جمهوری اسلامی ایران

ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی، تبدیل و ایمنی و ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری

نشریه شماره ۳۳۷

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی ، تدوین معیارها و
کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله
http://tec.mporg.ir

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

جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی، تبدیل و ایمنی و ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری

نشریه شماره ۳۳۷

معاونت امور فنی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

وزارت نیرو

شرکت مدیریت منابع آب ایران

دفتر استانداردها و معیارهای فنی

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۴/۰۰/۱۵۳

۱۳۸٤

فهرست‌برگه

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

ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی، تعدیل و ایمنی ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، دفتر استانداردها و معیارهای فنی.- تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات، ۱۳۸۴.

VII , ۸۵ ص: مصور. - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ نشریه شماره ۳۳۷) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۸۴/۰۰/۱۵۳)

ISBN 964-425-732-4

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰/۲۱۴۶۷۶ مورخ ۱۳۸۴/۱۲/۱۲

کتابنامه: ص. ۸۵

۱. آبیاری – کانالها و نهرها – استانداردها. ۲. زهکشی – استانداردها. ۳. آبراهه‌ها – استانداردها. ۴. سازه‌های هیدرولیکی – طرح و محاسبه – استانداردها. الف. شرکت مدیریت منابع آب ایران. دفتر استانداردها و معیارهای فنی. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات. ج.عنوان. د. فروست.

۱۳۸۴ ش. ۳۳۷ ۲۴س/ TA ۳۶۸

شابک ۴-۷۳۲ - ۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-732-4

ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی، تعدیل و ایمنی ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری

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

چاپ اول، ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۱۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۴

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: چاپ زحل

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رئیس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره :** ۱۰۰/۲۱۴۶۷۶
	تاریخ : ۱۳۸۴/۱۲/۱۳

موضوع :
ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی، تبدیل و ایمنی و ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲٤٥۲٥/ت ۱٤۸۹۸هـ، مورخ ۱۳۷٥/٤/٤ هیأت محترم وزیران) به پیوست نشریه شماره ۳۳۷ دفتر امور فنی، تدوین معیارها وکاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «**ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی، تبدیل و ایمنی و ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری**» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌گردد.

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

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

فرهاد رهبر
معاون رییس جمهور و رییس سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی :

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آنرا برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است . با وجود تلاش فراوان ، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی ، فنی ، ابهام ، ایهام و اشکالات موضوعی نیست .

از این‌رو ، ***از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید :***

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

۲- ایراد مورد نظر را بصورت 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 دفتر 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، خیابان شیخ‌بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

صندوق پستی ۴۵۴۸۱- ۱۹۹۱۷

http://tec.mporg.ir

بسمه تعالی

پیشگفتار

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

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

باتوجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای صنعت آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امورفنی،تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

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

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

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

مهدی تفضلی- معاون امور فنی

زمستان ۱۳۸۴

ترکیب اعضای کمیته

ترکیب اعضای کمیته فنی شماره ۳ (آبیاری و زهکشی) که در تهیه و تنظیم این استاندارد مشارکت داشتند به شرح زیر هستند:

آقای محمد کاظم سیاهی	مهندسین مشاور پندام	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی و عمران
آقای محمدحسن عبدا... شمشیرساز	مهندسین مشاور پژوهاب	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
آقای احمد قزل‌ایاغ	مهندسین مشاور آبفن	فوق‌لیسانس مهندسی راه و ساختمان
آقای محمدجواد مولایی	وزارت نیرو	لیسانس آبیاری و آبادانی
آقای منصور طهماسبی	وزارت نیرو	لیسانس مهندسی راه و ساختمان
آقای ماشاءا... تابع جماعت	شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران	لیسانس مهندسی عمران – آب
آقای فراز رابعی غلامی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق‌لیسانس مهندسی تأسیسات آبیاری

همچنین سرکار خانم مهندس محرابی در تنظیم نهایی این استاندارد همکاری نمودند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
۱- هدف	۲
۲- دامنه کاربرد	۲
۳- ساختمان‌های حفاظتی کانال‌ها	۲
۳-۱ هرز آبروها	۲
۳-۱-۱ موقعیت هرز آبروها	۳
۳-۱-۲ ظرفیت هرز آبروها	۳
۳-۱-۲-۱ سرریز هرز آبرو	۴
۳-۱-۲-۲ دریچه ساختمان هرز آبرو	۴
۳-۱-۲-۳ مجرای خروجی هرز آبرو	۵
۳-۱-۲-۴ مجرای زهکش طبیعی (مسیل)	۵
۳-۱-۳ اجزای مختلف ساختمان هرز آبروها	۵
۳-۱-۳-۱ ورودی هرز آبروها	۵
۳-۱-۳-۲ خروجی هرز آبروها	۵
۳-۱-۳-۳ مجرای هرز آبرو و ساختمان‌های وابسته	۶
۳-۱-۳-۴ ساختمان تبعی هرز آبروها	۷
۳-۱-۴ محدودیت‌های بهره‌برداری دریچه هرز آبرو	۷
۳-۱-۵ ضوابط طراحی هیدرولیکی هرز آبروها	۷
۳-۱-۵-۱ سرریز جانبی	۷
۳-۱-۵-۱-۱ کلیات	۷
۳-۱-۵-۱-۲ ضوابط طراحی	۸
۳-۱-۵-۲ ساختمان هرز آبرو دریچه‌ای	۱۳
۳-۱-۵-۳ سرریز سیفونی	۲۰
۳-۱-۵-۳-۱ تعریف و کاربرد	۲۰
۳-۱-۵-۳-۲ عملکرد	۲۲
۳-۱-۵-۳-۳ متعلقات	۲۳
۳-۱-۵-۳-۴ ملاحظات طراحی	۲۳

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۳-۱-۵-۴ ساختمان سیفون اضطراری	۲۶
۳-۱-۵-۵ ساختمان هرز آبرو با کنترل ورودی	۲۹
۳-۱-۵-۵-۱ کلیات	۲۹
۳-۱-۵-۵-۲ ضوابط طراحی	۳۰
۴- سازه‌های تقاطعی	۳۱
۴-۱ ملاحظات کلی	۳۱
۴-۲ ساختمان آبرو زیرگذر	۳۲
۴-۲-۱ کلیات	۳۲
۴-۲-۲ اجزای ساختمان آبرو زیرگذر	۳۲
۴-۲-۲-۱ ساختمان ورودی	۳۴
۴-۲-۲-۲ مجرای آبرو زیرگذر	۳۴
۴-۲-۲-۳ ساختمان خروجی آبرو زیرگذر	۳۴
۴-۲-۳ معیارهای طراحی هیدرولیکی	۳۵
۴-۲-۳-۱ نیمرخ طولی	۳۵
۴-۲-۳-۲ ظرفیت طراحی	۳۵
۴-۲-۳-۳ سرعت جریان	۳۶
۴-۲-۳-۴ قطر لوله آبرو زیرگذر	۳۶
۴-۲-۳-۵ کنترل ورودی و خروجی	۳۶
۴-۲-۳-۶ افت انرژی در ورودی و خروجی	۳۷
۴-۲-۳-۷ انرژی در مجرای آبرو زیرگذر	۳۷
۴-۲-۳-۸ بده بهینه آبرو زیرگذر	۳۸
۴-۲-۳-۹ طوقه‌های مجرای آبرو زیرگذر	۴۱
۴-۳ ساختمان‌های آبرو روگذر	۴۳
۴-۳-۱ کلیات	۴۳
۴-۳-۲ مسیر آبرو روگذر	۴۳
۴-۳-۳ نیمرخ طولی	۴۳
۴-۳-۴ ظرفیت	۴۶

فهرست مطالب

عنوان		صفحه
۴-۳-۵	مجرای آبرو روگذر	۴۶
۴-۳-۶	ورودی آبرو روگذر	۴۶
۴-۳-۷	خروجی آبرو روگذر	۴۶
۴-۳-۸	هیدرولیک ساختمان آبرو روگذر	۴۸
۴-۳-۸-۱	ساختمان‌های آبرو روگذر لوله‌ای	۴۸
۴-۳-۸-۲	ضوابط طراحی هیدرولیکی آبرو روگذر با مقطع راست گوشه (ناو شکل)	۵۰
۴-۴	ساختمان‌های ورودی زهکش به کانال آبیاری	۵۲
۴-۴-۱	کلیات	۵۲
۴-۴-۱-۱	موقعیت ساختمان‌های ورودی زهکش	۵۲
۴-۴-۱-۲	انواع ساختمان‌های ورودی زهکش	۵۳
۴-۴-۱-۳	ظرفیت طراحی ساختمان‌های ورودی زهکش	۵۳
۴-۴-۱-۴	بازوی کانال	۵۴
۴-۴-۲	ساختمان ورودی زهکش با مجرای لوله‌ای	۵۴
۴-۴-۲-۱	دهانه ورودی	۵۴
۴-۴-۲-۲	مجرای لوله‌ای	۵۵
۴-۴-۲-۳	دهانه خروجی	۵۵
۴-۴-۲-۴	نشت آب	۵۵
۴-۴-۲-۵	پوشش حفاظتی	۵۵
۴-۴-۳	ساختمان ورودی زهکش از نوع بتنی راست گوشه	۵۶
۴-۴-۳-۱	دهانه ورودی	۵۶
۴-۴-۳-۲	ناو (مجرای راست گوشه)	۵۶
۴-۴-۳-۳	تندآب	۵۷
۴-۴-۳-۴	حوضچه خروجی	۵۷
۴-۴-۳-۵	نشت آب	۵۷
۴-۴-۳-۶	حفاظت	۵۸
۴-۴-۴	ورودی زهکش از نوع پوشش قلوه سنگی	۵۸
۴-۴-۴-۱	تبدیل ورودی	۵۸
۴-۴-۴-۲	پوشش شنی	۵۸

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۵- ساختمان‌های تبدیل	۶۳
۵-۱ کلیات	۶۳
۵-۲ تبدیل بتنی	۶۳
۵-۳ تبدیل خاکی	۶۴
۵-۴ طول تبدیل	۶۴
۶- تجهیزات ایمنی در تأسیسات آبیاری	۷۰
۶-۱ تور سیمی	۷۰
۶-۲ نرده جان‌پناه	۷۰
۶-۳ علائم هشداردهنده	۷۱
۶-۴ مانع ایمنی لوله‌ای	۷۱
۶-۵ شبکه‌های ایمنی	۷۱
۶-۶ کابل ایمنی	۷۱
۶-۷ نردبان ایمنی	۷۱
۶-۸ آبشخورها	۷۲
۷- حفاظت بدنه در مقابل فرسایش	۷۷
۷-۱ مقدمه	۷۷
۷-۲ پوشش حفاظتی با سنگ‌چین	۷۷
۷-۲-۱ ساختمان‌های سیفون	۷۷
۷-۲-۲ ساختمان‌های تقاطعی	۷۸
۷-۲-۳ سایر ساختمان‌های هیدرولیکی	۷۸
۷-۳ حفاظت با تورسنگ (پوشش گابیونی)	۷۹
۷-۳-۱ مشخصه‌های کلی تورسنگ (گابیون)	۷۹
۷-۳-۲ ابعاد تورسنگ‌ها	۸۰
۷-۳-۳ ضوابط طراحی تورسنگ	۸۰
۷-۳-۴ موارد استفاده از تورسنگ برای پوشش حفاظتی	۸۱
۷-۳-۴-۱ پوشش آبراهه‌ها	۸۱
۷-۳-۴-۲ پوشش حفاظتی پایه پل‌ها	۸۲
۷-۳-۴-۳ حفاظت آبروها	۸۲
۷-۳-۴-۴ حفاظت دهانه ورودی مجاری آبگیری از رودخانه‌ها و محل‌های ایستگاه پمپاژ	۸۲
۸- منابع و مآخذ	۸۵

مقدمه

"ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های آبیاری و زهکشی" شامل مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها، توصیه‌ها و ضوابط فنی در این زمینه می‌باشد. براساس این ضوابط، امکان طراحی ساختمان‌های آبیاری و زهکشی به‌صورت استاندارد فراهم کرده تا یکنواخت نمودن طراحی‌سازه‌ها و تجهیزات هیدرومکانیکی مربوط، سهولت اجرا، بهره‌برداری و نگهداری، و صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری پروژه‌ها امکان‌پذیر شود. با توجه به تنوع ساختمان‌های هیدرولیکی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ضوابط طراحی هر گروه از سازه‌های هیدرولیکی به‌طور جداگانه تهیه و ارائه خواهد شد.

در این راستا ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های تنظیم سطح آب و آبگیرها تدوین و قبلاً در قالب نشریه جداگانه‌ای منتشر شده است.

نشریه حاضر، به‌عنوان بخشی از مجموعه ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد که چهار گروه ساختمان‌های حفاظتی، ساختمان‌های تقاطعی، ساختمان‌های تبدیل ورودی و خروجی، ساختمان‌های ایمنی و حفاظت در مقابل فرسایش را در کانال‌های آبیاری و زهکش‌های روباز (برحسب مورد) در برمی‌گیرد و برای استفاده کارشناسان، مهندسان مشاور، دفاتر فنی و سایر دست اندرکاران مهندسی آب تهیه شده است.

در مواردی که در این نشریه برای یک سازه با عملکرد هیدرولیکی مشخص، دو یا چند طرح متفاوت معرفی شده باشد، انتخاب نوع مناسب سازه براساس شرایط پروژه به لحاظ هیدرولیکی، ایمنی و امکانات بهره‌برداری و نگهداری خواهد بود که مهندس طرح در مورد آن تصمیم‌گیری می‌نماید.

در تدوین نشریه حاضر، کوشش شده که نکات اصلی طراحی هیدرولیکی ساختمان‌ها در نظر گرفته شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود که طراحان برای هر پروژه، با توجه به ویژگی آن و شرایط محلی، نسبت به انتخاب نوع سازه و ضوابط طراحی ارائه شده در این نشریه تصمیم‌گیری نمایند.

۱- هدف

این نشریه با هدف فراهم آوردن شرایط یکنواخت‌سازی طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی، تبدیل و ایمنی و ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری و هماهنگی در تهیه این سازه‌ها که بر اساس این ضوابط تهیه می‌شوند، تدوین گردیده است.

۲- دامنه کاربرد

این نشریه برای کانال‌های آبیاری با ظرفیت بیشتر از ۰/۳ تا ۱۰ مترمکعب بر ثانیه قابل استفاده می‌باشد.

برای کانال‌های با ظرفیت بیش از ۱۰ متر مکعب بر ثانیه ممکن است تمهیدات فنی و ایمنی خاصی برحسب شرایط پروژه مورد نیاز باشد که طراح بایستی آنها را مدنظر قرار دهد.

۳- ساختمان‌های حفاظتی کانال‌ها

ساختمان‌های حفاظتی، کانال‌ها و سازه‌های وابسته را در مقابل جریان‌های سیلابی، هرزآب‌ها و جریان‌های اضافی کنترل نشده ورودی حفاظت می‌نمایند.

جریان‌های سیلابی و هرز آب‌ها، باید برای جلوگیری از فرسایش خاکریز و بدنه کانال‌ها و همچنین ممانعت از رسوبگذاری در کانال، کنترل و هدایت شوند. این عمل، ممکن است با احداث ساختمان‌های مختلف زیر صورت پذیرد:

- ساختمان ورودی زهکش به داخل کانال[1]،
- ساختمان عبور سیلاب و هرز آب از روی کانال[2]،
- ساختمان عبور سیلاب و هرز آب از زیر کانال[3]، و
- ساختمان عبور کانال از زیر مجاری سیلابرو[4].
- ساختمان هرزآبرو برای هدایت جریان‌های مازاد ورودی به هر بازه کانال که در اثر شرایط خاص بهره‌برداری ممکن است حادث گردد.

۳-۱ هرز آبروها

جریان‌های اضافی ورودی به کانال‌ها، باید برای جلوگیری از بروز خسارت به خاکریز و بدنه کانال کنترل شوند. به‌همین منظور، هرز آبروها[5] برای دفع جریان‌های اضافی که ممکن است به دلایل زیر وارد کانال شوند در نظر گرفته می‌شوند:

- ورود جریان زهکش متقاطع با کانال از طریق ساختمان ورودی زهکش،

1 - Drain Inlet
2 - Over Chute
3 - Culvert
4 - Siphon
5 - Spillway and Wasteway

- عدم تطابق بده جریان در قسمتی از مسیر با مقدار آب موردنیاز از نظر بهره‌برداری مناسب، و
- توقف ناگهانی ایستگاه پمپاژ یا نیروگاه آبی واقع در پایین‌دست.

هرز آبروها برای تخلیه کامل جریان کانال، به منظور انجام عملیات بازرسی، نگهداری، قطع فصلی جریان، تخلیه اضطراری کانال در مواقع شکسته شدن بدنه کانال، رسوب‌زدایی[1] و مانند آنها نیز به‌کار می‌رود.

اغلب در انتهای کانال‌ها، برای هدایت و تخلیه جریان‌های اضافی کانال به مسیل، زهکش یا مخزن‌ها (ساخته شده یا طبیعی) مجرای آبرو انتهایی در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۱ موقعیت هرز آبروها

در انتخاب موقعیت و تعداد ساختمان‌های هرز آبرو باید عوامل مختلفی را در نظر گرفت که موارد زیر، می‌تواند راهنمایی در این زمینه باشد:

- هزینه ناشی از اضافه ظرفیت کانال در مقایسه با احداث هرز آبروها،
- وجود زهکش طبیعی (مسیل) با ظرفیت مناسب در محل‌های موردنظر، برای تخلیه جریان توسط هرز آبروها،
- بده جریان سیلاب‌ها یا هرز آب‌های وارد به آن از راه ساختمان ورودی زهکش[2] به داخل کانال،
- حجم موجود برای ذخیره اطمینان[3] در کانال یا در مخزن‌های تنظیم کننده شبکه کانال‌ها،
- میزان استفاده از تجهیزات خودکار یا کنترل از راه دور در بهره‌برداری از کانال‌ها و برآورد مدت زمان موردنیاز برای مانور دریچه به روش دستی، و
- میزان خسارت‌های مالی ناشی از ایجاد شکستگی در بدنه کانال.

در کانال‌هایی که کمتر از ۴ تا ۵ آبگیر مزرعه دارند، ممکن است نیازی به سازه هرز آبرو نباشد.

برای کانال‌های طولانی، در انتها یا در نزدیکی انتهای مسیر و در صورت وجود زهکش طبیعی، ساختمان هرز آبرو در نظر گرفته می‌شود.

آخرین ساختمان هرز آبرو در مسیر کانال، باید در محلی پیش‌بینی شود که در حالت بسته شدن اضطراری تمامی آبگیرهای پایین‌دست کانال، امکان تخلیه آب اضافی را داشته باشد.

۳-۱-۲ ظرفیت هرز آبروها

با توجه به تعداد و موقعیت هرز آبروها در کانال‌ها، ضروریست که در مورد هر یک از این ساختمان‌ها، برای تعیین ظرفیت آنها، ملاحظات زیر مورد توجه قرار گیرد:

---

1 - Sediment Flushing
2 - Drain Inlet
3 - Safe Storage

۳-۱-۲-۱ سرریز هرز آبرو

ظرفیت سرریز هرز آبرو، به میزان جریان ساختمان‌های ورودی زهکش‌ها، جریان‌های اضافی ناشی از بهره‌برداری‌نامناسب از دریچه‌های بالادست، بده ایستگاه‌های پمپاژ و نیروگاه‌های تغذیه شونده از کانال به‌شرح زیر بستگی دارد:

- جریان‌های وارده از طریق ساختمان‌های ورودی زهکش‌ها:

ظرفیت طراحی سرریز، باید به اندازه‌ای باشد که تخلیه مجموع بده‌های طراحی ساختمان‌های ورودی زهکش‌های بالادست را امکان‌پذیر نماید. به‌طور معمول، این ظرفیت حدود ۲۰ درصد ظرفیت طراحی کانال منظور می‌گردد.

- مانور دریچه‌های آبگیر بالادست:

بستن دریچه‌های آبگیر بالادست هرز آبروها بدون هماهنگی با مانور دریچه آبگیر اصلی کانال، سبب ایجاد جریان اضافی در کانال خواهد شد. بنابراین باید ظرفیت طراحی سرریز هرز آبرو با ظرفیت بزرگ‌ترین آبگیر بالادست کنترل‌شود.

- ایستگاه‌های پمپاژ و نیروگاه‌ها:

کانالی که جریان موردنیاز ایستگاه‌های پمپاژ و نیروگاه‌ها را تأمین می‌کند، اغلب به سرریز هرز آبرو با ظرفیتی معادل ظرفیت طراحی تأسیسات مزبور (ظرفیت طراحی کانال) نیاز دارد.

این ظرفیت، با توجه به امکان قطع برق ایستگاه‌های پمپاژ یا توقف ناگهانی نیروگاه، افزایش خواهد یافت. از آنجایی‌که توقف ایستگاه پمپاژ و یا نیروگاه، ممکن است با وقوع رگبار و در نتیجه تخلیه جریان زهکش‌های ورودی به‌داخل کانال همزمان باشد، برحسب مورد می‌توان ظرفیت سرریز هرز آبرو را معادل ظرفیت تأسیسات فوق به اضافه ظرفیت طراحی ساختمان‌های ورودی زهکش‌ها در نظر گرفت. این ظرفیت، در مورد کانال‌های با بده کمتر از ۳ مترمکعب بر ثانیه، می‌تواند تا حدود ۱۲۰ درصد بده طراحی کانال باشد.

۳-۱-۲-۲ دریچه ساختمان هرز آبرو

ظرفیت دریچه ساختمان هرز آبرو را می‌توان حداکثر تا ظرفیت طراحی کانال درنظر گرفت، تا اگر در بدنه کانال، شکستگی ایجاد شده یا شرایط اضطراری دیگری در پایین‌دست رخ دهد، بتوان کل جریان کانال را تخلیه نمود. برای حفاظت قسمت‌هایی از کانال که در معرض خطر است، دریچه مزبور باز شده و دریچه ساختمان تنظیم سطح آب بسته می‌شود. اگر ظرفیت این دریچه برای مقابله با شرایط اضطراری معادل با ظرفیت طراحی کانال در نظر گرفته شود، این ظرفیت برای امکان تخلیه کانال به منظور بازرسی، نگهداری و همچنین تخلیه کامل در انتهای فصل آبیاری‌کافی خواهد بود.

ظرفیت طراحی دریچه هرز آبرو برای کانال‌های با بده کمتر از ۳ مترمکعب بر ثانیه، معادل ظرفیت کانال، و در مورد کانال‌های بزرگ‌تر، با توجه به میزان کارایی سیستم کنترل و تنظیم سطح آب، و میزان حفاظت و اطمینان لازم، متناسب با ظرفیت طراحی کانال، انتخاب می‌شود.

۳-۱-۲-۳ مجرای خروجی هرز آبرو

مجرای خروجی هرز آبروها، باید ظرفیت تخلیه مجموع جریان‌های دریچه و سرریز هرز آبرو را داشته باشد.

۳-۱-۲-۴ مجرای زهکش طبیعی (مسیل)

ظرفیت دریچه و سرریز ساختمان هرز آبرو، نباید بیش از ظرفیت بده مطمئن[1] مجرای زهکش طبیعی، که در آن تخلیه می‌شود، باشد. بنابراین ظرفیت زهکش طبیعی، ممکن است عامل محدود کننده‌ای در انتخاب ظرفیت طراحی ساختمان هرز آبرو باشد، مگر آنکه مقطع زهکش طبیعی، به منظور افزایش ظرفیت بده آن اصلاح شود.

۳-۱-۳ اجزای مختلف ساختمان هرز آبروها

ساختمان هرز آبروها، اغلب دارای اجزای مختلفی به‌شرح زیر می‌باشند:

۳-۱-۳-۱ ورودی هرز آبروها

ورودی هرز آبروها بیشتر عمود بر محور کانال بوده، مگر در مورد ساختمان‌های هرز آبرو طراحی شده در انتهای مسیر، که از نوع ساختمان ورودی لوله‌ای مجهز به تأسیسات کنترل سطح آب می‌باشد، تا جریان‌های اضافی انتهایی‌کانال را تخلیه کند.

ساختمان تنظیم‌کننده سطح آب همراه با شیب‌شکن[2] نیز، برای سرریزی آب اضافی و تخلیه کامل جریان بالادست به مسیر پایین‌دست، می‌تواند به عنوان یک ساختمان هرز آبرو به‌کار رود.

ساختمان هرز آبروی مجهز به دریچه، ممکن است به‌طور دستی، خودکار و یا کنترل از راه دور عمل کند.

ورودی ساختمان هرز آبرو می‌تواند به‌صورت‌های زیر باشد:

- ورودی‌های عمود بر محور کانال، که در بیشتر موارد برای تخلیه جریان اضافی کانال و یا کل جریان کانال به‌زهکش طراحی می‌شود.
- ورودی‌های در جهت محور کانال در انتهای مسیر، که برای تخلیه جریان اضافی یا تخلیه جریان کانال به زهکش طراحی می‌شود.
- ورودی‌های هم‌جهت محور کانال در طول مسیر، که برای هدایت جریان اضافی مسیر بالادست به طرف پایین‌دست طراحی می‌شوند.

۳-۱-۳-۲ خروجی هرز آبروها

خروجی هرز آبروها، وظیفه هدایت جریان خروجی و اتلاف انرژی را، برای حفاظت ساختمان و مجرای هرز آبرو به‌عهده دارد. اگر افت انرژی از کانال به مجرای هرز آبرو در کمترین حد خود باشد، استفاده از ساختمان تبدیل برای این منظور کافی خواهد بود. برای افت انرژی بیشتر، از ساختمان‌های خروجی با مانع یا حوضچه آرامش متصل به ساختمان شیب‌شکن یا تندآب استفاده

---

1 - Safe Capacity
2 - Check Drop

می‌شود. ساختمان خروجی با مانع، برای اتلاف انرژی جریان از مجاری بسته (لوله‌ها و صندوقه بتنی) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالتی که شاخ و برگ موجود در جریان آب زیاد باشد، اغلب، از این نوع ساختمان استفاده نمی‌شود.

ساختمان شیب‌شکن با مانع[1]، مناسب‌ترین ساختمان برای جریان‌های آزاد بوده ولی در پایین‌دست مجاری بسته که در انتهای آن ساختمان تبدیل طویلی در نظر گرفته شده باشد نیز ساخته می‌شوند. در شرایط وجود علف‌های زیاد در جریان آب، پاک کردن بلوک‌های مانع به منظور اطمینان از درست عمل کردن ساختمان ضروری است. اگر مواد شناور مانند شاخ و برگ، در جریان آب وجود داشته باشد، ساختمان شیب‌شکن با مانع به کار برده نخواهد شد. برای عملکرد مناسب ساختمان شیب‌شکن با مانع، به سطح آب معین در پایین‌دست نیاز نمی‌باشد. این ساختمان، درحالت تغییرات وسیع رقوم آب در پایین‌دست، کاربرد مناسب داشته و اغلب به‌عنوان ساختمان انتهایی تخلیه‌کننده جریان به مخزن‌ها[2] مورد استفاده قرار می‌گیرد.

حوضچه‌های آرامش، برای پایین‌دست ساختمان‌های شیب‌شکن و تندآب‌های مایل با مقطع راست گوشه، بسیار ایده‌آل هستند، ولی در پایین‌دست مجاری بسته، اغلب پس از یک ساختمان تبدیل طویل به کار گرفته می‌شوند.

عملکرد این ساختمان‌ها، به‌طور معمول تحت تأثیر علف‌های هرز و شاخ و برگ موجود در جریان کانال قرار نمی‌گیرد ولی برای اطمینان از تشکیل جهش آبی در داخل حوضچه آرامش، کنترل سطح آب پایین‌دست ضروری می‌باشد.

در محل‌هایی که مجرای طبیعی تخلیه‌کننده جریان نتواند سطح آب پایین‌دست این ساختمان را کنترل کند، از آستانه بتنی، یا آستانه الواری[3]، و یا شیار کنترل[4] همراه با ساختمان حوضچه استفاده خواهد شد. در ضمن، کنترل کردن سطح آب پایین‌دست، می‌تواند با در نظر گرفتن ساختمان تبدیل شیبدار در انتهای حوضچه صورت پذیرد.

۳-۱-۳-۳ *مجرای هرز آبرو و ساختمان‌های وابسته*

مجراهای طبیعی، در صورت امکان می‌توانند برای انتقال جریان خروجی از هرز آبروها به محل‌هایی مانند رودخانه یا مخزن‌ها مورد استفاده قرار گیرند. در این صورت، برای اتصال ساختمان هرز آبرو به زهکش طبیعی، باید مجرایی ساخته شود. چنین مجرای اتصالی، به‌طور کلی کوتاه بوده و طول آن از چند تا چند صدمتر متغیر می‌باشد.

مقطع عرضی چنین مجرای اتصالی، مانند مقطع عرضی نهرهای خاکی بوده ولی می‌توان تدابیر حفاظتی کمتری برای آن در نظر گرفت.

برای جلوگیری از فرسایش قابل ملاحظه در مجرای هرز آبرو در بعضی مواقع، باید سرعت جریان در آن با احداث ساختمان‌های مناسب کنترل شود. ساختمان‌های موردنظر برحسب مورد، شامل شیب‌شکن‌های عمودی یا مایل با مقطع راست گوشه، شیب شکن‌های با مانع، ساختمان ورودی لوله‌ای[5] با کنترل سطح آب، شیب‌شکن لوله‌ای یاتندآب و ساختمان‌های تقاطعی با جاده می‌باشند.

---

1 - Baffled Apron Drop
2 - Reservoirs
3 - Stoplog Sill
4 - Control Notch
5 - Control and Pipeinlet

۳-۱-۳-۴ ساختمان تبعی هرز آبروها

در شرایطی که ساختمان‌های کنترل و تنظیم سطح آب، خود جزیی از ساختمان هرز آبرو نباشد، باید به فاصله کوتاهی از ساختمان هرز آبرو و در پایین‌دست آنها، ساختمان کنترل در کانال پیش‌بینی شود، به طوری که در صورت نیاز، بتواند تمامی جریان کانال را به داخل ساختمان هرز آبرو منحرف نماید.

۳-۱-۴ محدودیت‌های بهره‌برداری دریچه هرز آبرو

مانور دریچه هرز آبرو باید طوری صورت گیرد، که پایین افتادن سطح آب کانال، در حد مجاز تعیین شده برای پایداری بدنه، پوشش و ساختمان‌های تبعی کانال باشد. به‌طورکلی، برای جلوگیری از گسیختگی بدنه یا پوشش کانال (به علت وجود فشار هیدرواستاتیک در بدنه یا پوشش کانال)، سطح آب کانال نباید بیش از ۱۵ سانتی‌متر در هر ساعت و یا ۳۰ سانتی‌متر در ۲۴ ساعت پایین انداخته شود.

۳-۱-۵ ضوابط طراحی هیدرولیکی هرز آبروها

طراحی هیدرولیکی ساختمان هرز آبرو بایستی با توجه به ظرفیت موردنیاز طبق بند ۳-۱-۲ و مشخصات تخلیه‌گاه هرزآبرو، با رعایت موارد زیر صورت گیرد.

۳-۱-۵-۱ سرریز جانبی

سرریز جانبی ساختمان هرزآبرو معمولاً در بالادست سازه تنظیم سطح آب و پایین‌دست محل‌های آبگیری از کانال در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۵-۱-۱ کلیات

سرریز جانبی، در بدنه کانال و به موازات محور آن در نظر گرفته می‌شود. وقتی سطح آب در کانال از لبه سرریز بالاتر رود، جریان‌های اضافی کانال به طور خودکار به داخل مجرای کناری تخلیه شده و از راه مجرای سرپوشیده یا روباز، به زهکش تخلیه‌کننده هدایت خواهد شد.

سرریزهای جانبی، اغلب در ترکیب با دریچه هرز آبرو به منظور امکان تخلیه تمامی جریان کانال طراحی می‌شود. سرریز جانبی، در تخلیه بذرها، علف‌های هرز، خاشاک یا قطعات یخ از جریان کانال، مؤثر است. در این رابطه، می‌توان با مانور دریچه ساختمان کنترل سطح آب پایین‌دست، سطح آب کانال را در محل سرریز جانبی بالا آورد و اجسام گفته شده را از روی سرریز تخلیه نمود.

در بعضی موارد برای راحتی تخلیه اجسام شناور به داخل هرز آبرو، الوار شناوری به طور مورب روی سطح آب کانال قرار می‌دهند. در چنین مواردی، استفاده از ساختمان‌های خروجی با مانع، برای مجراهای تخلیه پیشنهاد نمی‌شود. شکل ۱ نوع ساختمان سرریز جانبی را نشان می‌دهد.

۳-۱-۵-۱-۲ ضوابط طراحی

در طراحی سرریز جانبی، ملاحظات و پیشنهادهای زیر باید مورد توجه قرار گیرد. ظرفیت این سرریزها بر مبنای‌ضوابطی که ارائه خواهد شد تعیین می‌گردد.

الف – تاج سرریز :

تراز لبه سرریز در کانال‌های با پوشش بتنی در حدود ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ متر، متناسب با ظرفیت کانال و با توجه به شرایط رسوب‌گذاری و همچنین شرایط اقلیمی، از نظر سرعت و جهت باد در بالای سطح کنترل آب در کانال در نظر گرفته می‌شود تا از تلفات سرریزی آب در هنگام ایجاد موج، جلوگیری شود. برای مطمئن شدن از سرریز نکردن جریان از بازوهای خاکی کانال، میزان بالا آمدن سطح آب در قسمت فضای آزاد مقطع به میزان ۵۰ درصد فضای آزاد[1] پوشش کانال یا ۲۵ درصد فضای آزاد خاکریز کانال در کانال‌های بدون پوشش، محدود می‌گردد. شکل ۲، مقاطع تیپ ساختمان سرریز جانبی را نشان می‌دهد.

به‌هرحال، در شرایط اضطراری و عملکرد سرریز با ظرفیت کامل، استفاده از ۵۰ درصد کل فضای آزاد کانال در حوالی ساختمان هرز آبرو مجاز است.

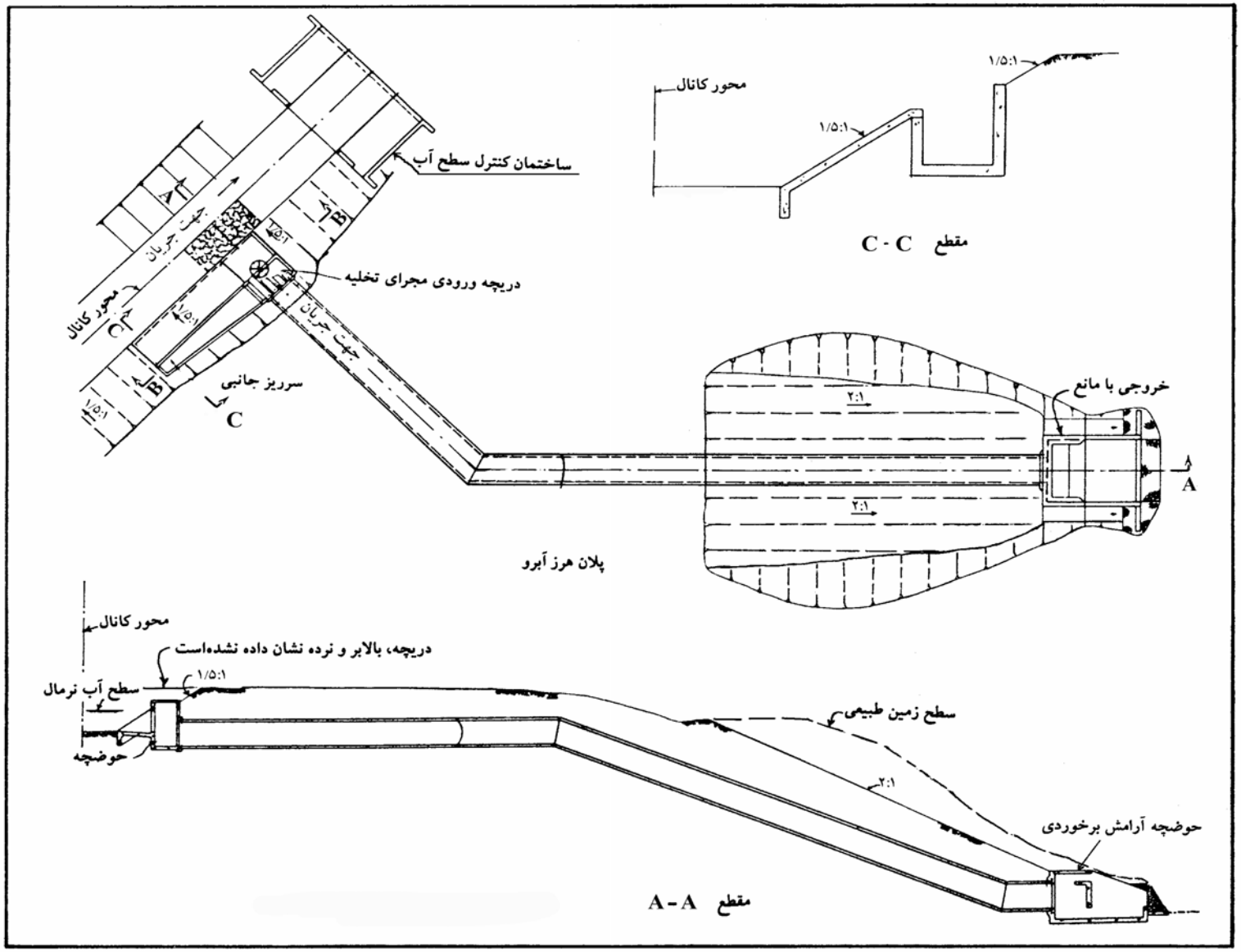
طول سرریز بر مبنای فرمول استاندارد سرریز راست گوشه با ضریب C، متناسب با شکل لبه آن تعیین خواهد شد.

ب – مجرای کناری:

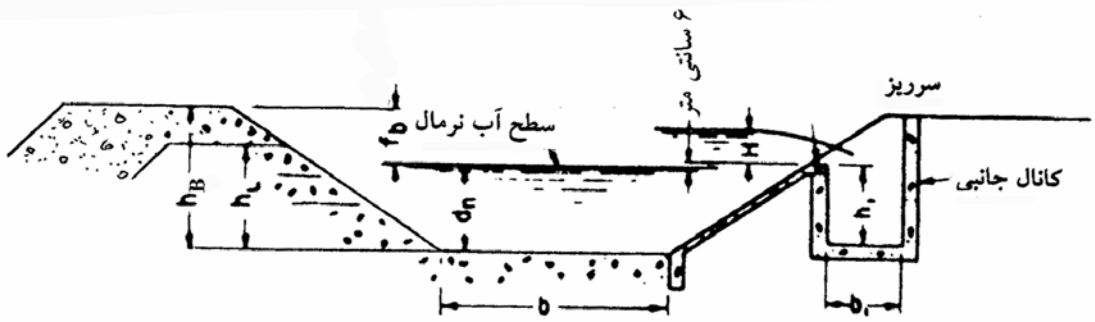
این مجرا، به‌طور معمول دارای مقطع عرضی راست گوشه می‌باشد. عرض، عمق و شیب این مجرا طوری در نظر گرفته می‌شود که حمل خاشاک و اجسام شناور را با جریان آزاد میسر نموده و در ضمن قابل اجرا نیز باشد. حداقل عرض این مجرا در بالادست ۰/۶ متر و به طور یکنواخت به طرف پایین‌دست تغییر می‌نماید. عرض مجرا در پایین‌دست برای بده‌های تا ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه، به میزان ۱ متر کافی بوده و برای بده‌های بیشتر، بر حسب مورد تعیین خواهد شد.

برای اطمینان از جریان آزاد از روی سرریز، سطح آب در این مجرا باید پایین‌تر از لبه سرریز باشد. این امر با در نظر گرفتن تراز کف در پایین‌دست مجرای کناری به اندازه ارتفاع انرژی مخصوص جریان به‌علاوه ۰/۳ متر پایین‌تر از لبه سرریز تأمین خواهد شد. با فرض جریان بحرانی در این محل، ارتفاع انرژی مخصوص برابر با عمق بحرانی به علاوه ارتفاع نظیر سرعت بحرانی ($d_c + h_{vc}$) می‌باشد که برای مجرای راست گوشه، معادل d_c ۱/۵ خواهد بود. بنابراین کمترین ارتفاع دیوار در پایین‌دست مجرا، برابر ۰/۳ + d_c ۱/۵ (برحسب متر) می‌تواند منظور شود.

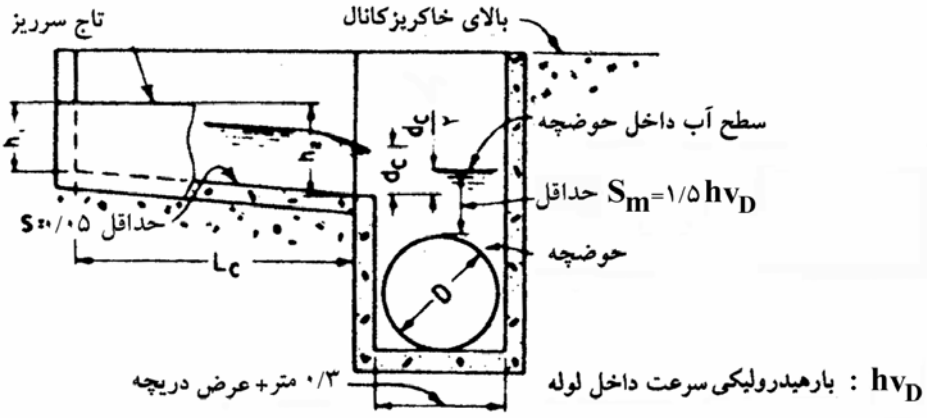
1 - Freeboard



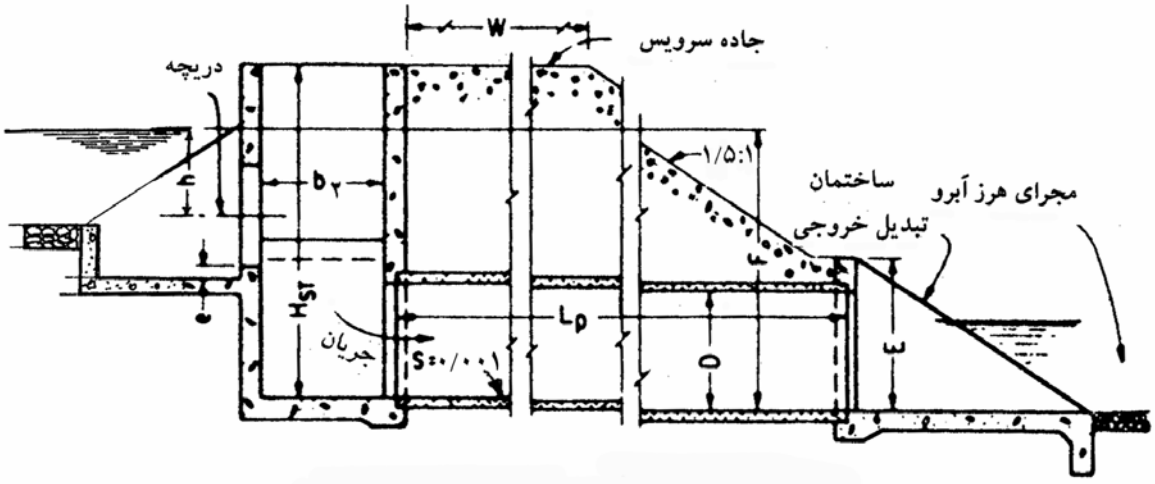
شکل ۱- نمونه ساختمان سرریز جانبی



کانال وسرریز



مجرای جانبی و حوضچه



مجرای تخلیه هرز آبرو و ساختمان خروجی

شکل ۲- مقاطع نمونه ساختمان سرریز جانبی

شیب کف مجرا طوری در نظر گرفته می‌شود که ایجاد جریان فوق بحرانی را به طرف حوضچه میسر سازد. چون جریان عرضی ورودی از روی سرریز، مانعی برای جریان در مجرا به‌حساب می‌آید و حجم جریان را بر اثر واردشدن هوا افزایش می‌دهد، بنابراین شیب کف باید بیش از شیب بحرانی پیش‌بینی شود. در نظر گرفتن شیب ۵ درصد برای کف مجرای کناری مناسب خواهد بود. در این صورت ارتفاع دیوار بالادست مجرا (h_1) از رابطه ۱-۱ محاسبه می‌شود.

$$h_1 = h_2 - 0/05L \qquad (۱-۱)$$

که در آن:

L = طول سرریز برحسب متر،

h_1 = ارتفاع دیوار بالادست برحسب متر، و

h_2 = ارتفاع دیوار پایین‌دست مجرای کناری برحسب متر.

پ - دریچه هرز آبرو :

دریچه هرز آبرو، اغلب در حالتی که امکان تخلیه کانال در نظر باشد، به کار گرفته می‌شود. در چنین حالتی، ظرفیت دریچه باید طوری پیش‌بینی شود که هنگام تخلیه کانال، هیچ‌گونه سرریزی جریان از ساختمان کنترل سطح آب پایین‌دست و یا از سرریز جانبی صورت نگیرد.

با توجه به اینکه تخلیه کامل کانال به‌ندرت ضرورت می‌یابد، می‌توان برای محاسبه سطح دریچه هرز آبرو، در صورت وجود شرایط هیدرولیکی لازم، سرعت جریان در مقطع دریچه را تا ۳ متر برثانیه در نظر گرفت. ارتفاع هیدرولیکی لازم برای تعیین ابعاد دریچه، با به‌کارگیری فرمول روزنه به شکل زیر خواهد بود:

$$Q = CA\sqrt{2gh} \quad ; \quad h = \frac{Q^2}{2gA^2C^2} \qquad (۲-۱)$$

و یا

$$h = \frac{v^2}{2gC^2} \qquad (۳-۱)$$

در رابطه‌های بالا:

Q = بده تخلیه دریچه برحسب متر مکعب بر ثانیه،

h = ارتفاع هیدرولیکی برحسب متر در بالادست دریچه،

C = ضریب فشردگی دریچه[۱]،

v = سرعت جریان در مقطع دریچه برحسب متر بر ثانیه،

A = سطح مقطع بازشدگی دریچه برحسب مترمربع، و

g = شتاب ثقل در سیستم متریک.

۱- برای تعیین دقیق ضریب C، به استاندارد ضوابط هیدرولیکی طراحی ساختمان‌های تنظیم سطح آب و آبگیرها در کانال‌های روباز مراجعه شود.

با در نظر گرفتن ضریب C برابر ۰/۶ و سرعت جریان برابر ۳ متر بر ثانیه در فرمول بالا، ارتفاع هیدرولیکی لازم برابر ۱/۳ متر به‌دست می‌آید. در این حالت، محور دریچه باید ۱/۳ متر زیر سطح نرمال آب در کانال قرار داده شود. به‌هر حال، برای جلوگیری از عمیق شدن سازه و کاهش مشکل تخلیه مواد رسوبی در شرایط وجود مواد معلق رسوبی در جریان کانال، پیشنهاد می‌شود که تا حد امکان، محور دریچه پایین‌تر از کف کانال قرار داده نشود. با توجه به این‌موارد، مقدار ارتفاع هیدرولیکی، حداکثر به عمق نرمال آب در کانال محدود می‌گردد.

ت – حوضچه:

برای حفظ شرایط جریان آزاد از دریچه و مجرای جانبی، کف حوضچه باید تا حدی پایین درنظر گرفته شود که سطح آب از محور دریچه بالاتر قرار نگیرد و همچنین کف مجرای جانبی نیز به میزان معینی (حداکثر نصف عمق بحرانی جریان در انتهای مجرای جانبی) بالاتر نباشد.

در حالتی که جریان حوضچه از طرفین مجرای لوله‌ای یا صندوقه‌ای تخلیه می‌شود، باید به منظور تأمین ارتفاع نظیر سرعت در لوله، (hv_p) و افت هیدرولیکی در قسمت ورودی لوله (۰/۵ hv_p)، میزان استغراق لوله حداقل برابر ۱/۵ hv_p در نظر گرفته شود.

ث – مجرای تخلیه:

اغلب، در ساختمان‌های هرز آبرو، مجرای لوله‌ای یا صندوقه‌ای از حوضچه به طرف ساختمان خروجی درنظر گرفته می‌شود. حداقل قطر مجرای لوله برای راحتی عبور خاشاک یا اجسام شناور، برابر ۰/۶ متر می‌باشد.

در حالتی که خروجی هرز آبرو به صورت ساختمان تبدیل باشد، قطر لوله را می‌توان براساس سرعت جریان تا ۲/۵ متر بر ثانیه تعیین نمود. برای راحتی تخلیه و همچنین جلوگیری از ایجاد جریان فوق بحرانی، شیب لوله در حدود ۱ در هزار در نظر گرفته می‌شود.

اگر لوله به ساختمان خروجی با مانع منتهی شود، قطر لوله براساس حداکثر سرعت جریان۳ متر برثانیه تعیین خواهد شد. در این حالت، شیب لوله ممکن است تا میزان ۰/۵ در ۱ تا ۱ در ۱ (عمودی به افقی) منظور گردد، به شرط آنکه سایر ملاحظات طراحی منظور گردد.

ج – ساختمان خروجی هرز آبرو:

تیپ ساختمان خروجی هرز آبرو به وضعیت توپوگرافی بستگی داشته و در محل‌هایی که اختلاف سطح آب در کانال و زهکش تخلیه کننده قابل ملاحظه باشد، برای اتلاف انرژی باید از شیب‌شکن لوله‌ای، خروجی با مانع، شیب‌شکن با مانع و یا حوضچه آرامش استفاده شود. در غیر این صورت می‌توان از ساختمان تبدیل یا سازه مناسب دیگری به‌منظور حفاظت بدنه زهکش تخلیه‌کننده در مقابل فرسایش استفاده نمود.

چ - نفوذ آب:

چون به‌طور معمول سطح آب در کانال‌ها نسبت به کف زهکش‌های تخلیه‌کننده به مقدار قابل ملاحظه‌ای بالاتر می‌باشد، بنابراین مسئله تراوش آب به طرف ساختمان خروجی از داخل خاک و یا در طول جدار سازه مطرح خواهد بود. بنابراین برای جلوگیری از وقوع پدیده حرکت ذرات خاک[1]، پیشنهاد می‌شود که برای افزایش طول خزش، به تعداد و ابعاد موردنیاز، دیواره آب‌بند[2] برای لوله یا مجاری تخلیه صندوقه‌ای درنظر گرفته شود.

ح - حفاظت:

برای تعیین نوع حفاظت قسمت خروجی و همچنین دهانه ورودی مجرای هرزآبروها، پیشنهاد می‌شود به بحث مربوط به حفاظت در مقابل فرسایش مراجعه شود.

۳-۱-۵-۲ *ساختمان هرز آبرو دریچه‌ای*

ساختمان‌های هرزآبرو مجهز به مجرای دریچه‌دار تخلیه جریان با توجه به ظرفیت کانال، شرایط بهره‌برداری و نوع تجهیزات بالادست (مثلاً وجود ایستگاه پمپاژ) پیش‌بینی می‌گردد.

الف - موارد استفاده:

در صورت نیاز به تخلیه جریان اضافی و یا تخلیه کامل یا بخشی از جریان کانال، ساختمان هرز آبروی دریچه دار با ساختمان سرریز جانبی یا سرریز سیفونی به طور همراه در نظر گرفته می‌شوند.

کانال‌های بدون ورودی زهکش، کانال‌های مجهز به تأسیسات کنترل جریان به‌صورت خودکار یا کنترل از راه دور و کانال‌های با ظرفیت کافی برای ذخیره‌سازی یا عبور جریان اضافی ورودی بدون بروز خسارت به سیستم، ضرورتی به داشتن سرریز تخلیه اضطراری ندارند.

این تیپ هرز آبروها، با امکان تخلیه قسمتی یا تمامی جریان، ایمنی کانال را در هنگام شکستگی بدنه یا وجود خطر شکستگی تأمین می‌کند. برای رسیدن به چنین هدفی، اغلب یک ساختمان کنترل سطح آب در پایین‌دست این ساختمان در مسیر کانال در نظر گرفته می‌شود.

این ساختمان، عمل تخلیه کامل کانال را در انتهای فصل آبیاری و یا برای مواقع بازرسی، امکان‌پذیر می‌سازد. به‌طور معمول، شیارهای فرازبند در بالادست دریچه این ساختمان برای امکان انجام عملیات نگهداری یا تعمیر دریچه‌ها (بدون آنکه کانال تخلیه گردد) در نظر گرفته می‌شود. دریچه این ساختمان، ممکن است به صورت دستی، خودکار و یا کنترل از راه دور عمل کند.

---

1 - Piping
2 - Collars of Cut Off

ب – ظرفیت:

این ساختمان‌ها، اغلب قادر به تخلیه تمامی جریان کانال و نیز جریان زهکش‌های ورودی می‌باشند. ارتفاع هیدرولیکی در بالادست دریچه‌های این ساختمان، معادل عمق آب نرمال کانال به علاوه ارتفاع آزاد منظور شده برای استقرار تاج سرریز ساختمان تنظیم سطح آب[1] پایین‌دست (حداقل ۵ سانتی‌متر برای کانال‌های با ظرفیت کمتر از ۳ متر مکعب بر ثانیه، تا حداکثر ۱۵ سانتی‌متر برای کانال‌های با ظرفیت بیش از ۱۰ مترمکعب بر ثانیه) در نظر گرفته می‌شود.

پ– تیپ دریچه‌ها:

در حال حاضر، دریچه‌های کشویی با تیپ‌های مختلف برای تنظیم ارتفاع هیدرولیکی، برای نیازمندی‌های بهره‌برداری موجود می‌باشد. دریچه‌های کشویی، اغلب برحسب ارتفاع هیدرولیکی جلوی آنها، ممکن است با (یابدون) پشت‌بند[2] باشند.

در مواردی که دریچه در جلوی مجرای لوله‌ای یا صندوقه‌ای[3] قرار می‌گیرد، در نظر داشتن مجرای تخلیه هوا در پایین‌دست دریچه الزامی است.

اغلب، برای بده‌های کم (کمتر از ۵ تا ۶ مترمکعب بر ثانیه)، دریچه‌های قطاعی درنظر گرفته نمی‌شود. به هر حال، یکی از مزیت‌های دریچه‌های قطاعی نسبت به دریچه‌های کشویی، این است که با امکان مانور آنها تا بالای سطح آب، مواد شناور و قطعات یخ را می‌توان از مجرای هرز آبرو تخلیه نمود.

با در نظر گرفتن فضای آزاد حدود ۰/۰۵ تا ۰/۱۰ متر برای دریچه، می‌توان بدون سرریزی آب در هنگام امواج کوچک، امکان سرریزی جریان اضافی کانال از روی دریچه را فراهم نمود. دریچه‌های قطاعی به کار رفته درساختمان‌های هرز آبرو، به نوارهای آب بند لاستیکی مجهز بوده که در مقابل سایش با صفحات فلزی نصب شده دردیوارها و کف مجرا برای آب‌بندی، بهتر مقاومت می‌کنند.

ت – شرایط هیدرولیکی:

ورودی : این گونه ساختمان‌ها، اغلب در قسمت ورودی، برای هدایت جریان به طرف دهانه دریچه دارای ساختمان تبدیل می‌باشند. آستانه دریچه، به‌طور معمول برای راحتی تخلیه کامل کانال، کمی پایین‌تر از کف کانال (حداقل ۰/۰۵ متر) در نظر گرفته می‌شود.

افت هیدرولیکی ورودی، تابع اختلاف ارتفاع نظیر سرعت (Δhv) بوده و به‌طور معمول برابر Δhv ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. اختلاف ارتفاع نظیر سرعت در ساختمان‌های تبدیل واقع در مسیر کانال، برابر $hv_2 - hv_1$ می‌باشد، ولی برای ساختمان تبدیلی که در جهت عمود به محور کانال باشد، اختلاف ارتفاع نظیر سرعت برابر hv_2 در نظر گرفته می‌شود. زیرا سرعت جریان کانال

۱– منظور، تاج سرریزی است که همراه با ساختمان تنظیم سطح آب مجهز به دریچه کشویی یا قطاعی به‌کار گرفته می‌شود.

2 - Back Pressure Requirement

3 - Closed Conduit

در جهت ورودی هرز آبرو، برابر صفر فرض می‌شود. بنابراین با فرض افت هیدرولیکی ورودی برابر $0/5\ hv_2$، ارتفاع انرژی در محل دریچه برابر است با :

$$Es_2 = Es_1 + \Delta EL - 0/5\, hv_2 \qquad (۴-۱)$$

$$d_2 + hv_2 = d_1 + hv_1 + \Delta EL - 0/5\, hv_2 \qquad (۵-۱)$$

که در آن :

ΔEL = اختلاف تراز کف کانال با آستانه دریچه،

Es_1 = انرژی مخصوص بالادست برحسب متر،

Es_2 = انرژی مخصوص پایین‌دست برحسب متر،

d_1 = ارتفاع آب بالادست برحسب متر،

d_2 = ارتفاع آب پایین‌دست برحسب متر،

hv_1 = ارتفاع نظیر سرعت در بالادست دریچه، و

hv_2 = ارتفاع نظیر سرعت جریان در محل دریچه.

- دریچه کشویی :

محل نصب دریچه‌های کشویی، اغلب طوری درنظر گرفته می‌شود، که سطح آب بالادست بالاتر از لبه فوقانی دریچه باشد. در چنین شرایطی، ظرفیت تخلیه دریچه براساس فرمول روزنه، به شکل رابطه (۱-۲) محاسبه خواهد شد.

اگر در پایین‌دست دریچه جریان به حالت آزاد باشد، ارتفاع هیدرولیکی (h) موجود در بالادست دریچه در رابطه (۱-۲) برابر است با فاصله سطح آب تا محور دریچه، و در حالتی که دریچه در شرایط استغراق باشد، ارتفاع h برابراختلاف تراز سطح آب در بالادست و پایین‌دست دریچه خواهد بود. ضریب جریان (C) در رابطه (۱-۲) برای بده‌های کمتر از ۳ متر مکعب بر ثانیه برابر ۰/۶ در نظر گرفته می‌شود. بدیهی است برای بده‌های بیشتر، ضریب یاد شده متناسب با ابعاد و خصوصیات دریچه و شرایط هیدرولیکی جریان تعیین می‌شود*.

چون ساختمان هرز آبرو، اغلب در حالت بده حداکثر به‌ندرت استفاده می‌شود، اندازه دریچه براساس سرعت حداکثر، برابر ۳ متر بر ثانیه در حالت بازشدگی کامل دریچه تعیین می‌گردد. به‌هرحال، اگر ارتفاع هیدرولیکی لازم برای ایجاد چنین سرعتی موجود نباشد، ممکن است برای تخلیه بده موردنظر دریچه بزرگ‌تری به کار گرفته شود.

- دریچه قطاعی :

وقتی دریچه قطاعی نیمه باز باشد، میزان بده جریان عبوری براساس فرمول روزنه محاسبه می‌گردد. در حالتی که جریان آزاد در پایین‌دست دریچه برقرار باشد، همان طوری که در شکل (۳) نشان داده شده است، ارتفاع هیدرولیکی h در فرمول روزنه برابر

* برای تعیین دقیق ضریب C به استاندارد ضوابط هیدرولیکی طراحی ساختمان‌های تنظیم سطح آب و آبگیرها در کانال‌های روباز مراجعه شود.

با اختلاف ارتفاع سطح آب بالادست تا محور دریچه خواهد بود. اگر عمق آب پایین‌دست دریچه، لبه پایین دریچه را همان طور که در شکل (۴) نشان داده شده مستغرق نماید، در این حالت، ارتفاع هیدرولیکی مزبور برابر اختلاف سطح آب بالادست و پایین دریچه خواهد بود. ضریب جریان (C) برای دریچه‌های قطاعی برابر ۰/۷۲ در نظر گرفته می‌شود.

برای تخلیه حداکثر، لبه پایین دریچه‌های قطاعی، در بالای سطح آب قرار می‌گیرد. در این حالت، مقدار بده عبوری از دریچه، براساس رابطه سرریز به شکل زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q = CLH^{\frac{3}{2}} \qquad (۶-۱)$$

در رابطه (۱-۶)، مقدار H عمق آب بالادست است. اغلب برای سرریز لبه پهن و در شرایط جریان آزاد، ضریب C برابر با ۱/۷۰، به کار گرفته می‌شود. اگر جریان سرریز، در اثر عمق آب پایین‌دست به حالت نیمه مستغرق باشد، ضریب اصلاحی (n) به صورت زیر در رابطه (۱-۶) اعمال می‌گردد:

$$Q = CL\,(nh)^{1/5} \qquad (۷-۱)$$

مقدار ضریب اصلاحی (n) از جدول‌های هیدرولیکی مربوط به آن قابل استخراج است*.

چون هرز آبروها اغلب در حالت عبور بده حداکثر به‌ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه دریچه‌های قطاعی نیز براساس سرعت حداکثر برابر ۳ متر بر ثانیه در حالت بازشدگی کامل دریچه تعیین می‌گردد. حداقل عرض دریچه برابر $\frac{A}{d_2}$ در نظر گرفته می‌شود که در آن، A = سطح مقطع دریچه و d_2 = عمق جریان در بالادست دریچه می‌باشد.

منظور نمودن عرض اضافی برای این دریچه‌ها غیراقتصادی بوده و ممکن است در باز و بسته کردن دریچه مشکلاتی نیز ایجاد شود. در هر حال، عرض دریچه اغلب نباید از سه برابر ارتفاع دریچه بیشتر باشد. حداقل ارتفاع دریچه برابر است با عمق آب بالادست دریچه (dn) به علاوه مقدار e (پایین افتادگی آستانه دریچه) به علاوه حداقل ۱۰سانتی‌متر به عنوان ارتفاع آزاد یعنی $hg \geq dn + e + 0/10$ که hg حداقل ارتفاع دریچه است.

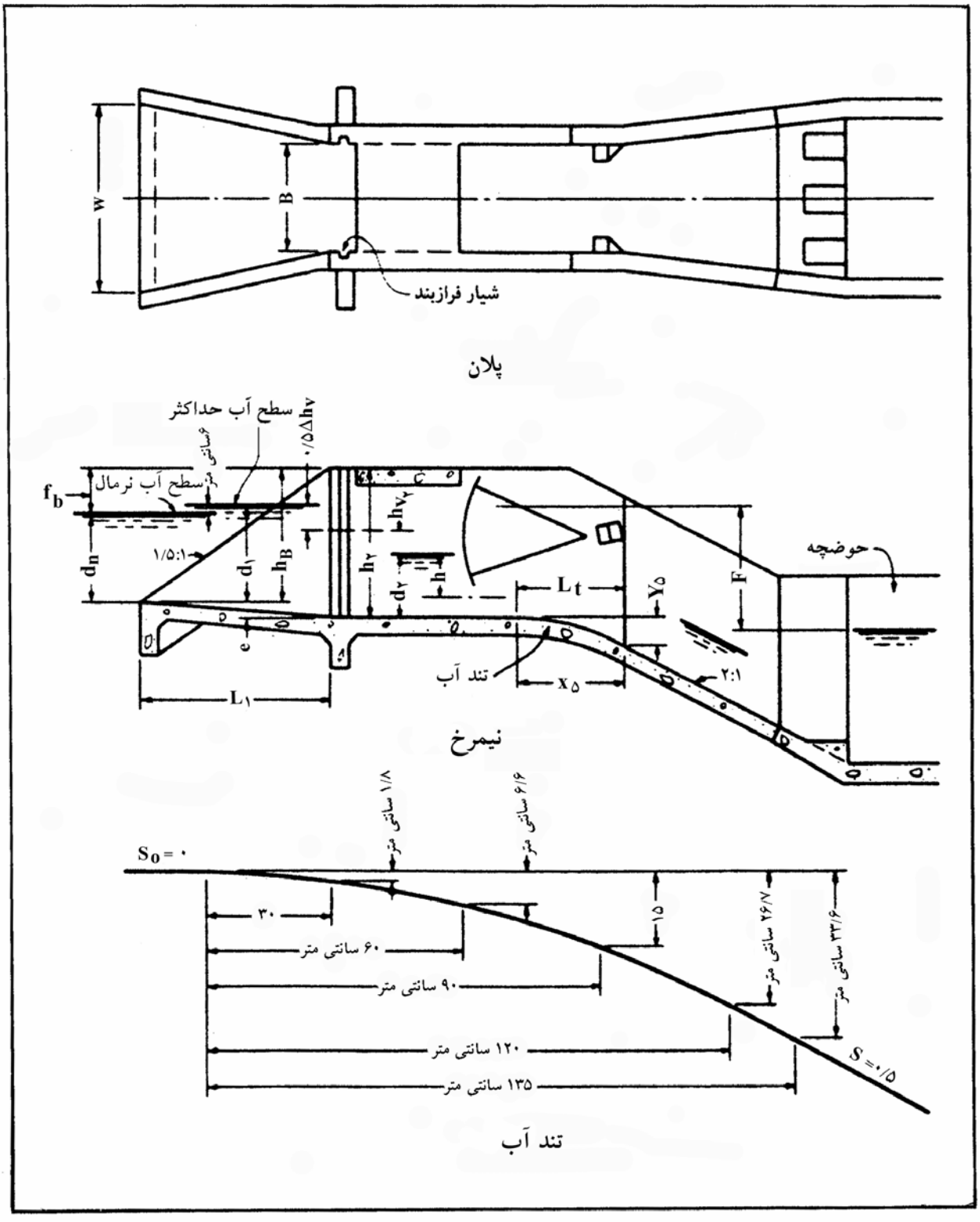
- منحنی ابتدای تندآب[1]:

وقتی دریچه به‌تدریج باز شود، پرش آب در زیر دریچه با سرعت زیاد برقرار خواهد شد. در حالتی که ساختمان تندآب (شوت[2]) در پایین‌دست آن است، جریان آب باید از طریق ساختمان تبدیل به شیب تندتر متصل شود. بدون چنین ساختمان تبدیلی، سرعت زیاد جریان باعث پرش و جدایی جریان از کف مجرا در ابتدای شیب شده و در نتیجه فشار منفی و ناپایداری جریان را به‌وجود خواهد آورد.

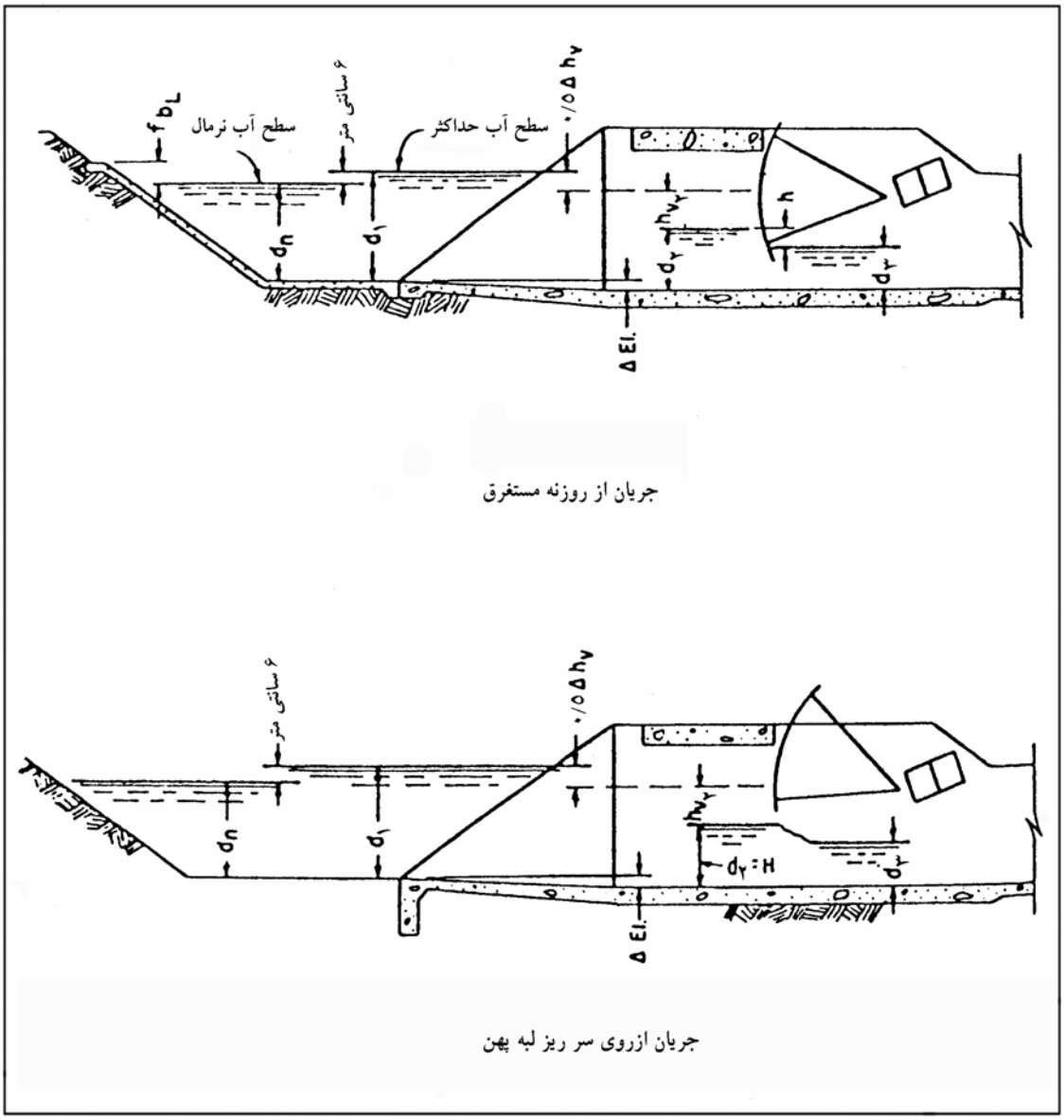
---

* جدول [۴] نشریه ۳۷ USBR

1 - Trajectory
2 - Chute



شکل ۳- ساختمان هرزآبرو با دریچه قطاعی (در حالت جریان آزاد)



شکل ۴- ساختمان هرز آبرو با دریچه قطاعی (در حالت جریان مستغرق)

برای جلوگیری از وقوع چنین شرایطی، برای تبدیل جریان از محل دریچه به شیب تندآب باید ساختمان تبدیل منحنی ابتدای تندآب باشد، طول این قسمت براساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$X^2 = 4HY \qquad (۸-۱)$$

که در آن :

X = فاصله افقی هر نقطه روی منحنی تا نقطه شروع منحنی،

Y = فاصله عمودی هر نقطه از منحنی تا نقطه شروع منحنی، و

H = ارتفاع اندازه‌گیری شده از حداکثر سطح آب در بالادست تا کف دریچه (بدون اعمال تلفات ارتفاع انرژی).

نیمرخ قسمت تندآب، ممکن است با نقطه‌یابی منحنی، تا تطابق شیب منحنی با شیب تندآب صورت گیرد. طول این قسمت، همچنین ممکن است با حل دیفرانسیلی رابطه بالا برای طولX، در نقطه‌ای که شیب منحنی برابر شیب تندآب می‌شود، محاسبه گردد. در حالتی که کف بالادست و پایین‌دست روی شیب باشند، بهتر است برای ساختمان تندآب از راه حل گفته شده استفاده گردد.

خروجی:

برای شرح خصوصیات ساختمان خروجی به بند (۳-۱-۳-۲) مراجعه شود.

بالابر دریچه‌های کشویی و قطاعی:

بالابرهای دستی :

این نوع بالابرها، شامل دسته، فلکه یا چرخ‌هایی هستند که برای باز و بسته کردن دریچه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. نسبت چرخ دنده‌ها به یکدیگر، با وزن دریچه و نیروی اصطکاکی ایجاد شده در اثر بار وارده از طرف آب به بدنه دریچه‌های کشویی و لاستیک‌های آب‌بندی دریچه‌های قطاعی متناسب خواهد بود. برای فراهم آوردن میزان بازشدگی مناسب دریچه در مواقع مانور بحرانی، باید از درنظر گرفتن نسبت‌های زیاد برای چرخ‌دنده‌ها پرهیز گردد. تا بدین وسیله، امکان گشودگی کافی دریچه در مدت زمان مناسب میسر گردد.

بالابرهای برقی:

دریچه‌های کشویی و قطاعی ممکن است به طور خودکار، کنترل از راه دور و یا در محل با قطع و وصل کلید برق (اگر نیروی برق موجود باشد یا از طریق دیزل ژنراتور تأمین گردد)، تنظیم شوند. سطح آب، به وسیله شناورها و یا میله‌هایی که باعث به حرکت در آمدن بالابرنده‌ها می‌شوند کنترل می‌گردد.

دریچه‌های خودکار هیدرولیکی:

دریچه‌های قطاعی خودکار هیدرولیکی، بدون به‌کارگیری نیروی خارجی و فقط از طریق نیروی شناوری که با بالاآمدن سطح آب افزایش می‌یابد کار می‌کند. برای کنترل سطح آب بالادست، بدنه دریچه دارای محفظه‌ای است که فشار بالابرنده از طرف آب به آن وارد شده و باعث بازشدن دریچه خواهد شد. در تعادل با وزنه‌های دریچه، متناسب با افزایش سطح آب بالادست، دریچه برای تخلیه جریان اضافی باز می‌گردد.

در این دریچه‌ها، امکان قطع کامل جریان به پایین‌دست وجود ندارد و بنابراین در مواردی به کار می‌روند که عبور جریان محدود از اطراف دریچه پذیرفته شده باشد.

سایر ملاحظات

- حفاظت: اقدامات حفاظتی برای کانال، در برابر فرسایش در محل ورودی و مجرای خروجی، در موارد نیاز مطابق مبحث حفاظت در مقابل فرسایش پیش‌بینی خواهد شد.
- نفوذ: باید از نفوذ اضافی آب از کانال به مجرای خروجی جلوگیری شود. در این مورد، پیشنهاد می‌شود به مبحث تراوش از زیر ابنیه فنی مراجعه شود.
- بهره‌برداری: در مورد محدودیت‌های مانور دریچه از نظر پایین بردن سطح آب در کانال، پیشنهاد می‌شود به بند (۳-۱-۴) مراجعه گردد.

۳-۱-۵-۳ سرریز سیفونی[1]

۳-۱-۵-۳-۱ تعریف و کاربرد

سرریز سیفونی، مجرای بسته‌ای است که قسمت بالایی آن تا سطح آب بالادست (سطح آب در کانال یا مخزن) و قسمت پایینی آن از لبه سرریز تا حوضچه پایین‌دست ادامه دارد (شکل ۵). همچنین این ساختمان، دارای یک هواگیر سیفون است که شامل لوله تخلیه هوا بوده و از روی سرریز تا سطح آب بالادست ادامه دارد (شکل ۵). حوضچه پایین‌دست سیفون، عمل از بین بردن انرژی اضافی را انجام می‌دهد.

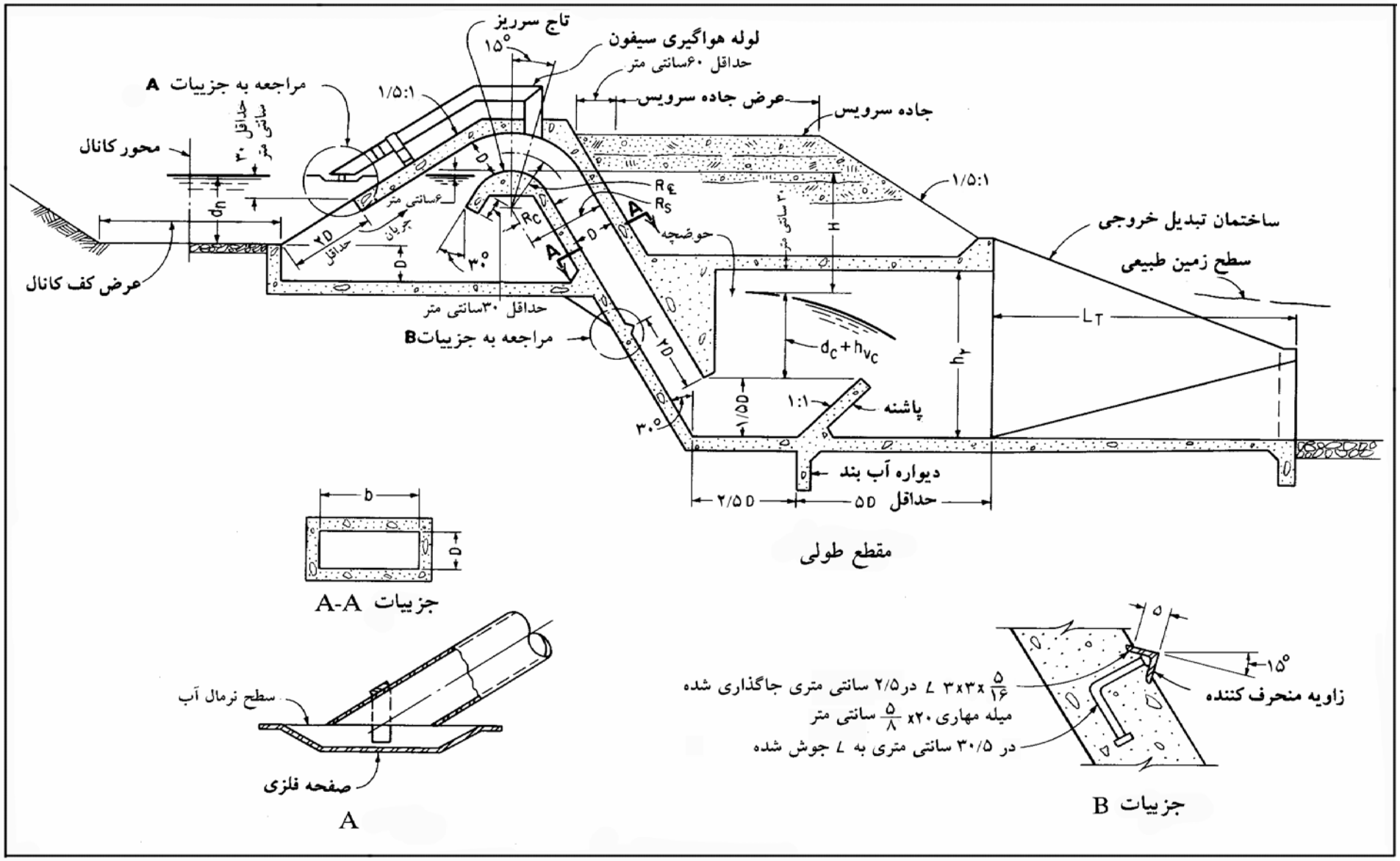
سرریزهای سیفونی، از نظر فشار هیدرواستاتیک دارای محدودیتی برابر فشار جو در محل می‌باشد. به همین دلیل، در بعضی موارد (سرریز سیفونی فشار کم) نامیده می‌شوند.

برخلاف ساختمان (سیفون معکوس)[2] که تحت فشار مثبت کار می‌کند، سرریز سیفونی، تحت فشار منفی عمل می‌نماید. سرریز سیفونی، پس از هواگیری اولیه، توانایی بالا کشیدن آب از روی تاج سرریز و تخلیه آن به تراز پایین‌تر را دارد.

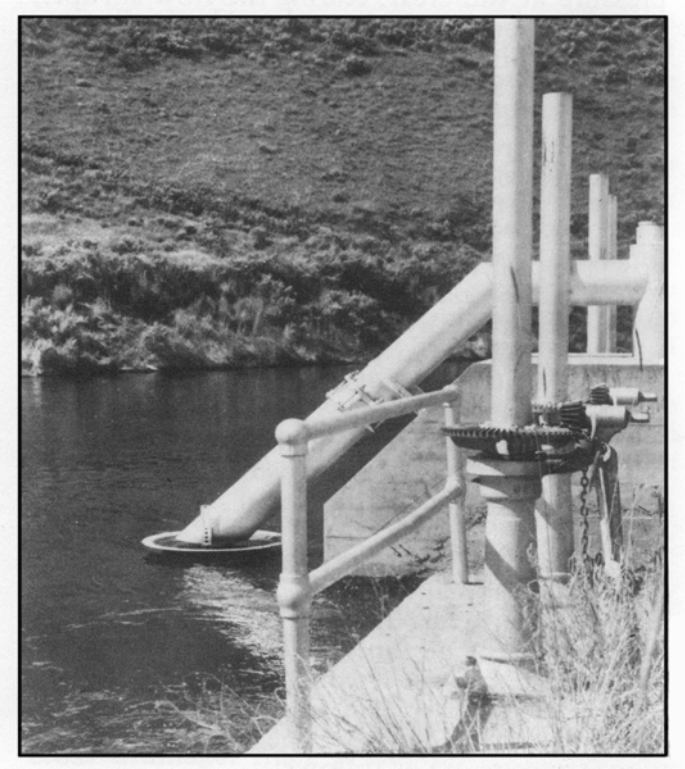
سرریز سیفونی، در تخلیه سریع حجم زیادی از آب کانال مؤثر بوده، و ممکن است در مقایسه با مجرای هرز آبرو، به‌علت قالب‌بندی‌ها دارای هزینه ساختمانی بیشتری باشد. به‌هرحال در محل‌هایی که برای احداث سرریز با جریان آزاد فضای کافی وجود نداشته باشد، سرریز سیفونی با عرض نسبتاً کم مناسب خواهد بود.

عملکرد خودکار سرریز سیفونی، به کارگیری متناوب وسایل دستی در ساختمان‌های کنترل واقع در طول کانال را از بین خواهد برد. امتیاز برجسته سرریز سیفونی، عبارت است از قدرت تخلیه حجم قابل ملاحظه آب در اثر بالا رفتن مقدار ارتفاع کم سطح آب در کانال یا مخزن می‌باشد.

1 - Siphon Spillway
2 - Inverted Siphon



شکل ۵- مقطع تیپ سرریز سیفونی



شکل ۶- ساختمان سرریز سیفونی

۳-۱-۵-۳-۲ عملکرد

در شرایطی که سطح آب در کانال، به علت ورود جریان‌های اضافی یا بهره‌برداری نامناسب به تدریج افزایش یابد، این ساختمان، به صورت سرریز تخلیه عمل خواهد کرد. اگر بالا آمدن سطح آب کانال ادامه یابد، جریان عبوری از سرریز سیفونی به حدی می‌رسد که سرعت جریان، باعث هواگیری سیفون می‌شود و با سیفونی شدن جریان، سطح آب کانال به سرعت پایین آمده و عمل سیفونی قطع می‌گردد. برای امکان تخلیه سیفون با بده طراحی، ضروری است هواگیری سیفون به طور کامل صورت گیرد، بدین معنی که تمام هوا باید از مجرای سیفون تخلیه گردد تا جریان در سطح مقطع مجرا به طور کامل برقرار شود.

هواگیری، هنگامی شروع می‌شود که عبور جریان از روی سرریز صورت گرفته و در داخل قسمت پایینی مجرا، سرعت جریان به حدی برسد تا مخلوط آب و هوا را به خارج تخلیه نماید. برای راحتی اختلاط هوا و آب، یک زائده منحرف‌کننده در کف قسمت مجرای پایینی نصب می‌گردد تا موجب جدایی تیغه آب از کف و پاشیدن آب به سقف مجرا گردد.

هواگیری کامل سیفون، هنگامی اتفاق می‌افتد که تخلیه هوا از مجرا به‌طور کامل صورت گرفته و فشار روی سرریز از فشار هوا کمتر شود. با یکبار هواگیری کامل سیفون، عملکرد سیفونی ساختمان تا زمانی که سطح آب کانال پایین‌تر از ورودی لوله دارای عملکرد غیر سیفونی قرار گیرد ادامه خواهد داشت. در این موقعیت ، هوا وارد مجرای ورودی سیفون شده، فشار اتمسفر در تاج سرریز برقرار می‌گردد و جریان سیفون به سرعت قطع خواهد شد.

یکی از معایب به کارگیری سرریز سیفونی در کانال‌های کوچک، پایین افتادن ناگهانی سطح آب در کانال است که موجب پس‌زدگی و ایجاد موج[1] می‌شود. این پدیده‌ها ممکن است با عملکرد ناگهانی هواگیری و قطع جریان سیفونی همراه گردد. این پدیده‌ها، تنظیم دریچه آبگیرها را برهم زده و ممکن است باعث فرسایش کانال پایین‌دست نیز بشود.

۳-۱-۵-۳-۳ متعلقات

برای امکان تخلیه کامل کانال، ساختمان سرریز سیفونی همراه با مجرای هرز آبرو مجهز به دریچه‌های کشویی یا قطاعی در نظر گرفته می‌شود. چنین ترکیبی در شکل (۷) نشان داده شده‌است. اغلب، یک ساختمان کنترل سطح آب، در نزدیکی پایین‌دست این ساختمان در کانال پیش‌بینی می‌شود تا انحراف تمامی جریان کانال به داخل هرز آبرو میسر باشد.

شکل ۷- کلاهک سرریز سیفونی در چپ، دریچه قطاعی هرز آبرو در مرکز و بالابرنده دریچه قطاعی سازه تنظیم سطح آب در طرف راست تصویر

۳-۱-۵-۳-۴ ملاحظات طراحی

الف - کلیات

مطالب شرح داده شده در این قسمت، مربوط به طرحی از سرریز سیفونی است که در شکل (۵) نشان داده شده و شامل یک قطعه مجرای مستقیم در پایین‌دست تاج سرریز می‌باشد. مزایای این نوع ساختمان سیفون را، به شرح زیر می‌توان بیان کرد:

- ثابت بودن نسبی ظرفیت تخلیه،

---

1 - Bore Waves

- کاهش زمان هواگیری،
- تحقق هواگیری با ارتفاع هیدرولیکی کمتر، و
- سهولت اجرا و در نتیجه اقتصادی‌تر بودن.

ب – ظرفیت

مجرای این سازه با سطح مقطع نسبتاً کوچک، می‌تواند بده قابل ملاحظه‌ای را تحت تأثیر اختلاف زیاد ارتفاع هیدرولیکی تخلیه نماید. بده جریان سیفون براساس فرمول روزنه و رابطه جریان قیفی شکل ۳۱ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$q = CD\sqrt{2gH} \le R_c\sqrt{0/7(2g)}.\log\frac{R_s}{R_c} \qquad (۹-۱)$$

که در آن:

q = بده تخلیه در واحد عرض،

D، H، R_c، R_s = اندازه‌هایی هستند که در شکل (۵) نشان داده شده است،

C = ضریب تخلیه جریان در فرمول روزنه که مقدار محافظه‌کارانه آن در این سازه برابر ۰/۶ در نظر گرفته می‌شود، و

h = برابر فشار اتمسفر در محل. ضریب ثابت ۰/۷ برای اطمینان بیشتر برای فشار زیر اتمسفر اعمال می‌گردد.

پ – ارتفاع هیدرولیکی

ارتفاع هیدرولیکی مورد عمل (H)، که نباید از h فشار اتمسفر در محل تجاوز نماید. ارتفاع معادل فشار اتمسفر h براساس ارتفاع محل تعیین می‌شود.

ساختمان بتنی سرریز سیفونی، باید در مقابل فشار منفی داخلی معادل H به علاوه سایر نیروهای وارده، ایستایی داشته باشد.

ت – ورودی

سطح مقطع روزنه ورودی، حداقل دو برابر سطح مقطع گلویی مجرا خواهد بود. سطح آب نرمال کانال باید حداقل برابر $1/5\ hv_o$ به‌علاوه ۱۵ سانتی‌متر و یا حداقل ۳۰ سانتی‌متر (هر کدام که بیشتر باشد) بالای روزنه ورودی را مستغرق نماید. hv_o برابر ارتفاع نظیر سرعت در روزنه می‌باشد.

ث – تاج سرریز

تاج سرریز، حدود ۶ سانتی‌متر بالای سطح آب نرمال کانال قرار داده خواهد شد. در بعضی موارد، سرریز قابل تنظیم به‌کار گرفته می‌شود، بنابراین ممکن است آثار نامطلوب بر هواگیری را سبب شود. برای تأمین ضریب تخلیه مناسب، نسبت $\frac{R_Q}{D}=0/2$ پیشنهاد می‌شود (شکل ۵).

ج - گلویی[1]

برای راحتی اجرای این قسمت از ساختمان سرریز سیفونی و امکان عبور مواد شناور زائد، ارتفاع مجرا (D) (شکل ۵) حداقل برابر ۰/۶ متر و عرض سرریز (b) حداقل برابر ۰/۹ متر در نظر گرفته می‌شود.

اغلب برای جلوگیری از احداث دهانه‌های بزرگی که در معرض بارهای سنگین قرار می‌گیرند، به جای یک ساختمان با گلویی عریض، دو یا چند ساختمان در کنار هم در نظر گرفته می‌شود.

چ - قطعه پایینی مجرا

همان‌گونه که در شکل (۵) نشان داده شده‌است، زائده منحرف‌کننده‌ای (جزییاتB) در کف این قطعه از مجرا طوری طراحی شده که جهشی به جریان می‌دهد تا جریان در تمامی سطح مقطع تا سقف مجرا توسعه یابد. برخورد جریان با سقف مجرا و ایجاد تلاطم در حوضچه پایینی، به اختلاط هوا و آب کمک می‌کند. تلاطمی که بدین صورت ایجاد می‌شود، سبب تخلیه فوری هوا شده و عمل هواگیری شروع می‌شود.

سقف این قطعه، از مجرا تا حوضچه پایین‌دست ادامه دارد. قسمت انتهایی مجرا براساس شکل (۵) نوکدار بوده که سبب راحتی خروج حباب‌های هوا از مجرای سیفون می‌شود.

ح - هواگیر سیفون

محل هواگیر سیفون باید با دقت تعیین شود. اتصال لوله هواگیر سیفون به مجرای سرریز همان‌گونه که در شکل (۵) نشان داده شده، در نقطه‌ای بالای سرریز با زاویه ۱۵ درجه پایین‌دست محور عمودی سرریز واقع می‌گردد. نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد که حداکثر فشار منفی در این نقطه یا نزدیکی آن رخ می‌دهد. سطح مقطع لوله هواگیر سیفون، نسبت به سطح مقطع گلویی سرریز تقریباً برابر $\frac{1}{24}$ خواهد بود.

ابتدای لوله هواگیر سیفون، در تراز سطح آب نرمال کانال قرار داده می‌شود و برای امکان تنظیم دقیق آن، در این قسمت لوله غلاف (ماسوره) پیش‌بینی می‌شود. محل اتصال لوله غلاف، باید در مقابل عبور هوا غیر قابل نفوذ باشد تا ایجاد فشار منفی در مجرای سیفون به طور مطمئن صورت گیرد.

برای جلوگیری از پایین افتادن سطح آب کانال زیر سطح نرمال، طشتک کم عمقی در فاصله کمی از ورودی لوله هواگیر سیفون نصب می‌شود تا هواگیری را قطع کند (شکل ۵ جزییات A).

بدون طشتک، بعضی از لوله‌های هواگیر سیفون خود به صورت سیفون عمل کرده و با بالا کشیدن ستونی از آب، سبب می‌شوند که حتی با پایین افتادن سطح آب کانال به زیر تاج سرریز، عمل سیفونی سازه قبل از بروز پدیده سیفون‌شکنی ادامه یابد. بدین ترتیب، با نصب طشتک در شرایط کاهش جزیی سطح نرمال آب در کانال، عمل سیفون‌شکنی انجام خواهد شد (شکل ۵).

---

1 - Throat

خ - حوضچه

حوضچه پایین‌دست، با مستغرق کردن مجرای خروجی سیفون، از ورود مجدد هوا به مجرا جلوگیری می‌نماید. تراز پاشنه شیبدار، در امتداد تراز لبه بالایی مجرای خروجی سیفون خواهد بود.

سقف حوضچه، برای راحتی خروج هوا، به اندازه کافی با سطح آب در حوضچه فاصله خواهد داشت. با فرض اینکه کانال پایین حوضچه، شرایطی برای مستغرق کردن جریان از روی پاشنه را نداشته باشد، ارتفاع دیواره حوضچه همان طور که در شکل (۵) نشان داده شده، برابر ارتفاع جریان روی پاشنه به اضافه ارتفاع نظیر پاشنه و به علاوه ۰/۳ متر به عنوان فضای آزاد در نظر گرفته خواهد شد.

عرض حوضچه، برابر عرض گلویی بوده و حداقل برابر ۱ متر، برای ظرفیت‌های ۳ مترمکعب بر ثانیه و کمتر در نظر گرفته می‌شود.

د - تبدیل خروجی

به‌طور معمول، در حالتی که کانال پایین‌دست این سازه دارای مقطع مشخص (تعریف شده) باشد، ساختمان تبدیل‌خروجی بر همان اساس از نوع بال شکسته[1] و به صورت حوضچه آرامش طراحی می‌گردد. زاویه بازشدگی دیواره‌ها برابر ۲۵° برای هر طرف در نظر گرفته می‌شود.

ذ - حفاظت

برای تعیین نوع حفاظت در قسمت ورودی سازه در کانال‌های خاکی، پیشنهاد می‌شود به مبحث مربوط به حفاظت در مقابل فرسایش مراجعه گردد.

ر - نشت و آبشستگی

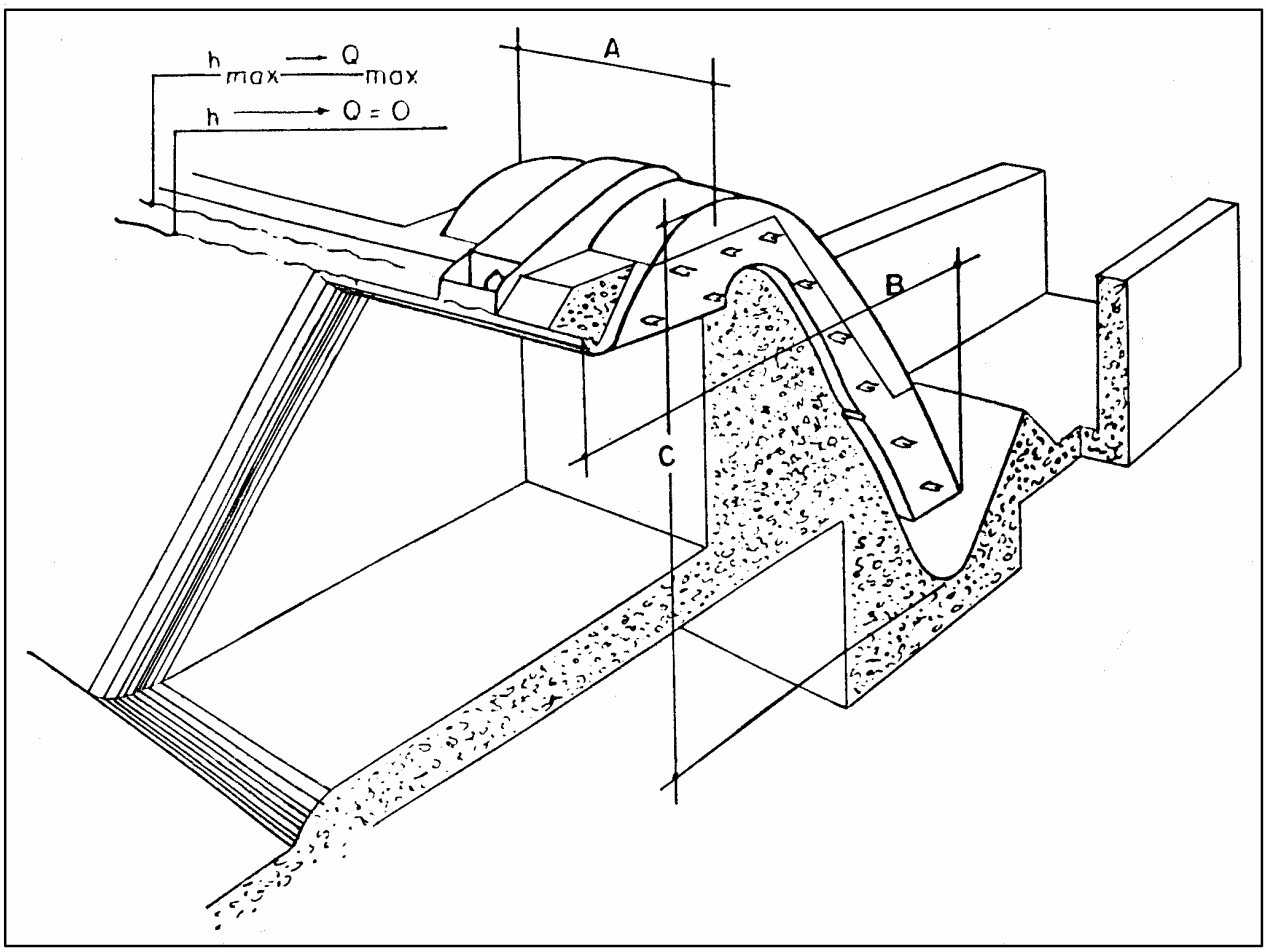
برای کنترل نفوذ و نشت آب از طرف بالادست سازه به کانال خروجی و آبشستگی، با استفاده از روش لین[2] یا روش‌های معتبر دیگر، طول خط تراوش محاسبه گردیده و در صورت لزوم به منظور جلوگیری از حرکت ذرات مصالح خاکی پی سازه دیواره آب‌بند[3] منظور خواهد شد. دیواره آب‌بند، اغلب در زیر پاشنه حوضچه (همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده) در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱-۵-۴ *ساختمان سیفون اضطراری*

نوع فلزی پیش‌ساخته سرریزهای سیفونی، که به نام سیفون اضطراری نامگذاری شده، در کانال‌های با ظرفیت نسبتاً کم قابل نصب می‌باشد.

---

1 - Broken Back
2 - Lanc
3 - Cut Off



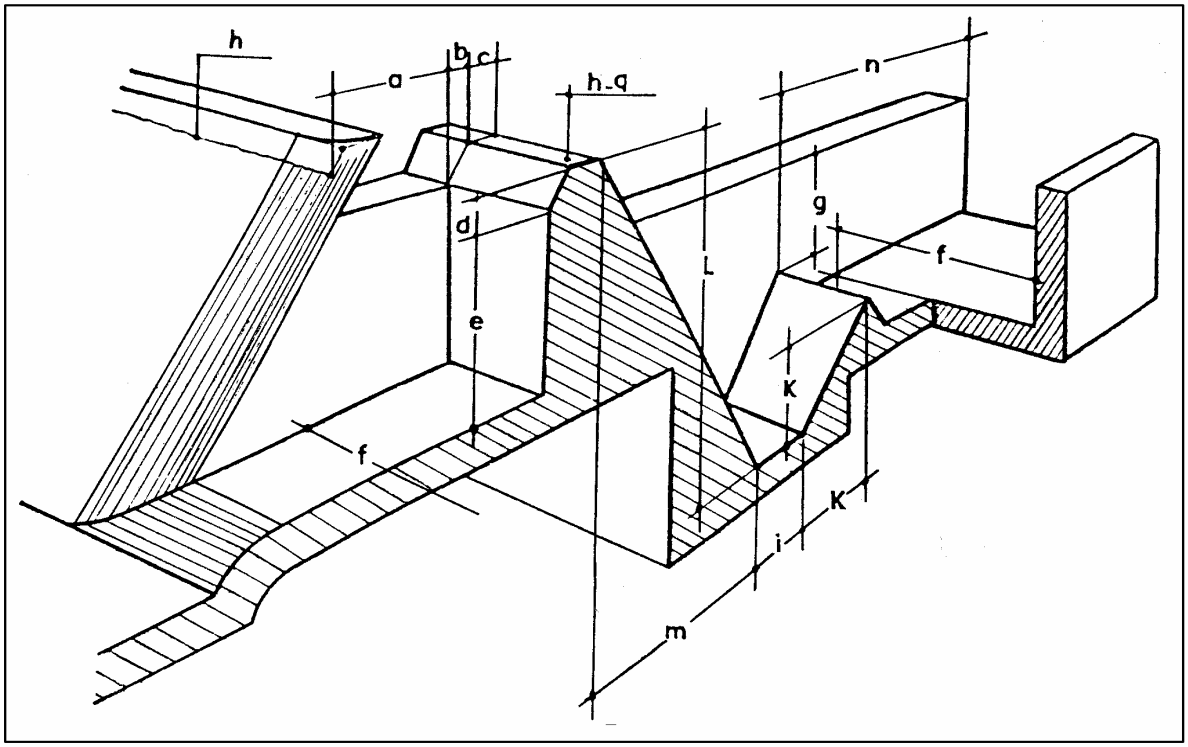
شکل ۸- مقطع تیپ ساختمان سیفون اضطراری

جدول (۱)، خصوصیات هیدرولیکی انواع ساختمان‌های گفته شده را نشان می‌دهد. عملکرد این سیفون‌ها نیز، مانند سرریزهای سیفونی بتنی می‌باشد. برای نصب آنها، باید عملیات سازه‌ای در دیواره جانبی کانال در محل‌های موردنظر، مطابق اندازه‌های ارائه شده در جدول (۲)، صورت گیرد.

جدول ۱- مشخصات هندسی اصلی سازه سیفون اضطراری

دامنه تغییرات سطح آب (cm)	ارتفاع گلویی (cm)	اختلاف سطح اب بالادست و پایین‌دست سازه (cm)	اندازه‌های کلی (cm)			ظرفیت تخلیه (Si) لیتر بر ثانیه
			C	B	A	
۲	۱۰	۴۰	۷۰	۸۳	۳۷/۵	Si – ۶۰
۴	۲۰	۱۰۰	۱۶۸	۱۵۵	۲۰	Si – ۱۲۵
۴	۲۰	۱۰۰	۱۶۸	۱۵۵	۲۷/۵	Si – ۱۸۰
۴	۲۰	۱۰۰	۱۶۸	۱۵۵	۳۸	Si – ۲۵۰
۴	۲۰	۱۰۰	۱۶۸	۱۵۵	۵۳	Si – ۳۵۰
۶	۳۵	۱۵۰	۲۶۵	۲۴۵	۳۵	Si – ۵۰۰
۶	۳۵	۱۵۰	۲۶۵	۲۴۵	۵۰	Si – ۷۰۰
۶	۳۵	۱۵۰	۲۶۵	۲۴۵	۷۰	Si – ۱۰۰۰
۶	۳۵	۱۵۰	۲۶۵	۲۴۵	۱۰۰	Si – ۱۴۰۰

اندازه‌ها برحسب سانتی‌متر است.



شکل ۹- شمای کلی سازه بتنی سیفون اضطراری (آماده نصب تجهیزات سیفون)

جدول ۲- ابعاد قسمت‌های بتنی سیفون اضطراری

ظرفیت تخلیه (Si) (تیپ سازه)	a	b	c	d	e حداقل	f	g	h	i	K	L	m	n حداقل	q
Si -۶۰	۲۲	۲/۵	۵	۵	۳۲	۴۵	۲۶	حداکثر تراز آب بدون سرریز	۱۳	۲۴	۶۲	۲۱	۶۰	۲
Si -۱۲۵	۵۱	۸	۱۷/۵	۱۷	۸۰	۳۰	۶۵		۲۳	۵۲	۱۴۶	۵۰	۱۵۰	۵
Si -۱۸۰	۵۱	۸	۱۷/۵	۱۷	۸۰	۳۷	۶۵		۲۳	۵۲	۱۴۶	۵۰	۱۵۰	۵
Si -۲۵۰	۵۱	۸	۱۷/۵	۱۷	۸۰	۴۸	۶۵		۲۳	۵۲	۱۴۶	۵۰	۱۵۰	۵
Si -۳۵۰	۵۱	۸	۱۷/۵	۱۷	۸۰	۶۳	۶۵		۲۳	۵۲	۱۴۶	۵۰	۱۵۰	۵
Si -۵۰۰	۸۲/۵	۱۲/۵	۲۴	۲۱	۱۲۰	۴۵	۱۰۰		۳۵	۸۵	۲۲۷	۸۰	۲۲۰	۷
Si -۷۰۰	۸۲/۵	۱۲/۵	۲۴	۲۱	۱۲۰	۶۰	۱۰۰		۳۵	۸۵	۲۲۷	۸۰	۲۲۰	۷
Si -۱۰۰۰	۸۲/۵	۱۲/۵	۲۴	۲۱	۱۲۰	۸۰	۱۰۰		۳۵	۸۵	۲۲۷	۸۰	۲۲۰	۷
Si -۱۴۰۰	۸۲/۵	۱۲/۵	۲۴	۲۱	۱۲۰	۱۰۰	۱۰۰		۳۵	۸۵	۲۲۷	۸۰	۲۲۰	۷

اندازه‌ها برحسب سانتی‌متر است.

۳-۱-۵-۵ ساختمان هرز آبرو با کنترل ورودی

۳-۱-۵-۵-۱ کلیات

برای تخلیه آب اضافی کانال به یک زهکش انتهایی، سازه‌های متشکل از کنترل‌کننده سطح آب با ورودی لوله‌ای و یا با شیب‌شکن مایل با کنترل ورودی، مناسب می‌باشد. این سازه‌ها دارای سرریزی هستند که به طور خودکار جریان‌های اضافی که در اثر عدم تطبیق آب ورودی به کانال و نیاز آبی ایجاد شده و یا آب اضافی ناشی از رگبارها و همچنین جریان ورودی زهکش‌ها را سرریز می‌نمایند، تخلیه کامل کانال می‌تواند با برداشتن تیرک‌های آب بند و یا باز نمودن دریچه صورت گیرد.

چون ندرتاً نیاز به تخلیه کانال می‌باشد، لذا به کارگیری تیرک آب بند همراه با کنترل سطح آب و ورودی لوله‌ای مناسب خواهد بود. بهرحال در صورتی که نشت آب ملاحظه شود، با مواد مناسب اطراف تیرک آب بند پوشش‌خواهد شد.

در مواردی که کنترل از راه دور و یا تنظیم متناوب سطح آب مورد نظر باشد دریچه کشویی یا قطاعی به کار گرفته می‌شود. در مورد بالابر این نوع دریچه‌ها قبلاً توضیح داده شده است.

قسمت کنترل سطح آب و لوله ورودی، به شیب‌شکن لوله‌ای و یا تنداب لوله‌ای متصل خواهد شد. همچنین ساختمان کنترل کننده سطح آب می‌تواند با شیب‌شکن مانع‌دار ترکیب مناسبی را جهت تخلیه زهکش انتهایی به یک مخزن با سطح آب متغیر ایجاد نماید.

۳-۱-۵-۵-۲ ضوابط طراحی

ساختمان هرز آبرو با کنترل ورودی، یا همراه با شیب‌شکن راست گوشه برای ظرفیت سرریزی برابر ظرفیت کانال طراحی خواهد شد. در حالت عبور بده طراحی از روی سرریز، بیش از نیمی از ارتفاع آزاد[1] کانال نبایستی اشغال شود.

برای سایر ضوابط طراحی به سایر نشریات طرح استاندارد مراجعه شود.

1 - Freebord

۴- سازه‌های تقاطعی

۴-۱ ملاحظات کلی

سازه‌های تقاطعی، برای هدایت رواناب‌های سطحی و هرز آب‌ها از طرف دامنه‌های بالادست به اراضی پایین‌دست، و به منظور حفاظت کانال در برابر این جریانات ساخته می‌شوند.

از آنجا که در اراضی دامنه‌ای، مسیر کانال به‌طور کلی در جهت خط تراز قرار می‌گیرد، از نظر اقتصادی، سازه تقاطعی در مسیل‌های طبیعی با حداقل طول طراحی می‌شود.

در تقاطع کانال آبیاری با مسیل‌ها، با توجه به ظرفیت کانال، مشخصات مسیل و خصوصیات کلی توپوگرافی ممکن است جریان کانال از طریق سازه سیفون، از زیر مسیل عبور داده شده و یا اینکه جریان مسیل از طریق سازه آبرو از زیر کانال عبور کند. در شرایطی که مسیل طبیعی وجود نداشته یا شرایط اقتصادی ایجاب نماید، ممکن است رواناب‌ها از طریق سازه روگذر[1] از روی کانال عبور داده شود و یا در حالت جریان‌های با بده نسبتاً کم به وسیله سازه ورودی زهکش[2] به داخل کانال عبور داده شود.

در مواردی که رواناب‌ها و هرزآب‌های متقاطع با کانال به صورت پراکنده در مسیر کانال قرار گیرند، اغلب این جریان‌ها به وسیله یک کانال زهکش انحرافی[3] موازی کانال جمع‌آوری و از طریق نزدیک‌ترین مسیل طبیعی به‌صورت آبرو یا سازه روگذر از کانال عبور داده می‌شود. در مواردی نیز ممکن است کانال به صورت سیفون طراحی شده و جریان‌های هدایت شده از روی سیفون عبور داده شود.

در انتخاب انواع سازه‌های تقاطعی، نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

الف- اگر یک کانال آبیاری با ظرفیت کم با یک مسیل طبیعی نسبتاً بزرگ تلاقی می‌نماید، اغلب از نظر اقتصادی‌کانال به صورت سیفون از زیر مسیل عبور داده می‌شود.

استفاده از سیفون در تلاقی با مسیل، به‌طور کلی شرایط مطمئن‌تری فراهم می‌کند زیرا دقت برآورد جریان‌مسیل در آن حالت، اثر تعیین‌کننده کمتری دارد.

ب- در شرایطی که بده کانال در مقایسه با ظرفیت مسیل خیلی بزرگ باشد، به‌طور معمول از نظر اقتصادی، مسیل به صورت آبرو از زیر و یا به صورت روگذر از رو عبور داده می‌شود و در مواردی که بده مسیل محدود بوده و مشکلاتی از نظر ورود رسوب وجود نداشته باشد، مهندس طراح با توجه به شرایط طرح و ملاحظات اقتصادی، ممکن است از سازه ورودی زهکش استفاده کند.

به طور خلاصه، با توجه به موارد گفته شده، انتخاب سازه تقاطعی باید با توجه به موارد زیر صورت گیرد:

- ظرفیت کانال و زهکش تقاطعی،
- مشخصات ابعاد مقطع کانال و شرایط توپوگرافی مسیل،

---

1 - Overchute Structure
2 - Drain – Inlet Structure
3 - Diversion Channel

- میزان مواد معلق و بار بستر در مسیل،
- شرایط هیدرولیکی کانال و وجود بار هیدرولیکی کافی برای جبران افت در سازه سیفون، و
- ملاحظات اقتصادی.

ساختمان‌های تقاطعی که در این مجموعه مورد توجه قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

- ساختمان آبرو زیرگذر،
- ساختمان‌های آبرو روگذر، و
- ساختمان‌های ورودی زهکش.

که به ترتیب، شرح داده می‌شوند:

۴-۲ ساختمان آبرو زیرگذر[1]

۴-۲-۱ *کلیات*

آبرو زیرگذر، به سازه‌ای گفته می‌شود که جریان‌های سطحی ناشی از رگبارها، آب‌های زهکشی، هرز آب‌های آبیاری، زه‌آب‌ها و سایر آب‌های اضافی را از زیر جاده، کانال یا سایر تأسیسات عبور داده و به مجرای روباز پیش‌بینی شده تخلیه نماید. آبروها به طور عمودی یا مایل (نسبت به جاده و کانال با مجرای لوله‌ای یا صندوقه‌ای) طراحی می‌شوند. باتوجه به حالت‌های مختلف جریان آب در آبروهای زیرگذر، شرایط هیدرولیکی پیچیده و متفاوت می‌تواند ایجاد گردد. به‌عنوان مثال جریان آزاد، تحت فشار و یا قسمتی آزاد و بخشی تحت فشار. آبروهای زیرگذر بسته به میزان بده عبوری، به‌صورت یک، دو یا چند مجرای بسته طراحی می‌شوند. آبروهای زیرگذر بر حسب شرایط هیدرولیکی جریان، از بالادست یا پایین‌دست کنترل خواهند شد. شکل (۱۰) تیپ مقطع طولی ساختمان آبرو زیرگذر را نشان می‌دهد.

از عوامل مهمی که باید در طراحی و ساخت آبروهای زیرگذر مورد توجه قرار گیرد، جنبه اقتصادی آن است، به طوری که باحداقل سطح مقطع مجرای آبرو زیرگذر بتوان جریان پیش‌بینی شده را عبور داد.

استفاده از مسیر زهکش (نهر) طبیعی، با ایجاد کمترین تغییرات در شرایط جریان، می‌تواند یکی از روش‌های کاهش هزینه باشد.

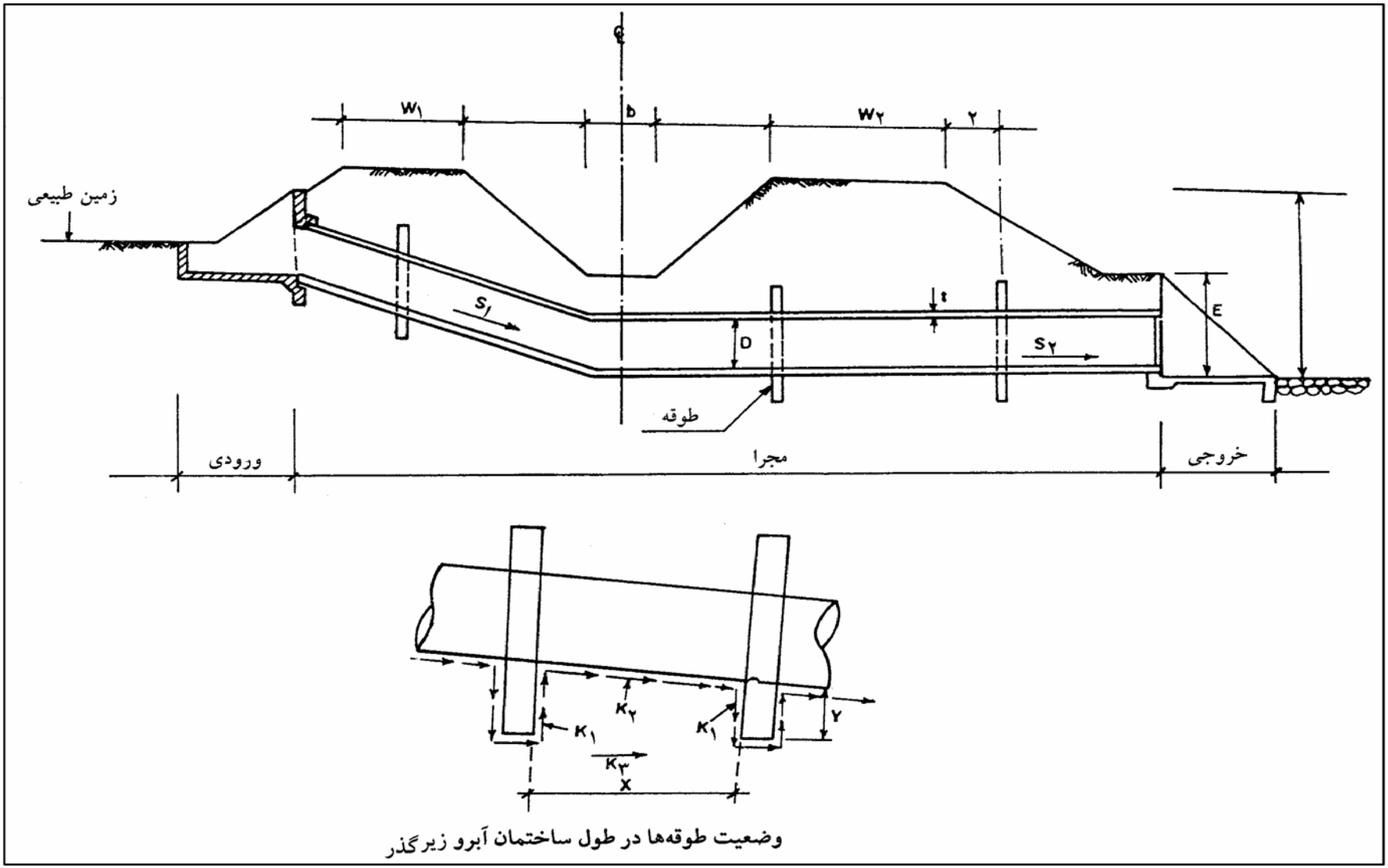
۴-۲-۲ *اجزای ساختمان آبرو زیرگذر*

اجزای ساختمان آبرو زیرگذر عبارت است از:

- ساختمان ورودی آبرو زیرگذر،
- مجرای آبرو زیرگذر، و
- ساختمان خروجی آبرو زیرگذر.

---

1 - Culvert



شکل ۱۰- تیپ مقطع طولی ساختمان آبرو زیرگذر

۴-۲-۲-۱ ساختمان ورودی

برای راحتی اتصال کانال، زهکش، مجرای طبیعی و غیره با آبروهای زیرگذر، و همچنین برای جلوگیری از فرسایش، بهبود شرایط هیدرولیکی، جلوگیری از نفوذ آب به زیر آبرو زیرگذر و شسته شدن مصالح پی، از ساختمان‌های ورودی استفاده می‌شود. این ساختمان‌ها، بسته به شرایط توپوگرافی، جنس بستر، ابعاد کانال یا مجرای طبیعی، میزان بده و شرایط هیدرولیکی می‌توانند در انواع مختلف طراحی شوند. به عنوان مثال، نوع ۱ ساختمان ورودی برای حالتی است که مجرای روباز متصل به آبرو زیرگذر، دارای مقطع مشخص و منظمی بوده و می‌توان با شکل دادن، آن را با آبرو زیرگذر منطبق نمود، در حالی که نوع ۲ برای مجاری روباز عریضی که شکل نامشخص نیز دارد مناسب است. از نظر جنس مصالح به کاررفته در ساختمان‌های ورودی، می‌توان آنها را به انواع بتنی، خاکی، سنگی و غیره تقسیم کرد که نوع خاکی آن، در شرایطی که سرعت آب ورودی ایجاد فرسایش نکند، می‌تواند کاربرد داشته باشد و در غیر این صورت، از انواع بتنی یا سنگی استفاده خواهد شد. از نظر چگونگی کنترل هیدرولیکی، ممکن است کنترل در ورودی یا خروجی آبرو زیرگذر باشد، که این مورد، در تعیین نوع ساختمان ورودی تأثیرگذار است. به طور کلی، می‌توان گفت که ساختمان‌های ورودی از انواع ساختمان تبدیل[1] می‌باشند که مشخصه هیدرولیکی و سازه‌ای مخصوص به خود داشته و چگونگی‌محاسبه و طراحی آن در مبحث مربوط بیان می‌گردد.

امروزه، استفاده از ساختمان‌های ورودی بتنی پیش‌ساخته، به خاطر راحتی اجرا و کارگذاری، اقتصادی بودن، سرعت اجرا و سایر امتیازاتی که نسبت به بتنی درجا دارد، بیشتر و متداول‌تر است.

۴-۲-۲-۲ مجرای آبرو زیرگذر

آبرو ممکن است به صورت لوله‌ای یا صندوقه‌ای طراحی و اجرا گردد. آبرو زیرگذر لوله‌ای ممکن است به صورت پیش‌ساخته یا درجا باشد، در حالی که آبروهای زیرگذر صندوقه‌ای، از بتن مسلح و اغلب به صورت در جا اجرا می‌گردند. انتخاب نوع لوله‌ای یا صندوقه‌ای، به ظرفیت طراحی، شرایط پروژه، مسائل اقتصادی و راحتی دستیابی به مصالح بستگی دارد. آبروهای زیرگذر لوله‌ای، به‌طور کلی از لوله‌های بتن مسلح پیش‌ساخته، پیش‌فشرده و لوله‌های آزبست ساخته می‌شوند و آبروهای زیرگذر صندوقه‌ای با مقطع چهارگوش از نوع بتن مسلح اجرا می‌گردند. عواملی مانند: بار وارده به آبرو زیرگذر، عمر موردنظر برای استفاده از آبرو زیرگذر (عمر مفید آبرو زیرگذر) و ظرفیت طراحی، در تعیین نوع آبرو زیرگذر مؤثر می‌باشند. اغلب برای‌بده‌های برابر یا بیش از ۳ مترمکعب بر ثانیه از نوع صندوقه‌ای، و برای بده‌های کمتر، از آن یک یا چند لوله‌ای، البته بسته به شرایط موردنظر استفاده می‌گردد.

۴-۲-۲-۳ ساختمان خروجی آبرو زیرگذر

ساختمان خروجی، برای راحتی اتصال آبرو زیرگذر به مجرای پایین‌دست و هدایت جریان آب به داخل آنها و جلوگیری از فرسایش مسیر احداث می‌گردد. اگر سرعت آب خروجی کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه باشد، معمولاً حفاظت خروجی انجام نمی‌گیرد ولی در سرعت‌های بالاتر، باید تمهیدات خاصی برای جلوگیری از فرسایش پیش‌بینی نمود. در شرایطی که سرعت خروجی ۴/۵ متر بر ثانیه یا بیشتر باشد از خروجی با مانع باید استفاده گردد. ساختمان خروجی به صورت تبدیل، در انواع مختلف و بسته

1 - Transition

به شرایط پایین‌دست طراحی می‌شوند. درحالتی که مجاری پایین‌دست دارای مقطع منظم و مشخصی باشد، از تبدیل نوع اول و در صورتی که دارای مقطع و شکل نامنظم باشد از تبدیل نوع دوم استفاده می‌شود. احداث ساختمان‌های مستهلک کننده انرژی، اغلب پر هزینه بوده و در صورت امکان، طراحی باید به شکلی صورت گیرد که از اجرای این ساختمان‌ها پرهیز شود. لازم به یادآوری است که علاوه بر هزینه احداث، هزینه‌های نگهداری ساختمان‌های گفته شده نیز معمولاً زیاد می‌باشد. در چنین شرایطی، ترجیح داده می‌شود که انرژی اضافی در داخل آبرو زیرگذر مستهلک شده و جهش هیدرولیکی در داخل مجرای آبرو زیرگذر انجام گیرد. بدیهی است این طراحی، از نظر اقتصادی به صرفه خواهد بود. در مورد آبروهای زیرگذری که مجرای آن از دو قسمت با شیب‌های متفاوت تشکیل شده، اگر شیب قسمت دوم مجرای آبرو زیرگذر حدود ۰/۰۰۵ و طول‌آن به اندازه کافی بوده و قسمت اول آبرو زیرگذر دارای شیبی بیشتر از شیب بحرانی باشد، جهش هیدرولیکی در قسمت دوم مجرای آبرو زیرگذر صورت می‌گیرد. سرعت جریان از رابطه $v_1 = \sqrt{2gH}$ قابل محاسبه بوده و وقتی که در خروجی، از موانع[1] بتنی استفاده می‌شود، سرعت نظری نباید از ۱۵ متر بر ثانیه بیشتر باشد و مجرای آبرو زیرگذر، برای عبورجریان با سرعت ۳/۶ متر بر ثانیه طراحی می‌شود.

۴-۲-۳ معیارهای طراحی هیدرولیکی

۴-۲-۳-۱ نیمرخ طولی

اغلب، نیمرخ طولی آبروهای زیرگذر با توجه به نیمرخ مجرای روبازی که آبرو در آن قرار خواهد گرفت مشخص می‌گردد و مقطع عرضی آن، با مقطع آبرو زیرگذر مقایسه می‌شود. کف ورودی آبرو زیرگذر، باید همتراز کف مجرا یا پایین‌تر از آن قرار گیرد. اگر مجرای روباز دارای شیب یکنواختی باشد، طراحی آبرو زیرگذر به شکلی انجام می‌شود که شیب لازم، برای جلوگیری از رسوبگذاری در آبرو زیرگذر تأمین گردد، بدین منظور، حداقل شیب ۰/۰۰۵ و حداکثر ۱۰ درصد بیشتر از شیب بحرانی در نظر گرفته می‌شود.

جدول‌های مربوط به محاسبه سرعت و شیب بحرانی در مقاطع مختلف آبرو زیرگذر (دایره‌ای و چهارگوش) در کتاب‌های مختلف هیدرولیک وجود دارد که بسته به مورد، می‌توان از آنها استفاده کرد.

در حالتی که شیب مجرای آبرو زیرگذر بیشتر از شیب بحرانی باشد، باید از ساختمان‌های مستهلک کننده انرژی استفاده کرد. در چنین مواردی، همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، می‌توان آبرو زیرگذر را در دو قسمت طراحی نمود. قسمت اول با شیب بسیار تند (بیشتر از شیب بحرانی) و قسمت دوم با شیب کم (حدود ۰/۰۰۵) که در این صورت، ممکن است افت انرژی اضافی در داخل قسمت کم شیب آبرو زیرگذر مستهلک شده و جهش هیدرولیکی در طول مجرای آبرو زیرگذر اتفاق بیفتد و در نتیجه جریان خروجی آرام باشد.

۴-۲-۳-۲ ظرفیت طراحی

ظرفیت طراحی آبرو زیرگذر با توجه به شرایط زیر تعیین می‌گردد:

- تقاطع با کانال‌های آبیاری بده حداکثر سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله

1 - Baffle

- تقاطع با جاده‌های دسترسی و ارتباطی و
  جاده‌های شبکه بده حداکثر سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله
- تقاطع با جاده‌های سرویس داخل مزارع بده حداکثر سیلاب با دوره بازگشت حداقل ۱۰ساله

اگر جریان عبوری از آبرو زیرگذر مربوط به‌جریان کانال یا زهکش با بده مشخص باشد، طراحی براساس حداکثر بده آنها خواهد بود. گاهی مواقع، مسائل اقتصادی سبب می‌شود که ظرفیت طراحی براساس حداکثر بده جریان صورت نگیرد. در چنین مواردی، زمان تأخیری برای تخلیه سیلاب درنظر گرفته شده و ظرفیت طراحی کاهش داده می‌شود. در این شرایط، باید توجه داشت که زمان تأخیر و پخش سیلاب باعث خطرات یا ضرر برای اراضی اطراف نگردد.

۴-۲-۳-۳ سرعت جریان

آبروهای زیرگذر، به‌طور معمول به صورت پر و با سرعت جریان ۳ متر بر ثانیه طراحی می‌گردند که در این حالت، ساختمان خروجی باید بتنی باشد. اگر سرعت جریان بیشتر از ۴/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شود، پیش‌بینی ساختمان مستهلک کننده انرژی در خروجی آبرو زیرگذر ضرورت دارد. در شرایطی که ساختمان بتنی ورودی و خروجی پیش‌بینی نشوند، آبرو زیرگذر در حالت پر و با سرعت جریان بیشتر از ۱/۵ متر بر ثانیه طراحی خواهد شد. سرعت واقعی در آبرو زیرگذر در حالت پر، اغلب کمتر از سرعت طراحی شده می‌باشد، زیرا افزایش با گام‌های ۱۰ سانتی‌متری انجام می‌یابد، بنابراین آبرو زیرگذر همیشه در حالت پر کار نمی‌کند و ممکن است سرعت در آن، بیشتر از سرعت طراحی باشد.

۴-۲-۳-۴ قطر لوله آبرو زیرگذر

قطر لوله آبرو زیرگذر، از فرمول $D=0/35\sqrt{\frac{Q}{V}}$ به‌دست می‌آید (D = قطر لوله برحسب متر). حداقل قطر لوله‌ای که برای آبرو زیرگذر کانال‌های آبیاری و جاده‌های ارتباطی و دسترسی انتخاب می‌شود، ۸۰ سانتی‌متر و برای جاده‌های مزارع حداقل ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد. این قطر، برای تمیز کردن رسوبات احتمالی و گرفتگی‌های به وجود آمده در شرایط معمولی مناسب است.

۴-۲-۳-۵ کنترل ورودی و خروجی

اگر سطح آب بالادست تحت تأثیر سطح آب پایین دست قرار نداشته باشد یا به عبارتی، سطح آب پایین‌دست به‌اندازه کافی پایین‌تر از سطح آب بالا دست قرار گیرد، آبرو زیرگذر را با کنترل ورودی می‌نامند. در این حالت، بده جریان آبرو زیرگذر تابعی از ارتفاع آب در بالای آستانه ورودی، قطر لوله و شکل ورودی خواهد بود و محاسبات بده بر اساس فرمول روزنه صورت خواهد گرفت. اگر سطح آب پایین‌دست روی سطح آب بالادست تأثیرگذار باشد یا میزان جریان، تابعی‌از سطح آب پایین‌دست باشد، آبرو زیرگذر را با کنترل در خروجی می‌نامند. در این حالت، بده جریان آبرو زیرگذر تابع اختلاف ارتفاع سطح آب بالادست و پایین‌دست، قطر لوله، شکل ورودی و طول مجرا خواهد بود.

۴-۲-۳-۶ افت انرژی در ورودی و خروجی

وقتی کنترل جریان در قسمت خروجی آبرو زیرگذر بوده یا لوله مستغرق باشد، در مقاطع خاکی، مجموع افت ورودی وخروجی ۱/۵ برابر Δhv خواهد بود و حداقل ۷/۵ سانتی‌متر درنظر گرفته می‌شود. Δhv اختلاف سرعت در کانال و لوله بوده و به صورت رابطه (۲-۱) نشان داده می‌شود.

$$h_1 = k_1 \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} = k_1 . \Delta hv \qquad (۱-۲)$$

همچنین در خروجی آبرو زیرگذر، مقدار افتی باید درنظر گرفته شود که برابر است با:

$$h_2 = k_2 \frac{V_2^2 - V_3^2}{2g} \qquad (۲-۲)$$

که در آنها :

V_1 = سرعت جریان در مجرای بالادست،

V_2 = سرعت جریان در لوله، و

V_3 = سرعت جریان در مجرای پایین‌دست.

از نظر هیدرولیکی، اختلاف سطح آب در کانال و ابتدای آبرو زیرگذر (لبه بالایی دیوار) (Δws) برابر است با :

$$\Delta ws = (1 + k_1)\, \Delta hv \qquad (۳-۲)$$

$$\Delta ws = (1 + k_2)\, \Delta hv \qquad (۴-۲)$$

در بده‌های کمتر از ۳ مترمکعب بر ثانیه، از افت‌های اصطکاک ساختمان تبدیل (به علت کوچک بودن) صرف‌نظر می‌شود. در روابط بالا k_1 و k_2 ضرایب افت‌های ورودی و خروجی هستند، که برای تبدیل‌های خاکی، میزان افت ورودی Δhv ۰/۵ و خروجی Δhv ۱ و در تبدیل‌های بتنی Δhv ۰/۷ و Δhv ۰/۴ (به ترتیب برای ورودی و خروجی) از انواع تبدیل بال شکسته خواهد بود.

۴-۲-۳-۷ انرژی در مجرای آبرو زیرگذر

افت مجرای آبرو، شامل افت اصطکاک و افت در خم‌ها (زانوها) می‌باشد. افت اصطکاک، از فرمول مانینگ قابل محاسبه بوده و رابطه زیر، مقدار شیب اصطکاکی را در سیستم متریک نشان می‌دهد:

$$S_1 = \frac{1/98\, V^2 . n^2}{D^{4/3}} \qquad (۵-۲)$$

اگر طول مجرای آبرو زیرگذر برابر L باشد، رابطه افت اصطکاک در طول مجرا به صورت زیر خواهد بود:

$$h_\ell = S_1 \times L \qquad (۶-۲)$$

افت در خم‌های آبرو زیرگذر لوله‌ای از فرمول :

$$h_b = \xi \frac{V_2}{2g} \qquad (۷-۲)$$

به‌دست می‌آید که ξ در آن، ضریبی است که به زاویه خم، شعاع قوس و قطر لوله بستگی داشته و از نمودارهای تهیه شده در کتاب‌های مختلف هیدرولیک به‌دست می‌آید.

در این رابطه‌ها :

h_ℓ = افت طولی آبرو زیرگذر،

h_b = افت در خم‌ها،

S_1 = شیب اصطکاکی،

L = طول مجرای آبرو زیرگذر،

D = قطر آبرو زیرگذر،

n = ضریب زبری جدار، و

V = سرعت جریان.

برای تعیین عامل‌های مختلف آبرو زیرگذر، می‌توان از جدول‌های تهیه شده در کتاب‌های مختلف هیدرولیک استفاده نمود.

۴-۲-۳-۸ بده بهینه آبرو زیرگذر

به‌طور معمول، به علت جمع‌شدگی مقطع در ورودی آبرو زیرگذر یا بالا بودن نسبی سطح آب بالادست (بار بالادست)، شروع جریان در آبرو زیرگذر به صورت بحرانی می‌باشد ولی در اثر تماس آب با بدنه مجرای آبرو زیرگذر، بخشی از انرژی تلف شده و در نتیجه عمق آب در مجرای آبرو زیرگذر بالا آمده و جریان در صورت اقتضای سطح آب پایین‌دست از نظر ایجاد جهش هیدرولیکی به جریان زیر بحرانی تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه عمق بحرانی معرف جریان حداکثر در شرایط یک‌بار هیدرولیکی مشخص می‌باشد، بنابراین عملکرد مناسب آبرو زیرگذر از نظر بده جریان عبوری در شرایط ایجاد عمق بحرانی در مجرا حاصل می‌گردد.

مجموع انرژی موجود در یک لوله، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H_o = \frac{V^2}{2g} + d = \frac{Q^2}{2gA^2} + d \qquad (۸-۲)$$

که در آن:

d = عمق جریان،

A = مساحت مقطع جریان،

Q = مقدار جریان، و

H_o = انرژی کل.

با معرفی عامل، مقدار جریان به صورت:

$$q_c = \frac{Q}{D^{5/2}} \qquad (۹-۲)$$

و تقسیم طرفین رابطه بالا به D معادله انرژی ویژه در سیستم متریک به صورت زیر به دست می‌آید:

(شکل ۱۱ مقدار q_c را با توجه به $\frac{H_o}{D}$ به‌دست می‌دهد).

$$\frac{H_o}{D} = \frac{0/0628}{a^2} q_c^2 + \frac{d}{D} \qquad (۱۰-۲)$$

$$a = \frac{\text{مساحت واقعی مقطع جریان}}{\text{مساحت مقطع لوله}} \qquad (۱۱-۲)$$

براساس شکل (۱۲)، در لوله‌ای که دارای جریان آزاد است، حداکثر مقدار جریان، در حالتی که عمق جریان ۰/۹۳ قطر لوله باشد اتفاق می‌افتد. برای یک بار هیدرولیکی معین و در شرایط عمق بحرانی معادل ۰/۹۳ قطر لوله ($\frac{d}{D}$ = ۰/۹۳) مقدار جریان بهینه از لوله می‌گذرد که در این شرایط q_c = ۵/۲۷ $m^3/sec/m$ به دست خواهد آمد شکل (۱۳). بنابراین معادله تعیین بده جریان بهینه آبرو زیرگذر، در سیستم متریک به صورت :

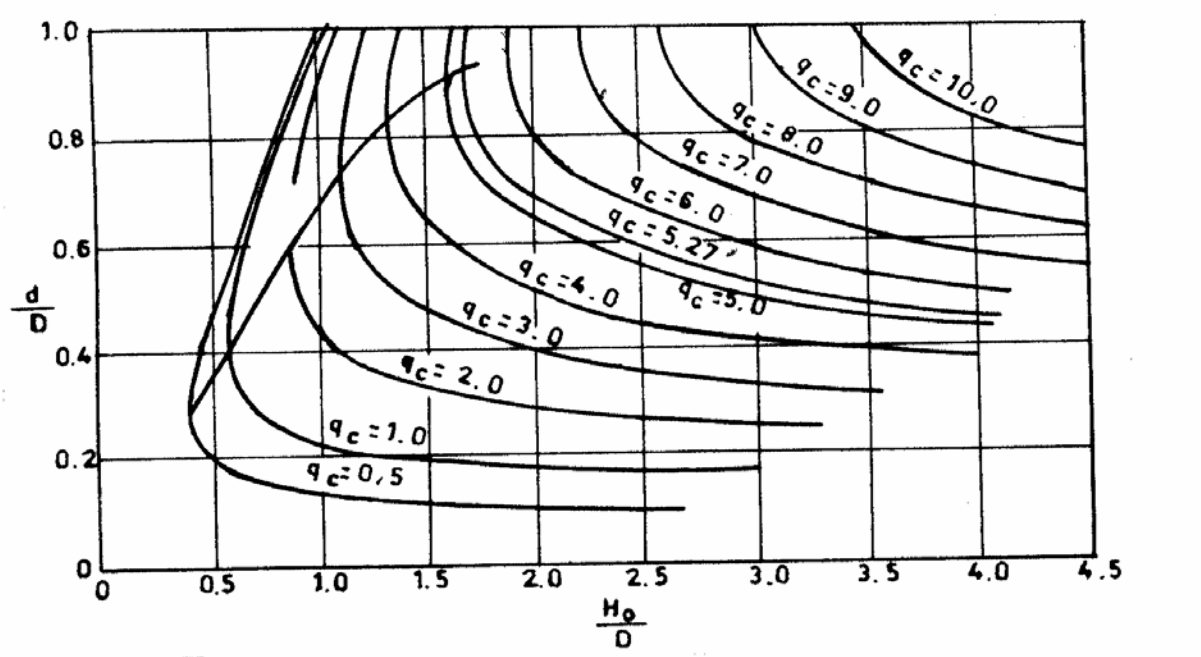
$$Q_{op} = 5/27 . D^{5/2} \qquad (۱۲-۲)$$

و مقدار شیب بهینه به صورت رابطه زیر می‌باشد:

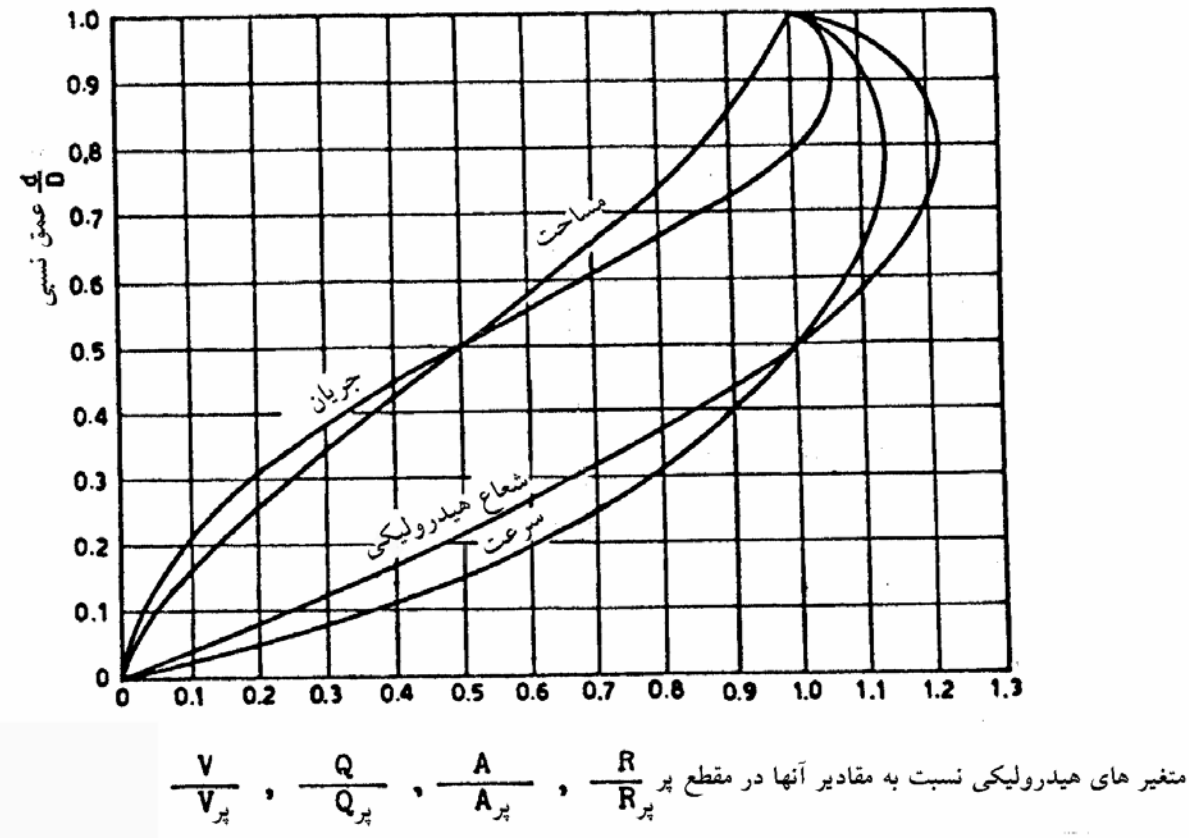
$$S_{op} = 87/2 \frac{n^2}{3\sqrt{D}} \qquad (۱۳-۲)$$

برای حالتی که عمق جریان آبرو زیرگذر کوچک‌تر از عمق بحرانی باشد، ساختمان با کنترل ورودی کار خواهد کرد و درصورتی که عمق جریان بزرگ‌تر از عمق بحرانی باشد، کنترل خروجی حاکم بر جریان آبرو زیرگذر خواهد بود.

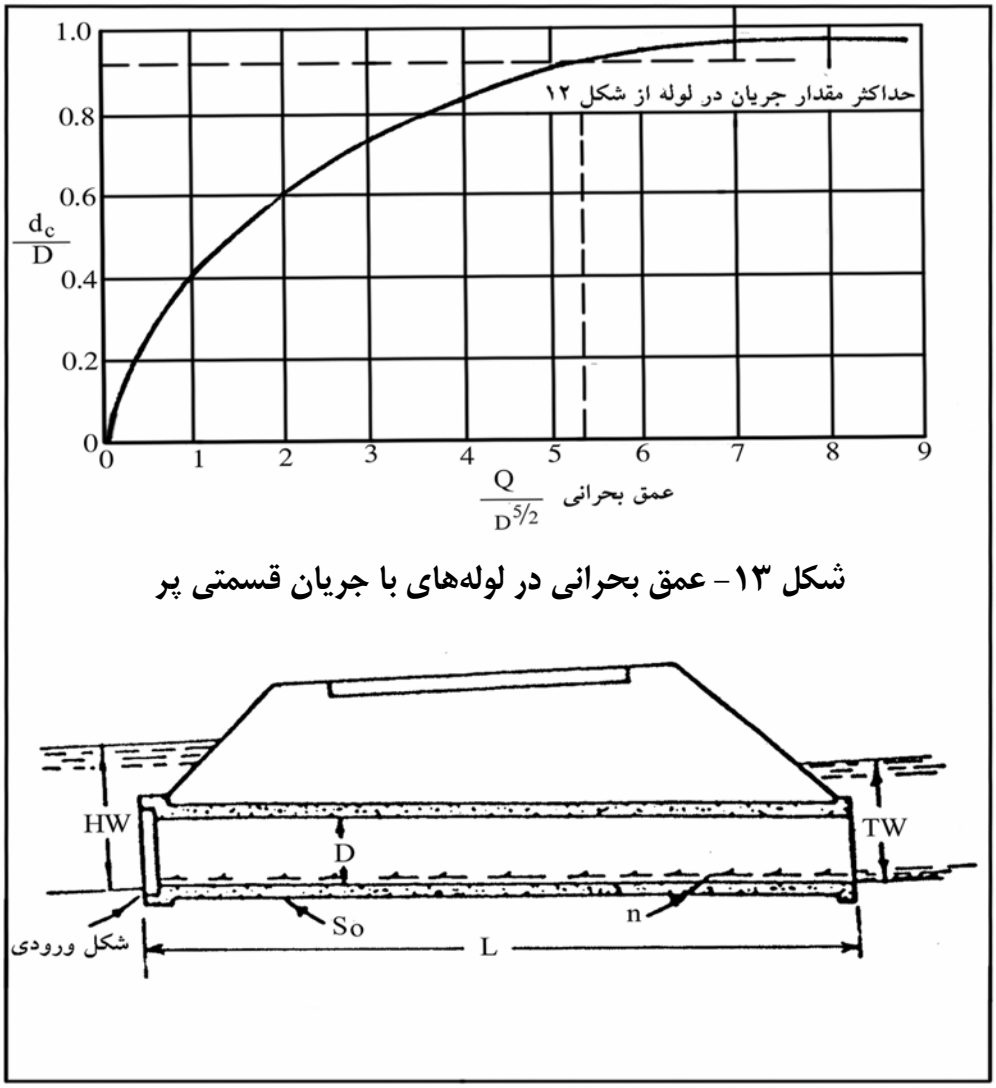
شکل (۱۴) جریان آب ورودی و خروجی آبرو زیرگذر را در حالتی که کنترل در خروجی است نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- انرژی ویژه در لوله‌های با جریان نیمه پر



شکل ۱۲- عامل‌های هیدرولیکی لوله مدور با جریان نیمه پر



شکل ۱۳- عمق بحرانی در لوله‌های با جریان قسمتی پر

شکل ۱۴- شمای هیدرولیکی ساختمان آبرو زیرگذر

نمودارهای مختلفی برای به دست آوردن عمق و سرعت بحرانی و همچنین بده و شیب بهینه ترسیم شده است که می‌توان در صورت نیاز به کتاب‌های هیدرولیک مراجعه نمود.

۴-۲-۳-۹ *طوقه‌های مجرای آبرو زیرگذر* [1]

برای کاهش سرعت نفوذ آب یا افزایش طول مسیر خزش آب در اطراف مجرای آبرو زیرگذر، براساس شکل (۱۰) به تعدادی طوقه در بدنه مجرا نیاز می‌باشد؛ اغلب، یک طوقه در محور خاکریز بالادست کانال و دو عدد دیگر در زیر خاکریز پایین‌دست (یکی در زیر لبه داخلی خاکریز و دیگری ۰/۶ متر پایین‌تر از لبه خارجی).

1 - Pipe Collars

برای کنترل درستی عملکرد طوقه‌ها از نظر عدم وقوع "جریان کوتاه" بین لبه طوقه‌ها، می‌توان از روش لین استفاده کرد. شکل (۱۰) وضعیت طوقه‌ها را در اطراف یک آبرو زیرگذر لوله‌ای نشان می‌دهد. برای محاسبه حداقل فاصله طوقه‌ها، از فرمول (۲-۱۴) استفاده می‌شود. لین مقادیر K_2, K_1 و K_3 را در این فرمول، طبق صفحه ۴۷ پیشنهاد نموده است که با قراردادن مقادیر مختلف K در فرمول (۲-۱۴)، می‌توان حداقل فاصله بین طوقه‌ها را محاسبه کرد.

$$K_3 x = K_2 x + 2K_1 y \qquad (۲-۱۴)$$

مربوط به جریان در قسمت‌های عمودی (y) سطوح طوقه $K_1 = 1/0$

مربوط به جریان در قسمت‌های افقی (x) سطوح طوقه $K_2 = 0/33$

جریان عمودی در داخل خاک $K_3 = 2/0$

کمترین فاصله بین دو طوقه، هنگامی رخ می‌دهد که مقاومت خاک نسبت به نفوذ جریان در جهت عمودی، کمتر از مقاومت آن در جهت افقی باشد. با توجه به مقادیر مختلف K از فرمول (۲-۱۴)، چنین نتیجه می‌شود:

$$2x = 0/33x + 2(1 \times y)$$
$$2x = 0/33x + 2y$$
$$x(\min) = 1/2y \qquad (۲-۱۵)$$

به‌طور کلی، لین ضریب‌های خزش جریان را برای خاک‌های مختلف ارائه داده و پیشنهاد نموده که اگر ضریب خزش برای سازه کمتر از مقدار پیشنهادی باشد، سازه موردنظر به یک یا تعدادی دیواره آب‌بند[1] یا طوقه (برحسب مورد) نیاز دارد.

$$\text{ضریب خزش یا فاکتور نفوذ} = \frac{\text{طول خزش}}{\text{اختلاف بار هیدرولیکی}}$$

ضریب خزش، حداقل باید ۱ : ۲/۵ باشد.

ماسه بسیار ریز یا سیلت	۱: ۸/۵
ماسه ریز	۱: ۷/۰
ماسه متوسط	۱: ۶/۰
ماسه درشت	۱: ۵/۰
شن ریز	۱: ۴/۰
شن متوسط	۱: ۳/۵
شن درشت و قلوه‌سنگ	۱: ۳/۰
قلوه سنگ	۱: ۲/۵
رس نرم	۱: ۳/۰
رس متوسط	۱: ۲/۰
رس سخت	۱: ۱/۸
رس بسیار فشرده	۱: ۱/۶

1 - Cut Off

۴-۳ ساختمان‌های آبرو روگذر

۴-۳-۱ کلیات

آبرو روگذرها، ساختمان‌هایی هستند که برای انتقال رواناب‌ها یا زه‌آب‌ها از یک سمت کانال به سمت دیگر آن مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ساختمان‌ها ممکن است به صورت ناو بتنی روباز روی پایه یا مجرای بسته (مانند لوله‌های فولادی همان‌گونه که در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) نشان داده شده‌است) احداث شوند. ناو بتنی روباز، در مواردی که مقطع زهکش عبوری از کانال نسبتاً بزرگ بوده و یا احتمال گرفتگی مقطع وجود داشته باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای تخلیه کامل و سریع جریان زهکش، ساختمان آبرو روگذر باید دارای شیب کافی باشد. احداث ساختمان‌های آبرو روگذر، برای عبور جریان زهکش بالادست کانال (در مواقعی که مقطع کانال به طور کامل در خاکبرداری بوده یا سطح زمین طرف بالادست بالاتر از سطح آب در کانال باشد)، مناسب است. اگر سطح زمین در سمت مرتفع کانال به اندازه کافی بالاتر از سطح آب کانال نباشد و در نتیجه نتوان حداقل ۳۰ سانتی‌متر فاصله آزاد بین سطح آب و کف مقطع ساختمان آبرو روگذر را تأمین نمود، پیشنهاد می‌شود به‌جای ساختمان آبرو روگذر، ساختمان آبرو زیرگذر در زیر کانال اجرا گردد.

قسمت ورودی ساختمان‌های آبرو روگذر، اغلب از نوع ساختمان‌های تیپ تبدیل ورودی (مطرح شده در بخش پنجم) می‌باشد.

برای قسمت خروجی ساختمان‌های آبرو روگذر، از ساختمان‌های تیپ تبدیل خروجی و در صورت لزوم، از نوع ساختمان‌های انرژی‌گیر مانند حوضچه آرامش، شیب‌شکن مانع‌دار و یا ساختمان خروجی مانع‌دار می‌توان استفاده نمود.

در انتهای ورودی یا ابتدای خروجی ساختمان‌های آبرو روگذر، برحسب مورد و در صورت لزوم، می‌توان برای عبور ماشین‌آلات از یک مجرای صندوقه‌ای بتنی[1] استفاده نمود (شکل ۱۷).

۴-۳-۲ مسیر آبرو روگذر

اگر چه احداث ساختمان آبرو روگذر به صورت عمود بر محور کانال کوتاه‌تر و مقرون به صرفه می‌باشد، ولی از آنجایی که تا حد امکان باید از انحراف مسیر نهر طبیعی دوری کرد، آبرو روگذر باید به‌طور کلی در امتداد مسیر نهر طبیعی اجرا شود.

۴-۳-۳ نیمرخ طولی

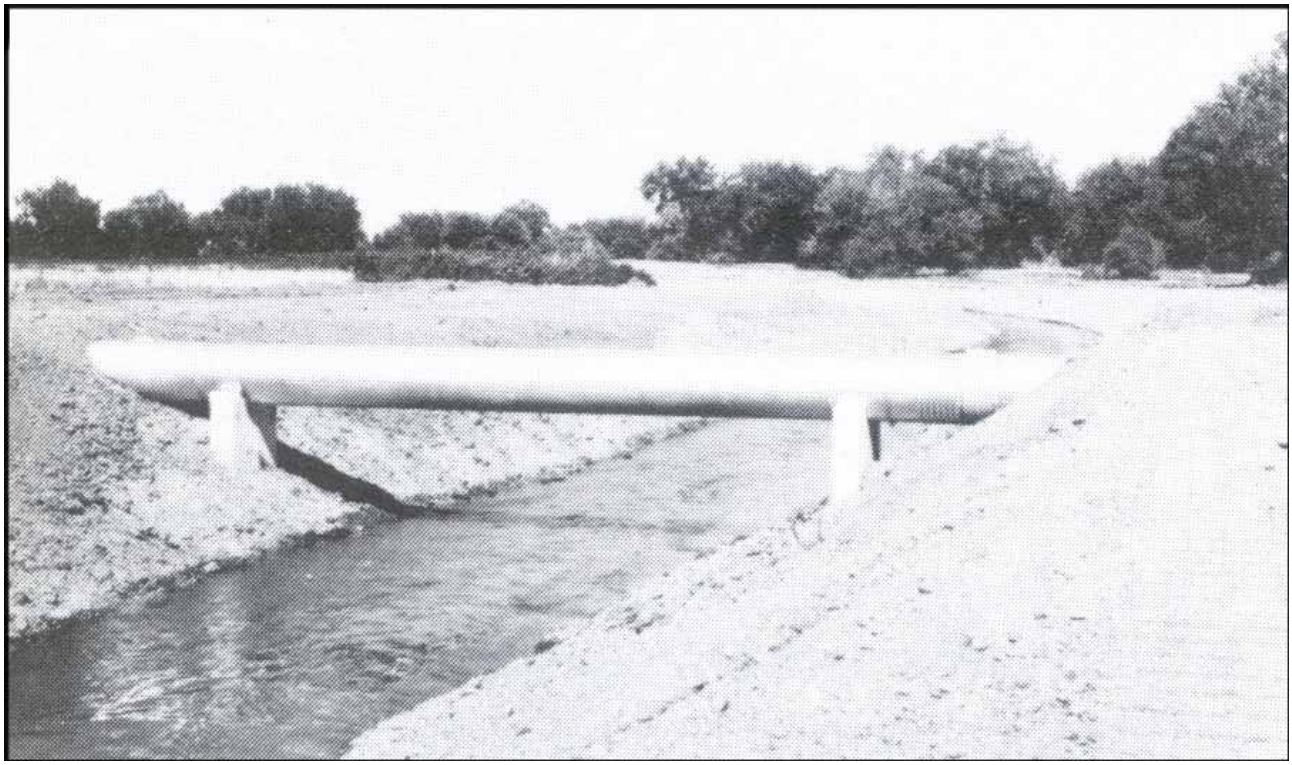
در مواردی که نیمرخ زهکش متقاطع با کانال، دارای شیب کمی بوده و در نتیجه، سرعت آب در مقطع ساختمان آبرو روگذر کم باشد، در قسمت خروجی ساختمان آبرو روگذر، می‌توان از ساختمان‌های تبدیل تیپ استفاده نمود. اگر نیمرخ زهکش دارای شیب زیاد بوده و سرعت آب در آبرو روگذر بیشتر از ۷ متر بر ثانیه باشد، احداث ساختمان انرژی‌گیر در خروجی، ضروری خواهد بود.

اگر در آب، علف‌های هرز و آشغال وجود نداشته باشد، می‌توان از ساختمان خروجی مانع‌دار[2] با مجرای لوله‌ای استفاده کرد.

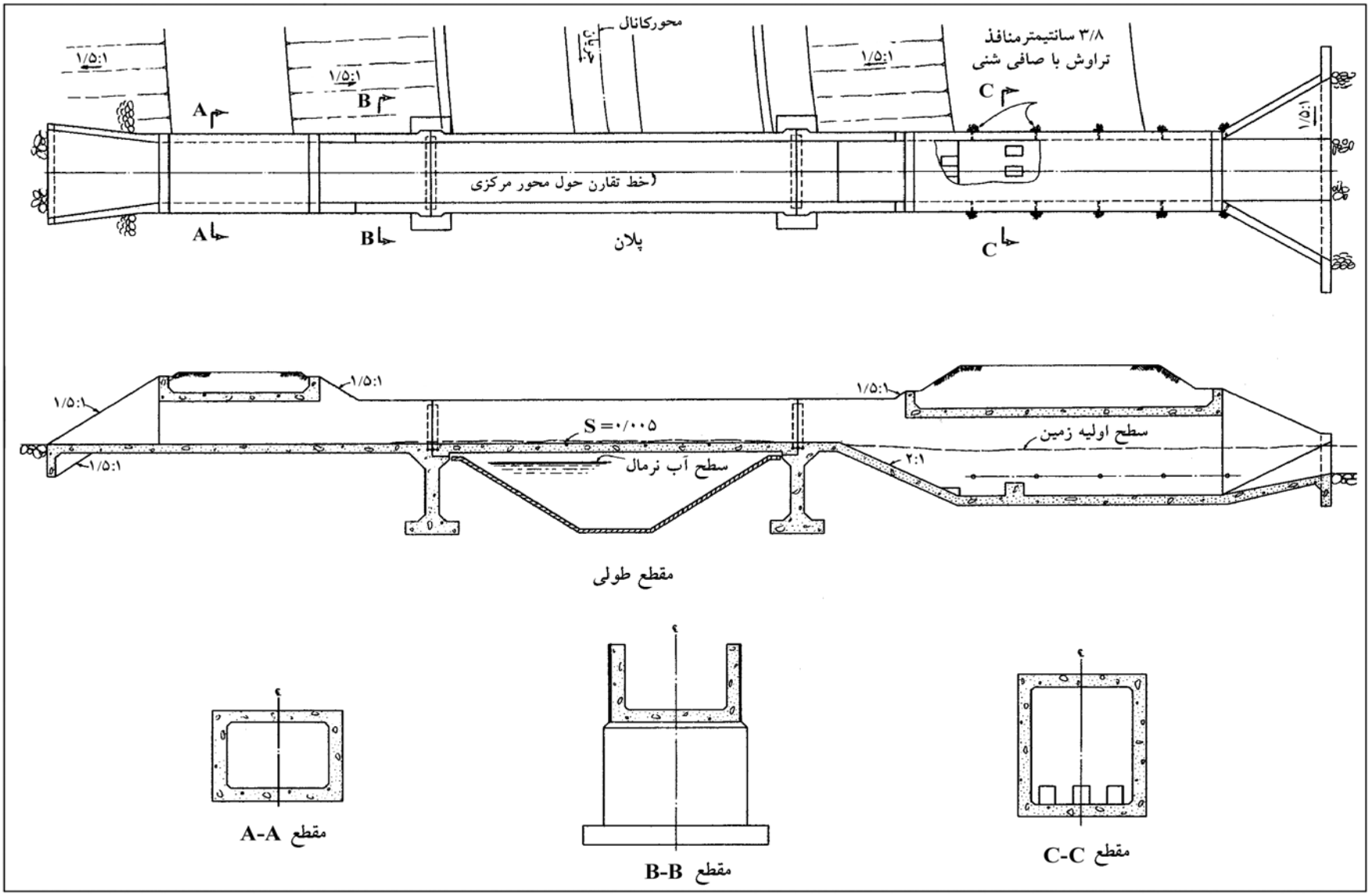
---

1 - Box Conduit
2 - Baffled Outlet

شکل ۱۵- ناو بتنی با مقطع مستطیلی



شکل ۱۶- ناو لوله‌ای



شکل ۱۷- ناو بتنی - پلان و مقاطع تیپ

در مواردی که ساختمان انرژی‌گیر (مانند حوضچه آرامش) در خروجی استفاده می‌شود، برای به حداقل رساندن سطح مقطع ساختمان آبرو روگذر می‌توان از شیب فوق بحرانی استفاده نمود. در این حالت، قسمت انتهایی ساختمان به‌صورت شیب ۲ به ۱ یا به‌طور قائم به حوضچه آرامش متصل می‌شود.

در ساختمان‌های آبرو روگذری که از شیب‌شکن مانع‌دار مایل[1] استفاده می‌شود، باید شیب زیر بحرانی در نظر گرفته شود.

۴-۳-۴ ظرفیت

برای تعیین ظرفیت طراحی ساختمان‌های آبرو روگذر، می‌توان از ضوابط ساختمان‌های آبرو زیرگذر استفاده نمود.

۴-۳-۵ مجرای آبرو روگذر

مجرای ساختمان آبرو روگذر، دارای مقطع بتنی مستطیل‌شکل یا مقطع لوله‌ای بوده که نوع آن با توجه به بده طراحی، هزینه و شرایط طرح انتخاب می‌شود. اغلب، برای اجرای آبرو روگذر، در هر دو حالت به پایه‌های بتنی نیاز خواهد بود که برای جلوگیری از تداخل جریان در کانال، باید پایه‌ها خارج از حد بالای مقطع تر شده کانال قرار گیرد.

برای جلوگیری از ایجاد تنش زیاد در مقطع ناو مستطیلی (کاهش ضخامت‌های مقطع مستطیلی شکل) اغلب لازم است که ناو روی پایه‌های بتنی مسلح قرار گیرد، تا بدین وسیله امکان اختلاف نشست پایه‌ها بدون اینکه تنش اضافی در مقطع ناو ایجاد شود فراهم آید. در صورت امکان، با در نظر گرفتن ناو با شیب فوق بحرانی می‌توان سطح مقطع ناو را به حداقل رساند.

در حالت کاربرد مجرای لوله‌ای، به‌طور معمول از یک لوله فولادی، که روی پایه‌هایی در طرفین کانال قرار می‌گیرد، استفاده می‌شود (شکل ۱۸). بازوی خاکی کانال، در قسمت‌های قبل و بعد لوله فولادی ادامه می‌یابد. اغلب، در این قسمت‌ها از لوله‌های پیش‌ساخته بتنی که به لوله‌های فولادی اتصال می‌یابند استفاده می‌شود.

۴-۳-۶ ورودی آبرو روگذر[2]

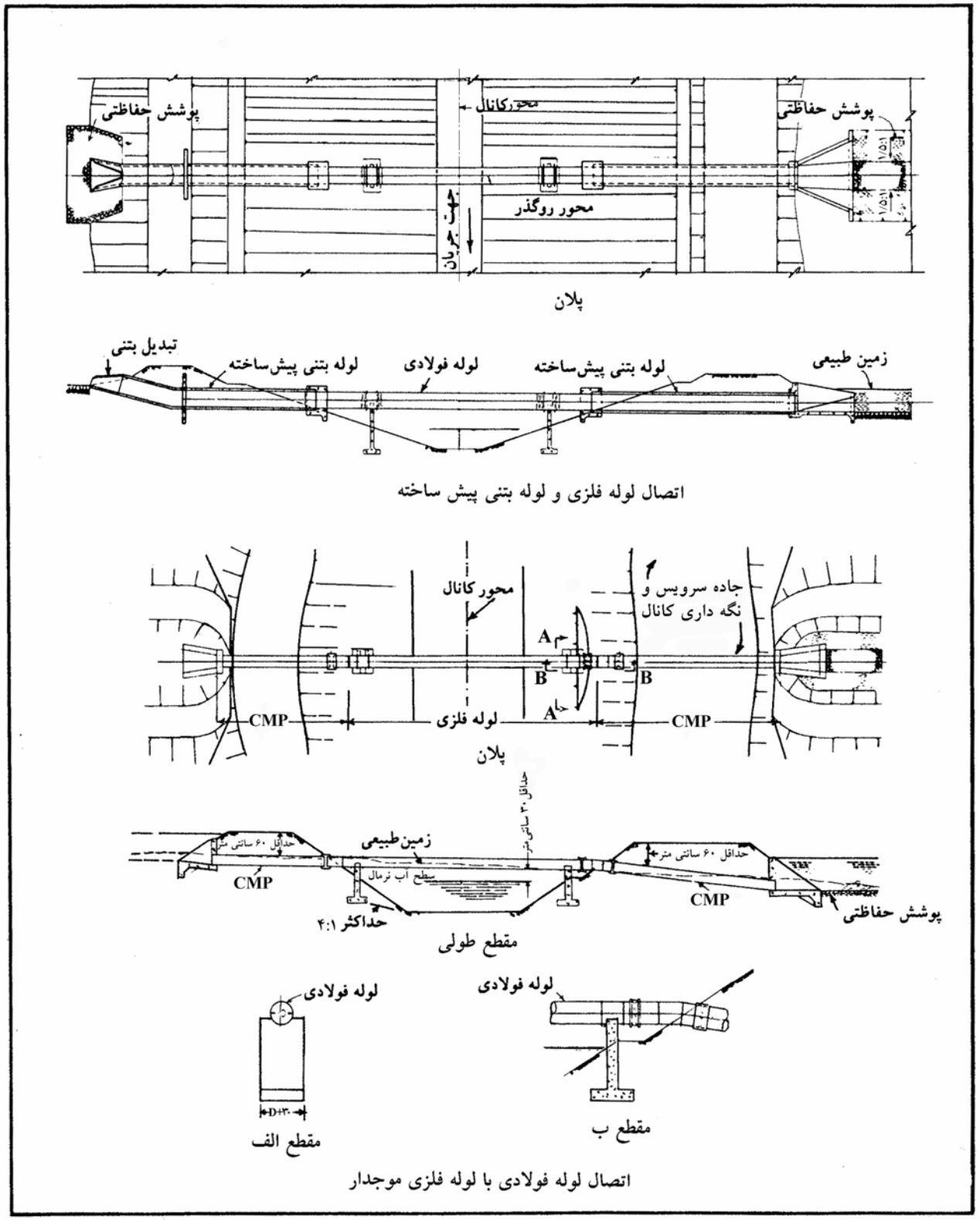
انواع ساختمان‌های تبدیل بتنی را می‌توان برای اتصال تبدیلی به مقطع مستطیلی استفاده نمود. کف قسمت تبدیل بتنی باید کمی پایین‌تر از کف زهکش قرار گیرد تا ضمن راحتی عبور جریان از داخل ساختمان آبرو روگذر، از فرسایش مقطع زهکش نیز جلوگیری شود. ارتفاع بازوی خاکی زهکش، باید حدود ۶۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح آب داخل آن قرار گیرد. به این منظور، در محل ورود زهکش به ساختمان آبرو روگذر، ممکن است احداث خاکریز حفاظتی ضروری باشد.

۴-۳-۷ خروجی آبرو روگذر[3]

قسمت خروجی ساختمان آبرو روگذر مانند خروجی آبروهای زیرگذر باید آب را بدون ایجاد فرسایش قابل ملاحظه به طرف زهکش خروجی عبور دهد. در حالت استفاده از ناو بتنی مستطیلی، برای از بین بردن انرژی اضافی در خروجی آبرو روگذر، ایجاد ساختمان انرژی‌گیر مانند حوضچه آرامش یا شیب‌شکن مایل مانع‌دار[4] ضروری می‌باشد. در ساختمان‌های آبرو روگذر لوله‌ای که به‌طور معمول برای بده‌های کم طرح می‌شوند، استفاده از یک تبدیل بتنی در قسمت خروجی کفایت می‌کند. با این حال، اگر اختلاف ارتفاع در ورودی و خروجی ساختمان آبرو روگذر قابل توجه باشد، برای استهلاک انرژی ایجاد شده در این حالت نیز ممکن است نیاز به ساختمان خروجی مانع‌دار[5] باشد.

---

1 - Baffled Inclined Drop
2 - Inlet Dike
3 - Outlet
4 - Baffled Inclined Drop
5 - Baffled Outlet



شکل ۱۸- پلان و مقاطع آبرو روگذر

در ساختمان‌های آبرو روگذر، ساختمان تبدیل بتنی باید به انواع دیگر خروجی ترجیح داده شود. انواع دیگر خروجی، برای تخلیه خار و خاشاک و آشغال و رسوب مناسب نمی‌باشند.

ساختمان‌های تبدیل بتنی تیپ را می‌توان تا سرعت‌های کمتر از ۳ متر بر ثانیه استفاده نمود. در این حالت، اجرای سنگ‌چین حفاظتی در طول مناسب در پایین‌دست ساختمان تبدیل لازم خواهد بود.

قسمت خروجی سازه آبرو روگذر، بهتر است که آب را به طور آزاد تخلیه کند تا از جمع شدن و ایجاد استخر در قسمت خروجی انتهای سازه جلوگیری شود.

در ساختمان‌های آبرو روگذر که به شکل ناو بتنی اجرا می‌شوند، اغلب به علت سرعت زیاد جریان، به سازه انرژی‌گیر مانند حوضچه آرامش یا شیب‌شکن مایل با مانع نیاز خواهد بود. در مواردی نیز که از لوله فولادی استفاده می‌شود و سرعت خروجی جریان بیشتر از ۳ متر بر ثانیه است، به ساختمان انرژی‌گیر با مانع نیاز خواهد بود.

۴-۳-۸ هیدرولیک ساختمان آبرو روگذر

۴-۳-۸-۱ ساختمان‌های آبرو روگذر لوله‌ای

الف - تبدیل ورودی

رقوم کف ورودی ساختمان آبرو روگذر، تابع سه عامل زیر است :

- سطح آب کانال

رقوم کف ورودی ساختمان آبرو روگذر، باید با رعایت ارتفاع آزاد مقطع کانال طراحی شود.

- استغراق لوله

برای استفاده از مقطع کامل لوله (جریان پر) سطح آب در ورودی لوله باید حداقل به اندازه hvp ۱/۵ لوله را مستغرق کند.

- ارتفاع آزاد بازوی خاکی زهکش

تراز بازوی خاکی کانال زهکش در قسمت ورودی سازه آبرو روگذر، باید حداقل ۰/۶ متر بالاتر از سطح آب طراحی زهکش باشد.

برحسب اینکه زهکش ورودی دارای مقطع ساخته شده بوده و یا آبراهه‌ای با شکل نامشخص باشد، باید با انتخاب تبدیل ورودی مناسب، از غرقاب شدن اراضی بالادست جلوگیری نمود. در حالت جریان با کنترل ورودی، سطح آب بالادست (براساس ارتفاع آب مورد نیاز در بالای محور قسمت ورودی (h) از فرمول روزنه $(Q = CA \times \sqrt{2gh})$ به‌دست می‌آید:

$$h = \frac{Q^2}{2gc^2A^2} \qquad (۱۶-۲)$$

که در آن، ضریب جریان ۰/۶۰ = c است. در حالتی‌که کنترل جریان در قسمت خروجی سازه باشد، ارتفاع هیدرولیکی مورد نیاز برای عبور جریان طراحی، تابعی از مجموعه افت‌ها به‌شرح زیر خواهد بود.

- **افت قسمت ورودی**

$$h_v = K_i \times \Delta h_v \qquad (۱۷-۲)$$

- **افت‌های لوله**

افت‌های لوله شامل افت اصطکاک و افت در زانو می‌باشد. افت اصطکاک از فرمول مانینگ، و افت‌های زانویی لوله از فرمول $h_b = \xi \frac{V^2}{2g}$ به‌دست می‌آیند. مقدار ξ، از جدول هیدرولیکی مربوط به آن استخراج می‌شود.

- **افت قسمت خروجی**

$$h_\circ = K_\circ . \Delta hv \qquad (۱۸-۲)$$

که K_i , K_o با توجه به نوع تبدیل انتخاب می‌شود.

ب - سرعت در لوله

قطر لوله آبرو روگذر، باید بر مبنای حداکثر سرعت در لوله پر، برابر ۳ متر بر ثانیه انتخاب شود و بر حسب مورد، در قسمت خروجی از تبدیل بتنی و یا خروجی مانع‌دار استفاده شود.

پ - قطر لوله

قطر لوله، از رابطه $D = 0/35\sqrt{\frac{Q}{V}}$ محاسبه می‌شود. اغلب، کمترین قطر درمواردی‌که علف هرز یا آشغال در آب زهکش وجود داشته باشد، ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته خواهد شد. در حالتی‌که برای عبور جریان آب آبیاری از روی کانال، ساختمان آبرو روگذر لوله‌ای پیش‌بینی شده باشد، قطر لوله می‌تواند تا حدود ۳۰ سانتی‌متر نیز کاهش یابد. همان‌طورکه پیش از این نیز گفته شد، قطر لوله ممکن است از مقادیری که با رابطه بالا تعیین می‌شود، بیشتر در نظر گرفته شود تا استغراق اراضی اطراف نهر زهکش کاهش یافته و مقطع بزرگ‌تری برای امکان عبور علف‌های هرز فراهم شود. مشخصات هیدورلیکی انتهای قسمت خروجی لوله با استفاده از رابطه برنولی تعیین می شود.

۴-۳-۸-۲ ضوابط طراحی هیدرولیکی آبرو روگذر با مقطع راست گوشه (ناو شکل)

الف – هیدرولیک مجرای راست گوشه

از آنجایی که طول ساختمان‌های آبرو روگذر نسبتاً کوتاه می‌باشد، در صورت نیاز می‌توان به جای مقطع بهینه، از مقطع با عرض بیشتر و ارتفاع کمتر استفاده نمود. بدین ترتیب، در مواردی‌که زهکش طبیعی دارای مقطع کوچک و نامنظم در بالادست باشد، اراضی کمتری مستغرق می‌گردد. در این صورت، به‌طور معمول ارتفاع آزاد لازم بدون اینکه نیاز به بالا آوردن خاکریز اطراف زهکش باشد، فراهم خواهد آمد.

در مواردی‌که برای استهلاک انرژی در قسمت خروجی سازه آبرو روگذر از حوضچه آرامش استفاده شود، می‌توان ابعاد مقطع ناو را با استفاده از شیب فوق بحرانی به حداقل رساند. در این صورت، فرض می‌شود که جریان بحرانی، ابتدای مقطع تندآب ایجاد می‌گردد. برای جلوگیری از تشکیل جریان ناپایدار در مقطع، شیب فوق بحرانی حدود ۲۰ درصد بیشتر از شیب بحرانی انتخاب و ضریب زبری جدار نیز ۰/۰۱۵ در نظر گرفته می‌شود.

در مواردی‌که تندآب با شیب فوق بحرانی طرح شود، عمق بحرانی و شیب بحرانی در ابتدای تندآب، از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \qquad (۱۹-۲)$$

q = بده در واحد عرض برحسب $m^3/sec/m$ ، و

g = شتاب ثقل برحسب m/sec^2

$$S_c = \left[\frac{nv_c}{R_c^{2/3}}\right] \qquad (۲۰-۲)$$

ب – هیدرولیک تبدیل ورودی

همان‌طور که گفته شد، برای هدایت آب زهکش به سازه آبرو روگذر، ساختمان تبدیل در قسمت ورودی مورد نیاز است. عمق آب بالادست تبدیل (با فرض سرعت جریان در حوضچه تبدیل نزدیک به صفر و سرعت در ابتدای تندآب معادل Vc) از رابطه $d_\circ = d_c + 1/3 hv_c$ به‌دست می‌آید.

پ – هیدرولیک تندآب

ارتفاع تندآب، اغلب با در نظر گرفتن ارتفاع آزاد ۰/۳ متر بالاتر از سطح ماکزیمم آب در تندآب تعیین می‌شود. حداکثر عمق آب در حالتی که تندآب در شیب فوق بحرانی قرار گرفته باشد، در انتهای تبدیل ورودی بوده و برابر d_c است.

در مواردی که برای محل عبور ماشین‌آلات در قسمت مرتفع کانال، به ارتفاع بیشتری نیاز باشد (شکل ۱۷)، ارتفاع دیواره در این قسمت از تندآب ۰/۳ متر بالاتر از سطح آب قسمت ورودی در نظر گرفته می‌شود.

شرایط هیدرولیکی پایین‌دست تندآب، با استفاده از رابطه برنولی تعیین می‌شود.

ت – حوضچه آرامش

برای استهلاک انرژی اضافی در انتهای تندآب، احداث حوضچه‌های آرامش ضروری است. برای اطمینان از تشکیل جهش آبی در داخل حوضچه آرامش، به طرح زهکش خروجی با مقطع مشخص نیاز می‌باشد تا سطح آب لازم در پایاب ایجاد شود.

مقادیر d_1 و d_2 (عمق اولیه و ثانویه) جهش هیدرولیکی در حوضچه آرامش، طول حوضچه و شرایط لازم برای اطمینان از استغراق سطح آب خروجی، طول سنگ‌چین در خروجی و همچنین ابعاد بلوک‌های مانع، باید مطابق استانداردهای تدوین شده برای طراحی انواع حوضچه های آرامش صورت گیرد.

ث – تبدیل قسمت خروجی

با توجه به اینکه زهکش خروجی پایین‌دست حوضچه آرامش باید دارای مقطع مشخصی باشد، بنابراین تبدیل قسمت خروجی باید از نوع بال شکسته انتخاب شود. برای تخلیه آزاد جریان از حوضچه به زهکش پایین‌دست، بهتر است کف حوضچه افقی باشد. بنابراین، در بعضی موارد برای اطمینان از تشکیل جهش آبی در داخل حوضچه، باید کف تبدیل تا زهکش خروجی، به طرف بالا شیب داده شود.

سایر ملاحظات :

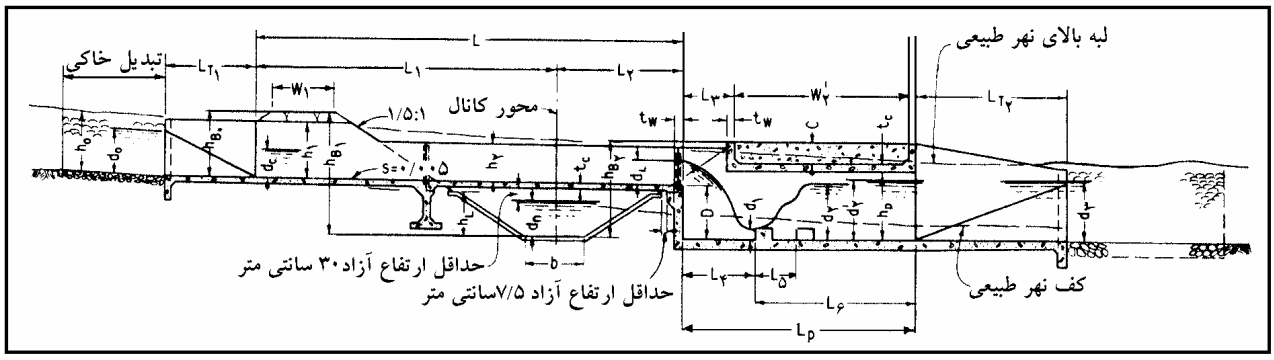
– ارتفاع بازوی خاکی

بازوی خاکی کانال در قسمت مرتفع، باید حداقل دارای ۶۰ سانتی‌متر ارتفاع آزاد بالاتر از سطح آب حوضچه تبدیل ورودی سازه آبرو روگذر باشد. در مواردی که این ضرورت، افزایش ارتفاع عادی بازوی کانال را باعث شود، باید بازوی خاکی کانال در این تراز، تا فاصله‌ای که رقوم با سطح زمین طبیعی یا رقوم تاج بازوی خاکی برابر شود ادامه یابد.

می‌توان به‌جای بالا بردن ارتفاع بازوی خاکی کانال در طول نسبتاً زیاد، در قسمت ورودی سازه آبرو روگذر، اطراف زهکش را با احداث خاکریز به اندازه لازم بالا آورد. به شکل (۱۹) مراجعه شود.

– حفاظت

زهکش قسمت خروجی، باید با اجرای سنگ‌چین یا ریختن قلوه سنگ و شن با ابعاد استاندارد، در مقابل فرسایش حفاظت شود.



شکل ۱۹ - نقشه تیپ نیمرخ طولی ساختمان آبرو روگذر

۴-۴ ساختمان‌های ورودی زهکش به کانال آبیاری[1]

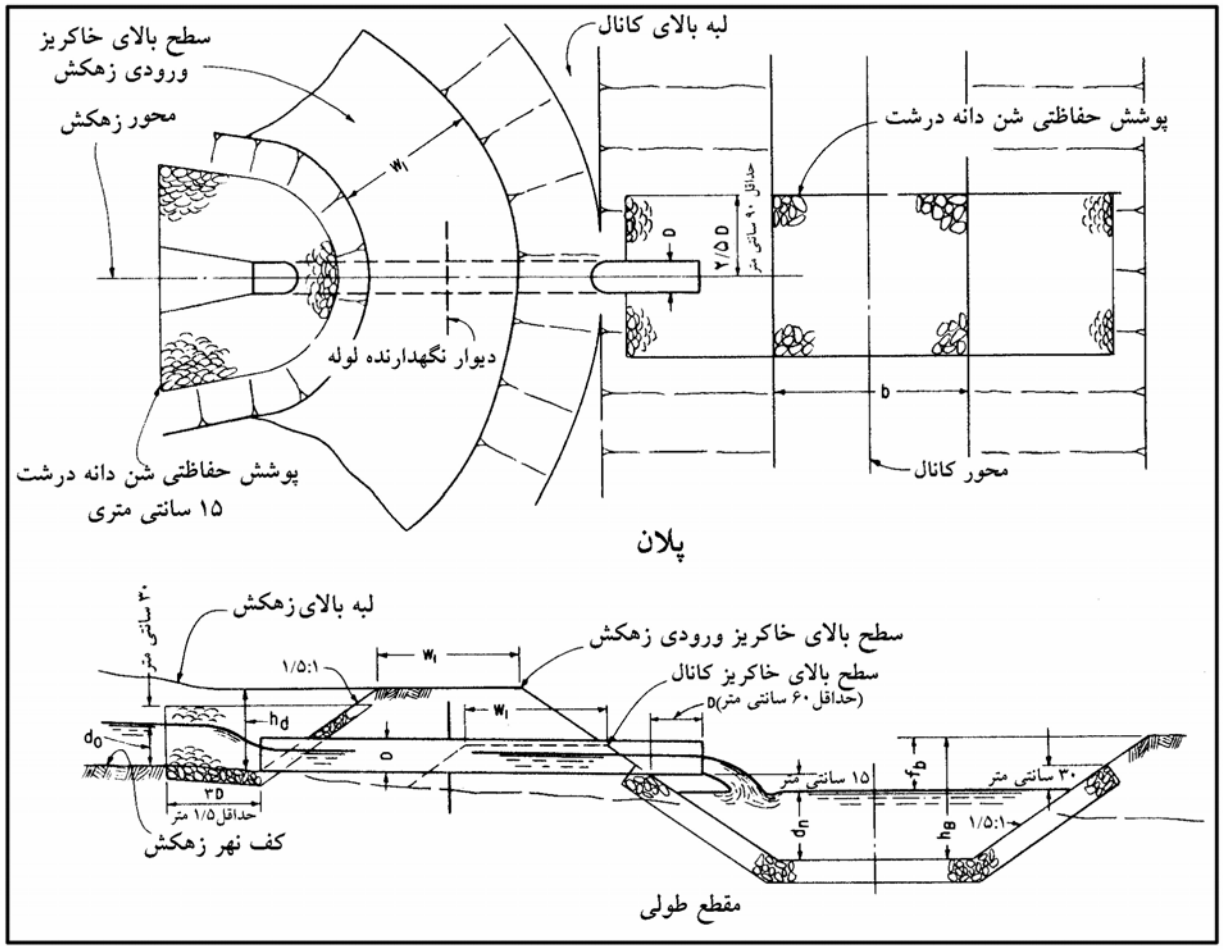
۴-۴-۱ کلیات

این ساختمان‌ها، برای انتقال بده‌های نسبتاً کم رواناب‌های ناشی از رگبارها یا جریان‌های زهکشی سطحی به داخل کانال مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای انتقال بده‌های نسبتاً زیاد جریان‌های زهکشی تقاطعی با کانال‌ها و بخصوص برای جریان‌هایی که حامل مقدار قابل ملاحظه‌ای لای، ماسه یا شاخ و برگ می‌باشند، از ساختمان‌های آبرو روگذر یا آبرو زیرگذر استفاده می‌شود. با این حال در بعضی موارد، وارد کردن آب نسبتاً صاف جریان‌های گفته شده به داخل کانال، ممکن است اقتصادی‌تر از انحراف آن به طرف دیگر کانال باشد.

۴-۴-۱-۱ موقعیت ساختمان‌های ورودی زهکش

ساختمان ورودی زهکش، ممکن است در یک مجرای زهکش طبیعی یا در انتهای یک زهکش حایل موازی کانال واقع شود. چون تراز کف قسمت انتهایی این سازه باید بالای سطح آب کانال باشد، بنابراین در جایی‌که محور کانال پایین‌تر از سطح زمین مجاور قرار دارد، این ساختمان مناسب‌ترین وسیله برای تخلیه جریان‌های مورد بحث است. در مواردی که مقطع کانال در خاکریز باشد، برای جلوگیری از جمع‌شدن رواناب‌ها در پشت خاکریز، باید تراز کف مجرای هدایت‌کننده رواناب‌ها به تراز کف مجرای این ساختمان رسانده شود.

1 - Drain Inlet



شکل ۲۰- خاکریز ورودی زهکش

۴-۴-۱-۲ *انواع ساختمان‌های ورودی زهکش*

ساختمان‌های ورودی زهکش، اغلب در سه نوع و به‌شرح زیر طراحی می‌شود:

- ساختمان ورودی زهکش با مجرای لوله‌ای،
- ساختمان ورودی زهکش با مجرای راست گوشه، و
- ساختمان ورودی زهکش با مجرای پوشیده از قلوه سنگی.

مشخصه‌های هر یک از انواع ساختمان‌های بالا، در قسمت‌های بعد شرح داده خواهد شد.

۴-۴-۱-۳ *ظرفیت طراحی ساختمان‌های ورودی زهکش*

ساختمان ورودی زهکش، باید متناسب با بده حداکثر جریان ایجاد شده از رگبار حوضه آبریز مربوط به آن (با دوره برگشت ۲۵ ساله) طراحی شود.

در مواردی که سرریز تخلیه کننده برای یک بازه[1] از کانال پیش‌بینی نشده باشد، مجموع بده‌های طراحی ساختمان ورودی زهکش که به این قسمت از کانال تخلیه می‌شود، باید به ۱۰ درصد بده معمولی کانال محدود گردد. در حالتی‌که سرریز تخلیه‌کننده پیش‌بینی شده باشد بده طراحی هر دهانه ورودی زهکش به تنهایی نباید بیش از ۱۰ درصد و مجموع جریان وارده از کلیه ورودی‌های زهکش‌ها در این قسمت نباید بیش از ۲۰ درصد بده طراحی کانال باشد. علاوه براین، جریان‌های ورودی زهکش‌ها نباید سبب شود که سطح آب کانال از عمق معمولی بیش از $\frac{1}{2}$ ارتفاع آزاد پوشش یا بیشتر از $\frac{1}{4}$ کل ارتفاع آزاد کانال بالاتر بیاید.

در شرایطی که از نظر محدودیت ضوابط یاد شده، به‌کارگیری ساختمان‌های ورودی زهکش با ظرفیت طراحی متناسب با حوضه آبریز میسر نباشد، باید از ساختمان‌های آبرو، روگذر یا سیفون استفاده نمود.

۴-۴-۱-۴ بازوی کانال

بازوی خاکی کانال در مجاورت ساختمان‌های ورودی زهکش، در صورت لزوم باید بالا آورده شود تا ارتفاع آزاد کافی بالاتر از سطح آب در دهانه ورودی وجود داشته و یا پوشش کافی روی دهانه ورودی ساختمان نوع لوله‌ای تأمین گردد. در حالتی که معیار کنترل، میزان پوشش خاک روی لوله باشد، در این صورت افزایش ارتفاع خاکی کانال باید تا حداقل سه برابر قطر لوله پیش‌بینی گردد.

در مواردی که جاده سرویس، ساختمان ورودی زهکش را قطع می‌نماید باید تا حد نیاز، جاده سرویس به طرف بالا شیب داده شود و این شیب نباید بیش از ۱۰ درصد پیش‌بینی شود. اگر معیار کنترل، ارتفاع آزاد در دهانه ورودی باشد، افزایش ارتفاع بازوی خاکی کانال تا حد احتیاج باید ادامه یابد. در محل‌هایی که مقطع کانال در خاکبرداری قرار دارد، خاکریز دهانه ورودی ساختمان باید آنقدر ادامه یابد تا تاج خاکریز تراز زمین طبیعی را قطع نماید.

۴-۴-۲ ساختمان ورودی زهکش با مجرای لوله‌ای

این نوع ساختمان، اغلب در مواردی که بده طراحی زهکش کم است به‌کار می‌رود؛ بنابراین متداول‌ترین نوع برای تخلیه جریان زهکش به کانال‌های با ظرفیت کمتر از ۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. در این نوع سازه خروجی لوله بالای سطح آب کانال واقع می‌شود و بنابراین استهلاک انرژی جریان از طریق مخلوط شدن با جریان کانال صورت می‌گیرد.

۴-۴-۲-۱ دهانه ورودی

برای جلوگیری از پایین افتادن کف مجرای هدایت‌کننده رواناب‌ها و امکان تخلیه کامل آن، تراز کف لوله "با فرض به‌کار گرفتن تبدیل خاکی" باید مساوی یا کمی پایین‌تر از کف مجرای مزبور قرار داده شود. برای جلوگیری از وقوع جریان معکوس، باید دهانه خروجی لوله، به اندازه کافی بالاتر از سطح آب کانال پیش‌بینی شود و در موارد خاص، در دهانه خروجی لوله، دریچه یک‌طرفه[2] نصب گردد.

---

1 - Reach
2 - Flap Gate

میزان استغراق دهانه ورودی در حالتی که شیب لوله کمتر از شیب بحرانی باشد، معادل hvp ۱/۵ (hvp ارتفاع معادل سرعت در لوله در قسمت ورودی است) خواهد بود.

در حالتی که شیب لوله برابر یا بیشتر از شیب بحرانی باشد، باید کف لوله در ورودی، حداقل به میزان $1/5hv_c + d_c$ مستغرق باشد (v_c و d_c به ترتیب سرعت بحرانی و عمق بحرانی در لوله است). ارتفاع آزاد از سطح آب در دهانه ورودی تا بالای بازوی خاکی یا خاکریز دهانه ورودی، باید حداقل برابر ۰/۶۰ متر پیش‌بینی شود.

۴-۴-۲-۲ مجرای لوله‌ای

قطر لوله در حالتی که ساختمان ورودی از نوع بتنی در نظر گرفته شده باشد، براساس حداکثر سرعت جریان در لوله برابر ۳ متر بر ثانیه و برای حالتی که ساختمان ورودی[1] از نوع خاکی باشد، برابر ۱/۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. به‌هرحال، حداقل قطر لوله به ترتیب برابر ۰/۵ و ۰/۳ متر برای رواناب‌های حامل مواد شناور و زائد، و آب‌های صاف و بدون مواد رسوبی به‌کار گرفته می‌شود.

شیب لوله، باید برای تخلیه کامل رواناب‌ها حداقل برابر ۰/۰۰۵ باشد تا تخلیه کامل رواناب‌ها به راحتی میسر باشد.

در مواردی که اختلاف ارتفاع بین ورودی و خروجی لوله زیاد باشد، برای کم کردن شیب لوله قسمت خروجی، می‌توان با در نظر گرفتن یک زانویی، از دو شیب مختلف در طول لوله استفاده نمود.

۴-۴-۲-۳ دهانه خروجی

جریان مجرای لوله ساختمان ورودی زهکش، مستقیماً به داخل کانال تخلیه شده و ترجیح داده می‌شود که کف آن ۱۵ سانتی‌متر و حداقل ۱۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح معمولی آب در کانال خاکی و یا ۳ سانتی‌متر بالای حداکثر سطح آب (هرکدام که تراز بالاتری ارائه دهد) قرار گیرد. در مواردی که کانال دارای پوشش بتنی است، کف لوله باید بالای پوشش قرار گیرد. انتهای لوله به‌طور معمول حدود یک برابر قطر لوله به‌داخل محور کانال ادامه می‌یابد (حداقل ۰/۶ متر). با این‌حال، گاهی اوقات انتهای لوله را از نظر راحتی در امر نگهداری، هم سطح دیواره کانال برش می‌دهند.

۴-۴-۲-۴ نشت آب[2]

برای کم شدن نشت آب از زهکش ورودی به کانال، باید همان‌طورکه در شکل (۲۰) نشان داده شده است، دور لوله یک طوقه احداث گردد. بعضی از ساختمان‌های ورودی زهکش لوله‌ای، ممکن است به دو یا چند طوقه نیاز داشته باشند.

۴-۴-۲-۵ پوشش حفاظتی

قسمت ورودی مجرای لوله‌ای، باید با قلوه‌سنگ به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر و حداقل تا ۳۰ سانتی‌متر بالاتر از تراز سطح آب جمع شده، در دهانه پوشش گردد. اگر تبدیل خاکی به‌کار رفته باشد، طول پوشش باید حداقل ۳ برابر قطر لوله و حداقل

1 - Inlet Transition
2 - Percolation

۱/۵ متر باشد. در حالتی که مسیر زهکش عمود بر لوله بوده یا زهکش دارای شکل خاصی نباشد، پوشش حفاظتی باید حداقل ۲/۵ برابر قطر لوله در هر طرف از محور لوله ادامه یابد. پوشش حفاظتی قسمت خروجی، به‌جز در مقطع کانال با پوشش بتنی، با قلوه سنگ به ضخامت حداقل ۳۰ سانتی‌متر و تا ۳۰ سانتی‌متر بالاتر از سطح معمولی آب کانال و حداقل به‌طول ۲/۵ برابر قطر لوله در بالادست و پایین‌دست محور لوله صورت می‌گیرد.

۴-۴-۳ ساختمان ورودی زهکش از نوع بتنی راست گوشه

این نوع ساختمان برای بده‌های نسبتاً زیاد، مواردی که زهکش عریض و کم عمق بوده و نوع لوله‌ای در معرض خطر انسداد با علف‌های هرز می‌باشد و همچنین برای کانال‌های با بده کم طراحی می‌شود. در حالتی که جاده سرویس کانال با این نوع ساختمان تلاقی نماید، مجرا به صورت صندوقه‌ای طراحی خواهد شد (شکل‌های ۲۱ و ۲۲).

۴-۴-۳-۱ دهانه ورودی

در این نوع ساختمان، برای اتصال زهکش به دهانه مجرای راست گوشه نیاز به تبدیل می‌باشد. در سایر موارد عموماً ضرورتی به کاربرد تبدیل نیست. در قسمت ورودی[1]، برای حفاظت شیب خاکریز طرفین از دیواره‌های جانبی و برای کنترل نشت آب از دیوار آب‌بند[2] استفاده می‌شود.

به منظور امکان تخلیه کامل زهکش، کف مجرای بتنی باید همتراز و یا کمی پایین‌تر از کف زهکش قرار گرفته و از طرفی برای جلوگیری از وقوع جریان معکوس حداقل ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح آب کانال باشد. تراز بالای بازوی کانال، باید حداقل ۰/۶ متر بالاتر از سطح آب در زهکش پیش‌بینی شود. در حالتی که زهکش به کانال بتنی تخلیه شود، تندآب در بالای پوشش بتنی کانال خاتمه می‌یابد و در محل این سازه، پوشش کانال با ضخامتی بیشتر از بتن مسلح در نظر گرفته خواهد شد.

۴-۴-۳-۲ ناو (مجرای راست گوشه)

ناو بتنی در داخل بازوی خاکی کانال، با شیب زیر بحرانی (اغلب ۰/۰۰۵) قرار داده می‌شود تا سرعت جریان قبل از رسیدن به نقطه شروع شیب شیروانی کانال، زیر بحرانی باشد. در این نقطه، عمق بحرانی[3] اتفاق می‌افتد و مقدار آن‌را می‌توان از مأخذ شماره ۲ و یا از رابطه زیرتعیین نمود:

$$d_c = \frac{q^{2/3}}{g^{1/3}} = 0/136\, q^{2/3} \qquad (۲۱-۲)$$

که در آن:

q = بده بر حسب مترمکعب برثانیه برای هر متر عرض مجرا،

g = شتاب ثقل، ($۹/۸۱\ m/sec^2$)، و

d_c = عمق بحرانی برحسب متر.

---

1 - Wing Walls
2 - Cut Off
3 - Critical Depth

عرض ناو (b) طوری انتخاب می‌شود که انرژی مخصوص ($d + h_v$) در ناو، از انرژی مخصوص در زهکش بیشتر نباشد. چون طول نسبتاً کم است، می‌توان از افت‌های اصطکاک صرف‌نظر نمود و عمق آب در ابتدای ناو (d_o) را برابر با عمق بحرانی (d_c) فرض کرد. با منظور نمودن افت بار در قسمت ورودی برابر Δh_v ۰/۵ و استفاده از رابطه برنولی، می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$d_\circ + hv_\circ = d_c + hv_c + 0/5\,\Delta hv \qquad (۲۲-۲)$$

با فرض اینکه ارتفاع نظیر سرعت در زهکش صفر و $hv_c = \frac{d_c}{2}$ باشد در مقطع راست گوشه رابطه زیر برقرار است:

$$d_\circ = 1/75\,d_c \qquad (۲۳-۲)$$

اگر عمق مورد نیاز در زهکش (d0) بدون جمع شدن آب یا بدون خاکریزی اضافه در بازوی کانال قابل دسترس نباشد، باید عرض ناو (b) افزایش داده شود. بلندی دیوارهای ناو باید حداقل دارای ۰/۳ متر ارتفاع آزاد بالاتر از سطح آب در زهکش باشد.

۴-۴-۳-۳ تندآب

تندآب، با شیبی برابر شیب جانبی کانال به حوضچه خروجی متصل می‌گردد، به‌طوری‌که بالای دیوارهای تندآب بر بازوی کانال منطبق باشد. ارتفاع دیوار تندآب (برحسب متر) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$h_b = d_c + 0/30 \quad \text{(حداقل)} \qquad (۲۴-۲)$$

۴-۴-۳-۴ حوضچه خروجی

ابعاد حوضچه برای حالت وقوع جریان کامل در سازه و خالی بودن کانال تعیین می‌شود. برای ورودی‌های معمول و متعارف حوضچه، ارقام مندرج در جدول (۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابعاد حوضچه، در سایر شرایط بر اساس ضوابط مربوط به محاسبه ابعاد حوضچه‌های آرامش تعیین خواهد شد.

اگر طول حوضچه (L) بیشتر از عرض کف کانال باشد، باید سازه ورودی زهکش تا حد نیاز، در داخل بدنه کانال‌عقب کشیده شود.

۴-۴-۳-۵ نشت آب

بررسی مسئله نشت آب و حفاظت در مقابل پدیده رگاب از قسمت ورودی به‌طرف کانال خالی، برمبنای رابطه لین[1] صورت خواهد گرفت.

1 - Lane

۴-۴-۳-۶ حفاظت

حفاظت بالادست قسمت ورودی، با استفاده از ۱۵ سانتی‌متر شن درشت در طول ۲/۵ برابر عمق آب در مجرای ورودی و با ارتفاع ۰/۳ متر بالاتر از سطح آب صورت می‌گیرد.

حفاظت قسمت خروجی در کانال، با استفاده از شن درشت به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر در طول ۱/۵ متر در بالادست و پایین‌دست سازه به ارتفاع ۰/۳۰ متر بالاتر از سطح آب معمولی در نظر گرفته می‌شود.

۴-۴-۴ ورودی زهکش از نوع پوشش قلوه سنگی

در حالتی که جریان ورودی به کانال خیلی کم باشد، می‌توان برای پوشش کف و شیب شیروانی و همچنین کف ورودی به کانال خاکی همان طور که در شکل (۲۳) نشان داده شده است از قلوه‌سنگ یا شن درشت استفاده نمود.

پوشش سنگی باید روی بستری مناسب انجام گیرد، در غیر این صورت در اثر فرسایش یا نشت زیاد آب، ممکن‌است به بدنه کانال آسیب وارد شود.

با توجه به شکل (۲۳)، این ساختمان دارای تبدیل خاکی عریض با پوشش شنی می‌باشد.

۴-۴-۴-۱ تبدیل ورودی

این قسمت از سازه، جریان را به طرف گلویی با عرض ۰/۳ متر به ازای هر ۳۰ لیتر بر ثانیه از بده طراحی، هدایت می‌نماید. طول ساختمان تبدیل، باید حداقل ۲ برابر عرض گلویی بوده و کمتر از عرض معمولی بازوی خاکی کانال‌نباشد. کف ساختمان تبدیل، باید حداقل ۰/۰۱ و حداکثر ۰/۱ به طرف کانال شیب داده شود. با فرض وقوع عمق بحرانی در ابتدای شیب جانبی کانال، سکوها باید ارتفاع آزاد برابر ۰/۳ متر را در بالای سطح آب در قسمت ورودی تأمین نمایند. زاویه جمع‌شدگی ورودی نباید بیش از ۳۰ درجه در نظر گرفته شود.

۴-۴-۴-۲ پوشش شنی

پوشش مورد نیاز، شامل شن درشت به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر است. حفاظت قسمت ورودی در تمامی طول و عرض تبدیل، و تا ارتفاع ۰/۳ متر بالاتر از سطح آب معمولی در قسمت ورودی ادامه می‌یابد.

حفاظت بدنه کانال، باید از لبه دیواره تا کف کانال و همچنین در جهت محور کانال به طول حداقل ۲ برابر عرض گلویی صورت گیرد.

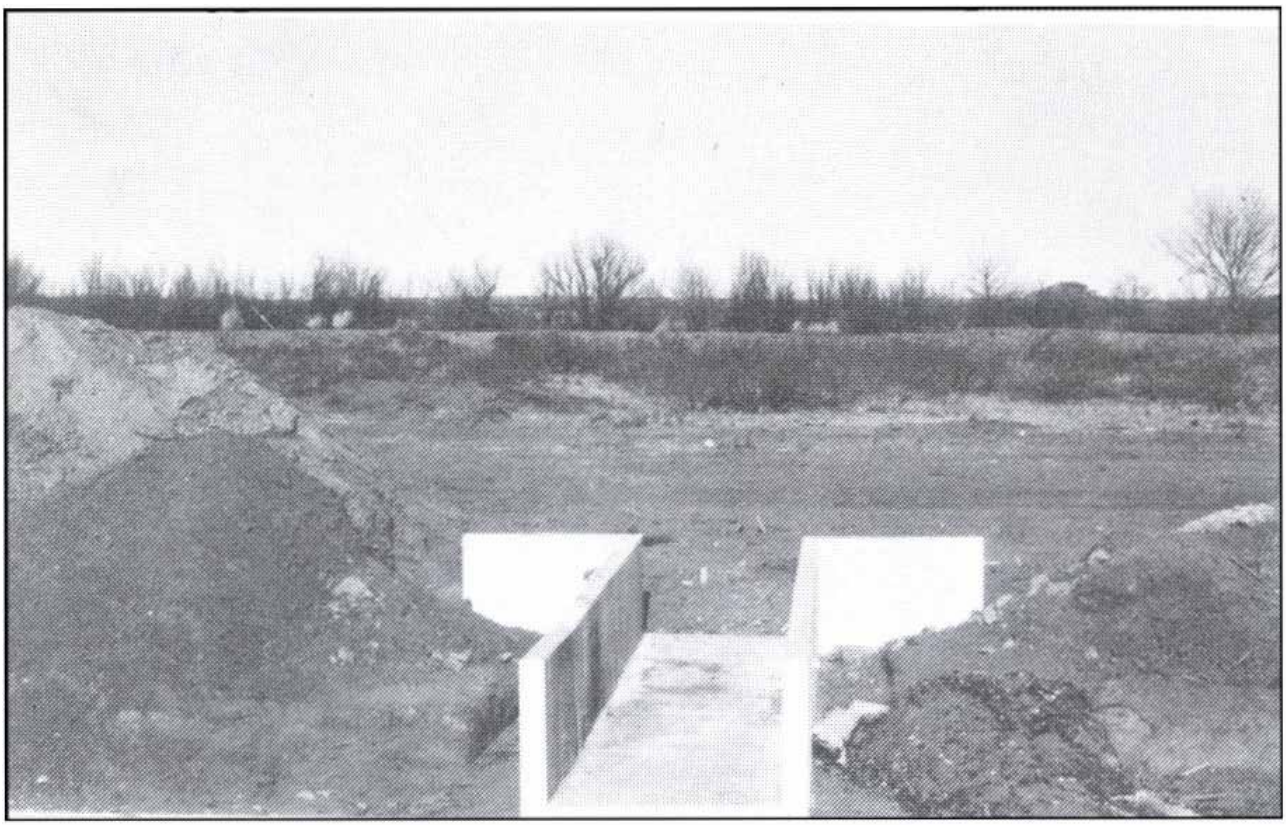
جدول ۳- ابعاد ورودی زهکش (نوع بتنی)

ارتفاع شیب‌شکن (افت سطح آب) (متر)	بده (لیتر بر ثانیه)	۱۵۰	۳۰۰	۴۵۰	۶۰۰
	b (متر)	۰/۶۰	۰/۹۰	۱/۰۰	۱/۲۰
۰/۶۰	K L	۰/۴۵ ۱/۳۰	۰/۵۵ ۱/۶۰	۰/۶۰ ۱/۸۰	۰/۷۰ ۲/۰۰
۱/۲۰	K L	۰/۵۰ ۱/۵۰	۰/۶۰ ۱/۸۰	۰/۷۰ ۲/۰۰	۰/۷۵ ۲/۳۰
۱/۸۰	K L	۰/۵۵ ۱/۷۰	۰/۷۰ ۲/۰۰	۰/۷۵ ۲/۳۰	۰/۸۵ ۲/۵۰
۲/۴۰	K L	۰/۶۰ ۱/۸۰	۰/۷۵ ۲/۳۰	۰/۸۵ ۲/۵۰	۰/۹۰ ۲/۷۰
۳/۰۰	K L	۰/۷۰ ۲/۰۰	۰/۸۵ ۲/۵۰	۰/۹۰ ۲/۷۰	۱/۰۰ ۲/۹۰

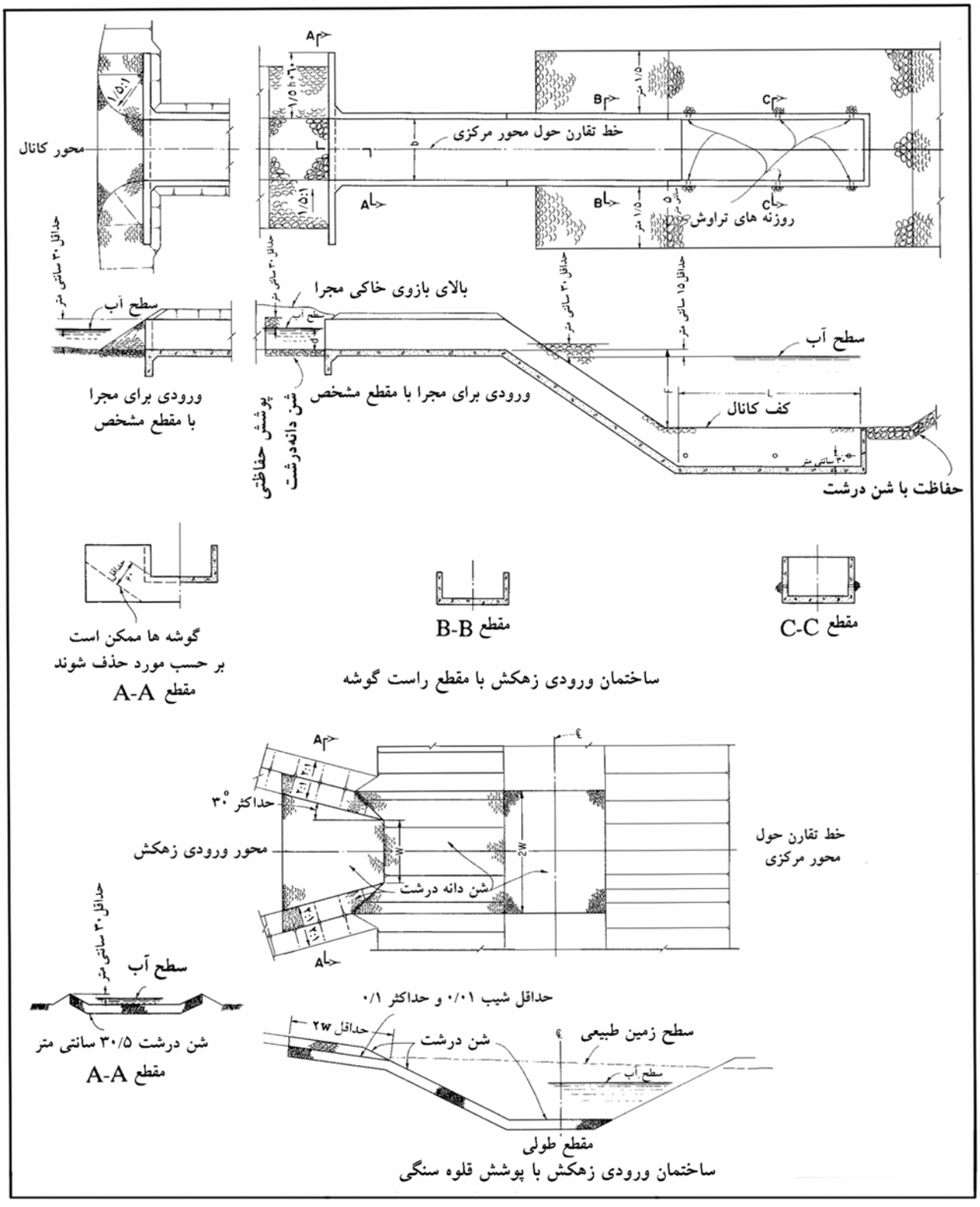
K: ارتفاع دیواره حوضچه آرامش برحسب متر

L: طول حوضچه آرامش برحسب متر

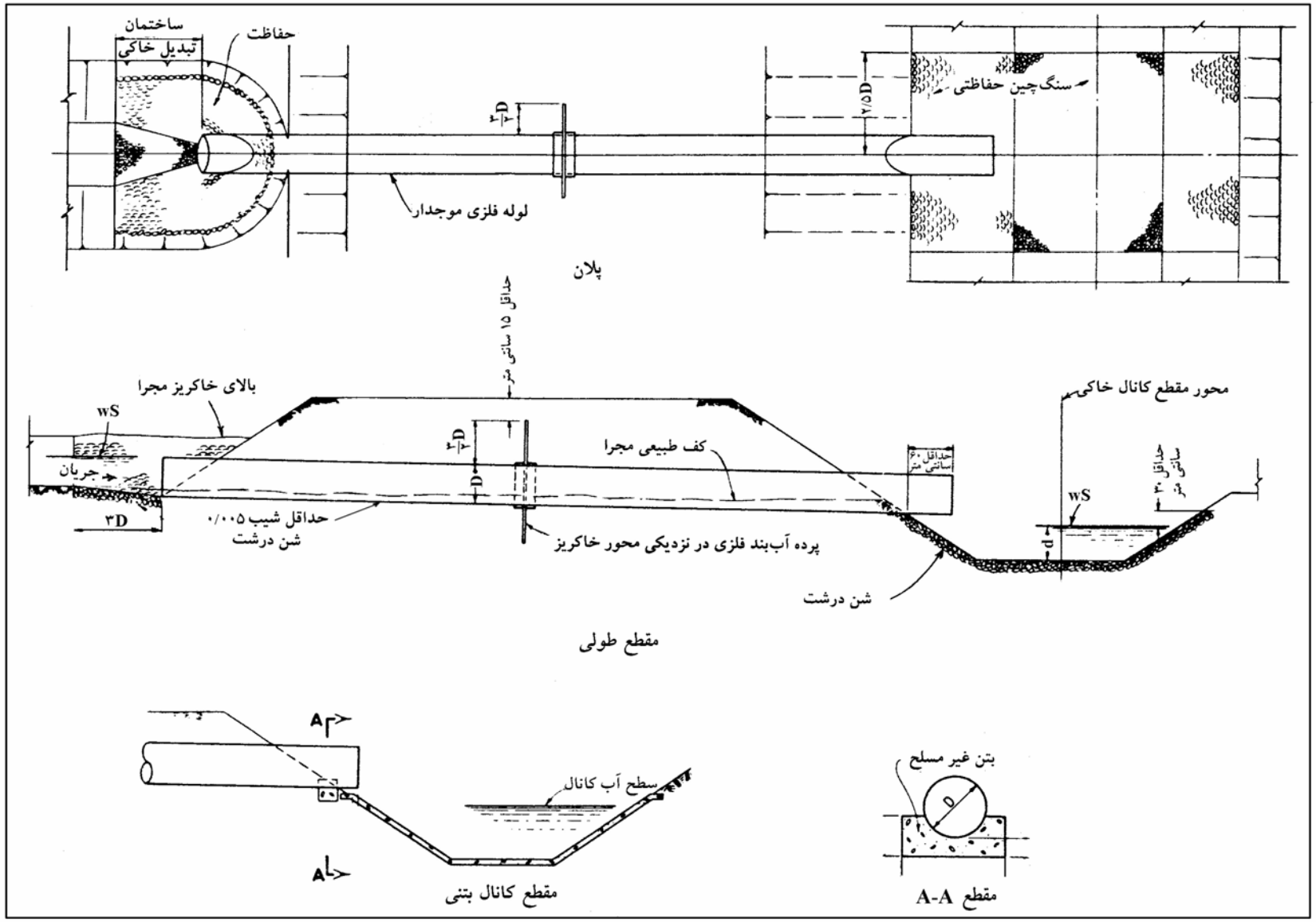
شکل ۲۱- ساختمان ورودی زهکش مایل با مقطع راست گوشه در کانال خاکی



شکل ۲۲- ساختمان ورودی زهکش از نوع بتنی با مقطع راست گوشه در کانال با پوشش بتنی



شکل ۲۳- ساختمان ورودی زهکش با پوشش قلوه‌سنگی



شکل ۲۴- تیپ ساختمان ورودی زهکش با مجرای لوله‌ای

۵- ساختمان‌های تبدیل

۵-۱ کلیات

در محل تغییر مقطع کانال‌ها، برای تغییر تدریجی مقطع جریان آب، از ساختمان‌های تبدیل استفاده می‌شود .

تبدیل‌ها در قسمت‌های ورودی و خروجی سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند، که از مهم‌ترین هدف آنها، آرام کردن جریان آب و کاهش فرسایش در کانال‌های خاکی می‌باشد. تبدیل‌ها، اغلب در قسمت ورودی، سبب افزایش و در قسمت خروجی سبب کاهش تدریجی سرعت جریان می‌شوند. این سازه‌ها، ممکن است به صورت بتنی، سنگی یا خاکی (در مورد زهکش‌ها و کانال‌ها) طراحی شوند.

۵-۲ تبدیل بتنی

تبدیل‌های بتنی متداول در مسیر کانال‌ها، بسته به شرایط هیدرولیکی، توپوگرافی محل، ارتفاع کانال و زهکش، در پنج نوع به شرح زیر طراحی و اجرا می‌گردند:

- تبدیل نوع اول مناسب‌ترین نوع برای کانال‌ها با قسمت ورودی دارای شکل مشخص بوده که می‌توان با شکل‌دادن کناره‌های کانال، آن را با تبدیل منطبق نمود (شکل ۲۵).
- تبدیل نوع دوم، برای استفاده در مجاری عریض که شکل مقطع نامشخص دارند مناسب است (شکل ۲۶).
- تبدیل نوع سوم مانند تبدیل نوع دوم، برای کانال‌هایی با مقطع نامشخص مناسب بوده و می‌تواند سطح آب پایین‌تری برای قسمت ورودی حوضچه ورودی ایجاد نماید (شکل ۲۷).
- تبدیل نوع چهارم مانند نوع سوم بوده، فقط کف آن شیبدار و دیواره آب‌بند سراب حذف شده است. در این تبدیل، شیبدار بودن کف، سبب پایین آوردن کف لوله یا مجرای سازه شده و از نظر فنی و اقتصادی مناسب‌تر است (شکل۲۸).
- تبدیل نوع پنجم به صورت ساده بوده و عبارت است از ادامه پوشش کانال بتنی که از یک انتها به مقطع معمولی‌کانال و از انتهای دیگر به لوله یا مجرا در دیواره سراب متصل می‌گردد. این نوع تبدیل، برای تغییر تدریجی مقطع کانال مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۲۹).

به‌طور معمول، در سازه‌های هیدرولیکی که افت بار در آنها عامل تعیین کننده‌ای نیست، از این نوع تبدیل‌ها استفاده می‌شود (این میزان، از نظر استحکام دیواره سراب دارای اهمیت است).

علاوه بر انواع متداول گفته شده، می‌توان به تبدیل‌های با بدنه اریب به شکل خطوط جریان[1]، و تبدیل مستقیم با بدنه اریب[2] نیز اشاره کرد که به‌طور کلی، در سازه‌های هیدرولیکی خاص که مسئله کاهش افت بار هیدرولیکی دارای اهمیت بالایی است به‌کار برده می‌شوند.

1 - Steam Lined Warp
2 - Straight Warp

۵-۳ تبدیل خاکی

این تبدیل‌ها، برای تغییر تدریجی عرض کف، تراز کف و شیب جانبی مقطع در کانال‌های خاکی یا زهکش‌های روباز به‌کار برده می‌شوند. در شرایطی که سرعت جریان در مجاری، کمتر از ۱ متر بر ثانیه بوده و خطر فرسایش وجود نداشته باشد، می‌توان از تبدیل خاکی با پوشش سنگچین حفاظتی استفاده نمود.

۵-۴ طول تبدیل

در انتخاب طول تبدیل، به منظور رسیدن به شرایط هیدرولیکی مناسب، زاویه بین سطح آب و محور تبدیل[1] در ورودی نباید از ۲۷/۵ درجه و در قسمت خروجی از ۲۲/۵ درجه تجاوز کند. در مورد سازه‌های کوچک هیدرولیکی، می‌توان زاویه خروجی و ورودی را ۲۵ درجه درنظر گرفت. در این حالت، ضریب افت بار ورودی و خروجی به‌ترتیب ۰/۵ و ۱ در نظر گرفته می‌شود.

طول تبدیل، نباید از ۳ برابر قطر لوله یا مجرایی که تبدیل به آن متصل می‌گردد کمتر باشد (در هر حالت از حداقل ۱/۵ متر نباید کمتر باشد). در تبدیل‌های خاکی، حداقل طول تبدیل ۳ متر در نظر گرفته می‌شود که با پوشش سنگی‌حفاظت خواهد شد.

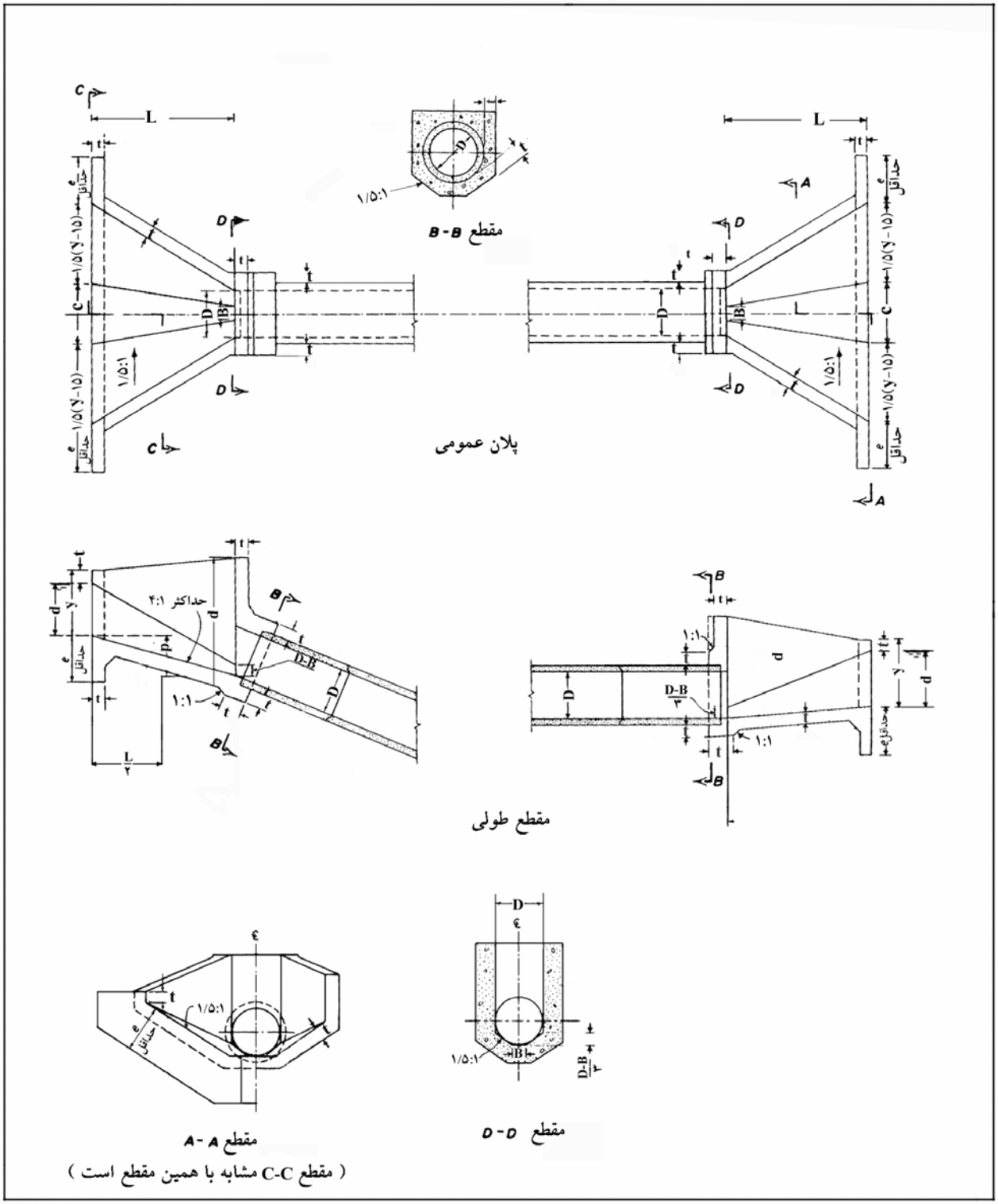
شیب کف تبدیل‌ها در ورودی، با توجه به نوع سازه و بده جریان، حداقل ۴:۱ (۴ در افق و ۱ در قائم) و در خروجی اغلب ۵:۱ انتخاب می‌شود.

ضریب‌های افت (مقدار k در رابطه $h_L=K\Delta h_v$) برای انواع تبدیل‌ها به این شرح است:

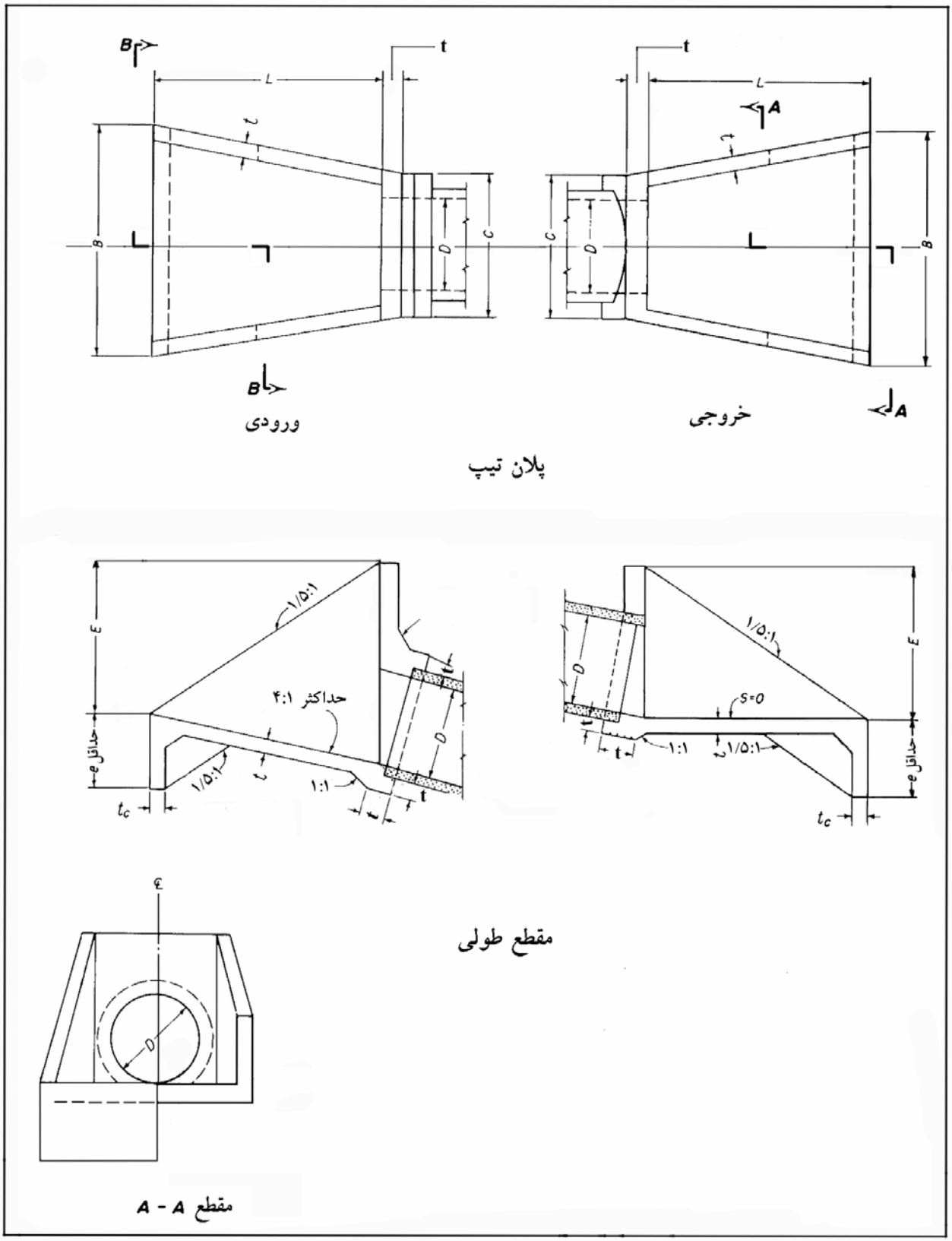
نوع تبدیل	ورودی	خروجی
تبدیل با بدنه اریب به شکل خطوط جریان متصل به مقطع چهارگوش	۰/۱	۰/۲
تبدیل مستقیم با بدنه اریب متصل به مقطع چهارگوش	۰/۲	۰/۳
تبدیل مستقیم با بدنه اریب با کف گوشه‌دار متصل به لوله	۰/۳	۰/۴
تبدیل دو سطحی شکسته، متصل به مقطع چهارگوش	۰/۳	۰/۵
تبدیل دو سطحی شکسته متصل به مقطع لوله	۰/۴	۰/۷
تبدیل ساده با تغییر تدریجی مقطع کانال	۰/۵	۱

متصل به لوله و سایر انواع تبدیل‌ها که برای سازه‌های هیدرولیکی کوچک با مجرای لوله‌ای استفاده می‌شوند.

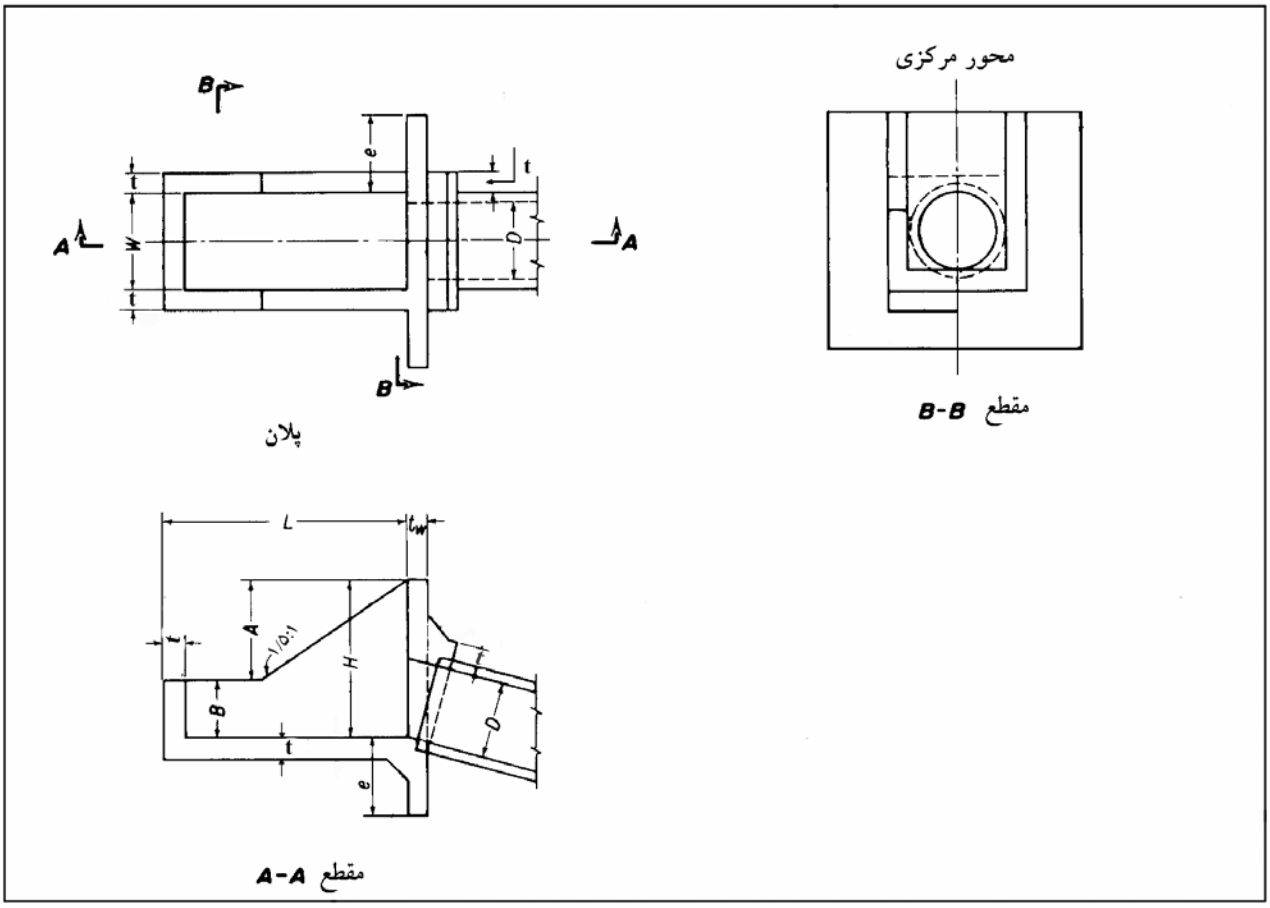
1 - Flare Angle



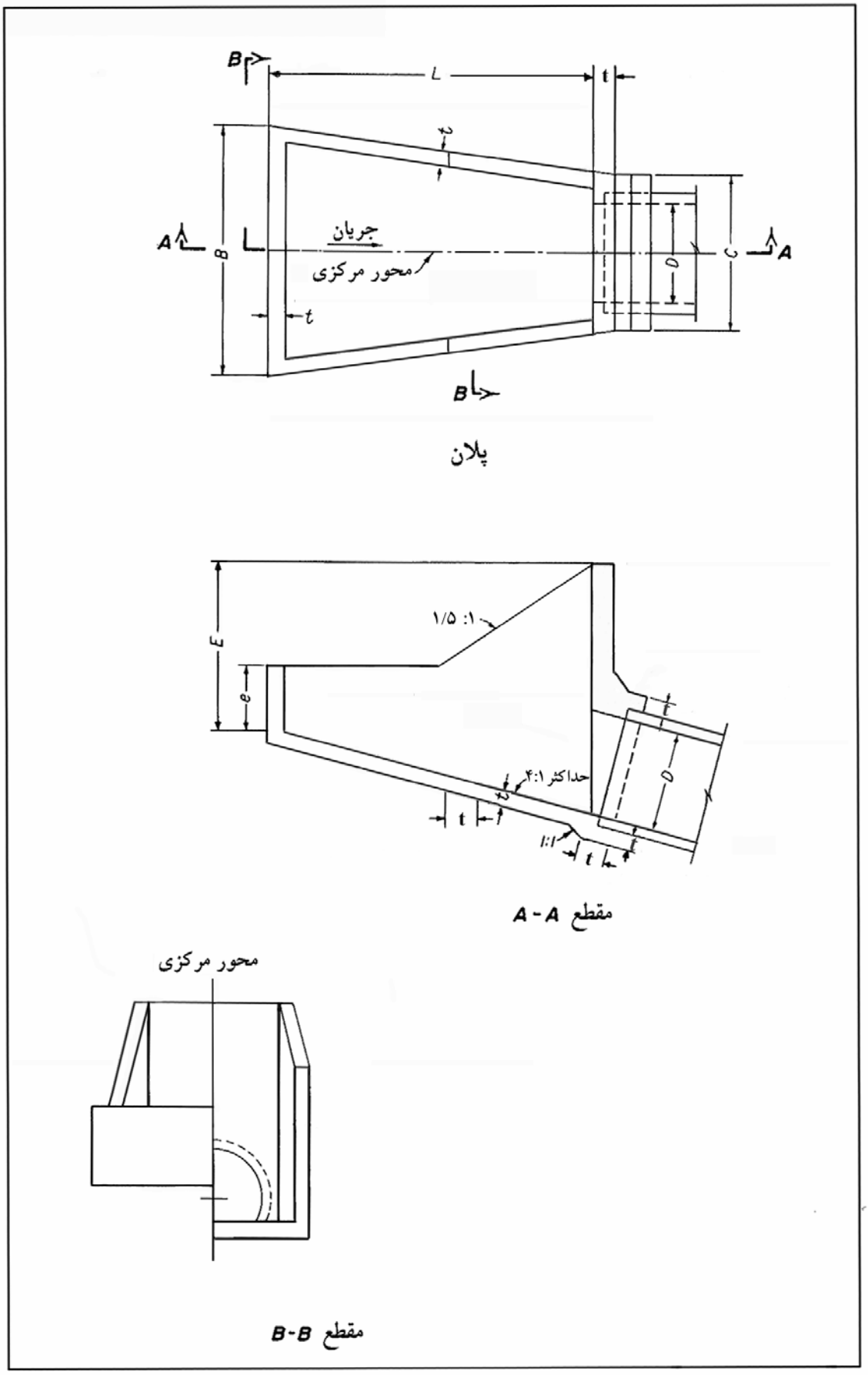
شکل ۲۵- تبدیل نوع ۱



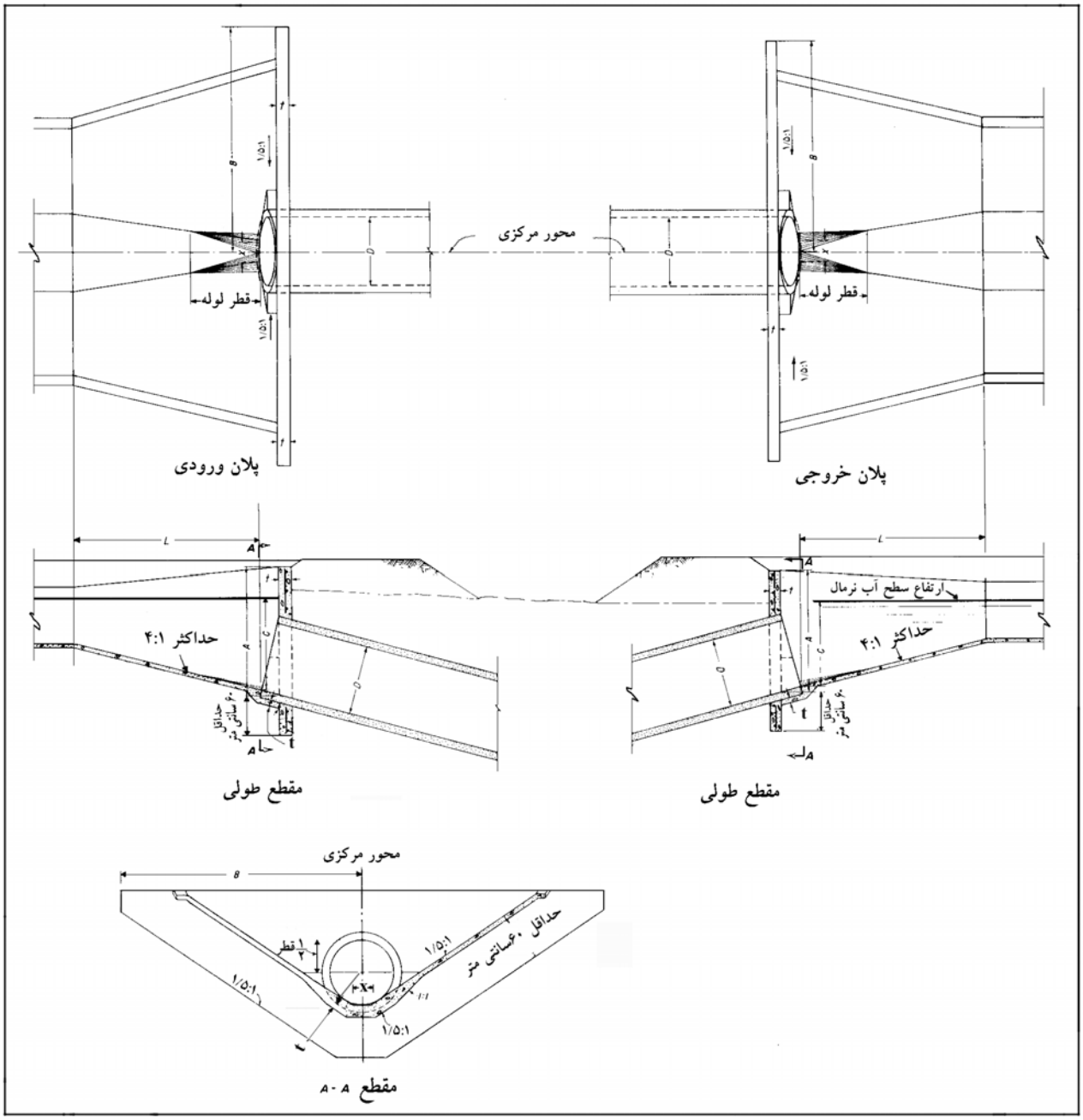
شکل ۲۶- تبدیل نوع ۲



شکل ۲۷- تبدیل نوع ۳



شکل ۲۸- تبدیل نوع ۴



شکل ۲۹- تبدیل نوع ۵

۶- تجهیزات ایمنی در تأسیسات آبیاری

تجهیزات ایمنی که در تأسیسات آبیاری به‌کار می‌رود، به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف – تجهیزاتی که برای جلوگیری از سقوط انسان یا دام به داخل کانال مورد استفاده قرار می‌گیرند، مانند: تورسیمی، نرده، علائم هشداردهنده، مانع ایمنی لوله.

ب – تجهیزاتی که در داخل کانال و برای حفظ ایمنی بهره‌برداری به‌کار گرفته می‌شود، مانند: نردبان ایمنی، توری شبکه‌ای، کابل ایمنی.

برحسب مورد، می‌توان از ترکیب تجهیزات گفته شده، برای ایمنی در بالادست ساختمان‌های آبی استفاده نمود.

انواع تجهیزات ایمنی عبارتند از:

۶-۱ تور سیمی[1]

تور سیمی از متداول‌ترین تجهیزات ایمنی برای جلوگیری از سقوط انسان یا دام به داخل کانال می‌باشد. تور سیمی، با کابل‌ها یا شبکه‌های توری در اطراف سیفون‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (قطر دهانه بزرگ‌تر یا مساوی ۷۵ سانتی‌متر) همچنین در اطراف تبدیل‌ها، تندآب‌ها، آبشارهای مایل، حوضچه‌های رسوبی و فلوم‌ها ایستگاه‌های پمپاژ در موارد خاص (نزدیکی روستا، گذرگاه، ریل و ....) از تور سیمی استفاده می‌شود. شکل (۳۰) استفاده از تورسیمی در اطراف تأسیسات آبی را نشان می‌دهد.

۶-۲ نرده جان‌پناه[2]

دو نوع نرده ایمنی در شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، نوع اول : نرده‌های محافظ وسایل نقلیه، جاده‌های ارتباطی و سرویس، و نوع دوم: نرده‌های حفاظتی که برای جلوگیری از سقوط افراد در کنار سازه‌ها کار گذاشته می‌شوند. نرده‌های حفاظتی نوع دوم، از لوله‌های به قطر ۲۵ تا ۵۰ میلی‌متر و با ارتفاع ۱/۲۰ متر به‌کار گرفته می‌شوند. این نرده‌ها، اغلب در پایه‌های بتنی جاسازی و محکم می‌شوند و برحسب مورد می‌توان برای ایمنی بیشتر، زنجیر با تور سیمی را با این نرده‌ها به صورت توام استفاده نمود. نرده‌های حفاظتی در ورودی و خروجی تبدیل‌ها، درسیفون‌ها (با قطر بزرگ‌تر یا مساوی ۷۵ سانتی‌متر)، روی دیواره‌های شیبدار در اطراف آدم‌روها، پله‌های بهره‌برداری، ساختمان کنترل‌کننده سطح آب و سیفون‌ها، در صورتی که ارتفاع آنها از کف ساختمان آبی بیشتر از ۱/۲۰ متر باشد استفاده می‌گردد. کنار آشغالگیر یا محل‌هایی که به باز و بستن جریان در ساختمان هیدرولیکی نیاز باشد، می‌توان از نرده‌های متحرک استفاده نمود.

1 - Fencing
2 - Guard Rails

۶-۳ علائم هشداردهنده[1]

برای هشدار دادن به اهالی ساکن اطراف تأسیسات آبیاری و زهکشی و متصدیان بهره‌بردرای از آنها، علائم هشداردهنده‌ای در نزدیکی ساختمان‌های آبی در نظر گرفته می‌شود که نوع و تعداد آنها با توجه به فرهنگ و شرایط اجتماعی هر منطقه تعیین می‌شود. علائم هشداردهنده‌ای از قبیل کابل ایمنی و تورهای سیمی در اطراف ورودی یک سازه سیفون، در شکل (۳۱) نشان داده می‌شود.

۶-۴ مانع ایمنی لوله‌ای[2]

این موانع، در اطراف ساختمان‌های تقاطعی با کانال، مورد استفاده قرار می‌گیرند تا از سقوط افراد به داخل کانال‌جلوگیری شود. شکل (۳۲) موانع لوله‌ای را در اطراف یک آبشار مایل و حوضچه آرامش آن نشان می‌دهد.

۶-۵ شبکه‌های ایمنی[3]

شبکه‌های ایمنی، تجهیزات معلقی هستند که در عرض کانال بلافاصله بالادست ساختمان سیفون توأم با کنترل‌کننده سطح آب و ساختمان‌های مشابه به‌کار می‌رود. انواع مختلفی از شبکه‌های ایمنی، به‌وسیله طناب پلاستیکی یا آهن گالوانیزه و قاب چوبی تهیه و مورد استفاده قرار می‌گیرند. این وسایل، در مواقعی که عمق آب در کانال بیشتر از ۹۰سانتی‌متر باشد به‌کار گرفته می‌شود. شکل (۳۳) شبکه‌های ایمنی را همراه با تور سیمی و حفاظ لوله‌ای در اطراف ورودی سازه کنترل‌کننده نشان می‌دهد.

۶-۶ کابل ایمنی[4]

کابل‌های ایمنی، برای جلوگیری از خطر آب بردگی افراد در کانال‌ها، بلافاصله در بالادست سیفون‌ها کار گذاشته می‌شود و اغلب در کانال‌های بزرگ بکار رفته و ارزان‌تر از سایر تجهیزات ایمنی می‌باشد. این کابل‌ها، با قطر مناسب و ظرفیت کششی و مقاومت کافی انتخاب و مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (۳۴) کابل‌های ایمنی را در اطراف ورودی سیفون و بالادست آن نشان می‌دهد.

۶-۷ نردبان ایمنی[5]

نردبان ایمنی، از معمول‌ترین تجهیزات حفاظتی نصب شده در شیب بدنه کانال‌ها است که کارآیی آنها به مهارت فرد استفاده کننده از آن بستگی دارد. به‌دلیل افزایش سرعت جریان قبل از ساختمان‌های آبی باید کابل ایمنی یا شبکه‌های ایمنی به‌طور توام با نردبان در بالادست ساختمان‌ها تعبیه گردد تا به افراد امکان استفاده از آنها و خارج شدن از آب را بدهد. در کانال‌های با پوشش سخت، که عمق آنها بیشتر از ۷۵ سانتی‌متر باشد، نصب نردبان ایمنی در بالادست سیفون‌ها، ساختمان کنترل سطح

1 - Warning Sings
2 - Pipe Safety Barrier
3 - Safety Nets
4 - Safety Cable
5 - Safety Ladders

آب، آبشارها، لوله و تندآب‌ها لازم می‌باشد. این نردبان‌ها در طول فلوم‌ها و کانال‌های با عمق بیش از ۷۵ سانتی‌متر با فاصله ۲۵۰ متر در دو طرف به‌صورت نصب یک در میان[1] می‌گردند. شکل (۳۵)، نردبان ایمنی را همراه با کابل شناور در ورودی و بالادست سیفون نشان می‌دهد. همچنین شکل (۳۶)، چگونگی نصب آنها را در دیواره کانال‌مشخص می‌نماید.

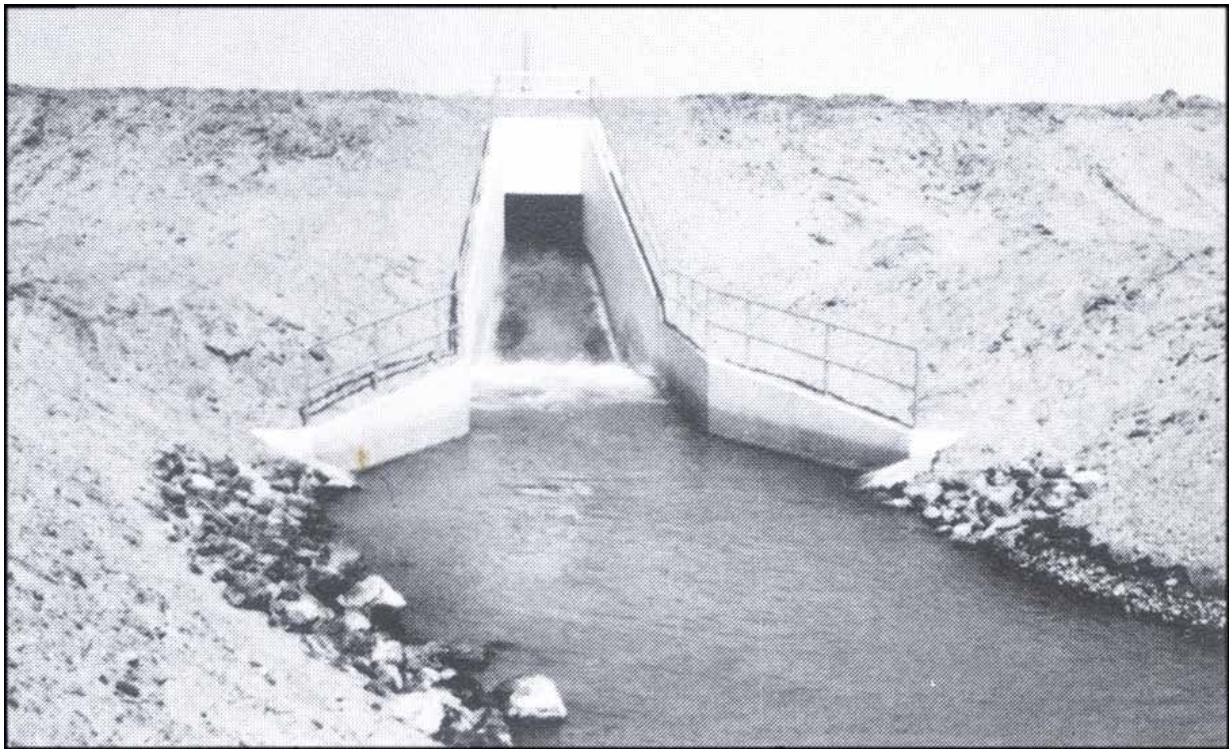
۶-۸ آبشخورها

برای جلوگیری از ورود دام‌ها به‌داخل کانال و ضرر و زیان ناشی از آن در محل‌های مورد نیاز، آبشخورهایی در کنار کانال ایجاد می‌شود. همچنین در نزدیکی دهات و در محل‌های مورد نیاز، پله‌هایی در دیواره شیبدار کانال تعبیه‌می‌شود که اهالی به‌راحتی برای برداشت آب از کانال از آنها استفاده نمایند.

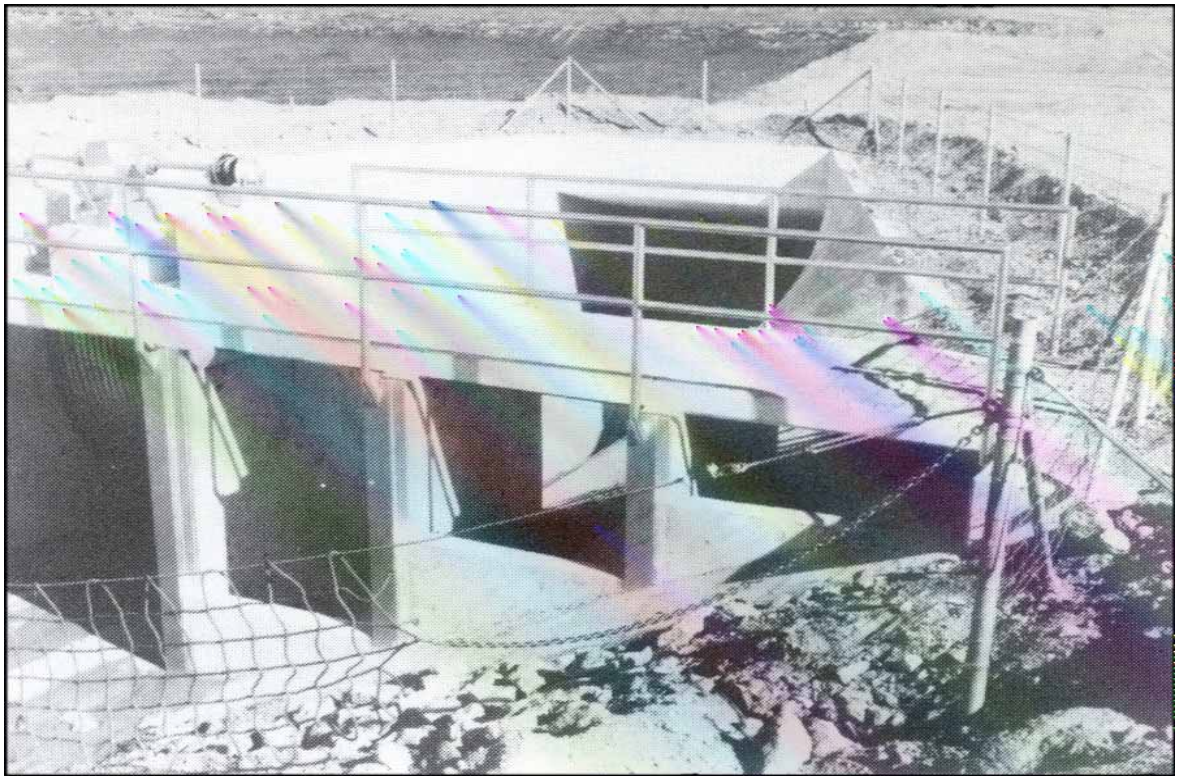
1 - Stagger Arrangement

شکل ۳۰- استفاده از تور سیمی در اطراف سازه تندآب

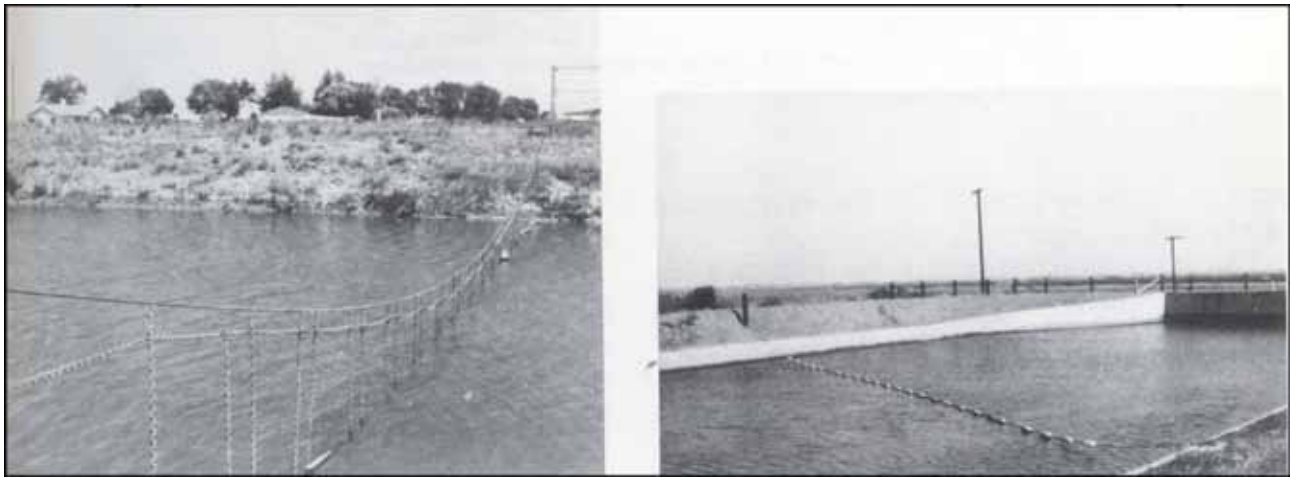
شکل ۳۱- تجهیزات ایمنی و علائم هشداردهنده در اطراف یک سازه سیفون (تور سیمی و کابل ایمنی)



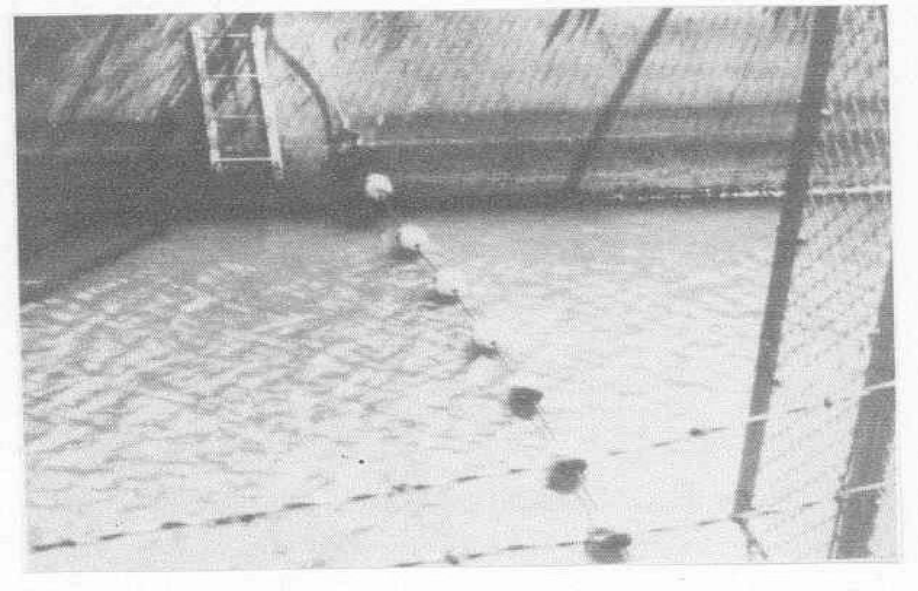
شکل ۳۲- مانع ایمنی لوله‌ای



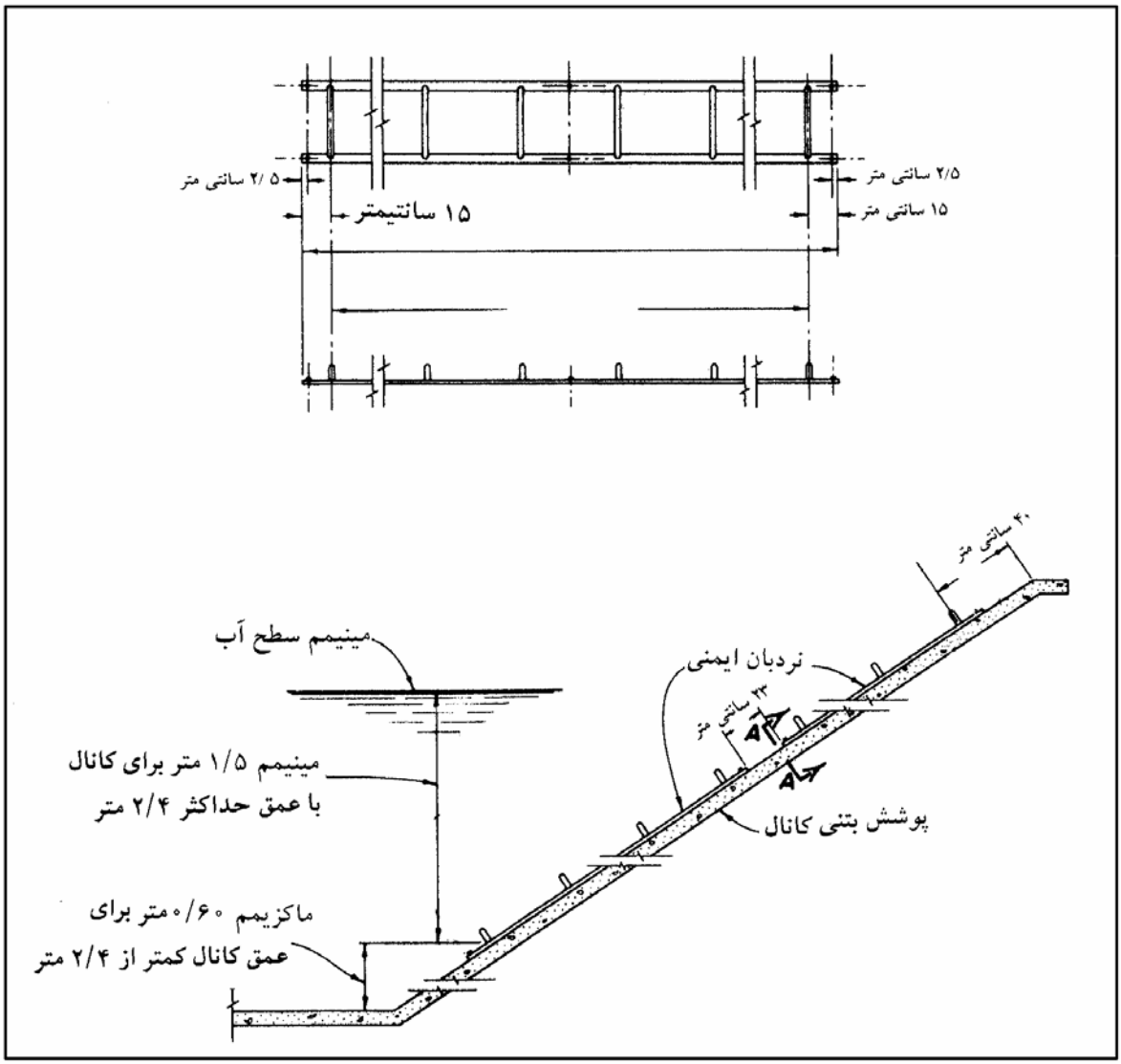
شکل ۳۳- شبکه‌های ایمنی همراه با تور سیمی و حفاظ لوله‌ای



شکل ۳۴- استفاده از کابل‌های ایمنی در بالادست و ورودی سیفون



شکل ۳۵- نردبان ایمنی همراه با کابل شناور



شکل ۳۶- نردبان ایمنی در روی شیب شیروانی کانال

۷- حفاظت بدنه در مقابل فرسایش

۷-۱ مقدمه

برای حفاظت بدنه کانال‌های خاکی و مجاری زهکش‌ها، بخصوص در بالادست و پایین‌دست ساختمان‌های هیدرولیکی در برابر فرسایش آبی، اغلب از پوشش‌های حفاظتی با سنگ‌چین یا تورسنگ برحسب مورد، به‌شرح زیراستفاده می‌گردد.

۷-۲ پوشش حفاظتی با سنگ‌چین

حفاظت بدنه کانال‌های خاکی یا مجاری زهکشی با سنگ‌چین، در مجاورت ساختمان‌های هیدرولیکی و همچنین در قسمت‌هایی که احتمال فرسایش بدنه وجود دارد صورت می‌گیرد. در تعیین نوع و میزان عملیات حفاظتی، شرایط و امکانات محل باید مورد توجه قرار گیرد. این شرایط، شامل هزینه تهیه مصالح و اجرای عملیات ، احتمال خطر تخریب ساختمان و خطر جانی، فرسایش‌پذیری خاک و بالاخره سرعت جریان آب است. مشخصات گفته شده زیر برای پوشش‌های سنگی، فقط جنبه راهنما داشته و حداقل ضخامت و اندازه را ارائه می‌دهد. بنابراین ضروری است‌که برای آنها تطابق لازم، با توجه به شرایط محلی صورت گیرد.

- پوشش سنگی نوع یک – سنگریزی با ضخامت ۱۵ سانتی‌متر
- پوشش سنگی نوع دو– سنگریزی با ضخامت ۳۰ سانتی‌متر
- پوشش سنگی نوع سه – سنگ‌چین با ضخامت ۳۰ سانتی‌متر روی ۱۵ سانتی‌متر بستر شنی
- پوشش سنگی نوع چهار– سنگ‌چین با ضخامت ۴۵ سانتی‌متر روی ۱۵ سانتی‌متر بستر شنی

در مواردی‌که سرعت جریان آب بیش از ۱/۵ متر بر ثانیه باشد، به غیر از ساختمان‌های تقاطعی، باید حداقل پوشش سنگی نوع سه بدون توجه به عمق جریان مورد استفاده قرار گیرد. در زیر، چگونگی استفاده از پوشش‌های سنگی در مجاورت انواع ساختمان‌های هیدرولیکی شرح داده شده است:

۷-۲-۱ ساختمان‌های سیفون

چگونگی حفاظت بدنه کانال خاکی در مجاورت ساختمان سیفون، به شرح جدول (۴) پیشنهاد می‌شود.

جدول ۴- چگونگی حفاظت کانال خاکی در مجاورت ساختمان سیفون

عمق آب در مجاورت سازه (متر)	نوع پوشش سنگی موردنیاز		طول پوشش سنگی در قسمت ورودی	طول پوشش سنگی در قسمت خروجی
	قسمت ورودی	قسمت خروجی		
تا ۰/۶ متر	—	—	—	—
۰/۶ تا ۱/۰ متر	—	نوع یک	—	۲/۵ برابر عمق آب (حداقل ۱/۵ متر)
۱/۰ تا ۲/۰ متر	نوع یک	نوع دو	یک برابر عمق آب (حداقل ۱/۰ متر)	۲/۵ برابر عمق آب

۷-۲-۲ ساختمان‌های تقاطعی

برای ساختمان‌های تقاطعی که در قسمت ورودی و خروجی دارای تبدیل بتنی می‌باشند، حداقل پوشش سنگی به‌شرح جدول (۵) در کانال‌های خاکی پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۵- پوشش سنگی مورد نیاز در کانال خاکی که دارای تبدیل بتنی با ساختمان‌های تقاطعی هستند

بده کانال (مترمکعب بر ثانیه)	نوع پوشش سنگی مورد نیاز		طول پوشش سنگی در قسمت خروجی (متر)
تا ۰/۸	—	نوع دو	۱/۸
۰/۸ تا ۲/۵	—	نوع دو	۳/۵
۲/۵ تا ۷/۰	نوع یک	نوع دو	۴/۸

در شرایطی که سرعت جریان در مجرای سر بسته، بیش از ۴/۵ متر بر ثانیه باشد، پیشنهاد می‌گردد که حداقل نوع سه پوشش سنگی به‌کار رود. اگر در قسمت خروجی ساختمان، خروجی مانع‌دار احداث شده است، پیشنهاد می‌شود که حداقل ضخامت پوشش برابر $\frac{w}{6}$، حداقل قطر سنگ‌های مصرفی برابر $\frac{w}{20}$ و پوشش سنگی تا فاصله حداقل ۱/۵ متر بعد از ساختمان خروجی اجرا گردد. w عبارت است از عرض داخلی حوضچه ساختمان خروجی مانع‌دار.

۷-۲-۳ سایر ساختمان‌های هیدرولیکی

پوشش‌های سنگی گفته شده در جدول (۶)، به‌عنوان حداقل پوشش حفاظتی برای ساختمان‌های پارشال فلوم، ساختمان‌های کنترل سطح آب، شیب‌شکن‌های توأم با کنترل سطح آب، شیب‌شکن‌های مایل مانند تندآب‌ها، آبگیرها آبگذر زیر جاده‌ها و شیب‌شکن‌های لوله‌ای مجهز به کنترل کننده سطح آب پیشنهاد می‌شود. در مورد ساختمان‌های اخیر، چنانچه عمق بحرانی فراتر از قسمت بتنی سازه تشکیل شود، نوع پوشش باید یک ردیف بالاتر مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۶- پوشش سنگی لازم، برای سایر سازه‌های هیدرولیکی شبکه آبیاری و زهکشی

عمق آب در مجاورت سازه (متر)	نوع پوشش سنگی موردنیاز	
	قسمت ورودی	قسمت خروجی
تا ۰/۶	—	نوع دو
۰/۶ تا ۱/۰	—	نوع دو
۱/۰ تا ۲/۰	نوع یک	نوع سه

در مورد ساختمان‌های گفته شده، به‌طور معمول طول پوشش سنگی برای قسمت خروجی ۲/۵ برابر عمق آب (حداقل ۱/۵ متر) در نظر گرفته می‌شود و در شرایطی که احتمال تلاطم آب وجود داشته باشد، تا ۴ برابر عمق آب نیز در نظر گرفته می‌شود.

مصالح سنگی مورد استفاده در پوشش‌های سنگی باید سخت، مقاوم، بادوام و دارای دانه‌بندی مناسب باشد. حداکثر و حداقل حجم سنگ‌های مورد مصرف در پوشش سنگی نوع چهار، باید به ترتیب ۰/۱ و ۰/۰۰۳ متر مکعب باشد. همچنین بیشترین حجم سنگ‌های مصرفی در پوشش سنگی نوع سه، ۰/۰۲۸ متر مکعب و حداقل اندازه ۳۸ میلی‌متر پیشنهاد می‌شود. در مورد پوشش سنگریزه‌ای، حداکثر حجم دانه‌ها برابر ۰/۰۰۳۵ متر مکعب و حداقل اندازه ۴/۸ میلی‌متر پیشنهاد شده است. بستر شن و ماسه برای سنگ‌چین حفاظتی، باید دارای دانه‌بندی مناسب با حداکثر قطر دانه‌های برابر ۳۸ میلی‌متر باشد.

۷-۳ حفاظت با تورسنگ (پوشش گابیونی)

تورسنگ، به مجموعه سنگ‌های چیده شده در داخل قفسه یا توری فلزی بافته شده گفته می‌شود. پوشش تورسنگی می‌تواند برای جلوگیری از فرسایش و ایجاد حفره یا لغزش خاکریزها و دیواره‌های خاکی به‌کار رود. این نوع سازه حفاظتی، در شرایطی به‌کار می‌رود که احتمال نشست موضعی پی خاکریز یا دیواره خاکی مطرح باشد.

۷-۳-۱ مشخصه‌های کلی تورسنگ (گابیون)

به‌طور معمول، طراحی تورسنگ بر اساس اندازه سنگ‌های موجود در محل صورت می‌گیرد. در ضمن اندازه توری یاقفسه تورسنگ به اندازه سنگ‌های قابل مصرف در محل، و دوام و عمر سازه تورسنگ، به ضخامت مفتول‌های زنگ‌نزن و ابعاد شبکه آن بستگی دارد. خصوصیات شرح داده شده در زیر، کاربرد تورسنگ را روی پی‌های با احتمال نشست موضعی یا خالی شدن زیر پی توصیه می‌نماید.

- قابلیت انعطاف

در محل‌هایی که جنس بستر مستحکم نبوده و در معرض جریان آب نیز قرار دارد، استفاده از تورسنگ ضمن فراهم‌نمودن امکان نشست و تغییر شکل احتمالی پی، از ایجاد شکست در سازه نیز جلوگیری به‌عمل می‌آورد.

- استقامت

تورسنگ‌ها، اگر با توری‌های دو یا سه سیمه ساخته شوند، در مقابل نیروهای ناشی از جریان سیلاب، جریان‌های گردابی، یخ و فشار خاک مقاومت کافی خواهند داشت.

- نفوذ آب

امکان تخلیه تدریجی آب نفوذی در پشت سازه‌های تورسنگ، نیاز به احداث سیستم زهکشی پرهزینه را از بین‌خواهد برد.

در عملیات دیواره‌سازی مسیل‌ها یا زهکش‌های طبیعی، در صورت استفاده از تورسنگ به دلیل قابل نفوذبودن آن، فشار هیدروستاتیک روی دیواره در مواقع سیلابی و همچنین فشار از پشت دیواره در مواقعی که جریان کاهش یافته یا قطع می‌گردد وجود نداشته و زهکشی پشت دیواره، بدون تعبیه سوراخ‌های تقلیل فشار[1] انجام می‌شود.

- دوام

در شرایطی که به دلیل نامناسب بودن کیفیت آب، پدیده خورندگی شدید باشد، برحسب مورد می‌توان برای بافت توری، از مفتول‌های گالوانیزه با مقاومت بالا با پوشش پلاستیکی[2] استفاده نمود.

۷-۳-۲ ابعاد تورسنگ‌ها

برای احداث تورسنگ‌ها، ابتدا قفسه آن در محل نصب و شکل داده می‌شود و سپس عملیات سنگ‌چینی در داخل آن صورت گرفته و سیم‌های قفسه با گره زدن به یکدیگر متصل می‌گردند. در حالتی که روی شیب‌های خاکی حفاظت سبک مدنظر باشد، اجرای یک لایه سنگ‌چینی ممتد در بین دو توری زیرین و بالای سنگ‌چینی کافی خواهد بود. پس به‌طور کلی تورسنگ‌ها هرکدام به‌طور جداگانه اجرا می‌گردند تا در صورت تخریب هریک، سایر قفسه‌ها سالم بمانند. قفسه‌های با مساحت ۲ مترمربع (۵ فوت مربع) اندازه‌های مناسبی هستند ولی بسته به مورد، می‌توان از اندازه‌های بزرگ‌تر نیز استفاده نمود. برای به حداقل رساندن برش قفسه‌ها، پیشنهاد می‌شود که در طراحی از قفسه‌های موجود در بازار استفاده شود. قفسه‌های تورسنگ ممکن است با اندازه‌های بلند و در جهت عرضی یا طولی روی‌شیب‌های خاکی اجرا گردد.

شکل (۳۷)، چگونگی بستن نوعی از تورسنگ را نشان می‌دهد. برای تثبیت تورسنگ روی سطح شیبدار، از میخ‌های فلزی با طول حداقل ۱/۵ متر استفاده می‌شود که از وسط قفسه به بستر تورسنگ کوبیده می‌شود. شکل (۳۸) انواع دیگری از تورسنگ‌ها را همراه با چگونگی اجرای آنها نشان می‌دهد.

۷-۳-۳ ضوابط طراحی تورسنگ

قسمت بالایی پوشش تورسنگی، باید تا بالاتر از حداکثر سطح آب پیش‌بینی شده در طرح ادامه یابد. ارتفاع آزاد این پوشش، به میزان سرعت جریان و در بعضی شرایط به ارتفاع موجی که در سطح آب ایجاد می‌شود بستگی دارد. در مواردی که جنس بدنه مجرا یا آبراهه از ماسه یا سیلت باشد، پوشش‌های طرفین باید در کف بستر آبراهه حداقل به‌عمق ۱ متر جهت حفاظت پاشنه ادامه یابد. در قسمت بیرونی (قسمت محدب) قوس‌های مسیر که خطر فرسایش دیواره و کف شدیدتر می‌باشد، پوشش حفاظتی تا عمق بیشتری در کف ادامه می‌یابد. در شرایطی که حفر ترانشه در محل پاشنه برای ادامه پوشش به علت سنگی بودن بستر میسر نباشد، پوشش تورسنگ فقط تا تراز کف مجرا ادامه خواهد یافت. پوشش تورسنگ باید در هر دو طرف بالادست و پایین‌دست انحنای آبراهه‌ها در طول مناسبی ادامه یابد. مجاری مستقیم ابتدا و انتهای قسمتی که با تورسنگ پوشش شده است، باید با ایجاد دیواره[3] حفاظت شود.

---

1 - Weep Hole
2 - Polyving Coloride
3 - Cut Off

همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد، ضخامت تورسنگ به ابعاد سنگ‌های در دسترسی که باید به‌کار رود بستگی‌دارد، ولی در هر صورت، قطعات تورسنگ باید حداقل به وسیله دو قشر سنگ روی‌هم ریخته شده پر شود.

ضخامت پوشش تورسنگ برای دیواره‌های با شیب ۲:۱ حداقل ۳۰ سانتی‌متر

ضخامت پوشش تورسنگ برای شیب ۱/۵:۱ ۴۵ سانتی‌متر

ضخامت پوشش برای پلکان‌ها و شیب‌های تند ۶۰ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود.

اگر جنس خاکریز مورد پوشش از مصالح ماسه‌ای و قابل نفوذ باشد، باید زیر تورسنگ یک قشر عایق غیرقابل نفوذ[1] پیش‌بینی شود. در مواقعی نیز، که بدنه مجرای زهکشی از مصالح نسبتاً غیرقابل نفوذ، مانند سیلت یا خاک رس تشکیل شده و امکان پایین افتادن[2] سطح آب وجود داشته باشد (ممکن است موجب لغزش و ریختن مصالح غیر پایدار اشباع شده ساحل مجرا شود که در نتیجه پوشش آن را نیز با خود حمل خواهد نمود) علاوه بر پوشش حفاظتی، باید در طراحی، محافظ ساختمان[3] به عنوان ساختمان نگهدارنده نیز پیش‌بینی شود.

در اغلب موارد، ساختمان‌های تورسنگ (که در مجاورت جریان سیلابی قرار دارند) باید با احداث پیش‌بند[4] قابل انعطاف حفاظت شوند. این پیش‌بند، باید طوری طراحی شود که بدون شکستگی و فرورفتن به زمین‌که در نتیجه ایجاد حفره و غیره اتفاق می‌افتد، بتواند نشست را تحمل کند. طول پیش‌بند باید به اندازه‌ای باشد که فروافتادن قسمتی از آن در داخل حفره ایجاد شده اشکالی برای انهدام سازه تورسنگ به‌وجود نیاورد. طول پیش‌بند با توجه به پیش‌بینی عمق حفره بین ۱/۵ تا ۲ برابر عمق حفره در نظر گرفته می‌شود. عمق پیش‌بند، برای اینکه وزن‌کافی و در عین حال قابلیت انعطاف‌پذیری داشته باشد، باید حدود ۰/۳ تا ۰/۵ متر در نظر گرفته شود تا در زمان وقوع سیلاب به زمین چسبیده و در صورت تخلیه زیر آن به طرف پایین حرکت نماید.

در مواردی که عمق آب در مجرا زیاد باشد، قطعات تورسنگ در خشکی و نزدیک محل استقرار ساخته شده و با جرثقیل یا قایق به محل موردنظر حمل و در زیر آب جاگذاری می‌شوند.

۷-۳-۴ موارد استفاده از تورسنگ برای پوشش حفاظتی

۷-۳-۴-۱ پوشش آبراهه‌ها

کاربرد تورسنگ در پوشش آبراهه‌ها، بدین‌ترتیب است که جداره و کف آبراهه با یک لایه تورسنگی که به‌طور کامل با مقطع جریان در آبراهه‌ها هماهنگی و تطابق دارد پوشیده می‌شود. ضخامت لایه و ابعاد آن باید در حدی باشد که در مقابل نیروی ناشی از جریان آب مقاومت داشته و از فرسایش مصالح بستر جلوگیری نماید. بنابراین سرعت آب در فصل مشترک لایه سنگی و بستر خاکی، باید از مقداری که توانایی جابجاکردن ذرات متشکله خاک را دارد کمتر باشد.

1 - Membrane
2 - Drawdown
3 - Structure Retaining
4 - Apron

۷-۳-۴-۲ پوشش حفاظتی پایه پل‌ها

کاربرد سازه‌های تورسنگی در محافظت پایه‌های پل در مقابل آب شستگی، دارای نقش اساسی است. دو کاربرد اصلی تورسنگ در این زمینه، شامل ایجاد کف‌بند تورسنگی در اطراف پایه پل و دیگری ایجاد دستک‌های تورسنگی در کرانه‌های رودخانه یا مسیل در طرفین پایه پل می‌باشد. کف‌بند تا حد زیادی اطراف پایه پل را از آب شستگی حفاظت می‌نماید و دستک‌ها نیز کرانه رودخانه یا مسیل را در مقابل فرسایش محفوظ می‌دارد.

گاهی اوقات برای کاهش سرعت جریان آب در محل پایه پل و جلوگیری از آب شستگی در بخش پایین‌دست رودخانه یا مسیل، آب‌نمایی از نوع تورسنگی احداث می‌گردد. نقش این سازه، کاهش شیب کف رودخانه در پایین‌دست پل می‌باشد. برای محافظت پایین‌دست آب‌نما، باید تدابیر لازم برای مستهلک نمودن انرژی صورت گیرد. احداث حوضچه‌های آرامش با سنگ‌های نسبتاً درشت و پیش‌بندهای دندانه‌دار، از جمله اقدامات مناسب در این زمینه است.

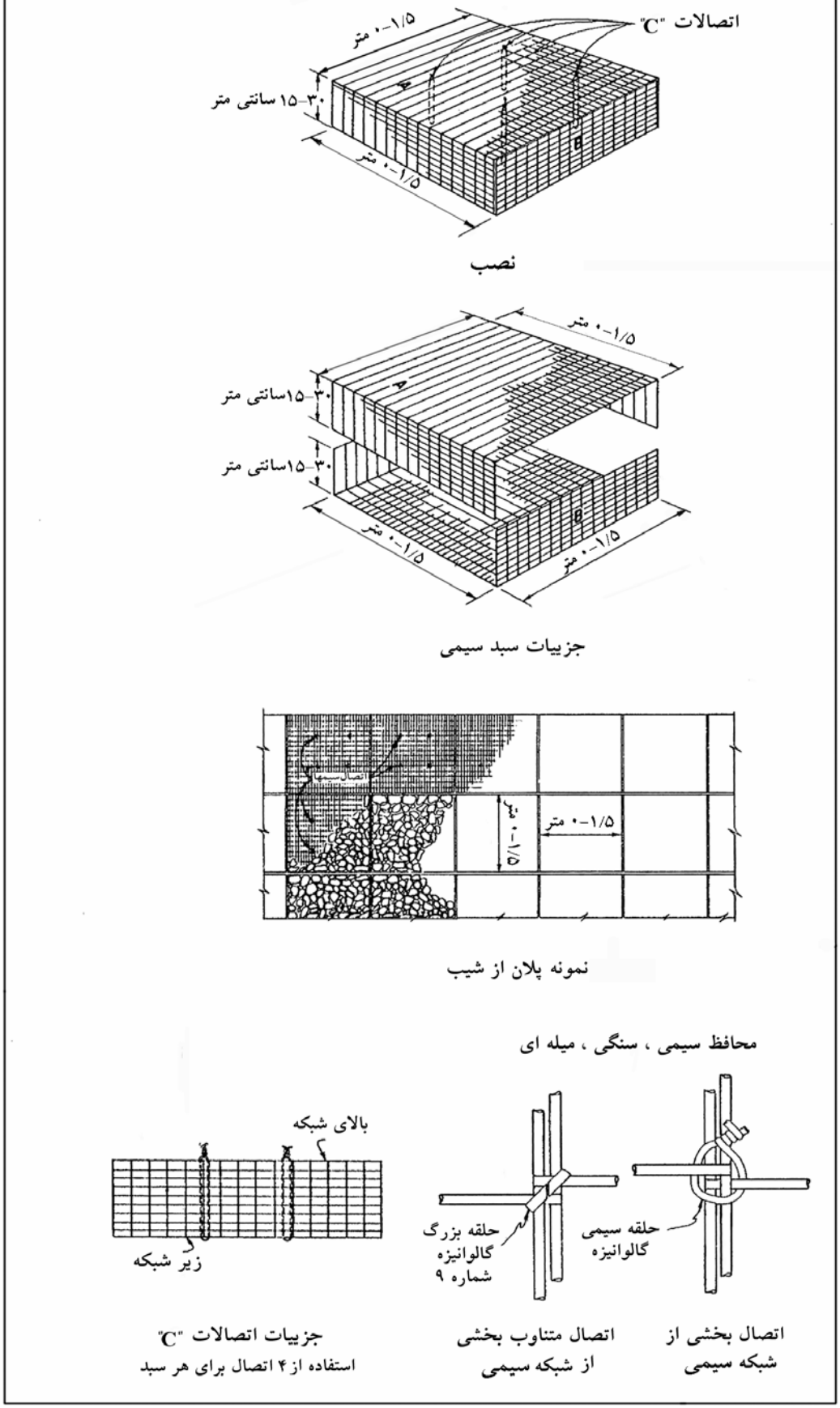
۷-۳-۴-۳ حفاظت آبروها

برای حفاظت بدنه و کف مجاری در بالادست و پایین‌دست آبروها، از تورسنگ نیز استفاده می‌شود. خصوصیات چنین تورسنگ‌های حفاظتی، مانند مواردی است که برای پوشش آبراهه‌ها گفته شد. در شکل (۳۸) تیپ تورسنگ حفاظتی در بالادست یا پایین‌دست ساختمان آبرو ارائه شده است.

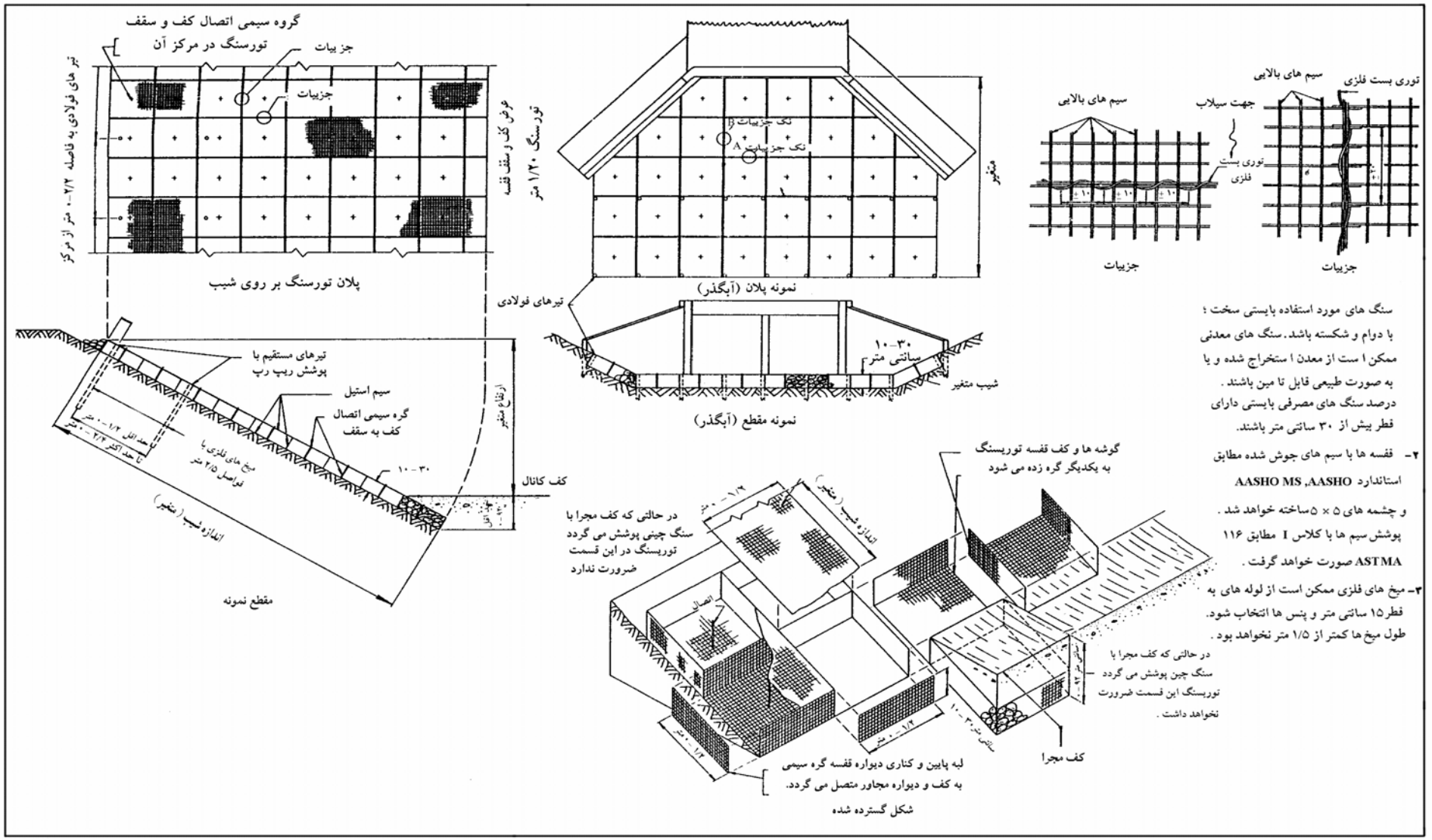
۷-۳-۴-۴ حفاظت دهانه ورودی مجاری آبگیری از رودخانه‌ها و محل‌های ایستگاه پمپاژ

حفاظت دهانه ورودی مجاری آبگیری از رودخانه‌ها و همچنین محل ایستگاه‌های پمپاژ مستقر در سواحل رودخانه‌ها، می‌تواند با سازه‌های تورسنگی صورت گیرد. بدین منظور، واحدهای تورسنگی با ابعاد گوناگون را می‌توان روی یکدیگر قرار داد و دیواره‌های حایل در دهانه ورودی مجرای آبگیری را احداث نمود. همچنین برای‌حفاظت دیواره‌های شیبدار رودخانه در محل‌های گفته شده، می‌توان تورسنگ‌های تشکی (تورسنگ‌های کوتاه) را پهلو به پهلو قرار داد و روی شیب کرانه رودخانه پوشش حفاظتی مناسبی ایجاد نمود.

سازه‌های تورسنگی در این محل‌ها، می‌توانند به خوبی با جابه‌جایی و نشست احتمالی دیواره ساحل و همچنین تغییر فشار ناشی از جریان آب و امواج در رودخانه هماهنگی داشته باشند. این قابلیت، ناشی از انعطاف‌پذیری اینگونه سازه‌هاست. در ضمن ناصافی و خلل و فرج تورسنگ‌ها، باعث استهلاک بخش عمده‌ای از انرژی ناشی از برخورد موج به سازه می‌گردد.



شکل ۳۷- نحوه بستن تورسنگ



شکل ۳۸- انواع تورسنگ و نحوه اجرای آنها

۸- منابع و مآخذ

1- Design Standard No 3- Canal and Related Structures, United States, Department of The Interior – Bureau of Reclamation, Office of Chief Eng. Denver, Colorado 1967.

2- Design of Small Canal Structures, United States, Department of The Interior – Bureau of Reclamation Denver, Colorado 1978.

3- Design of Small Dams, United States, Department of The Interior – Bureau of Reclamation, Denver, Colorado 1987.

Hydraulic Design Criteria of Protective Structure, Crossing, Transition, Safety and Erosion protection Structures

این نشریه
ضوابط طراحی هیدرولیکی انواع سازه‌های حفاظتی ساختمان‌های تقاطعی و ساختمان‌های تبدیل کانال‌های آبیاری را ارائه می‌نماید. سازه‌های حفاظتی مورد بررسی در این نشریه شامل سازه‌های سرریز اضطراری و هرز آبروها می‌باشد که جهت حفاظت کانال در مقابل جریان‌های مازاد ورودی طراحی می‌گردد.
ساختمان‌های تقاطعی شامل آبرو زیرگذر و روگذر برای محل تلاقی کانال با زهکش‌ها و نهرها و انواع ساختمان‌های تبدیل در محل تغییر مقطع و شرایط هیدرولیکی کانال منظور گردیده که برای هر مورد مبانی طراحی هیدرولیکی مشخص گردیده است.

معاونت امور اداری ، مالی و منابع انسانی
مرکز مدارک علمی ، موزه و انتشارات
ISBN: 964-425-732-4