

ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و تأسیسات پایانه‌ای استهلاک انرژی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی

نشریه شماره ۴۸۲

وزارت نیرو
دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا
<http://seso.moe.org.ir>

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور
معاونت نظارت راهبردی
دفتر نظام فنی اجرایی
<http://tec.mporg.ir>

ایران. ریاست جمهوری. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی. دفتر نظام فنی اجرایی

ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و تأسیسات پایانه‌ای

استهلاک انرژی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی / معاونت نظارت راهبردی، دفتر نظام فنی

اجرایی؛ وزارت نیرو، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا. - تهران: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت

راهبردی رئیس جمهور، مرکز داده‌ورزی و اطلاع‌رسانی، ۱۳۸۹.

ث، ۶۵ ص. مصور. - (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. دفتر نظام فنی اجرایی؛

نشریه شماره ۴۸۲) (انتشارات معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور؛ ۸۹/۰۰/۷۳)

ISBN 978-964-179-292-5

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۰/۱۳۴۳۳ مورخ ۱۳۸۸/۲/۱۹

کتابنامه: ص. ۶۵

۱. سازه‌های هیدرولیکی - طرح و محاسبه - استانداردها. ۲. آبیاری - استانداردها. ۳. زهکشی -

استانداردها. ۴. آبشکنها - استانداردها. الف. ایران. وزارت نیرو. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و

آبفا. ب. ایران. ریاست جمهوری. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی. مرکز داده‌ورزی و

اطلاع‌رسانی. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۹ ش. ۴۸۲ ۸۸ الف / TA ۳۶۸

ISBN 978-964-179-292-5

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۱۷۹-۲۹۲-۵

ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و تأسیسات پایانه‌ای استهلاک

انرژی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی

ناشر: معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، مرکز داده‌ورزی و اطلاع‌رسانی

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۱۲۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۹

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: واژه

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



بسمه تعالی

رئاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

شماره:	۱۰۰/۱۳۳۳
تاریخ:	۱۳۸۸/۲/۱۹
بخشنامه به دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	
موضوع: ضوابط طراحی هیدرولیکی شبشکن ها، تند آب ها و تاسیسات پایانه ای استهلاک انرژی در شبکه های آبیاری و زهکشی	
به استناد آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۲۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۸۲ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «ضوابط طراحی هیدرولیکی شبشکن ها، تند آب ها و تاسیسات پایانه ای استهلاک انرژی در شبکه های آبیاری و زهکشی» از نوع گروه سوم ابلاغ می شود. دستگاه های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش ها، دستورالعمل ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست. عوامل یاد شده باید نسخه ای از دستورالعمل ها، روش ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند.	
معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور عباس منصور برقی	

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

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

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

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

۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.

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

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ معاونت

برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

Email: tsb.dta@mporg.ir

web: <http://tec.mporg.ir/>

پیشگفتار

طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران) استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل پیدایش، مطالعات توجیهی، طراحی پایه و تفصیلی، اجرا، راه‌اندازی، تحویل و شروع بهره‌برداری طرح‌ها و پروژه‌های سرمایه‌گذاری به لحاظ رعایت جنبه‌های توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، تامین کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور) با همکاری معاونت نظارت راهبردی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی (دفتر نظام فنی اجرایی) به استناد آیین‌نامه اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب کرده 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، نهادهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت؛

- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور؛

- توجه به اصول و موازین مورد عمل موسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران و سایر موسسات تهیه‌کننده استاندارد.

نشریه حاضر به منظور شناخت و تعیین ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و تاسیسات پایانه‌ای استهلاک انرژی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی تهیه شده تا راهنمای مناسبی برای مجریان و بخش‌هایی که بررسی و تصویب طرح‌ها را به عهده دارند، باشد.

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با به کارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیت‌های کشور تلاش کرده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند. با همه‌ی تلاش انجام‌شده قطعاً هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که این‌شاء... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد کرد.

در پایان، از تلاش و جدیت مدیرکل محترم دفتر نظام فنی اجرایی، سرکار خانم مهندس بهناز پورسید و کارشناسان این دفتر، نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد حاج‌رسولیه‌ها و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

معاون نظارت راهبردی

ترکیب اعضای تهیه کننده، کمیته و ناظران تخصصی

این استاندارد در دانشگاه تهران توسط افراد زیر به ترتیب حروف الفبا تهیه شده است:

رضا احمد آبادی	شرکت مهندسين مشاور پندام	فوق لیسانس تاسیسات آبیاری
صلاح کوچک زاده	دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران	دکترای هیدرولیک
آوا مرعشی	کارشناس آزاد	فوق لیسانس سازه های آبی

گروه نظارت که مسئولیت نظارت تخصصی بر تدوین این استاندارد را به عهده داشته اند، به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

محمد کاظم سیاهی	شرکت مهندسين مشاور پندام	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی و مهندسی عمران
محمد حسن عبدالله شمشیرساز	شرکت مهندسين مشاور پژوهاب	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
انسیه محرابی	وزارت نیرو	فوق لیسانس مهندسی سازه های آبی

اعضای کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور که بررسی و تایید استاندارد حاضر را به عهده داشته اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

ابراهیم پذیرا	دانشگاه آزاد واحد علوم، تحقیقات و فناوری	دکترای منابع آب
احمد پورزند	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	لیسانس مهندسی آبیاری
محمد صادق جعفری	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
سید مجتبی رضوی نبوی	شرکت مدیریت منابع آب	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
سید رحیم سجادی	وزارت جهات کشاورزی	لیسانس مهندسی آبیاری
محمد کاظم سیاهی	شرکت مهندسين مشاور پندام	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی و مهندسی عمران
محمد حسن عبدالله شمشیرساز	شرکت مهندسين مشاور پژوهاب	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
انسیه محرابی	وزارت نیرو	فوق لیسانس مهندسی سازه های آبی
محمد جواد منعم	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای مهندسی آبیاری و زهکشی

کارشناسان معاونت نظارت راهبردی:

آقای علیرضا دولتشاهی	دفتر نظام فنی اجرایی	لیسانس مهندسی کشاورزی
خانم فرزانه آقارمضانعلی	دفتر نظام فنی اجرایی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
خانم شهرزاد روشن خواه	دفتر نظام فنی اجرایی	کارشناس ارشد مهندسی عمران - ژئوتکنیک

بدین وسیله معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور از زحمات تمام کارشناسان و متخصصان یادشده که در تهیه و تدوین این نشریه همکاری داشته اند ، سپاسگزاری می کند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول - هدف و دامنه کاربرد
۵	۱-۱- هدف
۵	۱-۲- دامنه کاربرد
۷	فصل دوم- ضوابط طراحی شیب‌شکن‌ها
۹	۱-۲- کلیات
۹	۲-۲- ضوابط عمومی طراحی
۱۱	۳-۲- ضوابط طراحی هیدرولیکی
۱۱	۲-۳-۱- ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن قائم
۱۵	۲-۳-۲- ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن مایل مستطیلی
۲۱	۳-۳-۲- ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌های مایل لوله‌ای
۳۰	۴-۳-۲- ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن مایل مستطیلی مانع‌دار
۳۴	۵-۳-۲- حفاظت در برابر فرسایش
۳۵	فصل سوم - ضوابط طراحی تندآب‌ها
۳۷	۱-۳- کلیات
۳۷	۲-۳- ضوابط عمومی طراحی
۳۷	۳-۳- ضوابط طراحی هیدرولیکی تند آب با کانال روباز
۳۷	۱-۳-۳- بخش ورودی تندآب
۴۱	۲-۳-۳- مجرای تندآب
۴۱	۳-۳-۳- ساختمان تبدیل مابین مجرای تندآب و حوضچه آرامش
۴۲	۴-۳-۳- حوضچه آرامش
۴۲	۵-۳-۳- تشکیل امواج
۴۴	۴-۳- ضوابط طراحی هیدرولیکی تندآب لوله‌ای
۴۵	فصل چهارم - سازه‌های استهلاک انرژی
۴۷	۱-۴- کلیات
۴۸	۲-۴- ضوابط عمومی طراحی
۵۰	۳-۴- ضوابط طراحی هیدرولیکی
۵۰	۱-۳-۴- حوضچه آرامش USBR-I

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۵۰	۴-۳-۲- حوضچه آرامش USBR-II
۵۱	۴-۳-۳- حوضچه آرامش USBR-III
۵۲	۴-۳-۴- حوضچه‌های آرامش نوع USBR- IV
۵۸	۴-۳-۵- حوضچه آرامش SAF
۶۰	۴-۳-۶- حوضچه آرامش ضربه‌ای

۶۵

منابع و مراجع

مقدمه

از اوایل دهه شصت شمسی که طراحی و اجرای پروژه‌های بزرگ آبی در ایران به کارشناسان و متخصصان ایرانی واگذار شد ضرورت وجود استانداردها، ضوابط و معیارهای صنعت آب بر کارشناسان شاغل در این صنعت نمایان گردید. به همین دلیل فعالیت‌های متعددی توسط ارگان‌های مرتبط برای تدوین ضوابط و معیارهای فنی صورت گرفت که برخی از نتایج آن‌ها منتشر گردید. اما فعالیت طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو در این راستا نوید استمرار کار به منظور تدوین جامع استانداردها، ضوابط و معیارهای طراحی در صنعت آب را داد. فعالیتی که می‌تواند منجر به ثبت تجارب ملی و به‌کارگیری آن‌ها برای بهبود روش‌ها و اقتصادی‌تر نمودن طراحی، اجرا و بهره‌برداری از پروژه‌ها گردد. این نشریه به عنوان راهنمایی برای طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و تاسیسات پایانه‌ای استهلاک انرژی در سازه‌های آبیاری و زهکشی تهیه و تدوین شده است. سازه‌ها و ضوابط طراحی ارائه شده در این نشریه مستند به مراجع شناخته شده بین‌المللی و تجارب داخلی است. یادآوری این نکته ضروری است که نقشه‌های این نشریه با هدف تبیین کلی مطالب تهیه شده‌اند و مقرر است که نقشه‌های همسان اجرایی سازه‌های شیب‌شکن و تندآب‌ها در قالب نشریه جداگانه‌ای تدوین و در اختیار مهندسان قرار گیرد.

فصل ۱

هدف و دامنه کاربرد

۱-۱- هدف

هدف از این نشریه ارائه ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و تاسیسات پایانه‌ای استهلاک انرژی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد.

۱-۲- دامنه کاربرد

سازه‌ها و ضوابط ارائه شده در این نشریه برای بده تا ۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد (مگر غیر از آن در متن به صراحت ذکر شده باشد).

فصل ۲

ضوابط طراحی شیب شکن ها

۲-۱- کلیات

شیب‌شکن‌ها^۱ آب را در مسیر کانال از تراز بالاتر به تراز پایین‌تر منتقل کرده و انرژی اضافی آن را از بین می‌برند. در محلی که شیب طبیعی زمین در امتداد مسیر کانال از شیب طولی کانال بیش‌تر باشد، با ساخت شیب‌شکن (و یا تندآب) در نقاط مناسب اختلاف شیب‌ها جبران می‌شود. معمولا برای افت سطح آب کم‌تر از ۴/۵ متر از شیب‌شکن‌ها و برای مقادیر بیش از آن از سازه تندآب استفاده می‌شود اما در برخی موارد باتوجه به شرایط فنی و اقتصادی طرح، یک سازه تندآب با شیب‌شکن‌های متوالی جایگزین می‌گردد. انواع شیب‌شکن‌های متداول در شبکه‌های آبیاری و زهکشی (شبکه اصلی) به شرح زیر می‌باشند:

- شیب‌شکن قائم^۲
 - شیب‌شکن مایل مستطیلی^۳
 - شیب‌شکن مایل لوله‌ای^۴
 - شیب‌شکن مایل مانع‌دار^۵
- معمولا یک شیب‌شکن شامل قسمت ورودی، آبشار (قائم یا مایل)، حوضچه آرامش و قسمت خروجی می‌باشد.

۲-۲- ضوابط عمومی طراحی

ضوابط عمومی زیر در طراحی شیب‌شکن‌ها باید رعایت شود:

- اصولا ملاحظات اقتصادی عملیات خاکی^۶ در تعیین محل ساخت شیب‌شکن (و تندآب) نقش اساسی دارد. به طور کلی موقعیت و فواصل شیب‌شکن‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که احجام خاک‌برداری و خاک‌ریزی تقریبا متعادل باشد تا علاوه بر اقتصاد طرح عملیات نگهداری^۷ نیز با مشکل مواجه نگردد.
- معمولا سازه‌های شیب‌شکن (و تندآب) جایی ساخته می‌شود که در آن محل پیش از آن که کف کانال در خاک‌ریزی واقع شود، تراز سطح آب طراحی (F.S.L.)^۸ در کانال، بالاتر از تراز زمین طبیعی قرار گیرد.
- در انتخاب تعداد و ارتفاع شیب‌شکن‌ها مزیت اقتصادی نقش اساسی دارد. انتخاب تعداد شیب‌شکن‌های بیش‌تر با ارتفاع کم‌تر معمولا حجم عملیات خاکی را کاهش داده و هزینه ساخت سازه‌ها را افزایش می‌دهد و برعکس. از این رو ترکیب انتخاب شده باید طوری باشد تا علاوه بر کمینه کردن مجموع هزینه‌ها خللی در تامین بارآبی لازم برای آبیگری ایجاد نکند.

1- Drops
 2- Vertical Drop
 3- Rectangular Inclined Drop
 4- Pipe Drops
 5- Baffled Apron Drop
 6- The Consideration of Economy of Earth Work
 7- Maintenance
 8- Full Supply Level

- سفارش می‌شود فاصله افقی بین دو شیب‌شکن متوالی با توجه به حداکثر ظرفیت طراحی کانال (تا سه متر مکعب بر ثانیه) کم‌تر از ۶۰ متر انتخاب نشود.
- ترکیب سازه شیب‌شکن (و تندآب) با سازه‌های دیگر از قبیل تنظیم کننده سطح آب، پل جاده^۱ یا سازه دیگری که توجیه فنی و اقتصادی داشته باشد می‌تواند نقش مهمی در تعیین محل ساخت شیب‌شکن را ایفا نماید.
- معمولاً طراحی سازه تنظیم سطح آب کانال با قسمت ورودی شیب‌شکن (و تندآب) تلفیق می‌شود. در کانال‌های خاکی فرسایش‌پذیر چنانچه نیازی به تلفیق یاد شده نباشد، برای جلوگیری از فرسایش بستر کانال بالادست، معمولاً ساخت شیار کنترل^۲ در ورودی شیب‌شکن تاکید می‌شود. طرح شیار کنترل باید برای دامنه بده طراحی تا ۲۰ درصد بده طراحی انجام شود. تاج سرریز شیار کنترل هم‌تراز و یا کمی بالاتر از تراز عادی آب بالادست و کف شیار کنترل هم‌تراز با کف کانال بالادست در نظر گرفته می‌شود.
- در صورت تلفیق سازه تنظیم در قسمت ورودی شیب‌شکن (و تندآب)، ساخت سرریز جانبی در قسمت ورودی لازم خواهد بود. طرح سرریز جانبی باید به گونه‌ای باشد که در هنگام بسته شدن دریچه‌های تنظیم کننده یا قطع آبگیری کانال انشعابی، تمام یا بخشی از بده طراحی (بر حسب ظرفیت کانال) تخلیه شود.
- قسمت ورودی شیب‌شکن‌ها (و تندآب‌ها) باید متقارن و به اندازه کافی از قوس کانال بالادست دور باشد تا از ایجاد جریان نامتقارن در قسمت ورودی شیب‌شکن (و تندآب) جلوگیری شود. تراز قسمت ورودی شیب‌شکن باید برابر و یا پایین‌تر از تراز کف کانال بالادست قرار گیرد.
- طراحی قسمت ورودی شیب‌شکن‌ها (و تندآب‌ها) باید به گونه‌ای باشد که جریان آب در ظرفیت طراحی با همان عمق جریان یکنواخت در کانال به سازه شیب‌شکن (و تندآب) هدایت شود.
- شیب‌شکن‌های مایل مانع‌دار معمولاً در زهکش‌ها و محل‌هایی که سطح آب پایاب متغیر و غیرقابل کنترل باشد، به کار می‌روند. این شیب‌شکن‌ها انرژی قابل توجهی را در فاصله افقی نسبتاً کوتاهی مستهلک می‌کنند. معمولاً ارتفاع شیب‌شکن مانع‌دار محدودیت ندارد اما با افزایش بده و ارتفاع سازه، اقتصاد طراحی مورد سوال است.
- به جز شیب‌شکن‌های مایل لوله‌ای، مقطع عرضی شیب‌شکن‌ها به صورت مستطیلی است اما برای ظرفیت‌های کم که شیب‌شکن در وضعیت خاک‌برداری کامل قرار می‌گیرد از مقطع دوزنقه‌ای هم می‌توان استفاده کرد.
- ساختمان شیب‌شکن (و تندآب) باید دارای طول خزش کافی با توجه به جنس مصالح پی و اختلاف بارآبی بالادست و پایین‌دست شیب‌شکن باشد تا در برابر پدیده رگاب^۳ و لغزش، مصون و پایدار باشد. در صورتی که طول مسیر خزش جریان کافی نباشد، باید طول تبدیل بالادست شیب‌شکن را افزایش داد و یا در شیب‌شکن‌های لوله‌ای از طوقه‌های دور لوله^۴ استفاده نمود.
- در صورتی که کانال پایین‌دست خاکی باشد، حفاظت پایین‌دست با پوشش سنگ‌چین به همراه بستر شنی^۵ مورد نیاز است.

1- Road Bridge

2- Control Notch

3- Piping

4- Pipe Collar

5- Gravel Bedding

۳-۲- ضوابط طراحی هیدرولیکی

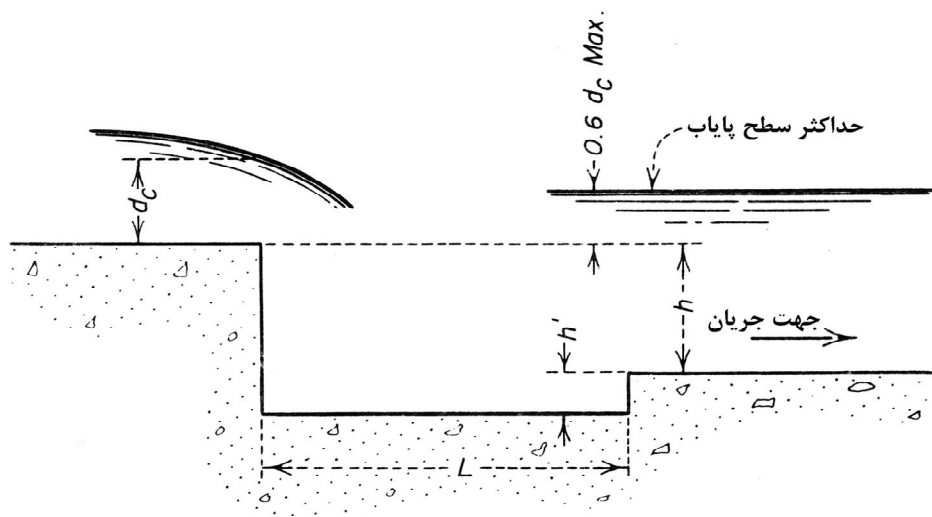
ضوابط طراحی هیدرولیکی انواع شیب‌شکن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

۳-۲-۱- ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن قائم

شیب‌شکن‌های قائم تغییر ناگهانی در تراز کف کانال ایجاد می‌کنند و دارای انواع مختلفی هستند. در این استاندارد متداول‌ترین آن‌ها که شیب‌شکن پیشنهادی اداره عمران ایالات متحده (USBR)^۱ می‌باشد ارائه شده است. شیب‌شکن‌های قائم در کانال‌های خاکی غالباً برای کاهش انرژی تا حدود یک متر به کار می‌روند. حداکثر افت سطح آب در این سازه برای بده‌های تا دو متر مکعب بر ثانیه، به یک متر و برای بده‌های بیش‌تر به نیم متر محدود می‌شود. اگر چه شیب‌شکن‌هایی با افت سطح آب تا ۲/۴ متر در کانال‌های با پوشش بتنی به کار رفته‌اند، اما به طور کلی افت سطح آب در این سازه باید به ۱/۸ متر محدود شود.

۳-۲-۱-۱- شیب‌شکن قائم

عملکرد مطلوب شیب‌شکن قائم مستلزم رعایت بعضی از ابعاد حوضچه آرامش است. برای برخورد جت به کف حوضچه آرامش و جلوگیری از انتقال امواج به پایین‌دست سازه، تراز سطح آب پایین‌دست سازه نباید بیش از ۰/۶ عمق بحرانی بده طراحی ($0.6 d_c$) از تراز نقطه لبریز بالاتر باشد. شکل (۱-۲) ابعاد شیب‌شکن قائم را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲ شیب‌شکن قائم USBR

در طراحی شیب‌شکن قائم که ویژگی‌های آن در شکل (۱-۲) ارائه شده است، طول حوضچه آرامش از رابطه (۱-۲) به‌دست می‌آید. طول به‌دست آمده از رابطه (۱-۲) را می‌توان به میزان ۰/۱۵ متر تعدیل نمود. اما برای بده‌های کم‌تر از سه متر مکعب بر ثانیه ممکن است که منظور نمودن طول‌های اضافی باعث تولید امواج نامطلوب نشود. تامین طول لازم برای مسیر نشت در امتداد

این نوع سازه با ساخت دیوارهای آب‌بند متعدد ضروری است. اما اضافه کردن طول حوضچه آرامش برای این منظور مطلوب نیست همچنین تراز کف حوضچه آرامش این نوع شیب‌شکن باید در حدود $0.5 d_c$ پایین‌تر از تراز کف کانال پایین‌دست باشد.

$$L = \left[25 + 1.1 \left(\frac{d_c}{h} \right) + 0.7 \left(\frac{d_c}{h} \right)^3 \right] \sqrt{h d_c} \quad (1-2)$$

در رابطه فوق:

d_c : عمق جریان بحرانی برحسب متر

h : مقدار پایین افتادگی کف کانال در بالادست و پایین‌دست شیب‌شکن قائم برحسب متر

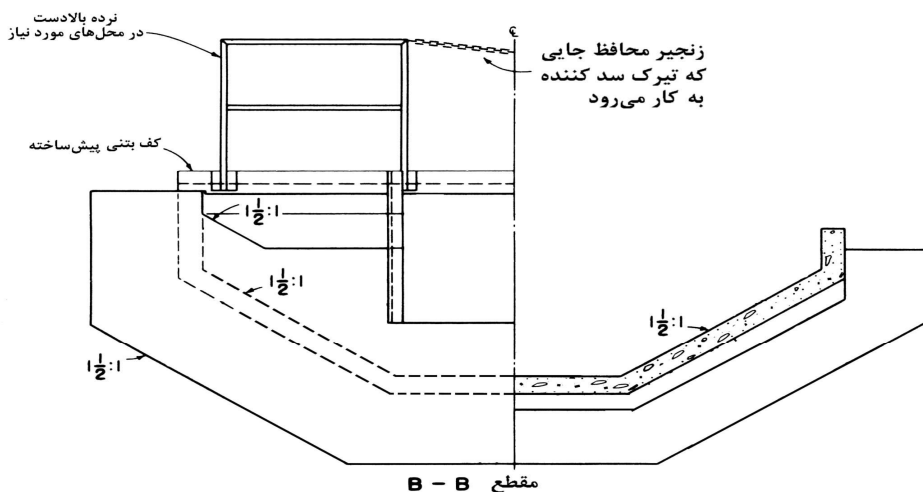
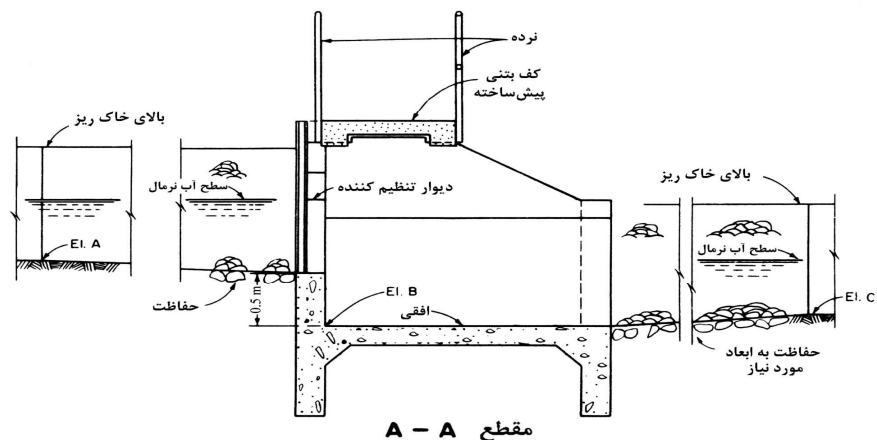
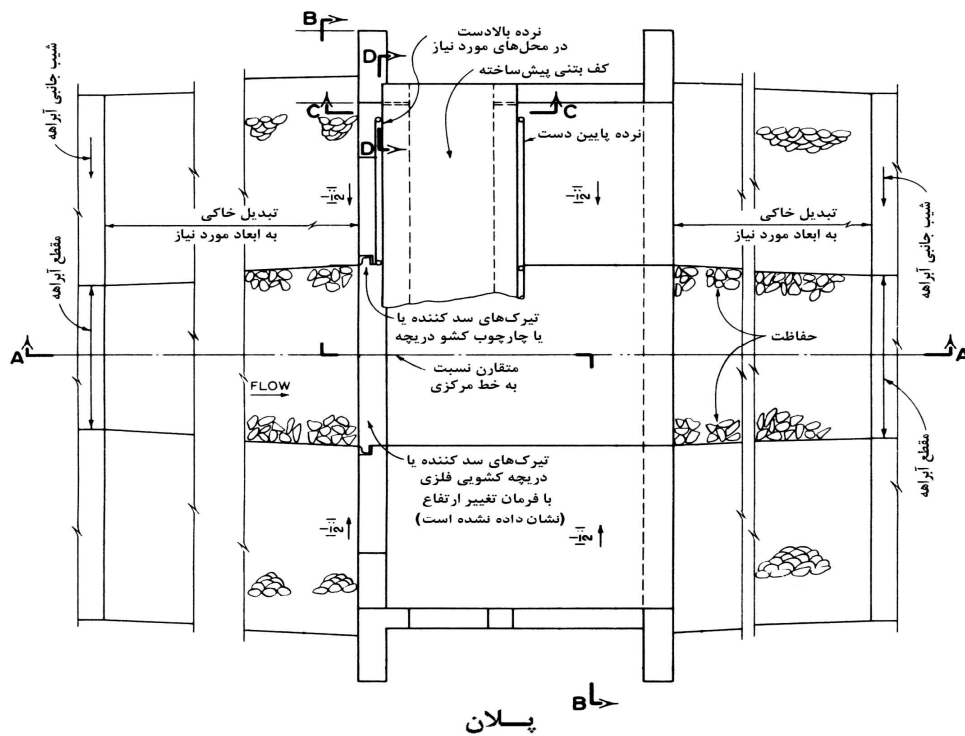
شیب‌شکن‌های قائم را ترجیحا در ترکیب با سازه‌های تنظیم سطح آب به کار می‌برند تا از کاهش عمق آب و ایجاد آبشستگی در کانال خاکی بالادست جلوگیری شود. شکل‌های (۲-۲) و (۳-۲) ترکیب نوعی شیب‌شکن قائم و سازه تنظیم را به ترتیب برای بده‌های کم‌تر از ۲ متر مکعب بر ثانیه و بین $1/7$ تا ۳ متر مکعب بر ثانیه نشان می‌دهد.

اجرای شیب‌شکن قائم در کانال‌های با بستر خاکی یا زهکش‌ها نیازمند محافظت بستر کانال در مقابل فرسایش است (شکل ۲-۴). چنانچه مقطع کنترل بر روی قسمت بتنی قرار گیرد، یعنی عمق بحرانی پیش از ورودی سازه رخ ندهد، نوع حفاظت در برابر فرسایش در ورودی سازه (بالادست) و خروجی آن (پایین‌دست) را باید به کمک جدول ۶ بخش ۷ نشریه شماره ۳۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری تعیین نمود.

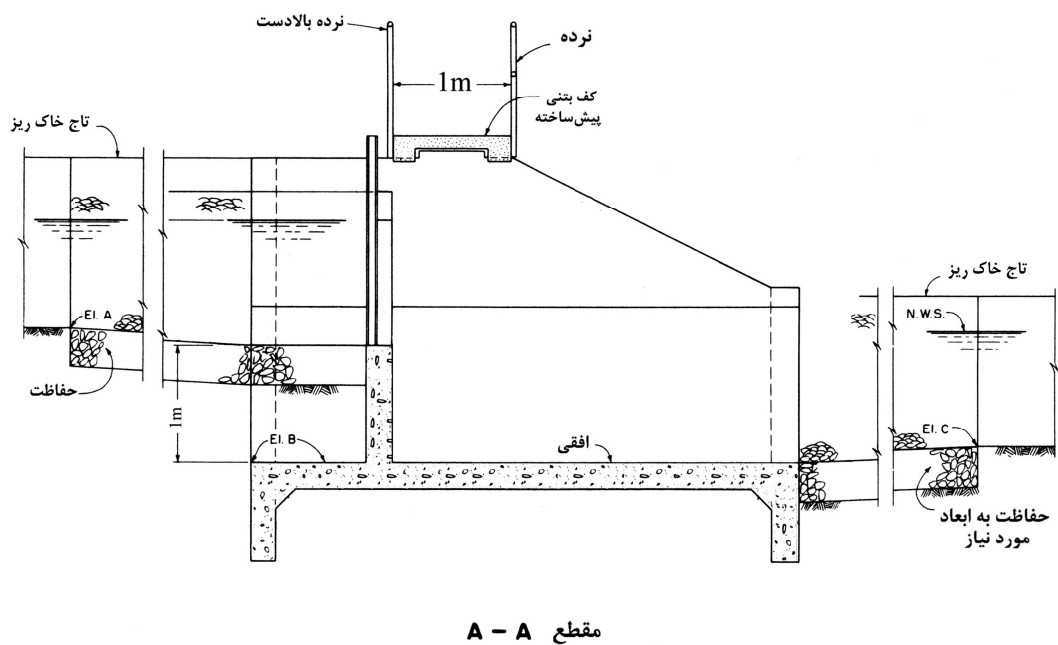
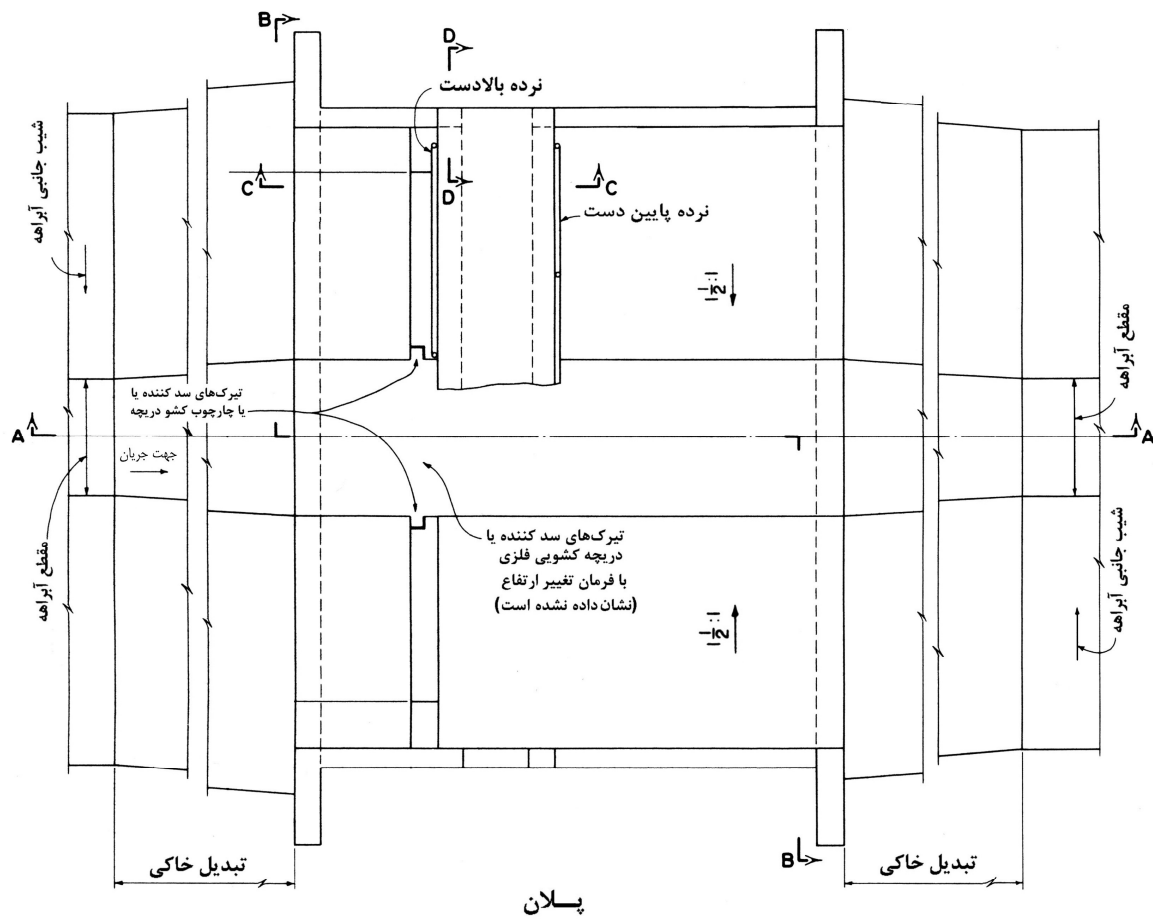
برای جلوگیری از وقوع پدیده رگاب، مسیر خزش آب در زیر سازه باید به اندازه کافی طویل باشد تا نسبت طول وزنی مسیر خزش به اختلاف تراز سطح آب بالادست و پایین دست برابر یا بیش‌تر از مقادیر ارائه شده در جدول (۲-۱) باشد. برای محاسبه طول وزنی مسیر خزش به روش لین^۱، طول اجزایی از سازه که زاویه کوچک‌تر از ۴۵ درجه با افق می‌سازند در ضریب $1/3$ ضرب می‌شوند و ضریب طول سایر اجزای دیگر در مسیر نشت یک می‌باشد.

جدول ۲-۱ نسبت وزنی طول خزش به اختلاف تراز سطح آب

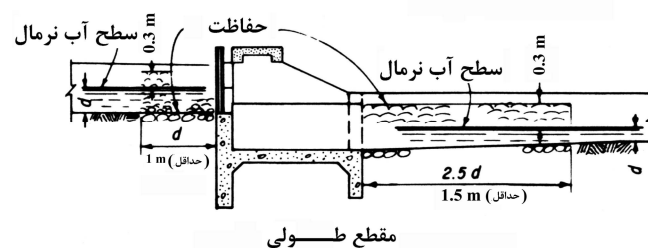
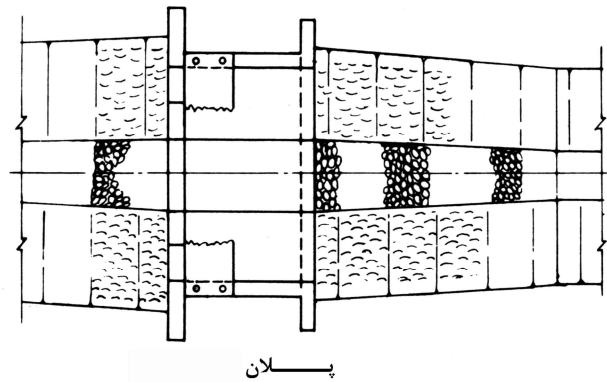
جنس مصالح بستر	حداقل نسبت
سیلت یا ماسه بسیار ریز	۸/۵ : ۱
ماسه ریز	۷/۰ : ۱
ماسه متوسط	۶/۰ : ۱
ماسه درشت	۵/۰ : ۱
شن ریز	۴/۰ : ۱
شن متوسط	۳/۵ : ۱
شن درشت شامل سنگدانه	۳/۰ : ۱
سنگ شامل شن و سنگدانه	۲/۵ : ۱
رس نرم	۳/۰ : ۱
رس متوسط	۲/۰ : ۱
رس سخت	۱/۸ : ۱
رس خیلی سخت	۱/۶ : ۱



شکل ۲-۲ تلفیق نوعی شیب شکن قائم و سازه تنظیم سطح آب برای بده کم تر از ۲ متر مکعب بر ثانیه و ارتفاع ۰/۵ متر (نوع USBR)



شکل ۲-۳ تلفیق نوعی شیب‌شکن قائم و سازه تنظیم سطح آب برای ارتفاع یک متر (نوع USBR)



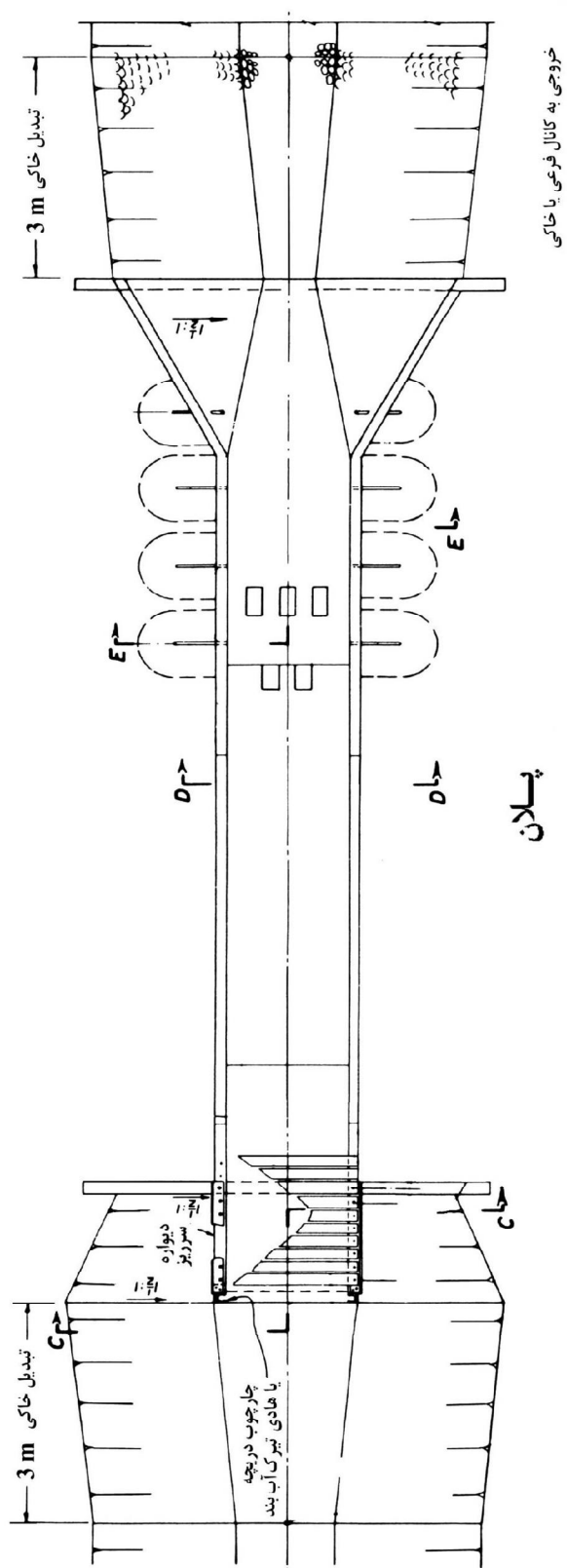
شکل ۲-۴ حفاظت در برابر فرسایش برای شیب‌شکن‌های قائم

۲-۳-۲- ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن مایل مستطیلی

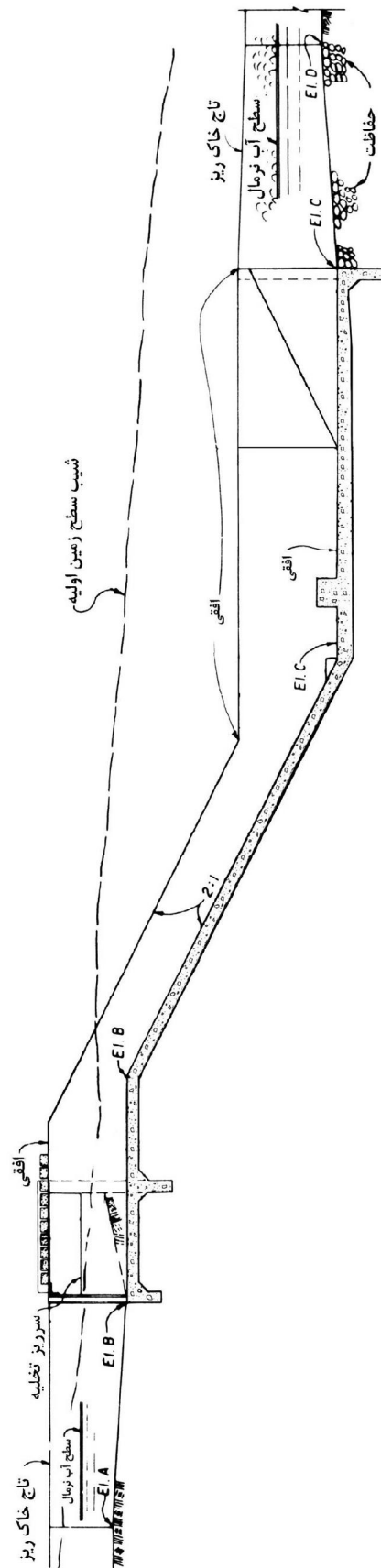
این نوع سازه شیب‌شکن برای کاهش تراز بستر بین ۱ تا ۴/۵ متر مورد استفاده قرار می‌گیرد. پلان و نیمرخ طولی این نوع شیب‌شکن در شکل (۲-۵) ارائه شده است. اجزای هیدرولیکی این نوع شیب‌شکن شامل تبدیل بالادست، قسمت ورودی، کانال مایل کوتاه، حوضچه آرامش و تبدیل پایین‌دست می‌باشد. ضوابط طراحی اجزای مختلف سازه شیب‌شکن مایل مستطیلی به شرح زیر است:

۲-۳-۲-۱- تبدیل بالادست

طراحی هیدرولیکی تبدیل بالادست با توجه به ضوابط طراحی مربوط باید به گونه‌ای صورت گیرد که باعث تغییر تدریجی سرعت جریان از کانال بالادست به سمت ورودی شیب‌شکن شود. در صورتی که در قسمت ورودی سازه شیب‌شکن، ساختمان کنترل طراحی شده باشد، تراز کف ابتدا و انتهای تبدیل یکسان خواهد بود اما اگر در قسمت ورودی شیب‌شکن، ساختمان تنظیم کننده طراحی شده باشد، ساختمان تبدیل تراز کف کانال بالادست را به صورت تدریجی تا قسمت ورودی سازه شیب‌شکن کاهش می‌دهد. در این حالت حداکثر شیب طولی تبدیل (4H:1V) می‌باشد.

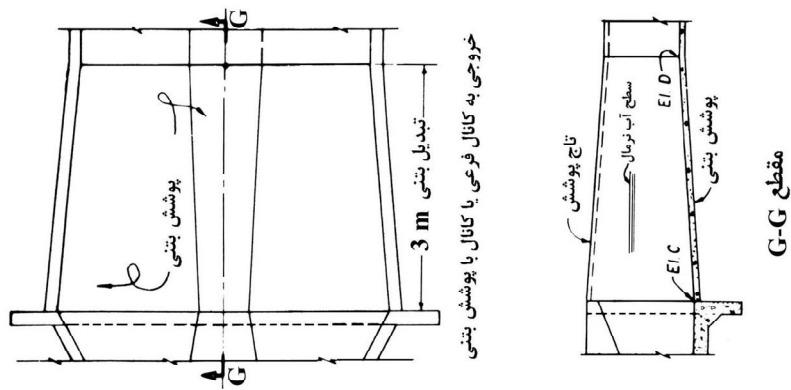


شکل ۵-۲ پلان و مقاطع مختلف شیب‌شکن مایل

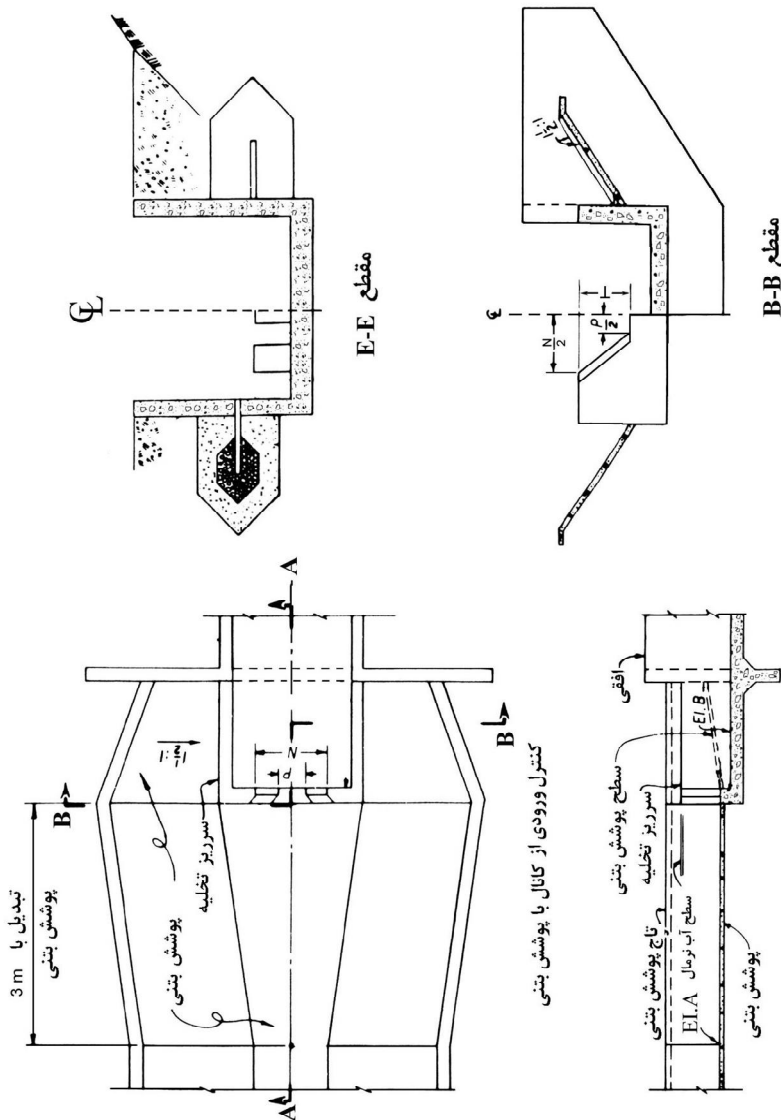


مقطع طولی

ادامه شکل ۲-۵ پلان و مقاطع مختلف شیب‌شکن مایل



خروجی به کانال فرعی یا کانال با پوشش بتنی



ادامه شکل ۲-۵ پلان و مقاطع مختلف شیب‌شکن مایل

۲-۳-۲- قسمت ورودی

قسمت ورودی سازه شیب‌شکن، تبدیل بالادست را به کانال مایل متصل می‌کند و شامل دیوارهای جناحی، دیوار آب‌بند، در مواقع لزوم شیار کنترل یا تنظیم کننده و یا سرریز (برای اندازه‌گیری جریان) به همراه دیوارهای جانبی می‌باشد. طول دیوار جانبی باید طوری طراحی شود که در صورت مسدود شدن شیار کنترل و یا تنظیم کننده حداکثر ظرفیت طراحی را عبور داده درحالی‌که ارتفاع آزاد کانال بالادست برای بده‌های تا سه متر مکعب بر ثانیه حدود ۱۵ سانتی‌متر و برای بده‌های بیش‌تر متناسب با ارتفاع آزاد کانال باشد. مقطع شیار کنترل که دوزنقه‌ای شکل است برای کنترل عمق و سرعت جریان بالادست سازه به کار می‌رود. شیار کنترل باید طوری طراحی شود تا برای عبور هر بده از آن (که معمولاً در دامنه بده طراحی و ۰/۲ مقدار آن است) عمق آب در کانال بالادست برابر عمق یکنواخت همان بده یا نزدیک به آن عمق باشد. به این ترتیب سازه شیار کنترل از افزایش سرعت جریان و وقوع فرسایش در کانال بالادست جلوگیری می‌کند.

- طراحی سازه شیار کنترل

طراحی سازه شیار کنترل براساس نمودارهای شکل (۲-۶) صورت می‌گیرد. به این ترتیب که برای بده‌های انتخاب شده، انرژی‌های مخصوص براساس عمق‌های یکنواخت مربوط محاسبه می‌شوند. با قرار دادن مقادیر بده و انرژی‌های مخصوص بر روی نمودارها مطلوب‌ترین مقطع تعیین می‌شود. مقطع شیار کنترل مقطعی است که با یک عرض کف خاص و شیب‌های جانبی یکسان برای هر دو بده (بده طراحی و ۰/۲ آن) به صورت مقطع کنترل عمل کند. معمولاً بیش از یک جواب برای مساله وجود دارد و مطلوب‌ترین آن‌ها، جوابی است که دارای کوچک‌ترین عرض کف باشد.

در کاربرد سرریزهای اندازه‌گیر جریان در قسمت ورودی، اگر کانال بالادست پوشش شده باشد، حداقل ارتفاع آزاد لازم در قسمت ورودی برابر با ارتفاع آزاد کانال و اگر کانال پوشش نشده باشد با توجه به عمق جریان، حداقل ارتفاع آزاد لازم به شرح جدول (۲-۲) می‌باشد. معمولاً تراز کف قسمت ورودی به اندازه کافی پایین در نظر گرفته می‌شود تا عمق آب در ابتدای قسمت کانال مایل بر جریان عبوری از شیار کنترل تاثیر نداشته باشد. به عبارت دیگر جریان در ابتدای قسمت کانال مایل شیب‌شکن نباید برگشت آب به سمت بالادست ایجاد کند. عرض قسمت ورودی برابر با عرض کانال مایل و حوضچه آرامش می‌باشد.

جدول ۲-۲ حداقل ارتفاع آزاد لازم در کانال‌های پوشش نشده با توجه به عمق آب در کانال هنگامی که سرریز اندازه‌گیر جریان در قسمت ورودی وجود دارد (اعداد برحسب سانتی‌متر).

عمق آب در کانال	۴۰	۶۰ تا ۴۰	۱۵۰ تا ۶۰	۲۲۵ تا ۱۵۰	۳۰۰ تا ۲۲۵
ارتفاع آزاد	۱۵	۲۵	۳۰	۴۰	۴۵

۲-۳-۳-۲- کانال مایل

کانال مایل، قسمت ورودی را به حوضچه آرامش متصل می‌سازد. معمولاً شیب قسمت کانال مایل شیب‌شکن (2H:1V) می‌باشد. ارتفاع دیوارهای جانبی کانال مایل با محاسبه سرعت جریان نظری و با منظور کردن ارتفاع آزاد به مقدار ۰/۳ متر برای بده‌های کم‌تر از سه متر مکعب بر ثانیه تعیین می‌شود. عمق آزاد برای بده‌های بالاتر را می‌توان مطابق مقادیر پیشنهاد شده برای مجرای تندآب در نظر گرفت. عرض کانال مایل با عرض حوضچه آرامش برابر می‌باشد.

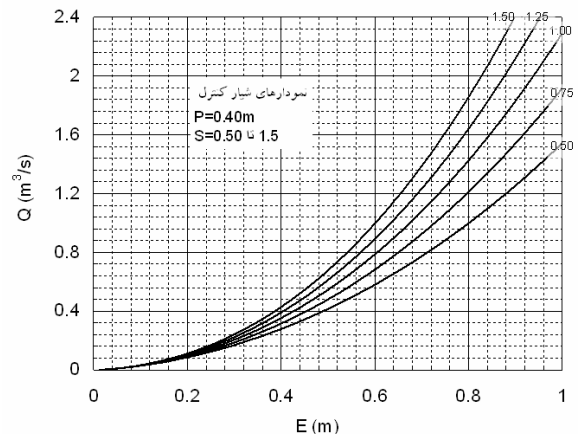
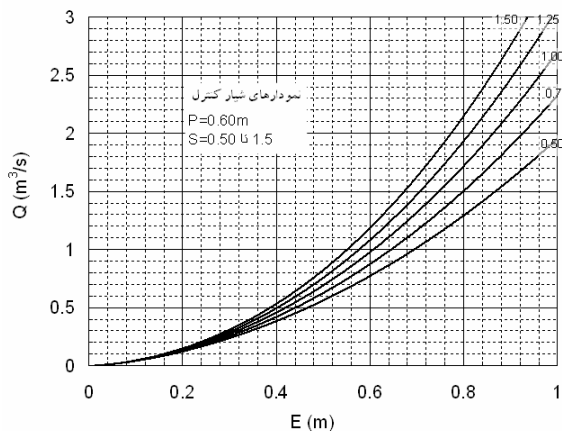
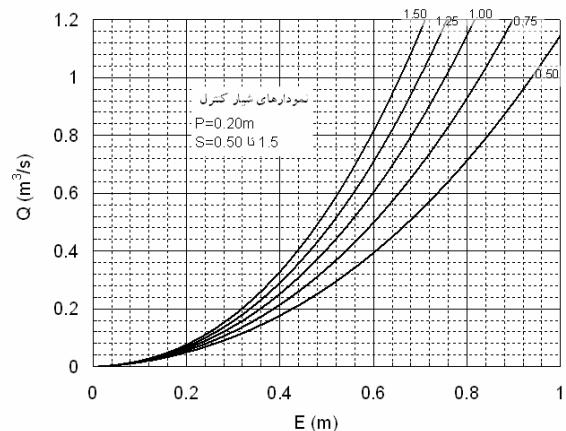
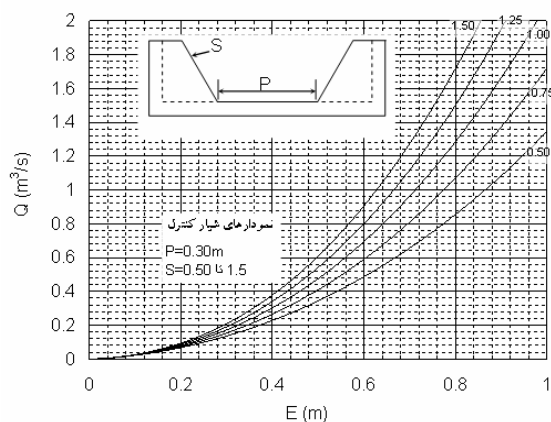
۲-۳-۲-۴- حوضچه آرامش

عرض حوضچه آرامش برای بده‌های کم‌تر از سه متر مکعب بر ثانیه از رابطه (۲-۱) محاسبه می‌شود:

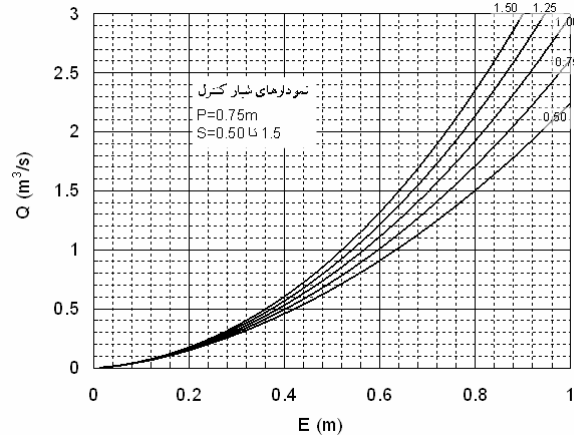
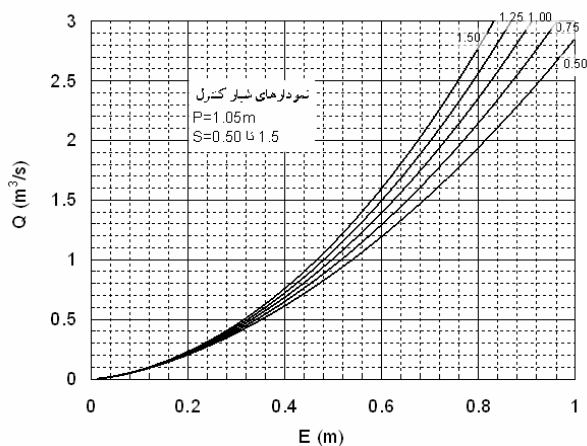
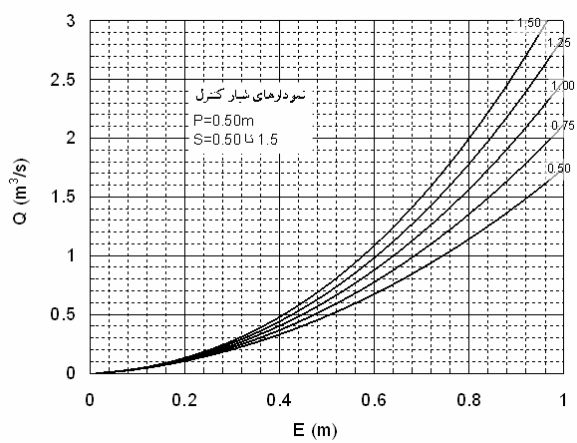
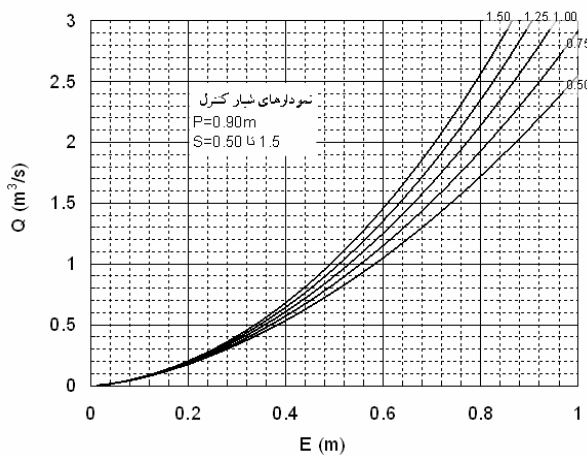
$$b = \frac{18.465\sqrt{Q}}{9.911 + Q} \quad (2-2)$$

که در آن Q بده جریان طراحی بر حسب متر مکعب بر ثانیه و b عرض حوضچه آرامش بر حسب متر می‌باشد. طول حوضچه آرامش برای بهره‌برداری دائمی و یا متناوب به ترتیب $3d_2$ و $4d_2$ می‌باشد که d_2 عمق جریان بعد از پرش هیدرولیکی است.

به منظور تامین ضریب اطمینان در محاسبه هیدرولیکی حوضچه آرامش، از افت اصطکاکی جریان در کانال مایل و قسمت ورودی صرف‌نظر می‌شود. تراز کف حوضچه آرامش با محاسبه تراز خط انرژی در پایین‌دست و با اعمال ضریب زبری معادل 0.8 ضریب زبری کانال پایین‌دست تعیین می‌شود. در صورتی که در کانال پایین‌دست ساختمان کنترل سطح آب موجود نباشد. از یک سامانه کنترل در تبدیل خروجی حوضچه آرامش بهره گرفته خواهد شد. تراز کف حوضچه آرامش با کسر $(d_2 + h_{v2})$ از تراز حداقل خط انرژی پایین‌دست محاسبه می‌شود و h_{v2} بار سرعت جریان بعد از پرش هیدرولیکی است. ضوابط طراحی هیدرولیکی انواع حوضچه آرامش در فصل چهارم ارائه شده است.



شکل ۲-۶ نمودارهای طراحی مقطع شیار کنترل



ادامه شکل ۲-۶ نمودارهای طراحی مقطع شیار کنترل

۲-۳-۵- تبدیل خروجی

تبدیل خروجی، حوضچه آرامش را به کانال پایین دست مرتبط می‌سازد. بالای دیوار تبدیل هم‌تراز بالای دیوار جانبی حوضچه آرامش می‌باشد.

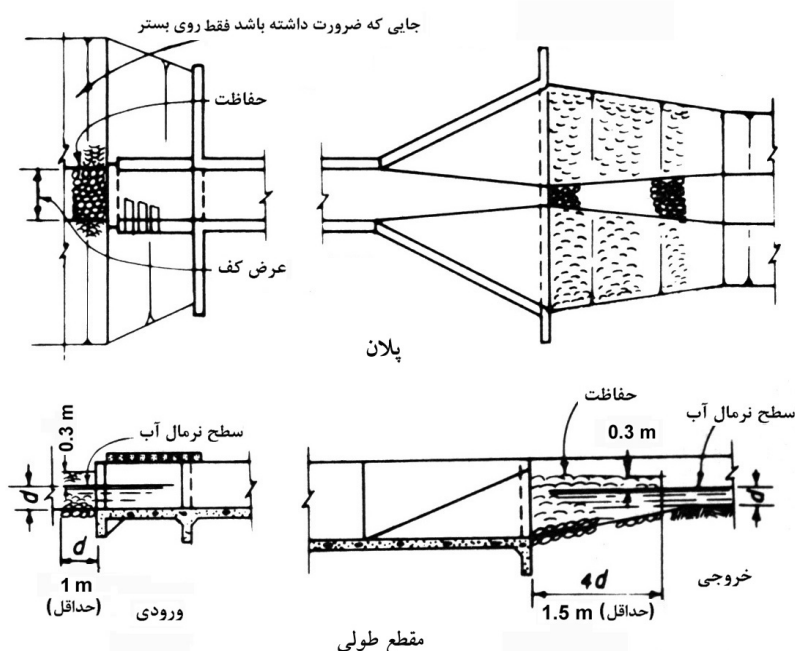
۲-۳-۶- حفاظت در برابر فرسایش

با توجه به عمق آب نوع، حفاظت در برابر فرسایش به کمک جدول ۶ بخش ۷ نشریه شماره ۳۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری تعیین می‌شود (شکل ۲-۷).

۲-۳-۳- ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌های مایل لوله‌ای

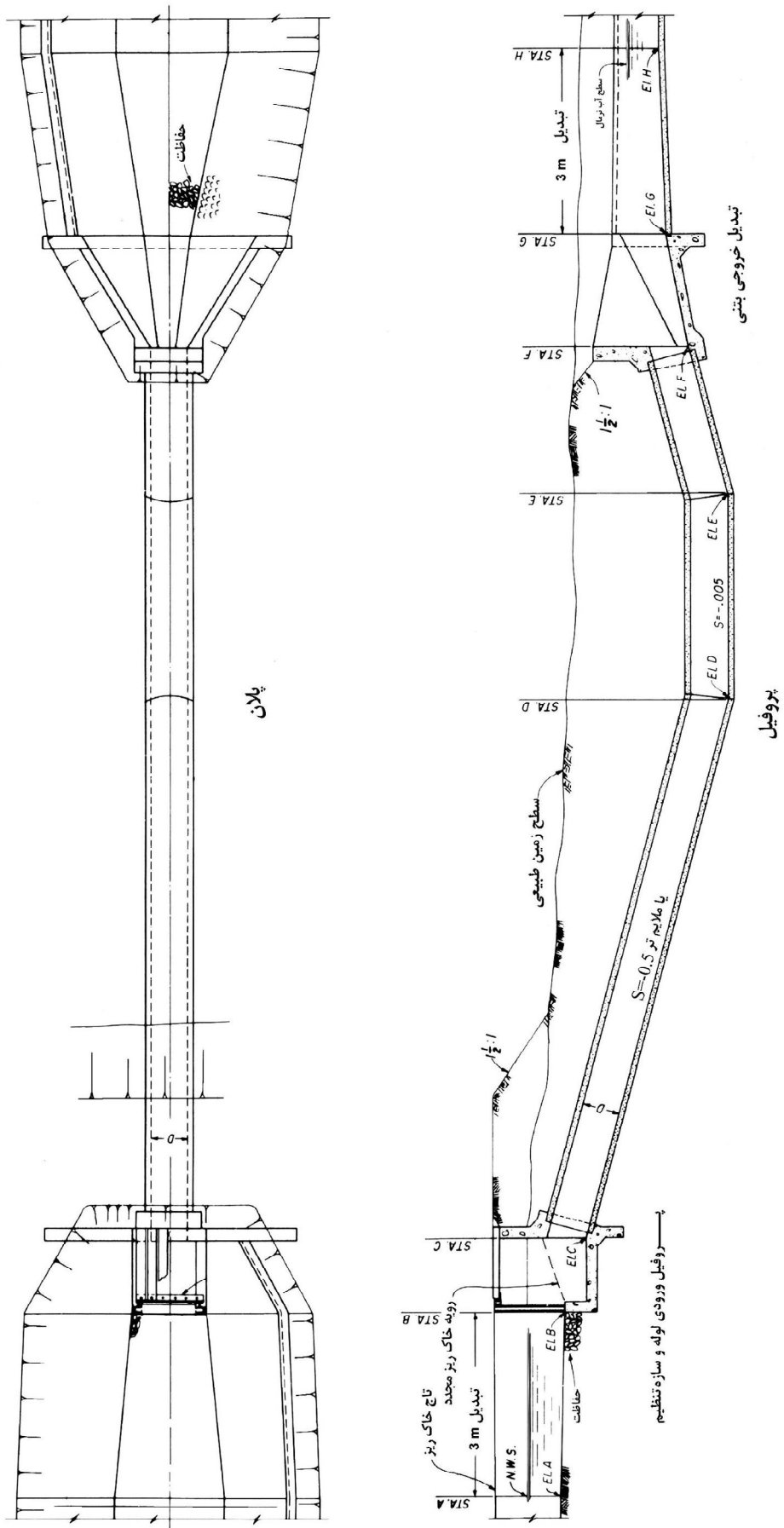
در مواردی که ارتفاع سقوط آب در کانال بین ۱/۰ تا ۴/۵ متر و ظرفیت جریان کمتر از ۱/۵ متر مکعب بر ثانیه باشد، کاربرد این نوع شیب‌شکن میسر است. علاوه بر استهلاک انرژی توسط این سازه، تردد از روی آن نیز امکان‌پذیر است. دو نوع شیب‌شکن لوله‌ای مطابق شکل (۲-۸) برای شرایط هیدرولیکی و بهره‌برداری مختلف ارائه شده است.

شیب‌شکن لوله‌ای نوع اول از نظر شرایط هیدرولیکی در جایی قابل استفاده است که میزان استغراق لوله سازه شیب‌شکن برای ایجاد پرش هیدرولیکی محصور در پایین‌ترین نقطه آن یا در بالادست آن کافی باشد. در صورتی که تبدیل خروجی خاکی باشد، حداکثر ظرفیت شیب‌شکن مایل لوله‌ای نوع اول $0/6$ متر مکعب بر ثانیه و در صورت استفاده از تبدیل بتنی $1/4$ متر مکعب بر ثانیه است. شیب‌شکن لوله‌ای در مسیر کانال و یا در محل تلاقی زهکش با کانال و در شرایطی که امکان مسدود شدن آن نباشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورت وجود احتمال انسداد مجرای لوله‌ای با رسوبات و یا شاخه‌های گیاهی، می‌توان در بالادست قسمت ورودی آشغال‌گیر نصب کرد و یا این‌که قطر مجرای لوله‌ای را طوری انتخاب نمود که احتمال گرفتگی آن وجود نداشته باشد.

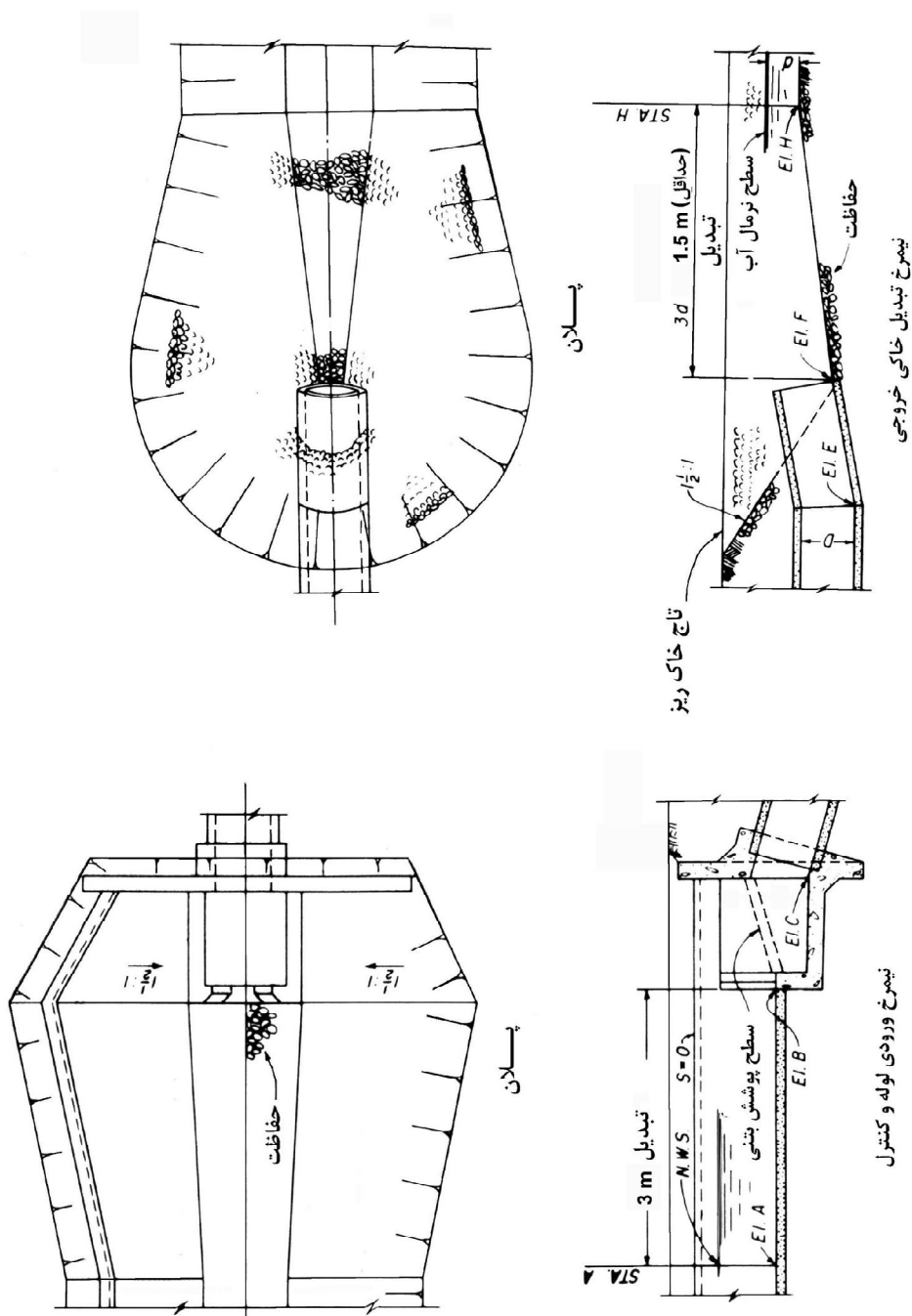


شکل ۲-۷ حفاظت در برابر فرسایش برای شیب‌شکن‌های مستطیلی مایل (یا تندآب)

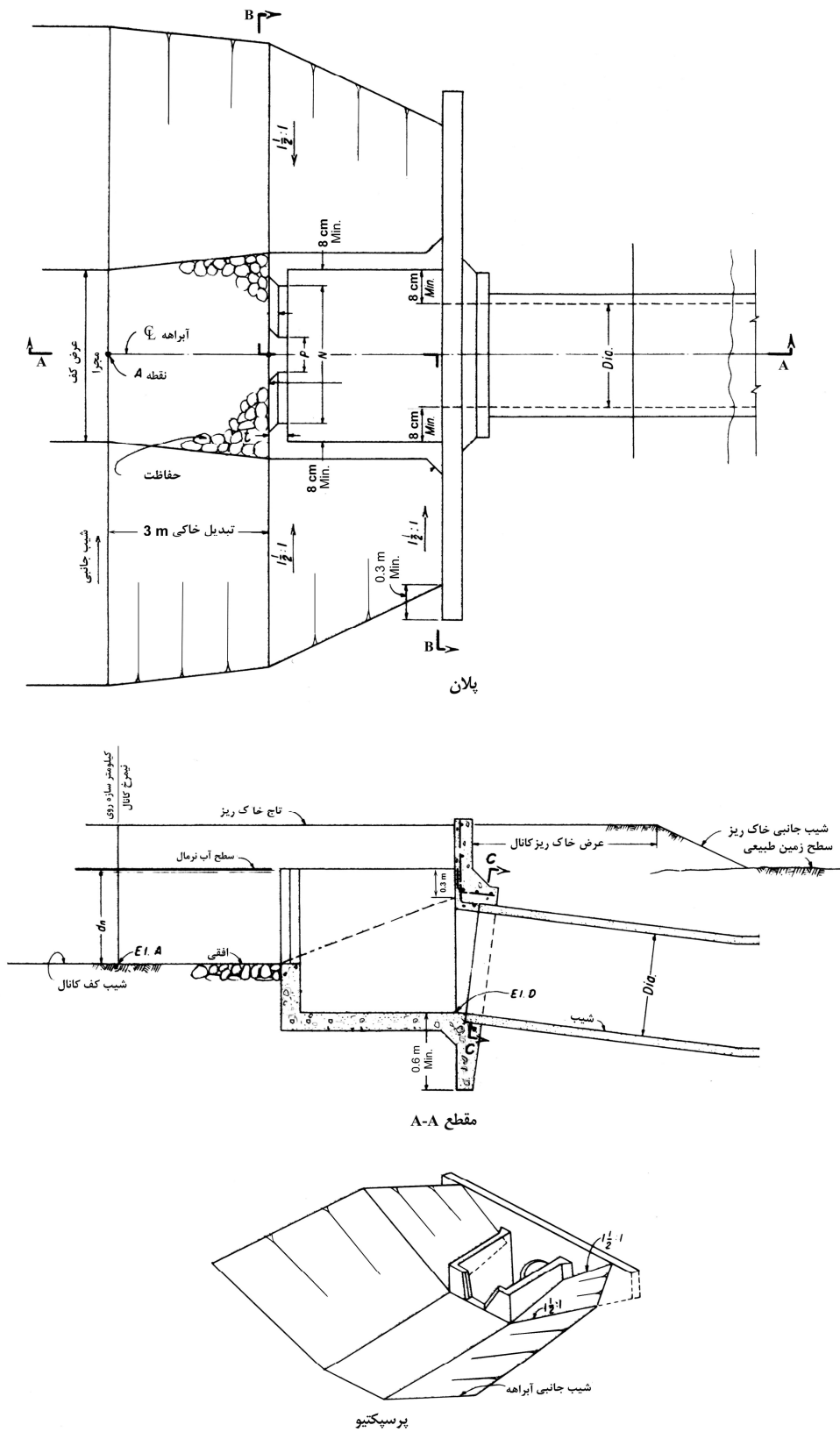
در مواردی که نتوان استغراق کافی را برای تشکیل پرش هیدرولیکی در سازه تامین کرد و یا احتمال مسدود شدن مجرای لوله‌ای وجود داشته باشد، از شیب‌شکن لوله‌ای نوع دوم استفاده می‌شود.



شکل ۲-۸-الف - شیب‌شکن مایل لوله نوع اول



ادامه شکل ۲-۸-الف - شیب‌شکن مایل لوله نوع اول



ادامه شکل ۲-۸- الف شیب شکن مایل لوله نوع اول

۲-۳-۳-۱- شیب‌شکن مایل لوله‌ای نوع اول

اجزای هیدرولیکی این نوع شیب‌شکن شامل تبدیل بالادست، قسمت ورودی، مجرای لوله‌ای و تبدیل پایین‌دست می‌باشد. ضوابط طراحی تبدیل بالادست و قسمت ورودی شیب‌شکن لوله‌ای نوع اول، مانند شیب‌شکن مایل مستطیلی است. تبدیل بالادست می‌تواند با یک شیار کنترل ورودی (سرریز دوزنقه‌ای) و یا تنظیم کننده به کار رود. در صورتی که در قسمت ورودی شیب‌شکن مایل لوله‌ای مقطع کنترل و یا تنظیم کننده وجود داشته باشد، تراز کف مجرای لوله‌ای باید تا حدی پایین قرار داده شود تا کنترل هیدرولیکی در قسمت ورودی ایجاد شود. در طراحی قسمت ورودی باید ارتفاع آزاد لازم را در نظر گرفت که مقدار آن تابع نوع تبدیل بتنی به کار رفته و وجود تنظیم کننده یا مقطع کنترل می‌باشد.

مجرای لوله‌ای شیب‌شکن مایل لوله‌ای نوع اول از سه قسمت با شیب‌های متفاوت مطابق شکل (۲-۸-الف) تشکیل شده است. شیب بخش مایل قسمت اول مجرای لوله‌ای حدود ۰/۵ و یا کمتر و شیب قسمت میانی حدود ۰/۰۰۵ است. قسمت انتهایی مجرا که دارای شیب معکوس است، قسمت میانی مجرای لوله‌ای را به تبدیل خروجی متصل می‌سازد. ارتفاع پوشش خاکی روی مجرای لوله‌ای شیب‌شکن در تقاطع با خاک‌ریز راه آهن یا جاده‌ها حدود یک متر و در تقاطع جاده سرویس مزارع و یا خاک‌ریز کانال‌ها حدود ۰/۶ متر است.

قطر لوله مجرای شیب‌شکن با استفاده از معادله پیوستگی (سطح مقطع مجرا $\times$ سرعت جریان) و با توجه به حداکثر سرعت مجاز تعیین می‌شود. حداکثر سرعت مجاز در صورتی که تبدیل خاکی در ورودی و خروجی شیب‌شکن وجود داشته باشد، یک متر بر ثانیه و در صورتی که از تبدیل بتنی استفاده شود ۱/۵ متر بر ثانیه است.

با استفاده از معادله انرژی بین سطح آب کانال بالادست و بلافاصله بالادست پرش هیدرولیکی، (نقطه D در شکل ۲-۹) و صرف نظر کردن از افت‌های انرژی در قسمت ورودی، زانویی‌ها و افت اصطکاکی مجرا و فرض اولیه تراز کف قسمت میانی (EL.D) می‌توان مشخصات هیدرولیکی جریان از قبیل عمق d_1 و سرعت V_1 را محاسبه کرد. مقدار d_2 نشان داده شده در شکل (۲-۹) با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$d_2 = \frac{Q\Delta V}{gA_2} + \frac{A_1}{A_2} \bar{d}_1 + \frac{D}{2} \quad (۳-۲)$$

در رابطه (۳-۲):

Q : شدت جریان برحسب متر مکعب بر ثانیه،

ΔV یا $(V_1 - V_2)$: تفاضل سرعت جریان بین مقطع ۱ و ۲ در شکل (۲-۹) برحسب متر بر ثانیه،

A_1 و A_2 : سطح مقطع جریان در مقطع ۱ و ۲ برحسب متر مربع،

D : قطر لوله بر حسب متر،

d : عمق آب بر حسب متر، و

$\bar{d}_1$: فاصله بین مرکز سطح جریان تا بالای سطح آزاد جریان در مقطع (۱) بر حسب متر که مقدار آن را می‌توان به کمک رابطه

$$\bar{d}_1 = d_1 - \left(\frac{D}{2} - \frac{2(Dd - d^2)^{3/2}}{3A} \right) \text{ تعیین کرد.}$$

در شکل (۲-۹) تراز کف مجرای لوله‌ای در قسمت میانی (EL. D) با کاربرد رابطه (۲-۴) تعیین می‌شود.

$$EL.D = EL.G - h_{vp} - 1.1 \times d_2 \quad (۲-۴)$$

در رابطه فوق h_{vp} بار سرعت جریان در لوله با مقطع پر و $EL.G$ ، تراز خط انرژی در کانال پایین دست می‌باشد. در صورتی که $EL.D$ محاسبه شده از معادله (۲-۴) با مقدار اولیه فرض شده با تقریب قابل قبولی برابر باشد، عمل سعی و خطا به پایان می‌رسد.

در صورتی که تبدیل خروجی خاکی باشد، حداقل طول قسمت میانی مجرا $4d_2$ و یا دو متر است اما برای تبدیل خروجی بتنی حداقل طول قسمت میانی $5D$ و طول تصویر مجرای لوله‌ای قسمت میانی و لوله شیب‌دار $4d_2$ و حداقل دو متر خواهد بود (شکل ۲-۹).

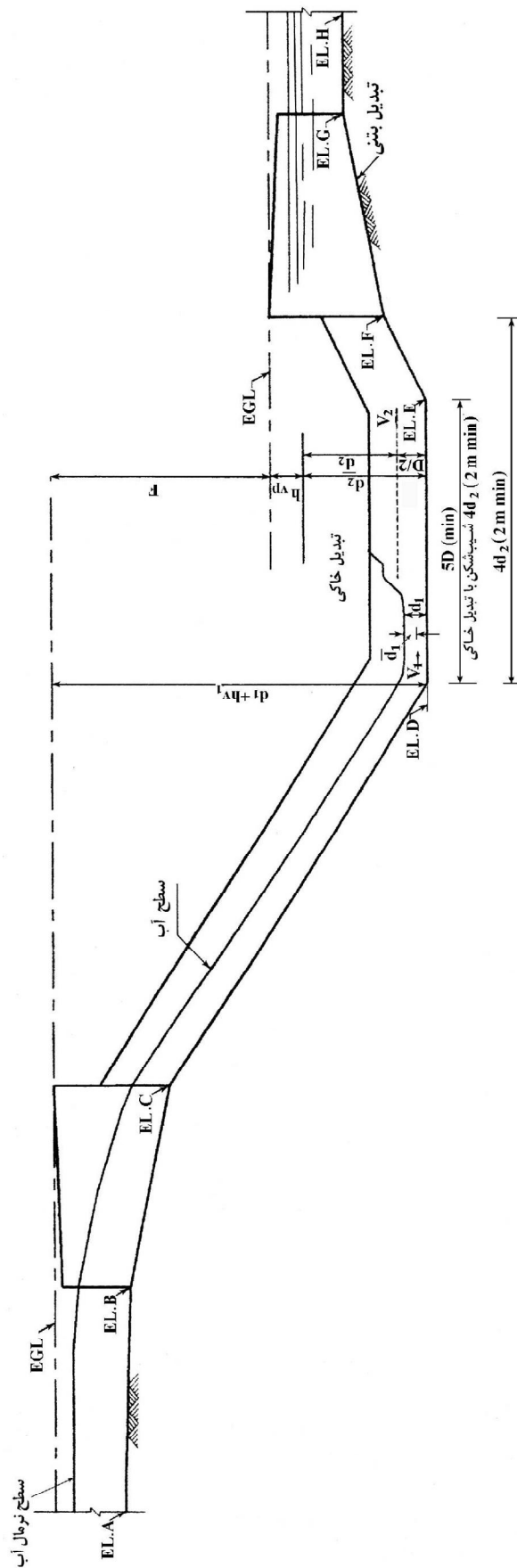
تبدیل خروجی با کم کردن تدریجی سرعت جریان، آب را از مجرای لوله‌ای با شیب معکوس به کانال پایین دست هدایت می‌کند. در صورتی که قطر مجرای لوله‌ای بیش‌تر از $۰/۹۰$ متر باشد و یا در کانال خاکی مجرای لوله‌ای شیب‌شکن از زیر خاک‌ریز راه آهن یا جاده اصلی عبور کند و یا سرعت جریان در مجرای لوله‌ای بین $۱/۰$ تا $۱/۵$ متر بر ثانیه باشد باید از تبدیل بتنی استفاده کرد.

۲-۳-۳-۲- شیب‌شکن مایل لوله‌ای نوع دوم

این نوع شیب‌شکن نیز در مسیر کانال‌ها و یا به عنوان مجرای انتقال جریان زهکشی از زیر خاک‌ریز کانال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این نوع شیب‌شکن در جایی که آب کانال بالادست حاوی رسوب و مواد زاید باشد محدودیتی ندارد. در شکل (۲-۸-ب) پلان و نیم‌رخ طولی این نوع شیب‌شکن ارائه شده است.

اجزای هیدرولیکی شیب‌شکن لوله‌ای نوع دوم شامل تبدیل بالادست، قسمت ورودی، مجرای لوله‌ای و سازه خروجی است. طراحی هیدرولیکی این نوع شیب‌شکن مانند شیب‌شکن مایل لوله‌ای نوع اول است. هنگامی که ساختمان این نوع شیب‌شکن در تقاطع با مسیر زهکش قرار می‌گیرد، ساخت یک تبدیل بتن مسلح در قسمت ورودی و حوضچه آرامش و یا حوضچه ضربه ای در قسمت خروجی مورد نیاز است. ضوابط طراحی هیدرولیکی حوضچه ضربه ای در فصل چهارم آمده است و ضوابط طراحی هیدرولیکی حوضچه آرامش نیز مانند ضوابط طراحی حوضچه آرامش شیب‌شکن مایل مستطیلی (بخش ۲-۳-۳-۴) می‌باشد.

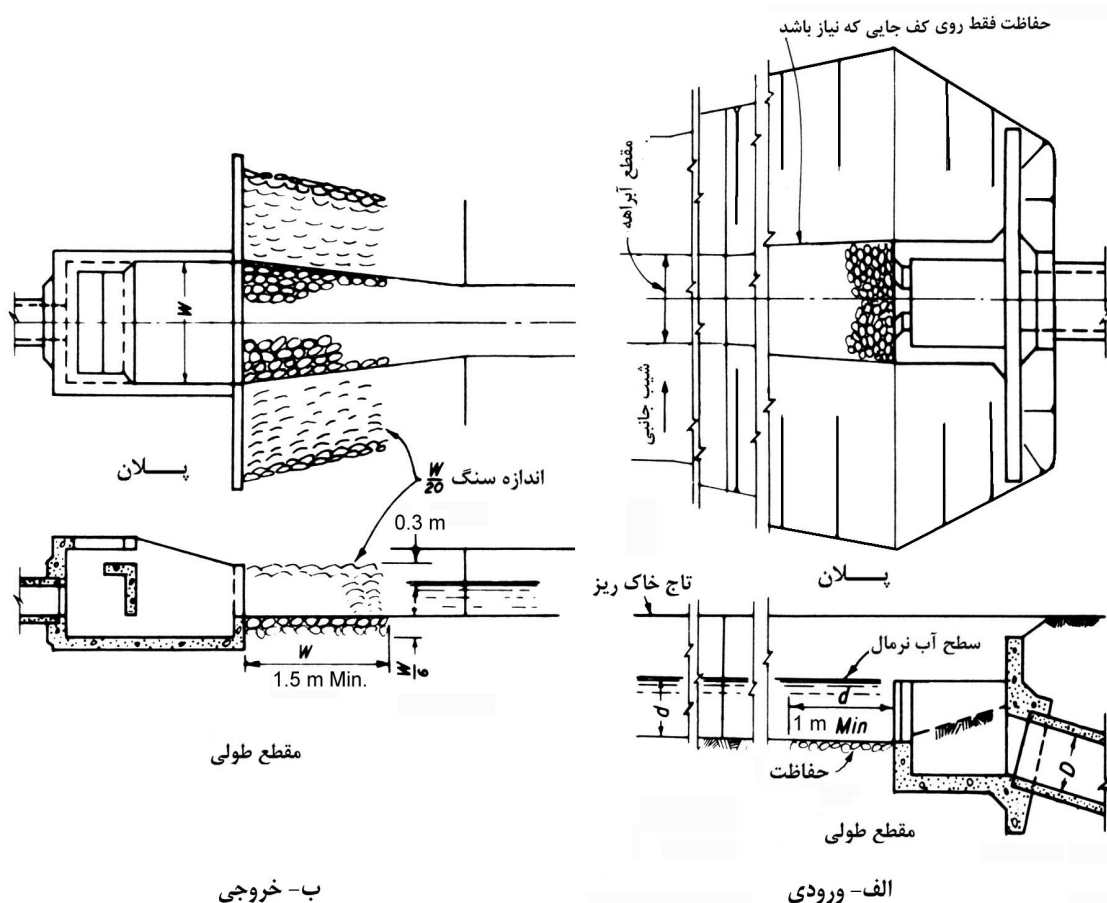
طراحی تبدیل خروجی سازه حوضچه آرامش به کانال پایین دست نیز مانند شیب‌شکن مایل مستطیلی است. تعیین قطر مجرای لوله‌ای با توجه به متوسط سرعت جریان در شرایط مقطع پر انجام می‌شود. سرعت متوسط جریان در مقطع پر مجرای لوله‌ای شیب‌شکن مایل نوع دوم، $۳/۶$ متر بر ثانیه و حداکثر سرعت جریان در قسمت پایینی مجرای لوله‌ای نیز ۱۵ متر بر ثانیه است.



شکل ۹-۲ پارامترهای هیدرولیکی شیب‌شکن لوله‌ای نوع اول

۲-۳-۳- حفاظت در برابر فرسایش

با توجه به عمق آب در مجرا، حفاظت در برابر فرسایش برای ورودی و خروجی این سازه به کمک بخش ۷ نشریه شماره ۳۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری تعیین می‌شود. در شکل (۲-۱۰) حفاظت در برابر فرسایش برای قسمت ورودی و خروجی شیب‌شکن لوله‌ای که از حوضچه مانع‌دار استفاده می‌کند، ارائه شده است.



شکل ۲-۱۰ حفاظت در برابر فرسایش برای الف- ورودی و ب- خروجی لوله شیب‌شکن

۲-۳-۴- ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن مایل مستطیلی مانع‌دار

در شرایطی که سطح آب پایین دست شیب‌شکن متغیر و غیر قابل کنترل باشد از شیب‌شکن مستطیلی مانع‌دار استفاده می‌شود. برای این نوع شیب‌شکن محدودیتی برای افت سطح آب وجود ندارد اما در مواردی که سطح پایاب کنترل شده باشد، مزیت اقتصادی کاربرد این نوع شیب‌شکن نسبت به انواع دیگر شیب‌شکن‌ها باید مطالعه شود. برای مقادیر زیاد بده و اختلاف ارتفاع (افت سطح آب)، این نوع شیب‌شکن به دلیل نیاز به عرض قابل توجه و تعداد زیاد بلوک‌ها، ممکن است اقتصادی نباشد. رسوب، آشغال و مواد شناور در جریان آب کانال بالادست می‌تواند فضای بین بلوک‌های شیب‌شکن را مسدود کرده و به سادگی قابل تمیز کردن نباشد. اجزای هیدرولیکی این نوع شیب‌شکن، شامل سازه ورودی و کانال شیب‌دار مستطیلی به همراه بلوک‌های آرام‌کننده جریان می‌باشد. شکل (۲-۱۱) شیب‌شکن مانع‌دار را نشان می‌دهد.

سازه ورودی شیب‌شکن مایل مستطیلی مانع‌دار ممکن است به دلیل نیاز به تثبیت سطح آب برای آبیگری و یا جلوگیری از فرسایش کانال بالادست، همراه با سازه کنترل طراحی شود. در شکل (۲-۱۲) سازه ورودی با آستانه کنترل کننده و همچنین سازه ورودی با سرریز و سازه ورودی بدون سازه کنترل سطح آب نشان داده شده است. در حالت اخیر در صورتی که بهره‌برداری از شیب‌شکن به شکل دائمی و یا غیردائمی باشد، قسمت ورودی به ترتیب به صورت منحنی و مستقیم به قسمت شیب‌دار سازه مرتبط می‌شود.

ظرفیت طراحی این نوع شیب‌شکن تابعی از بده مجاز در واحد عرض می‌باشد که مقادیر آن در جدول (۲-۳) قید شده است. در صورتی که مدت بهره‌برداری از این نوع شیب‌شکن کوتاه باشد، می‌توان از دو برابر بده‌های مجاز ذکر شده در واحد عرض در جدول (۲-۳) در طراحی‌ها استفاده نمود.

جدول ۲-۳ مقادیر بده در واحد عرض مجاز و عرض مورد نیاز در شیب‌شکن مایل مستطیلی مانع‌دار

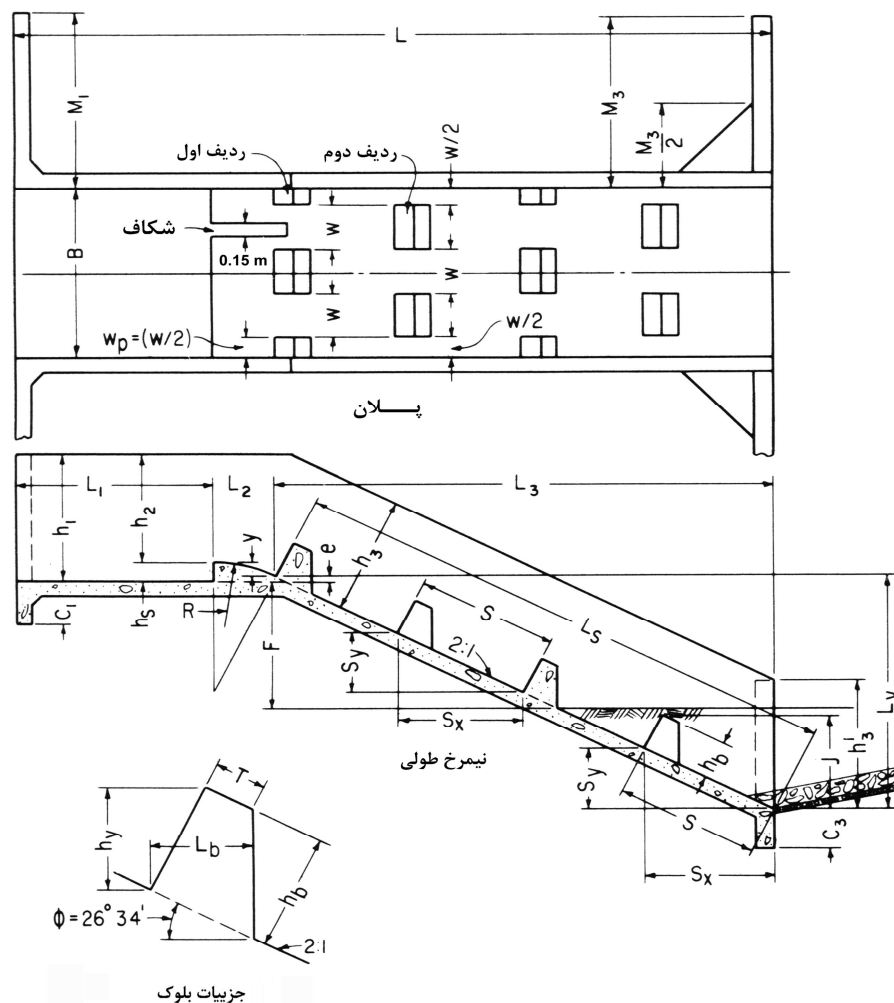
بده (متر مکعب بر ثانیه)	بده واحد عرض (متر مکعب بر ثانیه بر متر)	عرض شیب‌شکن (متر)	عمق بحرانی (متر)
۰-۱/۱	۰/۴۶-۰/۹۲	۱/۲	۰/۲۸-۰/۴۴
۱/۱-۲/۸	۰/۹۳-۱/۳۹	۱/۲-۲/۱	۰/۴۴-۰/۵۷
۲/۸-۵/۴	۱/۳۹-۱/۸۶	۲/۱-۲/۸	۰/۵۷-۰/۷۰
۵/۴-۱۳/۰	۱/۸۶-۲/۷۹	۲/۸-۴/۵	۰/۷۰-۰/۹۱
۱۳/۰-۲۸/۳	۲/۷۹-۴/۶۵	۴/۵-۶/۰	۰/۹۱-۱/۲۸
بیش‌تر از ۲۸/۳	۴/۶۵-۵/۵۷	بیش‌تر از ۶/۰	۱/۲۸-۱/۴۵

ضوابط طراحی هندسی و هیدرولیکی شیب‌شکن مایل مستطیلی مانع‌دار به شرح زیر می‌باشد:

- شیب طولی کف و دیوارهای جانبی ۲ افقی به ۱ عمودی در نظر گرفته شود.
- عرض تقریبی شیب‌شکن از رابطه $B = Q/q$ محاسبه شود که در آن:
 B : عرض شیب‌شکن بر حسب متر.
 Q : حداکثر ظرفیت طراحی بر حسب مترمکعب بر ثانیه.
 q : بده در واحد عرض بر حسب مترمکعب بر ثانیه بر متر.
- بلوک‌های مانع:
 - اولین ردیف بلوک‌های آرام کننده به صورتی قرار داده می‌شود که سطح بالادست بلوک بر انتهای پایین دست منحنی اتصال دایروی قسمت ورودی منطبق بوده و بیش از ۳۰ سانتی متر پایین تر از سطح تاج نباشد.
 - ارتفاع بلوک‌های آرام کننده h_b باید ۰/۸ برابر عمق بحرانی جریان (d_c) باشد.
 - عرض بلوک‌ها و فواصل آن‌ها باید برابر باشد و از ارتفاع بلوک کمتر نبوده و از ۱/۵ برابر ارتفاع بلوک‌ها نیز بیش تر نباشد. بلوک‌های نیمه با عرضی معادل $\frac{1}{3}$ تا $\frac{2}{3}$ مقدار h_b باید در کنار دیوارهای جانبی در ردیف‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷

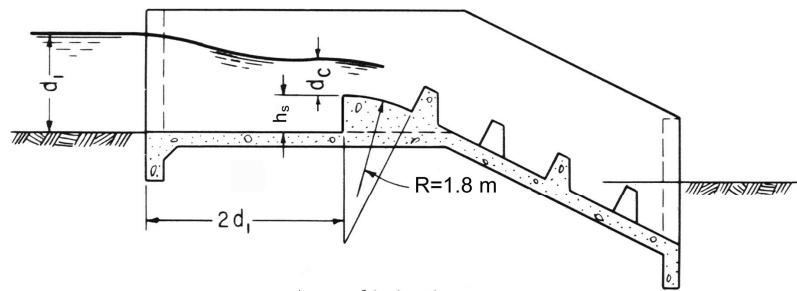
و... قرار گیرد. ردیف‌های دیگر بلوک‌های مانع به نحوی قرار داده می‌شود که هر بلوک مقابل فاصله باز ردیف بالایی قرار گیرد.

- فاصله مایل بین ردیف‌های بلوک‌های مانع (S) دو برابر h_b و حداکثر $1/8$ متر است. فاصله حداکثر ($1/8$ متر) را می‌توان برای تمام بلوک‌های با ارتفاع یک متر یا کمتر هم به کار برد.
- سرعت جریان آب در ابتدای قسمت ورودی شیب‌شکن نباید از سرعت بحرانی بیش‌تر باشد.
- حداقل چهار ردیف بلوک‌های آرام‌کننده باید بکار برده شود. کانال مایل شیب‌شکن باید تا آنجا ادامه یابد که تراز بالای حداقل یکی از بلوک‌ها پایین‌تر از کف مجرای پایین‌دست باشد. کانال مایل شیب‌شکن باید از انتهای آخرین ردیف بلوک‌ها به اندازه فاصله بلوک‌ها ادامه داشته باشد.
- دو طرف بیرونی شیب‌شکن از بالا تا پایین شیب، باید سنگ‌چین شود. این سنگ‌چینی تا تراز بالاتر از حداکثر سطح آب پایین‌دست انجام می‌شود.

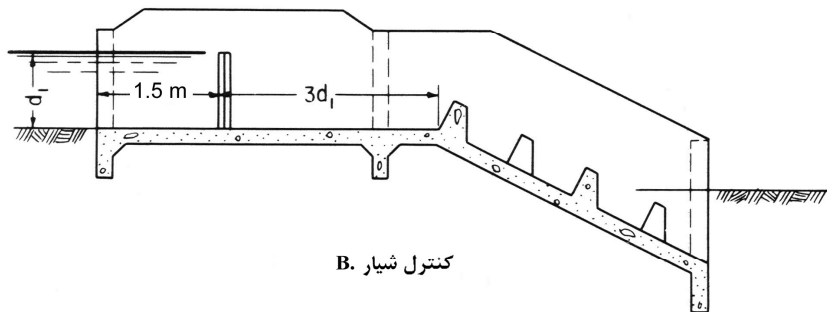


شکل ۲-۱۱ پلان و نیمرخ طولی شیب‌شکن مایل مستطیلی مانع‌دار

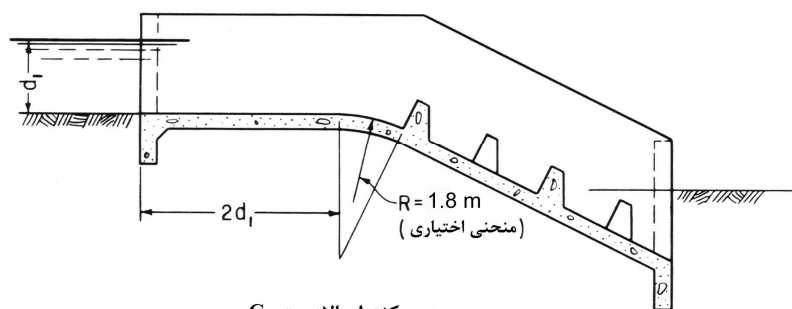
- معمولا بلوک‌های آرام‌کننده طوری قرار می‌گیرد که سطح بالادست آن عمود بر کف مایل شیب‌شکن باشد. عرض فوقانی بلوک‌ها برای سازه‌های کوچک ۰/۲ متر و ۰/۲۵ متر برای سازه‌های بزرگ است.
- ارتفاع دیوارهای شیب‌شکن مایل مانع‌دار (h_3) سه برابر ارتفاع بلوک‌ها به صورت عمود بر کف شیب‌شکن می‌باشد.
- ضوابط تعیین سایر پارامترهای طراحی ارائه شده در شکل (۲-۱۱) به قرار زیر می‌باشد:
 - حداکثر مقدار R تا ۲/۷ متر می‌تواند انتخاب شود اما معمولا طول این شعاع ۱/۸ متر انتخاب می‌شود.



A. کنترول با آستانه



B. کنترول شیار



C. بدون کنترل بالادست

شکل ۲-۱۲ انواع مختلف سازه ورودی شیب‌شکن مایل مستطیلی مانع‌دار

- اگرچه طول S حداقل دو برابر h_b منظور می‌شود اما برای h_b مساوی یا کوچک‌تر از یک متر مقدار S می‌تواند $1/5$ متر انتخاب شود.
- دامنه مقدار W می‌تواند بین دو حد h_b و $1/5 h_b$ باشد.
- دامنه مقدار W_p می‌تواند بین دو حد h_b و $1/3 h_b$ باشد.

- $L_1 = 2d_1$
- $h_s = E_{s1} - (E_c + h_i)$ که در آن E_{s1} انرژی مخصوص در کانال بالادست، E_c انرژی مخصوص می‌نیم روی آستانه و h_i افت انرژی ورودی است که برابر است با نصف اختلاف بار سرعت بحرانی و سرعت جریان کانال بالادست.
- $L_2 = R(1 + \cos \Phi) \tan(\Phi / 2)$
- $y = R \tan(\Phi / 2) \sin \Phi$
- $e = h_s - y$
- $S_y = S \sin \Phi$
- $h_y = h_b \cos \Phi$
- $J = S_y + h_y$
- $H_y = e + J + F$ که در آن F مقدار کاهش تراز است که شیب‌شکن ایجاد می‌کند.
- $L_s = 4S$
- $L_y = 4S_y$
- $L_3 = 4S_x$
- $S_x = S \cos \Phi$
- $h_1 = d_1 + 0.3m$
- $h_2 = h_1 - h_s$
- $h_3 = 3h_b$
- $M_1 = 1.5h_1 + C_1$
- $M_3 = 1.5h'_3 + C_3$
- $h'_3 = h_3 / \cos \Phi$
- مقادیر C_1 و C_2 که مربوط به ابعاد دیوار آب‌بند می‌باشد به قرار زیر تعیین می‌شود.

عمق آب در کانال (متر)	C_1 یا C_2 عمق دیوار آب‌بند (متر)
۰ تا ۱	۰/۶
۱ تا ۱/۸	۰/۷۵
بیش از ۱/۸	۱/۰

۲-۳-۵- حفاظت در برابر فرسایش

حفاظت در برابر فرسایش این سازه همانند مشخصات حفاظت شیب‌شکن‌های مستطیلی مایل می‌باشد. نوع حفاظت به کمک بخش ۷ نشریه شماره ۳۳۷ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری تعیین می‌شود.

فصل ۳

ضوابط طراحی تندآبها

۳-۱- کلیات

سازه تندآب نظیر شیب‌شکن برای انتقال آب از تراز بالاتر به تراز پایین‌تر و اتلاف انرژی مازاد ناشی از کاهش تراز مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً اختلاف ارتفاع سطح آب در این سازه‌ها بیش از ۴/۵ متر می‌باشد. تندآب‌ها در مواقعی که اختلاف ارتفاع در طول نسبتاً زیادی از مسیر کانال وجود داشته و از دیدگاه فنی و اقتصادی ساخت شیب‌شکن‌های متوالی موجه نباشد اجرا می‌شوند. تفاوت تندآب‌ها با شیب‌شکن‌ها در استهلاک انرژی بیش‌تر در فاصله طولانی‌تر و با شیب طولی ملایم‌تر می‌باشد. انواع تندآب‌ها در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به شرح زیر هستند:

- تندآب با کانال روباز

- تندآب لوله‌ای

معمولاً تندآب‌ها شامل قسمت ورودی^۱، تبدیل بالادست^۲، مجرای تندآب^۳، تبدیل مجرای تندآب به حوضچه^۴، حوضچه آرامش^۵ و تبدیل خروجی^۶ می‌باشد.

۳-۲- ضوابط عمومی طراحی

ضوابط عمومی طراحی تندآب‌ها، مشابه شیب‌شکن‌ها می‌باشد که در بخش (۲-۲) تشریح شده است.

۳-۳- ضوابط طراحی هیدرولیکی تندآب با کانال روباز

سازه تندآب روباز و اجزای مختلف آن در شکل (۱-۳) نشان داده شده است. ضوابط طراحی هیدرولیکی برای اجزای سازه به تفکیک به قرار زیر است:

۳-۳-۱- بخش ورودی تندآب

- بخش ورودی سازه که آب را از کانال بالادست به مجرای تندآب منتقل می‌کند باید به عنوان مقطع کنترل عمل نماید تا از آب‌دوی در کانال بالادست و شسته شدن مصالح بستر کانال‌های خاکی جلوگیری نماید. برای این منظور می‌توان از سازه تنظیم سطح آب، سرریز، و یا شیار کنترل استفاده نمود.
- ساخت دیوارهای آب‌بند برای تامین طول لازم برای خط نشت ضروری است.
- از افت انرژی در طول بخش ورودی می‌توان صرف‌نظر کرد مشروط به ناچیز بودن و عدم تاثیر آن بر نتایج نهایی.

- در صورت افقی بودن بخش ورودی تندآب، می‌توان محل تشکیل عمق بحرانی را خط اتصال شیب تند به کف افقی فرض نمود اما اگر شیب این بخش تند باشد، ضروری است که تراز خط انرژی در ابتدای تندآب با محاسبه مشخصات جریان آن نقطه تعیین شود.
- رعایت تقارن در تمام تبدیل‌های به کار رفته در تندآب از جمله تبدیل ورودی به منظور جلوگیری از تشکیل امواج عرضی ضروری است. همچنین باید از ایجاد تغییرات ناگهانی در مقطع عرضی (بازشدگی یا تنگ‌شدگی) خودداری کرد. حداکثر مقدار زاویه انحراف به کمک رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\text{Co tan gent} \alpha = 3.375F \quad (1-3)$$

که در آن F عدد فرود جریان در هر مقطع و از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$F = \frac{V}{\sqrt{(1-K)gd \cos \theta}} \quad (2-3)$$

که در آن:

V: سرعت متوسط جریان (متر بر ثانیه)،

g: شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه)،

θ : زاویه شیب طولی (درجه)، و

K: فاکتور شتاب است که بر اساس روابط زیر تعیین می‌شود.

$$K = 0 \quad (1-2-3) \text{ کف تبدیل افقی}$$

$$K = \frac{V^2}{gR \cos \theta} \quad (2-2-3) \text{ منحنی اتصال قوس دایره‌ای}$$

$$K = \frac{(\tan \theta_L - \tan \theta_0) 2h_v \cos^2 \theta_0}{L_T} \quad (3-2-3) \text{ منحنی اتصال قوس سهمی}$$

که در آن:

L_T : طول منحنی تبدیل (متر)،

R: شعاع انحنای کف (متر)،

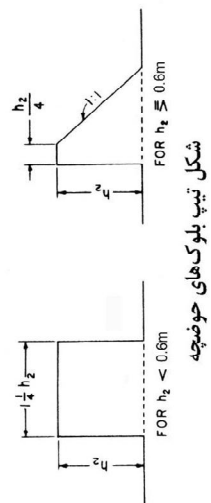
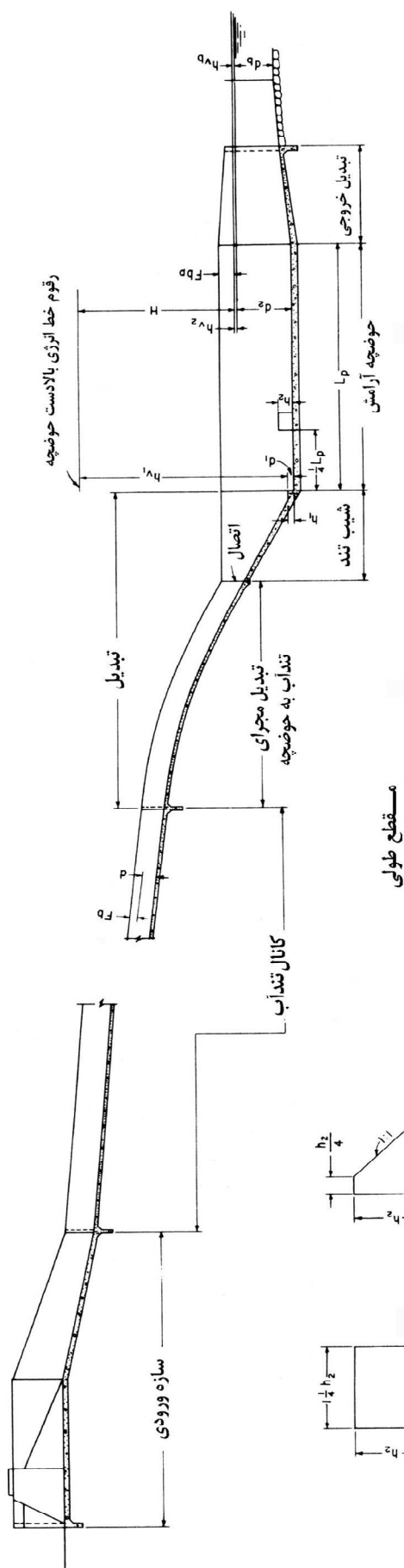
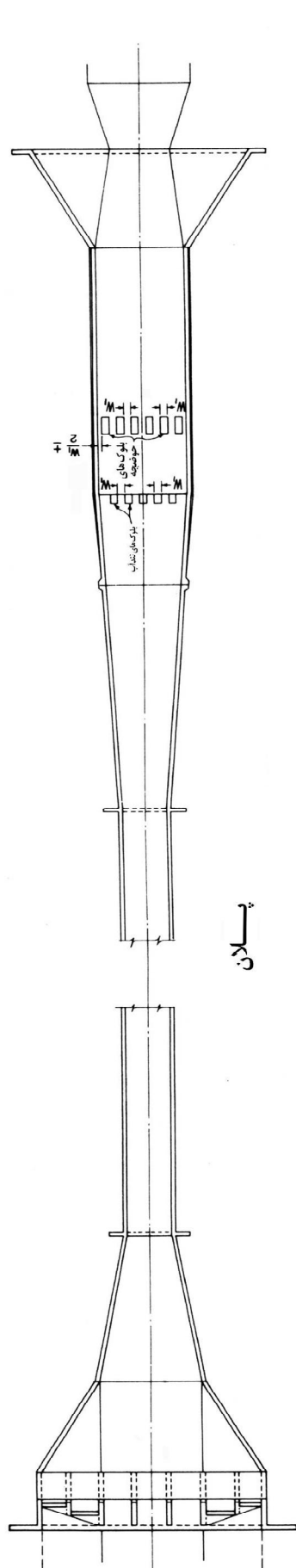
V: سرعت در نقطه مورد نظر (متر بر ثانیه)،

θ : زاویه شیب طولی کف در نقطه مورد نظر (درجه)،

θ_L : زاویه شیب طولی کف در انتهای تبدیل (درجه)،

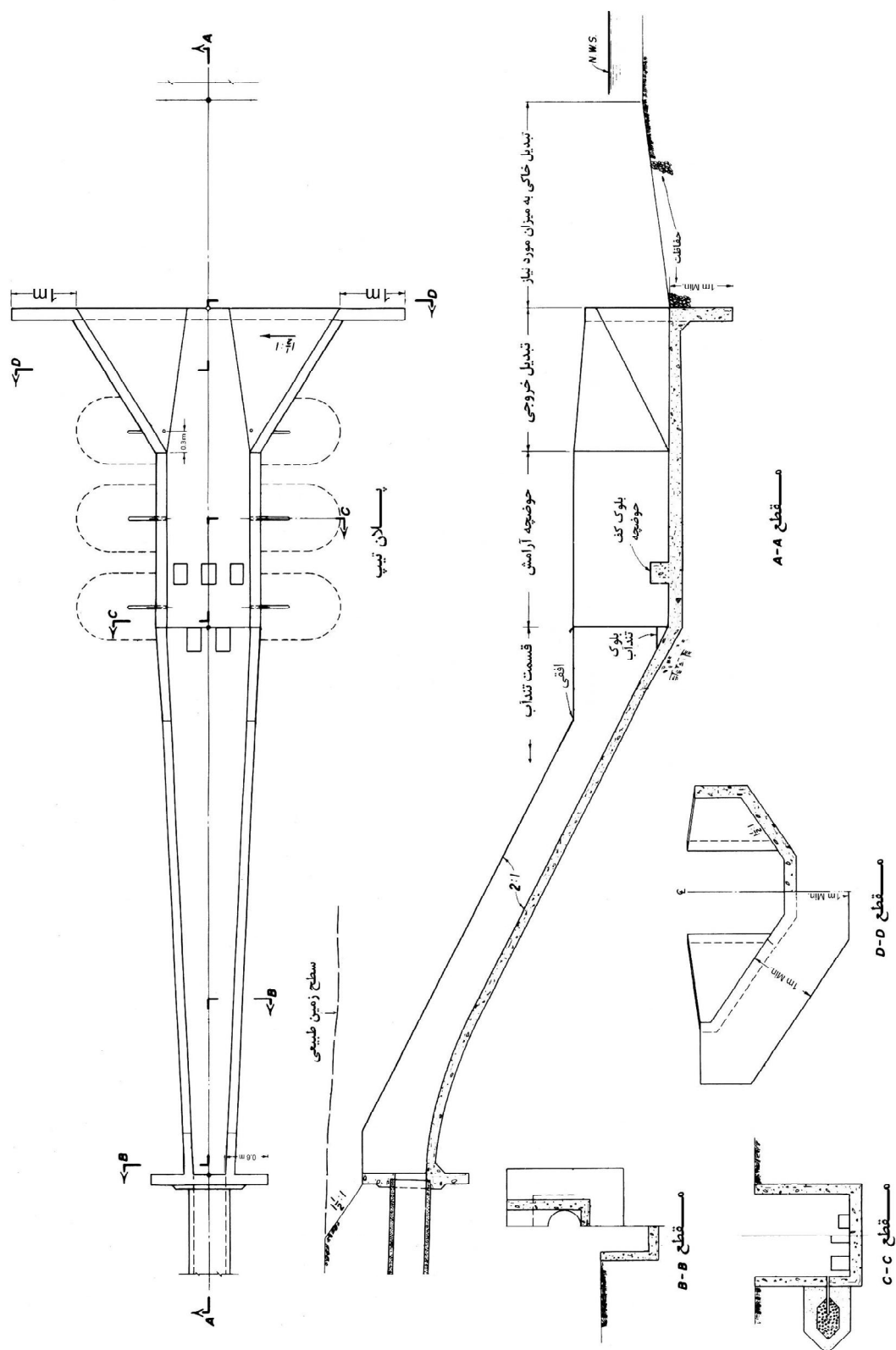
θ_0 : زاویه شیب طولی کف در ابتدای تبدیل (درجه)، و

h_v : بار سرعت (متر) در ابتدای منحنی می‌باشد.



شکل تیپ بلوک‌های حوضچه

شکل ۳-۱- الف- پلان و مقاطع مختلف تنداب با کانال روباز



شکل ۱-۳ - ب - پلان و مقاطع مختلف تندآب با کانال روباز

۳-۳-۲- مجرای تندآب

- معمولا شیب طولی مجرای تندآب بر اساس توپوگرافی زمین طبیعی تعیین می‌شود. مناسب‌ترین عرض کانال تندآب از نظر اقتصادی پس از تعیین شیب طولی کانال تندآب تعیین می‌شود.
- مقطع مجرا معمولا مستطیلی است. در برخی شرایط به منظور حذف امواج، مقاطع هندسی دیگر هم می‌توانند مد نظر قرار گیرند اما اقتصاد طرح و اجرای آسان، عامل اصلی انتخاب شکل مقطع است.
- برای افزایش مقاومت سازه در برابر لغزش می‌توان از قرار دادن دیوار آب‌بند در محل‌های لازم بهره گرفت.
- برای تندآب‌هایی با طول کم‌تر از ۱۰ متر می‌توان از اصطکاک صرف‌نظر نمود. اما در تندآب‌های طولانی‌تر باید شیب اصطکاک را به کمک فرمول مانینگ و با فرض $n = 0.01$ محاسبه و منظور نمود. می‌توان از روش گام به گام استاندارد^۱ برای تعیین مشخصات جریان در مقاطع مورد نظر بهره گرفت.
- با توجه به ظرفیت انتقال، ارتفاع آزاد برای مجرای تندآب به قرار زیر در نظر گرفته می‌شود:

ظرفیت انتقال (متر مکعب بر ثانیه)	عمق آزاد (متر)
تا ۳	۰/۳۰
۳/۰۱ تا ۱۵	۰/۴۰
۱۵/۰۱ تا ۳۰	۰/۵۰
بیش‌تر از ۳۰	۰/۶۰

- ارتفاع دیوارهای مجرای تندآب بر اساس یکی از روابط زیر که عدد بزرگ‌تر را ارائه می‌دهد انتخاب می‌شود:
 - بزرگ‌ترین عمق محاسبه شده (عمود بر کف) در مقطع به‌علاوه ارتفاع آزاد
 - ۰/۴ عمق بحرانی مقطع به‌علاوه ارتفاع آزاد
 - در سرعت‌های جریان بیش از ۱۰ متر بر ثانیه ارتفاع آب به دلیل در برگرفتن هوا افزایش می‌یابد. ارتفاع آزاد پیشنهاد شده برای مقابله با چنین حالتی نیز کفایت می‌کند.

۳-۳-۳- ساختمان تبدیل مابین مجرای تندآب و حوضچه آرامش

مطابق شکل (۳-۱)، این تبدیل مجرای تندآب را به حوضچه آرامش متصل می‌سازد و شامل منحنی اتصال و کانال شیب‌دار است که معمولا با شیب ۱ عمودی به ۲ افقی ساخته می‌شود. منحنی اتصال، کانال شیب‌دار را به مجرای تندآب در بالادست متصل می‌سازد. طراحی این منحنی به کمک معادله زیر صورت می‌گیرد:

$$y = x \tan \theta_0 + \frac{(\tan \theta_L - \tan \theta_0)}{2L_T} x^2 \quad (3-3)$$

در این رابطه x طول افقی و y فاصله قائم هر نقطه روی منحنی اتصال از مبدا می‌باشد، L_T طول افقی ابتدا تا انتهای منحنی اتصال می‌باشد، θ_0 و θ_L نیز زاویه شیب مماس بر منحنی اتصال در ابتدا و انتهای آن است. معمولاً طول منحنی اتصال L_T طوری انتخاب می‌شود که مقدار K در رابطه (۲-۳) برابر 0.50 یا کمتر شود و سپس با استفاده از رابطه (۳-۳) مقادیر y و تراز کف منحنی اتصال به دست می‌آید. انتهای منحنی اتصال به کانال شیب‌دار متصل شده و کانال شیب‌دار نیز به حوضچه آرامش منتهی می‌شود. عرض حوضچه آرامش از رابطه (۲-۲) تعیین می‌شود که توسط تبدیل عرض مجرای تندآب به عرض حوضچه آرامش تبدیل می‌شود.

۳-۳-۴- حوضچه آرامش

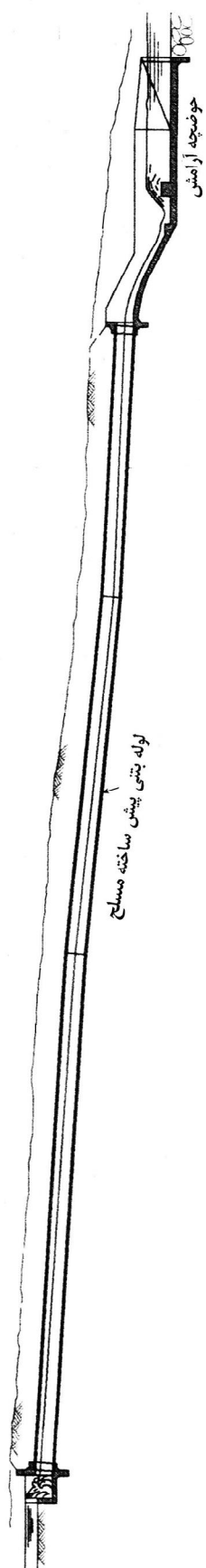
تعیین تراز کف حوضچه آرامش و دیگر پارامترهای طراحی آن مشابه سازه‌های شیب‌شکن مایل مستطیلی بوده که در فصل چهارم ضوابط طراحی آن‌ها ارائه شده است.

۳-۳-۵- تشکیل امواج

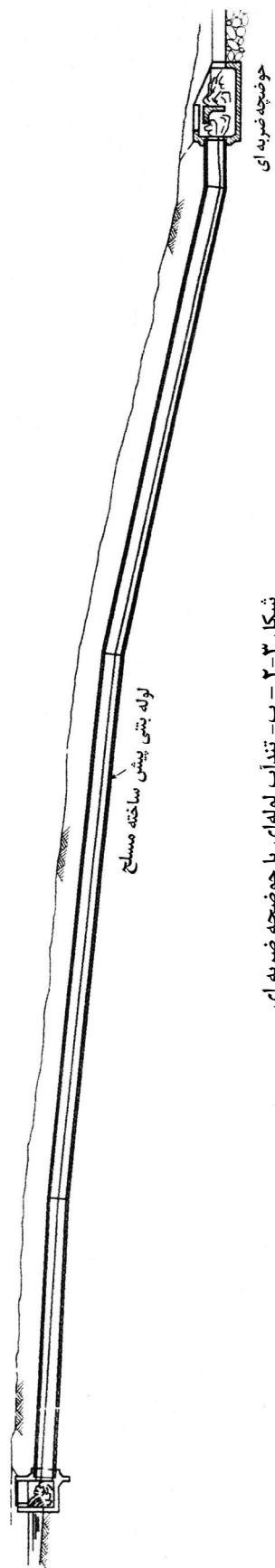
تا حد امکان از تشکیل امواج در تندآب‌ها باید جلوگیری شود. امواج معمولاً در تندآب‌هایی با شیب طولی 20° درجه و کمتر و طول‌های بیش‌تر از 70 متر تشکیل می‌شوند. ارتفاع این امواج می‌تواند تا حدود دو برابر عمق یکنواخت جریان آب در کانال تندآب باشد^۱. اما هرگونه تغییر ناگهانی در مشخصات هندسی مقطع، ایجاد عدم تقارن در سازه، و وجود قوس و زوایا در مسیر تندآب منجر به تولید امواج عرضی می‌شود که باید از چنین طراحی‌هایی دوری کرد. برای جلوگیری از ایجاد امواج در سازه تندآب باید به نکات زیر توجه کرد:

- کاهش طول تندآب با ایجاد تعدادی تندآب کوتاه‌تر یا جایگزین کردن شیب‌شکن‌های متوالی به جای آن.
- زیاد کردن شیب تندآب برای اطمینان از عدم ایجاد موج.
- استفاده از تندآب لوله‌ای به جای کانال روباز.
- در صورتی که رعایت نکات یاد شده عملی نباشد برای مقابله با امواج ایجاد شده می‌توان به نکات زیر در طراحی توجه نمود:
- افزایش ارتفاع دیوار تندآب.
- پیش‌بینی درپوش برای مقطع تندآب.
- حفاظت خاک‌ریزهای اطراف تندآب با قلوه سنگ یا سنگ‌چین برای جلوگیری از اثرهای مخرب پرش امواج آب.
- در طراحی حوضچه آرامش باید موارد زیر نیز پیش‌بینی شود:
- پیش‌بینی بده لحظه‌ای با فرض ایجاد پدیده موج و انتخاب حوضچه با طول بیش‌تر و ارتفاع دیوارهای بلندتر.
- پیش‌بینی پوشش سنگ‌چین اضافی برای حفاظت بیش‌تر پایین دست در کانال‌های خاکی.
- ایجاد مانع یا دیوار سرریز کننده و یا کاربرد تیرک‌های شناور متصل به هم و یا سایر انواع مستهلک کننده امواج در داخل حوضچه آرامش.

۱- جهت کنترل تشکیل امواج در سازه تندآب به ماخذ [۹] مراجعه گردد.



شکل ۲-۳ الف - تندآب لوله‌ای با حوضچه آرامش



شکل ۲-۳ ب - تندآب لوله‌ای با حوضچه ضربه‌ای

۳-۴- ضوابط طراحی هیدرولیکی تندآب لوله‌ای

در این نوع تندآب، لوله به‌جای کانال روباز مورد استفاده قرار می‌گیرد. تندآب لوله‌ای ممکن است برای ایجاد تقاطع، امکان زراعت بر روی سازه تندآب و یا از نقطه‌نظر ظاهری به علت پوشیده بودن مورد استفاده قرار گیرد. نیمرخ طولی این نوع شیب‌شکن با حوضچه آرامش و حوضچه ضربه‌ای در شکل (۳-۲) ارائه شده است.

در این سازه نیز از حوضچه ضربه‌ای و یا حوضچه آرامش برای استهلاک انرژی استفاده می‌شود. ضوابط طراحی تندآب لوله‌ای نظیر ضوابط گفته شده در مورد تندآب با مقطع کانال روباز می‌باشد. طراحی تبدیل ورودی باید به نحوی باشد که مقطع کنترل جریان در ورودی لوله تندآب قرار نگیرد.

قطر لوله به اندازه‌ای باشد که سرعت جریان کمتر از $3/60$ متر بر ثانیه باشد. شیب انتخابی برای لوله نیز باید در حدی باشد که از جمع شدن هوا و همچنین ایجاد پرش هیدرولیکی در مقطع لوله جلوگیری شود. حداقل شیب لوله دو برابر شیب بحرانی است. در صورتی که تغییر شیب لوله به شیب ملایم‌تر لازم باشد مقطع لوله به کمک یک تبدیل کوتاه به کانال روباز تغییر یافته و تغییر شیب در این قسمت انجام می‌پذیرد.

فصل ۴

سازهای استهلاک انرژی

۴-۱- کلیات

در طراحی بسیاری از سازه‌ها مانند سرریزها، تندآب‌ها، شیب‌شکن‌ها و ... با ساخت حوضچه آرامش، انرژی جنبشی اضافی که می‌تواند کانال و سازه‌های پایین‌دست را تحت تاثیر قرار دهد مستهلک می‌شود.

حوضچه آرامش، سازه بتنی است که پرش هیدرولیکی را به منظور استهلاک انرژی جنبشی در خود جای می‌دهد. پایداری پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش با استفاده از تمهیداتی مانند بلوک‌های پای تندآب^۱، بلوک‌های حوضچه^۲ و آستانه انتهایی تامین می‌شود.

پر کاربردترین حوضچه‌های آرامش سدهای انحرافی و کانال‌های آبیاری و زهکشی به شرح زیر هستند:

- حوضچه‌های آرامش استاندارد USBR

- حوضچه آرامش نوع USBR-I
- حوضچه آرامش نوع USBR-II
- حوضچه آرامش نوع USBR-III
- حوضچه آرامش نوع USBR-IV
- حوضچه آرامش نوع ضربه‌ای USBR-VI

روابط کلی اعماق مزدوج حاکم بر پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش به شرح زیر می‌باشند:

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1) \right) \quad (1-4)$$

$$\Delta E = \frac{(d_2 - d_1)^3}{4d_2d_1} \quad (2-4)$$

در معادلات بالا:

d_1 و d_2 : به ترتیب اعماق جریان در بالادست و پایین‌دست پرش هیدرولیکی بر حسب متر.

Fr_1 : عدد فرود جریان در ابتدای حوضچه آرامش.

ΔE : افت انرژی در پرش هیدرولیکی بر حسب متر.

محل تشکیل پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش به عمق ثانویه پرش هیدرولیکی، عمق پایاب و بده بستگی دارد.

اصطلاحاً رابطه بین عمق ثانویه پرش هیدرولیکی و بده با JHCL^۳ و رابطه بین عمق پایاب و بده با TWRC^۴ تعریف می‌شود.

هنگامی که عمق جریان پایاب بیش‌تر از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی باشد، پرش هیدرولیکی مستغرق خواهد بود و نسبت عمق

پایاب به عمق ثانویه پرش هیدرولیکی درجه استغراق^۵ را مشخص می‌کند.

1- Chute Block
2- Basin Block
3- Jump Height Curve
4- Tail Water Rating Curve
5- Degree of Submergence

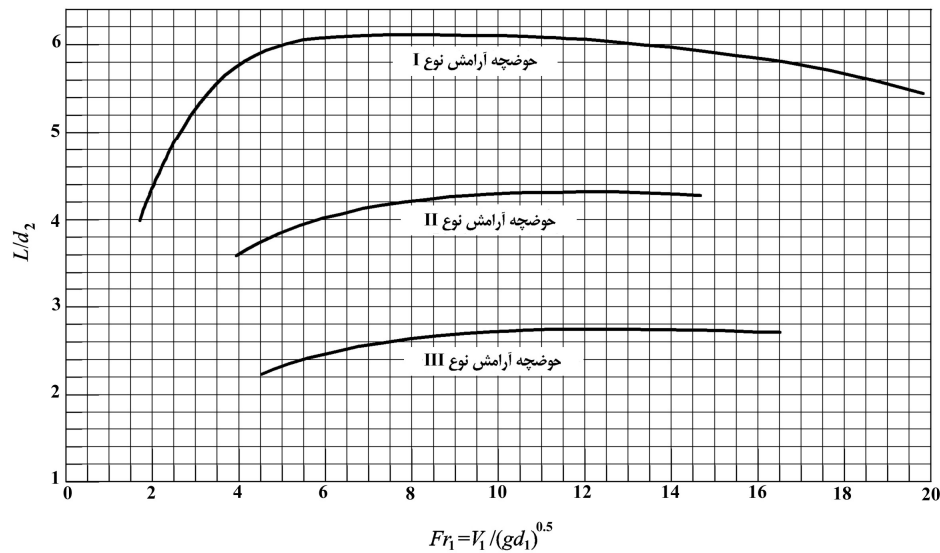
۴-۲- ضوابط عمومی طراحی

ضوابط عمومی طراحی حوضچه‌های آرامش به شرح زیر می‌باشد:

- تراز کف حوضچه آرامش بر اساس منحنی عمق‌های مزدوج جهش (JHC) و منحنی بده-اشل پایین‌دست حوضچه آرامش (TWRC) به گونه‌ای تعیین می‌شود که درجه استغراق پرش هیدرولیکی به ازای بده طراحی بین ۱/۰۵ تا ۱/۱ باشد.
- رابطه TWRC یا منحنی بده-اشل پایاب باید با دقت قابل قبول و محافظه‌کارانه تعیین شود به این منظور در تعیین TWRC رعایت موارد زیر ضروری است:
 - در صورتی که منحنی بده-اشل پایاب با محاسبه تعیین می‌شود، باید با توجه به شرایط بستر کانال، آبراهه و یا کانال پایین‌دست، ضریب زبری حداقل (معادل ۸۰ درصد ضریب زبری مربوط) در محاسبات به کار برده شود.
 - هنگامی که حوضچه آرامش به مجرای آب کنترل نشده‌ای منتهی شود، با ساخت یک سازه کنترل در قسمت خروجی حوضچه آرامش، عمق جریان بحرانی در مقطع کنترل، برای تعیین حداقل تراز خط انرژی و یا منحنی بده-اشل پایاب به کار برده می‌شود. در این موارد پایاب لازم جهت تشکیل پرش هیدرولیکی توسط آستانه انتهایی حوضچه آرامش تامین می‌گردد و حداقل ارتفاع آستانه انتهایی برای تشکیل پرش هیدرولیکی به ازای بده طراحی حوضچه آرامش محاسبه می‌شود. به علت تامین عمق پایاب لازم جهت تشکیل پرش هیدرولیکی توسط آستانه انتهایی، تراز کف حوضچه آرامش تابعی از منحنی بده - اشل مجرای پایین‌دست (TWRC) نبوده و با توجه به عمق پایاب ایجاد شده توسط آستانه انتهایی تعیین می‌شود.
 - در صورتی که وقوع آبستنگی عمومی^۱ یا موضعی^۲ در پایین‌دست محتمل باشد، منحنی بده-اشل پایاب باید با توجه به پایین افتادگی تراز بستر آبراهه پایین‌دست تعیین شود.
- نوع حوضچه آرامش براساس عدد فرود جریان و سرعت جریان ورودی به حوضچه آرامش تعیین می‌شود.
- هنگامی که عدد فرود جریان کمتر از ۱/۷۰ باشد، نیازی به ساخت حوضچه آرامش برای استهلاک انرژی نیست. در این صورت طول مجرای انتقال آب، نباید از محل آغاز افزایش عمق آب، از چهار برابر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی کمتر باشد.
- طول حوضچه آرامش به عمق ثانویه پرش هیدرولیکی و عدد فرود جریان در ابتدای حوضچه آرامش بستگی دارد. در شکل (۱-۴) نمودار تعیین طول حوضچه آرامش برای انواع حوضچه‌های آرامش USBR ارائه شده است. طول حوضچه آرامش نوع USBR-IV از نمودار مربوط به حوضچه آرامش نوع USBR-I در شکل (۱-۴) به دست می‌آید.
- در شبکه‌های آبیاری و زهکشی که معمولاً بهره‌برداری از حوضچه آرامش با بده طراحی برای مدت کوتاهی انجام می‌شود، طول حوضچه آرامش سه برابر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی و در سازه‌هایی که عملکرد دائمی دارند، طول حوضچه آرامش چهار برابر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی می‌باشد.

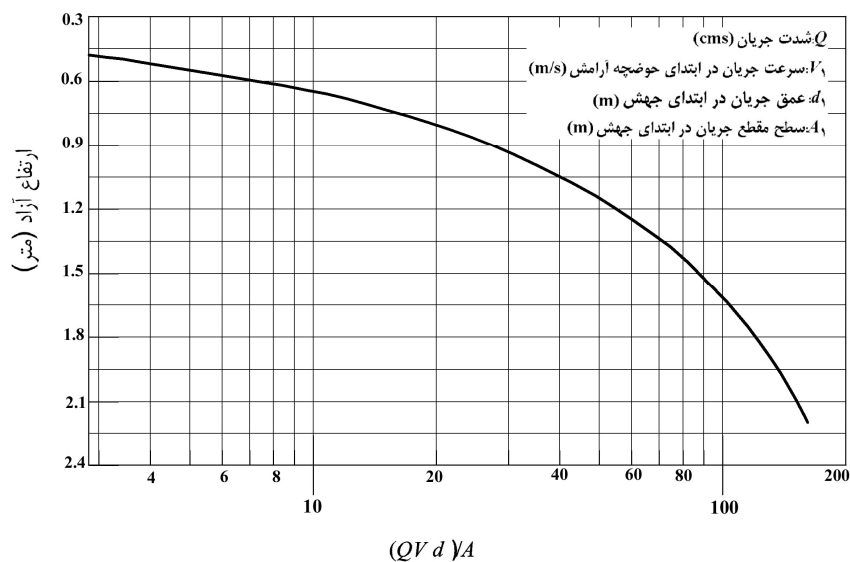
1- General Scouring

2- Local Scouring



شکل ۴-۱ نمودار تعیین طول حوضچه آرامش نوع USBR-I, II & III بر حسب عدد فرود جریان

- ارتفاع دیوار حوضچه آرامش، با توجه به عمق ثانویه پرش هیدرولیکی به ازای بده طراحی و ارتفاع آزاد منظور شده براساس تراز خط انرژی کانال پایین‌دست تعیین می‌شود. در شکل (۴-۲) نمودار تعیین ارتفاع آزاد لازم در حوضچه‌های آرامش ارائه شده است.



شکل ۴-۲ نمودار تعیین ارتفاع آزاد در حوضچه‌های آرامش بر حسب عدد فرود جریان

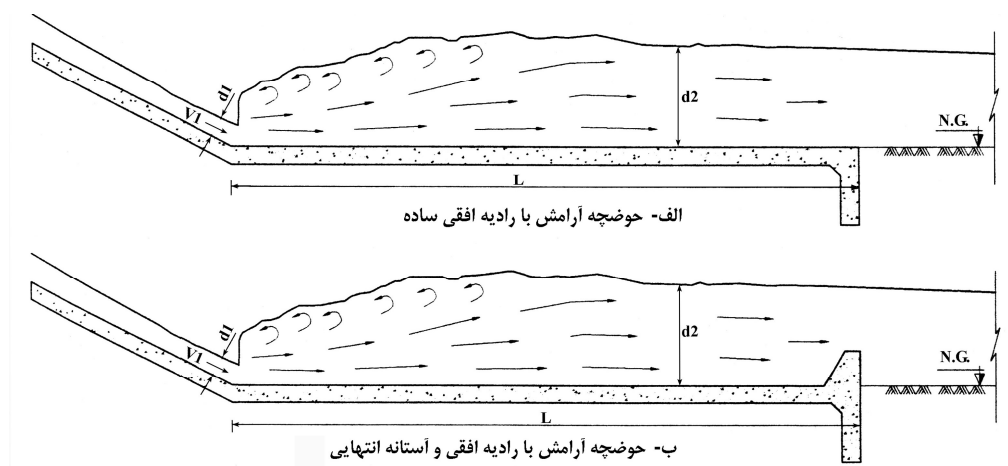
- قسمت خروجی حوضچه آرامش به صورت یک تبدیل به کانال پایین‌دست متصل می‌شود. در محاسبات مربوط به تراز کف حوضچه آرامش افت تبدیل خروجی منظور نمی‌شود. همچنین طول تبدیل خروجی نباید به عنوان قسمتی از طول حوضچه آرامش محسوب شود. سرعت جریان در قسمت خروجی حوضچه آرامش نیز نباید باعث فرسایش یا آبستگي احتمالی کانال پایین‌دست شود.

۳-۴- ضوابط طراحی هیدرولیکی

ضوابط طراحی هیدرولیکی انواع حوضچه‌های آرامش ذکر شده در بخش (۳-۴) به شرح زیر است:

۱-۳-۴- حوضچه آرامش USBR-I

این نوع حوضچه آرامش غالباً برای جریان با عدد فرود $1/7$ تا $2/5$ به کار برده می‌شود. حوضچه آرامش USBR-I، شامل یک کف افقی بدون هیچ‌گونه تمهیدات خاص از قبیل آستانه انتهایی، بلوک‌های میانی و یا بلوک‌های پای تندآب می‌باشد (شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴ حوضچه آرامش نوع USBR-I ($1.7 < Fr_1 < 2.5$)

این نوع حوضچه آرامش ممکن است در سازه‌های آبی با بار هیدرولیکی کم مانند شیب‌شکن‌های قائم یا مایل، سرریزهای ثابت یا متحرک، تنظیم کننده‌های سطح آب در کانال‌ها، مواردی در خروجی فلوم‌های هوایی، خروجی آبگذرها (کالورت‌ها) یا خروجی مجاری هرزآبروها و یا در تاسیسات بندهای انحرافی کوتاه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این نوع حوضچه آرامش را می‌توان به صورت ترکیبی با آستانه انتهایی و یا با تبدیل خروجی به کار برد.

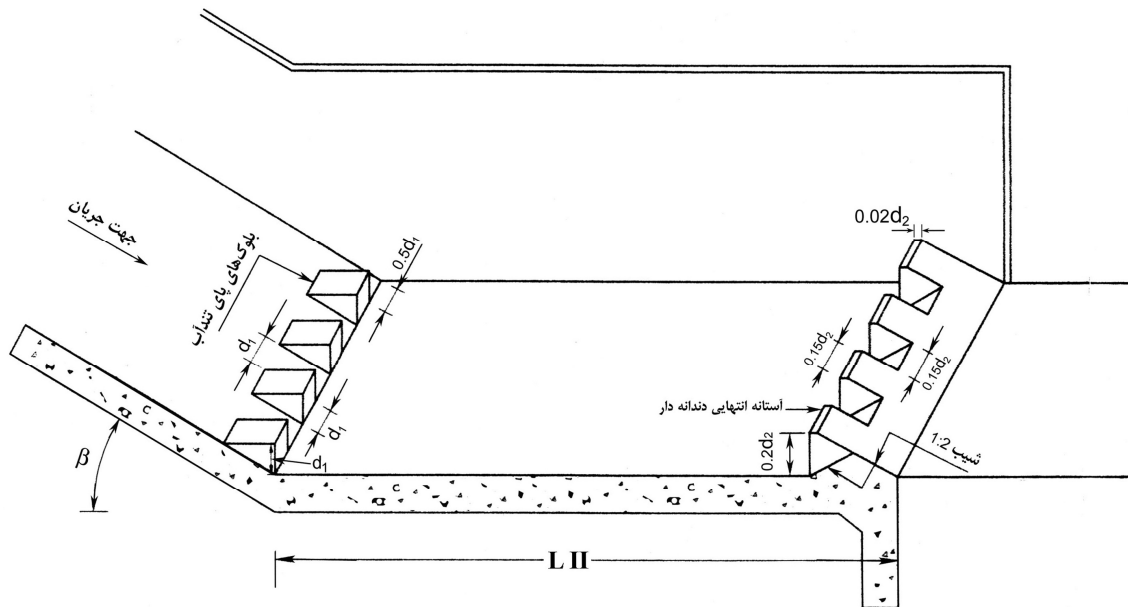
ابتدا ممکن است در مواردی بنا بر معیارهای هیدرولیکی، استفاده از انواع دیگر حوضچه‌های آرامش USBR مد نظر قرار گیرد، اما بنا بر ملاحظات مسایل مرتبط با تراوش از پی، مسایل اجرایی و ... استفاده از حوضچه آرامش نوع USBR-I همراه با یک آستانه انتهایی انتخاب شود.

۲-۳-۴- حوضچه آرامش USBR-II

حوضچه‌های آرامش USBR II برای جریان ورودی با عدد فرود بیش‌تر از $4/5$ و سرعت جریان بیش‌تر از 15 متر بر ثانیه به کار برده می‌شود. این نوع حوضچه آرامش شامل بلوک‌های پای تندآب و بلوک‌های انتهایی یا آستانه انتهایی دنداندار می‌باشد (شکل ۴-۴). این نوع حوضچه آرامش به استثنای مواردی مانند تندآب‌ها با اختلاف ارتفاع زیاد، در سازه‌های شبکه‌های آبیاری و زهکشی کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ارتفاع بلوک‌های پای تندآب برابر با عمق جریان ورودی به حوضچه آرامش، عرض هر بلوک و فاصله بلوک‌ها از یکدیگر نیز برابر عمق جریان ورودی به حوضچه آرامش و ارتفاع آستانه انتهایی ۲۰ درصد عمق ثانویه پرش هیدرولیکی و عرض و فاصله بلوک‌های آن ۱۵ درصد عمق ثانویه پرش هیدرولیکی می‌باشد.

هنگامی که شیب تندآب بیش‌تر از ۴۵ درجه باشد، کانال تندآب با قوس دایره‌ای به شعاع حداقل چهار برابر عمق اولیه پرش هیدرولیکی به حوضچه آرامش متصل می‌شود. در این حالت بلوک‌های پای تندآب بر روی سطح منحنی قرار می‌گیرند.



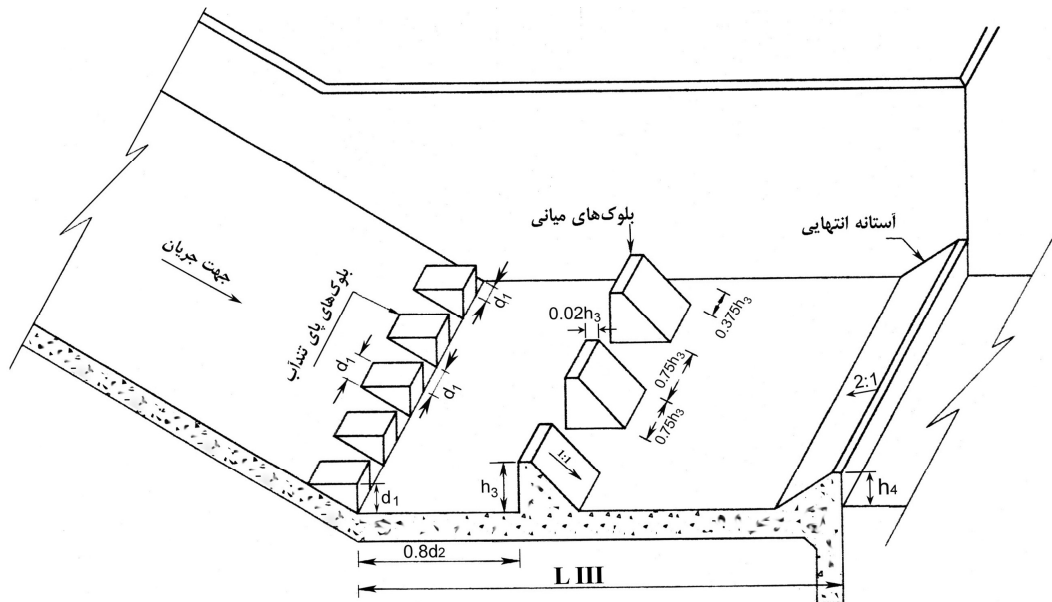
شکل ۴-۴ حوضچه آرامش نوع USBR-II ($Fr_1 > 4.5, V_1 > 15\text{m/s}$)

۴-۳-۳- حوضچه آرامش USBR-III

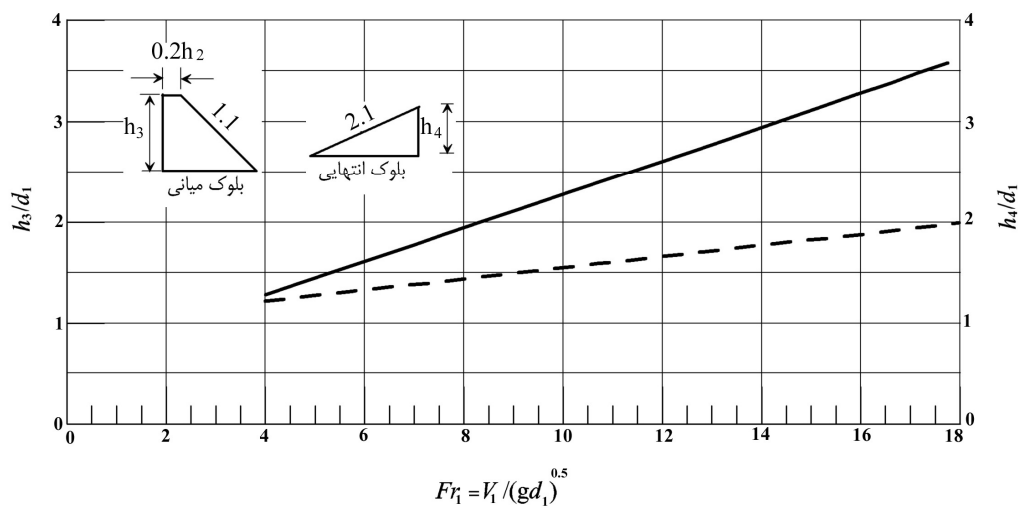
حوضچه آرامش USBR-III برای جریان با عدد فرود بیش‌تر از ۴/۵ و حداکثر سرعت جریان ورودی به حوضچه آرامش کم‌تر از ۱۵ متر بر ثانیه به کار برده می‌شود. معمولاً حوضچه آرامش USBR-III، در پایین‌دست شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و هرزآب‌روهای سدهای انحرافی و ... به کار برده می‌شود.

حوضچه آرامش USBR-III در شکل (۴-۵) ارائه شده است. این نوع حوضچه آرامش شامل یک کف افقی، بلوک‌های پای تندآب، بلوک‌های میانی و آستانه انتهایی می‌باشد. نمودار تعیین ابعاد و اندازه بلوک‌های میانی و ارتفاع آستانه انتهایی نیز در شکل (۴-۶) ارائه شده است. در این نوع حوضچه‌ها ارتفاع و عرض بلوک‌های پای تندآب برابر با عمق جریان ورودی به حوضچه آرامش و فاصله بین بلوک‌های میانی از ابتدای حوضچه آرامش برابر ۸۰ درصد عمق ثانویه پرش هیدرولیکی است.

هنگامی که عمق جریان ورودی به حوضچه آرامش کم‌تر از ۰/۲۰ متر باشد، ارتفاع بلوک‌های پای تندآب ۰/۲۰ متر انتخاب می‌شود. مشخصات ابعاد دیگر حوضچه آرامش نوع USBR-III در شکل (۴-۵) ارائه شده است.



شکل ۴-۵ حوضچه آرامش نوع USBR-III ($Fr_1 > 4.5, V_1 < (15-16) \text{ m/s}$)



شکل ۴-۶ نمودار تعیین ابعاد بلوک‌های میانی و ارتفاع آستانه انتهایی برحسب عدد فرود جریان

۴-۳-۴ حوضچه‌های آرامش نوع USBR-IV

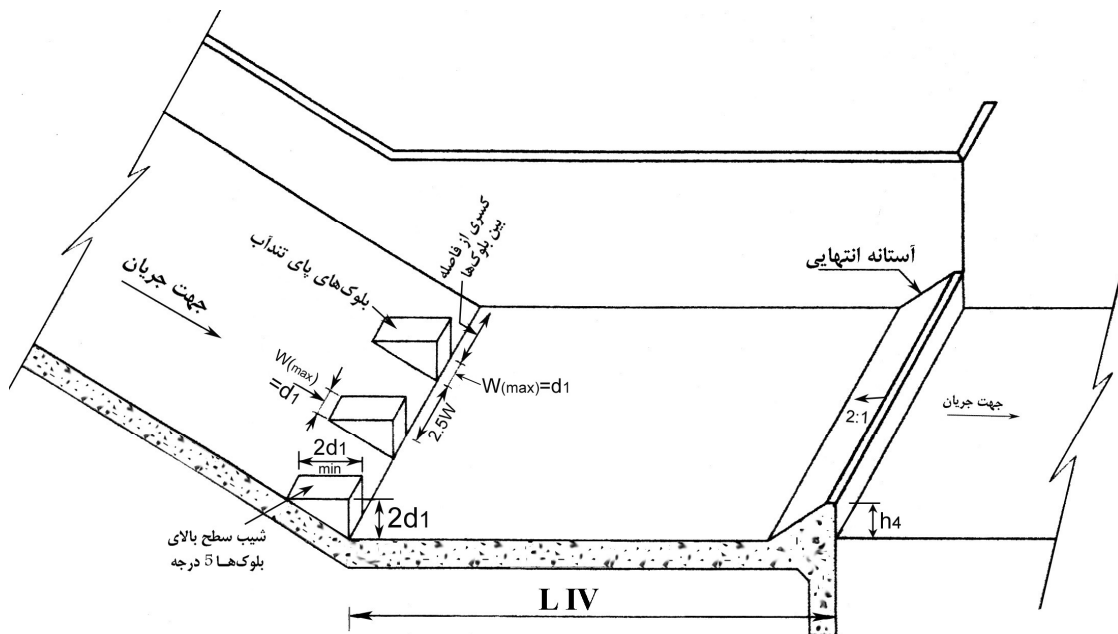
حوضچه‌های آرامش نوع USBR-IV که در سه حالت در این بخش ارائه می‌شود، برای جریان با عدد فرود $2/5$ تا $4/5$ قابل استفاده می‌باشد.

۴-۳-۴-۱ حوضچه آرامش نوع USBR-IV معمولی

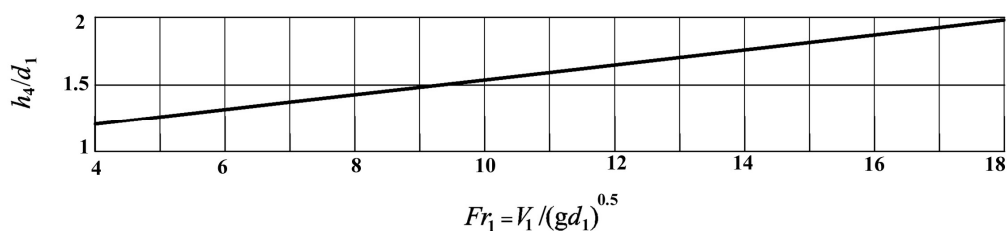
حوضچه آرامش USBR-IV معمولی در شکل (۴-۷) ارائه شده است. این نوع حوضچه آرامش شامل کف افقی، بلوک‌های پای تندآب و آستانه انتهایی می‌باشد. حداکثر عرض بلوک‌های پای تندآب، W ، برابر عمق اولیه پرش هیدرولیکی، d_1 ، است. به منظور

عملکرد هیدرولیکی مناسب‌تر، عرض بلوک‌های پای تندآب ۷۵ درصد عمق اولیه پرش هیدرولیکی می‌باشد. همچنین نسبت فاصله بین بلوک‌ها و عرض بلوک‌ها ۲/۵ است. ارتفاع آستانه انتهایی نیز از شکل (۴-۸) به دست می‌آید.

با توجه به حساسیت زیاد پرش هیدرولیکی برای اعداد فرود کم، در این نوع حوضچه آرامش یک اختلاف کوچک در عمق پایاب باعث می‌شود تا پرش هیدرولیکی به طور کامل از حوضچه آرامش خارج شود. بنابراین در صورتی که عمق پایاب ۱/۱ برابر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی باشد، پرش هیدرولیکی بهتر تشکیل شده و عمل حذف امواج مناسب‌تر صورت می‌گیرد. بنابراین برای تعیین تراز کف حوضچه آرامش و تحلیل منحنی‌های TWRC و JHC پیشنهاد می‌شود که عمق پایاب ۵ تا ۱۰ درصد بیش‌تر از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی در نظر گرفته شود.



شکل ۴-۷ حوضچه آرامش نوع USBR-IV معمولی ($2.5 < Fr_1 < 4.5$)

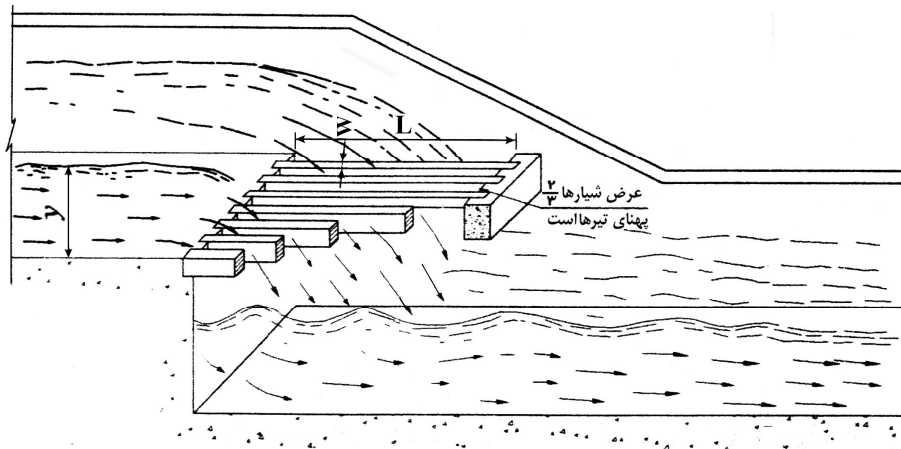


شکل ۴-۸ نمودار تعیین ارتفاع آستانه انتهایی در حوضچه آرامش نوع USBR-IV معمولی

۴-۳-۲- حوضچه آرامش نوع USBR-IV برای شیب‌شکن‌های کوچک

گزینه دیگر حوضچه آرامش USBR-IV برای شیب‌شکن‌های قائم کوچک^۱ در شکل (۴-۹) ارائه شده است. این نوع حوضچه آرامش برای جریان با عدد فرود $2/5$ تا $4/5$ قابل استفاده می‌باشد. هنگامی که عدد فرود جریان کمتر از سه است، استفاده از این نوع سازه استهلاك انرژی بسیار رضایت بخش است. در این نوع حوضچه آرامش عدد فرود جریان در بالای شیب‌شکن باید حدود $0/5$ باشد.

مطابق شکل (۴-۹)، اگر صفحه مشبک نصب شده در سطح بالایی شیب‌شکن به سمت پایین با زاویه حدود سه درجه یا بیش‌تر متمایل شود، خود شویی و تمیز شدن فضای بین میله‌های شبکه فولادی به صورت مطلوبی انجام می‌شود. در صورتی که لازم باشد در کانال بالادست یک تراز سطح آب معین تنظیم کرد، می‌توان با متمایل ساختن صفحه مشبک به سمت بالا، عمل تنظیم سطح آب در کانال را انجام داد. با این وجود در چنین طرحی امکان گرفتگی و انسداد فضای خالی بین میله‌ها در صفحه مشبک وجود دارد.



شکل ۴-۹- حوضچه آرامش نوع USBR-IV برای شیب‌شکن‌های قائم کوچک ($2.5 < Fr_1 < 4.5$)

در طرح صفحه مشبک، دو ترکیب متفاوت در فاصله بین میله‌ها و طول میله‌ها می‌توان در نظر گرفت. در حالت اول، فاصله بین تیرها برابر با عرض تیرها است. در این شرایط طول تیرها حدود $2/9$ برابر عمق جریان در کانال بالادست می‌باشد. در حالت دوم، فاصله بین تیرها حدود دو سوم عرض تیرها است، در این شرایط طول تیرها حدود $3/6$ برابر عمق جریان در کانال بالادست می‌باشد. حالت دوم در استهلاك انرژی موثرتر از حالت اول است. رابطه زیر برای محاسبه طول تیرها ارائه شده است:

$$L = \frac{Q}{CSN\sqrt{2gy}} \quad (3-4)$$

که در آن:

C: ضریب تجربی است که برای حالت‌های اول و دوم ترکیب قرارگیری فاصله بین تیرها $0/245$ می‌باشد و بدون بعد است،

S: عرض بین دو تیر بر حسب متر،

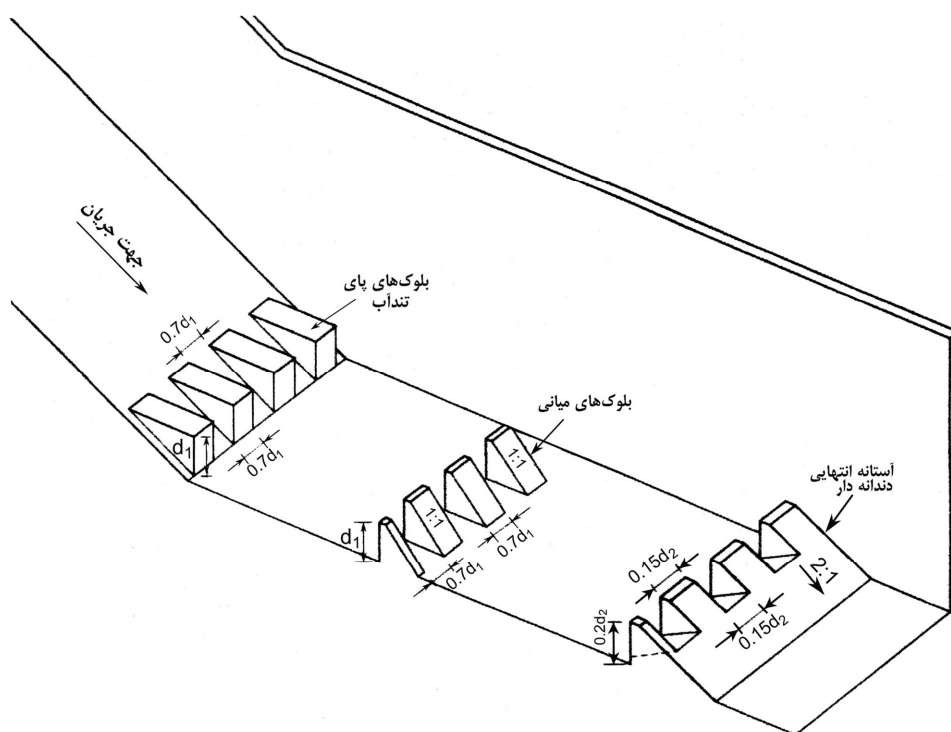
N : تعداد فواصل بین تیرها،

y : عمق جریان در کانال بالادست بر حسب متر، و

L : طول تیرها بر حسب متر.

۳-۴-۳-۴- حوضچه آرامش USBR IV اصلاح شده

این نوع حوضچه آرامش (شکل ۴-۱۰) برای جریان با عدد فرود $2/50$ تا $5/0$ قابل استفاده است. برای اعداد فرود کم‌تر از ۳، استفاده از انواع دیگر سازه‌های استهلاک انرژی مانند سرریزهای مانع‌دار^۱ یا شیب‌شکن‌های مانع‌دار^۲ پیشنهاد می‌شود.



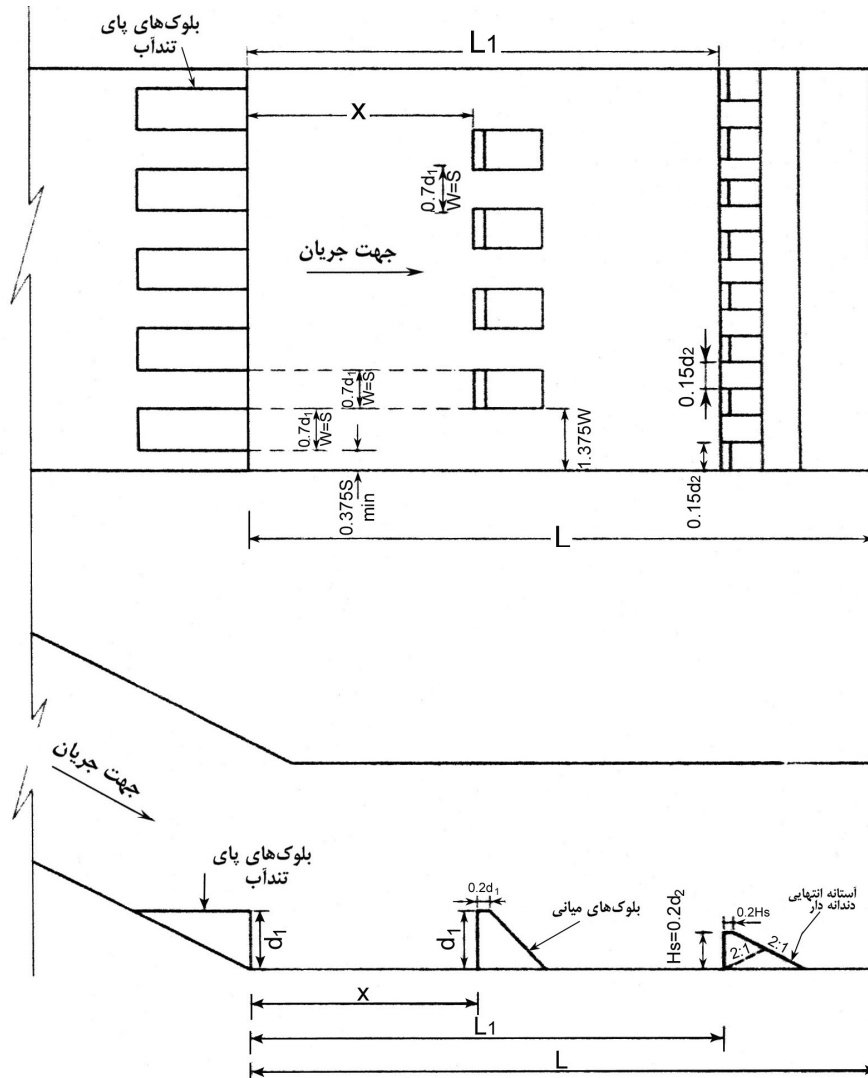
شکل ۴-۱۰ حوضچه آرامش نوع USBR-IV اصلاح شده ($2.5 < Fr_1 < 4.5$)

معایب حوضچه آرامش USBR-IV معمولی، (شکل ۴-۷) عبارتند از: ابعاد بزرگ بلوک‌های پای تنداب، طول قابل ملاحظه حوضچه آرامش و بازده کم استهلاک انرژی که این موارد در حوضچه آرامش نوع USBR-IV اصلاح شده برطرف گردیده است. مطابق شکل (۴-۱۰)، حوضچه آرامش اصلاح شده شامل کف افقی، بلوک‌های پای تنداب، بلوک‌های میانی و آستانه دنداندار انتهایی می‌باشد. مشخصات هندسی و ابعادی بلوک‌های پای تنداب و بلوک‌های میانی و آستانه دنداندار در شکل (۴-۱۱) در پلان و مقطع نشان داده شده است. ارتفاع و عرض بلوک‌های میانی و بلوک‌های پای تنداب به ترتیب برابر d_1 و $0.7d_1$ است. همچنین

1- Baffled Apron Spillway
2- Baffled Apron Drop

پیشنهاد می‌شود که فاصله بین بلوک‌های میانی و بلوک‌های پای تندآب برابر با عرض بلوک‌ها یعنی $0.7d_1$ باشد. تعداد کل بلوک‌ها و فواصل بین آن‌ها از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$N = \frac{(B - 2KW)}{W} \quad (۴-۴)$$



شکل ۴-۱۱- پلان و مقطع حوضچه آرامش نوع اصلاح شده و ابعاد بلوک‌های پای تندآب، بلوک‌های میانی و آستانه انتهایی دندانه‌دار

عوامل معادله (۴-۴) به شرح زیر هستند:

N : تعداد کل بلوک‌ها و فواصل بین آن‌ها

B : کل عرض حوضچه آرامش بر حسب متر

W : عرض بلوک‌ها که برابر $0.7d_1$ است.

K : کسری از پهنای بلوک‌ها که برابر فاصله بین آخرین بلوک و دیوار حوضچه آرامش می‌باشد و $0.375 \leq K \leq 0.5$ ، مقدار N

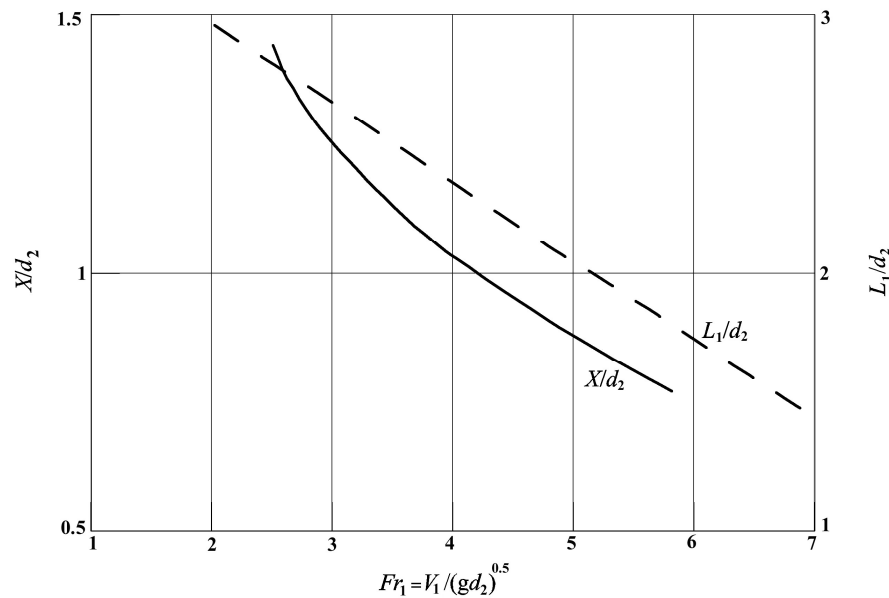
محاسبه شده از رابطه (۴-۴) باید به نزدیک‌ترین عدد فرد گرد شده و سپس مقادیر K و W متعاقباً اصلاح شوند.

مطابق شکل (۴-۱۱) بلوک‌های میانی باید در بین بلوک‌های پای تندآب قرار گیرند تا باعث کاهش امواج شود. همچنین فاصله بین آخرین بلوک تا دیوارهای جانبی حوضچه آرامش نباید کمتر از $0.375W$ و بیش‌تر از $0.5W$ باشد. معمولاً هیچ بلوک میانی در حد فاصل بین دیوار جانبی حوضچه و فاصله $0.375W$ از آن قرار نمی‌گیرد.

در صورتی که نسبت مجموع عرض بلوک‌های میانی به عرض مجرا کمتر از 0.40 باشد، بلوک‌های نیمه^۱ باید در برابر دیوار جانبی جانمایی شوند، طوری که این پارامتر تقریباً برابر 0.5 شود. در هر ترکیبی^۲ از بلوک‌های میانی که تعداد آن‌ها کمتر از چهار عدد باشد به بلوک‌های نیمه که در برابر دیوارهای جانبی قرار می‌گیرند نیاز خواهد بود تا نسبت مذکور به دست آید. نسبت مجموع عرض پله‌های میانی به عرض مجرا باید بین 0.45 تا 0.55 باشد. هنگامی که بیش‌تر از چهار بلوک در آرایش بلوک‌های میانی مدنظر است، معمولاً به بلوک‌های نیمه نیازی نخواهد بود. نمودار تعیین فاصله بلوک‌های میانی تا بلوک‌های پای تندآب (X) بر حسب تغییرات عدد فرود جریان در شکل (۴-۱۲) ارائه شده است.

فاصله L_1 در شکل (۴-۱۱) را که فاصله از پنجه تندآب تا وجه بالادست آستانه انتهایی می‌باشد، می‌توان از شکل (۴-۱۲) به‌دست آورد. در بعضی مواقع بعد L_1 به‌علاوه طول آستانه برای اعداد فرود بزرگ‌تر از ۳، کوتاه‌تر از L و برای اعداد فرود کوچک‌تر از ۳ برابر L می‌باشد. طول اضافی بعد از آستانه انتهایی برای کاهش سرعت جریان موردنیاز است. برای اعداد فرود کمتر از 2.7 ، فاصله L_1 به‌علاوه طول آستانه انتهایی ممکن است کمی طولانی‌تر از L باشد. در این صورت طول حوضچه آرامش باید به اندازه‌ای اضافه شود که آستانه انتهایی را نیز شامل شود. پیشنهاد می‌شود که طول L سه برابر عمق ثانویه پرش هیدرولیکی در نظر گرفته شود.

ارتفاع آستانه انتهایی $0.2d_2$ و پهنا و عرض بین دندانه‌های بلوک‌های آستانه انتهایی $0.15d_2$ می‌باشد. برای داشتن عدد صحیحی از تعداد بلوک‌های آستانه انتهایی، این ابعاد را می‌توان قدری تغییر داد. مطابق شکل (۴-۱۱)، بلوک‌های آستانه انتهایی باید در مجاورت دیوارهای جانبی حوضچه آرامش قرار گیرند. برای افزایش ضریب اطمینان در مقابل خروج پرش هیدرولیکی از حوضچه آرامش و کاهش سرعت جریان، عمق پایاب باید حدود پنج درصد بیش‌تر از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی باشد. حفاظت پایین‌دست حوضچه آرامش در مجاری فرسایش‌پذیر با سنگ‌چین الزامی است.



شکل ۴-۱۲ نمودار تعیین فاصله بلوک‌های میانی و آستانه انتهایی از ابتدای حوضچه آرامش نوع USBR-IV اصلاح شده بر حسب عدد فرود جریان

۴-۳-۵- حوضچه آرامش SAF^۱

شرایط کاربرد حوضچه آرامش نوع SAF مانند شرایط کاربرد حوضچه USBR نوع III می‌باشد؛ یعنی سازه‌هایی با بارآبی کم اما برای دامنه بسیار وسیع‌تر از اعداد فرود ($1.7 < F < 17.0$) پیشنهاد می‌شود. این حوضچه می‌تواند به صورت مستطیلی یا با دیوارهای واگرا طراحی و اجرا شود. مشخصات هندسی این نوع حوضچه آرامش در شکل (۴-۱۳) ارائه شده است و ضوابط طراحی آن به قرار زیر است:

- طول L_B از رابطه (۴-۵) محاسبه می‌شود:

$$L_B = \frac{4.5d_2}{F_1^{0.76}} \quad (۴-۵)$$

- ارتفاع بلوک‌های پای تندآب و میانی برابر d_1 (عمق جریان قبل از پرش هیدرولیکی) و فاصله و پهنای بلوک‌ها $0.75d_1$ می‌باشد.

- فاصله بین انتهای بالادست حوضچه آرامش تا وجه بالادست بلوک‌های میانی $L_B / 3$ می‌باشد.

- حداقل فاصله بلوک‌های میانی از دیوارهای جانبی حوضچه نباید از $3d_1 / 8$ کمتر شود و فاصله بلوک‌های تندآب از دیوار جانبی نباید بیش‌تر از $3d_1 / 4$ شود.

- بلوک‌های میانی حوضچه باید در مقابل بازشدگی بلوک‌های پای آبشار نصب شوند.

- به طور کلی بلوک‌های میانی حدود ۴۰ تا ۵۵ درصد عرض حوضچه را اشغال می‌کنند.

- عرض و فاصله بلوک‌های حوضچه در حوضچه‌هایی با دیوارهای واگرا باید به تناسب زیاد شدن عرض حوضچه در محل بلوک‌ها، افزایش یابد.

۱- این نوع حوضچه آرامش در آزمایشگاه هیدرولیک Saint Anthony Falls دانشگاه Minnesota به سفارش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) ارائه شده است.

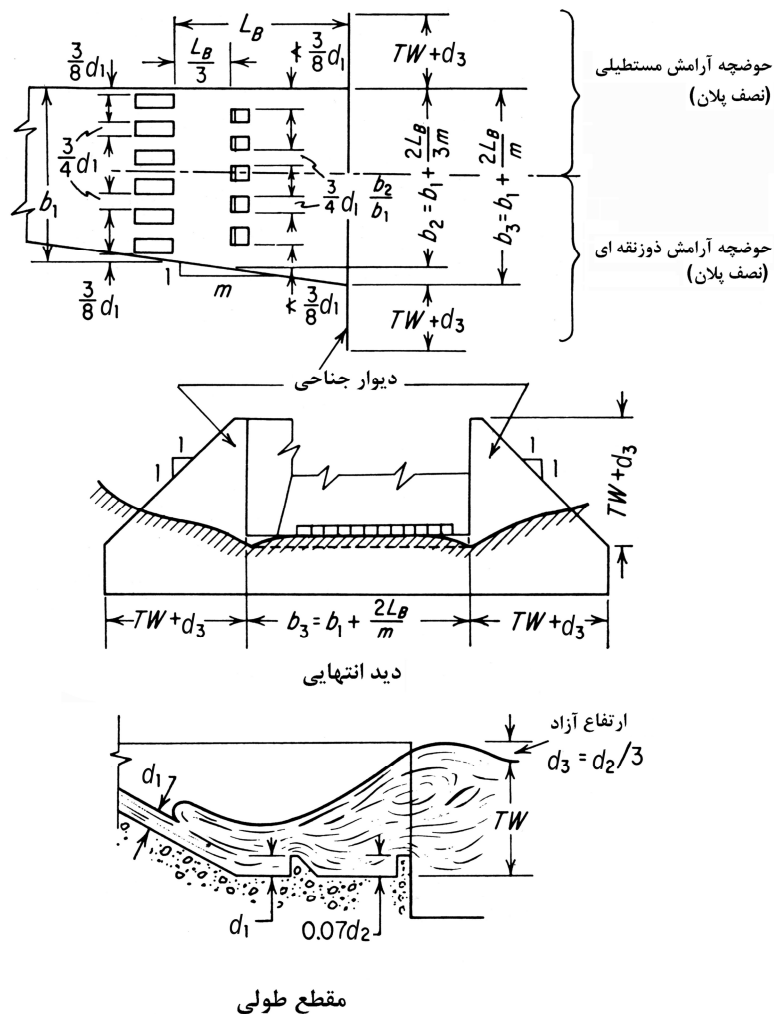
- ارتفاع دندان انتهایی حوضچه برابر با $0.70d_2$ در نظر گرفته شود که d_2 عمق مزدوج جهش متناظر با d_1 می‌باشد.
- عمق پایاب، TW، نسبت به کف حوضچه به کمک روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$TW = d_2 \left(1.1 - \frac{F^2}{120} \right) \quad (۴-۶) \quad \text{برای اعداد فرود } ۱/۷ \text{ تا } ۵/۵$$

$$TW = 0.85d_2 \quad (۴-۷) \quad \text{برای اعداد فرود } ۵/۵ \text{ تا } ۱۱/۰$$

$$TW = d_2 \left(1.0 - \frac{F^2}{800} \right) \quad (۴-۸) \quad \text{برای اعداد فرود } ۱۱/۰ \text{ تا } ۱۷/۰$$

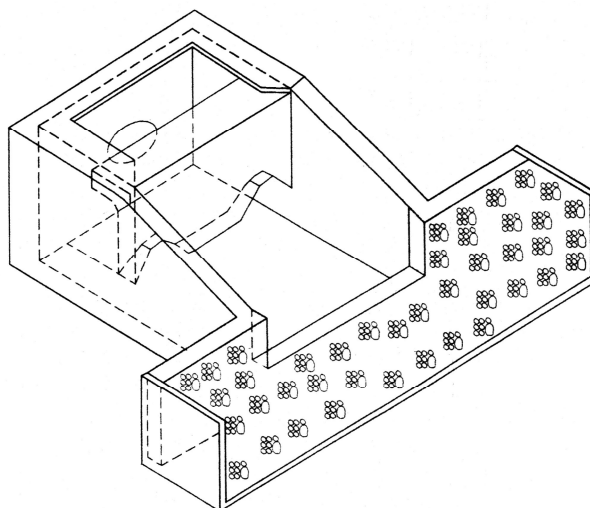
- ارتفاع دیوارهای جانبی باید به اندازه $d_2/3$ از حداکثر عمق پایاب بالاتر باشد.
- ارتفاع دیوارهای جناحی باید هم ارتفاع با دیوار حوضچه باشد و قسمت فوقانی این دیوارها باید دارای شیب ۱ به ۱ باشد.
- زاویه دیوارهای جناحی نسبت به خط مرکزی خروجی سازه باید ۴۵ درجه باشد.
- در انتهای حوضچه باید از دیوارهای آب‌بند استفاده شود.
- در طراحی این نوع حوضچه از میزان ورود هوا به جریان به دلیل تاثیر ناچیز آن صرف نظر می‌شود.



شکل ۴-۱۳ مشخصات هندسی حوضچه SAF

۴-۳-۶- حوضچه آرامش ضربه‌ای

این نوع حوضچه آرامش (شکل ۴-۱۴) برای بده‌های کمتر از ۱۰ مترمکعب بر ثانیه و سرعت جریان کمتر از ۹ متر بر ثانیه و برای جریان با عدد فرود ۱/۵ تا ۷ مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما محدودیت عدد فرود جریان اهمیت زیادی در کاربرد این نوع حوضچه آرامش ندارد. مشخصه مهم حوضچه آرامش ضربه‌ای، عدم نیاز به عمق پایاب است. این نوع حوضچه آرامش موجب استهلاک بیش‌تر انرژی نسبت به پرش هیدرولیکی می‌شود.



شکل ۴-۱۴ حوضچه آرامش نوع USBR-IV ضربه‌ای

حوضچه آرامش ضربه‌ای به شکل یک مکعب مستطیل است که دارای مانعی به صورت یک دیوار معلق قائم و یک آستانه انتهایی است (شکل ۴-۱۴). این نوع حوضچه آرامش در خروجی لوله‌های هرزآبرو یا آبگیرها، شیب‌شکن‌های لوله‌ای، تندآب‌های لوله‌ای و یا در خروجی کالورت‌هایی (زیرگذرهای) که از زیر زهکش‌ها و ... عبور می‌کنند مورد استفاده قرار می‌گیرند. پلان و نیم‌رخ طولی این نوع حوضچه آرامش در شکل (۴-۱۵) نشان داده شده است.

در شکل (۴-۱۶) نمودار تغییرات نسبت افت انرژی در حوضچه آرامش ضربه‌ای به انرژی جریان در ابتدای ورود به حوضچه آرامش برحسب عدد فرود جریان نشان داده شده است. در شکل (۴-۱۶) عمق d_1 از تبدیل سطح مقطع جریان در حالت لوله نیمه‌پر به سطح مقطع مستطیلی که عرض آن برابر با قطر لوله باشد، به‌دست می‌آید. مشخصات هیدرولیکی جریان در مقطع خروجی مجرا در ابتدای ورود به حوضچه آرامش بر اساس معادلات انرژی جریان و یا محاسبات پروفیل سطح آب بین ابتدای حوضچه آرامش و بالادست مجرا به‌دست می‌آید. V_1 در شکل یاد شده نیز سرعت جریان در ابتدای ورود به حوضچه آرامش می‌باشد. در سازه‌های کوچک، مقدار سرعت V_1 از رابطه زیر محاسبه شود:

$$V_1 = \sqrt{2gh} \quad (۹-۴)$$

که در آن h ، بار آبی است که باید توسط حوضچه آرامش مستهلک شود. به استثنای تندآب‌های طولانی، مقدار h را می‌توان اختلاف ترازهای کف کانال در انتهای قسمت ورودی و خروجی سازه آبی در نظر گرفت. در تندآب‌های طولانی مقدار h با منظورکردن تلفات انرژی در مجرای تندآب که به کمک محاسبه نیم‌رخ طولی سطح آب صورت می‌گیرد، تعیین می‌شود.

پارامترهای هندسی نشان داده شده در شکل (۴-۱۵) برحسب پارامتر عرض حوضچه آرامش (W) محاسبه می‌شود. در شکل (۴-۱۷) نموداری جهت تعیین عرض حوضچه آرامش برحسب عدد فرود ارائه شده است. پارامترهای ذکر شده در نمودار شکل (۴-۱۷) به شرح زیر تعریف شده‌اند:

W : عرض حوضچه آرامش

V_1 : سرعت جریان ورودی به حوضچه آرامش که از رابطه (۴-۹) به دست می‌آید.

d : عمق جریان ورودی به حوضچه آرامش که از رابطه (۴-۱۰) محاسبه می‌شود.

$$d = \sqrt{Q/V_1} \quad (۴-۱۰)$$

مشخصات هندسی حوضچه آرامش بر حسب عرض حوضچه که در شکل (۴-۱۴) معرفی شده است به کمک روابط زیر تعیین می‌شود:

$$L = \frac{3}{4}W \quad (۴-۱۱)$$

$$f = \frac{1}{6}W \quad (۴-۱۲)$$

$$e = \frac{1}{12}W \quad (۴-۱۳)$$

$$H = \frac{3}{4}W \quad (۴-۱۴)$$

$$a = \frac{1}{2}W \quad (۴-۱۵)$$

$$b = \frac{3}{8}W \quad (۴-۱۶)$$

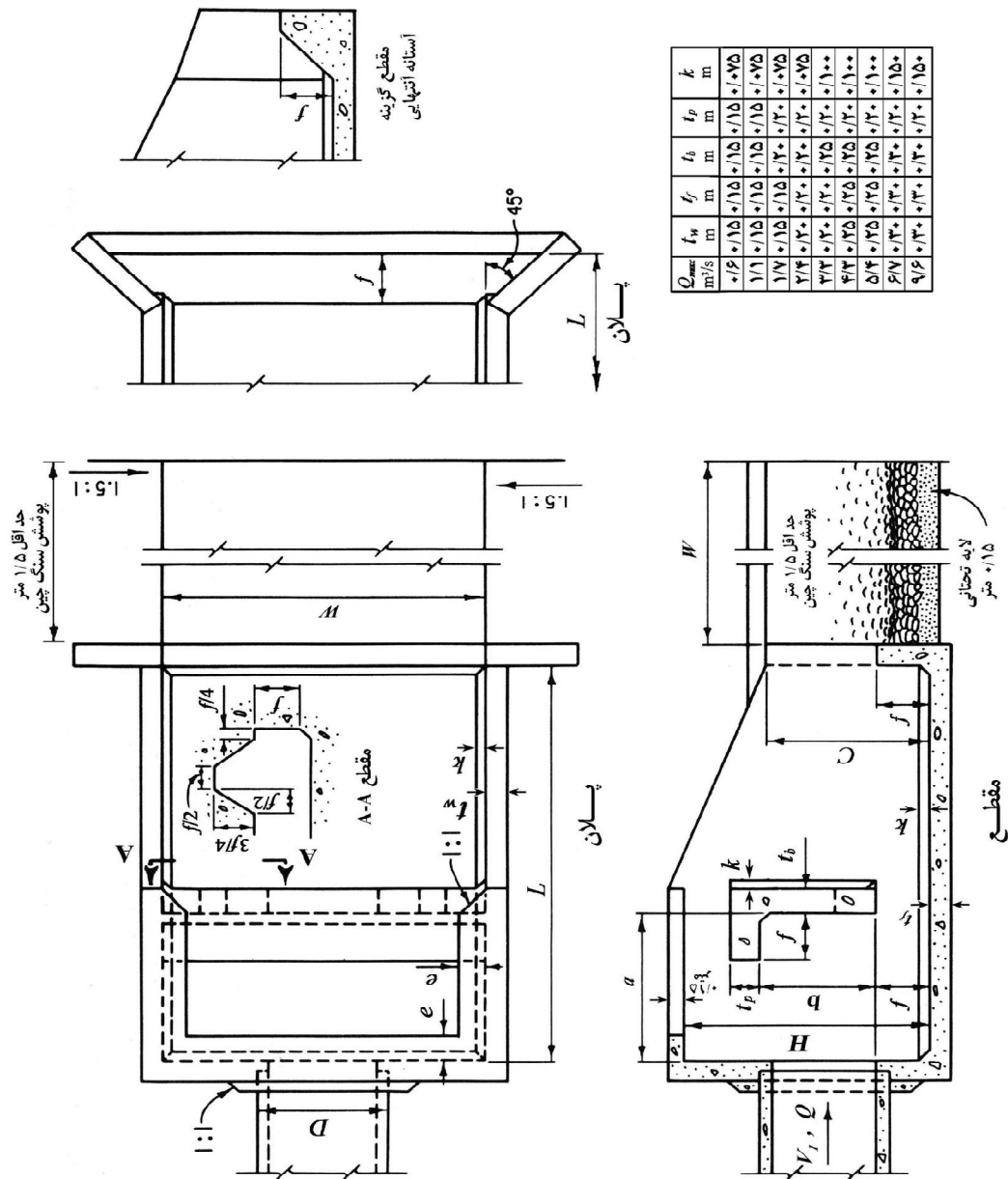
$$C = \frac{1}{2}W \quad (۴-۱۷)$$

قطر سنگ دانه‌های پوشش سنگ‌چین، پنج درصد عرض حوضچه آرامش ($W/20$) می‌باشد. برای کاهش سرعت جریان خروجی از حوضچه آرامش و ایجاد سطح صاف آب و کاهش شدت فرسایش پایین‌دست، تامین عمق پایاب به مقدار $(\frac{b}{2} + f)$ پیشنهاد می‌شود. همچنین عمق پایاب نباید از مقدار $(b + f)$ بیش‌تر باشد.

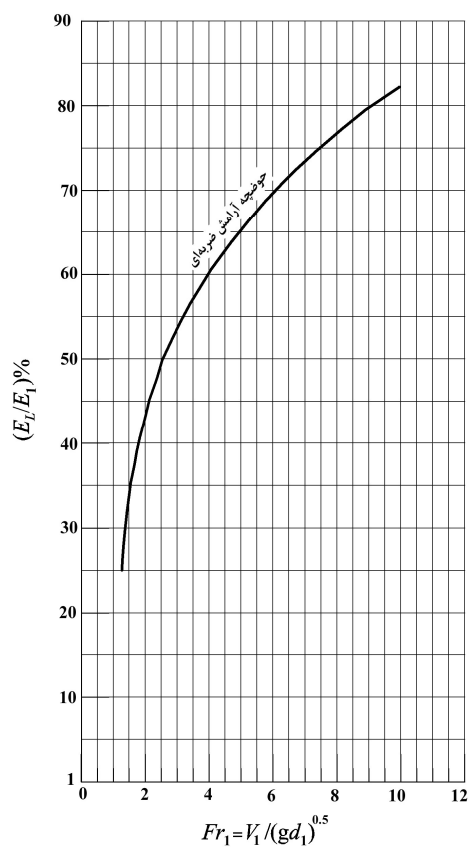
در صورتی که عمق پایاب قابل تنظیم نباشد، تراز کف حوضچه باید به مقدار f یا $W/6$ پایین‌تر از کف مجرای پایین‌دست قرار گیرد. تراز کف لوله ورودی یا کانال روبازی که وارد حوضچه آرامش می‌شود باید مطابق شکل (۴-۱۵) هم‌تراز کف دیوار عمودی (مانع ورودی) و بالای آستانه انتهایی بدون توجه به قطر لوله ورودی باشد.

حداکثر زاویه شیب لوله ورودی به حوضچه آرامش ۱۵ درجه است. در مواردی که شیب لوله ورودی از مقدار ذکر شده بیش‌تر باشد، استفاده از یک لوله افقی یا لوله‌ای با حداکثر زاویه شیب ۱۵ درجه به طول دو یا چند برابر قطر لوله در قسمت انتهایی لوله پیشنهاد می‌شود.

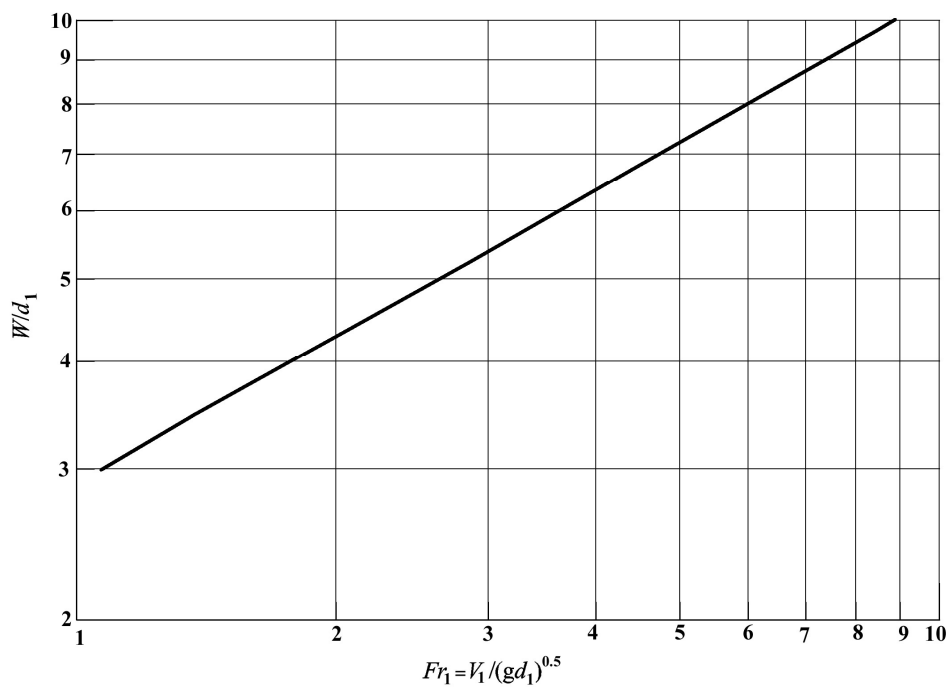
قطر لوله ورودی به حوضچه آرامش با فرض جریان پر در لوله و به ازای سرعت $3/7$ متر بر ثانیه محاسبه می‌شود. به منظور جلوگیری از فرسایش و خوردگی در استفاده از حوضچه آرامش ضربه‌ای حداکثر سرعت نظری محاسبه شده از رابطه (۴-۹) به ۱۵ متر بر ثانیه محدود شده است.



شکل ۱۵-۴ پلان و نیم‌رخ طولی حوضچه ضربه‌ای (واحد‌ها به متر است)



شکل ۴-۱۶ نمودار تغییرات نسبت افت انرژی جریان ورودی به حوضچه آرامش ضربه‌ای معمولی (E_L/E_1) برحسب عدد فرود جریان



شکل ۴-۱۷ نمودار تعیین عرض حوضچه آرامش نوع ضربه‌ای برحسب عدد فرود جریان

برای سازه‌هایی که به صورت دائمی بهره‌برداری نمی‌شوند، می‌توان از شکاف‌هایی که در قسمت تحتانی مانع (مطابق شکل ۴-۱۴) ایجاد گردیده، برای خارج کردن رسوبات و مواد زاید به جای مانده در حوضچه استفاده نمود. تعبیه شکاف‌های زیر مانع، باعث می‌شود که جریان جت عبوری از این شکاف‌ها از بالای آستانه انتهایی عبور کرده و باعث آبستگي احتمالی مجرای پایین‌دست شود، بنابراین پیشنهاد می‌شود که از گزینه آستانه انتهایی در شکل (۴-۱۵) در خروجی حوضچه آرامش استفاده شود.

در مواقعی که بنا بر شرایط مکانی و وضعیت رسوبات، نیازی به تمیز کردن حوضچه آرامش نباشد، ساخت و تعبیه کردن شکاف‌های زیر مانع لازم نیست. در صورتی که مجرای زیر مانع به هر دلیل مسدود شده باشد، حوضچه آرامش قادر خواهد بود تا کل بده طراحی را از روی مانع عبور دهد.

منابع و مراجع

- ۱- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهور (۱۳۸۴)، ضوابط طراحی هیدرولیکی ساختمان‌های حفاظتی و تقاطعی، تبدیل و ایمنی و ساختمان‌های حفاظت در مقابل فرسایش سامانه‌های آبیاری، نشریه شماره ۳۳۷.
- 2- Arora, KR. (2002). Irrigation, water power and water resources engineering. Standard publisher distributors, Delhi, India.
- 3- French, RH. (1986). Open channel hydraulics. McGraw Hill, New York, NY.
- 4- Henderson, FM. (1966). Open channel flow, Macmillan, New York, NY.
- 5- Ranga Raju, KG. (1993). Flow through open channels. Tata McGraw Hill, New Delhi, India.
- 6- Razvan, E. (1989). River intakes and diversion dams. Elsevier Science Publisher, the Netherlands.
- 7- Senturk, F. (1994). Hydraulics of dams and reservoirs. Water Resources Publications, Denver, Co.
- 8- USBR. (1973). Design of low head hydraulic structures. Denver, Co.
- 9- USBR. (1978). Design of small canal structures. Denver, Co.
- 10- USBR. (1983). Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators. Engineering monograph No. 25, Denver, Co.
- 11- USBR. (1987). Design of small dams. Denver, Co.

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی-فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تألیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه پیوست در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

Hydraulic Design Criteria for Drops, chutes, and Energy Dissipators in Irrigation and Drainage Networks

No.482

Office of Deputy for Strategic Supervision
Bureau of Technical Execution System

<http://tec.mporg.ir>

Ministry of Energy
Bureau of Engineering and Technical
Criteria for Water and Wastewater

<http://seso.moe.org.ir>

2009

این نشریه

با عنوان «ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و تاسیسات پایانه‌ای استهلاک انرژی در سازه‌های آبیاری و زهکشی» به معرفی مشخصات و موارد استفاده شیب‌شکن‌ها، تندآب‌ها و سازه‌های استهلاک انرژی در سامانه‌های آبیاری و زهکشی می‌پردازد. در این رابطه ضوابط طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌های قائم، مستطیلی مایل، لوله‌ای مایل، مستطیلی مانع‌دار مایل، تندآب با کانال روباز، تندآب لوله‌ای و انواع حوضچه آرامش ارائه شده است.

مرکز داده‌ورزی و اطلاع رسانی

ISBN: 978-964-179-292-5



9789641792925