها با استفاده از سنگ و بدون ملات و در محلی ساخته می‌شوند که در آن منطقه به اندازه کافی سنگ وجود داشته باشد. مقطع این بندها ذوزنقه ای شکل بوده که در قسمت سراب بدون شیب و دارای جدار عمودی و شیبی معادل ۱۵ تا ۲۰ درصد در قسمت پایاب دارد. نمونه‌ای از این سدها در شکل (۶-۷) نشان داده شده است. مهم‌ترین قسمت این بندها که از حساسیت بالایی برخوردار می‌باشد، سرریز آن است. چرا که سنگ‌های موجود در این قسمت از بند به راحتی توسط جریان آب جابه جا می‌شود. فضای پشت بند با خاک از پی تا تراز سرریز پر می‌شود و سرریز به شکل مقعر ساخته می‌شود. بهتر است در قسمت بالادست از خاک دستی به ارتفاع ۰/۵ متر پر شود تا محل مناسبی برای استقرار گیاه باشد. این بندها در جاهایی ساخته می‌شوند که طول کانال آبراهه از ۱۰۰ متر بیش‌تر نباشد و مساحت حوضه نیز حداکثر دو هکتار باشد [۴۰]. ارتفاع موثر این بندها حداکثر یک متر و عمق پی آن حداقل یک متر می‌باشد. طول پی این بندها از طول سرریز بیش‌تر است و پی دیواره‌های کناری به گونه‌ای گودبرداری می‌شوند که حداقل ۵۰ سانتی‌متر در داخل کناره‌های آبراهه فرو رود. ارتفاع دستک‌ها به اندازه عمق سرریز از تراز سرریز بالاتر است و زاویه بین دستک‌ها و دیواره‌های کناری بین ۳۰ تا ۴۵ درجه متغیر می‌باشد [۴۰]. دیواره‌های کناری باید در مقابل ریزش آب از روی دستک‌ها محافظت شوند. شیب پایین‌دست سد ۲۰ درصد و شیب بالادست قائم می‌باشد. با توجه به این شیب‌ها می‌توان ضخامت قاعده سد را محاسبه نمود [۷۴].

1- Loose Stone Check Dams

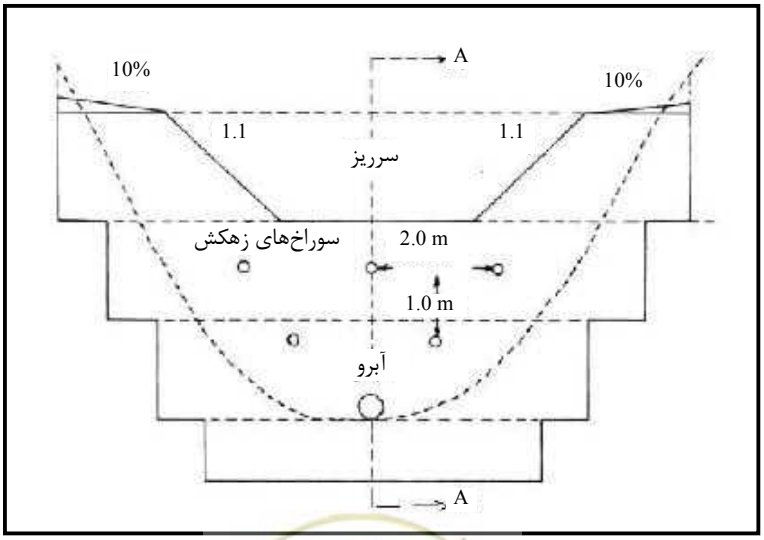
omoorepeyman.ir



شکل۶-۷- نمای جلویی بندهای اصلاحی خشکه‌چین [۷۰]

۶-۷-۵- تعیین ابعاد سدهای سنگی ملاتی و بتنی

بندهای سنگی ملاتی با سیمان و سنگ‌های خرد نشده ساخته می‌شوند و در مهار سیلاب و فرسایش نقش موثری دارند. هدف اصلی از ساختن این نوع سدهای اصلاحی، نگه داشتن مصالح ریز و درشتی است که همراه سیل در داخل آبراهه حمل می‌شود. نمونه‌ای از این سدها در شکل (۶-۸) ارائه شده است. این سدها دارای مقطع ذوزنقه‌ای شکل می‌باشند. سدهای بتنی نیز شباهت زیادی به سدهای سنگی ملاتی دارند. در جاهایی که نیروی کاری کم و مصالحی چون سنگ در محل وجود ندارد، به طوری که امکان حمل بتن و دیگر مصالح باشد، این سدها کاربرد گسترده‌ای دارند. همچنین بندهای بتنی همانند سدهای سنگی ملاتی به صورت بلوک بلوک ساخته می شوند. معمولا این سدها در مقایسه با دیگر سدها هزینه اجرایی بالاتری دارند [۵].



شکل۶-۸- نمای جلویی سد اصلاحی سنگی ملاتی [۷۰]

omoorepeyman.ir

یکی از نکاتی که در هنگام طراحی این سدها باید به آن توجه داشت، حداقل ارتفاع آزاد است که در این نوع سدها حداقل ۰/۹ متر در نظر گرفته می‌شود. همچنین در این نوع سدها، عرض بالایی سد[1] حداقل باید ۱/۲ متر باشد [۵۶]. از نکات مهم دیگر که باید آن را در نظر گرفت، درز انقباض است که در شرایطی که طول سد بیش از ۱۵ متر باشد، لازم است که از درز انقباض استفاده نمود که معمولا با لاستیک آب‌بند، آب‌بندی می‌شود [۵۶]. ابعاد سدهای سنگی ملاتی و بتنی براساس تحلیل پایداری (لغزش، واژگونی و توان باربری پی) مطابق بند ۶-۶ این ضابطه تعیین می‌شود که به منظور طراحی آن‌ها باید ارتفاع سد را بین ۱ تا ۸ متر انتخاب کرد. بر این اساس و با توجه به ارتفاع آن به شیوه زیر برای طراحی عمل می‌گردد [۳]:

- بندهایی که ارتفاع کم‌تر از ۲ متر دارند:

اگر ارتفاع این نوع بندها کم تر از ۲ متر باشد، ضخامت تاج آن باید ۰/۴ متر در نظر گرفته شود. ضخامت پایه آن هم براساس ارتفاع و شیب پایین‌دست تعیین می‌شود [۵].

- بندهایی که ارتفاع آن‌ها بین ۲ تا ۶ متر است:

در شرایطی که ارتفاع سد بین ۲ تا ۶ متر باشد، با استفاده از فرمول هوفمن به صورت زیر ضخامت پایه آن محاسبه می‌شود [۷۴]. همچنین ضخامت تاج آن براساس ارتفاع سد و شیب صفحه پایین‌دست محاسبه می‌شود.

$$d = 0.462H \qquad (۱۹-۶)$$

که در آن d ضخامت پایه و H ارتفاع کل بند بر حسب متر می‌باشند.

- بندهایی که ارتفاع آن‌ها بین ۶ تا ۸ متر است:

درصورتی‌که ارتفاع بند بین ۶ تا ۸ متر باشد، ضخامت تاج آن از فرمول تجربی زیر به‌دست می‌آید:

$$K = \frac{1+H}{10} \qquad (۲۰-۶)$$

که در آن K ضخامت تاج (متر) و H ارتفاع کل بند (متر) است.

۶-۷-۶- تعیین ابعاد بندهای L شکل

مصالح تشکیل‌دهنده این نوع از سدهای اصلاحی را بتن مسلح تشکیل می‌دهد. علت نام‌گذاری این سدها به این نام، به دلیل مقطع L مانند آن‌ها است. ویژگی منحصر به فرد این سدها این است که از وزن رسوبات و آب به منظور پایداری در مقابل نیروی واژگونی استفاده می‌نماید. این نوع از سدهای اصلاحی از گشتاورهای خمشی مهمی برخوردار می‌باشند که به نقطه اتصال دیوار و پاشنه منتهی می‌شوند و باید از بتن آرمه ساخته شوند. از جمله نکاتی که در هنگام طراحی

1- Top Width

omoorepeyman.ir

این سدها باید به آن‌ها توجه داشت، عبارتند از: لغزش، واژگونی و توان باربری پی و برش و خمش در محل اتصال بدنه سد به کف بند سراب و پایاب. ابعاد این سدها براساس تحلیل پایداری(لغزش، واژگونی و توان باربری پی) مطابق بند ۶-۶ این ضابطه تعیین می‌شود. درصورتی‌که ارتفاع کل این نوع از سدهای اصلاحی ۲ و ۳ متر باشد، ضخامت آن ۰/۴ متر، برای سدهای با ارتفاع ۴، ۵ و ۶ متر به ترتیب ضخامت آن را ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۷ متر باید در نظر گرفت. همچنین در این نوع بندهای اصلاحی طول کف‌بند را برابر ۰/۷۵H در نظر می‌گیرند [۷۴].

۶-۷-۷- تعیین ابعاد سدهای توری‌سنگی[1]

این بندها از دو نوع مصالح شامل تورهای بافته شده به صورت باکس با چشمه های شش ضلعی و مصالح سنگی درشت دانه ساخته شده‌اند که عمود بر جریان آب ساخته می‌شوند. در مناطق کوهستانی به دلیل نبود راه دسترسی، این سدها کاربرد فراوان دارند [۹۳]. نمونه‌ای از این بندها در شکل (۶-۹) نشان داده شده است. به طور کلی سدهای توری‌سنگی بسته به شکل دیواره پایین‌دست به سه گروه سدهای توری‌سنگی قائم، سدهای توری‌سنگی پلکانی و سدهای توری‌سنگی شیب‌دار تقسیم می‌شوند که در ادامه به تشریح هر یک و طرح و آنالیز پایداری آن‌ها به تفکیک پرداخته شده است.

در ادامه این بند نکاتی کلی پیرامون طراحی سازه‌ای توری‌سنگ‌ها ارائه شده است. ضمن این که علاوه بر این نکات ارائه شده، بسته به نوع توری‌سنگ به مسایل مربوط به پایداری آن‌ها که در ادامه ارائه شده است نیز باید توجه نمود. به طور کلی ابعاد بندهای توری‌سنگی بسته به ارتفاع آن‌ها به صورت زیر تعیین می‌شوند.

- ماکزیمم ارتفاع سد ۳ متر باشد:

درصورتی‌که حداکثر ارتفاع سد (ارتفاع موثر به اضافه عمق پی)، ۳ متر باشد و جعبه گابیون مورد استفاده ۲×۱×۱ متر و ۲×۰/۸۵×۰/۸۵ متر، ۳×۱×۱ متر و ۳×۰/۷۵×۰/۷۵ متر باشد، نیازی به محاسبه ابعاد سد براساس روابط تجربی نمی‌باشد. چرا که این نوع جعبه‌های گابیونی باعث پایداری سد در مقابل واژگونی، لغزش و شکست می‌شوند [۵].

- سدهای با ارتفاع ۳ تا ۵ متر:

در چنین شرایطی ضخامت تاج و قاعده آن براساس فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود. روابط زیر پایداری سد را در مقابل لغزش، واژگونی و شکست فراهم می آورند. معمولا در این سدها، عمق پی معادل با $\frac{۱}{۲}$ ارتفاع موثر یا در حدود $\frac{۱}{۳}$ارتفاع کل سد و طول کف‌بند آن‌ها ۲ برابر ارتفاع سد در نظر گرفته می‌شود [۵].

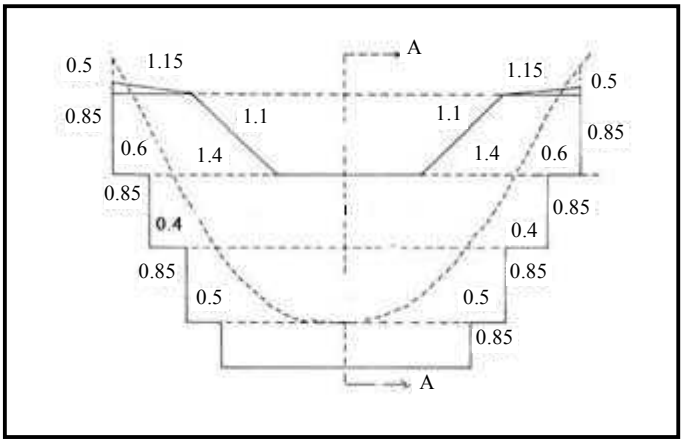
$$K = 0.4H \qquad (۲۱-۶)$$

$$d = 0.6H \qquad (۲۲-۶)$$

1- Gabion Check Dams

omoorepeyman.ir

که در آن‌ها K ضخامت تاج سد در تراز سرریز (متر)، H ارتفاع کل سد (متر) و d ضخامت قاعده (متر) می‌باشد [۷۴].



شکل ۶-۱۰- نمای جلویی بندهای توری‌سنگی [۷۰]

۶-۷-۷-۱- سدهای توری‌سنگی قائم

از میان انواع مختلف سدهای توری‌سنگی، سدهای توری‌سنگی قائم، ساده‌ترین نوع می‌باشند که جهت تنظیم سطح آب و یا نگه داشت رسوبات به کار می‌روند [۴۰]. یکی از مسایلی که در مورد پایداری این سازه باید به آن توجه داشت مساله لغزش می‌باشد.

به منظور این که نیروی لغزاننده کوچک‌تر از نیروی اصطکاک باشد باید همواره شرط زیر برقرار باشد [۹]:

$$\frac{y}{b} \le \frac{\frac{2sa}{y}-1}{1+e}\tan\varphi \qquad (۲۳-۶)$$

که در روابط بالا γ_w وزن واحد حجم آب (نیوتن بر مترمکعب)، s چگالی نسبی سنگ، e نسبت پریزنی (نسبت تخلخل)، n ضریب پوکی، y عمق آب (متر)، a ارتفاع سازه، φ زاویه اصطکاک داخلی و b پهنای سازه (متر) می باشد. همچنین در شکل (۶- ۱۲) نیز نمادهای a و b و y نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تمامی واحدهای رابطه (۶-۲۳) در سیستم متریک می‌باشند.

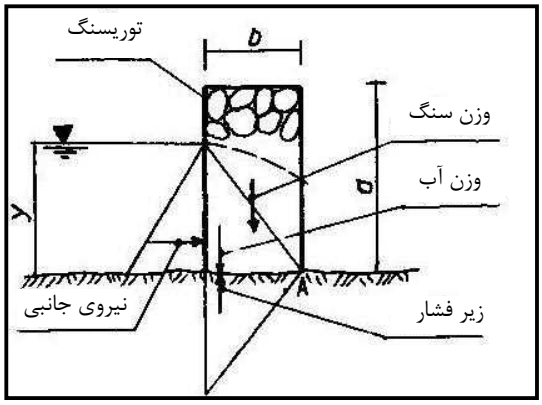
موضوع دیگری که در مورد پایداری توری سنگ کنترل گردد، مساله واژگونی است. برای آن که واحد توری سنگی حول پنجه خود (نقطه A در شکل (۶-۱۰)) دوران نداشته باشد، باید مجموع لنگرهای کلیه نیروها حول نقطه A برابر صفر گردد و بنابراین باید همواره رابطه‌ی زیر برقرار باشد [۹]:

$$\frac{y}{b} \le \sqrt{\frac{\frac{3sa}{y}-2}{1+e}} \qquad (۲۴-۶)$$

که در آن s چگالی نسبی سنگ، e نسبت پریزنی (نسبت تخلخل)، y عمق آب (متر)، a ارتفاع سازه (متر) و b پهنای سازه (متر) می باشد. لازم به ذکر است که براساس تحقیقات انجام شده، روابط ارائه شده (۶-۲۳) و (۶-۲۴)، تعادل حدی

omoorepeyman.ir

توری‌سنگ‌ها را برای اعماق زیاد (تا ۵۰٪ عمق سراب) پایاب نیز تضمین می‌نماید. بنابراین این روابط برای سازه‌های توری‌سنگی با پایاب‌های مختلف نیز قابل استفاده هستند [۵].



شکل۶-۱۰- نمایی از یک سازه توری‌سنگی قائم [۹]

۶-۷-۷-۲- سدهای توری‌سنگی پلکانی[1]

درصورتی‌که بیش از یک ردیف جعبه توری‌سنگ استفاده شود، این دسته از سدها را سدهای اصلاحی توری‌سنگی پلکانی گویند که باید در آن‌ها لایه بالایی به لایه پایینی بسته شود. به طوری‌که این بسته‌های توری‌سنگی باید با اتصالات داخلی محکم به هم بسته شوند. تفاوت عمده‌ای که این نوع سدهای توری‌سنگی با سدهای توری‌سنگی قائم دارند، این است که در سدهای توری‌سنگی پلکانی مقداری از انرژی جنبشی بر روی هر پله مستهلک می‌شود. از سدهای پلکانی در جاهایی استفاده می‌شود که میزان بده و بار رسوب اندک باشد [۴۰]. نمونه‌ای از این نوع سازه‌ها در شکل (۶-۱۱) نشان داده شده است. در این نوع از سازه‌های توری‌سنگی، وزن توری‌سنگی‌هایی که بر روی هر یک از توری‌سنگ‌ها واقع شده‌اند، باعث افزایش پایداری آن واحد توری‌سنگ در مقابل لغزش و واژگونی می‌شود. به منظور آنالیز لغزش در هر یک از واحدهای توری‌سنگی که بر روی هم قرار گرفته‌اند به ترتیب زیر عمل می‌شود [۹]: در این سازه‌ها مجموع نیروهای قائم وارده از رابطه زیر به‌دست می‌آید (شکل ۶-۱۲):

$$N = W_1 + W_3 - W_2 \qquad (۶-۲۵)$$

که در آن W_1, W_2, W_3 مطابق روابط زیر می‌باشند [۹]:

$$W_1 = \gamma_w ab\frac{s+e}{1+e} \qquad (۶-۲۶)$$

$$W_2 = (1/2)\gamma_w i.b^2 \qquad (۶-۲۷)$$

$$W_3 = \gamma_w.\frac{s+e}{1+e}(\frac{b^2}{2}\tan\theta - \frac{ab}{2}) \qquad (۶-۲۸)$$

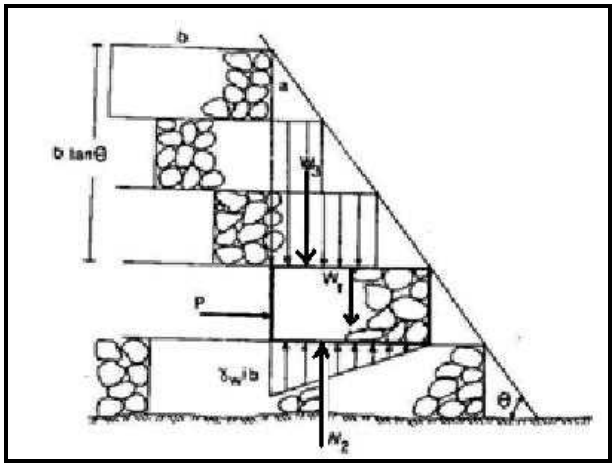
از طرف دیگر نیروی ناشی از تراوش آب (P) که به سازه وارد می‌شود را می‌توان از فرمول زیر به‌دست آورد [۹]:

1- Stacked Gabion Structures

omoorepeyman.ir

$$P = \gamma_w .i.a.b \qquad (۲۹-۶)$$

به طوری که در روابط بالا W_1 نیروی وزن مصالح سنگی و آب درون توری سنگ (نیوتن)، W_2 زیرفشار وارد بر توری‌سنگ (نیوتن)، W_3 نیروی وزن مصالح سنگی و آب داخل توری‌سنگ‌های واقع بر روی توری‌سنگ مورد نظر(نیوتن)، γ_w وزن واحد حجم آب (نیوتن بر مترمکعب)، s چگالی نسبی سنگ، e نسبت پریزنی (نسبت تخلخل)، a ارتفاع سازه (متر)، θ شیب معکوس پله و b پهنای سازه (متر) می‌باشد.



شکل ۶-۱۱- نیروهای وارد بر یک واحد توری‌سنگ در سازه پلکانی [۹]

لذا برای این که لغزشی در کف این نوع توری‌سنگ رخ ندهد، باید همواره $P \le N\tan\varphi$ باشد بنابراین رابطه زیر باید برقرار باشد:

$$i\frac{1+e}{s+e} \le \frac{1+(b/a)\tan\theta}{2+(b/a)\tan\varphi}\tan\varphi \qquad (۳۰-۶)$$

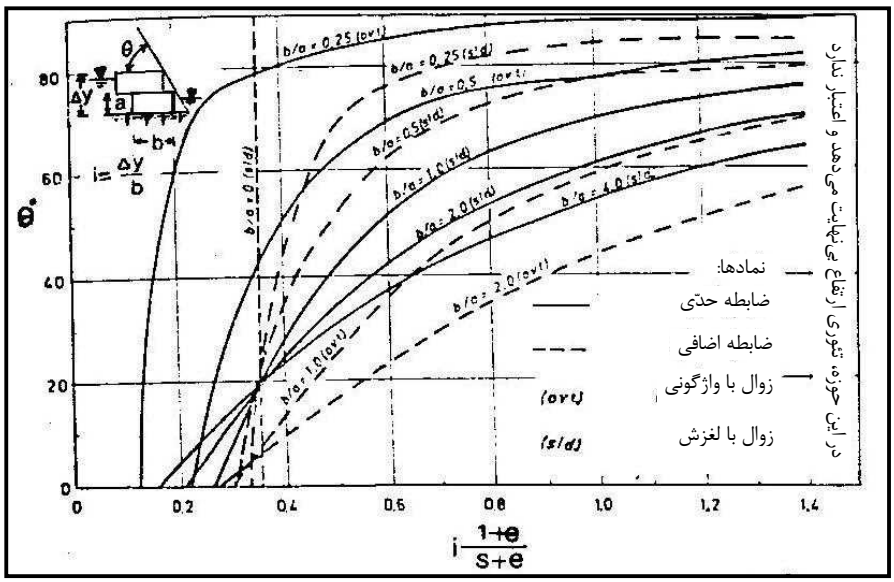
لازم به ذکر است که برای این که رابطه بالا برقرار باشد، باید ضریب اصطکاک در کف توری سنگ حداقل برابر ۰/۷ $(\tan 35^o = 0.7)$ باشد. در رابطه بالا s چگالی نسبی سنگ، e نسبت تخلخل، a ارتفاع سازه (متر)، θ شیب معکوس پله، φ زاویه اصطکاک داخلی، b پهنای سازه (متر) و i نشانگر تاثیر بالابرندگی فشارهیدرواستاتیکی (که برابر است با تغییرات سطح آب نسبت به عرض سازه) می‌باشد. در بررسی واژگونی این سازه، باید هر یک از توری‌سنگ‌ها حول پنجه سد دوران نکنند. بنابراین رابطه زیر همواره باید برقرار باشد [۹]:

$$i\frac{1+e}{s+e} \le \frac{(b/2a)+(2b^2/3a^2)\tan\theta}{1+2b^2/3a^2} \qquad (۳۱-۶)$$

که در آن s چگالی نسبی سنگ، e نسبت پریزنی (نسبت تخلخل)، a ارتفاع سازه (متر)، θ شیب معکوس پله، b پهنای سازه (متر) و i نشانگر تاثیر بالابرندگی فشارهیدرواستاتیکی (که برابر است با تغییرات سطح آب نسبت به عرض سازه) می باشد. همچنین لازم به ذکر است که در شکل (۶-۱۲) به ازای مقادیر مختلف b/a رابطه (۶-۳۱) نشان داده

omoorepeyman.ir

شده است. براساس این شکل برای مقادیر b>۰/۷ تک توری سنگ ها دچار ناپایداری از نوع واژگونی و به ازای مقادیر b>۰/۷ دچار ناپایداری از نوع لغزش می‌شود.



شکل۶-۱۲- پایداری توری‌سنگ پلکانی [۹]

۶-۷-۷-۳- سدهای توری‌سنگی شیب‌دار

در این نوع توری‌سنگ‌ها، سازه را بر روی جبهه شیب‌دار در پایین‌دست رودخانه، به‌طوری که از درون آن جریان عبور نماید، قرار می‌دهند. در سدهای توری‌سنگی شیب‌دار جهت دیواره پایین‌دست آن‌ها شیب‌دار است. این شیب به گونه‌ای طراحی شده است که باعث می‌شود آب جاری شده بر روی آن از بستر جدا نشود و به صورت ورق‌های همگون از روی آن عبور کند. این نوع سدهای توری سنگی در شرایطی که بده زیاد، بار رسوب کم و خاک بستر رودخانه دارای توان باربری کم باشد، کاربرد فراوان دارند. مزیت عمده این سدها در مقایسه با دو نوع دیگر، پایداری هیدرولیکی و سازه ای آن‌ها است که بالاتر از دو نوع قبلی است [۴۰]. در این نوع از توری‌سنگ‌ها برای این که تعادل واحد توری‌سنگ برقرار گردد، باید تاثیر نیروهایی که می‌خواهند توری‌سنگ را بر روی بستر بلغزانند با نیروی اصطکاک بین توری‌سنگ و بستر خنثی شود. براساس شکل (۶-۱۴) برآیند نیروهایی که در امتداد شیب وجود دارند به صورت زیر می‌باشد [۹]:

$$F_D = \gamma_w \frac{s-1}{1+e} a.b.Sin\theta + \gamma_w i.a.b.Cos\theta \qquad (۶-۳۲)$$

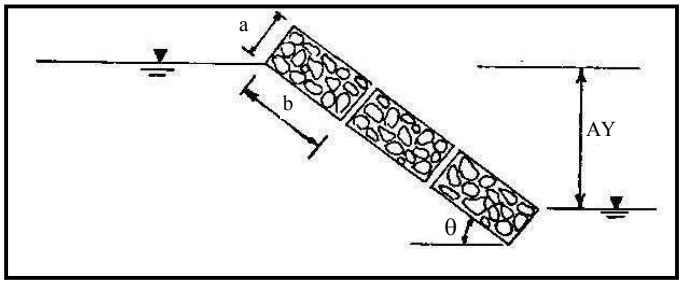
برای آن که واحد توری سنگ در امتداد شیب نلغزد و تعادلی پایدار داشته باشد، باید رابطه زیر میان نیروهای لغزاننده و نیروهای بازدارنده حرکت (نیروی اصطکاک) برقرار گردد:

$$i\frac{1+e}{s-1} \le \tan(\varphi - \theta) \qquad (۶-۳۳)$$

که در روابط بالا s چگالی نسبی سنگ، e نسبت پریزنی (نسبت تخلخل)، θ شیب توری سنگ، φ زاویه اصطکاک داخلی و i نشانگر تاثیر بالابرندگی فشارهیدرواستاتیکی بوده و از رابطه زیر به‌دست می‌آید (شکل ۶-۱۳):

omoorepeyman.ir

$$i = \frac{\Delta y}{a / \sin\theta} \qquad (۳۴-۶)$$

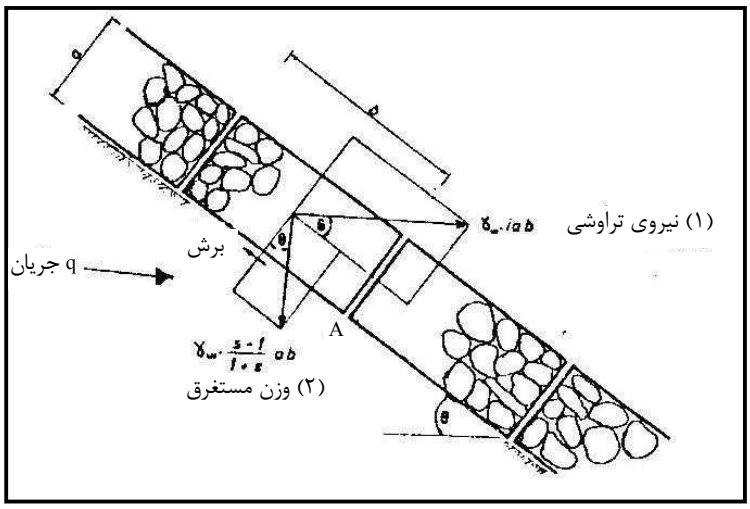


شکل۶-۱۳- واحدهای توری‌سنگ بر روی سطح شیب‌دار [۹]

از طرف دیگر به منظور جلوگیری از واژگونی توری‌سنگ‌های شیب‌دار نیز باید قطعه توری‌سنگ حول پنجه خود (شکل ۶-۱۴) دوران نکند. برای این منظور نیز باید لنگرهای دوران آفرین کوچک تر از لنگرهای تعادل آفرین باشند. پس همواره رابطه زیر باید برقرار باشد:

$$i = \frac{1+e}{s-1} \le \frac{(b/a) - \tan\theta}{1 + (b/a)\tan\theta} \qquad (۳۵-۶)$$

که در آن s چگالی نسبی سنگ، e نسبت تخلخل، a ارتفاع سازه، θ شیب توری سنگ، b پهنای سازه (متر) و i نشانگر تاثیر بالابرندگی فشارهیدرواستاتیکی که از رابطه (۶-۳۴) به‌دست آمد.



شکل۶-۱۴- نمایی از توری‌سنگ شیب‌دار [۹]

۶-۸- تعیین ابعاد بهینه سد

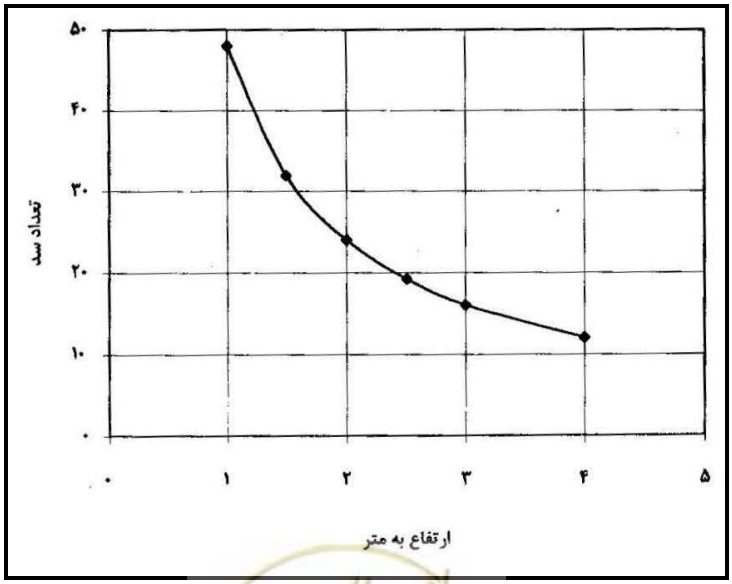
در پروژه‌ها معمولا هدف و اقتصاد طرح نقش تعیین کننده دارد. به طوری که گاهی اوقات اقتصاد طرح می‌تواند نوع پروژه را تغییر دهد. در پروژه‌های آبخیزداری از جمله طراحی سدهای اصلاحی بیش‌تر براساس سود به هزینه، طرح اقتصادی می‌گردد و سپس راجع به احداث نوع سد (سنگی ملاتی، توری‌سنگی و غیره) تصمیم قطعی گرفته می‌شود [۵].

omoorepeyman.ir

در این میان روشی برای بهینه نمودن ابعاد سدهای اصلاحی پیشنهاد گردیده که در ادامه تشریح شده است. در این روش جهت تعیین فاصله سدها از نظر فنی می توان از روابط پیشنهاد شده که پیش تر به آن‌ها اشاره شد، استفاده کرد و از نظر اقتصادی سدها را با توجه به شیب تعادل آبراهه برای ارتفاعات مختلف طراحی نمود. به این منظور ابتدا با استفاده از رابطه هیدومافیچ ارائه شده، شیب پایدار محاسبه می‌گردد. سپس از رابطه زیر تعداد سدهای اصلاحی برای تعدیل شیب آبراهه به‌دست می‌آید [۵]:

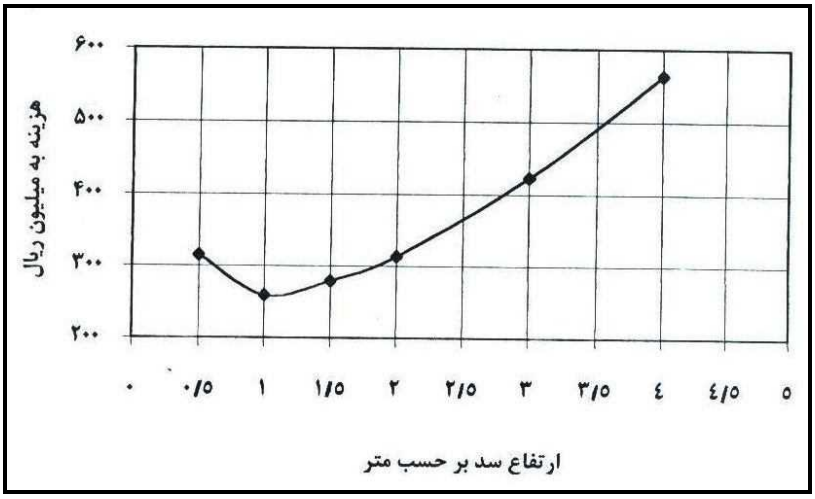
$$N = L\frac{S_{\cdot} - S_c}{H} \qquad (۳۶-۶)$$

که در آن L طول بازه (متر)، $S_{\cdot}$ شیب اولیه آبراهه، S_c شیب تعادل، H ارتفاع سد (متر) و N تعداد سدها می باشد. با استفاده از این رابطه به ازای ارتفاع های مختلف، تعداد سدها محاسبه می شود و سپس در یک نمودار که محور افقی آن ارتفاع سد و محور عمودی آن تعداد سدها می‌باشد، ترسیم می‌گردند و سپس با در نظر گرفتن هزینه مربوط به هر ارتفاع که می توان آن را در نموداری نیز به تصویر کشید، گزینه‌ای انتخاب می شود که کم‌ترین هزینه را به دنبال داشته باشد. لذا چنین سدی بهینه‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه می‌باشد [۵]. در شکل های (۶-۱۵) و(۶-۱۶) نمونه ای از نمودارهای این روش ارائه شده است. در شکل (۶-۱۵) تعداد سدهای اصلاحی جهت تثبیت کف بر حسب ارتفاع ارائه شده است. سپس از نظر اقتصادی، هزینه سدها با ارتفاع های مختلف در طول یک بازه برآورد گردید که نتایج آن در شکل (۶-۱۶) ارائه شده است. همان‌طور که این نمودار نشان می دهد هزینه سدهای اصلاحی به ازای ارتفاع یک متر، کم‌ترین هزینه جهت تثبیت بستر را دارا می باشد. لذا احداث سد با ارتفاع ۱ متر بهینه‌ترین و اقتصادی‌ترین گزینه ممکن می‌باشد.



شکل۶-۱۵- تغییرات تعداد سد نسبت به ارتفاع‌های مختلف آن [۵]

omoorepeyman.ir



شکل۶-۱۶- تغییرات هزینه نسبت به ارتفاع [۵]

۶-۹- جزییات طراحی، اجرا و نگه‌داری

به منظور رسیدن به اهداف مورد نظر از ساخت این سازه ها، اجرای آن‌ها باید به درستی صورت گیرد. همچنین نگه‌داری از این سازه‌ها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد به طوری‌که در کشور ما کم‌تر به آن توجه می‌گردد. در زیر نکاتی، پیرامون اجرا و نگه‌داری بندهای اصلاحی ارائه شده است [۴۰].

۱- عملیات ساخت سدهای اصلاحی باید در فصول خشک سال صورت گیرد. استثنای این مورد برای سدهای چپری است که باید نزدیک به فصل بارانی که خاک اشباع است، ساخته شوند.

۲- ایجاد پوشش گیاهی در پشت این بندها باید در فصول بارانی انجام شود.

۳- به منظور جلوگیری از برخورد مستقیم آب باران با بدنه سد لازم است که فضای پشت سد با خاک گودبرداری شده از پی، پر شود.

۴- سرریز سدهای اصلاحی باید کاملا مسطح ساخته شود تا جریان آب بتواند به صورت یکنواخت از روی آن سرریز نماید.

۵- درصورتی که مصالح مورد نیاز در ساخت سد در پایین دست و یا داخل خندق قرار داشته باشد، باید سد را از قسمت بالادست شروع به ساخت نمود و بالعکس.

۶- دیواره های کناری باید به اندازه کافی در داخل دیواره های طرفین آبراهه امتداد یابد تا اتصال بین بند و دیواره به وجود آید.

۷- سوراخ های زهکشی باید در بدنه و دیواره ها به قطر حداقل ۱۰ سانتی‌متر ساخته شوند و بهتر است که پشت آن‌ها با مصالحی چون سنگ و شن و ماسه پر شود تا عمل زهکشی به خوبی صورت گیرد.

۸- به منظور ساخت سدهای اصلاحی سنگ و ملاتی باید از سنگ های گوشه‌دار و ملات سیمان ۲۵۰ کیلوگرم استفاده شود.

omoorepeyman.ir

۹- در سدهای اصلاحی توری‌سنگی به منظور اتصال مطلوب لایه‌های توری‌سنگی باید از پرده مرکزی در جعبه‌های با طول زیاد و از جعبه‌های حایل در بندهای با ارتفاع زیاد استفاده نمود.

۱۰- در سدهای اصلاحی سنگی ملاتی، پی آن تا لایه مقاوم باید گودبرداری شود. درصورتی‌که لایه مقاوم وجود نداشت، باید حداقل یک متر گودبرداری و سپس یک لایه بتن مسلح به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر در زیر پی اجرا شود.

۱۱- نگه‌داری از بندهای اصلاحی باید توسط پرسنل متخصص و دارای تجربه صورت گیرد.

۱۲- نگه داری از سدهای اصلاحی حداقل باید ۲ سال بعد از اجرا ادامه یابد و حداقل یک بار در سال بازرسی گردد. همچنین بعد از وقوع سیلاب و یا هر بارش سنگینی باید بازرسی انجام شود.

۱۳- زمانی که هدف از ساخت سدهای اصلاحی نگهداشت رسوبات می باشد، باید پس از پر شدن مخزن سد از رسوب پشت بند تخلیه گردد تا ظرفیت کافی را برای انباشت رسوبات داشته باشد. به طوری که باید تمام بندهای ساخته شده در یک مجموعه از رسوب پر شوند. همچنین امکان تخلیه رسوبات به نحوی که در بارش بعدی مجددا به داخل سد برنگردند، وجود داشته باشد.

۱۴- درصورتی‌که سد اصلاحی با مشکلی مواجه گردید و دچار خرابی شد، باید امکان ترمیم آن وجود داشته باشد.

omoorepeyman.ir

فصل ۷

طراحی کف‌بندها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۷-۱- کلیات

کف‌بندها از جمله سازه‌های ثبیت‌کننده بستر رودخانه‌ها می‌باشند که بستر رودخانه را از فرسایش ناشی از آب محافظت می‌کنند. در بستر رودخانه‌ها وجود این سازه حفاظتی مانع تماس آب با مواد قابل حرکت بستر شده و لذا مانع حرکت این مواد و شسته شدن بستر رودخانه می‌شود. این سازه‌ها با استفاده از مصالح مختلفی چون سنگ‌چین، بتن و توری‌سنگ ساخته می‌شوند که در این فصل نکات طراحی کف‌بندها ارائه شده است [۴۳].

۷-۲- طراحی کف‌بندها

کف‌بندها به دو صورت قبل و بعد از سازه اجرا می‌شوند. همچنین از لحاظ جنس کف‌بند به دو صورت انعطاف‌پذیر و انعطاف‌ناپذیر اجرا می‌شوند. از انواع کف‌بندهای انعطاف‌ناپذیر می‌توان به کف‌بندهای بتنی اشاره کرد. کف‌بندهای بتنی شامل بلوک‌های بتنی مسطحی هستند که به‌صورت بتن درجا اجرا می‌شوند. در کف‌بندهای پایین‌دست سازه بین بلوک‌های بتنی درزهای ۷۰ تا ۱۰۰ میلی‌متری وجود دارد که این درزها با مصالحی نظیر سنگ‌های شکسته پر می‌شود. با این کار نیروهای زیر فشار آزاد می‌گردند. یک فیلتر معکوس با شن و ماسه خوب دانه‌بندی شده مطابق شکل (۷-۱) زیر کف‌بند بتنی قرار می‌گیرد تا از اتلاف و هدر رفت خاک ما بین اتصالات جلوگیری کند. کف‌بند بتنی بالادست آب بندی می شود تا نیروی زیر فشار و جریان آب رو به پایین به علت افزایش طول خزش کاهش یابد [۸۸]. برای کف‌بند بتنی پایین‌دست شامل بلوک‌های بتنی با درزهای باز که این درزها با مصالحی مانند سنگ شکسته پر می‌شوند طول کف‌بند برابر با ۱/۵ برابر طول دیواره آب بند پایین‌دست سد است. ابعاد بلوک‌های استفاده شده در این کف‌بند ۱×۱/۵×۱ متر است. در زیر بلوک‌های بتنی فیلتر معکوس به ضخامت ۱/۵ متر قرار داده می‌شود. بعد از کف‌بند بتنی یک کف‌بند انعطاف‌پذیر از جنس سنگ چین اجرا می‌شود. طول این کف‌بند ۲/۵ برابر طول دیواره آب بند پایین‌دست سد است. اندازه سنگ‌های این کف‌بند براساس دستاوردهای آزمایشگاه آبراهه‌های ارتش آمریکا (۱۹۵۹) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$d \cong \frac{KV^2}{2g\Delta} \qquad (۷-۱)$$

در این رابطه: V سرعت متوسط جریان بر حسب متر بر ثانیه، K ضریبی است که برای جریان آرام برابر با ۱ و برای جریان متلاطم برابر با ۱/۴، Δ از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \qquad (۷-۲)$$

در رابطه بالا ρ_s چگالی نسبی رسوب مستغرق و ρ چگالی آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. برای کف‌بند انعطاف‌پذیر پایین‌دست از سنگ‌های مکعبی به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر استفاده می‌شود. طول کف‌بند بتنی غیرقابل نفوذ بالادست ۱/۵ برابر طول دیواره آب بند بالادست است. طول کف‌بند انعطاف‌پذیر بالادست هم ۲ برابر طول دیواره آب‌بند

omoorepeyman.ir

می‌باشد [۸۸]. ابعاد بلوک‌های بتنی کف‌بند بالادست ۰/۶×۱/۵×۱ توصیه می‌شود. ابعاد کف‌بند انعطاف‌پذیر بالادست همانند ابعاد کف‌بند انعطاف‌پذیر پایین‌دست است. در زیر کف‌بند بتنی در پایین‌دست یک لایه فیلتر معکوس قرار داده می‌شود که طراحی آن به شرح زیر است.

۷-۳- طراحی فیلتر معکوس

برای طراحی فیلتر معکوس لایه‌های فیلتر باید به‌صورت زیر باشند:

۱- باید نفوذ پذیر باشند تا زیرفشار آزاد گردد و رابطه زیر برقرار باشد.

$$\frac{\Delta H_n}{D_n} < \frac{\Delta H_{n-1}}{D_{n-1}} < \frac{\Delta H_{n-2}}{D_{n-2}} < \dots \qquad (۳-۷)$$

ΔH_n افت فشار روی لایه nام با ضخامت D_n است که در شکل (۷-۲) نشان داده شده است. این رابطه زمانی برقرار است که:

الف- نسبت d_{15} لایه فیلتر به d_{15} بستر بین ۵ تا ۴۰ باشد. جایی که فیلتر و بستر دو لایه هم جوار هستند و فیلتر لایه بالایی می‌باشد.

ب- d_5 همه لایه‌ها بزرگ‌تر از ۰/۷۵ میلی‌متر باشد (برای احتراز از بسته شدن منافذ فیلتر) در صورت امکان

۲- خاک باید سفت باشد (برای جلوگیری از هدر رفت مصالح) که برای این مورد دو شرط زیر باید تامین گردد:

الف- نسبت d_{15} فیلتر به d_{85} بستر کوچک‌تر یا مساوی ۵ باشد.

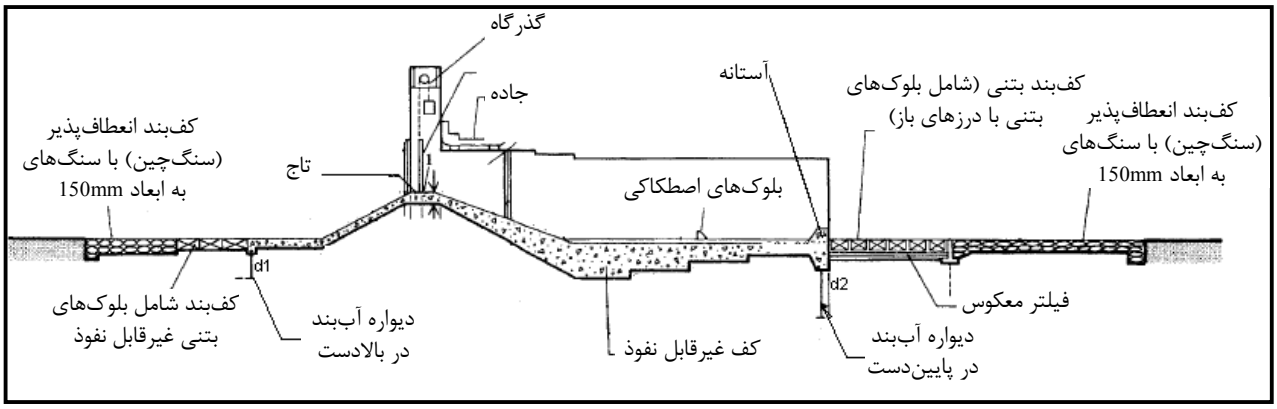
ب- نسبت d_{50} فیلتر به d_{50} بستر بین ۵ تا ۶۰ باشد.

دانه‌بندی و شکل فیلتر به شرح جدول (۷-۱) می‌باشد.

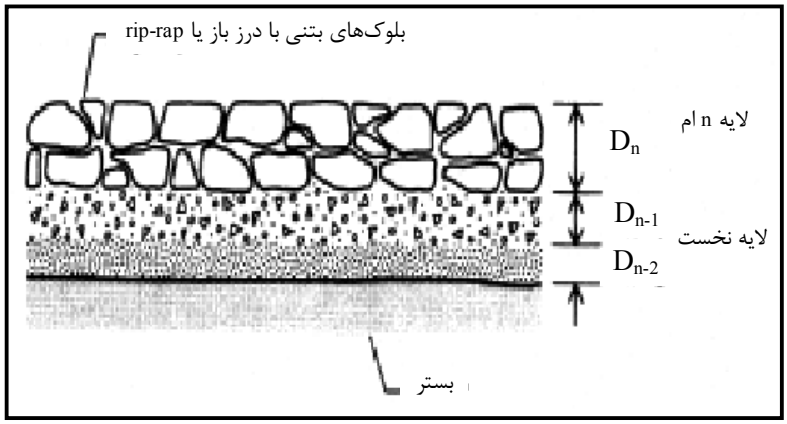
جدول ۷-۱- دانه‌بندی و شکل ذرات فیلتر [۸۸]

شکل ذرات	$\frac{d_{15}\ \text{فیلتر}}{d_{15}\ \text{بستر}}$	$\frac{d_{50}\ \text{فیلتر}}{d_{50}\ \text{بستر}}$
دانه‌های گرد همگن (شن)	۱۰-۵	۱۰-۵
دانه‌های گوشه‌دار همگن (شن شکسته، قلوه سنگ)	۲۰-۶	۳۰-۱۰
ذرات خوب دانه‌بندی شده	۴۰-۱۲	۶۰-۱۲

omoorepeyman.ir



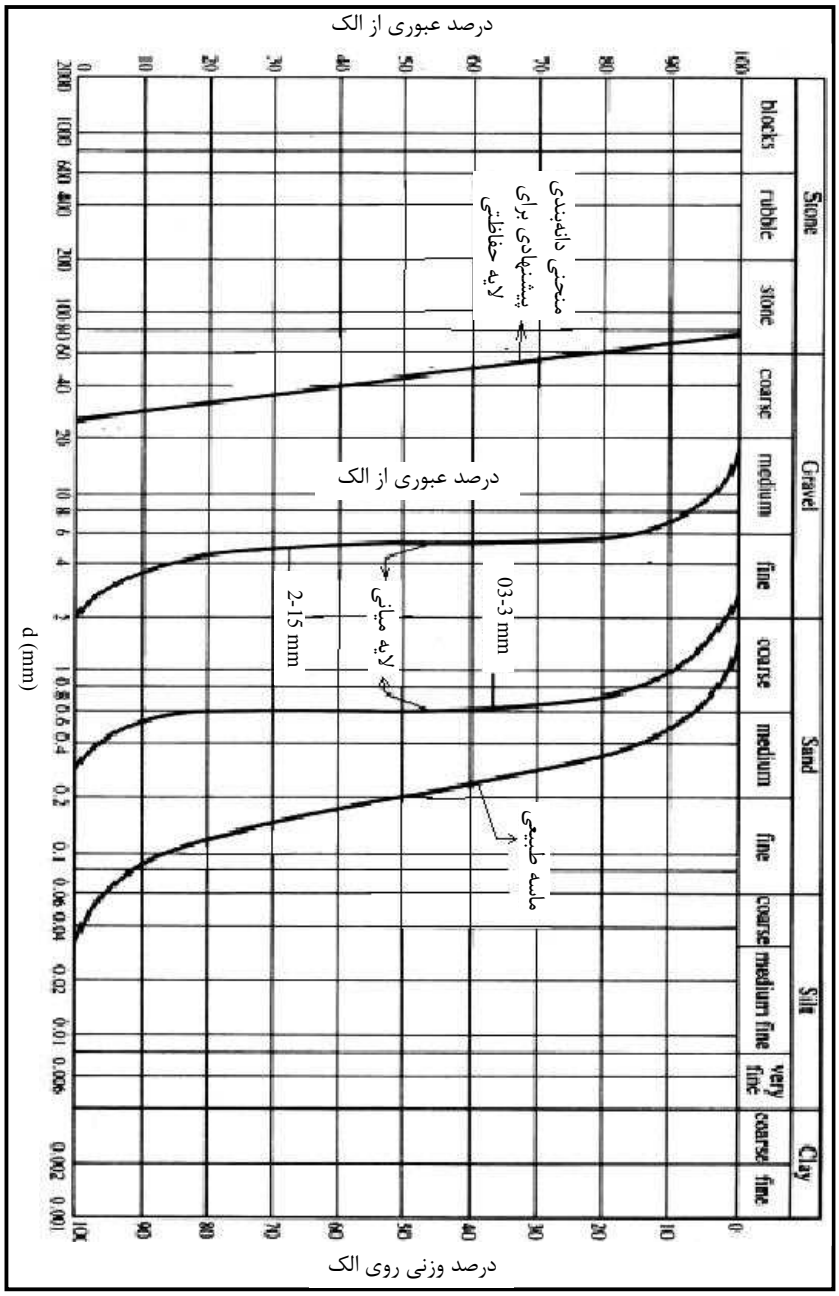
شکل ۷-۱- کف‌بندهای انعطاف‌پذیر و انعطاف‌ناپذیر در ابتدا و انتهای سازه [۸۸]



شکل ۷-۲- ساختار فیلتر [۸۸]

با مشخص بودن منحنی دانه‌بندی لایه رویی (کف‌بند انعطاف‌پذیر) و بستر و رعایت روابط فوق‌الذکر منحنی دانه‌بندی لایه میانی (لایه فیلتر) به‌دست می‌آید. به‌طوری که منحنی دانه‌بندی جدید موازی منحنی دانه‌بندی دو لایه رویی و زیرین می‌باشد. در شکل (۷-۳) نمونه‌ای از منحنی دانه‌بندی لایه فیلتر نشان داده شده است [۸۸].

omoorepeyman.ir



شکل ۷-۳- نمونه ای از منحنی دانه‌بندی لایه فیلتر (لایه میانی) [۸۸]

omoorepeyman.ir

فصل ۸

طراحی آستانه‌ها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۸-۱- کلیات

احداث آستانه[1] یکی از روش های متداول برای کاهش فرسایش کف بستر بوده و باعث افزایش سطح آب و کاهش شیب خط انرژی و در نهایت تثبیت بستر می‌گردد. آستانه نوعی از سازه‌های متقاطع می‌باشد که به فواصل معین و معمولا هم‌تراز با کف بستر رودخانه ساخته می‌شود. این سازه به صورت صلب و یا انعطاف‌پذیر مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۵]. در این فصل ضمن معرفی انواع آستانه‌ها، به ارائه روش‌هایی پیرامون طراحی هیدرولیکی و سازه‌ای این سازه پرداخته شده است.

۸-۲- انواع آستانه‌ها

همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره گردید، به منظور تثبیت شیب و تراز بستر و تراز سطح آب و همچنین جلوگیری از فرسایش خاک بستر رودخانه، می‌توان از این سازه استفاده نمود. آستانه در عرض رودخانه به گونه‌ای ساخته می‌شود که تراز تاج آن برابر و یا بالاتر از تراز بستر باشد. به طوری که کف بستر در بالادست و پایین‌دست این سازه تقریبا یکسان است [۲۷]. از آن جایی که این سازه دارای ارتفاع کمی است و در زیر سطح آب قرار گرفته است، معمولا تاثیرات کمی بر روی محیط زیست دارد [۵۹]. بسته به نوع مصالح به کار رفته در ساخت آن، دارای انواع مختلفی چون سنگی، بتنی، گابیونی یا توری سنگی، شمع‌کوبی یا سپری و چوبی می‌باشد که گاهی اوقات ممکن است این سازه را به صورت ترکیبی از این مصالح نیز بسازند [۲۶]. همچنین در این نوع سازه‌ها، به منظور پایداری از یک لایه فیلتر استفاده می‌گردد [۲۵]. پرکاربردترین نوع آستانه‌ها، آستانه‌های بتنی یا سنگ و سیمان هستند. این سازه‌ها، با وجود این که هزینه ساخت بالاتری نسبت به مابقی انواع آستانه‌ها دارند، ولیکن به دلیل سهولت ساخت، بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین این نوع آستانه‌ها برای تمام شرایط ریخت‌شناسی رودخانه، قابل استفاده هستند. به خصوص در شرایطی که سطح آب رودخانه پایین باشد، می‌توان از آن‌ها استفاده نمود [۵۹]. در شکل (۸-۱) نمونه‌ای از این نوع آستانه‌ها نشان داده شده است.

شکل ۸-۱- نمونه‌ای از آستانه بتنی برای کنترل آبشستگی در محدوده پل [۵۹]

1- Sill

omoorepeyman.ir

نوع دیگر از آستانه‌ها، آستانه‌های گابیونی و یا توری سنگی می‌باشند. این نوع آستانه‌ها برای رژیم های مختلف جریان رودخانه‌ها به کار می‌روند. همچنین این نوع آستانه‌ها به دلیل داشتن ارتفاع کم، می‌توانند عرض قابل توجهی از رودخانه را پوشش دهند. گاهی اوقات این نوع سازه را می توان با استفاده از مصالح سنگی که توسط جریانات آب آورده می شوند، ساخت [۵۹]. این نوع آستانه‌ها، اکثر مواقع در آبراهه‌های کوهستانی و یا در جاهایی که دارای محدودیت‌های ریخت‌شناسی هستند، ساخته می‌شوند. برای ساخت این نوع آستانه‌ها، از هر نوع چوب مقاوم در برابر آب که در منطقه وجود دارد، می‌توان استفاده نمود. این در حالی است که توصیه می‌شود از گونه‌هایی چون کاج اروپایی و بلوط بیش‌تر استفاده گردد. لازم به ذکر است که سازه‌های گابیونی و سازه‌هایی که از سنگ و چوب ساخته شده‌اند دارای ساختار انعطاف‌پذیری می‌باشند. این در حالی است که ساختار آستانه‌های بتنی و یا سنگ و سیمان به صورت صلب می‌باشد [۵۹].

۸-۳- طراحی هیدرولیکی و سازه‌ای

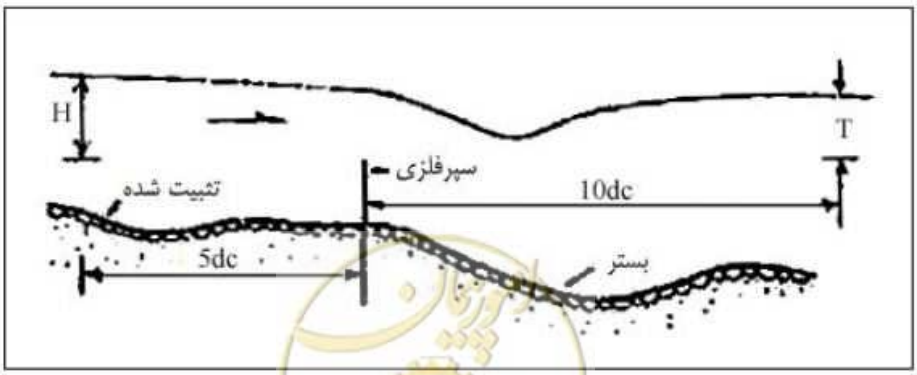
گروه مهندسی ارتش امریکا به منظور طراحی آستانه‌های از نوع شمع‌کوبی ضوابطی را ارائه داده است که در ادامه تشریح شده است. لازم به ذکر است که در شکل (۸-۲) پارامترهای طراحی آستانه ارائه شده است. با توجه به این شکل، H و T به ترتیب عمق آب در بالادست آستانه (متر) در فاصله $5d_c$ و عمق آب در پایین دست آستانه (متر) در فاصله $10d_c$ می‌باشند. به منظور طراحی آستانه، باید مراحل زیر را طی نمود [۹۸].

- طولی برای تاج آستانه معادل با عرض مجرا در نظر گرفته شود.
- تراز تاج به گونه‌ای انتخاب گردد که همواره رابطه زیر در آن برقرار شود:

$$T / d_c > 0.8 \qquad (۱-۸)$$

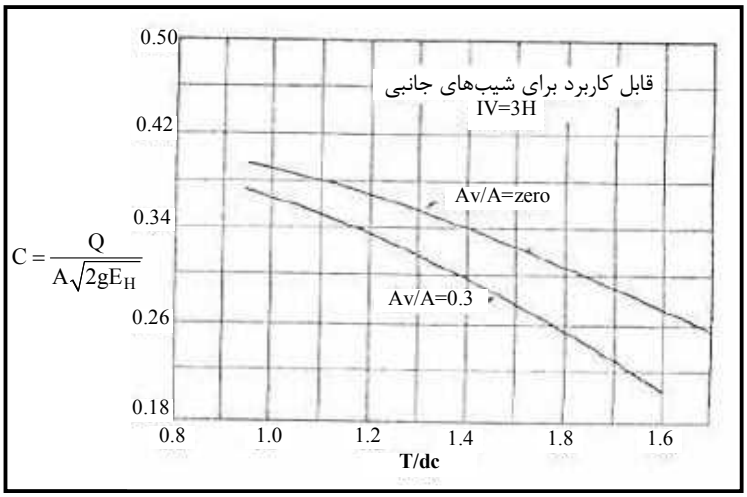
که در آن d_c عمق بحرانی (متر) و T عمق پایاب در فاصله $10d_c$ (متر) می‌باشد. (شکل ۸-۲)

- سپس با داشتن مقدار T / d_c و مقادیر A_V و A که به ترتیب سطح مقطع (مترمربع) قسمتی از جریان روی شیب‌های جانبی و بالاتر از تاج (شکل (۸-۳)) و سطح مقطع کل جریان در بالاتر از تاج آستانه (مترمربع) و در فاصله $5d_c$ از آن می‌باشند و با به‌کارگیری شکل (۸-۳)، ضریب آبگذری آستانه محاسبه می‌گردد.



شکل ۸-۲- معرفی پارامترهای طراحی [۹۸]

omoorepeyman.ir



شکل ۸-۳- ضریب بده در طراحی آستانه از نوع سپری [۹۸]

– با داشتن مقدار ضریب آبگذری آستانه، با استفاده از رابطه زیر مقدار E_H محاسبه می‌شود:

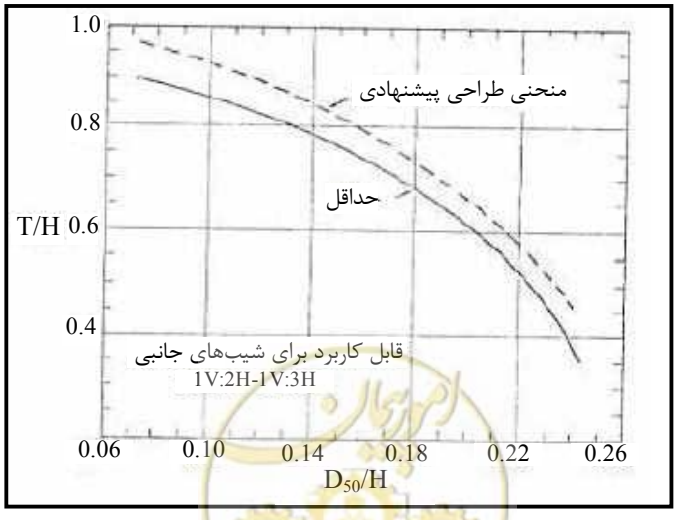
$$C = \frac{Q}{A\sqrt{2gE_H}} \qquad (۲-۸)$$

که در آن C ضریب آبگذری آستانه، Q مقدار بده (مترمکعب بر ثانیه)، A سطح مقطع کل جریان در بالاتر از تاج آستانه (مترمربع) و فاصله $5d_c$ و E_H مقدار انرژی جنبشی جریان (متر) می باشد. حال با استفاده از معادله زیر مقدار H که ارتفاع کل آب را بر روی تاج نشان می‌دهد، به‌دست می‌آید:

$$E_H = H + \frac{V^2}{2g} \qquad (۳-۸)$$

که در آن E_H انرژی جنبشی جریان (متر)، V سرعت آب (متر بر ثانیه) و H ارتفاع کل آب بر روی تاج (متر) می‌باشد.

– در انتها اندازه سنگ های مورد نیاز (D_{50} قطر میانگین ذرات) برای حفاظت بستر را با داشتن نسبت T/H با استفاده از شکل (۸-۴) می‌توان به دست آورد.



شکل ۸-۴- اندازه سنگ‌های مورد نیاز در طراحی آستانه سپری [۹۸]

omoorepeyman.ir

به منظور تعیین مقدار پی سپری، باید به مسایل سازه‌ای و تحلیل پایداری آن‌ها توجه گردد. ضخامت لایه سنگریزی نیز باید به اندازه کافی باشد و در صورت نیاز در زیر سازه از فیلتر مناسب نیز استفاده گردد [۲۷].

۸-۴- آبشستگی پایین‌دست سازه

از جمله معضل‌هایی که در این نوع سازه‌ها به وقوع می‌پیوندد، پدیده آبشستگی پایین‌دست آستانه است. در شکل‌های (۸-۵) و (۸-۶) نمونه‌هایی از آبشستگی پایین‌دست آستانه نشان داده شده است [۲۶]. دیتز (۱۹۶۰) رابطه زیر را برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی پایین‌دست آستانه ارائه نموده است [۹۸]:

$$\frac{y_{m,e}}{h_0}=\frac{\omega U_0-U_c}{U_c} \qquad (۸-۴)$$

که در آن $y_{m,e}$ حداکثر عمق آبشستگی از سطح اولیه بستر (متر)، h_0 عمق اولیه جریان (متر)، U_c سرعت بحرانی ذرات رسوب بوده و معادل سرعت در آستانه حرکت است که می‌توان مقدار آن را با استفاده از روش شیلدز که در ادامه ارائه شده است، محاسبه نمود. U_0 سرعت متوسط جریان که معادل Q/A (Q بده (مترمکعب بر ثانیه)، A سطح مقطع جریان (مترمربع)) و ω ضریب آشفتگی می باشد. مطالعات دیتز همچنین نشان داد که مقدار متوسط ضریب آشفتگی به صورت $\omega=2/3+2r_0$ و حداکثر مقدار آن $\omega=1+3r_0$ می باشد که در این رابطه r_0 شدت نسبی آشفتگی می باشد [۲۷]. به منظور محاسبه سرعت بحرانی از روش شیلدز استفاده می‌شود که مطابق رابطه زیر است:

$$u_c=2.5\sqrt{\theta_c(s-1)gd}\,\ln(\frac{12y_1}{k_s}) \qquad (۸-۵)$$

که در آن θ_c تنش برشی بی بعد یا پارامتر شیلدز، d قطر ذره (متر)، s چگالی نسبی ذرات، g شتاب ثقل (مترمربع بر ثانیه)، y_1 عمق آب (متر)، k_s زبری موثر که مقدار آن برای رژیم هیدرولیکی زبر معادل $3d_{90}$ و برای رژیم هیدرولیکی صاف معادل $2d_{50}$ می‌باشد. متغیرهای رابطه (۸-۵) با استفاده از روابط زیر به‌دست می‌آیند:

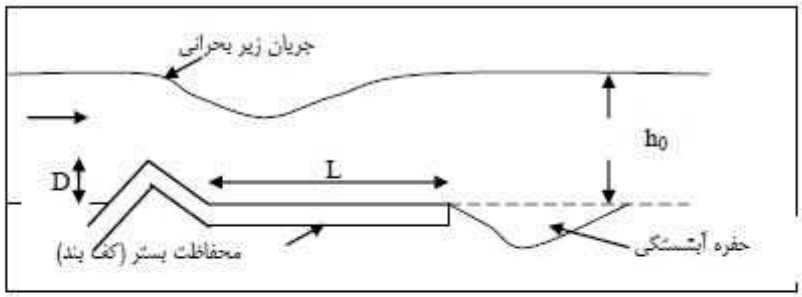
$$s=\frac{\rho_s-\rho}{\rho} \qquad (۸-۶)$$

$$\theta_c=0.013\times D_*^{0.29} \qquad (۸-۷)$$

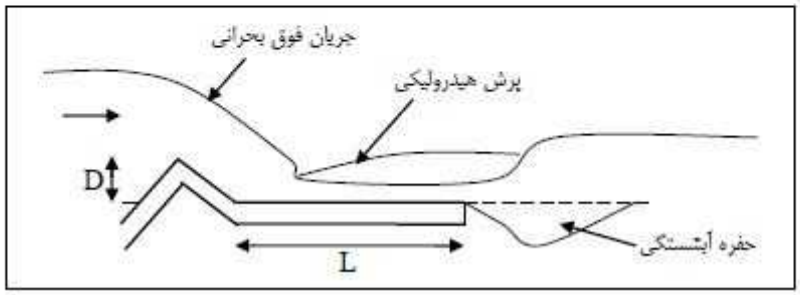
$$D_*=d_{50}\times[(s-1)\times g/v^2]^{1/3} \qquad (۸-۸)$$

که در آن‌ها D_* پارامتر بی بعد ذره رسوب، θ_c تنش برشی بی بعد یا پارامتر شیلدز، d_{50} و d_{90} به ترتیب قطری است که ۵۰٪ و ۹۰٪ مصالح بستر از آن کوچک‌تر است (متر)، g شتاب ثقل (مترمربع بر ثانیه)، s چگالی نسبی ذرات، ρ چگالی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، ρ_s چگالی ذرات (کیلوگرم بر مترمکعب) و v لزجت سینماتیک آب (مترمربع بر ثانیه) می‌باشند.

omoorepeyman.ir

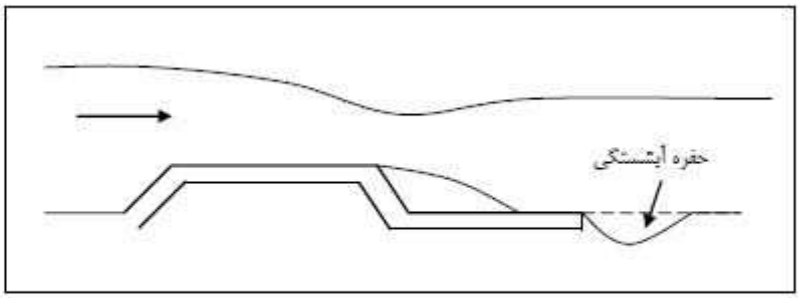


الف- جریان زیر بحرانی



ب- جریان فوق بحرانی

شکل ۸-۵- آبشستگی پایین‌دست آستانه با تاج کوتاه [۲۶]



شکل ۸-۶- آبشستگی پایین‌دست آستانه با تاج پهن [۲۶]

در سال ۱۹۹۳ هافمن و بوجی با آزمایش بر روی بستر افقی و برای جریان زیربحرانی روی آستانه، رابطه زیر را برای r_0 (شدت آشفتگی نسبی) به صورت زیر ارائه نمودند:

$$r_o = \sqrt{0.0225(1-\frac{D}{d_o})^{-2}(\frac{L-6D}{6.67d_o}+1)^{-1.08}+1.45\frac{g}{C^2}} \qquad (۹-۸)$$

که در آن C ضریب شزی بستر ($m^{1/2}/s$)، D ارتفاع آستانه (متر)، L طول کف‌بندافقی پایین‌دست آستانه (متر) و g شتاب ثقل (مترمربع بر ثانیه) می‌باشد. لازم به ذکر است که مقدار L همواره بزرگ‌تر از 6D می‌باشد.

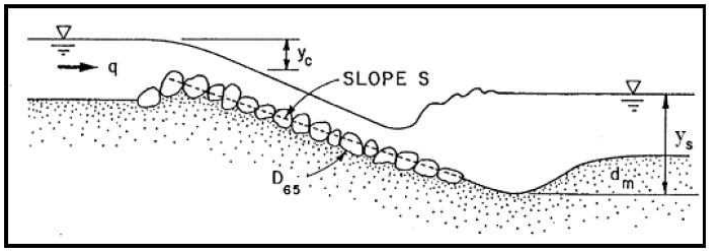
به منظور طراحی آستانه‌هایی که بر روی بسترهای شیب دار واقع شده‌اند، لارسن و همکاران مطالعاتی انجام دادند و رابطه زیر را برای محاسبه عمق آبشستگی در این نوع آستانه‌ها ارائه دادند:

$$\frac{y_s}{y_c} = 4\left(\frac{y_c}{d_m}\right)^{0.2} - 3(\frac{D_{65}}{y_c})^{0.1} \qquad (۱۰-۸)$$

omoorepeyman.ir

که در آن y_s عمق آبشستگی نسبت به سطح جریان در پایین دست (متر)، y_c عمق بحرانی جریان (متر)، D_{65} اندازه سنگ بر حسب متر که ۶۵ درصد قطر دانه‌ها از آن ریزتر می‌باشد (متر) و d_m اندازه متوسط ذرات بستر (متر) ($d_m=d_{50}$) می‌باشند.

در شکل (۸-۷) نیز نمونه‌ای از آستانه‌هایی که بر روی بسترهای شیب دار قرار دارند ارائه شده است. لارسن و همکاران دریافتند که D_{65} معادل با $2/8y_c$ می باشد. زمانی که شیب آستانه برابر ۲۵٪ و y_c در محدوده ۰/۱۲m-۰/۱۸ باشد، این نوع آستانه پایدار می‌ماند.



شکل ۸-۷- معرفی پارامترهای آبشستگی پایین‌دست آستانه شیب‌دار [۷۶]

برای این کار روابط زیادی ارائه شده است که برای اطلاع کامل از این روابط به ضابطه «راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی»، مراجعه شود [۲۶].

omoorepeyman.ir

فصل ۹

طراحی شیب‌شکن‌ها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۹-۱- کلیات

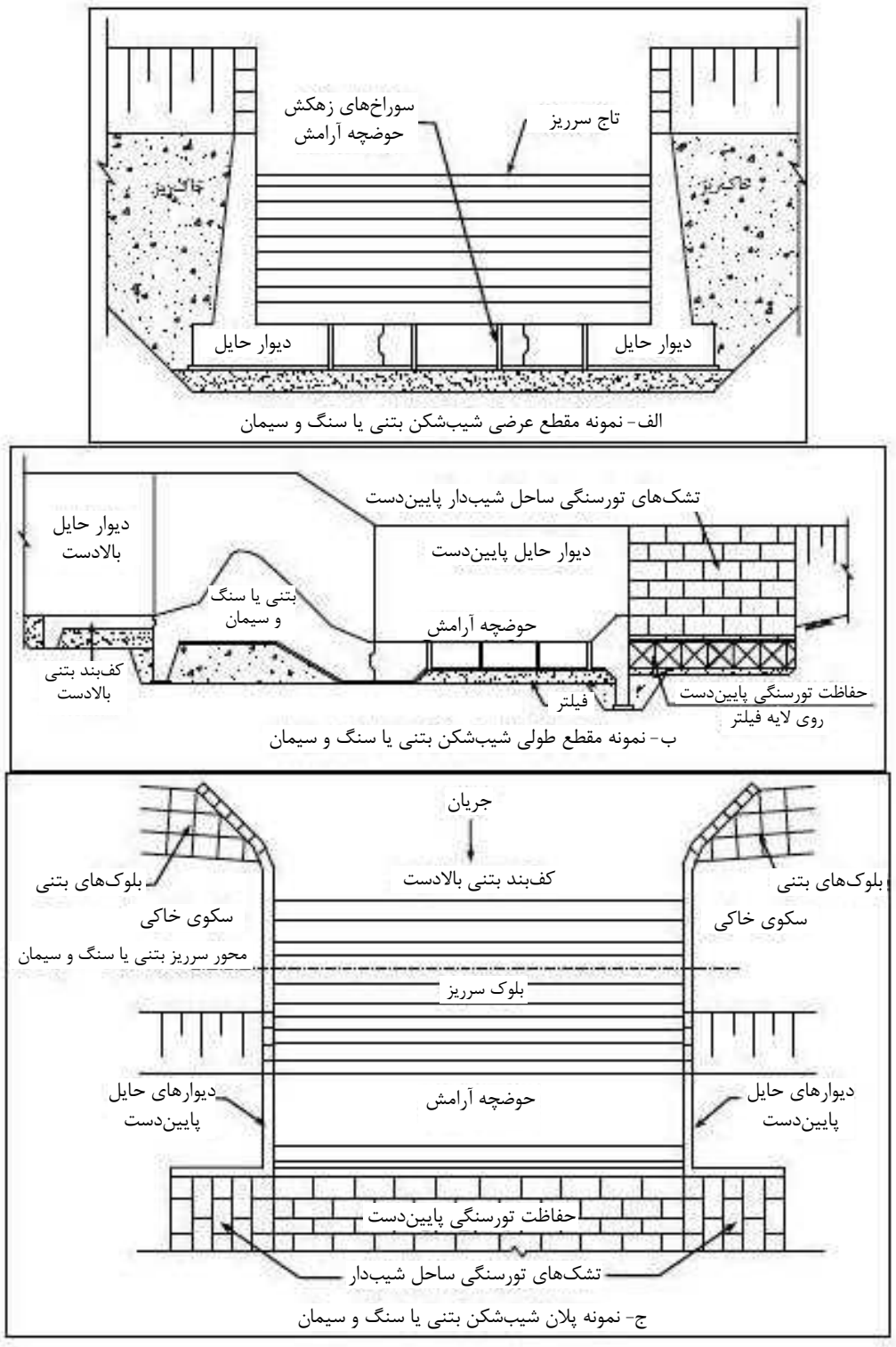
یکی از مشکلات مهمی که در رودخانه‌ها به‌وجود می‌آید، مساله فرسایش کف خصوصا در بازه‌های با شیب تند و در پایین‌دست پل‌ها می‌باشد [۲۵]. به طوری که منجر به به‌وجود آمدن خسارات قابل توجهی به تاسیسات حفاظتی و فنی موجود در رودخانه می‌شود. لذا روش‌های مختلفی برای تثبیت بستر رودخانه‌ها و مقاوم‌سازی آن‌ها در برابر این معضل مهم وجود دارد [۲۵]. از جمله این روش‌ها، احداث شیب‌شکن[1] می‌باشد. شیب‌شکن در واقع سازه ای است که به صورت آبشار قائم و یا مایل و با ارتفاع کمی از کف بستر، در عرض رودخانه ساخته می‌شود. در اکثر موارد به منظور آرام نمودن جریان، در پایین‌دست آن‌ها نیز حوضچه آرامش ساخته می‌شود. بدیهی است که تعداد این سازه‌های تثبیت بستر با توجه به شیب رودخانه و ارتفاع سازه تعیین می‌شود [۲۰]. در این فصل ضمن ارائه انواع مختلف شیب‌شکن‌ها، بحث‌هایی پیرامون طراحی هیدرولیکی و سازه‌ای آن‌ها ارائه شده است که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است.

۹-۲- انواع شیب‌شکن‌ها

به طور کلی چنانچه در طول مسیر رودخانه، شیب طبیعی بستر از شیب لازم و بهینه آبراهه بیش‌تر باشد، به منظور انتقال آب از سطح بالاتر به پایین‌تر از شیب‌شکن استفاده می‌شود [۲۵]. شیب‌شکن‌ها به سبب سادگی ساخت و عملکرد مناسب، از جمله سازه های هیدرولیکی رایج، جهت مستهلک نمودن انرژی جریان در شبکه‌های آبیاری و آبراهه‌های فرسایش‌پذیر می‌باشند [۷]. استفاده از شیب‌شکن‌ها در نواحی کوهستانی که دارای شیب تند می‌باشند، بعضا ضروری است. شیب‌شکن‌ها از لحاظ هیدرولیکی شبیه سدهای اصلاحی عمل می‌کنند و مشخصات فنی و ضوابط طراحی و اجرایی آن‌ها تقریبا مشابه است. این سازه‌ها معمولا از بتن ساخته می‌شود؛ ولی مانند سرریزها می‌توان با توجه به شرایط طرح از مصالح خاکی یا سنگی یا تورسنگی نیز استفاده نمود. در شکل‌های (۹-۱) و (۹-۲) نمونه‌های پلان در مقاطع طولی و عرضی شیب‌شکن‌های بتنی یا سنگ و سیمان تورسنگی نشان داده شده است.

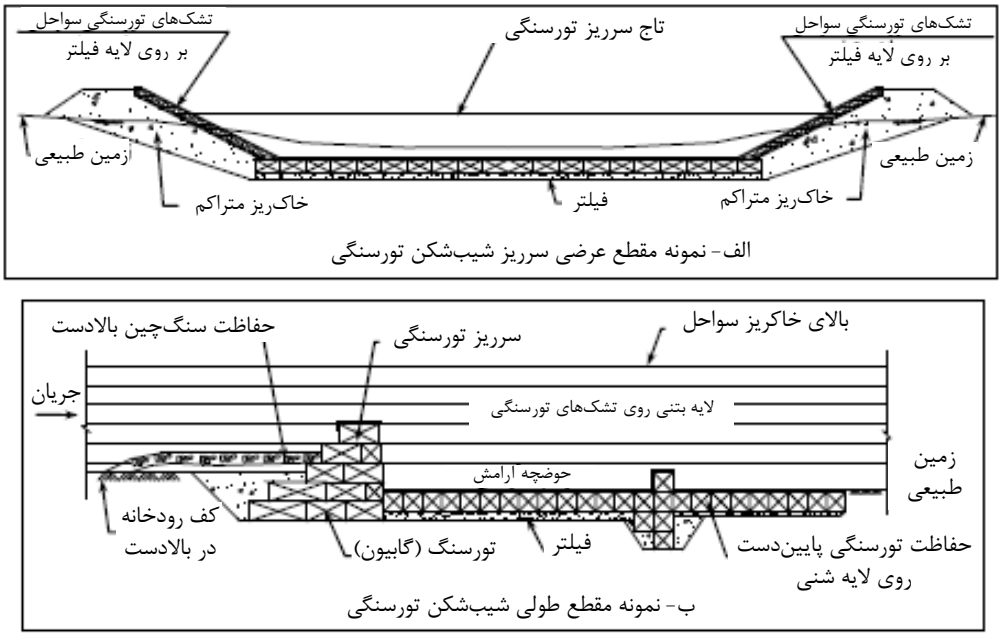
1- Drop

omoorepeyman.ir



شکل ۹-۱- نمونه‌های پلان و مقاطع طولی و عرضی شیب‌شکن بتنی یا سنگ و سیمان

omoorepeyman.ir



شکل ۹-۲- نمونه‌های مقاطع طولی و عرضی شیب‌شکن تورسنگی

به طور کلی شیب‌شکن‌ها به سه دسته شیب‌شکن‌های قائم[1]، مایل[2] و لوله‌ای[3] تقسیم‌بندی می‌شوند [۶]. از شیب‌شکن‌های قائم معمولا برای اختلاف ارتفاع تا ۱/۵ متر استفاده می‌شود. این در حالی است که شیب‌شکن‌های مایل برای اختلاف ارتفاع تا ۵ متر استفاده می‌گردند [۶]. لازم به ذکر است که در طرح‌های ثبیت‌کننده بستر رودخانه‌ها تنها از شیب‌شکن‌های قائم و یا مایل استفاده می‌شود و شیب‌شکن‌های لوله‌ای در کانال‌های انتقال آب و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

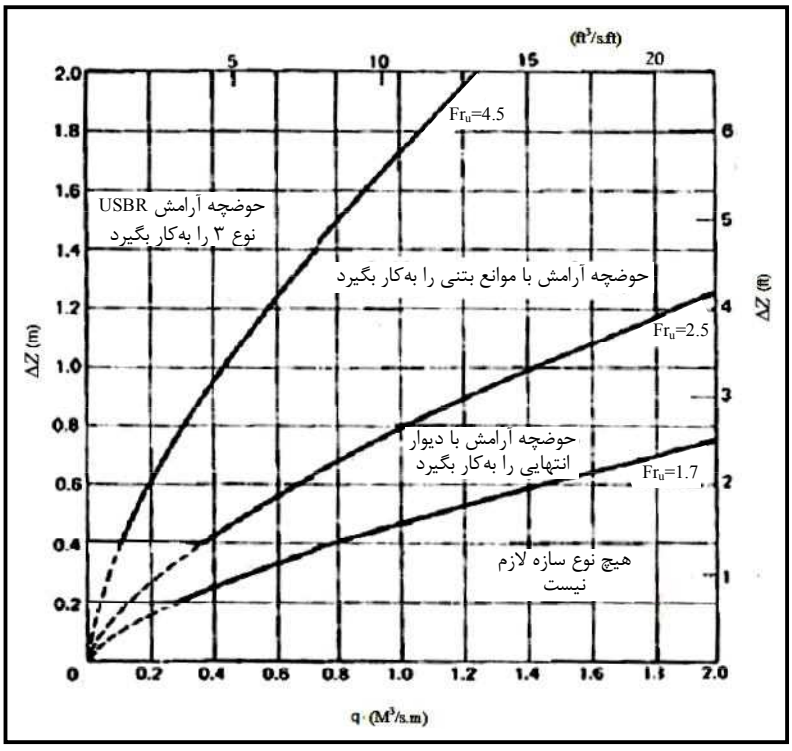
در طراحی شیب‌شکن‌ها، از روشی موسوم به شماره شیب‌شکن[4] که اولین بار توسط رند[5] (۱۹۲۲) به‌وجود آمد، استفاده می‌گردد [۲۵]. همچنین طراحی شیب‌شکن‌ها، از نظر مسایل هیدرولیکی و پایداری نظیر سدها می‌باشد که در فصل شش به طور کامل در مورد مسایل پایداری بحث شده است. در هنگام طراحی همچنین باید به مسایل خاصی توجه نمود. به عنوان نمونه در نظر گرفتن سازه های تنظیمی یا کنترل جریان بر روی آن‌ها، به منظور آبگیری از بالادست و یا به حداقل رساندن پایین‌افتادگی سطح آب که در مهار فرسایش آبراهه نقش به‌سزایی دارد، از اهمیت خاصی برخوردار است [۲۵]. شیب‌شکن‌ها همچنین باید در مقابل واژگونی و لغزش پایدار باشند که محاسبات مربوط به پایداری آن‌ها مطابق بندهای اصلاحی است که در فصل شش ارائه شده است. همچنین لازم به ذکر است که بحث آبشستگی در پایین‌دست این سازه در فصل ۶ ارائه شده است. در ادامه ابتدا به بحث در مورد حوضچه آرامش شیب‌شکن‌ها و نیز دیوار هدایت و نکات طراحی آن پرداخته شده است و سپس طراحی شیب‌شکن‌ها به تفکیک نوع آن ارائه گردیده است.

1- Vertical Drop
2- Inclined Drop
3- Piped Drop
4- Drop Number
5- Rand

omoorepeyman.ir

۹-۳- حوضچه آرامش

در انتخاب نوع حوضچه و یا به عبارت دیگر نوع شیب‌شکن، عدد فرود در مقطع اولیه پرش (Fr_u)، میزان پایین‌افتادگی سطح آب (ΔZ) و بده در واحد عرض(q)، بسیار موثر می‌باشد. به همین جهت بوس[1] دیاگرامی را ارائه داده است که در شکل (۹-۳) نشان داده شده است. با توجه به این شکل با داشتن بده در واحد عرض و مقدار Fr_u، میزان پایین‌افتادگی سطح آب و نیز نوع حوضچه به کار رفته در شیب‌شکن را می‌توان تعیین نمود. مثلا اگر مقدار بده در واحد جریان معادل ۱/۴ مترمربع بر ثانیه و عدد فرود در مقطع اولیه پرش معادل با ۳ باشد، مقدار پایین‌افتادگی سطح آب ۱/۵ متر بوده و حوضچه با موانع بتنی باید مورد استفاده قرار گیرد. باتوجه به این‌که ساختمان مستهلک‌کننده انرژی برای بده‌های کم و پایین‌افتادگی سطح آب کم، غیرعملی و غیراقتصادی می‌باشد، در شکل (۹-۳) برای ارتفاع شیب‌شکن (ΔZ)، محدودیت‌های ۰/۲ و ۰/۴ متر در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور جلوگیری از فرسایش ناشی از برخورد توده جریان به‌واسطه ریزش بر کف حوضچه، حداکثر میزان پایین‌افتادگی سطح آب (ΔH)، به ۱/۵ متر محدود می‌شود [۲۵].



شکل ۹-۳- دیاگرام پیش‌بینی نوع حوضچه آرامش در شیب‌شکن‌ها [۲۵]

۹-۳-۱- محاسبه ضخامت بتن در حوضچه آرامش شیب‌شکن‌ها

به منظور محاسبه ضخامت بتن مورد نیاز، از رابطه زیر استفاده می‌گردد [۲۵]:

1- Boos

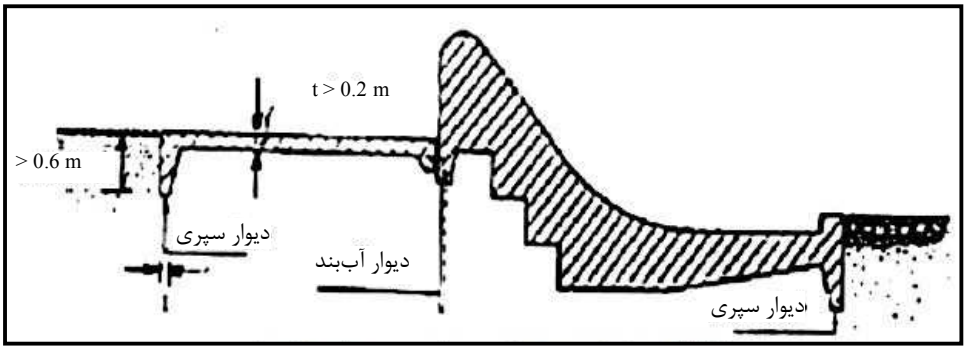
omoorepeyman.ir

$t_i(s_g - 1) + y_i$ =(مجموع افت‌ها تا نقطه مورد نظر)- (رقوم سطح بالایی بتن در نقطه مورد نظر)- (رقوم سطح آب در سراب)

که در آن t_i ضخامت بتن مورد نیاز (متر)، s_g ثقل مخصوص بتن که در جهت اطمینان ۲/۴ (کیلوگرم بر مترمکعب) در نظر گرفته می‌شود و y_i عمق آب روی سطح بتن در نقطه مورد نظر (متر) می‌باشد. همچنین در هنگام تعیین ضخامت مناسب برای بتن در حوضچه آرامش شیب‌شکن‌ها باید به موارد زیر توجه نمود [۲۱]:

- ضخامت پوشش بتنی در کف حوضچه‌های آرامش و سطوح بلوک‌های سرعت‌گیر نباید کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر باشد.
- ضخامت پوشش بتنی میلگردها در سطح دیواره حوضچه آرامش نباید از مقادیر زیر کم‌تر باشد:
  - برای اعضای بتنی با ضخامت برابر یا بیش‌تر از ۶۰ سانتی‌متر معادل با ۱۰۰ میلی‌متر.
  - برای اعضای بتنی با ضخامت کم‌تر از ۶۰ سانتی‌متر معادل با ۷۵ میلی‌متر.

باید توجه داشت که در هنگام طراحی شیب‌شکن‌ها، تعیین دیوار سپری مناسب در پایین‌دست و در انتهای حوضچه آرامش شیب‌شکن، بسیار مهم است. همچنین وجود سنگ‌چین در پایین‌دست حوضچه آرامش، برای جلوگیری از جوشش خاک موثر است (شکل ۹-۴) [۲۵].



شکل ۹-۴- دیوارهای سپری در بالادست و پایین‌دست شیب‌شکن‌ها [۲۵]

۹-۳-۲- حفاظت بستر رودخانه در پایین‌دست حوضچه

درصورتی‌که در پایین‌دست شیب‌شکن، آبراهه از نوع فرسایش‌پذیر باشد، حفاظت بستر آبراهه در مقابل فرسایش مطرح می‌گردد. معمولا حفاظت به صورت سنگ‌چین در نظر گرفته می‌شود. طول ناحیه حفاظت شده را معمولا ۴ برابر عمق آب در آبراهه در نظر می‌گیرند. اما در هر حال نباید کم‌تر از ۱/۵ متر اختیار شود. همچنین برای تعیین قطر سنگ‌های سنگ‌چین از شکل (۶-۱) در فصل ۶ باید استفاده نمود [۶ و ۲۵].

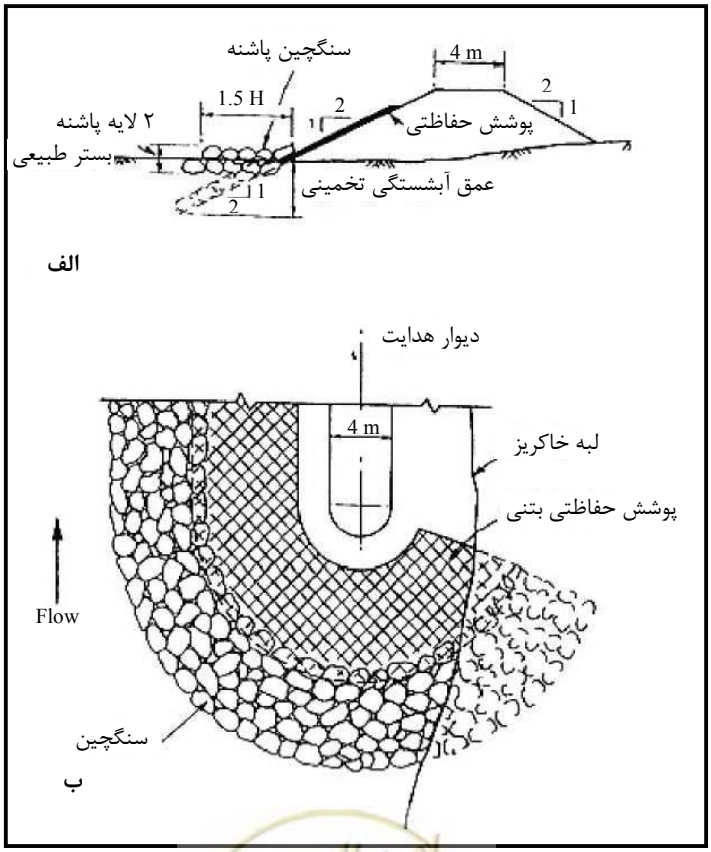
omoorepeyman.ir

۹-۴- دیوار هدایت[1]

دیوار هدایت خاکریزی است که جهت هدایت جریان سیلاب، طراحی و اجرا می گردد. این خاکریز در راستای رودخانه و با زاویه به سازه مورد نظر (پل، شیب‌شکن و غیره) متصل می‌شود. هدف اصلی از طراحی و احداث آن، اطمینان از عبور جریان سیلاب از سازه موردنظر بدون تغییرات ناگهانی در جهت جریان و همچنین توزیع یکنواخت بده عبوری از نقاط مختلف است [۴۴]. دیوار هدایت زاویه برخورد جریان با بدنه سازه را کنترل کرده و جریان سیلاب دشت را به سمت آبراهه اصلی انتقال می‌دهد که این امر خطر شسته شدن خاکریز دسترسی راه را کاهش می‌دهد و حتی در مواردی از تغییر محل خم رودخانه نیز جلوگیری می‌نماید [۴۴]. معمولا از دیوار هدایت ساحلی در دو طرف رودخانه‌های عریض استفاده می‌گردد، اما در صورت بررسی کلیه عوامل، استفاده از دیوار هدایت صرفا در یک طرف رودخانه نیز امکان‌پذیر است [۴۴].

۹-۴-۱- سطح مقطع و ارتفاع دیوار هدایت

شکل مقطع با توجه به شرایط مختلف از جمله جنس خاکریز، متغیر است. جزییات مقطع دیوار در شکل (۹-۵) نشان داده شده است.



شکل ۹-۵- جزییات تیپ دیوار هدایت [۴۴]

1- Guide Bank

omoorepeyman.ir

۹-۴-۲- طول دیوار هدایت

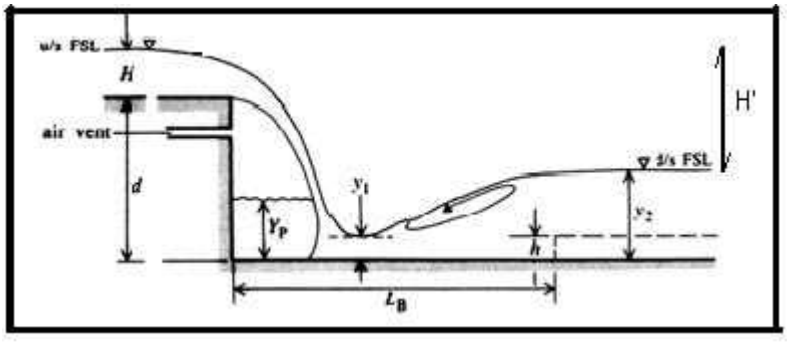
جهت انتخاب طول دیوار هدایت از نظریه اسپرینگ[1] (۱۹۰۳) استفاده می شود. طبق این نظریه، در انتخاب طول دیوار هدایت، دو مساله را باید مورد توجه قرار داد. مساله اول این است که حداقل طول دیوار باید به اندازه‌ای باشد که منجر به حرکت مستقیم آب شود و از برخورد جریان با خاکریز دسترسی راه جلوگیری نماید. مساله دوم این است که طول دیوار طوری انتخاب شود که از تشکیل خم در پشت دیوار و ایجاد منطقه‌ای با آب راکد جلوگیری کند [۴۴].

۹-۵- طراحی شیب‌شکن‌های قائم

در طراحی شیب‌شکن‌های قائم با توجه به حرکت توده جریان، باید مجرای هوا[2] نیز در نظر گرفته شود. شیب‌شکن‌های قائم خود به شیب‌شکن‌های معمولی (مستقیم[3])، شیب‌شکن نوع Sarda[4]، شیب‌شکن نوع YMGT[5] و شیب‌شکن با سرریز مستطیلی همراه با تاج بالارونده[6] تقسیم می‌شوند که در ادامه، طراحی انواع آن‌ها به تفصیل ارائه شده است [۸۶].

۹-۵-۱- شیب‌شکن‌های مستقیم

این نوع شیب‌شکن‌ها متداول‌ترین و رایج‌ترین نوع شیب‌شکن‌های قائم می‌باشند. در شکل (۹-۶) نمونه‌ای از این نوع شیب شکن قائم به همراه پارامترهای طراحی آن ارائه شده است. به منظور طراحی این نوع شیب شکن به ترتیب زیر عمل می‌شود [۸۶]:



شکل ۹-۶- شیب‌شکن مستقیم [۸۶]

با توجه به بار خالص (اختلاف خطوط انرژی در سراب و پایاب)، H′، ارتفاع شیب‌شکن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$d + H = H' + \left(Y_2 + \frac{v^2}{2g} \right) + h \qquad (۱-۹)$$

1- Spring
2- Aeration Groove
3- Common (Straight) Drop
4- Sarda Type Fall
5- YMGT Type Drop
6- Rectangular Weir Drop With Raised Crest

omoorepeyman.ir

رابطه‌ی (۹-۱) با تقریب خوب به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$d + H = H' + Y_n + h \qquad (۹-۲)$$

که در آن d ارتفاع شیب شکن (متر)، H' اختلاف خطوط انرژی در سراب و پایاب (متر)، H عمق آب بر روی تاج شیب‌شکن (متر)، y_n عمق نرمال در پایین‌دست (متر) و h ارتفاع سکو (متر) می‌باشد[۱]. شماره شیب‌شکن (D_r) با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۸۶]:

$$D_r = q^2 / gd^3 \qquad (۹-۳)$$

که در آن q بده در واحد عرض (مترمربع بر ثانیه) و d ارتفاع تاج شیب‌شکن نسبت به کف حوضچه (متر) می‌باشد. حال با استفاده از رابطه (۹-۴) طول حوضچه (شکل ۹-۶) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$L_B / d = 4.3 D_r^{0.27} + L_j / d \qquad (۹-۴)$$

که در آن L_B طول حوضچه (متر)، d ارتفاع تاج شیب‌شکن نسبت به کف حوضچه (متر)، D_r شماره شیب‌شکن و L_j طول پرش (متر) می‌باشند. سپس عمق آب در زیر ریزش آب[1] و عمق‌های اولیه و ثانویه پرش هیدرولیکی (شکل ۹-۸)، مطابق روابط زیر محاسبه می‌شوند [۴۴]:

$$Y_P / d = D_r^{0.22} \qquad (۹-۵)$$

$$y_1 / d = 0.54 D_r^{0.425} \qquad (۹-۶)$$

$$y_2 / d = 1.66 D_r^{0.27} \qquad (۹-۷)$$

که در این روابط Y_P عمق آب در زیر ریزش آب (متر)، D_r شماره شیب‌شکن، d ارتفاع تاج شیب‌شکن نسبت به کف حوضچه (متر)، y_2, y_1 به ترتیب اعماق اولیه و ثانویه پرش هیدرولیکی (متر) می‌باشند. مطابق شکل (۹-۶) همچنین یک سکو به ارتفاع h در انتهای حوضچه وجود دارد که در تشکیل پرش هیدرولیکی موثر می‌باشد. به طوری که ارتفاع این سکو باید به نحوی باشد که همواره رابطه زیر برقرار گردد [۸۶]:

$$0.5 < h / y_1 < 4 \qquad (۹-۸)$$

در رابطه اخیر y_1 عمق اولیه پرش هیدرولیکی (متر) و h ارتفاع سکو (متر) می‌باشند.

۹-۵-۲- شیب‌شکن با حوضچه از نوع بلوک ضربه‌ای USBR[2]

در شرایطی که تراز سطح آب در پایین‌دست سازه (TWL) بزرگ‌تر از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی (y_2) باشد، وجود این نوع شیب‌شکن بسیار مناسب است. این نوع شیب‌شکن که نمونه‌ای از آن در شکل (۹-۷) به همراه پارامترهای طراحی آن ارائه شده است، به شرح زیر طراحی می‌گردد [۴۴]:

1- Depth Under Nappe
2- USBR Impact Black Type Basin

omoorepeyman.ir

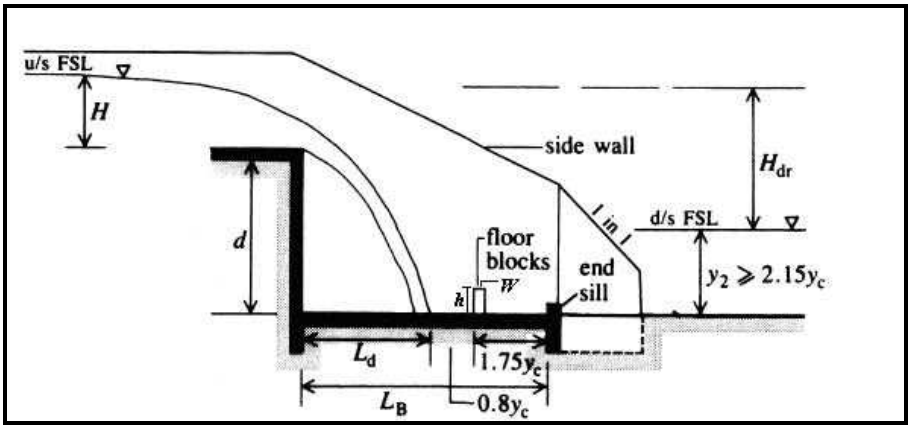
– طول حوضچه (L_B) با استفاده از رابطه (۹-۹) و به صورت زیر محاسبه می‌شود [۸۶]:

$$L_B = L_d + 2.55y_c \qquad (۹-۹)$$

در رابطه بالا به منظور محاسبه مقدار L_d از شکل (۹-۸) می‌توان استفاده می‌شود. به این ترتیب که با معلوم بودن شماره شیب‌شکن D_r و نسبت H_{dr}/H که در آن H_{dr} اختلاف تراز سطح آب پایین‌دست و بالادست (متر) و H تراز سطح آب بالادست (متر) می‌باشد، می‌توان مقدار L_d/d را به‌دست آورد و سپس با معلوم بودن مقدار d، L_d را به‌دست آورد.

– محل بلوک در کف حوضچه معادل است با [۸۶]:

$$L_d + 0.8y_c \qquad (۹-۱۰)$$



شکل ۹-۷- نمونه‌ای از شیب‌شکن با حوضچه از نوع بلوک ضربه‌ای [USBR۸۶]

– حداقل عمق نرمال آب در پایین‌دست که y_2 می‌بایست از آن بزرگ‌تر باشد (h_1) معادل است با [۸۶]:

$$h_1 = 2.15y_c \qquad (۹-۱۱)$$

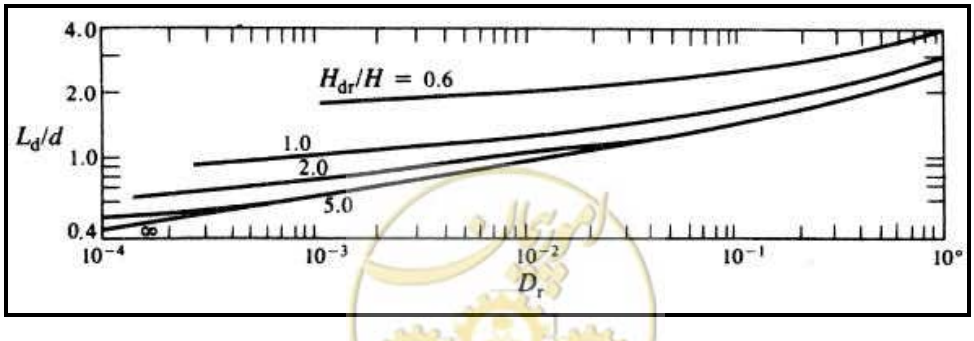
– ارتفاع و عرض بلوک مطابق شکل (۹-۹) به صورت زیر محاسبه می‌شود [۸۶]:

$$h = 0.8y_c \qquad (۹-۱۲)$$

$$W = 0.4y_c \qquad (۹-۱۳)$$

– حداقل ارتفاع دیوار جانبی (H_m)معادل است با [۸۶]:

$$H_m = y_2 + 0.85y_c \qquad (۹-۱۴)$$



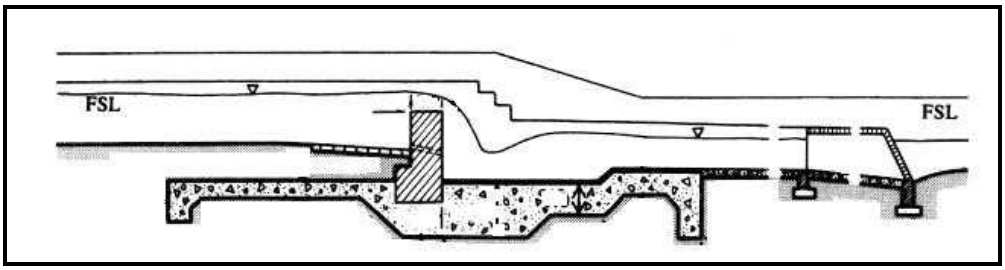
شکل۹-۸- مقادیر L_d/d به ازای شماره شیب‌شکن‌های مختلف [۸۶]

omoorepeyman.ir

در روابط بالا y_c عمق بحرانی (متر)، y_2 عمق ثانویه پرش هیدرولیکی، W,h به ترتیب ارتفاع و عرض بلـوک (متـر)، L_d فاصله محل برخورد ریزش آب در کف حوضچه نسبت به لبه شیب‌شکن (متر)، L_B طول حوضچه (متر) می‌باشند.

۹-۵-۳- شیب‌شکن از نوع Sarda[1] (هندی)

در این نوع شیب شکن به دلیل وجود یک تاج بالارونـده، ریـزش آب بـه صـورت عمـودی بـوده و شـامل دیـواره تـاج، دیواره‌های بالی بالادست و پایین‌دست، یک کف نفوذناپذیر و یک مخزن می‌باشـد. در شـکل (۹-۹) نمونـه‌ای از ایـن نـوع شیب‌شکن نشان داده شده است [۴۴].



شکل ۹-۹- شیب‌شکن از نوع [Sarda۸۶]

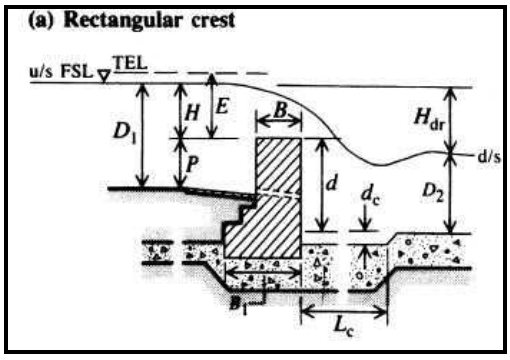
در این نوع شیب‌شکن طول تاج معادل با عرض بستر آبراهه در نظر گرفته می‌شود. همچنـین تنـگ‌شـدگی بـه‌وجـود آمده در مقطع آبراهه هزینه‌های ساخت و ساز شیب‌شکن را کاهش می‌دهد. این در حالی است که مقطع یک آبراهه بیش از ۵۰ درصد تنگ نمی‌گردد. چنین شیب‌شکنی مانع ایجاد خفگی[2] در بالادست شیب‌شـکن مـی‌شـود [**۸۶**]. در ایـن نـوع شیب شکن همواره تراز تاج باید بدون تغییر و ثابت باقی بماند تا مانع ایجاد تغییرات در تراز سطح آب بالادست گـردد. بـا فرض این که L_e طول موثر تاج (متر) باشد، مقدار هد آب در بالادست با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید [**۸۶**]:

$$H = (Q / C_d L_e)^{2/3} \qquad (۱۵-۹)$$

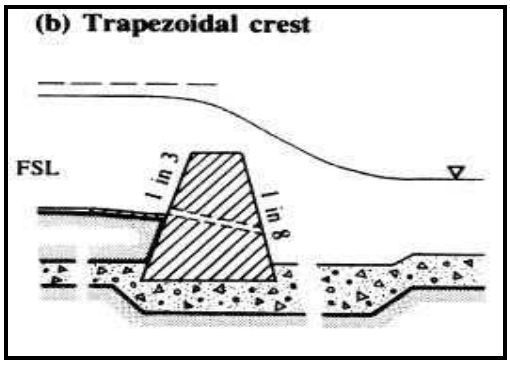
که در آن Q بده جریان (مترمکعب بر ثانیه)، C_d ضریب بده تاج و H هد آب (متر) می‌باشد. لازم به ذکـر اسـت کـه تاج شیب‌شکن‌ها دارای دو نوع مختلف است: یکی تاج مستطیلی است که برای بـده‌هـایی کـه مـاکزیمم مقـدار آن‌هـا ۱۰ مترمکعب بر ثانیه باشد، کاربرد دارد و دیگری تاج ذوزنقه‌ای است که برای بده‌های بزرگ‌تر مورد اسـتفاده قـرار مـی‌گیـرد (شکل‌های (۹-۱۰) و (۹-۱۱)) [۸۶].

1- Sarda-Type Fall
2- Choking

omoorepeyman.ir



شکل ۹-۱۰- تاج مستطیلی [۸۶]



شکل ۹-۱۱- تاج ذوزنقه‌ای[۸۶]

بر طبق مطالعات انجام شده توسط موسسه تحقیقات آبیاری در هند، معادلاتی پیرامون طراحی این دو نوع تاج ارائه شده است [۸۶].

الف- تاج مستطیلی

به منظور محاسبه عرض بالایی و پایینی تاج به ترتیب از روابط (۹-۱۶) و (۹-۱۷) استفاده می‌شود [۸۶]:

$$B = 0.55d^{1/2} \qquad (۹-۱۶)$$

$$B_1 = (H + d)S_s \qquad (۹-۱۷)$$

که در این روابط B عرض بالایی تاج (متر)، B_1 عرض پایینی تاج (متر)، H ارتفاع آب در بالادست نسبت به لبه تاج (متر)، d ارتفاع تاج شیب شکن نسبت به کف حوضچه (متر) و S_s چگالی نسبی موادی که تاج از آن ساخته شده است، می‌باشند [۴۴]. در صورت وجود این نوع تاج، مقدار بده جریان با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۸۶]:

$$Q = 1.835L_cH^{3/2}(H/B)^{1/6} \qquad (۹-۱۸)$$

که در آن Q بده جریان (مترمکعب بر ثانیه)، H ارتفاع آب در بالادست نسبت به لبه تاج (متر)، B عرض بالایی تاج (متر) و L_c طول حوضچه در کف شیب‌شکن (متر) می باشند.

omoorepeyman.ir

ب- تاج ذوزنقه‌ای

درصورتی‌که تاج این نوع شیب‌شکن ذوزنقه‌ای شکل باشد، با استفاده از رابطه زیر عرض بالایی تاج به‌دست می‌آید [۸۶]:

$$B = 0.55(H + d)^{1/2} \quad (۱۹-۹)$$

که در آن B عرض بالایی تاج (متر)، H ارتفاع آب در بالادست نسبت به لبه تاج (متر) و d ارتفاع تاج شیب شکن نسبت به کف حوضچه (متر) می‌باشد. عرض پایینی تاج نیز در شرایطی که شیب بالادست ۱ به ۳ و شیب پایین‌دست ۱ به ۸ باشد، به‌دست می‌آید که این مقدار برای شیب کناره‌های تاج همواره در طراحی‌ها توصیه می‌شود. همچنین به منظور به‌دست آوردن بده جریان در این شرایط از رابطه زیر استفاده می‌شود [۸۶]:

$$Q = 1.99H^{3/2}(H / B)^{1/6} \quad (۲۰-۹)$$

همچنین به منظور به‌دست آوردن طول حوضچه و عمق بحرانی بر روی آن از روابط زیر استفاده می‌گردد:

$$L_c = 5(H_{dr})^{1/2} \quad (۲۱-۹)$$

$$d_c = \frac{1}{4}(H_{dr})^{2/3} \quad (۲۲-۹)$$

که در آن‌ها L_c طول حوضچه (متر)، d_c عمق بحرانی (متر) و H_{dr} اختلاف تراز سطح آب بالادست و پایین دست (متر) می‌باشد.

از طرف دیگر حداقل عمق کف نفوذناپذیر در پایین‌دست تاج از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۸۶]:

$$L_{bd} = 2(D_1 + 1.2) + H_{dr} \quad (۲۳-۹)$$

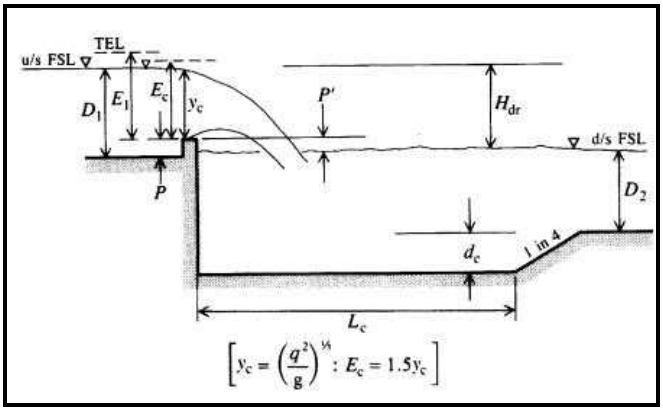
که در آن D_1 عمق نرمال آب در بالادست شیب‌شکن (متر)، H_{dr} اختلاف تراز سطح آب بالادست و پایین‌دست (متر) و L_{bd} حداقل عمق کف نفوذناپذیر در پایین‌دست تاج (متر) می باشند.

۹-۵-۴- شیب‌شکن از نوع YMGT[1] (ژاپنی)

این نوع شیب‌شکن در مقاطع تنگ شده نظیر آبراهه‌های کوچک، کانال‌های آبیاری مزارع و غیره که دارای حداکثر بده معادل ۱ مترمکعب می‌باشند، مناسب است. در شکل(۹-۱۲) نمونه‌ای از این نوع شیب‌شکن ارائه شده است [۸۶].

1- YMGT-Type Drop

omoorepeyman.ir



شکل ۹-۱۲- شیب‌شکن نوع [8YMGT]

پارامترهای طراحی این نوع شیب‌شکن به شرح زیر می‌باشند [۸۶]:

الف- ارتفاع دیواره (P) بین ۰/۰۶ تا ۰/۱۴ متر به ازای بده در واحد عرض ۰/۲- ۱ مترمربع بر ثانیه انتخاب می‌شود.

ب- عمق مخزن با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$d_c = 1/2(E_c H_{dr})^{1/2} \qquad (۹-۲۴)$$

ج- طول مخزن را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود [۸۶]:

$$L_c = 2.5L_d \qquad (۹-۲۵)$$

که در آن L_d را از رابطه زیر باید محاسبه نمود [۸۶]:

$$L_d = L_{d1} + L_{d2} \qquad (۹-۲۶)$$

برای به‌دست آوردن مقادیر L_{d1} و L_{d2} از معادلات (۹-۲۷) و (۹-۲۸) استفاده می‌شود [۸۶].

$$L_{d1} / E_c = 1.155[(P' / E_c) + 0.33]^{1/2} \qquad (۹-۲۷)$$

$$L_{d2} = (D_2 + d_c)\cot\alpha \quad , \quad \cot\alpha = y_c / L_{d1} \qquad (۹-۲۸)$$

در روابط بالا مطابق با شکل (۹-۱۲) y_c عمق بحرانی (متر)، E_c انرژی جنبشی بحرانی (متر)، H_{dr} اختلاف تراز سطح آب بالادست و پایین دست، L_c طول مخزن (متر)، D_2 عمق آب در پایین دست شیب شکن (متر)، P' ارتفاع قسمت بالا آمده در لبه شیب‌شکن (متر) و P ارتفاع دیواره (متر) می‌باشند.

۹-۵-۵- شیب‌شکن با سرریز مستطیلی همراه با تاج بالارونده

در سال ۱۹۷۵ کراتز و مهاجن[1] شیب‌شکن‌های عمودی را برای شرایطی که عرض بستر آبراهه بین ۰/۲-۱ متر و عمق جریان ۰/۱-۰/۷ متر باشد، توسعه دادند و این نوع از شیب‌شکن‌ها را تحت عنوان شیب‌شکن‌های با سرریز مستطیلی همراه با تاج بالارونده به‌وجود آوردند. شکل(۹-۱۳) این نوع شیب‌شکن را به همراه پارامترهای طراحی آن نشان می‌دهد.

1- Kraatz and Mahajan

omoorepeyman.ir

در این شیب‌شکن مقدار بده جریان با استفاده از رابطه (۹-۲۹) محاسبه می‌شود [۸۶]:

$$Q = CL(2g)^{1/2} H^{3/2} \qquad (۲۹-۹)$$

که در آن C معادل ۰/۳۶در شرایطی که جریان در بالادست دیواره تاج عمودی باشد و در شرایطی که جریان در بالادست دیواره تاج دایره‌ای شکل و به شعاع ۱۰-۵ سانتی متر باشد، برابر با ۰/۴ است [۸۶]. به منظور محاسبه طول تاج برای یک آبراهه ذوزنقه‌ای از رابطه زیر استفاده می‌گردد [۸۶]:

$$L = L_B - 0.1m \qquad (۳۰-۹)$$

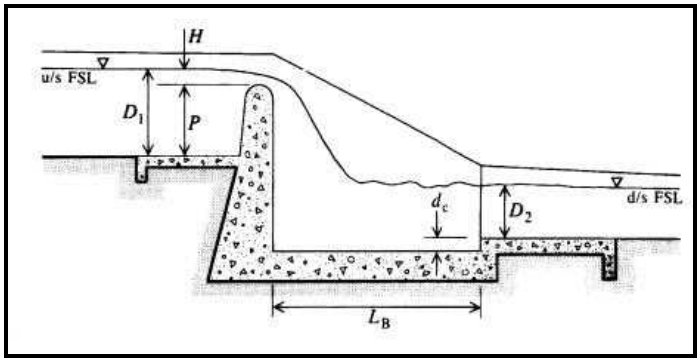
این در صورتی است که برای یک آبراهه مستطیلی طول تاج معادل با عرض کف آبراهه می‌باشد. همچنین برای به‌دست آوردن حجم مخزن حوضچه از رابطه زیر استفاده می‌شود [۸۶]:

$$V = QH_{dr} / 150 \qquad (۳۱-۹)$$

عرض مخزن را نیز با استفاده از رابطه زیر می‌توان به‌دست آورد [۸۶]:

$$W_B = V / [L_B(D_2 + d_c)] \qquad (۳۲-۹)$$

که در این رابطه عمق مخزن (d_c)را به صورت تقریبی بین ۰/۳-۰/۱ متر می‌توان در نظر گرفت. در روابط بالا W_B عرض مخزن (متر)، V حجم مخزن (مترمکعب بر ثانیه)، Q بده (مترمکعب بر ثانیه)، H_{dr}اختلاف تراز سطح آب بالادست و پایین دست (متر)، L_B طول مخزن (متر)، L طول تاج (متر)، C ضریب جریان، H ارتفاع سطح آب در بالادست تاج (متر) و g شتاب ثقل (مترمربع بر ثانیه) می‌باشند.



شکل ۹-۱۳- شیب‌شکن با سرریز مستطیلی همراه با تاج بالارونده [۸۶]

۹-۶- طراحی شیب‌شکن مایل

این نوع شیب شکن که توسط موسسه USBR طراحی شده است [۲۵]، خود دارای انواع مختلفی چون شوت معمولی[1]، شیب‌شکن مایل با ریزش تند آب[2] و شیب‌شکن از نوع آبشاری یا پله پله[3] می‌باشد که در ادامه به تفکیک نکاتی

1- Common Drop or Chute
2- Rapid Fall Type Inclined Drop (India)
3- Stepped or Cascade-Type Fall

omoorepeyman.ir

پیرامون طراحی هر یک ارائه شده است [۸۶]. به طور کلی این نوع شیب‌شکن دارای مقطعی مستطیلی است و از آن برای بده‌های از ۱/۴ تا ۲/۸ مترمکعب برثانیه استفاده می‌شود [۲۵]. این نوع شیب‌شکن از تبدیل ورودی، ناحیه افقی ورودی، شیب مایل و تبدیل در انتهای سازه تشکیل شده است. لازم به ذکر است که تبدیل ناحیه ورودی ممکن است خاکی باشد که در این صورت باید از آن در مقابل فرسایش حفاظت نمود. شیب شکن از بتن مسلح ساخته می شود [۲۵]. نمونه‌ای از این نوع شیب‌شکن‌ها در شکل (۹-۱۴) به همراه مقاطع مختلف آن، نشان داده شده است.

با توجه به این که مقطع کنترل سطح آب می‌تواند به صورت مقطع کنترل ذوزنقه‌ای، سرریز و یا به صورت دریچه کنترل باشد، در این نوع شیب‌شکن‌ها معمولا از مقطع کنترل ذوزنقه‌ای استفاده می‌گردد. این مقطع ذوزنقه‌ای به نحوی طراحی می‌شود که به ازای ۲۰ درصد بده طرح تا یک برابر بده، سطح آب در بالادست پایین نیافتد [۲۵]. مطابق شکل (۹-۱۴) برای محاسبه طول L_0 از جدول (۹-۱) باید استفاده نمود. این در حالی است که برای محاسبه طول Lf (جدول ۹-۱۶) باید از رابطه زیر استفاده شود:

$$L_f = 2.5 y_b \qquad (۹-۳۳)$$

که درآن y_b عمق آب در حوضچه آرامش است (جدول ۹-۱).

رقوم کف ناحیه افقی ورودی باید هم‌تراز یا کمی پایین‌تر از رقوم کف کانال بالادست باشد. برای به‌دست آوردن رقوم کف ناحیه افقی می بایست H_0 از جدول یک استخراج شده و رقوم کف در فاصله H_0 از سطح آب قرار بگیرد. شیب کف قسمت مایل ۱ افقی به ۲ عمودی ($m = 0.5$) و ملایم‌تر اختیار می‌شود ولی بهتر است $m = 2$ اختیار شود. عرض در تمام طول سازه یکسان اختیار شده و به صورت تجربی در زیر ارائه شده است:

$$B = \frac{18.46\sqrt{Q}}{Q + 9.91} \qquad (۹-۳۴)$$

که در آن:

Q= حداکثر بده جریان بر حسب مترمکعب در ثانیه

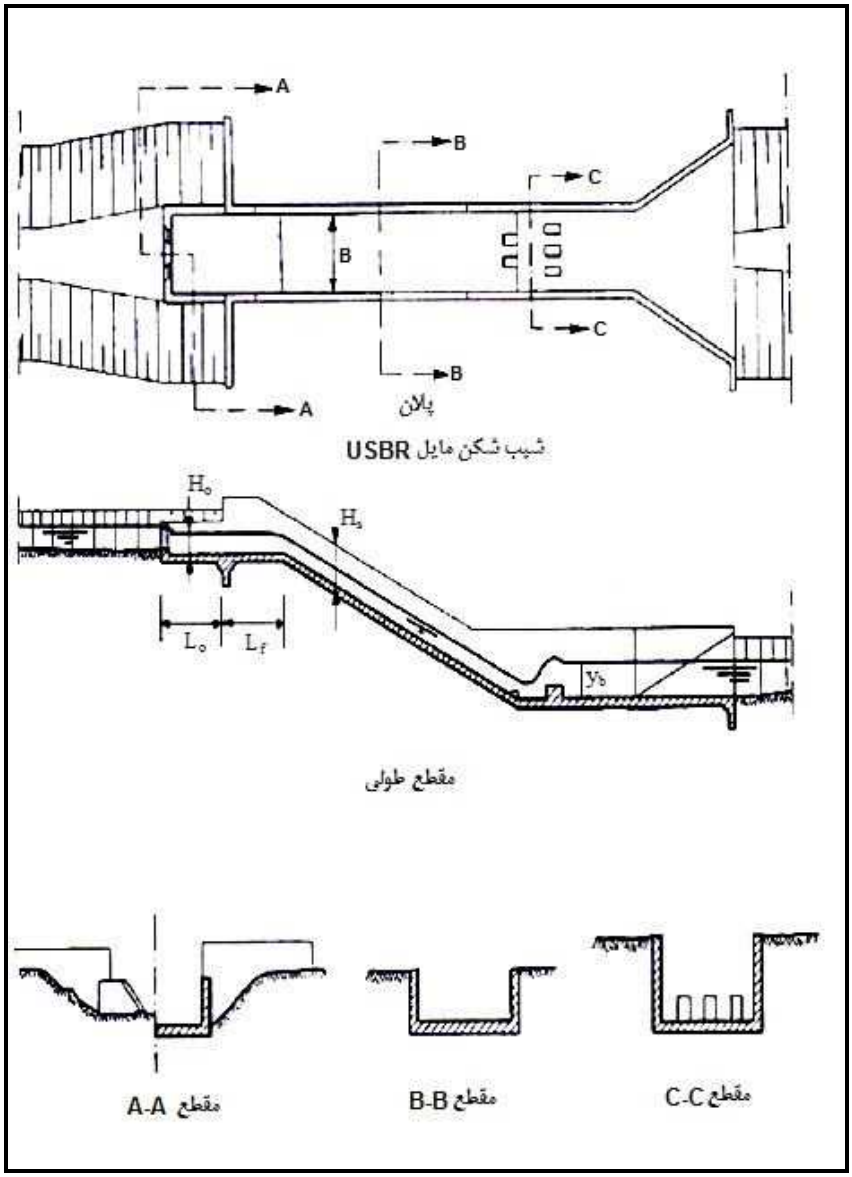
B= عرض سازه بر حسب متر.

رابطه فوق برای بده‌های بیش‌تر از ۱ مترمکعب بر ثانیه صادق است .ابعاد حوضچه آرامش به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

- طول حوضچه آرامش حداقل مساوی $4y_b$ برای بهره‌برداری دائم و حداقل $3y_b$ برای عبور سیلاب‌ها در نظر گرفته می‌شود.
- فاصله بین ردیف‌های بلوک‌های بتنی $L_1 = 0.8\ Y_b$ در نظر گرفته می‌شود.
- ارتفاع آزاد در حوضچه آرامش برای اختلاف ارتفاع $Z = 1\ m\ \Delta$، ۰/۵ متر و برای $Z = 4/5\ m\ \Delta$، ۰/۷ متر در نظر گرفته می‌شود.
- در حوضچه آرامش بلوک های بتنی با عرض ۰/۲ متر و در فواصل ۰/۲ متر از یکدیگر قرار داده می شوند. بلوک‌هایی که در ابتدای حوضچه قرار می گیرند افقی و با ارتفاع ۰/۲ متر ساخته می‌شوند، بلوک‌های بتنی که

omoorepeyman.ir

در وسط حوضچه قرار می گیرند، دارای ارتفاع از ۰/۲۵ تا ۰/۴ متر بسته به بده و اختلاف ارتفاع ΔZ متغیرند. طول بلوک‌های بتنی در وسط حوضچه معمولا ۱/۲ برابر ارتفاع آن‌ها در نظر گرفته می‌شود [۲۵]. برای کنترل پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش رقوم کف حوضچه را در فاصله $y_2 + hv_2$ از خط انرژی در کانال پایین‌دست قرار می‌دهند. (hv_2= ارتفاع نظیر سرعت است). در چنین حالتی رقوم خط انرژی در کانال پایین‌دست در جهت اطمینان براساس کاهش ضریب زبری کانال در حدود ۲۰ درصد محاسبه می‌شود [۲۵].



شکل۹-۱۴- شیب‌شکن مایل مستطیلی موسسه [USBR۲۵]

omoorepeyman.ir

فصل ۱۰

ضوابط و روش‌های ساخت کف‌بندها و تثبیت کننده‌ها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۰-۱- کلیات

دوام و عملکرد کف‌بندها و تثبیت کننده‌های بستر رودخانه بستگی به اجرای مناسب و نگه‌داری آن‌ها دارد. اجرای سازه‌های مهار فرسایش بستر در رودخانه می‌بایست در زمان کم آبی صورت گیرد تا هزینه‌ی انحراف آب در حین ساخت به حداقل برسد. در شروع اجرای سازه باید موقعیت منابع قرضه و جاده دسترسی جهت حمل مصالح تعیین شود. در کف‌بندها و تثبیت کننده‌ها پیشنهاد می‌شود موارد زیر در نظر گرفته شود [۲۵].

- کف‌بندها باید در مقابل سایش سنگ‌ها و مصالح حمل شده توسط جریان مقاومت کافی داشته باشند.
- پایداری پی (کف و دیواره‌ها) در رابطه با مقاومت، توان باربری و فرسایش می‌بایست مد نظر قرار گیرد.
- از آن‌جا که کف‌بندها اغلب همراه با سازه‌های کنترل فرسایش کناری ساخته می‌شوند، باید اتصال آن‌ها با این سازه‌ها به خوبی صورت گیرد که این امر با تعبیه قفل در کف‌بندها انجام می‌شود.
- کف‌بندها باید به طور کامل از طرفین در داخل دیواره کناره ادامه داده شود تا اتصال بین کف‌بند و دیواره به خوبی حفظ شود [۴۷].

۱۰-۲- مراحل ساخت سازه‌های تورسنگی

تورسنگی ها معمولا از دو قسمت پی و بدنه تشکیل شده‌اند. برای اجرای عملیات ساختمانی آن‌ها ابتدا محل پی را از خاک‌های نباتی و مواد آلی پاک کرده و سپس برای استحکام بیش‌تر محل را با ماشین‌های متراکم کننده‌ی کوچک و با چکش های دستی می کوبند. سپس با آزمایش جرم مخصوص در محل میزان تراکم پی را اندازه گیری کرده و چنانچه جرم مخصوص کل به حد نصاب (۹۰ درصد بیشینه ی جرم مخصوص آزمایشگاهی) رسیده باشد، عملیات نصب توری‌سنگی را آغاز می کنند. توری‌های توری‌سنگی را معمولا در کارخانه به صورت رول ساخته سپس به همان شکل به محل کار حمل می کنند [۹].

قفسه‌های توری موجود در بازار معمولا از سیم‌هایی به قطر دو، سه و چهار میلی‌متر و چشمه‌های شش ضلعی به ابعاد ۷۰ × ۵۰، ۸۰ × ۶۰، ۱۰۰ × ۸۰ و یا ۱۲۰ × ۱۰۰ با بافت‌های سه پیچ ساخته می‌شوند. پاره سنگ‌هایی با حداقل ابعاد ۱/۵ برابر چشمه‌های توری برای لایه‌های حفاظتی و توری سنگی‌های بیرونی توصیه می‌شود. هنگام قرار دادن سنگ‌ها در توری ابتدا باید یک سوم ارتفاع سبد را سنگ ریخته و سپس دو سیم به طور ضربدری به جداره های سبد وصل کرد تا مانع از شکم دادن تورسنگی شود. این کار را در هر یک سوم از ارتفاع سبد باید تکرار کرده، پس از پر شدن سبد، در آن را به وسیله‌ی شبکه‌ای از سیم های گالوانیزه می‌بندیم. جهت ساختن یک سازه‌ی توری سنگی پس از ساختن توری‌ها، کناره‌های آن‌ها را با سیم‌هایی می‌بندند تا قفسه‌های توری‌سنگی شکل بگیرد. تاکید می‌شود که این عملیات باید درجا صورت گیرد و از حمل سبدهای توری پر شده خودداری شود.

omoorepeyman.ir

۱۰-۳- مراحل ساخت سازه‌های سنگ سیمانی و بتنی

عملکرد مناسب کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های سنگ سیمانی و بتنی که جزو سازه‌های صلب محسوب می‌شوند به وضعیت بستر زیرین آن بستگی دارد. ایجاد ترک و خطر تخریب سازه به دلیل نشست پی از جمله مواردی است که باید در طراحی و احداث سازه مورد توجه قرار گیرند. ساخت این سازه ها، معمولا به دو روش اجرا از خشکی و یا اجرا در زیر سطح آب انجام می‌گیرد. جهت ساخت سازه‌هایی نظیر بندهای اصلاحی و آبشکن‌ها قبل از ساخت این سازه‌ها اقدام به آماده‌سازی زمین نموده و از محل احداث سازه، خاک های نباتی و لجن برداشت می شود. سپس عملیات گودبرداری تا رسیدن به شالوده‌ی مناسب جهت استقرار پی سازه انجام می‌شود. درصورتی‌که چنین لایه‌ای وجود نداشت حداقل تا لایه‌ی یک متری گودبرداری شده و سپس یک لایه‌ی ۳۰ سانتی‌متری بتن مسلح اجرا می‌شود. ملات سیمان پرتلند با ترکیب ۲۵۰ کیلوگرم سیمان در مترمکعب ماسه، نسبت وزنی ۱:۴ یا ۱:۵ ساخته می‌شود. سنگ‌هایی که در ساختمان بند اصلاحی سنگ و سیمانی به کار می‌روند باید در مقابل سایش، خردشدگی و هوازدگی به اندازه کافی مقاوم باشند. در مورد سازه‌های بتنی که به عنوان پوشش ثبیت‌کننده‌ی بستر به کار می‌روند، به دو صورت درجا و یا پیش ساخته اجرا می‌شوند.

در مورد پوشش‌های درجا با در نظر گرفتن این نکته که این پوشش‌ها نفوذپذیری کمی دارند، لازم است با انتخاب تعداد کافی مجرای تراوش و با هر روش مناسب دیگری فشار آب حفره‌ای را کاهش داد. جهت جلوگیری از خرابی تثبیت‌کننده‌های بتنی در اثر نشست‌های نامساوی شالوده یا تغییرات دما لازم است در فواصل منظمی درزهایی تعبیه شود [۵۱]. بستر سازه جهت رسیدن به یک پی مناسب باید کوبیده شود تا پی آن بتواند وزن سازه ونیروی آب را تحمل کند. ضخامت پوشش معمولا بین ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. تثبیت‌کننده‌های بتنی پیش ساخته متشکل از دال‌های بتنی پیش ساخته هستند. ضخامت این دال ها نسبت به دو بعد دیگر آن کم‌تر بوده و لذا وزن واحد سطح آن‌ها کم است. ضخامت این دال‌ها در هیچ شرایطی نباید کم‌تر از ۸ سانتی‌متر باشد [۵۱]. در جاهایی که فشار آب حفره‌ای بالا است با تعبیه مجرای تراوش در داخل دال های بتنی این فشار را کاهش داده و همچنین جهت کنترل شستشوی مصالح ریزدانه زیر سازه ثبیت‌کننده (پوشش) از میان درزها، فیلتر مناسب در لایه‌ی زیرین تعبیه شود.

۱۰-۴- مراحل ساخت سازه‌های خشکه‌چین و سنگ‌چین

کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های خشکه‌چین از چیدن تخته سنگ‌ها در کنار و روی هم، در عرض آبراهه ساخته می‌شوند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد هدف اصلی از ساخت این سازه‌ها، کنترل فرسایش در طول آبراهه و یا کاهش شیب می‌باشد. جهت ساخت سازه‌های خشکه‌چین نیز ابتدا به آماده‌سازی بستر آبراهه پرداخته و خاک نباتی و لجن از محل احداث سازه برداشته می شود. در ادامه عملیات شالوده‌سازی (گودبرداری یا کوبیدن) تا رسیدن به شالوده‌ی مناسب جهت احداث پی ادامه می‌یابد. ارتفاع موثر بندهای اصلاحی خشکه‌چین به عنوان ثبیت‌کننده‌ی بستر رودخانه، حداکثر یک متر و عمق پی آن‌ها دست کم یک متر می‌باشد. سنگ‌های مورد استفاده در این بندها از نوع تخته سنگ است.

omoorepeyman.ir

در ساخت پوشش‌های سنگ‌چین نیز همانند سایر سازه‌های دیگر پس از آماده‌سازی بستر، زیرسازی را اجرا کرده و سپس لایه‌ی سنگ‌ها روی هم و در کنار هم دیگر قرار داده می‌شوند. ضخامت لایه معمولا ۱/۵ تا ۲ برابر اندازه متوسط سنگ‌های به کار رفته است. اندازه سنگ‌هایی که به این منظور به کار می‌روند باید از توزیع یکنواخت و نرمال برخوردار باشد. پوشش سنگ چین معمولا از دو لایه سنگ متوسط تشکیل می شود. جهت کنترل نیروی تراوش و کاهش پدیده‌ی زیر شویی که منجر به شستشو و خروج مواد ریز دانه از روکش و یا سازه‌ی حفاظتی می شود استفاده از لایه فیلتر در حد فاصل بستر رودخانه و پوشش حفاظتی ضروری است. در اجرای پوشش سنگ چین توسط دست حجم کم تری از سنگ نسبت به اجرا توسط ماشین لازم است. همچنین تراکم مطلوب‌تری ایجاد می‌شود.

۱۰-۵- پیش‌بینی عملیات انحراف جریان جهت اجرای سازه

انحراف جریان رودخانه در محل احداث کف‌بند یا سازه‌های تثبیت بستر، نخستین گام قبل از اجرای این سازه‌ها می‌باشد. رودخانه مورد نظر جهت اجرای کف‌بند و یا سازه‌های تثبیت بستر ممکن است از نوع فصلی و یا دائمی باشد. با توجه به بازه‌ی بی‌آبی در رودخانه‌های فصلی و ارائه‌ی زمان‌بندی مناسب جهت انجام عملیات ساخت سازه، می‌توان بیش‌ترین بهره را از بازه‌ی زمانی ذکر شده جهت احداث سازه‌های ذکر شده برد. در این رودخانه‌ها باید طوری برنامه‌ریزی نمود که در زمان‌های کم آبی عملیات اجرایی انجام شود. سامانه‌های انحراف و مهار جریان رودخانه در رودخانه های دائمی که در تمام فصول دارای جریان آب هستند، به هنگام اجرای سازه اهمیت پیدا می‌کنند. دوره‌ی بازگشت سیل طراحی برای سازه‌های انحراف جریان رودخانه‌هاب دائمی حداقل، بده اوج سیلاب ۱۰ ساله در نظر گرفته می‌شود، چرا که در غیر این صورت وقوع یک سیل ناگهانی خساراتی را به بار آورده و منجر به توقف عملیات اجرایی و تخریب سازه‌های در دست اجرا می‌شود [۸۴]. از طرفی چناچه ظرفیت سامانه انحراف جریان بالا باشد سبب متحمل شدن هزینه ی اضافی به هنگام ساخت سازه می شود. به طور کلی اجرای طرح‌های ساماندهی رودخانه و انحراف جریان با احداث خاکریزهایی از خاک‌برداری مصالح رودخانه و انباشت آن در اطراف کانال انحراف انجام می‌گیرد. به‌طور کلی باید طوری برنامه‌ریزی شود که در سال‌های کم آبی کارهای عملیاتی انجام گردد.

۱۰-۶- بررسی امکان اجرای سازه‌ها بدون انحراف جریان

آب‌دهی متوسط روزانه بهترین و اصلی‌ترین بخش در جمع‌آوری اطلاعات ایستگاه‌های آب‌سنجی می‌باشد. با در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به آن و مطالعه‌ی توزیع آب‌دهی ماهانه می‌توان وضعیت سیلابی رودخانه و فصول خشک را تعیین کرده و طراحی سازه‌ها را براساس شرایط سیلابی انجام داد. بازه‌های پرآبی و کم‌آبی رودخانه از مطالعات هیدرولوژی و شرایط آب‌دهی ثبت شده ی رودخانه مشخص می گردد. در رودخانه‌های فصلی چندین ماه از سال رودخانه فاقد جریان آب بوده و تقریبا خشک می‌باشد. در رودخانه‌های فصلی با توجه به مطالعات انجام شده در زمینه فصول خشک رودخانه، ساخت سازه در بازه‌ی زمانی ذکر شده مورد بررسی قرار می‌گیرد و در صورت امکان‌پذیر بودن، با توجه به پذیرفتن ریسک اجرا باید عملیات ساخت بیمه شود.

omoorepeyman.ir

در رودخانه‌های بزرگ و دایمی و یا در صورت وجود محدودیت‌های خاص نظیر رودخانه‌های مرزی، شهری و یا رودخانه‌های کشتیرانی، عموما امکان انحراف آب در بستر رودخانه فراهم نمی‌باشد. در این صورت عملیات ساماندهی و ساخت سازه های حفاظتی در شرایط جریان طبیعی رودخانه در فصل کم آبی و در طول یک سال باید انجام گیرد. در شرایط جریان آب، باید از مصالح ساختمانی با قطعات بزرگ و سنگین مانند سنگ‌های بزرگ، تورسنگ‌های جعبه‌ای، بلوک‌های بتنی که در صورت نیاز برای تامین وزن کافی با کابل سیمی یا میله فولادی به هم متصل می‌گردند، یا کیسه‌های محتوی مخلوط ماسه و سیمان استفاده می‌شود.

۱۰-۷- آماده‌سازی زمین برای اجرای سازه

قبل از اجرای سازه‌هایی نظیر کف‌بندها و سازه‌های تثبیت کننده بستر رودخانه، انجام یک سری عملیات آماده‌سازی بستر رودخانه ضروری است. در این بخش عملیات و آزمایش‌ها مورد نظر برای اجرای سازه‌های مورد نظر تشریح می‌گردد.

۱۰-۷-۱- برداشت خاک نباتی و لجن‌برداری

برای آماده‌سازی زمین و ایجاد شالوده مناسب به منظور احداث کف‌بندها و سازه‌های تثبیت بستر، ابتدا زمین طبیعی از بقایای نباتی، لجن، مواد آلی پاک‌سازی و سپس تسطیح می‌گردد. ضخامت برداشت لایه‌های سطحی براساس موقعیت محل و نوع خاک تعیین می‌شود. برداشت مواد آلی سبب می‌گردد که از نشست نامساوی، گسیختگی برشی و فرسایش داخلی به جهت زه‌آب عبوری از بدنه سازه جلوگیری به عمل آید. برداشت خاک نباتی در سازه‌های رودخانه‌ای تا عمق مورد نیاز انجام می‌گیرد.

۱۰-۷-۲- انجام آزمایش‌های صحرایی در محل در صورت نیاز

تهیه‌ی نمونه‌ی دست نخورده و نیز جلوگیری از تغییرات مشخصه‌های خاک در هنگام نمونه‌گیری و یا حمل به آزمایشگاه دارای مشکلاتی است. امروزه با استفاده از روش‌های صحرایی و با سرعت عمل کافی می‌توان اقدام به تعیین خواص و مشخصات خاک نمود. با توجه به مشخصات محلی و نوع سازه ی استفاده شده، انجام برخی آزمایش های صحرایی و آزمایشگاهی به منظور شناسایی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک لازم به نظر می‌رسد. آزمایش‌های صحرایی که به منظور اجرای کف‌بندها و تثبیت کننده‌های بستر مورد استفاده قرار می‌گیرند به شرح زیر است:

- آزمایش نفوذ استاندارد

آزمایش نفوذ از مجموعه آزمایش‌ها دینامیکی ساده و سریع است. این آزمایش در سطح گسترده‌ای برای تعیین ظرفیت باربری و عوامل مشخصه‌ی خاک مورد استفاده قرار می گیرد. نحوه‌ی آزمایش به این صورت است که میله‌ی

omoorepeyman.ir

استوانه‌ای شکل نمونه‌گیر با ابعاد معین تحت ضربات یک چکش که با وزن مشخص و از ارتفاع تعیین شده سقوط می‌کند، به داخل خاک رانده می‌شود. اگر N_1 تعداد ضربات چکش جهت فرو رفتن میله در خاک به میزان ۱۵ سانتی‌متر و N_2 تعداد کل ضربات مورد نیاز جهت فرورفتگی میله به عمق ۴۵ سانتی متر باشد، آنگاه عدد نفوذ استاندارد N از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$N = N_2 - N_1 \qquad (۱-۱۰)$$

حداکثر مقدار N به طور معمول برابر با ۱۰۰ می‌باشد.

- آزمایش نفوذ استاتیکی

این آزمایش عمدتا برای محاسبه‌ی پی‌های عمیق مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از نتایج این آزمایش نمودار نفوذ که تغییرات مقاومت خاک و نیروی کل c بر حسب عمق را نشان می‌دهد، ارائه می‌گردد. از تجزیه و تحلیل نمودارهای به دست آمده می‌توان اطلاعاتی نظیر تخمین همگن یا غیر همگنی خاک، ارزیابی تراکم لایه‌ها به منظور تعیین عمق پی و تخمین ظرفیت باربری لایه‌های عمیق کسب نمود. در مورد پی‌های سطحی نیز می‌توان تنش مجاز زیر پی را بر حسب مقاومت انتهایی اندازه‌گیری شده با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست آورد.

$$q_\alpha = \frac{R_P}{\alpha} \qquad (۲-۱۰)$$

در رابطه‌ی فوق R_P مقاومت انتهایی اندازه‌گیری شده (برحسب کیلو پاسکال) و q_α تنش مجاز زیر پی (برحسب کیلوپاسکال) است. مقدار α برای ماسه و خاک‌های دانه‌ای بر حسب عمق پی بین ۸ تا ۱۳ و برای خاک‌های رسی به طور متوسط ۱۰ پیشنهاد شده است [۳۱].

- آزمایش بارگذاری صفحه

با اعمال بار به یک پی سطحی و اندازه‌گیری مقدار نشست آن می‌توان ظرفیت باربری پی‌های سطحی را تعیین نمود. جهت تعیین ظرفیت باربری و نشست پی‌ها از منحنی‌های زمان نشست و بارگذاری نشست که از نتایج این آزمایش حاصل شده‌اند، استفاده می‌شود. همچنین جهت تخمین نشست پی‌های سطحی نیز می‌توان از آزمایش بارگذاری صفحه‌ای استفاده نمود.

- آزمایش فشارسنجی[1]

در این آزمایش لایه‌های خاک به کمک افزایش فشار در سلول‌ها از طریق انبساط یک استوانه، به صورت افقی و به صورت سریع و مستقیم بارگذاری می‌شوند. سپس با توجه به تغییر شکل‌های حاصل، در هر عمق مقدار فشار حدی

1- .Pressiometry

omoorepeyman.ir

محاسبه می گردد. نتایج حاصله رفتار کوتاه‌مدت خاک را نشان داده و بدون نیاز به تعیین عوامل مشخصه، مستقیما ظرفیت باربری خاک قابل محاسبه است. این آزمایش خاک ها را در چهار گروه نرم، ریزدانه متراکم، دانه‌ای نرم و دانه‌ای متراکم دسته‌بندی می‌کند که در جدول (۱۰-۱) نشان شده است [۳۱].

جدول ۱۰-۱- طبقه‌بندی خاک‌ها در آزمایش فشارسنجی [۳۱]

گروه	نوع خاک	دامنه فشار حدی (Mpa)
۱	رس لای	۰/۲-۰ ۰/۷-۰
۲	رس سفت و مارن لای متراکم ماسه قابل فشردن سنگ‌های نرم	۴۰-۱۸ ۳۰-۱۲ ۸-۴ ۳۰-۱۰
۳	شن و ماسه سنگ	۲۰-۱۰ ۱۰۰-۴۰
۴	شن و ماسه خیلی متراکم	۶۰-۳۰

این آزمایش به طور معمول در هر متر از عمق خاک (حداکثر هر دو متر) و تا رسیدن به لایه مورد نظر برای اجرا نمودن پی سطحی یا عمیق انجام می شود. نتایج هر آزمایش، به صورت یک منحنی که تغییرات حجم سلول مرکزی را متناسب با فشار وارد آمده نشان می‌دهد، عرضه می گردد. از دیگر آزمایش‌های صحرایی که در احداث کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به آزمایش چگالی صحرایی، آزمایش تراوایی و آزمایش برش پره‌ای در خاک‌های ریزدانه و رس اشاره کرد.

۱۰-۷-۳- نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی در صورت نیاز

جهت نمونه‌برداری از روش گمانه زنی که از قدیمی‌ترین روش‌های شناسایی مشخصات خاک است استفاده می‌شود. در این حالت مشخصات خاک با نمونه‌گیری از لایه‌های مختلف و ارائه مقاطع زمین‌شناسی محل مشخص می‌گردد. تهیه‌ی نمودار گمانه‌ها و چاهک‌ها و ثبت داده‌هایی از قبیل عمق، ستون چینه‌شناسی، زمین‌شناسی و مشخصات خاک ضروری است. همچنین تشریح نظری خاک با توجه به رنگ، بافت، سنگ شناسی، مقاومت و وجود مواردی مانند املاح محلول، مواد آلی و غیره صورت می پذیرد. برای تکمیل اطلاعات صحرایی و ارزیابی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک یک سری آزمایش های آزمایشگاهی نیز باید صورت پذیرد. از جمله آزمایش‌هایی که بدین منظور در اجرای سازه‌هایی نظیر کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌ها انجام می‌گیرد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- طبقه‌بندی خاک (دانه‌بندی و هیدرومتری)
- تخلخل خاک
- تعیین وزن مخصوص ظاهری و حقیقی

omoorepeyman.ir

- حدود آتربرگ
- تعیین نفوذپذیری خاک
- آزمایش تراکم
- آزمایش تحکیم
- رطوبت طبیعی خاک

آزمایش دانه‌بندی خاک برای طبقه‌بندی فیزیکی خاک در کارهای سازه‌ای بسیار مورد نیاز است. در حالی که درصدهایی از اندازه‌های مختلف دانه‌ها در ترکیب خاک موجود باشد، دانه‌بندی خاک مناسب خواهد بود. در خاک‌های نفوذپذیر که محل مناسبی جهت احداث سازه‌های سنگ چین، توری سنگی و تثبیت کننده‌های کیسه‌ای هستند، علاوه بر آزمایش‌های طبقه‌بندی و تعیین چگالی و رطوبت، آزمایش نفوذپذیری و مقاومت برشی نیز به انجام می‌رسد. در حالی که برای خاک‌های ریزدانه و چسبنده، آزمایش‌های تحکیم و برش پره‌ای انجام شده و نیازی به انجام آزمایش‌هایی مانند نفوذپذیری و تراوش نیست. لذا بسته به نیازهای طرح، ویژگی های محل احداث سازه، نوع سازه و مشخصات آن، از میان آزمایش‌های ذکر شده، آزمایش‌های متفاوتی انجام خواهد شد.

۱۰-۸- شناسایی منابع قرضه

در ساخت کف بندها و سازه های تثبیت بستر رودخانه از منابع و مصالحی نظیر خاک، سنگ، سیمان، بتن، چوب و غیره استفاده می‌شود. شناسایی این منابع طی دو مرحله بررسی‌های مقدماتی و شناسایی محل و بررسی‌های تفصیلی صورت می‌گیرد [۱۸]. در مرحله‌ی اول ابتدا با انجام مطالعات زمین‌شناسی داده‌های مربوط به منابع قرضه‌ی مورد نیاز طرح جمع‌آوری شده و با انجام آزمایش‌های صحرایی به ارزیابی عینی آن‌ها پرداخته می‌شود. سپس مسیرهای حمل و نقل و راه‌های دسترسی به این مصالح مورد ارزیابی و بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه با جمع‌آوری و بررسی گزارش‌های موجود سایر پروژه های عمرانی در محل و ارزیابی امکانات اجرایی موجود در منطقه طرح اطلاعات مربوط به مرحله‌ی اول شناسایی قرضه تکمیل می‌گردد. در مرحله دوم جهت بررسی‌های دقیق برای انتخاب مصالح ساخت، بسته به نوع و اهمیت سازه آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی متفاوتی روی منابع قرضه صورت می‌گیرد.

۱۰-۸-۱- بررسی مشخصات مصالح

- خاک

خاک که یکی از منابع قرضه مورد استفاده در این طرح‌ها است بیش‌تر در ساخت پوشش‌های تثبیت بستر به کار می‌رود. انواع مختلفی از خاک‌ها برای طرح‌های حفاظت از رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، در ساخت پوشش‌های طبیعی از خاک‌های آلی و ریزدانه استفاده می‌شود. از مصالح شن، ماسه و دانه‌بندی‌های بزرگ‌تر برای

omoorepeyman.ir

ساخت پوشش‌های ژئوبگ و نیز از انواع خاک‌ها جهت پر کردن بلوک‌های بتنی توخالی ثبیت‌کننده‌ی بستر استفاده می‌شود و چگالی مناسب، نوع دانه‌بندی شکل ذرات و ترکیب سنگ‌دانه‌ها، نفوذپذیری، چسبندگی، تراکم‌پذیری و مقاومت برشی از خصوصیات فیزیکی و مهندسی خاک هستند که بسته به نوع سازه باید انتخاب و مورد استفاده قرار گیرند. برای درجه‌بندی خاک‌های مختلف و پی بردن به خواص مهم مهندسی آن‌ها نظیر نفوذپذیری، مقاومت برشی و تراکم‌پذیری براساس طبقه‌بندی USBR عمل شود [۱۸].

- سنگ

سنگ به عنوان رایج‌ترین منبع قرضه، به طور وسیع در اجرای سازه‌های کنترل فرسایش، مخصوصا در رودخانه‌های سیلابی و کوهستانی به کار می‌رود [۶۷]. مصالح سنگی به طور معمول درکف‌بندها، آستانه‌ها، سدهای اصلاحی، آبشارها، پوشش‌ها و سایر سازه‌های ثبیت‌کننده‌ی بستر رودخانه به کار می‌روند. از جمله ویژگی‌های مصالح سنگی که در اجرای این طرح‌ها مدنظر است می‌توان به مقاومت در برابر مواد شیمیایی، هوازدگی، فرسایش و سختی مناسب اشاره کرد. ویژگی‌های اساسی و شاخصی که در این مصالح مد نظر است عبارتند از سختی، دوام، واکنش‌پذیری، روابط وزنی و حجمی. چگالی نسبی اغلب کانی‌های تشکیل دهنده‌ی سنگ‌ها در دامنه‌ی ۲۶۵ تا ۲۸ قرار دارد. مشخصات ابعادی سنگ‌ها بسته به نوع سازه مورد نظر متفاوت است، به عنوان مثال در مورد سازه‌های خشکه‌چین یا سنگ‌چین از سنگ هایی با شکل و اندازه های نسبتا یکنواخت هندسی مانند مکعب یا مکعب مستطیل استفاده گردد. درحالی که در سازه‌های سنگ سیمانی از سنگ‌های با ابعاد کوچک‌تر و نیز نامنظم‌تر استفاده می‌شود.

- سیمان و بتن

در مورد بتن که مخلوطی از سیمان، آب و مصالح خرده سنگی است، واکنش پذیری یا فعالیت شیمیایی آن باید مورد توجه قرار گیرد. واکنش بین سیلیس قابل حل موجود در مصالح خرده سنگی و هیدروکسیدهای قلیایی مشتق شده از سیمان پرتلند می‌تواند تورم غیرعادی و احتمالا ترک‌خوردگی و تخریب بتن و ملات را به همراه داشته باشد [۴۱]. به طور کلی مشخصات مصالح بتنی شامل سیمان، آب، سنگ‌دانه (شن و ماسه) و مواد افزودنی و پوزولان باید منطبق بر مفاد فصل سوم از آیین نامه بتن ایران (آبا) باشد. همچنین مشخصات آرماتور مصرفی باید منطبق بر فصل چهارم از آیین‌نامه بتن ایران و کیفیت و عمل آوری بتن تازه باید منطبق بر فصل‌های ششم و هفتم از آیین‌نامه بتن ایران باشد.

۱۰-۸-۲- انجام آزمایش‌های مربوط به کیفیت مصالح

جهت ارزیابی کیفیت مصالح در طرح‌های تثبیت بستر و اجرای کف‌بندهای رودخانه باید آزمایش‌هایی روی مصالح انجام شود. در مورد مصالح خاکی از نمونه‌های برداشت شده باید آزمایش‌های وزن مخصوص، تجزیه مکانیکی (دانه‌بندی و هیدرومتری)، درصد رطوبت برشی، نفوذپذیری، تعیین ارزش ماسه‌ای، آزمایش تراکم، انسجام، تعیین حدود آتربرگ و

omoorepeyman.ir

نیز آزمایش تعیین چگالی طبیعی خاک به عمل آید. مقدار وزنی نمونه‌ی برداشت شده به نوع آزمایش‌ها و روش‌های به کار رفته بستگی دارد.

برای کنترل کیفیت مصالح سنگی ویژگی های اساسی و شاخص آن‌ها نظیر روابط وزنی و حجمی، سختی سنگ، دوام و واکنش پذیری مرتبط با کیفیت سنگ از اهمیت خاصی برخوردار هستند. لذا در ارزیابی کیفیت این مصالح باید آزمایش‌هایی در رابطه با مقاومت، سختی و دوام سنگ، عوامل هوازدگی و فرسایش و نیز فشار و بارگذاری در آزمایشگاه‌های مکانیک خاک و سنگ انجام پذیرد. از این آزمایش‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- چگالی نسبی (مطلق و ظاهری)
- سختی سایش
- سختی با استفاده از چکش اشمیت
- تعیین درصد جذب آب‌سنگ
- تخلخل
- آزمایش سایش لوس‌آنجلس
- آزمایش خرد شوندگی
- مقاومت در برابر ضربه و مقاومت در برابر سولفات‌های سدیم و منیزیم.

در مورد بتن نیز صرف نظر از آزمایش‌هایی که برای کنترل کیفی شن و ماسه مصرفی در بتن انجام می‌پذیرد آزمون‌هایی نیز روی بتن و سیمان به انجام می‌رسد [۴۱]. از این آزمایش‌ها می‌توان به تعیین چگالی سیمان، تعیین زمان شروع گیرش سیمان و مدت گرفتن آن، آزمون تهیه ملات نرمال به آزمون ساخت بتن (طرح بتن) و آزمون افت بتن[1] اشاره کرد.

۱۰-۹- انتخاب ماشین‌آلات مورد نیاز در اجرای طرح

برای انحراف جریان آب رودخانه از محل ساخت سازه مخصوصا زمانی که عمیات اجرایی در زمان پر آبی انجام می‌شود نیاز به استفاده از ماشین‌آلاتی نظیر بلدوزر، بیل مکانیکی، لودر و لایروب است. در جریان عملیات آماده‌سازی بستر، پاک‌سازی، خاک‌برداری، خاکریزی، ریختن و کارگذاری مصالح باید انواع مختلفی از ماشین‌آلات و تجهیزات ساختمانی و راه‌سازی مورد استفاده قرار گیرند. در زیر به چند مورد از این ماشین‌آلات و موارد استفاده‌ی آن‌ها اشاره می‌گردد:

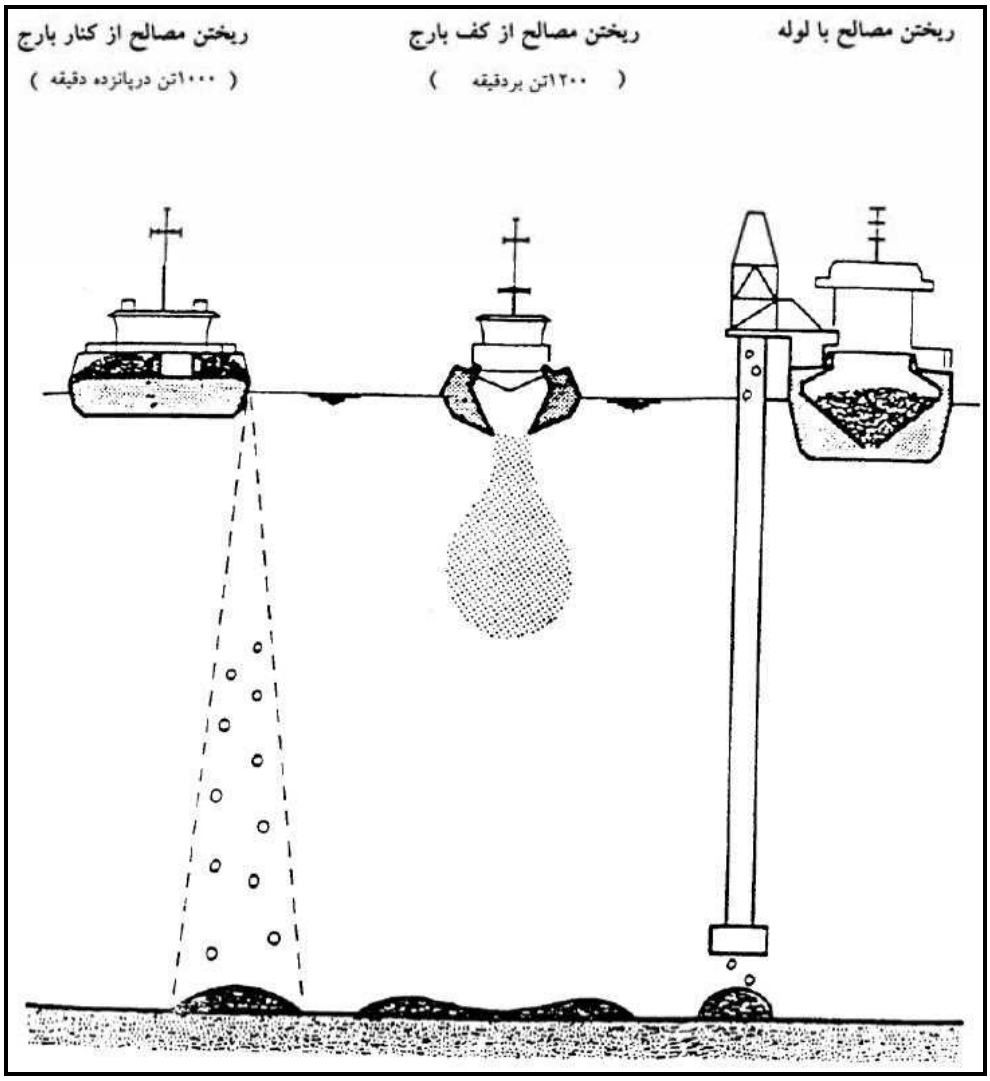
- پی‌کنی و گودبرداری با استفاده از بیل مکانیکی، لودر یا لایروب
- حمل مصالح قرضه به محل طرح توسط کامیون
- آماده‌سازی بستر با استفاده از بولدوزر، لودر و یا گریدر
- دانه‌بندی مصالح شن و ماسه جهت تهیه بتن توسط دستگاه‌های سنگ‌شکن و دانه‌بندی

1- Slump

omoorepeyman.ir

– آماده‌سازی مخلوط ماسه و سیمان و ساخت بتن توسط بتونیر

همچنین جهت اجرای برخی سازه‌های ثبیت‌کننده نظیر پوشش‌های بستر رودخانه از سطح آب از بارج استفاده شود. انواع حالت‌های استفاده از این ماشین‌آلات در اجرای سازه‌های حفاظتی در کف رودخانه در شکل (۱۰-۱) نشان داده شده است [۱۹].



شکل ۱۰-۱- استفاده از بارج در اجرای پوشش‌های کف رودخانه

۱۰-۱۰- انجام آزمایش‌های مورد نیاز در هنگام اجرای سازه

در زمان اجرای سازه‌های حفاظتی نظیر کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر، حسب نیاز لازم است که آزمایش‌هایی از خاک و مصالح به کار رفته به عمل آید. با استفاده از این آزمایش‌ها میزان کارایی عوامل موثر در پایداری و عملکرد سازه سنجیده می‌شود و در صورت نیاز با استفاده از روش‌های اصلاحی، برخی از مشخصات عوامل ذکر شده تغییر داده شده و به حد مطلوب می‌رسد.

omoorepeyman.ir

۱۰-۱۰-۱- آزمایش‌های تعیین مقاومت خاک

به منظور پی بردن به میزان مقاومت خاک در برابر نیروهای خارجی وارده به آن، از یک سری آزمایش های تعیین مقاومت خاک در حین اجرای سازه استفاده می‌شود. از جمله آزمایش‌هایی که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند می توان به آزمایش های تک محوری، سه محوری، تحکیم، برش مستقیم، برش پره‌ای و باربری کالیفرنیا (CBR)[1] اشاره کرد که از مهم‌ترین و اصلی‌ترین آزمایش‌های تعیین مقاومت خاک محسوب می‌شوند. با استفاده از این آزمایش‌ها مقاومت خاک بستر سازه جهت تحمل نیروهای وارده از طرف سازه‌هایی نظیر کف‌بندها، آستانه‌ها، بندهای اصلاحی، شیب‌شکن‌ها و سایر سازه‌های ثبیت‌کننده بستر سنجیده می‌شود. از نتایج دیگر این آزمایش‌ها می‌توان به تعیین تراکم نسبی، ظرفیت باربری، مدول تغییر شکل، چسبندگی و بعضی کمیت های دیگر اشاره کرد. به هنگام اجرای کف بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر رودخانه استفاده از آزمایش‌های نفوذ استاندارد، بارگذاری صفحه‌ای، برش مستقیم و تحکیم جهت پی بردن به مقاومت خاک متداول می‌باشد.

۱۰-۱۰-۲- دانه‌بندی مصالح

از منابع مورد استفاده در ساخت کف بندها و سازه‌های تثبیت بستر رودخانه نظیر بندهای اصلاحی، آبشارها، پوشش‌ها می توان به سنگ، شن، ماسه و خاک اشاره کرد. دانه‌بندی این مصالح بسته به نوع سازه‌ی حفاظتی متفاوت است. به عنوان مثال در ساخت بندهای اصلاحی خشکه‌چین، اندازه سنگ‌ها باید از توزیع یکنواخت و نرمال برخوردار باشد و در عین حال از سنگ‌های خیلی درشت و یا بسیار ریزدانه اجتناب کرد، زیرا مانع از قفل شدگی سنگ‌ها به یکدیگر شده و یا افزایش سرعت باعث شستشوی سنگ‌های کوچک‌تر خواهد شد [۸]. در حالی که در ساخت پوشش‌های سنگی از دانه‌بندی استاندارد شده که دارای میزان کوچکی از اندازه‌ها می‌باشد (نسبت $\frac{D_{85}}{D_{15}}$ برابر ۱/۴ تا ۲/۲) می‌توان استفاده کرد [۹۲]. معمولا دو منحنی دانه‌بندی به عنوان محدوده‌های دانه‌بندی قابل قبول برای سنگ‌های به کار رفته در این پوشش‌ها به کار می‌روند، که هر دانه‌بندی موجود در محدوده‌ی بین این منحنی‌ها، قابل پذیرش است. همچنین دانه بندی سایر مصالح نظیر شن و ماسه بسته به نوع سازه و بتن استفاده شده برای آن متفاوت است. در ساخت سایر سازه‌های ثبیت‌کننده نیز رنج متفاوتی از اندازه‌های مصالح مورد استفاده قرار می‌گیرد که در فصول مربوط به خود آن‌ها بحث شده است.

1- California Bearing Ratio

omoorepeyman.ir

۱۰-۱۱- بررسی جانمایی و تطبیق با نقشه‌های اجرایی

بعد از مشخص شدن مسیر جانمایی کف‌بندها یا سایر سازه‌های ثبیت‌کننده‌ی بستر در نقشه‌های اجرایی، پیمانکار پروژه باید نسبت به پیاده کردن محور سازه اقدام نماید. چنانچه مشکلی که باعث ناهماهنگی در اجرای طرح شود مشاهده گردد، پیمانکار موظف است که مراتب را به مهندسین مشاور منعکس نماید تا نسبت به رفع مشکل اقدام گردد. از مشکلاتی که ممکن است در هنگام اجرای سازه های تثبیت بستر رخ دهد می توان به عدم توجیه عوامل پیمانکار نسبت به نقشه‌های اجرایی، اشتباه در چاپ مختصات مسیر سازه‌ها در نقشه‌های اجرایی و برخورد سازه با سایر سازه‌های حفاظتی یا سازه های دیگر در حاشیه رودخانه اشاره کرد. درصورتی که مشکل خاص از نظر جانمایی سازه وجود نداشته باشد، پیمانکار پروژه نقشه‌های کارگاهی را جهت تصویب مشاور تهیه می‌نماید.

۱۰-۱۲- تعبیه درزهای ساختمانی و اجرایی

پوشش‌های بتنی به دلیل مقاومت کششی اندک و نیز عدم انعطاف‌پذیری در بازه‌های خاکریزی به راحتی تخریب می‌شوند. همچنین به دلیل تغییرات درجه حرارت و تخلیه آب، امکان ایجاد ترک در سازه‌های بتنی وجود دارد. یکی از گزینه‌های جلوگیری از بروز ترک و تخریب بتن ایجاد درزهای انقباضی در پوشش بتنی است.

۱۰-۱۲-۱- درزهای انقباضی

درز انقباضی ممکن است از دو نوع کامل یا ناقص انتخاب شود. تفاوت این نسبت میلگردهایی است که پیوستگی خود را در محل درز حفظ کنند. درزهای انقباضی برای کنترل ترک های ناشی از کاهش حجم به دلیل افت درجه حرارت یا از دست دادن رطوبت در زمان گیرش بتن اجرا می شود. فاصله‌ی این درزها به ضخامت پوشش بستگی دارد و برای پوشش‌های با ضخامت ۵ الی ۶/۵ سانتی‌متر برابر ۳ متر و برای پوشش‌های با ضخامت ۷/۵ الی ۱۰ سانتی‌متر برابر با ۳/۵ تا ۴/۵ متر در نظر گرفته می شود. این درزها با ایجاد یک شیار عمودی در یک سوم بالایی ضخامت بتن پوششی احداث می‌شوند. این شیار باید با استفاده از نوعی ماده آب‌بندی مناسب مانند ترکیبات قیر و پلاستیکی به طور کامل پر شود.

۱۰-۱۲-۲- درزهای انبساطی

برای اجتناب از تمرکز تنش فشاری زیاد در دیواره‌ها و دال‌های بتنی که در زمان ساخت یا بهره‌برداری در معرض افزایش دما قرار می گیرند تعبیه درز انبساطی در فواصل مناسب ممکن است مورد نیاز باشد. درزهای انبساطی به جز در مواردی که پوشش به سازه‌ای ثابت منتهی شود، به طور معمول در پوشش‌های بتنی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. استفاده از این نوع درزها موجب افزایش گشودگی درزهای انقباضی مجاور شده و در نتیجه به افزایش مشکلات نگه داری درزهای آب‌بند منجر می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱۰-۱۲-۳- درزهای اجرایی

درزهای اجرایی در هر نقطه‌ای که در طول عملیات سازه مناسب باشد اجرا می شوند. این درزها بعدها ممکن است دارای عملکردی مشابه انواع درزها باشند. مطابق توصیه‌های فنی دفتر عمران آمریکا، فاصله‌ی درزهای ساختمانی در بتن غیرمسلح به قرار زیر است.

جدول ۱۰-۲- فواصل بین درزهای اجرایی در پوشش بتنی

ضخامت پوشش (سانتی‌متر)	فاصله‌ی تقریبی درز اجرایی (متر)
۵ تا ۶/۵	۳
۷/۵ تا ۱۰	۳/۵ تا ۴/۵

متوسط فاصله‌ی بین درزها حدود ۵۰ برابر ضخامت پوشش است. در پوشش های بتنی غیرمسلح، فاصله درزها نباید از ۵ متر بیش‌تر شود. در غیر این صورت احتمال ایجاد ترک‌های بزرگ وجود دارد و در نتیجه آب‌بندی درزها با مشکل مواجه می‌شود. در درزهای اجرایی که به منظور جبران افت بتن در اعضای بتنی آب‌بند با طول زیاد پیش‌بینی می‌شوند، فاصله زمانی پیش‌بینی قطعه‌های مجاور باید از ۴۸ ساعت بیش‌تر باشد. درصورتی‌که فاصله زمانی بتن ریزی قطعه‌ی مجاور بعدی کوتاه باشد، افت بتن در قطعه قبلی کافی نبوده و ایجاد ترک ناشی از حرارت آبگیری و جمع شدگی در آن تشدید خواهد شد.

۱۰-۱۳- بررسی جزییات تقاطع کف‌بند با تکیه‌گاه‌ها

یکی از موارد مهم برای سازه‌های تثبیت کننده بستر رودخانه و کف‌بندها وجود قفل یا ریشه است. جهت مهار کردن کف‌بندها در بستر رودخانه از قفل یا ریشه استفاده می‌شود. ریشه ممکن است در عمق و یا در ساحل قرار گیرد. از مزایای قفل یا ریشه می‌توان به افزایش خط نشت و جلوگیری از به‌وجود آمدن لوله جریان و در نتیجه جدا شدن سازه از مصالح اطراف اشاره نمود. در این حالت قفل یا ریشه همانند دیوار سپری عمل کرده و طول خزش را در جهات افقی و عمودی افزایش می‌دهد. از آن‌جا که جنس مصالح سازه‌های تثبیت کننده بستر و کف‌بندها با بستر رودخانه متفاوت است جهت ایجاد اتصال بین سازه و بستر رودخانه وجود قفل یا ریشه ضروری است. از مزایای دیگر ریشه کمک به پایداری در سازه های تثبیت کننده بستر و کف‌بندها می‌باشد. با توجه به این‌که قفل یا ریشه درون خاک قرار می‌گیرد با توجه به برآیند نیروهای وارد بر آن در کنترل واژگونی سازه نقش مهمی را ایفا می‌کند. به این منظور ترانشه‌های نزدیک به لبه‌های کف‌بند با عرض حداقل ۱۰۰ میلی‌متر و عمق حداقل ۱۰۰ میلی‌متر حفر می‌کنند. برای این منظور لبه‌های کف‌بند داخل ترانشه‌ها قرار گرفته و روی آن‌ها خاک ریخته می‌شود. به طور معمول ۲۰۰ تا ۲۶۰ میلی‌متر (۸ تا ۱۰ اینچ) از انتهای لبه‌ی کف‌بند داخل ترانشه قرار گرفته و با استفاده از تکیه‌گاه‌هایی با طول ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر (۶ تا ۸ اینچ) محکم می‌شوند. سپس ترانشه‌ها را با استفاده از خاک برداشته شده پر کرده و می‌کوبند. فاصله‌ی تکیه‌گاه‌ها از یکدیگر ۴۶۰ میلی‌متر (۱۸ اینچ) است [۴۷].

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۱۱

مبانی و ملاحظات طراحی تثبیت بستر با پوشش‌های نرم

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۱-۱- کلیات

امروزه پوشش‌های گیاهی به طور گسترده‌ای در حفاظت و تثبیت دیواره و سواحل رودخانه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۴۶]. ریشه‌های گیاه باعث تحکیم خاک‌دانه‌ها و بهبود ساختمان خاک و افزایش مقاومت دیواره‌ها می‌شود. همچنین موجب مسلح شدن بیولوژیکی خاک گشته و مقاومت خاک را افزایش می دهد [۳۳]. از طرف دیگر اندام‌های هوایی گیاه، باعث افزایش زبری دیواره‌ها و کاهش سرعت و تنش برشی جریان آب شده و این عمل از طریق کاهش انرژی آب در محل دیواره‌ها انجام می‌شود. اگر چه روش‌های بیولوژیک از نظر مدیریتی مشکلات و پیچیدگی‌های خاص خود را دارند و به شرایط محیطی (شرایط اقلیمی، نوسانات جریان آب، ویژگی گیاهان و غیره) وابسته می‌باشند، اما از جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، گزینه مطلوبی می‌باشند [۳۳و۵۰]. در این فصل مباحثی پیرامون نقش پوشش‌های گیاهی در تثبیت بستر آبراهه‌ها و نکات طراحی مورد نیاز در آبراهه‌های پوشیده با انواع مختلف پوشش‌های گیاهی ارائه شده است.

۱۱-۲- تنش برشی آبراهه‌های پایدار

توضیحات در رابطه با سرعت مجاز و تنش برشی در فصل سوم ارائه شده است. در ادامه نکات طراحی پیرامون سرعت و تنش برشی مجاز در آبراهه‌ها که توسط COE[1] تهیه شده است، ارائه گردیده است [۹۱]:

- برای آبراهه هایی با جریان زیاد همراه با حجم قابل توجهی از رسوبات، یک حداقل مقدار برای سرعت و تنش برشی به منظور جلوگیری از رسوب زایی مورد نیاز است. به طوری که اهمیت این موضوع به اندازه اهمیت توجه به ماکزیمم سرعت و تنش برشی در این نوع آبراهه‌ها می‌باشد [۹۱].
- در آبراهه‌هایی که دارای مسیر پرپیچ و خمی می‌باشند، گاهی اوقات ممکن است حتی در شرایطی که متوسط سرعت و تنش برشی پایین تر از مقدار مجاز آن است، باز هم آبراهه دچار فرسایش کناری گردد. در مقابل در نواحی که خاک دارای بافتی سست و مرطوب می‌باشد، ممکن است پدیده رسوب‌گذاری حتی در شرایطی اتفاق بیافتد که متوسط مقادیر سرعت و تنش برشی بالاتر از حداقل مقدار رسوب‌گذاری باشد [۹۱].
- منحنی شیلدز ارائه شده برای جریان یکنواخت بر روی یک بستر صاف، استفاده می شود و به خصوص در بسترهای شن و ماسه ای کاربرد فراوان دارد. این در حالی است که این منحنی برای بسترهای با مواد ریزدانه خیلی مفید نمی‌باشد [۹۱].
- درصورتی‌که مقطع عرضی آبراهه و شیب کاملا یکنواخت باشند، می‌توان محاسبات را بر روی یک مقطع متوسط انجام داد. در غیر این صورت مسیر مورد نظر را می‌توان به بخش‌های کوچک‌تری تقسیم کرد و برای هر کدام جداگانه محاسبات را انجام داد [۹۱].

1- U.S. Army Corps of Engineers (COE)

omoorepeyman.ir

- مقدار بده که آستانه‌ای برای رخداد پدیده فرسایش مورد نیاز است را می توان با استفاده از منحنی بده- سرعت تعیین نمود و فراوانی وقوع آن را با استفاده از منحنی فراوانی- بده و یا مدت- بده تعیین نمود. رخ داد چنین بده حاکی از به‌وجود آمدن یک ناپایداری می‌باشد. برای مثال اگر در یک آبراهه حرکت و جابجایی ذرات کف دارای یک دوره بازگشت یک ساله باشند، این امر نشان می‌دهد که این آبراهه به طور بالقوه پتانسیل ناچیزی برای ناپایداری دارد [۹۱].

۱۱-۳- طراحی آبراهه‌ها با پوشش گیاهی

موسسه USDA[1] در راهنمای خود به شماره ۶۶۷ طراحی آبراهه با پوشش های گیاهی که در حفاظت آبراهه در برابر فرسایش خاک نقش موثری دارند، ارائه نموده است [۴۹]. انجام هرگونه طراحی پوشش گیاهی به شناخت عوامل موثر و دخیل در طراحی نیاز دارد، مهم‌ترین این عوامل عبارتند از [۱۹]:

- شرایط اقلیمی و هیدرولیکی محدوده رودخانه
- شرایط هندسی و هیدرولیکی رودخانه مانند شیب کناره‌ها، سرعت جریان، تغییرات سطح آب رودخانه
- بودجه، اعتبارات، امکانات و تجهیزات در دسترس
- منابع ژنتیکی (گیاه و مواد گیاهی)
- اهداف اصلی و فرعی طرح (مثل حفاظت دیواره‌ها و کناره‌ها و بهبود شرایط محیطی کناره آبراهه)

منابع مورد نیاز در طراحی پوشش گیاهی، عمدتا شامل اندام‌های تکثیری گیاهان از جمله بذر در گیاهان علفی، چمنی و بوته‌ای، و قلمه و نهال در گیاهان درختچه‌ای و درختی و سایر اندام‌های تکثیری مثل پاجوش، تقسیم ریشه، تقسیم گیاه (گیاهان چمنی) و سایر موارد است (این موارد کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد) [۹۶] و [۵۰]. از آن‌جایی که موضوع اصلی، گونه های گیاهی است، رعایت نکات اساسی زیر در انتخاب صحیح نوع گیاه بسیار مهم و حایز اهمیت بوده و رعایت آن میزان موفقیت را افزایش می‌دهد [۹۶] و [۵۰].

- ویژگی‌های اقتصادی گیاهان (سهولت در استقرار به منظور کاهش عملیات واکاری و امکان استفاده اقتصادی از آن‌ها)
- خصوصیات اکولوژیکی گیاهان (عکس العمل سریع و مناسب به محیط و تغییرات آن)
- خصوصیات بیوتکنیکی گیاهان (این ویژگی‌ها عبارتند از توانایی گیاهان در تحمل فشارهای مکانیکی ناشی از نیروهای وارده جریان آب)

با توجه به موارد بیان شده در بالا، گیاهان انتخابی باید دارای ویژگی‌های خاص زیر باشند [۱۹]:

- سازگاری مناسبی با شرایط محیطی داشته باشند.
- از سرعت رشد مناسبی برخوردار باشند (به ویژه در مراحل اولیه رشد)

1- U.S. Department of Agriculture (USDA)

omoorepeyman.ir

- دارای ساختار ریشه‌ای مناسب باشند.
- سهولت در زادآوری و تجدید حیات (به منظور ترمیم طبیعی گیاهان از بین رفته)
- قدرت بالای پوشانیدن سطوح (عمدتا در خصوص گیاهان علفی که موجب افزایش سرعت پوشانیدن سطح در معرض فرسایش دیواره‌ها شود)
- استقرار آن‌ها براحتی امکان‌پذیر باشد (به ویژه در مراحل اولیه رشد)
- سهولت دسترسی و در اختیار بودن مواد گیاهی مورد نیاز (به منظور کاهش هزینه‌ها)
- در مقابل خطرات و صدمات مکانیکی دارای مقاومت نسبی خوبی باشند.
- مقاومت خوبی در برابر آفت‌ها و بیماری‌ها داشته باشند.
- از دسته گیاهانی باشند که توانایی بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را داشته باشند (قادر به تثبیت ازت، گسترش و توسعه زیاد ریشه و افزودن بقایای گیاهی به منظور اصلاح شرایط خاک باشند)
- از گیاهان مرغوب و غیرسمی (در صورت احتمال استفاده برای انسان و دام) باشند و تا حد امکان از گیاهان بومی منطقه باشند (به علت قدرت نسبی، مقاومت در برابر تنش های محیطی و سازگاری خوب گونه های بومی به شرایط محیطی).

۱۱-۳-۱- انتخاب گونه گیاهی

به منظور انتخاب گونه‌های گیاهی مختلف باید به عوامل زیر توجه نمود [۴۶]:

الف- وضعیت جریان و کیفیت آب

نوسان های جریان آب در رودخانه ها و دائمی یا موقتی بودن آن، از عوامل اصلی و مهم در انتخاب روش، نوع مواد گیاهی و گونه‌های گیاهی، مورد نیاز است. علاوه بر آن، کیفیت آب نقش مهمی در انتخاب گونه‌های گیاهی دارد. همچنین سرعت جریان آب و راستای حرکت آب از جمله عوامل دیگری است که موثر می‌باشند.

ب- شرایط اقلیمی منطقه

انتخاب نوع گیاهان و گونه های مناسب، علاوه بر خصوصیات بیولوژیکی گیاهان، وضعیت جریان و کیفیت آب جاری، تابع پارامترهای اقلیم منطقه که شامل میزان بارندگی، پراکنش بارندگی، دما، نوسانات دما و میزان تبخیر می باشد و نیز وضعیت آب‌های زیرزمینی است.

ج- ویژگی‌های خاک بستر و کناره رودخانه

ویژگی های خاک کناره و بستر رودخانه، از جمله شیب، بافت، ساختمان، ظرفیت رطوبتی خاک، اسیدیته و پایداری خاک، (به ویژه شیب) در انتخاب روش و نیز نوع گیاهان مهم و قابل توجه است.

omoorepeyman.ir

د- ویژگی‌های گیاه

ویژگی های فردی و اکولوژیکی گیاه، به خصوص از نظر تحمل تنش های محیطی و اکولوژیکی در انتخاب نوع گونه گیاهی بسیار مهم و اساسی است. گونه هایی باید انتخاب شوند که قابلیت تحمل شرایط ویژه منطقه و نیز میکروکلیمای[1] محل کاشت خود را داشته باشند.

ه- شکل هندسی و شرایط هیدرولیکی رودخانه

هندسه رودخانه و شیب کناره‌ها از جمله عوامل موثر می‌باشند. شیب دیواره‌ها به منظور استقرار بهتر گیاهان، حتما باید براساس ویژگی‌های فیزیکی و پایداری خاک کناره‌ها (شیب به نسبت ۱به۲ تا ۱به ۳) برقرار باشد. انحنا و زاویه پیچ‌ها در حدی باشد که خطوط جریان، موازی دیوارها قرار گیرد. در ضمن ابعاد بستر دچار تغییرات شدید نباشد.

۱۱-۳-۱-۱- انتخاب مواد گیاهی برای تثبیت موقت

براساس آزمایشات انجام شده همواره توصیه می‌شود که در آبراهه‌های رسی شنی از پوشش‌های گیاهی موقت از جمله گندم در اواخر فصل تابستان برای تثبیت بستر رودخانه استفاده گردد. این پوشش موقتی باعث می شود که مقدار بده مجاز ۵ برابر حالتی که آبراهه بدون پوشش می باشد، افزایش یابد. از جمله پوشش هایی که از آن‌ها برای تثبیت موقت آبراهه استفاده می‌شود عبارتند از [۹۱]:

- جو از نوع Hordeum vulgare
- جوی دو سر از نوع Avena satiza، در نواحی که زمستان چندان سرد نمی‌باشد، استفاده می‌گردد.
- مخلوطی از گندم، جوی دو سر و چاودار
- علفی به نام Brome که مخصوص فصول سرد سال است.
- چچم از نوع Lolium spp

به عنوان نمونه هر ساله از ارزن‌های دم روباهی و آلمانی به نام Setaria spp، ارزن مرواریدی Pennisetum americanurn (L.) Leeke و سورگوم‌های زراعی مخصوص که نسبت به بقیه موارد برای تثبیت موقت آبراهه در فصل تابستان مفید می‌باشند. از آن‌جایی که ارزن‌ها پس از جابجایی به اندازه سورگوم به رشد خود ادامه نمی‌دهد، لازم است که لایه نازکی از مالچ بر روی آن پاشیده شود. استفاده از این بذرهای موقتی باعث جوانه زدن سریع گونه های با عمر کوتاه و حتی ممکن است به حفاظت و نگه‌داری کم از آن‌ها نیز منجر شود. این نوع پوشش‌های موقتی در نزدیکی حفره‌ای که دانه‌ها در آن کاشته می‌شوند، قرار می‌گیرند. این نوع پوشش‌های حفاظتی باعث می‌شوند که دانه‌های علفی در طول فصول بهار یا پاییز به داخل حفره نفوذ کنند.

1- .Micro Climate

omoorepeyman.ir

۱۱-۳-۱-۲- انتخاب مواد گیاهی برای تثبیت دائم

برای تثبیت بستر آبراهه، بسیاری از گیاهان می‌توانند به عنوان پوشش‌های دائمی مورد استفاده قرار گیرند. پرکاربردترین این گیاهان که برای تمامی فصول از آن‌ها می‌توان استفاده نمود، شامل علف‌های زراعی؛ به نام‌های زیر می‌باشند.

Bermudagrass, bahiagrass, buffalograss, wheatgrass, Kentucky bluegrass, reed canarygrass, smooth bromegrass, vine mesquitegrass, western wheatgrass

این علف‌ها قادر به رشد بر روی خاک‌های مختلف هستند. مهم‌ترین مشخصه این گیاهان این است که قادرند در بستر آبراهه زنده بمانند و رشد کنند [۹۱].

از بین گیاهان معرفی شده در بالا علف bermudagrass، بیش ترین کاربرد را در تثبیت بستر آبراهه به خصوص در جنوب امریکا دارد. این گیاه قادر است بر روی انواع مختلف خاک ها رشد کند. گونه های مختلف این نوع گیاه در مقابل سرمای زمستانی مقاوم بوده و به صورت متراکم رشد می کند. در شرایطی که سرمای زمستانی شدید نباشد، می‌توان از گونه‌های «Arizona Common» و بذر جدیدی از این گیاه تحت عنوان «Seed of bermudagrass» استفاده نمود که البته گونه جدید مقاوم‌تر از گونه «Arizona Common» می‌باشد. این گونه جدید هم اکنون جنبه تجاری داشته و در دسترس می‌باشد [۹۱].

لازم به ذکر است که گیاه bermudagrass در برابر سایه مقاوم نیست و نباید به صورت ترکیبی با علف‌های بلند کاشته شود. در این میان استفاده از حبوبات زمستانه یک‌ساله نظیر hairy vetch، narrowleaf vetch و یا گونه‌های تابستانه آن‌ها نظیر Korean lespedeza به حفظ و نگه‌داری ذرات خاک کمک می‌کند. همچنین انتخاب نوع گیاه مورد استفاده به منظور تثبیت بستر آبراهه بستگی به در دسترس بودن بذر آن گیاه نیز دارد. کمبود بذرهای مربوط به فصول گرم اغلب باعث شده که از بذرهای مشابه متناسب با موقعیت منطقه مورد نظر استفاده شود. عدم دسترسی به گونه های مرغوب و ارقام سازگار با شرایط سخت محیطی اغلب باعث شده است که برنامه های بذرپاشی به تعویق بیفتد و یا برای آن منطقه اجرا نشود [۹۱].

استفاده از این گیاهان به صورت ترکیب چند نوع می تواند در کنترل فرسایش خاک کمک زیادی نماید که البته باید در انتخاب آن‌ها دقت لازم را به عمل آورد. مثلا گیاهان خوراکی می توانند در ترکیب با گیاهان مذکور برای کنترل فرسایش خاک استفاده گردند. به عنوان نمونه حبوباتی که سازگار با این گیاهان علفی بوده و رقابتی با آن‌ها نمی کنند، می‌توانند در کنترل فرسایش نقش موثری داشته باشند [۹۱].

۱۱-۳-۱-۳- بذرپاشی آبی و مالچ‌پاشی

بذرپاشی و مالچ‌پاشی بر روی دامنه‌های شیب‌دار صورت می‌گیرد و نیاز به مقدار زیادی آب دارد. به منظور انجام این اقدامات باید نکات زیر را در نظر گرفت [۹۱]:

omoorepeyman.ir

۱- استفاده از بذرهای گندم و یونجه که به عمق ۴ تا ۵ اینچ بر روی سطح شیب‌دار با استفاده از یک دیسک پخش می‌شوند. در حدود ۱ تا ۱/۵ تن در هر ایکر از این بذرها مورد نیاز است. مالچ‌ها در حفظ رطوبت سطح خاک و کاهش درجه حرارت سطح خاک در طول فصل تابستان موثر می‌باشند. عیب عمده‌ای که این مالچ‌های گندم و یونجه دارند این است که آن‌ها منبعی از علف‌های هرز می‌باشند و صرف نظر از نوع آن‌ها می‌توانند باعث تولید مشکلات بیماری‌زا شوند. همچنین در نواحی مسطح از مالچ تجاری فیبری می‌توان استفاده نمود.

۲- در شرایطی که منطقه از پتانسیل بالایی در تولید رواناب برخوردار باشد، از پوشش‌های ساخته شده از جنس پارچه‌های به‌هم‌پیوسته و یا پلاستیک بر روی دامنه‌های شیب‌دار می‌توان استفاده نمود.

۱۱-۳-۲- تعیین عوامل طراحی آبراهه

به طور کلی پایداری یک آبراهه پوشیده شده با پوشش‌های گیاهی به هندسه آبراهه، شیب، فرسایش‌پذیری خاک و خواص پوشش گیاهی مورد استفاده بستگی دارد. لذا در طراحی یک آبراهه به عوامل گیاهی و پارامترهای خاک که بیش از پیش اهمیت دارند باید توجه نمود که در ادامه این عوامل تشریح شده‌اند [۹۱].

۱۱-۳-۲-۱- عوامل گیاهی

طراحی یک آبراهه پایدار با توجه به تنش موثر وارده بر لایه‌ی خاک، نیازمند تعیین دو پارامتر مربوط به پوشش گیاهی است. یکی شاخص C_I که عبارتست از پتانسیل پوشش گیاهی به منظور مقاومت در برابر جریان و دومین پارامتر فاکتور پوشش گیاهی C_f می باشد که عبارتست از درجه‌ای از پوشش گیاهی که مانع سرعت و تنش برشی بالا در روابط آب و خاک می‌شود [۹۱].

۱۱-۳-۲-۱-۱- شاخص تاخیر C_I'

این پارامتر پتانسیل تاخیر پوشش گیاهی را نشان می دهد. به طوری که این پارامتر تنش محدود کننده پوشش گیاهی را تعیین می‌کند. با استفاده از رابطه زیر مقدار این شاخص محاسبه می‌شود [۹۱]:

$$C_I = 2.5(h\sqrt{M})^{\frac{1}{3}} \qquad (۱-۱۱)$$

که در آن C_I شاخص تاخیر پوشش گیاهی، h طول ساقه گیاه و M تراکم ساقه در واحد سطح می باشند. تمامی واحدها در سیستم متریک می باشند. در رابطه (۱۱-۱) اگر واحدها با هم هماهنگی داشته باشند، این شاخص بدون بعد خواهد بود. با استفاده از این شاخص حداکثر تنش برشی مجاز بر روی پوشش گیاهی (τ_{va}) به‌دست می‌آید که به صورت زیر خواهد بود [۹۱]:

1- Retardance Curve Index

omoorepeyman.ir

$$\tau_{va} = 0.75C_I \qquad (۲-۱۱)$$

طول ساقه گیاه به طور مستقیم در شرایطی که حداکثر جریان در آبراهه وجود دارد، تخمین زده می شود. در شرایطی که دو یا چند پوشش علفی در آبراهه استفاده شده باشد، طول ساقه معادل با ریشه متوسط مربعات طول ساقه هر یک از آن‌ها به طور جداگانه می‌باشد. همچنین همان‌طور که رابطه (۱۱-۱) نشان می‌دهد علاوه بر طول ساقه گیاه نیاز به محاسبه تراکم ساقه نیز می‌باشد که مقدار آن را با استفاده از جدول (۱۱-۱) بسته به نوع گیاه، می‌توان به‌دست آورد [۹۱]. با توجه به این که شرایط پوشش گیاهی از سالی به سال دیگر و نیز از فصلی به فصل دیگر متغیر می باشد، در نظر گرفتن یک حد بالا و یک حد پایین برای شاخص C_I معقول‌تر از انتخاب یک مقدار واحد برای آن می‌باشد و در چنین شرایطی از حد بالا برای تعیین ظرفیت آبراهه و از حد پایین به منظور محاسبه پایداری آبراهه استفاده می‌گردد [۹۱].

۱۱-۳-۲-۱-۲- فاکتور پوشش گیاهی C_f[1]

این شاخص عبارتست از مقدار پوشش گیاهی مورد نیاز که مانع از وقوع سرعت و تنش برشی بالا در آبراهه می گردد و آگاهی از مقدار آن مانع وقوع فرسایش موضعی در آبراهه می شود. به عبارت دیگر این شاخص نماینده حداقل پوشش مورد نیاز می باشد و نه مقدار متوسط آن. همچنین مقدار فاکتور پوشش گیاهی به تراکم یکنواخت گیاه نیز بستگی دارد که مقدار آن نیز بستگی به نوع گیاه دارد که با توجه به جدول (۱۱-۱) می‌توان به‌دست آورد [۹۱].

جدول۱۱-۱- شاخص C_f به همراه مقادیر مختلف تراکم ساقه در گیاهان مختلف [۹۱]

تراکم ساقه در واحد سطح	پوشش های گیاهی آزمایش شده	C_f
۵۰۰	Bermudagrass	۰/۹۰
۵۰۰	Centipedegrass	۰/۹۰
۴۰۰	Buffalograss	۰/۸۷
۳۵۰	Kentucky bluegrass	۰/۸۷
۳۵۰	Blue grama	۰/۸۷
۲۰۰	Grass mixture	۰/۷۵
۳۵۰	Weeping lovegrass	۰/۵۰
۲۵۰	Yellow bluestem	۰/۵۰
۵۰۰	Alfalfa	۰/۵۰
۳۰۰	Lespedeza sericea	۰/۵۰
۱۵۰	Common lespedeza	۰/۵۰
۵۰	Sudangrass	۰/۵۰

omoorepeyman.ir

1- Vegetation Cover Factor

۱۱-۳-۲-۲- عوامل خاک

از بین عوامل خاکی موثر در طراحی یک آبراهه پایدار، دو پارامتر یکی زبری ذرات خاک n_s و دیگری تنش برشی مجاز τ_a موثر می‌باشند. مقدار تنش برشی مجاز بستگی به زبری ذرات خاک دارد که ضریب زبری خاک خود نشان دهنده میزان مقاومت در برابر جریان می‌باشد. این پارامترها در فصل سوم این ضابطه بحث شده‌اند.

۱۱-۳-۳- روش عمومی طراحی آبراهه با پوشش گیاهی

در این بخش طراحی آبراهه با انواع مختلف پوشش های گیاهی به کار رفته در تثبیت آن ارائه شده است که در ادامه هر یک به تفکیک تشریح شده‌اند [۹۱].

۱۱-۳-۳-۱- روش طراحی آبراهه با پوشش گیاهی خطی[1]

برای طراحی آبراهه با پوشش گیاهی خطی نکاتی را باید مورد توجه قرار داد که توجه به آن‌ها اهمیت فراوانی در فرآیند طراحی دارد. این نکات به شرح زیر می‌باشند [۹۱]:

۱- مقاومت جریان بستگی به بده و هندسه آبراهه دارد.
۲- بخشی از تنش مرزی بستگی به نوع پوشش گیاهی دارد که توسط سیستم ریشه‌ای گیاه در مرز فرسایش‌پذیر به‌وجود می‌آید.
۳- با توجه به این که ویژگی‌های پوشش گیاهی هم از جنبه تصادفی و هم دوره‌ای در طول زمان تغییر می‌کند لذا به هنگام طراحی به هریک از این ویژگی‌ها باید توجه نمود.

تمپل و همکاران[2] در سال ۱۹۸۷ مراحل طراحی آبراهه با پوشش گیاهی خطی را تشریح نمودند. آن‌ها با حل معادلات مربوط به هندسه آبراهه و تنش مرزی در کناره های آبراهه طراحی را انجام دادند. این تنش مرزی که توسط سیستم ریشه‌ای گیاه در جداره‌های آبراهه به‌وجود می‌آید، با تغییراتی بر روی روابط تنش موثر و در نظر گرفتن محدودیت های اضافی برای شرایط خاصی چون در نظرگرفتن تنش بر روی پوشش گیاهی به جای تنش موجود بر مرز فرسایش پذیر، محاسبه می گردد [۹۱]. به منظور محاسبه عمق و عرض مورد نیاز آبراهه باید تنوع پوشش گیاهی را در نظر گرفت. همچنین به منظور محاسبه عرض آبراهه که تابعی از عمق پایدار آبراهه می باشد، باید حداقل پوشش گیاهی که مقادیر حداقل پارامترهای C_I و C_f می باشند، برآورد گردد. همچنین حداکثر پوشش تخمین زده شده برای برآورد عمق مورد نیاز آبراهه (ظرفیت آبراهه) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹۱].

در بسیاری از موارد می توان با روش آزمون و خطا مراحل طراحی را انجام داد. برای این منظور چاو در سال ۱۹۵۹ روشی را برای طراحی آبراهه پوشیده شده با پوشش گیاهی خطی ارائه نمود. به منظور طراحی به روش چاو ابتدا باید با

1- Grass-Lined
2- Temple

omoorepeyman.ir

در نظر گرفتن شرایط بحرانی پایدار با توجه به نقش حفاظتی پوشش گیاهی بالغ در آبراهه که منجر به وجود آمدن مقاومت در برابر جریان می‌شود، یک طرح اولیه برای آبراهه به منظور تعیین ظرفیت آن در نظر گرفت. در شرایطی که آبراهه بذرپاشی شده است و هیچ پوشش حفاظتی به منظور مهار فرسایش وجود نداشته باشد، طرح اولیه آبراهه باید به شکل سهموی با یک عمق خیلی کم باشد. برای این منظور لازم است به منظور افزایش مقاومت در برابر جریان، سطح مقطع جریان را افزایش داد. همچنین باید مقداری هم برای ارتفاع آزاد آب در نظر گرفت [۹۱].

۱۱-۳-۳-۲- طراحی آبراهه با پوشش پتویی گیاهی[1]

به منظور طراحی این نوع آبراهه ها، باید به جای سرعت مجاز، تنش برشی را در نظر گرفت. مقدار تنش برشی با درنظر گرفتن وزن آب در بالای پوشش گیاهی درنظر گرفته می‌شود که این امر باعث می‌شود که در مقایسه با پارامتر سرعت، پیش‌بینی دقیق‌تری را بتوان به‌دست آورد [۹۱]. در شرایطی که آبراهه جریان متناوب داشته باشد، بهتر است که از پوشش گیاهی خطی برای افزایش پایداری آبراهه استفاده گردد و در شرایطی که آبراهه دارای جریان دائمی و بلندمدت باشد، پوشش‌های چمنی و خطی کارساز نبوده و باید از پوشش‌های مکانیکی[2] نظیر پوشش پتویی استفاده گردد [۹۱]. کروک[3] در سال ۲۰۰۰ به منظور طراحی آبراهه با پوشش پتویی (TRM[4]) به نکات زیر اشاره نمود [۶۱]:

۱- در شرایطی که پوشش پتویی به منظور حفاظت آبراهه در نظر گرفته شده باشد، قبل از این که گیاهی رشد کند، آبراهه اصلی باید برای حالت بدون پوشش گیاهی طراحی گردد.

۲- در این نوع آبراهه‌ها تراکم پوشش گیاهی معمولا به ۵۰ درصد می‌رسد.

۳- یک آبراهه دائمی به طور کامل توسط پوشش گیاهی پوشیده شده و با به کارگیری پوشش پتویی محافظت می‌شود.

لازم به ذکر است که حداقل پوشش پتویی مورد نیاز به ارتفاع ۰/۵ اینچ در خاک می باشد. چرا که بیش تر از این مقدار منجر به مخفی شدن پوشش گیاهی می‌گردد. مقدار تنش برشی در این نوع آبراهه‌ها را با استفاده از رابطه زیر می‌توان به‌دست آورد [۹۱]:

$$\tau_e = \gamma DS(1-C_f)\left(\frac{n_s}{n}\right)^2 \qquad (۳-۱۱)$$

که در آن τ_e تنش برشی موثر، γ وزن مخصوص آب (۶۲/۴ N/m^3)، D ماکزیمم عمق جریان در مقطع عرضی (m)، S شیب هیدرولیکی (m/m)، C_f فاکتور پوشش گیاهی (برای آبراهه های بدون پوشش معادل با صفر است)، n_s ضریب زبری خاک و n ضریب زبری پوشش گیاهی می باشد. در رابطه بالا به منظور در نظر گرفتن ماکزیمم تنش برشی، از عمق جریان به جای شعاع هیدرولیکی استفاده می‌گردد. این در حالی است که در اکثر آبراهه‌ها مقدار عمق خیلی نزدیک به شعاع هیدرولیکی

1- Vegetated Channel Liner Mats
2- Mechanical linere
3- Croke
4- Turf Reinforcement Mats

omoorepeyman.ir

می باشد؛ به خصوص در شرایط وجود جریان ورقه‌ای[1] در آبراهه. فاکتور پوشش مورد استفاده در این رابطه نیز تابعی از میزان تراکم پوشش گیاهی می باشد که قبلا تشریح شد. ضریب زبری پوشش گیاهی موجود در این رابطه نیز ضریب زبری مانینگ می‌باشد. در رابطه (۱۱-۳) پارامتر C_f، فاکتور پوشش گیاهی، که توسط تمپل و همکاران تهیه گردید، نیز مورد نیاز است که همان‌طور که قبلا اشاره گردید با استفاده از جدول (۱۱-۱) به ازای انواع مختلف پوشش گیاهی می‌توان مقدار آن را به‌دست آورد. این محققین توصیه نمودند که مقدار فاکتور پوشش گیاهی در تراکم ساقه که برای پوشش‌های ضعیف، متوسط، خوب، خیلی خوب و عالی به ترتیب معادل $\frac{۱}{۳}$، $\frac{۲}{۳}$، ۱، $\frac{۴}{۳}$ و $\frac{۵}{۳}$ می‌باشد، ضرب شود. در گیاهان تست نشده‌ای که در جدول (۱۱-۱) ارائه نشده اند، فاکتور پوشش گیاهای تحت تاثیر میزان تراکم ساقه گیاه و یکنواختی در سطح زمین می باشد و مقدار C_f آن‌ها با تقریب زدن از روی گیاهان مشابه‌ای که در جدول (۱۱-۱) وجود دارد، به‌دست می‌آید. به عنوان نمونه چمن‌های زراعی در جدول (۱۱-۱) وجود ندارند؛ ولی مشابه پوشش‌های گیاهی می‌باشند که در بالای جدول (۱۱-۱) قرار دارند و لذا مقادیر C_f بیش‌تری نسبت به آن دسته از علف‌هایی دارند که در انتهای جدول قرار گرفته‌اند [۹۱]. نکته‌ی دیگر این که در مورد حبوبات تست شده از جمله گونه‌هایalfalfa و lespedeza sericea تعداد یا تراکم ساقه به منظور مقاومت در برابر جریان (مطابق جدول(۱۱-۱)) تقریبا ۵ برابر مقادیر واقعی آن‌ها می‌باشد.

۱۱-۳-۳-۳- طراحی در مسیرهای خمیده آبراهه پوشیده با پوشش گیاهی

با تغییر فرمول اصلی محاسبه تنش برشی می‌توان میزان تنش برشی در خم یک آبراهه را به‌دست آورد. به طور طبیعی ماکزیمم تنش برشی در مرکز آبراهه که معمولا عمیق‌ترین نقطه آن می‌باشد، وجود دارد. این در حالی است که یک نیروی هیدرودینامیکی در قوس خارجی آبراهه وجود دارد که منجر به افزایش سرعت و تنش برشی شده که بالتبع آن قدرت فرسایندگی در آبراهه افزایش می‌یابد. این در حالی است که رسوب‌گذاری در نزدیکی قوس آبراهه که سرعت جریان در آن پایین است، رخ می‌دهد. با استفاده از رابطه زیر می‌توان تنش برشی در قوس یک آبراهه را محاسبه نمود [۹۱]:

$$\tau_o = \gamma RSK_b \qquad (۴-۱۱)$$

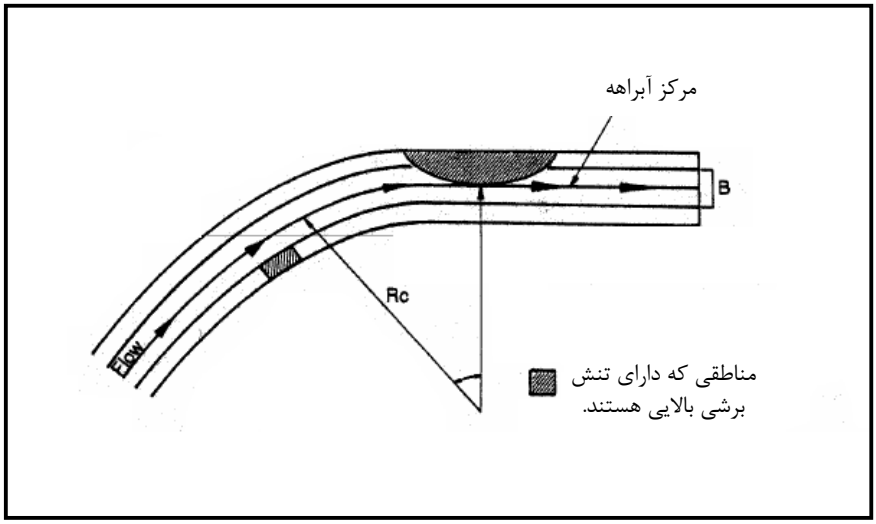
که در آن k_b ضریب خمش می‌باشد. مقدار ضریب خمش با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۹۱]:

$$K_b = \frac{R_c}{B} \qquad (۵-۱۱)$$

در جایی که Rc شعاع خمیدگی (متر) و B عرض کف آبراهه (متر) می‌باشد. در شکل(۱۱-۱) تمامی این پارامترها نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

1- Sheetflow



شکل ۱۱-۱- موقعیت تنش برشی به همراه پارامترهای طراحی در قوس آبراهه [(North American Green)۹۱]

فرمول ارائه شده در رابطه (۱۱-۵) را برای آبراهه V شکل نمی توان استفاده نمود. چرا که در این نوع آبراهه ها عرض کف آبراهه صفر است. کروک در سال ۲۰۰۱ بیان نمود که این نوع آبراهه ها به دلیل مشکلاتی که در ساخت آن‌ها وجود دارد، امکان طراحی آن‌ها وجود ندارد. همچنین مقدار طول حفاظت مورد نیاز در برابر افزایش تنش برشی در قوس خارجی آبراهه به صورت زیر نشان داده شده است [۹۱]:

$$L_p = \frac{0.0604R^{1.17}}{n} \qquad (۶-۱۱)$$

که در آن L_p معادل طول حفاظتی مورد نیاز در برابر افزایش تنش برشی در قوس خارجی رودخانه (متر)، R شعاع هیدرولیکی (A/P) (متر) و n ضریب زبری می‌باشد.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۱۲

حفاظت بستر با کیسه های ژئوبگ

omoorepeyman.ir

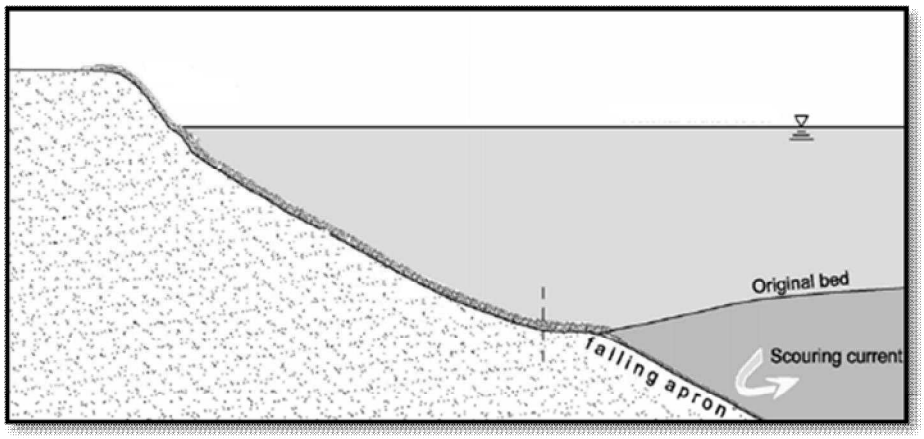
omoorepeyman.ir

۱۲-۱- کلیات

سازه‌های پوششی در کف رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، در اطراف پایه‌های پل و در پایین‌دست بندهای انحرافی برای حفاظت از بستر و جلوگیری از فرسایش موضعی به‌کار می‌روند. پوشش کف عموما به‌صورت موضعی اجرا می‌شود و در کوتاه‌مدت با توجه به هزینه کم‌تری که نسبت به سازه‌های ثبیت‌کننده‌ای چون کف‌بند دارند، کاربرد وسیعی دارند. این نوع پوشش ها در کف رودخانه در اطراف آبشکن ها، پل‌ها و غیره کاربرد دارند که از فرسایش و حفر گودال جلوگیری کرده و یا روند فرسایش را کندتر می‌کنند [۵۴]. در این فصل نکاتی در مورد طراحی و اجرای کیسه‌های ژئوبگ ارائه شده که در ادامه به آن پرداخته شده است.

۱۲-۲- نظریه طراحی

کیسه‌های ژئوتکستایلی[1] و یا ژئوبگ[2] به طور گسترده‌ای برای مهار فرسایش استفاده می‌شوند [۷۳]. این کیسه‌ها که با ماسه پر می‌شوند، روشی نوین و اقتصادی به منظور حفاظت کف و کناره‌های آبراهه در مقابل آبشستگی هستند. ژئوبگ ها معمولا حجمی بین ۱ تا ۱۰ مترمکعب دارند که اغلب حجم کم‌تر از ۶ مترمکعب آن رایج است. مطالعات مختلف نشان داده که این پوشش‌های حفاظتی امروزه جایگزین خوبی برای پوشش‌های سنگ‌چین و یا بلوک‌های بتنی به‌خصوص در بخش‌های کشاورزی می‌باشند [۸۳]. این پوشش‌ها از کیسه‌های ژئوتکستایلی بافته‌شده ساخته شده‌اند که در نزدیکی رودخانه با مصالح شن و ماسه پر می شوند. ژئوبگ‌ها در زیر سطح آب به شکل یک پوشش حفاظتی از کناره‌های رودخانه شروع شده و به صورت یک کف‌بند انعطاف‌پذیر تا کف آبراهه امتداد می‌یابد و بدین ترتیب پدیده آبشستگی نواحی کف و کناره را مهار می‌کنند. در شکل (۱۲-۱) نمونه‌ای از این پوشش‌ها نشان داده شده است [۸۳].



شکل ۱۲-۱- نحوه قرارگیری کیسه‌های ژئوبگ از کناره تا کف آبراهه

1- Geotextile Bags
2- Geobags

omoorepeyman.ir

در هنگام بارگذاری این کیسه ها و ساخت آن‌ها باید به این نکته توجه شود که باید به منظور حداقل نمودن زهکشی آب از درون این کیسه‌ها، چگالی اولیه رسوبات و مواد به کار رفته در داخل آن‌ها را افزایش دهند. پر شدن کیسه‌های ژئوبگ و سپس قراردادن آن‌ها در محل مناسب بخش حساس و مهمی می‌باشد. در برخی از پروژه‌های مهندسی قبل از دوختن کامل کیسه‌ها از ابزارآلات مکانیکی برای پر کردن کامل آن‌ها استفاده می کنند. آن‌ها رسوبات لایروبی شده از بستر رودخانه را با شدت بالا به داخل این کیسه‌ها پمپ می‌کنند. انجام این عمل توسط نیروی انسانی اغلب مشکل و زمان‌بر خواهد بود [۷۳].

۱۲-۳- تعیین ابعاد و جزییات اجرایی

کیسه‌های ژئوبگ که از ماسه پر می‌شوند و سپس به طور کامل دوخته می‌شوند جایگزین خوبی برای پوشش‌های سنگی در حفاظت از کف آبراهه در برابر فرسایش هستند. این پوشش ها از نظر هیدرولیکی و از نظر ساختاری بسیار پایدار می‌باشد. چرا که آن‌ها بسیار سنگین و عریض می‌باشند. کیسه‌های ژئوبگ همچنین عملکرد خوبی دارند و به صورت چندین واحد بر روی هم انباشته می‌شوند. از جمله نقاط قوت این پوشش‌ها به موارد زیر باید اشاره نمود:

- به عنوان دیوار حایل، موثر عمل می‌نمایند.
- نصب و راه‌اندازی آسانی دارند.
- اغلب از مواد شن و ماسه موجود در محل برای پرکردن آن‌ها استفاده می‌گردد.
- کارآمد و موثر هستند.

این کیسه‌ها که با ماسه توسط آب پر می‌شوند، پس از چند هفته آب موجود درآن طی فرآیند تبخیر و تعرق از کیسه خارج می‌شود و مواد جامد آن به صورت کاملا به هم چسبیده و سخت باقی می‌ماند. در شکل (۱۲-۲) نمونه‌ای از یک کیسه ژئوبگ را نشان می‌دهد که پس از دو هفته تمام آب داخل آن خارج شده و مواد صلب و محکمی را تشکیل داده است [۵۴]. اکثر کیسه‌های ژئوبگ به شکل بیضی هستند که محور طولی آن‌ها بزرگ‌تر از محور عمودی آن‌ها می‌باشند.

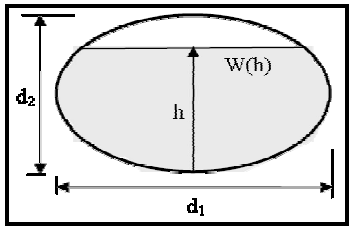
شکل ۱۲-۲- کیسه‌های ژئوبگ پس از دو هفته خشک شدن مواد درون آن

omoorepeyman.ir

به منظور طراحی این کیسه ها ابتدا می بایست شدت ریزش جریان در هنگام پـر کـردن آن‌هـا بـا ماسـه و رسـوبات را حساب نمود. برای این منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود [۷۳]

$$SOR = \frac{Q}{A_s} \quad (۱-۱۲)$$

که در آن SOR شدت ریزش از سطح آن $(\frac{m}{s})$، Q شدت جریان ورودی $(\frac{m^3}{s})$، A_s سطح مقطـع افقـی ژئوبـگ (m^2) (شکل ۱۲-۳).



شکل ۱۲-۳- مقطع نیمه پر ژئوبگ

با تغییر عرض کیسه‌های ژئوبگ سطح آن نیز تغییر می‌کند، لذا با استفاده از رابطه زیر سطح ژئوبگ محاسبه می‌شود:

$$A_s = W(h)L_b \quad (۲-۱۲)$$

که در آن W(h) عرض ژئوبگ که تابع عمق رسوبات است (متر)، h عمق رسوبات (متر) و L_b طول ژئوبگ (متر).

برای محاسبه حجم ذرات خشک جامد در داخل ژئوبگ رابطه زیر پیشنهاد شده است [۷۳]:

$$V_s = 1000 S_b V_b f_b / G_s$$

که در آن V_s حجم ذرات جامد خشک داخل ژئوبگ (مترمکعب)، S_b غلظت متوسط مواد جامد (kg/m^3)، V_b حجـم ژئوبگ (m^3)، f_b عملکرد کیسه‌های ژئوبگ و Gs وزن مخصوص ذرات جامد می‌باشد. برای محاسـبه حجـم ژئوبـگ‌هـا از رابطه زیر استفاده می‌شود [۷۳]:

$$V_b = \frac{\pi}{4} d_1 d_2 L_b \quad (۳-۱۲)$$

که در آن d_1 ماکزیمم عرض ژئوبگ (متر) و d_2 ماکزیمم ارتفاع ژئوبگ (متر) مـی باشـد. همچنـین حجـم آب بـه کـار گرفته شده در کیسه‌های ژئوبگ در انتهای عمل بارگذاری با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید [۷۳]:

$$V_w = V_b - V_s \quad (۴-۱۲)$$

که در آن V_w حجم آب منفذی باقی‌مانده در انتهای عمل بارگذاری (m^3) و V_s حجـم ذرات جامـد (m^3) مـی‌باشـد. لازم به ذکر است که اگر حجم ذرات جامد از دست رفته در طول عمل بارگذاری را از حجم کـل ذرات جامـد آورده شـده

1- Surface Overflow Rate (SOR)

omoorepeyman.ir

در طی عمل بارگذاری کسر کنیم، حاصل آن حجم ذرات در انتهای عمل بارگذاری را نشان می دهد. همچنین در داخل این کیسه‌ها حجم آبی که در طی عمل بارگذاری مورد استفاده قرار می‌گیرد به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$(V_w)_{load} = V_s(\frac{G_s}{1000s_i} - 1) \quad (۵-۱۲)$$

و مقدار آب بیرون ریخته شده معادل است با:

$$(V_w)_e = (V_w)_{load} - V_w \frac{V_s G_s}{1000 s_i} - V_b \quad (۶-۱۲)$$

با ساده نمودن رابطه بالا، فرمول زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{(V_w)_e}{V_b} = \frac{f_b s_b}{s_i} - 1 \quad (۷-۱۲)$$

که در روابط بالا s_i کل ذرات جامد شناور و s_b ذرات جامد موجود در ژئوبگ می‌باشد. بقیه پارامترها پیش‌تر معرفی شده‌اند.

۱۲-۴- حفاظت با کیسه‌های ژئوبگ

تکنولوژی استفاده از کیسه‌های ژئوبگ در راستای حفاظت بستر و کناره‌های رودخانه‌ها از سال ۱۹۹۹ توسعه یافت. این روش حفاظتی اولین بار در کشور بنگلادش در یکی از پروژه‌های آن تحت عنوان FAB-21 برای حفاظت سواحل رودخانه جامونا[1] در برابر فرسایش به‌کار گرفته شد [۹۵]. در این راستا انجمن توسعه آب بنگلادش (BWDB[1]) به ارزیابی اثرات زیست محیطی استفاده از این نوع پوشش‌های حفاظتی پرداخت که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است. همچنین مطالعات متعدد در گوشه و کنار جهان نشان داده است که کیسه‌های ژئوبگ در مقایسه با دیگر پوشش‌های حفاظتی از جمله بلوک‌های بتنی، پوشش‌های سنگی و غیره کم‌ترین هزینه اقتصادی را در پی داشته است. به طوری‌که در سرتاسر جهان دیده شده که حفاظت بستر و سواحل رودخانه‌ها در برابر فرسایش با استفاده از این نوع پوشش‌ها نیازمند هزینه نگه‌داری و نصب کم، ابزارآلات سبک، فضای کم برای ساخت آن، هزینه حمل و نقل پایین و نیاز به انرژی پایینی دارند [۹۵].

مواد پرکننده داخل این کیسه ها که عمدتا ماسه بوده، قابل دسترس بوده و از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه می‌باشند. همچنین ساخت این نوع پوشش‌ها در مقایسه با پوشش‌های سنگی و بلوک‌های بتنی بسیار آسان‌تر می‌باشد. تنها جنبه منفی استفاده از ژئوبگ‌ها، حساسیت آن‌ها به اشعه UV و آب‌های بسیار قلیایی و یا بسیار اسیدی می‌باشد [۹۵]. به طوری‌که کیسه‌های ژئوبگ موجود در بازار در برابر تابش خورشیدی تا ۱۶۰ کیلولانگلی در سال مقاومت دارند. این درحالی است که در برخی نواحی از جمله بنگلادش مقدار تابش خورشید در سال تا ۱۸۰ کیلولانگلی در سال نیز می‌رسد [۹۵]. به طور کلی ژئوبگ‌ها در سه سایز مختلف در اقدامات حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرند: نوع A -Kg 175، نوع B -Kg 250

1- Bungladesh Water Development Board (BWDB)

omoorepeyman.ir

و نوع 126 Kg- C. همان‌طورکه قبلا نیز اشاره گردید کیسه‌های ژئوبگ بر روی محیط‌زیست اثراتی خواهند گذاشت که در ادامه به تشریح هر یک از آن‌ها پرداخته شده است:

۱۲-۴-۱- اثرات بر روی اکوسیستم

به منظور بررسی اثرات ژئوبگ‌ها بر روی اکوسیستم به ارزیابی تاثیر آن بر روی عواملی چون کیفیت آب، زیستگاه اکوسیستم[1]، گیاهان روییده شده در سطح زمین[2]، جانوران زمینی[3]، گیاهان آبزی[4]، پستانداران آبزی[5]، زیستگاه های اعماق دریا[6] پرداخته شده است [۹۵].

- تاثیر بر روی کیفیت آب

کیسه‌های ژئوبگ در زیر سطح آب که به منظور حفاظت در برابر فرسایش به‌کار می روند، از نظر شیمیایی تقریبا بی اثر هستند. به طوری‌که در مقایسه با پوشش‌های بتنی کدورت آب در نزدیکی آن‌ها خیلی پایین است [۹۵].

- تاثیر بر روی زیستگاه‌های جانوری

به طور کلی می توان گفت که هیچ جنبه منفی یا تاثیر منفی که زیستگاه های جانوری داشته باشد، وجود ندارد. تنها اثر منفی که می‌تواند وجود داشته باشد اقدامات مربوط به ساخت آن‌ها در محل می‌باشد که بسیار ناچیز است [۹۵].

- تاثیر بر روی زندگی گیاهان بر روی سطح زمین

در هنگام ساخت کیسه های ژئوبگ اقدامات مربوط به کندن گیاهان موجود در سطح زمین و در واقع ریشه کنی گیاهان روییده شده در سطح زمین حداقل بوده و لذا تاثیر کمی بر روی زیستگاه‌های گیاهی دارند [۹۵].

- تاثیر بر جانوران

گاهی اوقات ساخت برخی سازه‌ها بر روی بستر رودخانه می‌تواند مشکلاتی را برای زیستگاه‌های جانورانی که با آبراهه‌ها و رودخانه ها سر و کار دارند، به‌وجود آورد. به عنوان نمونه با ساخت پوشش‌های بتنی در حفاظت از بستر رودخانه‌ها مشکلاتی برای جانورانی چون دوزیستان، گربه ماهیان و غیره به‌وجود می‌آید. این در حالی است که وجود ژئوبگ‌ها در بستر آبراهه‌ها هیچ مشکلاتی را برای این قبیل جانوران از لحاظ دسترسی آن‌ها به آب به‌وجود نمی‌آورد [۹۵].

1- Ecosystem Habitat
2- Temestrial Flora
3- Terrestrial Fauna
4- Aquatic flora
5- Aquatic Mammals
6- Benthic Communitx

omoorepeyman.ir

- تاثیر بر روی گیاهان آبزی

کیسه‌های ژئوبگ با توجه به این که منطقه‌ای در بستر آبراهه‌ها را پوشش می‌دهند، لذا تاثیراتی بر روی گیاهانی که به صورت شناور و غوطه‌ور می‌باشند، می‌گذارند. اما این تاثیرات موضعی و کوتاه‌مدت می‌باشد. به دلیل سرعت بالای تولید لجن در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، گیاهان از بین رفته مجددا احیا می‌شوند. همچنین کیسه‌های ژئوبگ زمینه را برای رشد برخی گیاهان آبزی چون جلبک‌های شناور فراهم می‌کنند [۹۵].

- تاثیر بر روی پستانداران آبزی

برخی از پستانداران چون دلفین‌ها از مسیرهای آبی برای مهاجرت خود استفاده می‌کند. ساخت پوشش‌های ژئوبگ و اقدامات مربوط به نصب آن‌ها ممکن است باعث شیفت پیداکردن مسیر مهاجرت آن‌ها به طور موقت شود. اما وجود این کیسه‌ها باعث مسدود شدن حرکت پستانداران نمی‌شود [۹۵].

- زیستگاه‌های اعماق دریا

نصب این پوشش‌ها در بستر آبراهه‌ها به‌طور کامل باعث پوشش کف آبراهه‌ها شده؛ لذا مناطق زیستی در کف آبراهه‌ها و رودخانه‌ها را پوشش می‌دهد. ولیکن این از بین رفتن گیاهانی که در اعماق رودخانه‌ها می‌رویند، موقتی و کوتاه‌مدت می‌باشد. چرا که پس از مدتی بر روی این کیسه‌های ژئوبگ، جلبک‌ها و گیاهانی از این قبیل (لجن) تشکیل شده و مجددا زیستگاه آن‌ها احیا می‌شود [۹۵].

۱۲-۴-۲- اثرات بر روی شیلات[1]

در این بخش به ارزیابی تاثیر کیسه‌های ژئوبگ بر روی عواملی چون زیستگاه‌های ماهیان، مهاجرت ماهیان، تولید ماهیان و گونه‌های مختلف ماهیان[2] پرداخته شده است [۹۵].

- زیستگاه‌های ماهیان

در هنگام بارگذاری کیسه‌های ژئوبگ، زیستگاه‌های ماهیان در آبراهه‌ها و رودخانه‌ها منتقل شده و خسارت‌هایی به ماهیان موجود در اعماق رودخانه‌ها از جمله پلانکتون‌ها وارد می‌آید. وجود این پوشش‌های ژئوبگ در مناطق با آب شیرین؛ زندگی ماهیانی چون ایر[3]، ریتا[4]، بول[5]، پانگاس[6]، بولا[7] و نیز برخی از ماهیان کوچک با مشکل نمودن دسترسی آن‌ها به منابع غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. با توجه به این‌که مدتی پس از نصب این کیسه‌های ژئوبگ بر روی آن‌ها

1- Fisheries
2- Fish Species Composition
3- Ayre (Aorichthys uor)
4- Rita (Rita rita)
5- Boal (Wallago Attu)
6- Pangas (Pangasius Pangasius)
7- Bula (Glossogobies giuris)

omoorepeyman.ir

جلبک‌ها و گیاهان آبزی رشد می‌کنند، این منبعی می‌شود برای تغذیه ماهیان. همچنین حمایت‌ها و پشتیبانی‌های ماهیگیران محلی در احیای مجدد زیستگاه ماهیان نقش موثری دارد [۹۵].

- تاثیر بر روی مهاجرت ماهیان

آبراهه ها و رودخانه ها مسیرهایی هستند برای مهاجرت ماهیان که به منظور تهیه مواد غذایی و یا تولید مثل از آن‌ها عبور می‌نمایند. وجود این پوشش‌های ژئوبگ به دلیل کنترل نمودن آبشستگی کف آبراهه‌ها و رودخانه‌ها باعث شیفت پیدا کردن مسیر مهارجرت ماهیان به صورت موضعی و کوتاه‌مدت می‌گردد [۹۵].

- تولید ماهیان

در هنگام ساخت و تولید پوشش های حفاظتی در بستر رودخانه ها مواد رسوبی و ذرات گرد و خاک در آب افزایش یافته و این امر باعث تیرگی آب رودخانه‌ها و پایین آمدن تولید مثل ماهیان و کاهش کیفیت آن‌ها می‌گردد. این امر در مورد کیسه‌های ژئوبگ به دلیل تکنولوژی که در ساخت آن‌ها وجود دارد بسیار ناچیز است [۹۵].

- گونه‌های متفاوت ماهیان

به طور کلی گونه‌های مختلف ماهیان تحت تاثیر زیستگاه و مواد غذایی در دسترس می‌باشند. در این میان ماهیانی که در سطح آبراهه‌ها بیش‌تر هستند تحت تاثیر عملیات نصب کیسه‌های ژئوبگ قرار می‌گیرند. پوشیده شدن بستر آبراهه ها با کیسه های ژئوبگ در مناطق دارای آب شیرین ماهیان موجود در بستر آبراهه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. پس از قرار دادن کیسه های ژئوبگ در کف آبراهه برخی از ماهیان که در حفره‌های موجود در کف آبراهه زندگی می‌کنند (مثل گربه ماهیان) از مناطق حفاظت شده مهاجرت می‌کنند [۹۵].

مشاهدات میدانی و مطالعاتی که در این راستا انجام شده نشان داده که زیستگاه های آبی در کف آبراهه ها پس از یکی دو سال برای سکونت این قبیل ماهیان مجددا احیا می‌گردد [۹۵].

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۱۳

پایش، حفاظت، بهره‌برداری، نگه‌داری و ارزیابی سازه‌ها و تثبیت کننده‌های بستر

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۳-۱- دستورالعمل بهره‌برداری و نگه‌داری کف‌بندها

مدیریت مناسب و نگه‌داری صحیح کف‌بندها و سایر سازه‌های ثبیت‌کننده بستر، نقش به‌سزایی در تضمین عملکرد مطلوب آن‌ها در زمان بهره‌برداری دارد. هر سازه‌ی حفاظتی در طول مدت زمان عمر مفید خود نیاز به یک سری عملیات نگه‌داری دارد. با توجه به طبیعت پویای جریان آب در رودخانه، نبود عملیات نگه‌داری به خصوص در خرابی‌های بزرگ که به شدت توسعه پیدا می‌کنند، هزینه‌های زیادی را متحمل بهره‌برداری می‌کند. لذا بازرسی و نظارت کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر رودخانه بسیار مهم‌تر از بررسی آن در یک محیط استاتیک است. جهت نگه‌داری و بهره‌برداری از کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر در قدم نخست باید مبانی و استانداردهای مناسبی تهیه و تنظیم شود. این استانداردها و دستورالعمل‌ها مواردی نظیر زمان‌های بازرسی، نیاز به تعمیرات و تخصص‌های لازم در تیم‌های فنی را در بر می‌گیرد. جهت نگه‌داری و بازرسی از سازه‌های حفاظتی باید دستورالعمل جامع و ثبت شده‌ای تهیه شود. در این وضعیت عملیات بازرسی و نگه‌داری توسط تیمی از متخصصین و تکنسین‌های محلی صورت می‌گیرد، بنابراین باید امکانات لازم و تجهیزات مورد نیاز گروه تشکیل شده تامین شود. نیازهای این مجموعه بسته به نوع پروژه و سازه متفاوت است [۲]. در امر نگه‌داری کف‌بندها و سایر سازه‌های ثبیت‌کننده بستر، همواره باید بین وضعیت فعلی سازه و وضعیت اولیه‌ی آن مقایسه انجام شود. این امر با استفاده از بازدیدهای معمولی و یا استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری تعبیه شده در سازه در هنگام ساخت، انجام می‌گیرد. با بررسی‌های مقایسه‌ای انجام شده نقاط خراب شده و نیز نقاط دارای پتانسیل خرابی مشخص شده و بسته به نوع سازه عملیات تعمیر و ترمیم و یا تعویض سازه انجام می‌شود [۱].

۱۳-۲- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در زمان بهره‌برداری

در زمان طراحی و ساخت سازه‌های حفاظتی رودخانه، باید مشخصه‌های اصلی رودخانه و جریان به دقت بررسی شده و شرایط بحرانی آن‌ها ثبت و در نظر گرفته شود. با توجه به طبیعت رودخانه‌ها مشخصه‌های رودخانه در طول زمان تغییر می‌کند که ثبت اطلاعات در زمان بهره‌برداری از سازه‌های تثبیت کننده بستر بسیار مفید و ارزنده هستند. ثبت تغییرات به وجود آمده در جریان که خارج از فرضیات طراحی است، امری ضروری است. اطلاعات به دست آمده از بازرسی سازه باید با شرایط واقعی که سازه آن را تجربه کرده است سنجیده شود. در این راستا شرایط جریان در بالادست و پایین دست سازه به دقت ثبت شود.

از اطلاعات و داده‌هایی که در زمان بهره‌برداری از سازه و درحین بازرسی[1] باید جمع‌آوری شوند می‌توان به شرایط زمین‌شناسی، داده‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی، داده‌های ژئوتکنیکی و جنبه‌های محیط‌زیست اشاره کرد. این امر همچنین نیازمند احداث ایستگاه های بازرسی است. اطلاعات هیدرولیکی ضروری جهت ساخت سازه، معمولادر زمان

1- .Monitoring

omoorepeyman.ir

طراحی و اجرای سازه‌های حفاظتی ثبت شده‌اند. بنابراین داده‌های جمع‌آوری شده از بازرسی هیدرولیکی سازه در زمان بهره برداری باید پارامترهایی را که به هنگام طراحی و اجرا به عنوان پارامترهای کلیدی در حین کار سازه در نظر گرفته شده‌اند، در برگیرد. به عنوان مثال سرعت جریان به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای موثر بر سازه‌های خشکه‌چین (به خصوص پوشش‌های خشکه‌چین) می‌باشد که بازرسی و ثبت اطلاعات مربوط به آن ضروری می‌باشد.

اطلاعات ژئوتکنیکی جمع آوری شده بستگی زیادی به مشخصات ایستگاه دارد. واضح است که مشخصه های اصلی از این دست اطلاعات به‌صورت چشمی قابل رویت نیستند لذا جهت ثبت و جمع‌آوری آن‌ها نیاز به تجهیزاتی نظیر پیزومترها و شاخص‌های اندازه‌گیری شیب است. پارامترهای زیست محیطی که باید در زمان ثبت اطلاعات اندازه‌گیری شوند، معمولا توسط فاکتورهایی که در حین انتخاب سازه‌ی حفاظتی برای بستر رودخانه در نظر گرفته می‌شوند، تعیین می‌شود. با توجه به نوع سازه از لحاظ مصالح به کار رفته در آن داده‌های متفاوتی در بازرسی از سازه مورد نظر جمع‌آوری می‌شود. در سازه‌های خشکه چین و گابیونی در زمان بازرسی باید سرعت جریان و تراز آب رودخانه اندازه‌گیری شود. درصورتی‌که سازه تثبیت کننده بستر سنگ و سیمانی باشد نشست‌ها و تغییر مکان‌های سازه اندازه‌گیری شود. همچنین عمق آب در پیزومترها و تراز آب نیز درج شود. در سازه‌های بتنی با توجه به این‌که یکی از علل تخریب درزها هستند اندازه آن‌ها باید درج گردد. همچنین مانند سازه‌های سیمانی در این سازه‌ها نیز نشست‌ها و تغییر مکان‌های سازه و تراز آب نیز اندازه‌گیری شود. در سازه‌هایی که از ژئوبگ استفاده می‌شود نیز مهم‌ترین مواردی که باید اندازه‌گیری شود نشست‌ها و تغییر مکان‌های سازه و تراز آب است. جدول (۱۳-۱) نشان دهنده‌ی نوع اطلاعات برداشتی در حین بازرسی با توجه به نوع مصالح به کار رفته در سازه می‌باشد.

جدول ۱۳-۱- اطلاعات مورد نیاز در حین بازرسی سازه با توجه به نوع مصالح به کار رفته در سازه‌ی حفاظتی

نوع سازه	اطلاعات مورد نیاز
خشکه چین و گابیونی	سرعت جریان، تراز آب رودخانه،
سنگ سیمانی	نشست‌ها و تغییر مکان‌های سازه، عمق آب در پیزومترها، تراز آب
بتنی	نشست‌ها و تغییر مکان‌های سازه، اندازه درزها، تراز آب
ژئوبگ‌ها	نشست‌ها و تغییر مکان‌های سازه، تراز آب

۱۳-۳- بازرسی ادواری و کنترل سازه کف‌بند در زمان بهره‌برداری

در بازرسی و کنترل کف‌بند، بازرسی در اولین سال بعد از ساخت سازه و همچنین بعد از اولین سیل مهم دارای اهمیت ویژه‌ای است. عمل بازرسی باید دراین مواقع در مقاطع زمانی کوتاه‌تری انجام شود. بازه‌ی زمانی حداقل بین دوره‌های بازرسی معمولا در فصول پر آبی رخ می‌دهد. درصورتی‌که نیاز به بازسازی و تعمیر فوری باشد، معمولا قبل از فصل پر آبی بعدی عملیات بازرسی انجام می‌شود. در میان دوره‌های بحرانی ذکر شده بازرسی سازه در هنگام کم آبی و در اواخر تابستان جهت ارزیابی قسمت‌های زیر آب سازه ضروری است. فارغ از کلیات ذکر شده، فواصل زمانی بین بازرسی‌ها توسط آیین‌نامه و یا گروه مهندسی نظارت تعیین می‌شود. گروه مهندسی باید دوره‌های بازرسی را براساس ضریب ایمنی در نظر گرفته شده

omoorepeyman.ir

در زمان طراحی و عواقب شکست طرح، شدت شرایط هیدرولیکی بحرانی و نیز ناپایداری زمین‌شناسی، تعیین کند. به طور کلی توصیه می‌شود که حداقل سالی یک تا دو بار (در فصول کم آب و پر آب) و نیز بعد از سیلاب با دوره بازگشت حداقل ۱۰ سال، از کف‌بندها و سازه‌های تثبیت بستر بازرسی به عمل آید. بازرسی و ثبت شرایط خاص نظیر سرعت آب و موج باید هم‌زمان با بازرسی‌های زمان بحرانی انجام شود. در هنگام بازرسی سازه باید نسبت به طرح اولیه بازبینی شود و در صورت وجود مشکل، خرابی ها و معایب بر طرف گردد تا سازه تثبیت کننده بستر از لحاظ کارکرد همانند طرح اولیه باشد. بازرسی‌ها سالی یک بار صورت گیرد. در هر بازرسی سازه از نظر نشست، تغییر شکل، تغییر مکان‌های سازهو تراز آب بازدید کامل شده و هرگونه تعمیری طبق نقشه‌ها باید صورت گیرد.

۱۳-۴- برآورد هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری

بیش‌تر تحلیل‌های مهندسی جهت سازه‌ها برای ارائه یک ضریب ایمنی[1] است، حتی اگر قوانین فیزیکی حاکم بر سازه به خوبی شناخته شده و قابل اندازه‌گیری باشند. با توجه به نبود روش‌های طراحی دقیق برای بسیاری از سازه‌های تثبیت بستر، ارائه یک ضریب ایمنی به هنگام طراحی سازه ضروری است. مقدار این ضریب در ساخت سازه به عواملی نظیر سطح تجربه طراح سازه، دشواری ساخت سازه و توانایی سازمان بهره‌بردار از نظر نگه‌داری، بازرسی و تعمیرات سازه بستگی دارد[۲]. توانایی مالی سازمان بهره‌بردار یا حمایت کننده طرح جهت انجام نگه‌داری، بازرسی و تعمیرات طرح به‌صورت تقریبی برآورد می‌شود. در کل هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری از یک سازه‌ی خوب طراحی شده در مقایسه با سازه‌هایی که نیاز به بازرسی فشرده و نگه‌داری و تعمیر زیاد دارند، کم است. به طور کل چهارچوب قابل انتظار در طراحی، نگه‌داری و ریسک شکست، به حداقل رساندن هزینه‌ها در طول عمر مفید سازه است. جهت برآورد هزینه‌ی نگه داری سازه باید هزینه‌ی تعداد دفعات بازرسی در طول سال و نیز هزینه‌ی تیم بازرس (که بر حسب بزرگی و کوچکی سازه دارای تعداد متفاوت از افراد و تخصص های متفاوت می باشد) در نظر گرفته شود. به این هزینه، هزینه‌ی تهیه‌ی گزارش بازرسی توسط تیم بازرسی نیز افزوده می شود که مقدار آن بسته به اهمیت سازه و وقت صرف شده برای تهیه‌ی گزارش (یک هفته تا یک ماه) متفاوت است. هزینه‌های تعمیر سازه نیز به طور معمول به صورت درصدی از هزینه‌های کل در نظر گرفته می‌شود. به طور معمول توصیه می‌شود که ۳ تا ۶ درصد هزینه‌های کل طرح به عنوان هزینه‌ی تعمیرات در نظر گرفته شود.

1- Safty Factor

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

منابع و مراجع

۱- ابراهیم نژاد صدیق، ا. و امامی تبریزی، م. و براری، س. ا.، «رفتارسنجی نشست پی و بدنه سد علویان در دوران بهره‌برداری»، چهارمین کنفرانس سدسازی، (۱۳۷۹).

۲- ابن جلال، ر. و شفاعی بجستان، م.، «اصول نظری و عملی مکانیک خاک»، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۷۱).

۳- افشار،ع. و نیک‌صفت، ع. ر.، «طراحی سازه‌های هیدرولیکی سدهای کوچک»، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، (۱۳۷۰).

۴- بنی حبیب، م.ا.، «مطالعات ارزیابی جامع عملیات آبخیزداری حوضه های گلابدره – دربند»؛ جلد دوم: گزارش ارزیابی فنی، اجتماعی و اقتصادی اثر عملیات آبخیزداری، شرکت مهندسی مشاور آب عمران پردیسان، (۱۳۸۳).

۵- بنی حبیب، م.ا. و پیری اردکانی، م.، «تعیین ابعاد بهینه و اقتصادی سدهای اصلاحی؛ مطالعه موردی سدهای اصلاحی دامنه های شیرکوه»، دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، (۱۳۸۸).

۶- بیرامی، محمد کریم، «سازه‌های انتقال آب»، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۶).

۷- بینا، م. و مرادی سبزکوهی، ع.، «مقایسه خصوصیات جریان و میزان استهلاک انرژی در شیب‌شکن های قائم با جریان هوادهی شده و هوادهی نشده»، همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، (۱۳۸۵).

۸- تلوری، عبدالرسول، «اصول مقدماتی مهندسی و ساماندهی رودخانه»، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، (۱۳۸۳).

۹- جوان.م، فرشاد.م، طالب بیدختی.ن، جواهری.پ، «طرح و آنالیز و اجرای سازه‌های توری‌سنگی (گابیون)»، معاونت امور آب وزارت جهاد سازندگی، زمستان ۶۹.

۱۰- چیتی، محمد حسن و جمشید مصباحی، «فرهنگ مهندسی رودخانه»، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور- وزارت نیرو، (۱۳۷۷).

۱۱- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان مقررات ملی ساختمان، «مقررات ملی ساختمان (مبحث ششم بارهای وارد بر ساختمان)»، (۱۳۸۵).

۱۲- دفتر طرح‌ریزی و هماهنگی معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، «دستورالعمل طراحی، اجرا و نگه‌داری سازه‌های کنترل سیل و رسوب (بندهای اصلاحی)» نشریه شماره ۴۱۶، (۱۳۸۷).

۱۳- «راهنمای روش‌های مهار رسوب در رودخانه‌ها»، ضابطه شماره ۵۹۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۹۱).

omoorepeyman.ir

۱۴- «راهنمای تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه»، ضابطه شماره ۳۱۶، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۴).

۱۵- «راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها»، نشریه شماره ۳۳۱- الف، طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور – وزارت نیرو، (۱۳۸۷).

۱۶- «راهنمای شکل هندسی مقطع و راستای رودخانه»، ضابطه شماره ۶۴۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۹۲).

۱۷- رزاقی، محمد مهدی، حاجی کندی، هومن، «بررسی خصوصیات مقطع پر و تعیین روابط رژیم بر مبنای آن در رودخانه‌ها (مطالعه موردی رودخانه خرسان)»، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، (۱۳۸۸).

۱۸- «راهنمای طراحی ساخت و نگه‌داری گوره‌ها» ضابطه شماره ۲۱۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۰).

۱۹- «راهنمای طراحی، ساخت و نگه داری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه»، ضابطه شماره ۳۳۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۵).

۲۰- «راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه» ضابطه شماره ۳۸۳ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۶).

۲۱- «ضوابط عمومی طراحی سازه‌های آبی بتنی»، ضابطه شماره ۳۱۲، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

۲۲- «راهنمای پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه»، ضابطه شماره ۳۰۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۴).

۲۳- «دستورالعمل بررسی‌های اقتصادی منابع آب»، ضابطه شماره ۲۵۸ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۱).

۲۴- «راهنمای کاربرد مدل های ریاضی و فیزیکی در مطالعات مهندسی و ساماندهی رودخانه»، ضابطه شماره ۵۸۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۹۱).

۲۵- «مبانی طراحی سازه‌های کنترل فرسایش در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها»، ضابطه شماره ۴۱۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۷).

۲۶- «راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی»، ضابطه شماره ۵۴۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۹۰).

۲۷- «راهنمای آبگیری از رودخانه و حفاظت آن»، ضابطه شماره ۵۰۹ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۸).

۲۸- شفاعی بجستان، محمود، «هیدرولیک رسوب»، انتشارات دانشگاه شهید چمران، (۱۳۷۸).

۲۹- شیبانی، ح.ر.و بیات.، ح.، «تحلیل هیدرولیکی بند توری سنگی سرریزشونده با مخزن پر از رسوب»، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۳، (۱۳۸۱).

omoorepeyman.ir

۳۰- صدر کریمی، ج. و کیا، م. ع.، «ارزیابی مدل‌های مور-کلمب و خزشی خاک نرم در پیش‌بینی نشست سدهای خاکی (مطالعه موردی)»، مجله دانشکده فنی، جلد ۳۲، شماره ۳ (مهندسی عمران)، (۱۳۸۵).
۳۱- علیرضا، رهایی، «اصول مهندسی پی»، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، (۱۳۷۷).
۳۲- علیزاده، ا.، «فرسایش و حفاظت خاک»، انتشارات آستان قدس رضوی، (۱۳۶۹).
۳۳- قدوسی، ج.، «روش‌های حفاظت، ایجاد و عمران اراضی و حفاظت کناره‌ها»، (۱۳۶۱).
۳۴- قربانی، ف.، روشنفکر، ع.، فتحی‌مقدم، م. و توکلی‌زاده، ا. ع.، «ارزیابی پوشش‌های بتنی و ژئوسنتتیکی (ژئوممبران) در کانال‌ها»، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، (۱۳۸۵).
۳۵- کاظمی. نسبان، غلامرضا، شفاعی بجستان، محمود، «بررسی میزان استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی گابیون»، فصلنامه مهاب قدس، شماره ۸، (۱۳۷۸).
۳۶- کاویانپور، م.ر. و رزم خاموش صوفیانی، ح.، «مدل سازی و مدیریت سیلاب شهری مسیل‌باختر و منوچهری تهران با استفاده از GIS»، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده فنی، تبریز، (۱۳۸۶).
۳۷- لوپز کاوناس دلیانو، ترجمه مهندس علی نجفی نژاد، «کنترل سیلاب و تثبیت آبراهه ها»، موسسه فرهنگی و انتشاراتی علوم طبیعی پدیده گرگان، (۱۳۷۸) .
۳۸- مختاری، د.، «آسیب پذیری سکونت‌گاه های روستایی از فعالیت گسل و ضرورت جابجایی آن‌ها (نمونه موردی: روستای واقع در امتداد گسل شمالی میشو)»، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۱، (۱۳۸۴).
۳۹- «دستورالعمل ارزیابی زیست محیطی طرح های مهندسی رودخانه؛ ۱- مرحله شناسایی، ۲- مرحله توجیهی، ۳- مرحله تفصیلی»، ضابطه شماره ۲۲۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۰).
۴۰- «دستورالعمل طراحی، اجرا و نگه داری سازه های کنترل سیل و رسوب (بندهای اصلاحی)» ضابطه شماره ۴۱۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، (۱۳۸۷).
۴۱- معماریان، حسین، «زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک»، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۷۴).
۴۲- مهدوی، محمد، «هیدرولوژی کاربردی» انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۴).
۴۳- نجفی نژاد، ع. «کنترل سیلاب و تثبیت آبراهه»، موسسه فرهنگی و انتشاراتی علوم طبیعی پدیده گرگان، (۱۳۷۸).
۴۴- «دستورالعمل طراحی، اجرا و نگه‌داری دیوار هدایت پل‌ها»، وزارت راه و ترابری وقت، پژوهشکده حمل و نقل، نواندیشان محیط‌های رودخانه و دریا.
۴۵- ولی سامانی، ح. م.، «طراحی سازه‌های هیدرولیکی»، مهندسین مشاور دزآب، (۱۳۷۶).
۴۶- یاسی، م.، «اصلاح مسیر و حفاظت دیواره‌های رودخانه‌های سیلابی با روش ساختمانی و بیولوژیکی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، (۱۳۶۷).

omoorepeyman.ir

47- U.S.Army Corps of Engineers, Hydraulic Design of Flood Control Channel, EM 110-2-1601, Washigton D.C, 120p, 1991.

48- US Army Crops of Engineers, 1995. Gravity Dam Design, Engineering and Design, Pp. 58.

49- USDA.,1987, Stability Design of Grass-Lined Open Channels. Agricultural Handbook 667.

50- Van kraayenoord, C.W.S and R.L.Hathaway, Plant Materials Handbook for soil conservation Volume 1: principles and practices, National water and soil conservation authority, 1986.

51- Abromeit, H.-U. "Installation of geotextile filters under water by technical means", Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, 62p, 1986.

52- Aisenbrey, A. j., Hays, R.B., Warren, H. J., Winsett, D.L. and Young, R.B., 1978. Design of small canal structures, A water resources technical publication, Pp. 435.

53- Akintug, B., 2005. CVE 471 Water Resources Engineering, METU(Middle East Technical University), Pp. 101.

54- Ashworth, B., 2003, Geobag- the South Gippsland Water Experience, 66th Annual Water Industry Engineers and Operators, Conference East bank Centre- Shepparton, Pp. 78-85.

55- Bhai, M., 2011. Design and Construction of Concrete Gravity Dams, Version 2 CE IIT, Kharagpur, Pp. 69.

56- Bureau of Reclamation of U.S. Department of interior, 1987, Design of small dams, A water resources Technical Publication, Pp. 860.

57- Chang, Howard H.(1998) Fluvial Processes in River Engineering, John Wiley & Sons. Inc,432p

58- Change, H.H, 1998, Generalized Computer Program, FLUVTAL-12 Mathematical Model For Erobid Channls. User's Manual. San Diego State Univ., San Diego.

59- Colombo, A. G., Hervás, J. and Vetere Arellano, A.L, Guidelines on Flash Flood Prevention and Mitigation, EuropeanROPEAN Commission Joint Research Centre, Pp. 77.

60- Coumoulos, D. G. and Koryalos, T. P., 1978. Performance of the Clay Core of a Large Embankment Dam During Construction. Clay Fills, Institution of Civil Engineers, London,: 73-78.

61- Croke, T. "Reliable channel design using turf reinforcement mats." Erosion Discussion. Vol. 5, No. 1. North American Green (availabe from their web page: www.nagreen.com). June 2000.

62- D.S. Biedenharn and R.R. Copeland, Effective Discharge Calculation , Us Army Corps of Engineers December 2000.

63- David S. Biedenharn , Charles M. Elliott , Chester C. Watson, (1997), THE WES STREAM INVESTIGATION AND STREAMBANK STABILIZATION HANDBOOK. U.S. Army Corps of Engineers, 436.

64- Deltares, 2010, User Manual Delft3D-WAVE, MH Delft, Pp. 210.

65- Department for environment , food & Rural Affairs (2003). Reducing uncertainty in river flood Conveyance, Roughness Review, UK, Environment Agency, Flood and Coastal defense R&D Programme.

66- Desgupta, Sen, Marglin,1972, Guidelines for Project Evaluation, UNIDI, UN, New York. Pp: 94.

67- Escarameia, M, River and Channel Revetments A Design Manual, Thomas Telford, 272p, 1998.

omoorepeyman.ir

68- Fasolato, G., Ronco, P. and Di Silvio, G., 2006, Simplified Models For Simulating Morphodynamic Processes At Different Space-And Time- Scales, The 7th Int. Conf. on Hydroscience and Engineering (ICHE-2006),Sep 10 –Sep 13,Philadelphia,USA, Pp.16.

69- Fell, R., MacGregor, P. and Stapledon, D., 1992. Geotechnical Engineering of Embankment Dams. A.A.Balkema, Pp. 349.

70- Geyik, M.P, 1986. Watershed Management Field Manual Gully Control, FAO, Consevation guide No 13/2. Pp. 56.

71- Good man, A.S., 1984, Principles of Water Resources Planning, Prentice Hall Inc. Pp: 563.

72- Hamphill, R. W.and M. E. Bramley, Protection of river and canal banks, CIRIA, Butter Worths, London.pp. 200, 1989.

73- Hayes, D.F., Gummadi, G.B. and salkuti, K.K., Geobag Loading Analysis, Department of Civil Engineering, University of Louisiana at Lafayette,. Pp. 89-100.

74- Heed, B.H. and Mufich, 1997. Gully Control Structures and Systems, Guidelines for Watershed Management: FAO Conservation Guide, Vol. 1 Rome: FAO.

75- Hindustan, R. D., Geo-Textile Sand Container Mattresses (GSCM) Linning For Temporary River Diversion Channels, Construction Co. Ltd, Mumbai, India, Pp:11.

76- IIHR, Technical Report No. 398, "A Review of International Literature of Design Practice and Experience With Low-Head Alluvial-Channel Grade-Control Structures", Tatsuaki Nakato, U. S. Army Engineer, Iowa Institute of Hydraulic Research, June 1998.

77- Jansen, p.ph., 1983, Principles Of River Engineering, pitman, pub.co., London, Pp: 509

78- Jobson, Harvey E., and Harbaugh, Arlen W. 1999, Modifications to the Diffusion Analogy Surface-Water Flow Model (DAFLOW) for coupling to the Modular Finite-Difference Ground-Water Flow Model (MODFLOW): U.S. Geological Survey Open-file Report 99-217, Pp.105.

79- Kwan, S., A. Vasquez, J., G. Millar, J., and M. Steffler, P., 2010, A Two Dimensional Finite Element Hydrodynamic River Morphology And Gravel Transport Model, 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, Pp.12.

80- Maidment D.R. 1993. Handbook of hydrology Mc Graw- Hill

81- Margaret S. Petersen, River engineering, U.S. Army, University of Arizona, Pp.480, 1986.

82- Narin, R.W., 2004, Effectiveness of Tire Mattresses Used for Erosion Control and Stream Bank Stabilization, A Thesis Approved For The School Of Civil Engineering And Environmental Science, , Pp:128.

83- Neill, ch., Monnerstrom, M. and Azad, A.K., 2008, Model test on Geobags for Erosion Protection, Forth International Conference on Sour and Erosion, Pp. 404-611.

84- North Dakota Department of Health Division of Water Quality, A Guide to Temporary Erosion-Control Measures for Contractors, Designers and Inspectors, 59p.

85- Nouh, M., 1986. Local Scour at Pile Groups In Meandering Channels, Proc. oF IAHR, Symp. on Scale Effects In Modeling Sediment Transport Phenomenon, Toronto, Canada, 25-28 Aug.,: 164-179.

86- Novak, P. Moffat, A. Naliiuri, C. and Narayanan, R., 2001, Hydraulic Structures, published by Spon press, ISBN 0-203-24651-9 Master e-book ISBN: 689.

omoorepeyman.ir

87- Odgaard, A.J. and Wang, Y., Sediment management with submerged vanes I: Theory, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE., Vol 117(3), 267-283,1991.

88- P.Novak, A.I.B.Moffat and C.Nalluri and R.Narayanan, Hydraulic Structures (third edition), Taylor & Francis e-Library,2004,666Pp

89- Paul, B. A. and H. W. Norman.1971. Sediment Yield Reduction on Watersheds Treated With Flood-Retarding Structures. Trans. ASAE:814-817.

90- Petersen, M, (1986), River engineering. Prentice Hall,USA,580Pp

91- Pitt, R., S. Clark, and D. Lake., 2006, Construction Site Erosion And Sediment Controls: Planning, Design, And Performance. "chapter 5: Channel and Slope Stability For Construction Site Erosion Control " DEStech publications. Lancaster, Pp: 30.

92- Przedwojski, B. Blazejewski, R. Pilarczyk, K.w, River Training Techniques, A.A. Balkema. Rotterdam, Brookfiel, Pp.625, 1995.

93- Rajaratnam, N.,1982. Erosion by Submerged Circular Jets, proc. ASCE, Vol. 108, No. 2,:262-267.

94- Robert W.Nairn, 2004, Effectiveness Of Tire Mattresses Used For Erosion Control And Stream Bank Stabilitization, Final Report, Office Of The Secretary Of The Environment, Pp:128.

95- Sadik, sh., 2011,Environmental Impacts Of Using Sand Filled Geo-bag Technology Under Water in River Erosion Protection of Major Rivers in Bangladesh, International Conference on Environment Technology and Construction Engineering for Sustainable Development, ICETCESD, Pp. 641-650.

96- Schiechtl, H.M. and R.Stern, Water Bioengineering Techniques, Black Well Science LTd, 1994.

97- Simons, D.B., and Sentruk, F., 1992, Sediment Transport Technology, Book Crafters Inc., Chelsea, Michigan, USA, Pp: 919.

98- Tatsuaki Nakato, (1998), "A review of international literature of design practice and experience with low-head alluvial- channel grade- control structures", U.S.Army Engineer, Iowa Institute of hydraulic research.

99- U.S Department of Transportation, 1998, User's manual for WSPRO, Office of Technology Applications, Federal Highway Administration, 400 Seventh Street SW, Washington, D.C. 20590, Pp.323.

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

omoorepeyman.ir

Steering Committee:

Alireza Toutounchi	Deputy of Technical and Executive Affairs Department
Farzaneh Agharamezanali	Head of Water & Agriculture Group, Technical and Executive Affairs Department
Seyed Vahidoddin Rezvani	Expert in Irrigation & Drainage Engineering, Technical and Executive Affairs Department

omoorepeyman.ir

Design Standards for Riverbed Stabilizers and Aprons [No. 701]

Executive Body:	The Office of Vice-President, Research, University of Tehran
Poject Advisor:	Mohammad Ebrahim Banihabib

Authors & Contributors Committee:

Mohammad Ebrahim Banihabib	University of Tehran	Ph.D. of Civil Eng.- Water Resources Eng.
Azar Arabi	Rayan Pajooh Water Resources Management and Engineering Research Institute	M.Sc. of Irrigation and Drainage Eng.
Leila Ghasemi	Rayan Pajooh Water Resources Management and Engineering Research Institute	M.Sc. of Geological Eng.
Amir Keneshloo	Rayan Pajooh Water Resources Management and Engineering Research Institute	B.Sc. of Civil Eng.

Supervisory Committee

Mahmoud Afsous	Sazepardazi Iran Consulting Engineers Co.	M.Sc. of Hydraulic Eng.
Firooz Bahadori Khosroshahi	K.N.Toosi University of Technology	Ph.D. of Civil Eng.-Water Resources Eng.
Narges Dashti	Ministry of Energy Bureau of Technical, Engineering, Social and Environmental Standards of Water and Waste Water	B.Sc. of Irrigation Eng.
Mahmood Shafai-Bajestan	Shahid Chamran University of Ahvaz	Ph.D. of Civil Eng.-Hydroulic

Confirmation Committee:

Mahmoud Afsous	Sazepardazi Iran Consulting Engineers Co.	M.Sc. of Hydraulic Eng.
Ghazal Jafari	Iran Water Resources Management Co.	M.Sc. of Hydraulic Structures
Mohammad Hassan Chiti	Pazhoohesh Omran Rahvar Co.	M.Sc. of Hydraulic Structures Eng.
Narges Dashti	Ministry of Energy Bureau of Technical, Engineering, Social and Environmental Standards of Water and Waste Water	B.Sc. of Irrigation Eng.
Mir Hassan Seyed Seraji	Power and Water University of Technology	Ph.D. of Fluid Mechanics
Hesam Fouladfar	Water Research Institute	Ph.D. of Hydraulic Structures
Seyed Kamalaldin Nouri	Ministry of Interior	M.Sc. of Environment Eng-Environmental Pollution
Jabbar Vatan Fada	Ministry of Energy	M.Sc. of Hydrolic Structures

omoorepeyman.ir

Abstract

Locating of residential, commercial, office, industrial zones and infrastructures on rivers' neighborhoods requires stabilization of the riverbed and banks. This publication provides the standards for design and implementation of structures of riverbed stabilizers and aprons.

First in this publication, the types and characteristics of riverbed stabilizers and aprons structures determined and classified. Then required data, technical principles, social, economic and environmental consideration for design of these structures were discussed. Then the software used in the study and design of aprons and riverbed stabilizers were introduced.

In subsequent chapters, design criteria of check dams, aprons, sills, chutes, drops, grass-lining, geo-bags as well as methods of their construction and implementation were reported. Finally, the monitoring, protection, operation and maintenance of aprons and riverbed stabilizers were discussed. This manual can be used in the design, construction, operation and maintenance of aprons and riverbed stabilizers by the consulting engineers, contractors and water engineering authorities.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Design Standards for Riverbed Stabilizers and Aprons

No. 701

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs

Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Energy

Bureau of Technical, Engineering, Social and Environmental standards of water and waste water

http://seso.moe.gov.ir

2016

omoorepeyman.ir

این ضابطه

با عنوان « ضوابط طراحی کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر» ضوابط لازم برای طراحی و اجرای سازه‌های کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر رودخانه‌ها را ارائه می‌دهد. در ابتدای این ضابطه ضمن تعیین انواع و مشخصات این سازه‌ها، به طبقه‌بندی آن ها پرداخته شده سپس داده‌های مورد نیاز برای طراحی آن‌ها بیان، و مبانی فنی، ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی طراحی این سازه ها بحث شده است. در ادامه نرم‌افزارهای مورد استفاده در مطالعه و طراحی کف‌بندها و تثبیت کننده های بستر رودخانه ها معرفی شده است. در فصول بعدی ضوابط طراحی سدهای اصلاحی، کف‌بندها، آستانه، شیب‌شکن‌ها، پوشش‌های نرم و ژئوبک‌ها و نیز روش‌های ساخت و اجرای آن ها بیان شده است. و درنهایت در بخش پایانی، نحوه پایش، حفاظت و بهره‌برداری و نگهداری کف‌بندها و تثبیت کننده های بستر بحث گردیده است. این راهنما می‌تواند در طراحی، ساخت، بهره‌برداری و نگهداری کف‌بندها و تثبیت‌کننده‌های بستر رودخانه‌ها توسط مهندسین مشاور، پیمانکاران و دستگاه‌های اجرایی مورد استفاده قرار گیرد.

omoorepeyman.ir