

جمهوری اسلامی ایران  
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

# راهنمای آبگیری از رودخانه و حفاظت آن

نشریه شماره ۵۰۹

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

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

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

<http://tec.mporg.ir>



omoorepeyman.ir



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

شماره:	۱۰۰/۱۱۵۰۵۶	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۸۸/۱۲/۸	
موضوع: راهنمای آگیری از رودخانه و حفاظت آن		

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۶) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۰۹ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «راهنمای آگیری از رودخانه و حفاظت آن» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

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

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند.

ابراهیم عزیزی



omoorepeyman.ir



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## 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](mailto:tsb.dta@mporg.ir)

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





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## پیشگفتار

رودخانه‌ها شریان‌های اصلی حیات کلیه سازه‌های آبی محسوب می‌شوند و حفاظت و بهره‌برداری بهینه از آنها و همچنین حراست از بستر و حریم آنها ضروری است.

با رشد جمعیت و سکنی گزیدن در مکان‌هایی دور از رودخانه و همچنین نیاز به آب برای مقاصد نظیر کشاورزی، شرب و استفاده در صنعت، انسان به فکر جابجا کردن و انتقال آب افتاد. آبیگری از رودخانه یکی از قدیمی‌ترین مسایل مطرح در زمینه مهندسی هیدرولیک می‌باشد. با این وجود طراحی یک سازه آبیگر در یک رودخانه طبیعی، امروزه نیز امری مهم به شمار می‌رود. با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو تهیه نشریه "راهنمای آبیگری از رودخانه و حفاظت از آن" را در دستور کار قرار داد و پس از تهیه آن را برای تنفیذ و ابلاغ عوامل ذینفع نظام فنی اجرایی کشور به معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (دفتر نظام فنی اجرایی) ارسال نمود و پس از بررسی بر اساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب شماره ۳۳۴۹۷/ت/۴۲۳۳۹ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تایید و ابلاغ گردید.

"راهنمای آبیگری از رودخانه و حفاظت از آن" شامل اصول و مبانی کلی آبیگری از رودخانه، روش‌های مختلف آبیگری از آن و مبانی طراحی هیدرولیکی آنها به همراه روش‌های کنترل رسوب ورودی به آبیگرها و روش‌های حفاظت آنها معرفی شده است. بدین وسیله معاونت نظارت راهبردی رییس جمهور از تلاش و جدیت مدیر کل محترم دفتر نظام فنی اجرایی، سرکار خانم مهندس بهناز پورسید و کارشناسان این دفتر و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای محمد حاج‌رسولیه و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون آنان را آرزومند می‌باشد.

امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

معاون نظارت راهبردی

زمستان ۱۳۸۸



## ترکیب اعضای تهیه کننده، کمیته و ناظران تخصصی

این راهنما در معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس با مسوولیت آقای دکتر قدسیان و همکاری افراد زیر تهیه شده است. اسامی این افراد به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر می باشد:

آقای منصور ابوالقاسمی	دانشگاه تربیت مدرس	فوق لیسانس سازه های آبی
آقای امیراحمد دهقانی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکترای هیدرولیک
آقای علی اکبر صالحی نیشابوری	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای هیدرولیک
آقای مسعود قدسیان	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای هیدرولیک

**گروه نظارت** که مسوولیت نظارت تخصصی بر تدوین این راهنما را به عهده داشته اند، به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای محمود افسوس	شرکت مهندسين مشاور سازه پردازی ایران	فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک
آقای فیروز بهادری خسروشاهی	دانشگاه خواجه نصیر طوسی	دکترای هیدرولیک
آقای حمید خورسندی	شرکت مهندسين مشاور لار	فوق لیسانس هیدرولیک
خانم کیاندرخت کباری	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	لیسانس مهندسی راه و ساختمان

- وزارت نیرو

**اعضای کمیته تخصصی مهندسی رودخانه و سواحل طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور که بررسی و**

تایید راهنمای حاضر را برعهده داشته اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای محمود افسوس	شرکت مهندسين مشاور سازه پردازی ایران	فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک
آقای محمدابراهیم بنی حبيب	دانشگاه تهران	دکترای عمران
آقای محمدحسن چیتی	شرکت ساز آب پردازان	فوق لیسانس سازه های آبی
خانم نرگس دشتی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	لیسانس مهندسی آبیاری

- وزارت نیرو

آقای شکور سلطانی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	دکترای مهندسی آب
آقای ایرج عمیدی	شرکت مهندسی آبدیش زنگان	فوق لیسانس عمران
آقای حسام فولادفر	موسسه تحقیقات آب	فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک
آقای جبار وطن فدا	وزارت نیرو	فوق لیسانس سازه های هیدرولیکی

**همکاران معاونت نظارت راهبردی:**

آقای علیرضا دولتشاهی	دفتر نظام فنی اجرایی	لیسانس مهندسی کشاورزی
خانم فرزانه آقارمضانعلی	دفتر نظام فنی اجرایی	فوق لیسانس مهندسی صنایع
خانم ساناز سرافراز	دفتر نظام فنی اجرایی	فوق لیسانس مهندسی منابع آب



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	فصل اول - کلیات
۳	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- هدف
۳	۳-۱- دامنه کاربرد
۵	فصل دوم - تعاریف، اصول و مبانی کلی آبیگری از رودخانه
۷	۱-۲- کلیات
۷	۲-۲- اهداف آبیگری از رودخانه
۸	۳-۲- هیدرولیک آبیگر
۹	۴-۲- اجزای یک سامانه آبیگری
۱۰	۵-۲- تعریف پارامترهای هیدرولیکی
۱۰	۱-۵-۲- نسبت انحراف جریان $K_D$
۱۱	۲-۵-۲- نسبت سرعت ورودی $K_v$
۱۱	۶-۲- مبانی هیدرولوژیکی
۱۳	۷-۲- مبانی هیدرولیکی رودخانه
۱۳	۱-۷-۲- روابط حاکم
۱۵	۲-۷-۲- روابط مقاومت در مجاری پایدار
۱۶	۳-۷-۲- محاسبات مربوط به نیمرخ سطح آب
۱۸	۴-۷-۲- سرعت جریان ورودی به آبیگر
۱۸	۸-۲- ریخت‌شناسی رودخانه
۲۲	۹-۲- مبانی رسوب و فرسایش در رودخانه
۲۳	۱-۹-۲- خواص فیزیکی رسوبات
۲۴	۲-۹-۲- بررسی پایداری بستر
۲۷	۳-۹-۲- شکل‌های مختلف بستر
۲۸	۱۰-۲- کنترل رسوب در آبیگرها
۲۸	۱۱-۲- مکان‌یابی و جانمایی دهانه آبیگر
۳۰	۱۲-۲- زاویه انحراف آبیگر
۳۱	۱۳-۲- داده‌های مورد نیاز طراحی
۳۲	۱-۱۳-۲- داده‌های توپوگرافی و زمین ریخت‌شناسی
۳۲	۲-۱۳-۲- داده‌های هیدرومتری



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۳۳	۲-۱۳-۳- داده‌های بهره‌برداری
۳۳	۲-۱۳-۴- داده‌های رسوب
۳۵	فصل سوم - روش‌های آبیگری از رودخانه و مبانی طراحی آنها
۳۷	۳-۱- کلیات
۳۷	۳-۲- آبیگری مستقیم از رودخانه (بدون بند انحرافی)
۳۷	۳-۲-۱- اطلاعات لازم جهت طراحی آبیگر مستقیم از رودخانه
۳۸	۳-۲-۲- ابعاد تاسیسات اصلی
۳۸	۳-۲-۳- اجزای اصلی دهانه آبیگر
۳۸	۳-۲-۴- انواع مختلف دهانه آبیگر
۳۹	۳-۲-۵- آستانه ورودی
۴۰	۳-۲-۶- شبکه آشغالگیر
۴۱	۳-۲-۷- توصیه‌های مربوط به شکل هندسی تاسیسات
۴۱	۳-۲-۸- کنترل ماهی‌ها
۴۳	۳-۳- آبیگری با استفاده از بند انحرافی
۴۳	۳-۳-۱- آبیگر کوچک
۴۶	۳-۳-۲- آبیگر معمولی
۵۲	۳-۳-۳- آبیگر بسیار بزرگ
۵۷	۳-۴- آبیگری با استفاده از ایستگاه پمپاژ
۵۷	۳-۴-۱- انواع آبیگری با استفاده از پمپاژ
۶۱	۳-۴-۲- عوامل موثر در تعیین نوع آبیگر
۶۲	۳-۴-۳- شرایط محل آبیگری
۶۲	۳-۴-۴- اجزای ایستگاه پمپاژ
۶۳	۳-۴-۵- مشکلات آبیگری به روش پمپاژ
۶۴	۳-۵- آبیگری توسط کف‌ریزها
۶۵	۳-۵-۱- اجزای کف‌ریزها
۶۹	۳-۵-۲- ضوابط طراحی
۷۳	فصل چهارم - رسوب‌زدایی در آبیگری از رودخانه
۷۵	۴-۱- کلیات
۷۵	۴-۲- تقسیم‌بندی روش‌های رسوب‌زدایی در آبیگرها



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷۸	۳-۴- سازه‌های پیشگیرانه
۷۸	۱-۳-۴- سازه‌های منحرف کننده جریان تحتانی پرسوب
۸۷	۲-۳-۴- سازه‌های جداکننده لایه‌های فوقانی و تحتانی جریان
۹۴	۴-۴- روش‌های علاج بخش
۹۴	۱-۴-۴- حوضچه ترسیب طولی
۹۹	۲-۴-۴- تونل رسوبگیر
۱۰۳	۳-۴-۴- حوضچه ترسیب گردابی
۱۰۶	۴-۴-۴- لوله رسوبگیر گردابی
<b>۱۱۱</b>	<b>فصل پنجم - حفاظت آبگیرها</b>
۱۱۳	۱-۵- کلیات
۱۱۴	۲-۵- روش‌های حفاظت دیواره
۱۱۴	۱-۲-۵- محافظت به وسیله سنگریزی
۱۱۵	۲-۲-۵- سازه‌های توری سنگی
۱۱۸	۳-۲-۵- حفاظت به وسیله گیاهان (حفاظت طبیعی)
۱۱۹	۴-۲-۵- پوشش‌های بتنی قلابدار
۱۲۰	۵-۲-۵- کیسه‌های محتوی خاک و سیمان
۱۲۰	۶-۲-۵- آبشکن‌ها
۱۲۳	۳-۵- روش‌های حفاظت بستر
۱۲۳	۱-۳-۵- صفحات مستغرق
۱۲۸	۲-۳-۵- آستانه
۱۳۱	۳-۳-۵- آبشار
<b>۱۳۷</b>	<b>فصل ششم - ملاحظات جانبی آبرگیری از رودخانه</b>
۱۳۹	۱-۶- کلیات
۱۳۹	۲-۶- ملاحظات مربوط به کیفیت آب آبرگیر
۱۳۹	۱-۲-۶- معیارهای آب شرب
۱۴۱	۲-۲-۶- معیارهای آب کشاورزی
۱۴۲	۳-۲-۶- معیارهای آب صنعتی
۱۴۲	۳-۶- ملاحظات زیست محیطی احداث آبرگیر
۱۴۴	۴-۶- ملاحظات مربوط به انتخاب محل آبرگیر



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۴۵	۱-۴-۶- ملاحظات جانبی آبیگری به روش پمپاژ
۱۴۶	۲-۴-۶- ملاحظات جانبی در آبیگری توسط بند انحرافی
۱۴۷	۵-۶- ملاحظات جانبی رسوب‌گیرها
۱۴۸	۱-۵-۶- آب مورد نیاز برای سازه‌های رسوبگیر
۱۴۹	۶-۶- مسایل ارزیابی و بهره‌برداری
۱۴۹	۷-۶- انتخاب روش آبیگری و نوع آبیگر
۱۵۰	۸-۶- مسایل فرهنگی و اجتماعی
۱۵۰	۹-۶- ملاحظات قانونی
۱۵۱	منابع و مراجع



## فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸	شکل ۱-۲- الگوی جریان در یک آبگیر [۳۷]
۹	شکل ۲-۲- اجزای سامانه آبرسانی [۳۷]
۱۰	شکل ۳-۲- اجزای تاسیسات آبگیری [۳۷]
۱۲	شکل ۴-۲- آبنگار یک رودخانه
۱۳	شکل ۵-۲- حجم کنترل بین دو مقطع عرضی جریان
۱۷	شکل ۶-۲- نیمرخ سطح آب و افت انرژی و افت ناشی از گردابه‌ها در مقاطع غیرمنشوری
۲۰	شکل ۷-۲- پیچانرود
۲۱	شکل ۸-۲- تشکیل حوضچه و ریفل در پیچانرود
۲۱	شکل ۹-۲- طبقه‌بندی رودخانه‌ها
۲۴	شکل ۱۰-۲- ضریب دراگ تابعی از رینولدز ذره و ضریب شکل [۴۱]
۲۴	شکل ۱۱-۲- لزجت سینماتیکی آب [ ۴۱ ]
۲۵	شکل ۱۲-۲- منحنی شیلدز [۴۱]
۲۶	شکل ۱۳-۲- منحنی اصلاح شده شیلدز [۴۱]
۲۹	شکل ۱۴-۲- الگوی جریان در ورودی آبگیر در نرخ‌های انحراف زیاد ( $Q_D > 0.3 Q_T$ ) [۳۷]
۳۰	شکل ۱۵-۲- موقعیت مناسب استقرار آبگیر [۳۷]
۳۰	شکل ۱۶-۲- روش برآورد تقریبی موقعیت آبگیر در خم [۳۶]
۳۱	شکل ۱۷-۲- زاویه انحراف در آبگیری از قوس رودخانه [۳۶]
۴۰	شکل ۱-۳- موقعیت آبگیر (همراه با دیوار جداکننده جریان سطحی و بلوک‌های کف) [۵]
۴۲	شکل ۲-۳- پلکان ماهی‌رو در جلوی آبگیر [۵]
۴۷	شکل ۳-۳- جانمایی اولیه برای آبگیرهای معمولی [۳۷]
۴۸	شکل ۴-۳- مسدود کردن سیلابدشت
۵۰	شکل ۵-۳- طراحی هیدرولیکی آبگیر الف- پلان، ب- مقطع طولی از محل انحراف [۳۷]
۵۰	شکل ۶-۳- نمادها و طرح مربوط به محاسبه طول بند انحرافی
۵۳	شکل ۷-۳- جانمایی اولیه برای نرخ انحراف بسیار زیاد از رودخانه‌ای با رسوب زیاد با استفاده از بندانحرافی دریچه‌دار و سرریز کمکی
۵۴	شکل ۸-۳- نمادها و طرح مربوط به محاسبه عرض آبراهه پایاب
۵۶	شکل ۹-۳- طرح شماتیک آبراهه پایین دست (آبراهه پیچ و خم‌دار)
۵۶	شکل ۱۰-۳- طرح شماتیک آبراهه پایین دست



## فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۵۷	شکل ۳-۱۱- آبگیر ساده
۵۸	شکل ۳-۱۲- آبگیر روی سطح شیبدار
۵۸	شکل ۳-۱۳- آبگیر اسکله‌ای
۵۹	شکل ۳-۱۴- آبگیر شناور
۵۹	شکل ۳-۱۵- برج آبگیر
۶۰	شکل ۳-۱۶- آبگیر نفوذی
۶۰	شکل ۳-۱۷- آبگیر با چاه و لوله‌های شعاعی
۶۱	شکل ۳-۱۸- آبگیر چاه ساحلی
۶۳	شکل ۳-۱۹- آبگیری با روش پمپاژ و آشغالگیر
۶۵	شکل ۳-۲۰- آبگیر کفریز [۵]
۶۶	شکل ۳-۲۱- طرح کلی کفریز [۳۷]
۶۷	شکل ۳-۲۲- شکل مقاطع میله‌های کفریز
۷۰	شکل ۳-۲۳- طراحی هیدرولیکی دالان جمع‌کننده، ساختار و مولفه‌های جریان
۷۶	شکل ۴-۱- رانندن رسوبات
۷۶	شکل ۴-۲- تخلیه رسوبات
۷۷	شکل ۴-۳- رسوبگیر لوله‌ای برای کنترل بار بستر
۷۷	شکل ۴-۴- حوضچه ترسیب طولی
۷۸	شکل ۴-۵- حوضچه ترسیب گردابی
۷۹	شکل ۴-۶- دیواره‌های هدایت کننده رسوب به همراه جزییات جانمایی آنها
۸۰	شکل ۴-۷- جزییات دیواره‌های هدایت کننده رسوب
۸۱	شکل ۴-۸- دیواره‌های هدایت کننده رسوب به همراه دیواره‌های معکوس
۸۱	شکل ۴-۹- دیواره آبشکن
۸۳	شکل ۴-۱۰- دیواره‌های هدایت کننده رسوب و دیواره آبشکن
۸۴	شکل ۴-۱۱- کنترل رسوب توسط ایجاد موانع
۸۵	شکل ۴-۱۲- صفحات سطحی
۸۵	شکل ۴-۱۳- نمای کلی صفحات سطحی
۸۶	شکل ۴-۱۴- پارامترهای مهم طراحی صفحات مستغرق
۸۸	شکل ۴-۱۵- سکوی رسوبگیر



## فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸۸	شکل ۴-۱۶- سکوی رسوبگیر به همراه دیواره هدایت کننده رسوب
۸۹	شکل ۴-۱۷- تونل‌های رسوبگیر [۲۵]
۹۲	شکل ۴-۱۸- تغییرات $F_L$ با غلظت و قطر ذره رسوب
۹۵	شکل ۴-۱۹- توصیف کلی حوضچه ترسیب
۹۶	شکل ۴-۲۰- نمودار تغییرات $\lambda$ برحسب $\eta$ در رابطه ولیکانف
۹۷	شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات $K$ و $\eta_0$ بر حسب $\omega/U_*$
۹۸۰	شکل ۴-۲۲- حوضچه ترسیب با محفظه‌های موازی [۵]
۹۹	شکل ۴-۲۳- حوضچه ترسیب مغان [۵]
۱۰۰	شکل ۴-۲۴- تونل رسوبگیر در کانال آبگیر
۱۰۴	شکل ۴-۲۵- حوضچه ترسیب گردابی [۳۵]
۱۰۷	الف-پلان ، ب- جریان از روی لوله رسوبگیر، پ- مقطع لوله رسوبگیر [۱۹]
۱۰۷	شکل ۴-۲۶- لوله رسوبگیر گردابی
۱۰۹	شکل ۴-۲۷- نمودار تغییرات $\eta$ با $\frac{\omega}{u_*}$ و $\frac{Q_p}{Q_D}$ برای لوله رسوبگیر گردابی
۱۱۵	شکل ۵-۱- استفاده از پوشش سنگی جهت حفاظت دیواره در آبگیر مستقیم
۱۱۶	شکل ۵-۲- توری سنگ جعبه‌ای
۱۱۷	شکل ۵-۳- توری سنگ تشکی
۱۱۷	شکل ۵-۴- توری سنگ کیسه‌ای
۱۱۷	شکل ۵-۵- اجرای توری سنگ جهت حفاظت دیواره رودخانه
۱۱۸	شکل ۵-۶- الف- پوشش گیاهی اجرا شده برای حفاظت دیواره رودخانه
۱۱۹	شکل ۵-۶- ب- استفاده از ترکیب سنگریز و پوشش گیاهی جهت حفاظت دیواره رودخانه
۱۱۹	شکل ۵-۷- پوشش بتنی قلابدار
۱۲۰	شکل ۵-۸- محافظت به وسیله کیسه‌های محتوی خاک و سیمان
۱۲۱	شکل ۵-۹- جانمایی آبشکن در قوس و مسیر مستقیم جهت هدایت آب به سمت آبگیر [۲۶]
۱۲۲	شکل ۵-۱۰- نحوه قرارگیری آبشکن‌ها در بالادست پل جهت تثبیت ساحل [۲۶]
۱۲۳	شکل ۵-۱۱- تغییرات ناشی از صفحات مستغرق در تراز بستر [۳۴]
۱۲۴	شکل ۵-۱۲- تغییر در نیمرخ بستر ناشی از یک ردیف سه تایی صفحات مستغرق [۳۴]
۱۲۴	شکل ۵-۱۳- پارامترهای مهم طراحی سامانه صفحات مستغرق
۱۲۵	شکل ۵-۱۴- نمایش متغیرهای طراحی اولیه و مقاطع جریان



## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۱۲۶	شکل ۵-۱۵- عمق آبشستگی در دیواره خارجی قوس رودخانه [۳۴]
۱۲۷	شکل ۵-۱۶- حداکثر افزایش در تراز بستر ناشی از صفحات در طول دیواره خارجی قوس رودخانه
۱۲۸	شکل ۵-۱۷- جریان روی آستانه و آبشستگی پایین دست آن
۱۲۹	شکل ۵-۱۸- معرفی پارامترهای طراحی آستانه از نوع شمع کوبی [۳۸]
۱۲۹	شکل ۵-۱۹- اندازه سنگ‌های مورد نیاز در طراحی آستانه از نوع شمع کوبی [۳۸]
۱۳۰	شکل ۵-۲۰- ضریب بده در طراحی آستانه از نوع شمع کوبی [۳۸]
۱۳۱	شکل ۵-۲۱- تثبیت بستر شیبدار با استفاده از چند آبشار
۱۳۲	شکل ۵-۲۲- طراحی آبشارهای قائم بتنی [۳۲]
۱۳۳	شکل ۵-۲۳- معرفی پارامترهای آبشارهای قائم
۱۳۳	شکل ۵-۲۴- پارامترهای طراحی به عنوان تابعی از عدد آبشار $D_n$ [۳۲]
۱۳۴	شکل ۵-۲۵- پارامترهای تخمین عمق آبشستگی براساس رابطه USBR
۱۴۴	شکل ۶-۱- طرح شماتیک انحراف آب از رودخانه و کاهش عرض در پایین دست رودخانه [۳۶]



## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۱۳	جدول ۱-۲- احتمال‌های وقوع جریان برای کاربردهای مختلف [۲۳]
۱۵	جدول ۲-۲- ضرایب تصحیح انرژی جنبشی و اندازه حرکت برای مقاطع مختلف [۱]
۱۶	جدول ۳-۲- روابط زبری معادل برای مقاطع مرکب
۱۷	جدول ۴-۲- ضرایب افت انرژی ناشی از گردابه در مقاطع مختلف
۱۹	جدول ۵-۲- تقسیم‌بندی رودخانه براساس عوامل مختلف
۴۸	جدول ۱-۳- معیارهای انتخاب برای بررسی اولیه [۳۷]
۸۱	جدول ۱-۴- پارامترهای طراحی دیواره‌های هدایت کننده رسوب بر حسب عرض کانال آبگیر (W)
۸۳	جدول ۲-۴- ابعاد دیواره‌های هدایت کننده (برحسب متر)
۹۳	جدول ۳-۴- تغییرات مقدار I با قطر متوسط ذره رسوب
۱۰۵	جدول ۴-۴- روابط مختلف برای محاسبه قطر حوضچه
۱۳۹	جدول ۱-۶- مشخصات فیزیکی آب آشامیدنی
۱۴۰	جدول ۲-۶- حدود مجاز مواد شیمیایی سمی در آب آشامیدنی
۱۴۰	جدول ۳-۶- مشخصات سایر مواد شیمیایی در آب آشامیدنی
۱۴۱	جدول ۴-۶- راهنمای بررسی کیفیت آب آبیاری
۱۴۸	جدول ۵-۶- مقدار آب مورد نیاز سازه‌های رسوبگیر



[omorepeyman.ir](http://omorepeyman.ir)

# فصل ۱

---

---

## کلیات





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## ۱-۱ - مقدمه

رودخانه‌ها به دلیل تاثیر ویژه‌ای که در زندگی بشر و شکل‌گیری تمدن‌های مختلف داشته‌اند، همواره انسان را به بهره‌مندی از نعمت آب فرا خوانده‌اند. رودخانه‌ها فراهم‌کننده آب و انرژی برای طبیعت و انسان می‌باشند و می‌توان گفت تامین آب مهم‌ترین نقش اقتصادی رودخانه است. انحراف آب از مسیر اصلی آن برای مقاصد مختلف از جمله کشاورزی، آبرسانی شهری، تولید برق و غیره به کمک آبیگرها صورت می‌گیرد.

یکی از نکات مهم در طراحی آبیگر این است که شرایطی را انتخاب کنیم تا آب منحرف شده توسط آبیگر، دارای حداکثر بده جریان و حداقل بده رسوب باشد، زیرا ورود رسوب به آبیگر و در نتیجه شبکه‌های انتقال باعث می‌شود که رسوبات انتقال یافته به درون آبیگر، به دلیل سرعت کم‌تر جریان در محدوده این سازه‌ها در مقایسه با رودخانه، همچنین جریان گرداب‌های حاصل از انحراف جریان به داخل آبیگر، به خصوص در شبکه‌های آبیاری و در پایین دست تاسیسات کنترل و تنظیم سطح آب، منجر به رسوب‌گذاری در محدوده آنها گردد.

از این رو بشر از زمان‌های قدیم و هم‌زمان با استفاده از آب رودخانه، به دنبال راه‌های تقلیل ورود رسوبات به سامانه و نیز افزایش بازده آبیگری بوده است. استفاده از سازه‌های انحراف و دفع رسوب، طراحی شکل آبیگر و جانمایی آن در قوس خارجی خم، نمونه بارزی از این‌گونه اقدامات به شمار می‌آیند.

آبیگری از رودخانه یکی از قدیمی‌ترین مسایل مطرح در زمینه مهندسی هیدرولیک می‌باشد. با این وجود طراحی یک سازه آبیگر در یک رودخانه طبیعی، امروزه نیز امری مهم به شمار می‌رود. در این راهنما روش‌های مختلف آبیگری از رودخانه و مبانی طراحی هیدرولیکی آنها به همراه روش‌های کنترل رسوب ورودی به آبیگرها و روش‌های حفاظت آنها معرفی شده است.

## ۱-۲ - هدف

هدف از تهیه این راهنما تدوین مجموعه‌ای است که اطلاعات کلی مربوط به روش‌های آبیگری از رودخانه و حفاظت آنها را ارائه می‌دهد. نظر به این‌که رودخانه‌ها معمولاً حاوی رسوب می‌باشند و مطالب کم‌تری در خصوص روش‌های کنترل رسوب در دسترس می‌باشد، لذا در این راهنما روش‌های طراحی هیدرولیکی رسوب‌گیرها با جزئیات بیشتری شرح داده شده است.

## ۱-۳ - دامنه کاربرد

راهنمای حاضر برای افرادی که فعالیت آنها به نحوی با پروژه‌های رودخانه‌ای مرتبط می‌باشد، قابل استفاده است. همچنین مطالب ارائه شده برای مهندسان مشاوره که در زمینه مهندسی رودخانه فعالیت دارند نیز راهنمای مناسبی می‌باشد. کاربرد آبیگرها در این راهنما مربوط به مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی می‌باشد و اهداف تسکین سیلاب و تونل‌های انحراف جریان را در بر نمی‌گیرد.





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

# فصل ۲

---

---

## تعاریف، اصول و مبانی کلی آبنگیری از رودخانه





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## ۲-۱- کلیات

- در طراحی آبیگرها، علاوه بر توجه به نقش کلیدی سازه‌های انحراف، اهداف زیر نیز باید مدنظر قرار گیرند:
- انحراف مداوم جریان مورد نیاز به طوری که حداقل بده رودخانه بیش‌تر از بده مورد نیاز برای انحراف باشد.
  - تضمین کیفیت آب منحرف شده به طوری که از میانگین کیفیت رودخانه پایین‌تر نباشد.
  - در راستای تحقق اهداف فوق، قبل از احداث آبیگر، باید مطالعات پایه به‌طور دقیق انجام شود و داده‌های لازم جهت انجام طراحی جمع‌آوری شود. موضوعاتی که به‌طور مستقیم به انحراف جریان رودخانه مربوط بوده و باید مورد بررسی قرار گیرند عبارتند از:
    - مشخصات هیدرولوژیکی رودخانه و حوضه آبریز آن: شامل مشخصات بده جریان و منحنی‌های بده-اشل
    - مشخصات هیدرولوژیکی رودخانه: شامل خصوصیات و نیمرخ‌های جریان و مشخصات آنها
    - وضعیت انتقال رسوب: شامل مشخصات رسوب و نحوه انتقال آن، آستانه حرکت رسوبات و میزان بار رسوبی به ویژه بار کف و منحنی بده جریان و بده رسوب
    - ریخت‌شناسی آبراهه: شامل نوع آبراهه، هندسه آن و پیش‌بینی تغییرات در هندسه آبراهه
  - در ادامه ابتدا کلیاتی راجع به آبیگری و سپس مبانی طراحی آبیگری از رودخانه ارائه می‌شود.

## ۲-۲- اهداف آبیگری از رودخانه

وظیفه اصلی پروژه‌های آبرسانی، تعیین مقدار آب مورد نیاز در زمان لازم می‌باشد. میزان آبیگری بستگی به مقدار جریان رودخانه مورد نظر دارد و باید تا حد امکان از ورود رسوبات و اجسام شناور به آبیگر جلوگیری شود. به‌علاوه، تاسیسات آبیگری باید تأثیرات کمی بر روی ریخت‌شناسی رودخانه در اثر کاهش جریان در پایین دست داشته و همچنین باید اثرات ناسازگار زیست محیطی را که ممکن است موجب تغییر در کیفیت و رقوم آب زیرزمینی، برگشت آب و یا تغییرات عمق و سرعت جریان شود، به حداقل برساند. اثر احتمالی کاهش عمق جریان و سرعت آب در پایین‌دست آبیگر بر دمای آب که ممکن است اثرات نامناسب زیست محیطی بر حیوانات آبی بگذارد را نیز باید مدنظر داشت. علاوه بر این در نظر گرفتن حداقل عمق آب در پایین‌دست محل آبیگری در زمان‌های مختلف، جهت حفاظت از حیوانات آبی در رودخانه و زیباسازی آبراهه در رودخانه اهمیت ویژه‌ای دارد [۳].

اهداف عمده یک طرح آبیگری و تاسیسات انحراف آب شامل موارد زیر است:

- مصارف شهری (شرب) و صنعتی
- مصارف کشاورزی
- نیروگاه‌های حرارتی
- نیروگاه‌های برق آبی

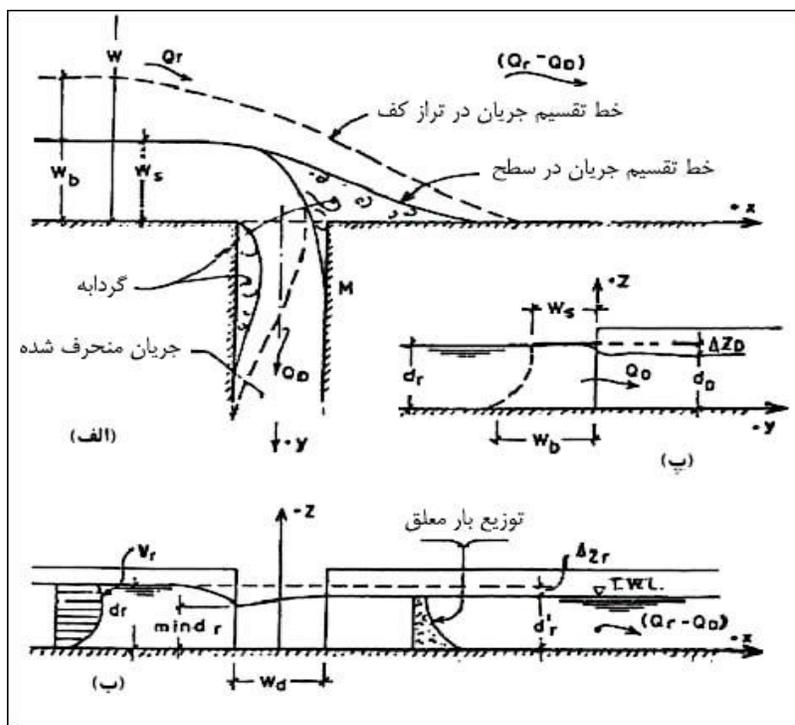


## ۳-۲- هیدرولیک آبیگر

برای بررسی الگوی جریان در محل انحراف، حالتی ساده شده با فرضیات زیر در نظر گرفته شود:

- جریان اصلی دو بعدی، زیر بحرانی و یکنواخت باشد.
- سطح مقطع مستطیلی و یکنواخت باشد.
- تراز کف کانال انحراف در محل اتصال ثابت باشد.

در این صورت با وجود فرضیات فوق، همچنان الگوی جریان پیچیده‌ای در مقابل آبیگر وجود دارد (شکل ۲-۱). در این شکل  $W$  عرض آبراهه اصلی،  $W_d$  عرض کانال آبیگر،  $W_s$  عرض صفحه تقسیم جریان در کف،  $W_b$  عرض صفحه تقسیم جریان در سطح،  $Q_r$  بده جریان آبراهه اصلی،  $Q_D$  بده جریان منحرف شده،  $d_r$  عمق جریان در آبراهه اصلی و  $d_D$  عمق جریان در کانال آبیگر است.



الف- پلان، ب- مقطع در امتداد جریان اصلی و پ- مقطع در امتداد جریان منحرف شده

## شکل ۲-۱- الگوی جریان در یک آبیگر [۳۷]

ویژگی های این الگوی جریان به قرار زیر است:

- یک خط جریان سطحی وجود دارد که دو شاخه شده و انتهای آن در نقطه  $M$ ، نقطه سکون نامیده می‌شود.
- دو منطقه گردابی در اطراف گوشه‌های ورودی آبیگر ایجاد می‌شود.
- مناطق گردابی نواحی افت انرژی می‌باشند و بیشترین حجم انتقال مواد (رسوبات و اجسام شناور) در این مناطق وجود دارد بنابراین طراحی آبیگر باید به گونه‌ای باشد که اندازه این مناطق به حداقل برسد.

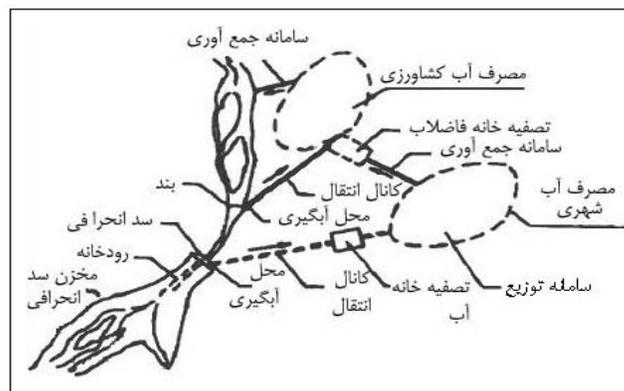
تراز سطح آب نیز به گونه زیر تغییر می‌کند:

- یک پایین افتادگی در تراز آب در اثر کاهش بده جریان در آبراهه اصلی به وجود می‌آید.
  - یک پایین افتادگی دیگر در تراز آب داخل آبیگر در اثر افت هیدرولیکی به وجود می‌آید.
- میزان رسوبی که وارد آبیگر می‌شود، به شدت به الگوی جریان مرتبط است. بیش‌ترین غلظت رسوب در کف آبراهه می‌باشد و رسوبات منتقل شده در نزدیکی کف بیش‌ترین مقدار ورودی به آبیگر را تشکیل می‌دهند بنابراین آبیگر نباید از جریان‌های تحتانی تغذیه شود. از طرفی آبیگری از جریان سطحی نیز بی‌عیب نیست زیرا در مواقع سیلابی معمولاً مقادیر زیادی اجسام شناور وجود دارد که باید از ورود آنها به آبیگر جلوگیری شود. بدین منظور، ورودی آبیگر باید با اشغالگیر پوشانیده شود و تجهیزات لازم برای تمیز کردن آن نیز پیش‌بینی شود.

## ۲-۴- اجزای یک سامانه آبیگری

سامانه‌های آبرسانی معمولاً از بخش‌های زیر تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۲):

- ۱- یک منبع آبی مطمئن و دائمی مانند رودخانه
- ۲- سازه‌های انحراف<sup>۱</sup> و تاسیسات آبیگری
- ۳- سامانه انتقال: شامل کانال‌های اصلی یا لوله‌های انتقال یا ترکیبی از هر دو، اجزای وابسته مانند سازه‌های تبدیل<sup>۲</sup>، شیب‌شکن‌ها<sup>۳</sup> و سیفون‌های معکوس می‌باشند.
- ۴- سامانه توزیع: شامل شبکه کانال‌ها یا لوله‌ها و اجزای وابسته آنها نظیر شیرها، ابزار اندازه‌گیری، مخازن و کنارگذرها<sup>۴</sup> می‌باشد.
- ۵- سامانه جمع‌آوری: شامل شبکه جمع‌آوری فاضلاب، تصفیه و کانال انتقال می‌باشد.



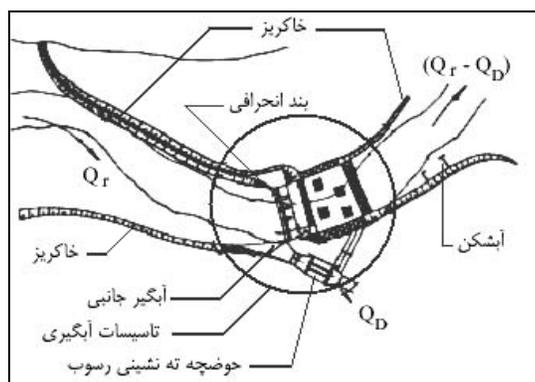
شکل ۲-۲- اجزای سامانه آبرسانی [۳۷]

تاسیسات آبیگری شامل سازه‌ها و ابزار هیدرومکانیکی می‌باشند که در بالادست سامانه آبرسانی قرار گرفته و برای هدایت بده جریان مورد نیاز از رودخانه به سامانه انتقال طراحی شده‌اند. این سازه‌ها معمولاً شامل بند انحرافی در صورت پایین بودن سطح آب رودخانه، ایستگاه پمپاژ در صورت پایین بودن رقوم رودخانه نسبت به کانال انحرافی، حوضچه‌های ته‌نشینی رسوب جهت جلوگیری از

- 1- Diversion Work
- 2- Transition
- 3- Drops
- 4- Bypass



انتقال رسوب به پایین دست سامانه آبرسانی، ابزارهای اندازه‌گیری بده جریان، سازه آبیگر، سازه‌های مربوط به ساماندهی سواحل رودخانه و هدایت آب به سمت دهانه آبیگر مانند خاکریز و آبشکن می‌باشند (شکل ۲-۳). صرف‌نظر از ابعاد و هزینه پروژه، نقش سازه آبیگر در سامانه آبرسانی کاملا تعیین کننده است.



شکل ۲-۳- اجزای تاسیسات آبیگری [۳۷]

## ۲-۵- تعریف پارامترهای هیدرولیکی

در این قسمت تعریف برخی از مشخصه‌های هیدرولیکی آبیگر ارائه شده است [۳۷].

### ۲-۵-۱- نسبت انحراف جریان $K_D$

نسبت انحراف جریان، اصلی‌ترین پارامتر مشخصه برای یک آبیگر است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_D = \frac{Q_D(t)}{Q_r(t)} \quad (۱-۲)$$

که در این رابطه:

$Q_D$ : میزان تقاضا یا بده آبیگر ( $m^3/s$ )

$Q_r$ : بده جریان رودخانه ( $m^3/s$ )

توابع  $Q_D(t)$  و  $Q_r(t)$  ممکن است با زمان متغیر باشند.

جهت طراحی هیدرولیکی آبیگر لازم است یک مقدار مشخص برای  $Q_D$  در نظر گرفته شود که براساس داده‌های طرح و نیاز

منطقه این مقدار معین می‌گردد. معمولا برای تعیین  $Q_r$  به یکی از روش‌های زیر عمل می‌شود:

- بده جریان متوسط رودخانه در یک سال هیدرولوژیکی

$$Q_r = \frac{1}{T} \int_0^T Q_r(t) dt \quad (۲-۲)$$

در این جا T تعداد ماه‌های سال است.



- معادل بده جریان برای شروع حرکت بار بستر  $Q_{bl}$

- بده جریان رودخانه با دوره برگشتی معادل دوره برگشت استاندارد به کار رفته برای بده طراحی آبیگر  $Q_{sf}$

بنابراین سه پارامتر برای نسبت انحراف جریان به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$K'_D = \frac{Q_D}{Q_r}, \quad K''_D = \frac{Q_D}{Q_{bl}}, \quad K'''_D = \frac{Q_D}{Q_{sf}} \quad (3-2)$$

## ۲-۵-۲- نسبت سرعت ورودی $K_v$

نسبت سرعت جریان در ورودی آبیگر  $V_D$  به سرعت جریان در رودخانه  $V_r$  نیز پارامتر مهمی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_v = \frac{V_D}{V_r} \quad (4-2)$$

اثر پارامتر  $K_v$  بر روی الگوی جریان منحرف شده دارای اهمیت می‌باشد. موقعیت نقطه سکون  $M$  کاملاً به این پارامتر بستگی دارد. در حالت کلی پیشنهاد می‌شود که:

$$K_v < 1$$

در این حالت بخشی از منطقه گردابی حذف می‌شود و در نتیجه از غلظت رسوب ورودی به آبیگر کاسته می‌شود.

## ۲-۶- مبانی هیدرولوژیکی

در طراحی اولیه یک سامانه انحراف، باید مطالعات مربوط به تحلیل جریان رودخانه صورت گیرد. اولین شرط برای احداث سامانه انحراف آب از یک رودخانه چنین است:

$$Q_{rmin} > Q_D$$

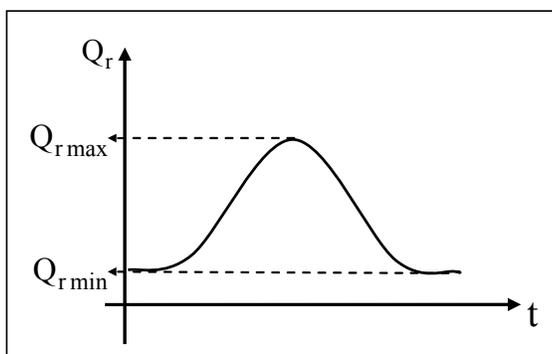
که در آن  $Q_{rmin}$  و  $Q_D$  به ترتیب بیانگر حداقل بده موجود در رودخانه و بده طراحی آبیگر می‌باشد. پارامتر اول بستگی به شرایط حوضه آبریز و خصوصیات هیدرولوژیکی منطقه دارد، در حالی که پارامتر دوم وابسته به نوع مصرف می‌باشد.

طبق مفهوم بیلان آبی در یک حوضه آبریز، مولفه‌های تعادل آبی عبارتند از بارش (برف و باران)، تبخیر و تعرق، نفوذ و رواناب. بده یک رودخانه بستگی به بارش در حوضه آبریز و ویژگی‌های حوضه (شامل مساحت حوضه، ریخت‌شناسی، پوشش گیاهی، دمای متوسط و...) دارد. بخشی از بارش‌های جوی و یا آب حاصله از ذوب برف که روی زمین به جریان در آمده و به منابع آب‌های سطحی مانند رودخانه، دریاچه و دریا می‌پیوندند، رواناب نام دارد. بخشی از بارش نیز به داخل خاک نفوذ کرده و باعث تشکیل منابع آب زیرزمینی می‌شوند. بنابراین بده در یک مقطع مشخص از رودخانه می‌تواند به صورت یک تابع احتمالی از زمان یعنی  $Q_r(t)$  نوشته شود. این تابع به آبنگار جریان معروف است. شکل آبنگار بیانگر رفتار رودخانه بوده و بستگی به نوع منبع تغذیه دارد.

در آبنگار یک رودخانه، یک بده پایه  $Q_{rmin}$  وجود دارد که در طول سال مشاهده می‌شود. بدون وجود یک منبع تغذیه مداوم، رودخانه یک جریان پیوسته نداشته و بدین ترتیب نمی‌توان چنین رودخانه‌ای را به عنوان یک منبع مناسب برای سامانه تامین آب در نظر گرفت. نقطه اوج در یک آبنگار، بیانگر اوج سیلاب بوده و با  $Q_{rmax}$  نشان داده می‌شود. نمونه‌ای از آبنگار یک رودخانه در شکل (۴-۲) نشان داده شده و مقادیر حداقل و حداکثر در آن مشخص شده است.

بده متوسط یک رودخانه در فاصله زمانی  $t_1$  تا  $t_2$  را می‌توان با استفاده از معادله (۵-۲) به دست آورد:

$$\bar{Q}_r = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} Q_r(t) dt \quad (5-2)$$



شکل ۲-۴- آبنگار یک رودخانه

در صورتی که  $dt = t_2 - t_1$  برابر با یک سال هیدرولوژیکی باشد،  $\bar{Q}_r$  بده متوسط سالانه خواهد بود. بده متوسط سالانه را می‌توان بر حسب متوسط بارندگی سالانه  $h_q$ ، به صورت معادله (۶-۲) بیان کرد:

$$\bar{Q}_r = 1000 A_w h_q \quad (6-2)$$

که در این رابطه:

$\bar{Q}_r$ : بده متوسط سالانه بر حسب متر مکعب بر ثانیه

$A_w$ : مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع

$h_q$ : متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر بر ثانیه

بده طراحی آبیگر باید میزان تقاضا یا نیاز آب را تامین کند. اگر ظرفیت‌های اضافی در سامانه انتقال یا توزیع وجود نداشته باشد، باید بده طراحی  $Q_D$  برابر با بیش‌ترین مقدار نیاز در نظر گرفته شود. یعنی:

$$Q_D = \max(Q_D(t)) \quad (7-2)$$

اگر ظرفیت‌های اضافی در شبکه وجود داشته باشد،  $Q_D$  برابر میانگین آب مورد تقاضا در یک فاصله زمانی به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$Q_D = \bar{Q}_D = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} Q_D(t) dt \quad (8-2)$$

در این رابطه  $Q_D$  برابر میانگین نیاز آبی تا زمان  $t_0$  می‌باشد.

برای اجرای یک پروژه انحراف، بدیهی است که باید  $Q_D < Q_{min}$  باشد. برخی پیشنهادها برای احتمال وقوع حداقل بده طراحی برای مصرف‌کنندگان مختلف در جدول (۱-۲) آورده شده است. معمولاً شرط  $Q_D < Q_{min}$  با احتمالات موجود در جدول (۱-۲) به سختی برآورده می‌شود. در چنین حالتی برای تامین مطمئن آب مورد نیاز، می‌توان از سد کمک گرفت. در صورت مناسب بودن محل سد برای آبرسانی می‌توان مستقیماً از مخزن سد آبیگری کرد. در غیر این صورت می‌توان از آب تنظیم شده که از خروجی سد رها می‌شود، در مجرای پایین دست، آبیگری نمود.



## ۲-۷- مبانی هیدرولیکی رودخانه

طراحی یک پروژه آبیگر، مستلزم داشتن دانش جامع از رودخانه مورد نظر می‌باشد. از لحاظ هیدرولیکی، رودخانه‌ها معمولاً در دسته آبراهه‌های طبیعی با مقطع مرکب و جداره متحرک قرار می‌گیرند و در یک نگاه کلی می‌توان گفت که این آبراهه‌ها دارای چهار درجه آزادی هستند زیرا نه تنها عمق جریان، بلکه عرض مقطع جریان، شیب طولی و پلان عمومی مسیر جریان نیز ممکن است با زمان و مکان تغییر یابد.

جدول ۲-۱- احتمال‌های وقوع جریان برای کاربردهای مختلف [۲۳]

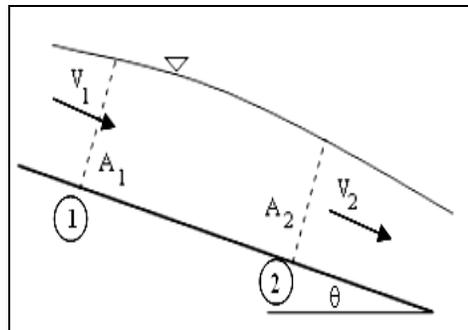
احتمال وقوع	مصرف کننده
۹۷٪	مصارف صنعتی و شهری برای شهرهای بزرگ
۹۵٪	مصارف صنعتی و شهری برای شهرهای کوچک
۸۰٪	مصارف صنعتی و شهری برای شهرهای محلی و روستاها
۸۰٪	نواحی کشاورزی
۹۹٪	خنک کردن نیروگاه‌های حرارتی معمولی
۹۹/۹۹٪	خنک کردن نیروگاه‌های اتمی

## ۲-۷-۱- روابط حاکم

تحلیل جریان در یک آبراهه باز بر مبنای سه معادله اساسی زیر صورت می‌گیرد [۱].

- معادله پیوستگی که بیانگر بقای جرم می‌باشد.
- معادله مومنتم که بیانگر تعادل نیرو بوده و از قانون دوم نیوتن حاصل می‌شود.
- معادله انرژی که بیانگر بقای انرژی در شکل‌های مختلف آن می‌باشد.

با توجه به حجم کنترل نشان داده شده بین مقاطع ۱ و ۲ در شکل (۲-۵) معادلات فوق به صورت زیر بیان می‌شوند:



شکل ۲-۵- حجم کنترل بین دو مقطع عرضی جریان

## ۲-۷-۱-۱- رابطه پیوستگی

$$(۲-۹)$$

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 = Q$$

که در این رابطه:

$U_1$  و  $U_2$ : به ترتیب سرعت متوسط جریان در مقاطع ۱ و ۲ می‌باشد.

$A_1$  و  $A_2$ : به ترتیب سطح مقطع جریان در مقاطع ۱ و ۲ می‌باشد.



Q: بده جریان است.

سرعت متوسط U، سرعتی است که بده جریان را بر مبنای توزیع حقیقی سرعت تامین کند و می توان آن را به صورت معادله (۱۰-۲) بیان کرد:

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \int v dA \quad (10-2)$$

در معادله فوق، v سرعت جریان در هر جز مقطع عرضی می باشد. به تجربه ثابت شده است که اگر سرعت در عمق 0.2y و 0.8y اندازه گیری شود، میانگین این دو سرعت، سرعت متوسط در آن مقطع را به دست خواهد داد (y عمق جریان است).

### ۲-۷-۱-۲- رابطه اندازه حرکت

اختلاف اندازه حرکت در دو وجه حجم کنترل، معادل برآیند نیروهای خارجی وارد بر آن است، یعنی:

$$\sum F = M_2 - M_1 \quad (11-2)$$

و یا:

$$F_{p1} - F_{p2} - F_f + W \sin \theta = \beta \rho Q (U_2 - U_1) \quad (12-2)$$

که در این روابط:

$F_{p1}$  و  $F_{p2}$ : به ترتیب نیروهای فشاری وارد بر مقاطع عرضی ۱ و ۲

$M_1$  و  $M_2$ : به ترتیب مقادیر اندازه حرکت در مقاطع ۱ و ۲

$F_f$ : نیروی اصطکاک

W: وزن حجم کنترل

$\rho$ : چگالی آب

$\theta$ : شیب کف آبراهه

$\beta$ : ضریب تصحیح اندازه حرکت می باشد که برای مقاطع مرکب به صورت زیر بیان می شود:

$$\beta = \frac{\sum V_i^2 A_i (\sum A_i)}{(\sum V_i A_i)^2} \quad (13-2)$$

که در این رابطه:

$A_i$ : جز مقطع از سطح مقطع کل در مقطع مرکب می باشد

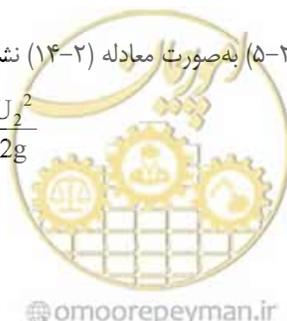
$V_i$ : سرعت در جز مقطع  $A_i$

### ۲-۷-۱-۳- رابطه انرژی

رابطه انرژی برای حجم کنترل موجود در شکل (۵-۲) به صورت معادله (۱۴-۲) نشان داده می شود:

$$Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} - h_f = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} \quad (14-2)$$

که در این رابطه:



$Y_1$  و  $Y_2$ : به ترتیب عمق جریان در مقاطع ۱ و ۲

$Z_1$  و  $Z_2$ : تراز کف مقاطع ۱ و ۲ نسبت به تراز مبنا

$h_f$ : افت انرژی ناشی از اصطکاک

$\alpha_1$  و  $\alpha_2$ : ضرایب تصحیح انرژی جنبشی در مقاطع ۱ و ۲ می‌باشد. ضریب تصحیح انرژی  $\alpha$  برای مقاطع مرکب به صورت زیر

بیان می‌شود:

$$\alpha = \frac{\sum V_i^3 A_i (\sum A_i)^2}{(\sum V_i A_i)^2} \quad (15-2)$$

مقادیر پیشنهادی  $\alpha$  و  $\beta$  برای رودخانه‌های مختلف در جدول (۲-۲) ارائه شده است:

جدول ۲-۲- ضرایب تصحیح انرژی جنبشی و اندازه حرکت برای مقاطع مختلف [۱]

مقادیر $\beta$			مقادیر $\alpha$			نوع رودخانه
حداکثر	متوسط	حداقل	حداکثر	متوسط	حداقل	
۱/۱۷	۱/۱	۱/۰۵	۱/۵	۱/۳	۱/۱۵	رودخانه‌های طبیعی
۱/۳۳	۱/۱۷	۱/۰۷	۲	۱/۵	۱/۲	رودخانه‌های با سطح یخ زده
۱/۳۳	۱/۲۵	۱/۱۷	۲	۱/۷۵	۱/۵	بسترسیلابی رودخانه‌ها

### ۲-۷-۲- روابط مقاومت در مجاری پایدار

اگر جریان در بازه کوتاهی از رودخانه، یکنواخت فرض شود، طبق رابطه شزی، سرعت متوسط در یک مقطع به صورت زیر بیان می‌شود [۱]:

$$U = C\sqrt{RS} \quad (16-2)$$

که در این رابطه:

C: ضریب شزی

R: شعاع هیدرولیکی ( $R = \frac{A}{P}$ )

A: سطح مقطع آبراهه

P: محیط تر شده مقطع آبراهه

S: شیب طولی آبراهه

مانینگ نشان داد که C با  $R^{1/6}$  ارتباط مستقیم دارد و رابطه (۱۶-۲) را به صورت زیر بیان نمود:

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (17-2)$$

که n را ضریب زبری مانینگ گویند. رابطه فوق به معادله مانینگ معروف است و کاربردی‌ترین معادله در برآورد سرعت متوسط جریان می‌باشد. یکی از روش‌های تعیین ضریب n، استفاده از جداول ارائه شده در کتب هیدرولیک است. یکی دیگر از روش‌های تعیین ضریب n استفاده از روابط تجربی است. فرمول استریکلر که عام‌ترین رابطه در این گروه می‌باشد، به شکل زیر ارائه شده است:



$$n = \frac{d_{50}^{1.6}}{21.2} \quad (18-2)$$

در رابطه فوق  $d_{50}$  اندازه متوسط ذرات بستر بر حسب متر می‌باشد. این رابطه برای آبراهه‌های طبیعی کاربرد دارد. رابطه پیشنهادی دیگر رابطه میر و همکارانش می‌باشد که برای رودخانه‌های کوهستانی که مصالح آنها به‌طور عمده درشت‌دانه است، کاربرد دارد:

$$n = \frac{d_{90}^{1.6}}{26} \quad (19-2)$$

در این رابطه  $d_{90}$  (بر حسب متر) اندازه دانه‌ای است که ۹۰٪ وزنی ذرات از آن ریزتر می‌باشند. معمولاً مقطع رودخانه‌ها شامل آبراهه اصلی و سیلابدشت‌ها بوده که زبری هر قسمت، به خاطر وجود مصالح با ویژگی‌های متفاوت، فرق می‌کند. جهت برآورد ضریب زبری در مقاطع مرکب با پوشش‌های متفاوت، از زبری معادل  $n_e$  که در جدول (۲-۳) ارائه شده است استفاده می‌شود. در این جدول  $i$  معرف پارامتر مربوط به هر جز از مقطع است.

جدول ۲-۳- روابط زبری معادل برای مقاطع مرکب

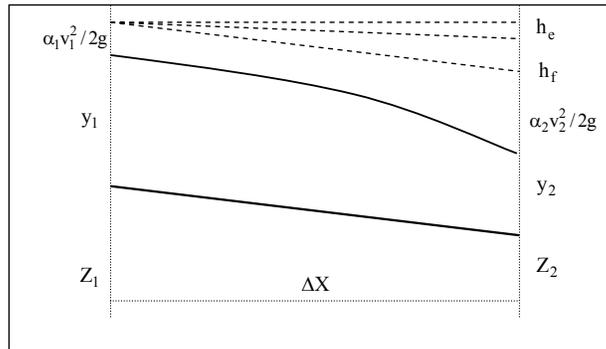
$n_e = \frac{\sum (n_i^{3/2} P_i)^{2/3}}{P^{2/3}}$	رابطه هورتن - اینشتین
$n_e = \frac{\sum (n_i^2 P_i)^{1/2}}{P^{1/2}}$	رابطه پاولوفسکی
$n_e = \frac{PR^{5/3}}{\sum (P_i R_i^{5/3} / n_i)}$	رابطه لوتر

### ۲-۷-۳- محاسبات مربوط به نیمرخ سطح آب

جریان در رودخانه‌ها اغلب غیر یکنواخت می‌باشد. جهت تحلیل جریان در رودخانه‌ها می‌توان از معادلات مربوط به جریان‌های متغیر تدریجی استفاده کرد. با استفاده از روش‌های موجود که در کتاب‌های هیدرولیک ارائه شده است، تغییرات عمق جریان را در طول رودخانه می‌توان محاسبه کرد [۱].

باید توجه داشت که افت انرژی در مقاطع منشوری و غیرمنشوری متفاوت است. در مقاطع منشوری فقط افت انرژی ناشی از اصطکاک جداره‌ها در نظر گرفته می‌شود. درحالی‌که برای مقاطع طبیعی علاوه بر افت ناشی از اصطکاک، افت ناشی از گردابه‌ها<sup>۱</sup> نیز در نظر گرفته می‌شود. با نوشتن معادله انرژی بین دو مقطع ۱ و ۲ برای شکل (۲-۶) داریم:





شکل ۲-۶- نیمرخ سطح آب و افت انرژی و افت ناشی از گردابه‌ها در مقاطع غیرمنشوری

$$Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{U_2^2}{2g} + h_f + h_e \quad (20-2)$$

در رابطه فوق:

$$h_f = S_f \cdot \Delta x \quad \text{و} \quad S_f = \frac{1}{2}(S_{f1} + S_{f2}) \quad (21-2)$$

$$h_e = K_e \left| \frac{\alpha_1 U_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 U_2^2}{2g} \right| \quad (22-2)$$

که در این روابط:

 $y_1$  و  $y_2$ : عمق جریان در مقاطع ۱ و ۲ $S_f$ : شیب خط انرژی $h_e$ : افت انرژی ناشی از گردابه‌ها $\Delta x$ : فاصله بین مقاطع ۱ و ۲ $K_e$ : ضریب افت ناشی از گردابه وابسته به شکل مقطع بوده و از جدول (۲-۴) محاسبه می‌شود.

جدول ۲-۴- ضرایب افت انرژی ناشی از گردابه در مقاطع مختلف

$K_e$		شکل مقطع
تنگ شونده	باز شونده	
۰	۰	منشوری
۰/۱	۰/۳	تبدیل تدریجی
۰/۶	۰/۸	تبدیل ناگهانی

معادله مربوط به جریان‌های متغیر تدریجی به صورت معادله زیر نیز نوشته می‌شود:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S - S_f}{1 - Fr^2} \quad (23-2)$$

که در این رابطه  $F_r$ : عدد فرود و  $S$  شیب کف است.

معادله فوق نیز برای محاسبه تعیین نیمرخ جریان‌های متغییر تدریجی به کار می‌رود روش‌های مختلفی مثل روش انتگرال‌گیری ترسیمی، روش برس و روش بخت‌مختف جهت حل آن ارائه شده که در کتاب‌های هیدرولیک به تفسیر در مورد آنها بحث شده است. برای محاسبه نیمرخ جریان‌های متغییر تدریجی می‌توان معادله انرژی (معادله ۲-۲۰) را با روش گام‌به‌گام مستقیم نیز حل کرد. جهت محاسبه نیمرخ جریان از نرم‌افزارهای مختلف مثل HEC-RAS می‌توان استفاده کرد.

## ۲-۷-۴- سرعت جریان ورودی به آبیگر

برای طراحی هیدرولیکی آبیگر، سرعت جریان در ورودی آبیگر را با  $V_D$  نشان می‌دهیم که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V_D = \frac{Q_D}{A_D} \quad (2-24)$$

که در این رابطه:

$Q_D$ : بده آبیگر و  $A_D$  سطح مقطع جریان در آبیگر است. در آبیگرهای بزرگ توزیع سرعت جریان در امتداد ورودی آبیگر غیریکنواخت بوده و تفاوت بین سرعت‌های موضعی به حدود ۱۵٪ می‌رسد. برای حالتی که توزیع سرعت جریان در ورودی آبیگر یکنواخت است، موارد زیر را می‌توان بیان کرد:

- سرعت ورودی کم، برای بهره‌برداری مزیت محسوب شده، افت‌های موضعی را کم کرده (افت‌ها متناسب با  $V^2$  است)، احتمال ورود رسوبات درشت‌دانه را کاهش داده و تمیز کردن آشغالگیر را نیز آسان‌تر می‌کند.
- سرعت ورودی زیاد، مزایای اقتصادی داشته و سطح مقطع ورودی سازه آبیگر را کاهش می‌دهد.
- در طراحی آبیگرها معمولاً توصیه می‌شود موارد زیر در نظر گرفته شود [۳۷].
- سرعت میانگین جریان ورودی به آبیگر از سرعت میانگین جریان رودخانه کم‌تر باشد تا غلظت رسوبات در جریان منحرف شده همواره کم‌تر از غلظت رسوبات در جریان رودخانه باشد.
- معمولاً سرعت میانگین جریان ورودی به آبیگر در محدوده  $V_D = 0.3 - 0.4 \text{ m/s}$  مناسب است.
- سرعت جریان ورودی  $V_D > 1 \text{ m/s}$ ، تمیز کردن آشغالگیر را با مشکل مواجه می‌کند.
- برای جلوگیری از یخ زدن سطح فلزات تاسیسات هیدرومکانیکی، در دوره سرما  $V_D > 0.25 \text{ m/s}$  باشد.

## ۲-۸- ریخت‌شناسی رودخانه

قبل از احداث آبیگر باید شرایط ریخت‌شناسی محل آبیگر و اثرات احداث آبیگر بر رودخانه در محل آبیگر و قسمت‌های دیگر مورد مطالعه قرار گیرد. اولین ضابطه طراحی آبیگرها، تطابق بین پروژه و رژیم رودخانه می‌باشد. به این معنی که پس از اجرای پروژه نباید تغییرات زیادی در رودخانه به وجود آید. از طرف دیگر معمولاً هندسه رودخانه با گذشت زمان ثابت نمی‌باشد. فرسایش متناوب جداره‌ها و رسوب‌گذاری موضعی، گسترش پیکان‌رودها و تغییرات اساسی در هنگام سیلاب از ویژگی‌های رودخانه‌ها است. لذا طراحی پروژه‌های انحراف باید شامل محاسبات مربوط به پایدار کردن آبراهه در محدوده آبیگر نیز باشد.

به ترکیب مشخصی از هندسه مجرا و پارامترهای هیدرولیکی که در آن بده جریان و رسوب در تعادل باشند و آبستگي یا رسوب‌گذاري قابل ملاحظه‌ای وجود نداشته باشد، حالت رژیم رودخانه گفته می‌شود. چنین حالتی برای رودخانه‌هایی که دارای تغییرات زیاد در بده جریان و رسوب می‌باشد، معمولاً غیرممکن است.

ریخت‌شناسی آبراهه نتیجه اندرکنش جریان، بار رسوب، بافت زمین‌شناسی و بافت گیاهی می‌باشد. اندرکنش عوامل فوق باعث ایجاد تغییرات ظاهری و رفتاری در رودخانه‌ها می‌شود. به علم شناخت سامانه رودخانه‌ها از نظر شکل و فرم کلی، ابعاد و هندسه، مشخصات هیدرولیکی، راستا و نیمرخ طولی و روند تغییرات آن، ریخت‌شناسی<sup>۱</sup> گفته می‌شود. در حقیقت ریخت‌شناسی، درک شرایط کنونی رودخانه و پیش‌بینی تغییرات آن را ممکن می‌سازد.

رودخانه‌ها را می‌توان براساس عوامل مختلف از جمله دوام هیدرولیکی، پایداری، شکل پلان، زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه تقسیم‌بندی نمود. تقسیم‌بندی رودخانه‌ها در جدول (۲-۵) ارائه شده است.

جدول ۲-۵- تقسیم‌بندی رودخانه براساس عوامل مختلف

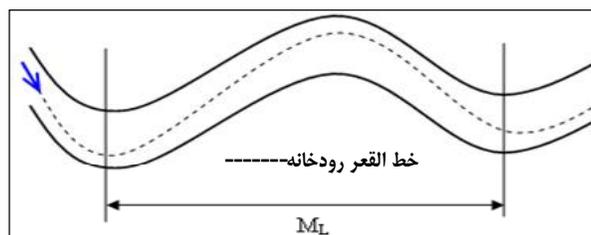
عامل	دوام هیدرولوژیکی	پایداری	شکل پلان	زمین‌شناسی	توپوگرافی منطقه
۱- دایمی	۱- پایدار	۱- مستقیم	۱- جوان	۱- کوهستانی	
۲- غیردایمی	۲- ناپایدار (رسوب‌گذار یا فرسایش‌پذیر)	۲- پیچانرودی	۲- بالغ	۲- آبرفتی	
۳- فصلی		۳- شریانی	۳- پیر		

ناپایداری رودخانه ممکن است منجر به تغییرات زیر شود:

- پیشروی به سمت پایین دست
- ایجاد میانبر<sup>۲</sup> که می‌تواند همراه با پیشروی به سمت پایین دست باشد.
- تغییرات نامنظم جانبی
- تغییر نیمرخ طولی
- تغییر مسیر رودخانه
- تغییر نوع و شکل رودخانه

مهم‌ترین تغییری که در مسیر رودخانه می‌تواند رخ دهد، ایجاد پیچ و خم می‌باشد. بازه‌ای از رودخانه که از به‌هم‌پیوستن پیچ و خم متوالی و مسیره‌های مستقیم ایجاد می‌شود، پیچانرود نامیده می‌شود (شکل ۲-۷). نظریه‌های موجود در مورد علت تشکیل پیچانرود زیاد بوده و به‌طور کلی عوامل موضعی مثل وجود مصالح با خصوصیات متفاوت در کناره‌ها، وجود موانع در جریان، انرژی بیش از حد جریان، فرسایش زیاد کناره و از همه مهم‌تر وجود جریان عرضی و اندرکنش آن با جداره رودخانه می‌توانند باعث تشکیل پیچانرود شود.





شکل ۲-۷- پیچانرود

وجود جریان عرضی در مقطع رودخانه و ترکیب آن با مولفه طولی جریان، باعث ایجاد جریان حلزونی شده و الگوی جریان حاصله باعث فرسایش دیواره بیرونی قوس و رسوب گذاری در دیواره داخلی آن می شود. این دو عامل (رسوب گذاری در قوس داخلی و فرسایش در قوس خارجی) نیز سبب تشدید پیچانرودی شدن رودخانه می شوند.

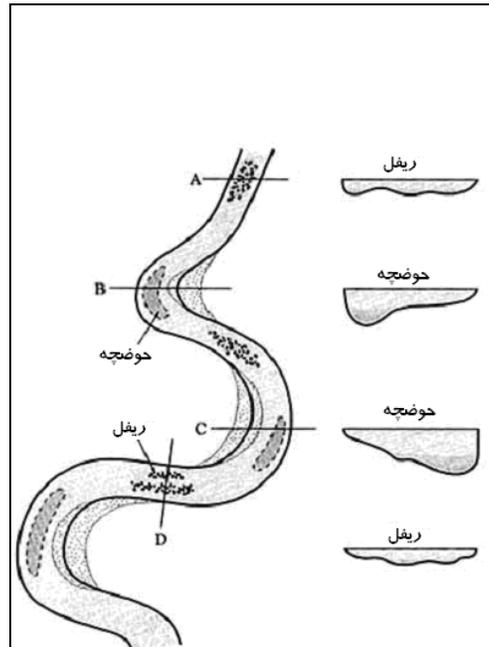
در محل قوس رودخانه ها وجود جریان به طرف قوس بیرونی در سطح آب و حرکت مصالح بستر به طرف قوس داخلی در کف، شرایط خوبی برای تامین جریان و حداقل کردن رسوبات ورودی به آبیگر را فراهم می آورد. در پیچانرودها، معمولا مقاطع عمیقی ایجاد می شوند که آنها را حوضچه<sup>۱</sup> می نامند و مقاطع باریک و کم عمقی در حد فاصل بین خم ها (قسمت مستقیم) ایجاد می شود که به آنها ریفل<sup>۲</sup> می گویند (شکل ۲-۸). معمولا قوس بیرونی در محل حوضچه ها برای آبیگری مناسب است.

هنگامی که رودخانه در مسیر خود با تپه و جزایر یا موانع دیگری روبرو می شود، ممکن است مجرای اصلی رودخانه به مجموعه ای از مجاری کوچک تر تبدیل شود که به آن رودخانه شریانی گفته می شود. مشخصه بارز این رودخانه ها، شیب کم با فرسایش پذیری زیاد در کناره ها و بار رسوبی زیاد می باشد. به دلیل تغییر و جابجایی خط القعر در این رودخانه ها، آبیگری از این رودخانه ها مشکل می باشد. در شکل (۲-۹) انواع مختلف رودخانه از لحاظ طبقه بندی بر اساس شکل در پلان نشان داده شده است.

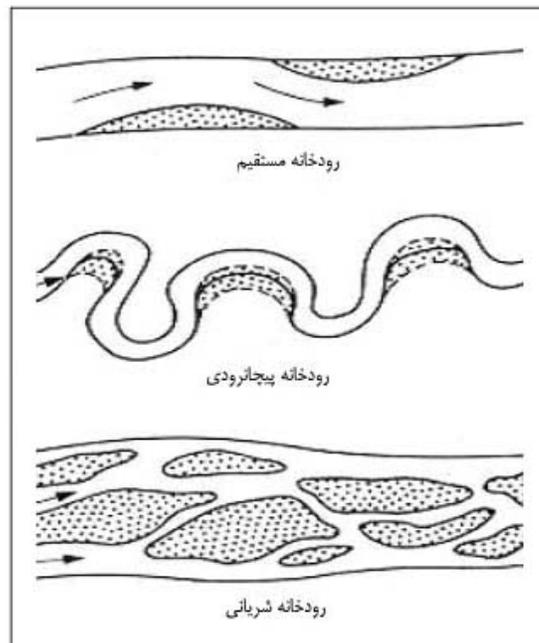
تقسیم بندی رودخانه ها از لحاظ زمین شناسی را می توان تحت عناوین جوان، بالغ و پیر انجام داد. این تقسیم بندی، نشانگر حالات فیزیکی رودخانه در زمان معین می باشد. ممکن است در برخی مناطق، یک رودخانه جوان باشد و در نواحی دیگر ویژگی های بلوغ یا پیری را داشته باشد. به عنوان مثال، رودخانه کارون در نزدیکی سرچشمه، جوان و کمی پایین تر از آن بالغ و در مصب، رودخانه ای پیر است. یک رودخانه ممکن است در نقاطی که بستر و کناره آن از سنگ های مقاوم ترکیب یافته اند، دارای ویژگی های جوانی باشد، حال آن که در مناطقی که بستر و کناره رودخانه از سنگ های ضعیف (فرسایشی) تشکیل شده اند، از نوع پیر باشد.

مقطع رودخانه های جوان معمولا به صورت V شکل بوده، دره های آنها باریک و دیواره های آن سخت و دارای شیب تند است. این نوع رودخانه ها یا سیلابدشت ندارند و یا سیلابدشت آنها خیلی کوچک می باشد. در یک رودخانه بالغ، رسوب گذاری و فرسایش کف و کناره ها تقریبا در حالت تعادل می باشند. شیب تندی که در رودخانه های جوان وجود دارد، معمولا در رودخانه های بالغ دیده نمی شود. مقطع رودخانه های بالغ معمولا به صورت U شکل است. در رودخانه های پیر، معمولا تعادل حمل رسوب نه تنها در مجرای اصلی بلکه در مجاری فرعی آن هم برقرار است.





شکل ۲-۸- تشکیل حوضچه و ریفل در پیچانرود



شکل ۲-۹- طبقه‌بندی رودخانه‌ها

به‌طورکلی مقاطعی که در آنها کف و جداره‌ها پایدار و آب نسبتاً عمیق و عاری از رسوب باشد، برای آبیگری مناسب است. به عنوان یک راهنمای کلی می‌توان گفت که آبیگری از بازه‌هایی از رودخانه صورت گیرد که به حالت تعادل نسبی رسیده باشد.

رودخانه‌های شریانی و پیچان‌رودهای به شدت گسترش یافته، معمولاً در مواقع سیلابی برای محل آبیگری خطرناک هستند. در حالی که آبراهه‌های تک شاخه با انحنا ملایم برای محل آبیگر مناسب‌تر می‌باشند.

طراحی هیدرولیکی پروژه‌های انحراف از رودخانه باید شامل کنترل پایداری آبراهه نیز باشد. اگر پایداری رودخانه مطمئن نباشد، عملیات ساماندهی نیز مورد نیاز خواهد بود. جهت بررسی وضعیت رودخانه از نظر پایداری می‌توان از روابط رژیم استفاده کرد. براساس روابط رژیم، لازم است ارتباط مشخصی بین عرض آبراهه، بده جریان و رسوب و جنس مصالح تشکیل دهنده جداره آن وجود داشته باشد. در حالت کلی سه رابطه رژیم برای تعریف عرض متوسط  $B$ ، عمق جریان  $y$ ، شیب طولی  $S$  و یا سرعت متوسط وجود دارد که شکل کلی آنها به صورت زیر می‌باشد:

$$V = K_v Q^y, \quad y = K_d Q^\beta, \quad B = K_B Q^\alpha \quad (2-25)$$

در این روابط  $Q$  بده طراحی، توان‌های  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  و ضرایب  $K_v$ ،  $K_d$ ،  $K_B$  برای رودخانه‌های مختلف متفاوت و قابل محاسبه است. نحوه کنترل و بررسی پایداری جداره در قسمت‌های بعدی ارائه خواهد شد.

## ۹-۲- مبانی رسوب و فرسایش در رودخانه

در اثر آبیگری، رژیم جریان آب و رژیم رسوب در رودخانه تغییر می‌کند و اغلب نسبت بده رسوبات منحرف شده به آبیگر به بار کل رسوبات رودخانه بزرگ‌تر از نسبت بده آبیگر به بده رودخانه می‌باشد. رسوبات در رودخانه شامل قسمت‌های زیر می‌شود:

- بار کف<sup>۱</sup>: این بخش از رسوبات رودخانه شامل ذراتی است که در نزدیکی کف حرکت می‌کنند. به عبارت دیگر بار کف شامل رسوباتی است که در نتیجه لغزیدن، غلتیدن و جهش‌های پی‌درپی به جلو رانده می‌شوند.

- بار معلق<sup>۲</sup>: این بخش از رسوبات رودخانه شامل ذراتی است که به صورت معلق بوده، به همراه جریان و با سرعتی معادل سرعت جریان حرکت می‌کند. وزن و اندازه ذرات معلق به نحوی است که تلاطم جریان اجازه ته‌نشینی به آنها را نمی‌دهد.

- بار شسته<sup>۳</sup>: این بخش از رسوبات رودخانه شامل ذرات ریزدانه‌ای است که از سطح حوضه جدا شده‌اند. این ذرات، ریزتر از مواد جداره رودخانه بوده و معمولاً ته‌نشین نمی‌شوند مگر در جایی که آب راکد باشد.

- بار کل: مجموع رسوبات همراه جریان است که می‌تواند شامل بار کف، بار معلق و بار شسته باشد.

مقدار بار رسوبی در رودخانه وابسته به میزان رسوبات موجود در حوضه آبریز و مشخصات رودخانه است. در مناطق پرشیب و نیز در مواقع سیلابی، سرعت جریان و ظرفیت حمل رسوب در رودخانه زیاد است و اگر منبع رسوبات در این مناطق وجود داشته باشد، مواد معلق همراه با ماسه، شن و سنگ‌های بزرگ وارد جریان رودخانه می‌شوند. وقتی رودخانه به مناطق کم شیب و دشت می‌رسد، رسوبات بزرگ‌تر، ته‌نشین شده و رسوبات کوچک‌تر مانند ماسه ریز، سیلت و ذرات رس باقی می‌ماند که اکثراً به صورت بار معلق همراه با جریان آب منتقل می‌شود.



- 1- Bed Load
- 2- Suspended Load
- 3- Wash Load

پیش‌بینی مقدار بار رسوبی در رودخانه‌ها معمولاً آسان نیست. این موضوع می‌تواند با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی یا هیدرولوژیکی مورد مطالعه قرار گیرد. روش‌های هیدرولوژیکی مستلزم اندازه‌گیری بار رسوب رودخانه یا برآورد پتانسیل فرسایش‌پذیری در سطح حوضه و یا هر دو می‌باشد که لازم است این اندازه‌گیری‌ها حداقل برای یک سال هیدرولوژیکی انجام شود. روش‌های هیدرولیکی نیز برای محاسبه ظرفیت انتقال رودخانه با توجه به شرایط هیدرولیکی رودخانه به کار می‌روند. عدم شناخت مسایل رسوب در آبیگرها ممکن است سبب شود که آبیگر با رسوب‌گذاری مواجه شده، مشکلات و هزینه‌های زیادی را به همراه داشته باشد. در نتیجه لازم است که در طراحی آبیگرها داده‌های مربوط به رسوب تهیه شود و اطمینان کافی به داده‌ها و محاسبات مربوط به رسوب رودخانه داشت. در ادامه به طور مختصر به ارائه برخی از مبانی رسوب و فرسایش در رودخانه پرداخته می‌شود. برای آگاهی از روش‌های محاسبه بار بستر، بار معلق و بار کل رسوب رودخانه می‌توان به مراجع [۱۰] و [۱۱] مراجعه نمود.

## ۲-۹-۱- خواص فیزیکی رسوبات

برخی از خصوصیات فیزیکی رسوبات غیر چسبنده به صورت زیر بیان می‌شود:

- چگالی ذرات،  $\rho_s$
- وزن مخصوص ذرات،  $\gamma_s$
- چگالی نسبی ذرات،  $s = \frac{\rho_s}{\rho}$  ( $\rho$  چگالی آب است).
- قطر سقوط: قطر ذره‌ای کره‌ای شکل است که دارای چگالی ۲/۶۵ بوده و در آب استاندارد، سرعت سقوطی برابر سرعت سقوط ذره داشته باشد.
- ضریب شکل: ضریب شکل ذرات به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$SF = \frac{c}{(ab)^{0.5}} \quad (26-2)$$

در این رابطه SF: ضریب شکل، a: طول ذره در امتداد بزرگ‌ترین محور عمود بر دو محور دیگر، b: طول ذره در امتداد محور متوسط ذره عمود بر دو محور دیگر و c طول ذره در امتداد کوچک‌ترین محور عمود بر دو محور دیگر می‌باشد. ضریب شکل ماسه طبیعی تقریباً برابر ۰/۷ می‌باشد.

- سرعت سقوط: سرعت سقوط یک ذره کروی در آب ساکن از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\omega = \left[ \frac{4(s-1)gd}{3C_D} \right] \quad (27-2)$$

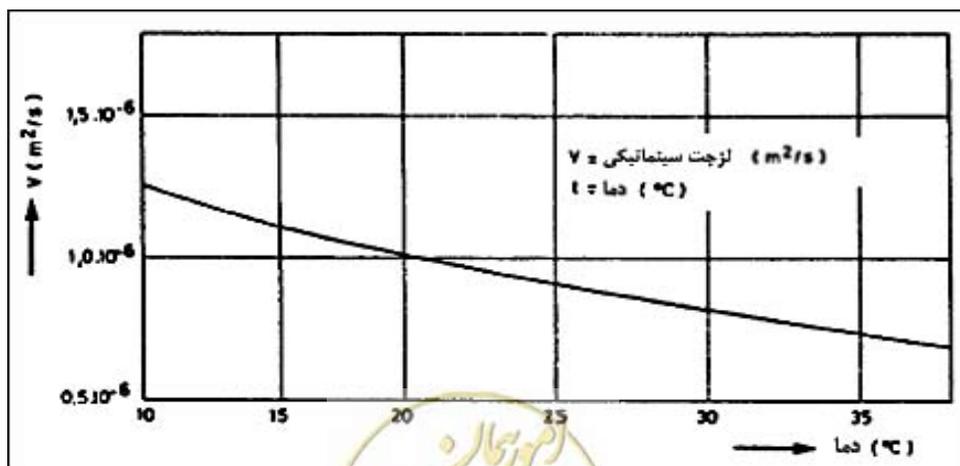
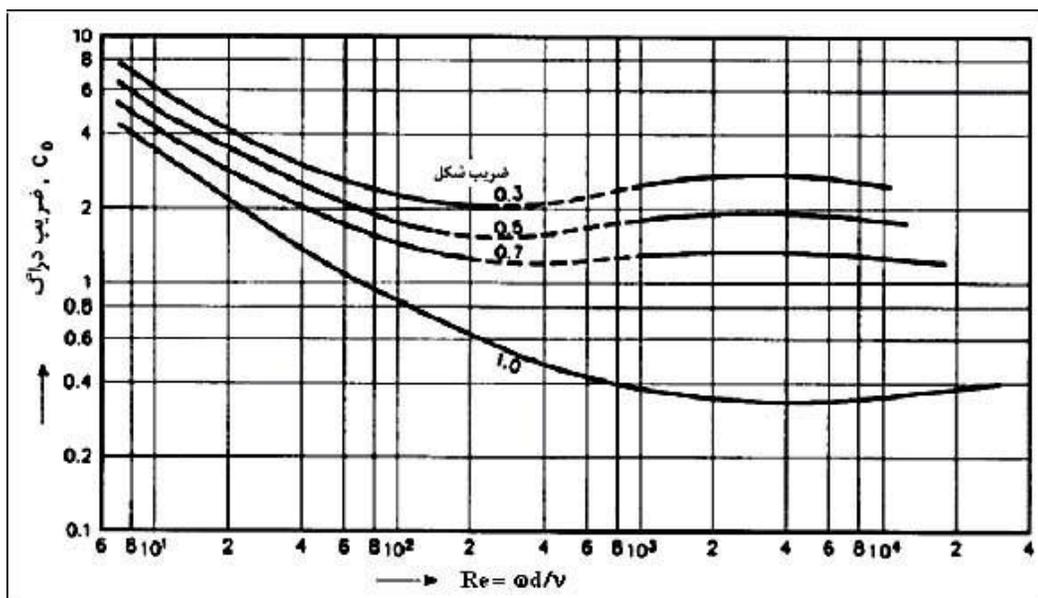
که در این رابطه:

$\omega$ : سرعت سقوط ذرات، d: قطر ذره، g: شتاب ثقل و  $C_D$  ضریب دراک می‌باشد. مطابق شکل (۲-۱۰) ضریب دراک تابعی از رینولدز ذره،  $Re = \omega d / \nu$  و ضریب شکل ذره می‌باشد. در این جا  $\nu$  لزجت سینماتیکی سیال است که تابع دمای سیال می‌باشد. لزجت سینماتیکی آب در دماهای مختلف در شکل (۲-۱۱) نشان داده شده است.

## ۲-۹-۲- بررسی پایداری بستر

فرسایش بستر از آستانه حرکت ذرات تشکیل دهنده بستر شروع می‌شود و حرکت دانه‌ها پس از آن ادامه می‌یابد. این حرکت منجر به جابجایی ذره حداقل در یک بعد گردیده طوری که ذره در نهایت به جای خود برنگردد. برای بررسی آستانه حرکت ذرات بستر از روش‌های زیر می‌توان استفاده نمود:

- روش سرعت بحرانی
- روش تنش برش بحرانی



## ۲-۹-۲-۱- روش سرعت بحرانی

در این روش یک سرعت بحرانی  $U_c$  برای شرایطی که در آن فرسایش بستر شروع می‌شود، تعریف شده و سرعت متوسط موجود  $U$  با این سرعت مقایسه خواهد شد. در صورتی که  $U > U_c$  باشد، بستر ناپایدار و در صورتی که  $U < U_c$  باشد بستر پایدار خواهد بود. معادلات تجربی متعددی برای یافتن سرعت بحرانی وجود دارد که از بین آنها به دو رابطه زیر اشاره می‌شود:

- رابطه گنچارف

$$\frac{U_c}{\sqrt{\frac{\Delta\gamma_s d}{\rho}}} = 1.143 \log\left(\frac{8.8y}{d}\right) \quad (28-2)$$

- رابطه نیل

$$\frac{U_c}{\sqrt{\frac{\Delta\gamma_s d}{\rho}}} = 1.44 \left(\frac{y}{d}\right)^{1/6} \quad (29-2)$$

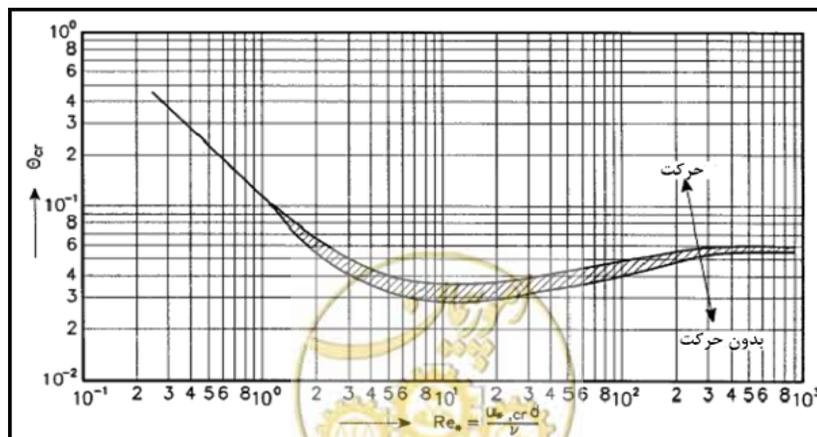
که در این روابط:

$y$ : عمق آب،  $\Delta\gamma_s$ : اختلاف وزن مخصوص رسوب و آب و  $d$  قطر مصالح بستر می‌باشد.

## ۲-۹-۲-۲- روش تنش برشی بحرانی

در این روش با معرفی تنش برشی بحرانی، تنش موجود در کف با تنش برشی بحرانی مقایسه می‌شود. در صورت تجاوز از تنش برشی بحرانی، حرکت مصالح بستر و ناپایداری آن به وجود می‌آید. روش‌های تجربی و نیمه نظری برای یافتن تنش برشی بحرانی وجود دارد که در ادامه به روش نیمه نظری شیلدز اشاره می‌شود.

هنگامی که نیروی وارد از طرف جریان بر ذره، با مقاومت ذره در مقابل حرکت برابر شود، ذره در آستانه حرکت قرار می‌گیرد. شیلدز (۱۹۳۶) منحنی معروف خود را که در شکل (۲-۱۲) نشان داده شده است ارائه نمود [۴۱]. محدوده زیر منحنی، نشان دهنده بستر پایدار و محدوده بالای منحنی نشان دهنده بستر ناپایدار و منحنی معرف آستانه حرکت می‌باشد. در این شکل، محور عمودی پارامتر شیلدز و محور افقی رینولدز زبری می‌باشد.



شکل ۲-۱۲- منحنی شیلدز [۴۱]

پارامتر شیلدز از رابطه (۳۰-۲) و رینولدز زبری از رابطه (۳۱-۲) محاسبه می‌شود.

$$\theta_{cr} = \frac{\tau_{b,cr}}{(\rho_s - \rho)gd_{50}} \quad (30-2)$$

$$Re_* = \frac{u_{*,cr}d}{\nu} \quad (31-2)$$

که در این روابط:

$\tau_{b,cr}$ : تنش برشی بحرانی بستر

$\theta_{cr}$ : تنش برشی بی بعد یا پارامتر شیلدز

$u_{*,cr}$ : سرعت برشی بحرانی و  $Re_*$  رینولدز زبری می‌باشد.

بانفیل (۱۹۶۳) و یالین (۱۹۷۲) نشان دادند که منحنی شیلدز می‌تواند بر حسب پارامتر بی بعد  $\theta_{cr}$  و پارامتر بی بعد ذره  $D_*$

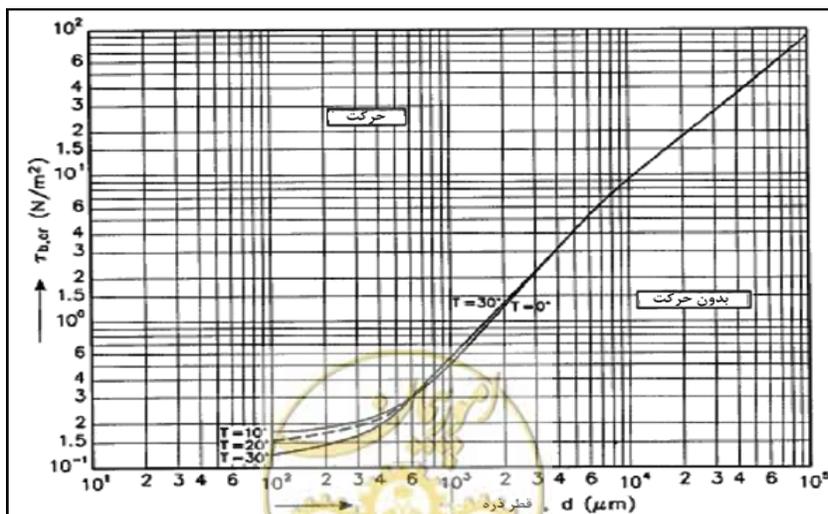
به صورت زیر بیان شود [۴۱]:

$$\begin{aligned} \theta_{cr} &= 0.24D_*^{-1} & \text{for } 1 < D_* \leq 4 \\ \theta_{cr} &= 0.14D_*^{-0.64} & \text{for } 4 < D_* \leq 10 \\ \theta_{cr} &= 0.04D_*^{-0.1} & \text{for } 10 < D_* \leq 20 \\ \theta_{cr} &= 0.013D_*^{0.29} & \text{for } 20 < D_* \leq 150 \\ \theta_{cr} &= 0.055 & \text{for } D_* > 150 \end{aligned} \quad (32-2)$$

که  $D_*$  به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$D_* = d_{50} \left[ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} \quad (33-2)$$

محاسبه تنش برشی بحرانی با استفاده از منحنی شیلدز (شکل ۲-۱۳)، دارای روند سعی و خطایی است. به منظور تسریع در محاسبه و جلوگیری از سعی و خطا، منحنی اصلاح شده شیلدز که در آن محور عمودی تنش برشی بحرانی بستر و محور افقی قطر ذره است، به صورت شکل (۲-۱۳) ارائه گردید که با استفاده از آن به صورت مستقیم می‌توان تنش برشی بحرانی بستر را به دست آورد [۴۱].



شکل ۲-۱۳- منحنی اصلاح شده شیلدز [۴۱]

با داشتن تنش برشی بحرانی بستر، سرعت بحرانی در آستانه حرکت  $U_c$  از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$u_{*,c}^2 = \frac{\tau_{0,cr}}{\rho} \quad (۳۴-۲)$$

$$U_c = \frac{u_{*,c} C}{\sqrt{g}} \quad (۳۵-۲)$$

که در این رابطه  $C$  ضریب شزی می‌باشد.

ضریب شزی بر حسب رژیم‌های مختلف جریان به صورت زیر تعریف می‌شود [۴۱]:

$$C = 18 \log \left( \frac{12y}{3.3v/u_{*,cr}} \right) \quad \text{رژیم هیدرولیکی صاف:} \quad (۳۶-۲)$$

$$C = 18 \log \left( \frac{12y}{K_s} \right) \quad \text{رژیم هیدرولیکی زیر:} \quad (۳۷-۲)$$

$$C = 18 \log \left( \frac{12y}{K_s + 3.3v/u_{*,cr}} \right) \quad \text{رژیم هیدرولیکی انتقالی:} \quad (۳۸-۲)$$

در این روابط  $k_s$  زبری معادل می‌باشد. برای رژیم هیدرولیکی زیر  $k_s = 3d_{90}$  و برای رژیم هیدرولیکی صاف  $k_s = 2d_{50}$  می‌باشد. رژیم‌های مختلف جریان به صورت زیر تعیین می‌گردند:

$$\frac{K_s u_{*,cr}}{v} \leq 5 \quad - \quad \text{برای رژیم هیدرولیکی صاف:}$$

$$\frac{K_s u_{*,cr}}{v} \geq 70 \quad - \quad \text{برای رژیم هیدرولیکی زیر:}$$

$$5 < \frac{K_s u_{*,cr}}{v} \leq 70 \quad - \quad \text{برای رژیم هیدرولیکی انتقالی:}$$

برای رژیم هیدرولیکی زیر رابطه سرعت بحرانی نیز به صورت زیر است:

$$u_c = 5.75 u_{*,cr} \log \left( \frac{12y}{K_s} \right) \quad (۳۹-۲)$$

رابطه فوق را با استفاده از روابط (۳۲-۲) و (۳۵-۲) می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$u_c = 2.5 \sqrt{\theta_c \Delta g d} \ln \left( \frac{12y}{K_s} \right) \quad (۴۰-۲)$$

که در این رابطه  $\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$  می‌باشد.

### ۲-۹-۳- شکل‌های مختلف بستر

پس از به حرکت درآمدن ذرات بستر، شکل‌های مختلف بستر با توجه به شرایط جریان ایجاد می‌شود. هنگامی که تنش برش کف از تنش برش بحرانی تجاوز نماید، در روی بستر ناهمواری‌های کوچک مثلی شکل به نام ریپل شکل می‌گیرد و با ازدیاد تنش برشی ابعاد این ناهمواری‌ها بزرگ‌تر شده و به ناهمواری‌های مثلی شکل بزرگ‌تری به نام دیون تبدیل می‌شود. با ازدیاد تنش برشی جریان

در یک فاز انتقالی، این ناهمواری‌ها محو شده، بستر صاف و هموار<sup>۱</sup> می‌شود. با افزایش مجدد تنش برشی، ناهمواری‌های مثلثی شکلی که شبیه دیون‌ها بوده ولی تاج آن در خلاف حرکت دیون‌ها حرکت می‌کند به‌وجود می‌آید که دیون معکوس<sup>۲</sup> نام دارند. در اعداد فرود بزرگ با تنش برشی زیاد، موج‌های شنی<sup>۳</sup> به‌وجود می‌آید. تمامی شکل‌های بستر که در بالا به آنها اشاره شد بر میزان زبری کف اثر گذار می‌باشند. باید توجه داشت که در محاسبات سرعت، زبری معادل بستر که دربرگیرنده زبری دانه‌ها و زبری مربوط به شکل بستر است، به‌کاربرده شود. به همین دلیل باید شکل بستر تشخیص داده شده و روابط مقاومت مربوط به بسترهای ناپایدار استفاده شود. برای اطلاع بیشتر در این زمینه به کتب انتقال رسوب مراجعه شود.

## ۲-۱۰- کنترل رسوب در آبیگرها

در آبیگری از رودخانه، میزان رسوبات ورودی به آبیگر باید به حداقل مقدار ممکن برسد و در صورت نیاز، جداسازی رسوبات در کانال آبیگر نیز انجام شود. همان‌گونه که گفته شد جریان آب، رسوبات را به‌صورت بار کف و یا بار معلق حمل می‌کند. با توجه به این‌که همیشه جداکردن کامل رسوبات از آب، در جلوی آبیگر امکان ندارد معمولاً بیش‌ترین تلاش بر این است که بار کف وارد آبیگر نشود.

وجود بار معلق در آب، در اثر افزایش سرعت زیاد آب صدمات زیادی به سازه‌ها و به‌خصوص به وسایل مکانیکی مانند پمپ‌ها و توربین‌ها می‌رساند. چنانچه در بخش‌هایی از سامانه انتقال، به‌ویژه در سامانه‌هایی که به‌صورت ثقلی منتقل می‌شود، سرعت جریان کم باشد، به‌طوری که جریان آب نتواند مواد منتقل شده را در حالت معلق نگهدارد، رسوبات ته‌نشین می‌شوند. این عمل ممکن است از محل آبیگر شروع شده و به‌تدریج در تمام سامانه گسترش یابد. در اثر رسوب‌گذاری شیب کانال‌ها به‌هم‌خورده و با بالا آمدن رقوم کف کانال، ارتفاع آزاد در آنها کاهش یافته و در نهایت از ظرفیت آبرسانی کاسته می‌شود. روش‌های کنترل رسوب به تفصیل در فصل چهارم تشریح شده است.

## ۲-۱۱- مکان‌یابی و جانمایی دهانه آبیگر

انتخاب محل مناسب آبیگری برای موفقیت پروژه ضروری می‌باشد. یک محل مناسب می‌تواند اختلال در آبرسانی را که به دلیل ورود رسوب به داخل آبیگر به‌وجود می‌آید، به حداقل کاهش دهد. باید توجه داشت که بعد از اجرای پروژه، مشکلات ایجاد شده در اثر انتخاب نامناسب محل به سختی قابل اصلاح می‌باشد.

در انتخاب محل آبیگر، قوس رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مناطق پدیده رسوب‌گذاری و فرسایش به‌طور هم‌زمان انجام می‌شود. وجود جریان حلزونی در محل انحنا رودخانه موجب رانده شدن رسوبات نزدیک کف به سمت قوس داخلی و حرکت آب صاف‌تر سطحی به سمت قوس بیرونی می‌گردد. پدیده فوق موجب می‌شود که قسمت محدب رودخانه محل بسیار مناسبی برای احداث آبیگر باشد. حتی در مواقعی که به ناچار تاسیسات آبیگری در قسمت داخلی انحنا ساخته می‌شود، می‌توان با



- 1-Plane Bed
- 2- Anti Dune
- 3-Sand Waves

ایجاد تمهیدات مناسبی، یک انحنای مصنوعی به نحوی ایجاد کرد که انحنای جریان به طرف وسط رودخانه بوده و در نتیجه مقدار زیادی از رسوبات رودخانه از محل آبرگیر دور شود.

برای بهره‌برداری کامل از مزیت خم، موقعیت آبرگیر باید در مقطعی از قوس که جریان حلزونی به توسعه یافتگی کامل رسیده، قرارگیرد. موقعیت این مقطع به هندسه آبراهه (شعاع انحنای، عرض و زاویه خم) و شرایط جریان بستگی دارد. توسعه جریان حلزونی بعد از زاویه  $\theta$  از شروع قوس شکل می‌گیرد (رابطه ۲-۴۱).

$$\theta = 1.5 \frac{yC}{r\sqrt{g}} \quad (۲-۴۱)$$

که در این رابطه:

$C$ : ضریب شزی،  $y$ : عمق متوسط جریان،  $r$ : شعاع انحنای قوس و  $\theta$  زاویه قوس بر حسب رادیان می‌باشد.

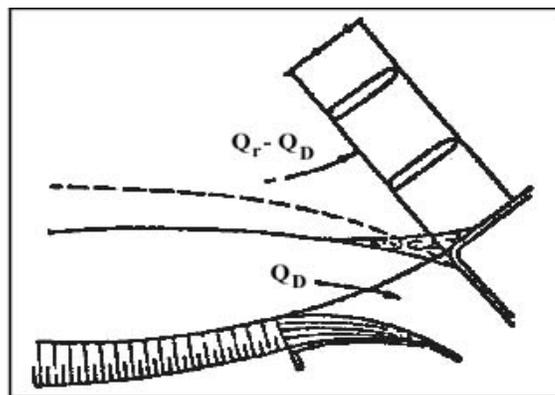
به عنوان یک معیار کلی، ورودی آبرگیر برای خم‌های با شعاع انحنای  $R_c > 3.4W_f$  (که  $R_c$  شعاع انحنای خط مرکزی قوس و  $W_f$  بیانگر عرض مجرا می‌باشد) باید در موقعیت تقعر جریان و کمی پایین‌تر از راس قوس قرارگیرد. علاوه بر این نرخ انحراف جریان  $K_D$  به صورت زیر باشد [۳۷]:

$$K_D < 0.3 - 0.4 \quad , \quad K_D = \frac{Q_D}{Q_T} \quad (۲-۴۲)$$

که در این رابطه:

$Q_D$ : بده آبرگیر و  $Q_T$  بده رودخانه می‌باشد.

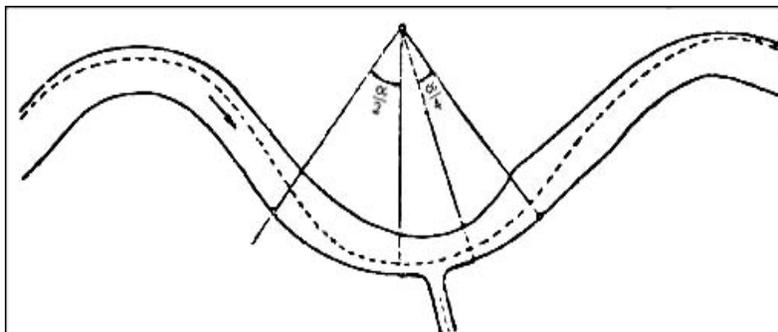
برای مقادیر بیش‌تر نرخ انحراف، الگوی جدیدی از جریان در ورودی آبرگیر ایجاد می‌گردد (شکل ۲-۱۴). در این حالت، اندازه و شدت ناحیه گردابی در جلوی آبرگیر به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد و میزان ورود رسوبات به آبرگیر بیش‌تر می‌شود. لذا طراحی برای چنین حالاتی، نیازمند تمهیدات ویژه مهندسی جهت کنترل رسوب می‌باشد.



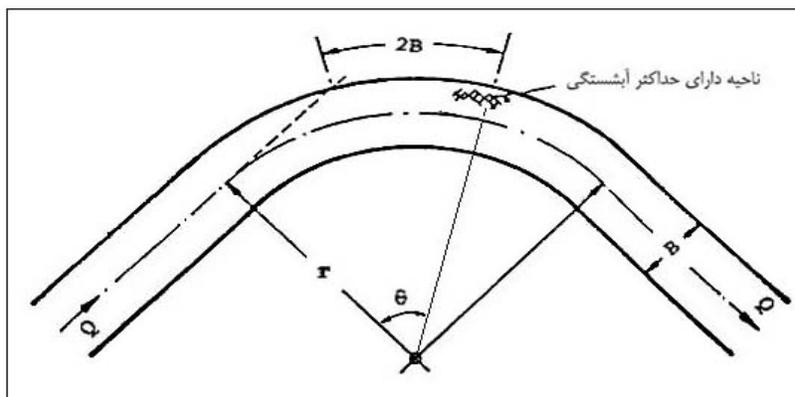
شکل ۲-۱۴- الگوی جریان در ورودی آبرگیر در نرخ‌های انحراف زیاد ( $Q_D > 0.3 Q_T$ ) [۳۷]

موقعیت مناسب آبرگیر در انحنای رودخانه‌ها، توسط رضوان (۱۹۸۹) در محدوده سه چهارم زاویه مرکزی پیکانرود (شکل ۲-۱۵) پیشنهاد شده است [۳۷]. همچنین رادکیوی (۱۹۹۳) موقعیت مناسب آبرگیر در محل قوس را به روش ترسیمی، که در شکل (۲-۱۶)

نشان داده شده است، ارائه کرد [۳۶]. این محل به اندازه دو برابر عرض رودخانه، پایین تر از محل تلاقی امتداد خط مرکز جریان (در ناحیه مستقیم رودخانه قبل از خم) با ساحل است.



شکل ۲-۱۵- موقعیت مناسب استقرار آبیگر [۳۷]



شکل ۲-۱۶- روش برآورد تقریبی موقعیت آبیگر در خم [۳۶]

زمانی که آبراهه دارای هندسه نامنظم است، بهترین روش برای تعیین موقعیت آبیگر، استفاده از مدل‌های فیزیکی است که با استفاده از آن می‌توان مسیر جریان‌های سطحی و تحتانی را مشخص و ابهامات احتمالی در طراحی اولیه را بر طرف کرد.

## ۲-۱۲- زاویه انحراف آبیگر

انتخاب زاویه انحراف آبیگر نیز در طراحی آبیگرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. زاویه انحراف آبیگر عبارت است از زاویه بین محور آبیگر و جهت سرعت متوسط جریان در آبراهه اصلی. مهم‌ترین قاعده جهت انتخاب زاویه آبیگری، کمینه‌سازی ناحیه گردابی در ورودی آبیگر می‌باشد. در شکل (۲-۱۷) زاویه انحراف آبیگر  $\phi$  در دو حالت آبیگری بدون بند انحرافی و با بند انحرافی نشان داده شده است.

برای محاسبه زاویه انحراف آبیگر فرض می‌کنیم که:

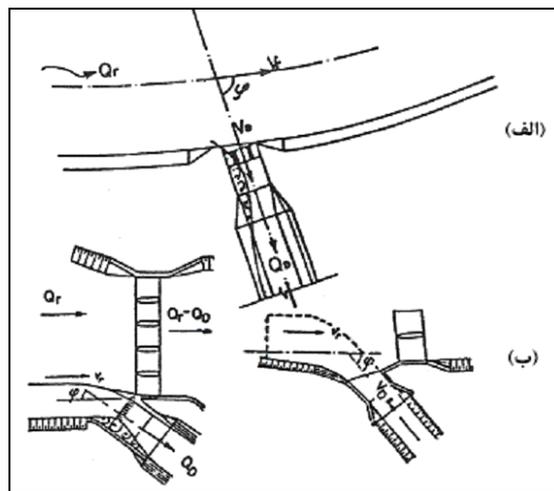
- جهت سرعت‌های متوسط جریان اصلی و جریان منحرف شده ( $V_D$  و  $V_r$ ) نشان دهنده جهت جریان باشد.
- ناحیه گردابی و افت‌های موضعی کم و تغییرات سطح آزاد در مقایسه با عمق جریان قابل صرف نظر کردن باشد.

با این فرضیات و به کمک معادله مومنتم برای حجم سیال مشخص شده با خط چین در شکل (۲-۱۷-ب)، زاویه انحراف آبیگر  $\phi$  به صورت زیر به دست می آید:

$$\phi = \arccos \frac{V_r}{V_D} \quad (۲-۴۳)$$

با توجه به رابطه فوق، سرعت انحراف کوچکتر، زاویه انحراف بزرگتر را موجب می شود. این رابطه حداقل باید برای دو رژیم کم آبی و سیلابی کنترل شود.

طبق مطالعات انجام شده توسط رادکیوی (۱۹۹۳) زاویه انحراف آبیگر برای حداقل نمودن رسوبات بین ۷۰ تا ۷۵ درجه توصیه شده است. باید توجه داشت که پارامترهایی نظیر بده آبیگری، بده رودخانه، عرض رودخانه، عرض آبیگر و موقعیت آبیگری بر زاویه آبیگری اثرگذار است. توصیه می شود جهت انتخاب بهترین زاویه انحراف در آبیگرهای مهم از نتایج مدل فیزیکی استفاده گردد [۳۶].



الف- بدون بند انحرافی و ب- با بند انحرافی

شکل ۲-۱۷- زاویه انحراف در آبیگری از قوس رودخانه [۳۶]

## ۲-۱۳- داده‌های مورد نیاز طراحی

داده‌های مورد نیاز در طراحی آبیگر عبارتند از [۵]:

- داده‌های توپوگرافی و زمین ریخت‌شناسی
- داده‌های هیدرومتری
- داده‌های بهره‌برداری
- داده‌های رسوب



## ۱-۱۳-۲- داده‌های توپوگرافی و زمین ریخت‌شناسی

انتخاب اولیه محل تاسیسات آبیگر اغلب با مطالعه نقشه‌های موجود یا عکس‌های هوایی انجام می‌شود. البته بررسی‌های صحرایی و نقشه‌پردازی محلی در مراحل بعدی لازم است.

مطالعه عکس‌های هوایی قدیمی و جدید و بررسی محل در روی زمین یا از هوا، مناسب بودن محل و پایداری آن را در رودخانه مشخص می‌کند. مطالعاتی از قبیل نحوه تغییرات مسیر رودخانه و یا تمایل رودخانه به انتخاب یک مسیر مشخص در بده‌های کم و امکان تغییرات مسیر رودخانه در بستر سیلابی، نیز ممکن است مورد بررسی قرار گیرند. وجود یک یا چند بستر اصلی لزوماً نشان دهنده تغییرات مسیر رودخانه در زمان‌های اخیر نبوده و در این زمینه ممکن است جهت تعیین بستر اصلی و تغییرات موضعی مسیر، کاوش‌های لازم انجام شود. حفاظت سواحل موجود و حفاظت آبیگر در مقابل سیلاب‌ها مدنظر قرار گرفته و در صورتی که امکان داشته باشد رودخانه در طول دوره وقوع سیلاب مورد مطالعه قرار گیرد. نقشه‌پردازی توپوگرافی از مسیر رودخانه در بالادست و در پایین دست محل آبیگر لازم بوده و طول مسیر مورد مطالعه بستگی به تخمین‌های اولیه از وسعت تاثیر آبیگر و تاسیسات ایجاد شده در مسیر رودخانه دارد. ضمناً باید توجه ویژه برای جزئیات نقشه‌پردازی در صورت پیش‌بینی ساخت مدل هیدرولیکی به‌کاربرده شود. مقاطع عرضی از بستر سیلابی، در مواردی که حداکثر بده سیلاب در طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد، برداشت شود. محل تاسیسات آبیگر با مقیاس ۱:۱۰۰ (یا برای تاسیسات بزرگ ۱:۲۰۰) با فواصل خطوط تراز ۰/۵ متری و یا کم‌تر نقشه‌پردازی شود. البته در پرشیب، فواصل خطوط تراز بیش‌تر (حدود ۲ متر) در نظر گرفته می‌شود. توصیه می‌شود داده‌های توپوگرافی و زمین ریخت‌شناسی و اطلاعات مورد نیاز طراحی با توجه به امکانات موجود، به شرح زیر تهیه شود:

- مطالعات و گزارش‌های موجود در مورد رودخانه و بازه مورد نظر
- مطالعات توپوگرافی در مورد حوضه و محل تاسیسات مربوط
- نقشه‌های هوایی حوضه و محل آبیگر
- نقشه‌های زمین‌شناسی همراه با مشخصات مواد بستر رودخانه (دانه‌بندی - کانی‌شناسی و غیره)
- نقشه خاک‌ها و پوشش گیاهی و بررسی تغییرات آنها در آینده و تاثیر آن بر فرسایش حوضه
- مسایل دیگری که ممکن است در محدوده تاسیسات مورد نظر مورد مطالعه قرار گیرد به‌صورت زیر می‌باشد:
- مخازن و دریاچه‌های بالادست (طرح‌های موجود و در دست مطالعه) و تاثیر آنها در ته‌نشینی رسوبات رودخانه
- ضایعات صنعتی (مثل معادن) و مراکز مسکونی بالادست

## ۲-۱۳-۲- داده‌های هیدرومتری

داده‌های هیدرومتری به شرح زیر تهیه شود:

- بده‌های سیلابی حداکثر و با دوره‌های برگشت مختلف
- هیدروگراف سیل
- منحنی تداوم جریان



- منحنی بده اشل
- منحنی بده جریان و بده رسوب
- جریان متوسط روزانه - هفتگی - ماهانه
- هوا شناسی، بارندگی، سرعت باد و غیره

اغلب یک محل مناسب برای تاسیسات آبیگری، محل مناسبی برای ایستگاه اندازه‌گیری هیدرومتری استاندارد نیست. بهتر است که داده‌ها مستقیماً با استفاده از روش‌های معمولی در محل تاسیسات آبیگری برداشت شود (این محل نباید در نزدیکی شاخه فرعی رودخانه باشد) و در صورتی که به علت اضطراری بودن طرح، دقت کافی برای تهیه منحنی بده اشل وجود نداشته باشد، اطلاعات لازم را به محاسبه تئوریک منحنی بده اشل محدود کرده و تنها مقطع عرضی و شیب رودخانه را برداشت کرده و ضریب زبری بستر تخمین زده می‌شود. یادآوری می‌شود که برای به‌دست آوردن منحنی بده اشل مناسب، کاربرد روش فوق کافی نیست.

در ضمن معمولاً مطالعه و ثبت تغییرات بده جریان رودخانه در مواقع مختلف سال و در طی سال‌های مختلف لازم است. همچنین لازم است که رقوم سطح آب، محل و زمان برداشت آن ثبت گردد. در این رابطه معمولاً میزان آب قابل استحصال در ترازهای مختلف سطح آب رودخانه مورد مطالعه قرار می‌گیرد و در صورتی که رقوم سطح آب خیلی پایین باشد، ممکن است بند انحرافی جهت بالا بردن سطح آب پیش‌بینی شود.

روش تعیین منحنی بده - اشل رودخانه در مرجع [۱۳] و روش تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه در مرجع [۱۲] معرفی شده است.

### ۲-۱۳-۳- داده‌های بهره‌برداری

در یک طرح انحرافی، هدف آبیگری با بده مشخصی از رودخانه است، بدون این‌که رسوبات زیادی وارد آبیگر شود. بدین منظور لازم است رابطه‌ای بین بده قابل استحصال و جریان رودخانه در مواقع مختلف سال معین شود. کارایی آبیگر بستگی به ظرفیت حمل رسوب در سامانه انتقال و میزان رسوبات وارد شده به آبیگر دارد. در این رابطه عواقب ناشی از ورود رسوب به آبیگر و یا بسته شدن کامل آبیگری در نتیجه انباشته شدن رسوبات در جلوی آبیگر (در داخل رودخانه) باید بررسی شود. همچنین لازم است نتایج ناشی از آبیگری با بده زیاد در مدت چند ساعت و آبیگری با بده کم برای مقادیر مختلف جریان و رقوم سطح آب رودخانه مورد مطالعه قرارگیرد. نتایج حاصل، طراح را قادر می‌سازد با اطلاع از کم و کیف رسوبات حمل شده در جریان آب، تمهیدات لازم برای شستشوی رسوبات و زمان انجام مانورهای لازم برای دریچه‌های رسوب‌شویی را در رابطه با جریان رودخانه پیش‌بینی کند. همچنین باید تاسیسات مربوط به نحوی طرح شود که در صورت لزوم، امکان گسترش طرح برای آبیگری با بده‌های بیش‌تر وجود داشته باشد.

### ۲-۱۳-۴- داده‌های رسوب

برآورد و تخمین بار کف و مشخصات آن در انتخاب رقوم کف آبیگر، رقوم کف مجرای تخلیه رسوبات و رقوم تاج سرریز بند انحرافی مهم است و باید تاسیسات مربوط به نحوی ساخته شود تا مانع ورود لایه پایینی جریان با غلظت رسوب زیاد به آبیگر شود. لازم است دانه‌بندی رسوبات بستر نیز تهیه شود. اندازه‌گیری دقیق بار کف خیلی مشکل است و مقدار تقریبی آن را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلف اندازه‌گیری به‌دست آورد. برای آگاهی از روش‌های فوق به مرجع [۱۰] مراجعه شود.

اطلاع از میزان غلظت بار معلق در رودخانه و دانه‌بندی آن نیز لازم است. تهیه منحنی بده جریان - بده رسوب همراه با تغییرات زمانی آن در دستور کار قرارگیرد. غلظت‌های ثبت شده در نزدیکی محل تاسیسات آبیگری معمولا جهت رسم منحنی‌های غلظت رسوب در رقوم مختلف سطح آب به کار می‌رود نتایج حاصل به‌منظور تعیین میزان رسوبات ورودی به آبیگر در زمان‌های مختلف و با رقوم مختلف تاج سرریز بند انحرافی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به این‌که ایجاد هرگونه تاسیسات آبیگری موجب تغییر یافتن بده جریان، بده رسوب و غلظت رسوب در جریان رودخانه می‌شود، لذا مطالعه مواردی مثل توانایی رودخانه نسبت به شستشوی رسوبات و تاثیر آن در پایین دست رودخانه ضروری است.



# فصل ۳

---

---

روش‌های آبگیری از رودخانه و

مبانی طراحی آنها





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

### ۳-۱ - کلیات

انواع روش‌های آبیگری از رودخانه عبارتند از:

- آبیگری بدون بند انحرافی (آبیگری مستقیم)
- آبیگری با بند انحرافی
- آبیگری همراه با پمپاژ
- آبیگری توسط کف‌ریزها

چنانچه شرایط توپوگرافی و میزان نیاز آبی و شرایط ریخت‌شناسی و غیره اجازه دهد، می‌توان آب را به‌صورت ثقلی منتقل نمود. آبیگری به روش ثقلی به دو نوع بدون استفاده از بند انحرافی و با استفاده از بند انحرافی انجام می‌گیرد. اگر بخواهیم آب به تراز بالاتر از تراز سطح رودخانه منتقل گردد، از آبیگری به روش پمپاژ می‌توان استفاده کرد. در مناطق کوهستانی که از نقطه نظر راه دسترسی و امکانات ساخت در محدودیت بوده از آبیگری توسط کف‌ریزها می‌توان استفاده کرد. در ادامه هر یک از روش‌های فوق تشریح و مبنای طراحی آن ارائه می‌گردد.

### ۳-۲ - آبیگری مستقیم از رودخانه (بدون بند انحرافی)

یکی از ساده‌ترین و متداول‌ترین روش‌های آبیگری از رودخانه که از دیر باز متداول بوده است، آبیگری مستقیم از رودخانه‌ها می‌باشد. این روش در مقایسه با روش‌های دیگر آبیگری مانند بندهای انحرافی و ایستگاه‌های پمپاژ دارای هزینه کم‌تری می‌باشند. موارد اساسی در طراحی این نوع آبیگرها، انتخاب ابعاد و محل آبیگر، زاویه انحراف آبیگری و ارتفاع آستانه<sup>۱</sup> می‌باشد. تمامی این موارد به‌منظور به حداقل رساندن رسوبات ورودی به آبیگر، پایداری موقعیت آن و به‌طور کلی استفاده بهینه از سازه احداث شده می‌باشد. در ادامه پارامترهای مهم در طراحی این آبیگرها شرح داده می‌شود.

### ۳-۲-۱ - اطلاعات لازم جهت طراحی آبیگر مستقیم از رودخانه

اطلاعات لازم به شرح زیر می‌باشد:

- حداکثر و حداقل بده آبیگری در دوره‌های مختلف سال
- حداکثر غلظت رسوب و حداکثر اندازه دانه‌های رسوب که در سامانه آبرسانی مجاز است.
- پیامدها و قابل قبول بودن شکست جزیی و یا کلی سامانه و دوره برگشت آنها.
- محل آبیگر و رقوم آب در کانال آبیگر
- پیش‌بینی برای افزایش تقاضا در آینده
- حداکثر و حداقل سطح آب در رودخانه
- حداکثر و حداقل جریان قابل دسترس



- اطلاعات مربوط به غلظت رسوبات در بده‌های یاد شده و اطلاعات مربوط به میزان کاهش غلظت رسوبات در اثر بالا بردن رقوم کف آستانه آبیگر
- بررسی اثر آبیگری بر روی غلظت رسوب و نحوه توزیع آن

### ۳-۲-۲- ابعاد تاسیسات اصلی

ابعاد سازه‌ها با در نظر گرفتن پارامترهای حداکثر تقاضا و حداقل سطح آب در دوره‌های مختلف سال تعیین می‌گردد. سطح مقطع قسمت ورودی آبیگر بر این اساس انتخاب می‌شود که حداکثر سرعت جریان در محل ورودی دریاچه ۱ تا ۲ متر در ثانیه باشد، البته حداکثر سرعت جریان در دریاچه‌ها و تونل‌های منتهی به نیروگاه می‌تواند بیش‌تر از مقدار فوق باشد.

در موارد زیر باید سرعت جریان ورودی از حداکثر سرعت مجاز بیش‌تر نباشد:

- موقعی که ورودی آبیگر دریاچه‌دار نیست.
  - وقتی که شبکه آشغالگیر در جلوی ورودی آبیگر نصب می‌شود.
  - موقعی که از ورود ماهی‌ها به آبیگر جلوگیری می‌شود.
  - زمانی که لازم است از تلاطم جریان کاسته شود (مثل ایستگاه‌های پمپاژ).
- معمولا آبیگر طوری ساخته می‌شود که رقوم آستانه آن بالاتر از رقوم رودخانه باشد. اختلاف ارتفاع بین آنها باید طوری باشد که از ورود رسوبات به آبیگر جلوگیری کند.

### ۳-۲-۳- اجزای اصلی دهانه آبیگر

به‌طور کلی قسمت‌های مختلف دهانه آبیگر شامل تمام یا بخشی از موارد زیر است:

- دهانه ورودی آبیگر
- آستانه ورودی
- شبکه آشغالگیر
- دریاچه‌ها و تجهیزات مکانیکی وابسته به دریاچه‌ها
- مجاری عبور جریان
- سکوی مانور دریاچه‌ها
- دیوارهای حفاظتی طرفین آبیگر

### ۳-۲-۴- انواع مختلف دهانه آبیگر

انواع مختلف دهانه آبیگر که با توجه به شرایط رژیم رودخانه و میزان آب مورد نیاز طراحی می‌شود، به قرار زیر است:  
 نوع باز: این نوع دهانه آبیگر شامل تعدادی دهانه است که به وسیله دیواره‌هایی از یکدیگر و دو تکیه‌گاه طرفین جدا می‌شوند. جلوی این دهانه‌ها شبکه آشغالگیر و دریاچه‌های قطاعی یا کشویی نصب می‌شود. این قبیل آبیگرها در مواقعی که نوسانات سطح آب



در بالادست کم است، مناسب می‌باشد. مزیت این نوع آبیگر نسبت به سایر انواع دیگر، سهولت در تخلیه مواد رسوبی از جلوی دهانه آبیگر و تعمیرات مربوط می‌باشد.

نوع روزنه‌ای: این نوع دهانه آبیگر شامل یک روزنه مستغرق است که کنترل آن از طریق دریچه‌های قطاعی یا کشویی انجام می‌گیرد. این نوع دهانه برای محل‌هایی که نوسانات سطح آب بسیار زیاد است، توصیه می‌شوند. اما در صورتی که درصد مواد درشت‌دانه موجود در رسوبات زیاد باشد، این نوع دهانه مناسب نخواهد بود، زیرا در این حالت با افزایش عمق آبیگر، غلظت مواد رسوبی افزایش یافته و در نتیجه مقدار بیش‌تری مواد درشت‌دانه وارد دهانه آبیگر می‌شود.

نوع بسته: این نوع دهانه شامل یک مجرای پوشیده در داخل خاکریز، دریچه‌های کنترل واقع در بالادست مجرای مزبور به علاوه سکوی مربوط، پل دسترسی رابط بین بالای خاکریز و سکوی کنترل دریچه‌ها است. البته امکان نصب دریچه در وسط مجرای عبور آب و کنترل آن از روی خاکریز به منظور حذف سکو و پل دسترسی وجود دارد. در این صورت قسمتی از مجرا که در بالادست دریچه قرار دارد، تحت فشار بوده و لذا بروز ترک و شکستگی در قسمت یاد شده، باعث نشست در تاسیسات و وارد آمدن خسارت خواهد شد.

### ۳-۲-۵- آستانه ورودی

استفاده از آستانه در قسمت ورودی آبیگر می‌تواند مانعی برای ورود رسوبات به آبیگر باشد. ارتفاع آستانه متاثر از ضخامت لایه فعال بستر و یا توپوگرافی رسوبات در کف بوده که خود تابع شرایط هیدرولیکی رودخانه و آبیگر است. با توجه به این که در شرایط بده نرمال رودخانه، ارتفاع آستانه براساس ضخامت لایه فعال بستر تعیین می‌شود، بنابراین در اثر عبور جریان بیش‌تر در مواقع سیلابی، قسمت بیش‌تری از رسوبات بستر وارد آبیگر می‌شود. آستانه تا وقتی می‌تواند میزان انحراف رسوب را کاهش دهد که جلوی آن از رسوبات پر نشده باشد، زیرا در غیر این صورت نیمرخ بستر خود را با ارتفاع آستانه تطبیق داده و تاثیر آن از بین خواهد رفت.

مطالعاتی روی مدل هیدرولیکی برای یازده آبیگر توسط تورو (۱۹۷۵) انجام شد و روابط زیر برای ارتفاع آستانه توسط ایشان به دست آمد [۳۹]:

در حالتی که جریان روی آستانه از نوع بحرانی باشد:

$$\frac{z}{h_1} = 1 + \frac{1}{2} F_1^2 - \frac{3}{2} F_1^3 - \frac{h_f}{h_1} \quad (۱-۳)$$

در حالتی که جریان روی آستانه از نوع زیر بحرانی باشد:

$$\frac{z}{h_1} = 1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{\frac{3}{5}} + \frac{1}{2} F_1^2 \left(1 - \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{\frac{-6}{5}}\right) - \frac{h_f}{h_1} \quad (۲-۳)$$

که در این رابطه:

$n_1$  و  $n_2$ : به ترتیب ضریب زبری مانینگ رودخانه و آستانه،  $h_1$ : عمق آب روی بستر اصلی رودخانه،  $h_f$ : افت انرژی در قسمت

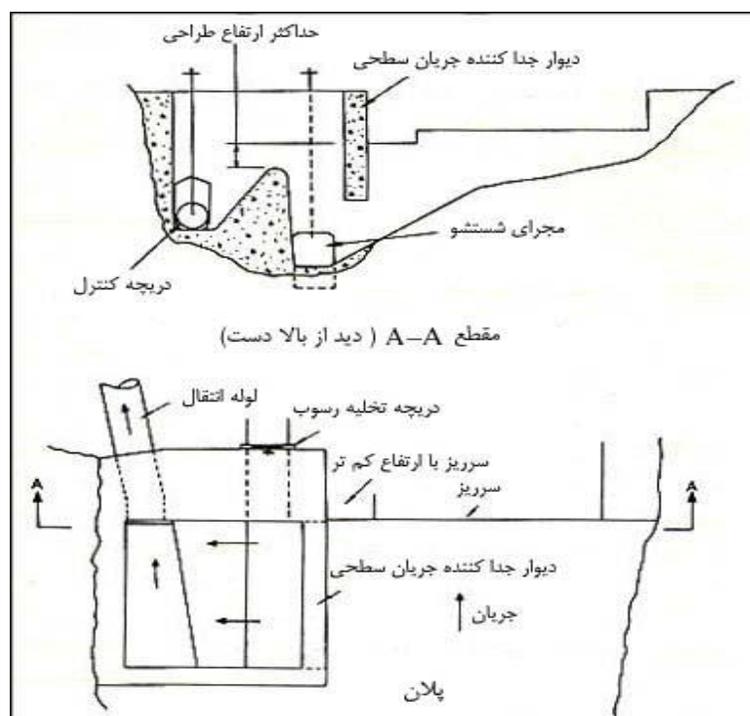
تبدیل از رودخانه تا آستانه،  $z$ : ارتفاع آستانه و  $F_1$  عدد فرود مربوط به مقطع با عمق  $h_1$  می‌باشد.

همچنین نتایج بررسی‌های رضوان (۱۹۸۹) نشان داد که یک ارتفاع کم برای آستانه (به مقدار ۰/۳ تا ۰/۵ متر) برای جلوگیری از ورود رسوبات درشت‌دانه کافی است، ولی برای حالتی که سیلاب به وقوع می‌پیوندد، این ارتفاع کافی نبوده و لازم است ارتفاع آستانه بیش‌تر شود.

حداقل این ارتفاع  $h_s$  برابر است با  $h_s = \frac{1}{3} d_e$  که  $d_e$  اختلاف بین حداکثر تراز سطح سیلاب و تراز بستر رودخانه است [۳۷].

## ۳-۲-۶- شبکه آشغالگیر

جهت جلوگیری از ورود اجسام شناور به آبیگر و همچنین برای دسترسی و تمیز نمودن شبکه‌های آشغالگیر و بلوک‌های کف آبیگر، باید تمهیدات خاصی در نظر گرفته شود. جهت جلوگیری از ورود اجسام شناور به داخل آبیگر می‌توان از شبکه آشغالگیر استفاده کرد. در این شبکه‌ها فواصل میله‌ها بین ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر مناسب می‌باشد. در رودخانه‌هایی که سرعت جریان برای شستشوی شبکه آشغالگیر کافی باشد، شبکه در محل آستانه ورودی نصب می‌شود. معمولاً شبکه‌هایی را که به صورت دستی پاک می‌شوند، در جلوی ورودی اصلی آبیگر نصب می‌کنند. دیوارهای جداکننده جریان سطحی همراه با مجاری شستشوی رسوب نیز با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۱). استفاده از مجاری شستشوی رسوبات با شیب کف ۱ به ۳ همراه با دریچه‌ای در پایین دست آن برای جلوگیری از انسداد آن مناسب هست.



شکل ۳-۱- موقعیت آبیگر (همراه با دیوار جداکننده جریان سطحی و بلوک‌های کف) [۵]

چنانچه دریچه کمی پایین دست سرریز در مجرای تخلیه رسوب قرار داده شود، اطمینان کافی از ایجاد سرعت مناسب جهت شستشوی رسوبات ته‌نشین شده در جلو آن به وجود می‌آید. در صورتی که شبکه آشغالگیر ارتفاع زیادی داشته باشد، می‌توان دریچه‌هایی جهت شستشوی رسوبات ته‌نشین شده در نزدیکی آن تعبیه کرد. اصولاً باید مقدار اجسام شناوری که در پشت شبکه آشغالگیر جمع می‌شود برآورد شود. شبکه‌های آشغالگیری که به طور دستی تمیز می‌شوند، بیش‌تر در آبیگرهای کم عمق، تقریباً تا عمق ۵ متری مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مواردی که مواد گیاهی زیادی در شبکه آشغالگیر جمع می‌شود، می‌توان از چنگک‌های مکانیکی استفاده نمود. این چنگک‌ها به طور اتوماتیک براساس فواصل زمانی مشخص و یا براساس تغییرات رقوم سطح آب به کار می‌افتند.

وقتی اجسام شناور به صورت دائمی، مقدار آن قابل ملاحظه و تغییرات سطح آب کم باشد، از شبکه آشغالگیر استوانه‌ای و اگر این تغییرات زیاد باشد از شبکه آشغالگیر نواری استفاده می‌شود. تمیز کردن هر دو نوع می‌تواند به صورت خودکار انجام شود، ولی خارج نمودن مواد جمع شده در جلوی آشغالگیر معمولاً به طور دستی انجام می‌شود.

در مواردی ممکن است از آشغالگیر استفاده نشود. در این حالت لازم است استفاده‌کنندگان تمهیداتی را برای جداسازی اجسام شناور در پایین دست آبیگر پیش‌بینی نمایند. در مناطق سرد، وجود یخ مشکلات خاصی به وجود می‌آورد و ممکن است توده‌های یخ در جلو شبکه آشغالگیر جمع شده و باعث بسته شدن کامل آن شوند. همچنین لایه‌های ضخیم یخ ممکن است فشار قابل ملاحظه‌ای را به دیوارهای عمودی تاسیسات اعمال کند. در این گونه موارد دیوارها را به صورت شیب‌دار طرح می‌کنند و در نتیجه فشار ناشی از یخ به طرف بالا اعمال می‌شود. در مواقعی که یخ‌ها آب می‌شود، وقوع جریان‌های سنگین یخی در رودخانه ممکن است باعث به وجود آمدن خطراتی برای تاسیسات آبیگر باشد. در این حالت موقعیت و هندسه سازه‌ها باید به نحوی باشد تا سبب کاهش خطرات ناشی از حرکت یخ گردد.

### ۳-۲-۷- توصیه‌های مربوط به شکل هندسی تاسیسات

دیوارها و کف قسمت ورودی آبیگر، باید طوری طرح شوند تا مانع ایجاد تلاطم زیاد و جدا شدن خطوط جریان از آنها شود. استفاده از دیوارهای انحنا دار و پایه‌های گرد موجب کم شدن تلاطم جریان می‌شود. جلوگیری از جدا شدن خطوط جریان از مرزها، مشکل اصلی طرح می‌باشد. یک قاعده عملی برای ایجاد انحنا در کانال‌ها، استفاده از شعاعی معادل حداقل  $2/5$  برابر عرض سطح آب در محور وسطی کانال می‌باشد. البته ممکن است شعاع‌های به این بزرگی در مدخل آبیگر به سختی قابل طرح و اجرا شدن باشد. در عمل، انحنای دیوار داخلی را براساس وجود فضای کافی انتخاب می‌کنند. شعاع گردش‌دهی پایه‌ها در حدود  $0/2$  عرض کانال انتخاب می‌شود. جهت توزیع یکنواخت جریان آب در جلوی آبیگر، از بلوک‌های کف<sup>۱</sup> با زاویه مناسب نسبت به جریان و همچنین از دیوارهای عمودی می‌توان استفاده کرد. باید از به وجود آمدن محل‌هایی که موجب برگشت آب، راکد شدن جریان و رسوب‌گذاری می‌شود، جلوگیری کرد. در نهایت اضافه می‌شود که بهترین راه برای اطمینان از عملکرد خوب تاسیسات در آبیگرهای بزرگ استفاده از مدل‌های هیدرولیکی می‌باشد.

### ۳-۲-۸- کنترل ماهی‌ها

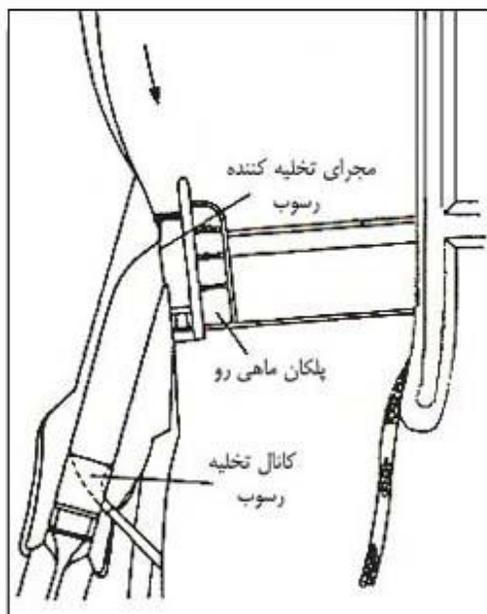
ورود ماهی‌ها به تاسیسات آبیگری موجب از بین رفتن آنها می‌شود. روش‌های مختلفی برای جلوگیری از ورود ماهی‌ها به تاسیسات آبیگر وجود دارد که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود:

- همراه با شبکه آشغالگیر اصلی، شبکه ریزتر (توری فلزی) به کار رود. شبکه اصلی مانع ورود اجسام شناور شده و در نتیجه شبکه ریزتر را محافظت می‌کند. شبکه ریزتر نسبت به اجسام شناور خیلی حساس بوده و سریع بسته می‌شود و ممکن است برای تمیز نمودن آنها از وسایل مکانیکی و غیره استفاده شود. لازم است سرعت جریان در نزدیکی شبکه‌ها خیلی زیاد نباشد تا از گیر افتادن ماهی‌ها جلوگیری به عمل آید. حداکثر سرعت قابل قبول حدود  $0/5$  متر در ثانیه می‌باشد. ابعاد منافذ شبکه برای حفاظت ماهی‌های کوچک حدود ۴ میلی متر انتخاب می‌شود. وقتی که شبکه آشغالگیر از مسیر اصلی

رودخانه فاصله داشته باشند، باید تاسیسات به نحوی طراحی شوند تا ماهی‌های وارد شده به آبیگر راه برگشت به رودخانه اصلی را داشته باشند.

- معمولا یک محفظه عمودی ایجاد می‌شود که به کانال ماهی‌رو و سپس به پایین دست رودخانه منتهی می‌شود. سرعت جریان در ورودی محفظه حدود ۰/۷ تا ۱/۲ متر در ثانیه در نظر گرفته می‌شود.
  - با استفاده از جریان برق و هدایت ماهی‌ها به مسیری مشخص، می‌توان از ورود آنها به آبیگر جلوگیری کرد. در این حالت نیز باید سرعت جریان زیاد نباشد، چون امکان ورود ماهی‌ها به داخل آبیگر وجود دارد.
- مقادیر اشاره شده فوق برای سرعت جریان فقط به عنوان یک راهنمایی کلی می‌باشد و باید در هر مورد از طریق مشورت طراح و ماهیگیران محل تعیین شود.

در رودخانه‌هایی که سدهای مخزنی یا انحرافی ساخته می‌شود، به علت قطع شدن ارتباط بین بالادست و پایین دست رودخانه مهاجرت ماهی‌ها مختل می‌گردد. معمولا ماهی‌ها در شروع زمستان جهت رسیدن به آب‌های گرم‌تر به پایین دست رودخانه و در بهار جهت دست یافتن به آب‌های صاف‌تر به منظور تخم‌ریزی به بالادست مهاجرت می‌کنند. در محل سد جهت ارتباط دادن پایین‌دست و بالادست رودخانه از تمهیدات مختلفی استفاده می‌کنند که ساده‌ترین آنها پلکان ماهی‌رو می‌باشد. پلکان ماهی‌رو معمولا در نزدیکی مجرای تخلیه رسوب ساخته می‌شود. نمونه‌ای از این‌گونه تاسیسات در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.



شکل ۳-۲- پلکان ماهی‌رو در جلوی آبیگر [۵]

با توجه به این‌که اکثر ماهی‌ها در سرعت‌های بیش‌تر از ۳ متر در ثانیه نمی‌توانند به بالادست حرکت کنند، سعی شود سرعت عبور جریان در پلکان ماهی‌رو حدود ۳ متر در ثانیه باشد. جهت تسهیل در مهاجرت ماهی‌ها، معمولا شیب طولی پلکان ماهی‌رو را ۱۰:۱ در نظر می‌گیرند. هرچند شیب‌هایی تا ۱:۷ نیز در بعضی طرح‌ها به کار رفته است.



### ۳-۳- آبیگری با استفاده از بند انحرافی

چنانچه تراز طبیعی رودخانه در محل انحراف پایین‌تر از زمین‌های اطراف باشد و یا سطح آب در رودخانه دارای نوسانات شدید باشد، آبیگری با استفاده از بند انحرافی انجام می‌شود. همچنین در مواردی که قسمت زیادی از آب یک رودخانه یا نهر برای آبیگری در نظر گرفته می‌شود، با استفاده از یک بند انحرافی می‌توان آب مورد نیاز را برداشت نمود.

معمولا سه گروه زیر در این دسته قرار می‌گیرند:

- آبیگر کوچک
- آبیگر معمولی
- آبیگر بسیار بزرگ

#### ۳-۳-۱- آبیگر کوچک

یک آبیگر هنگامی کوچک محسوب می‌شود که نرخ انحراف  $K_D''' = Q_D / Q_{sf} < 1$  باشد. ویژگی‌های این نوع آبیگر به قرار زیر است [۳۷]:

- بده طراحی در حدود چند صد لیتر بر ثانیه است.
- رودخانه‌های مورد نظر کوچک و مساحت حوضه آبریز آنها در حدود چند صد کیلومتر مربع است.
- مصرف‌کنندگان در این‌گونه پروژه‌ها، شهرهای کوچک با ۲۰۰ تا ۳۰۰ هزار نفر جمعیت، تاسیسات صنعتی کوچک و مناطق کشاورزی با وسعت ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ هکتار می‌باشند.

#### ۳-۳-۱-۱- اجزای آبیگر کوچک

در این نوع آبیگری، اجزای زیر در نظر گرفته می‌شوند:

##### الف- بند انحرافی کوتاه

بند انحرافی علاوه بر تامین عمق لازم برای جریان در ورودی آبیگر، باید سیلاب‌های طرح را نیز از خود عبور دهد. برای آبیگرهای کوچک، ارتفاع بند انحرافی معمولا از ۲ متر تجاوز نمی‌کند. مهم‌ترین قسمت یک بند انحرافی، سرریز اوجی بتنی وزنی می‌باشد که تراز تاج آن برابر تراز سطح نرمال آب می‌باشد. تراز تاج سرریز معمولا حدود ۱ تا ۱/۵ متر بالاتر از آستانه آبیگر می‌باشد. عرض این سرریز بستگی به بده اوج سیلاب دارد و معمولا با عرض آبراهه اصلی برابر است. همچنین در پنجه پایین دست سرریز، مستهلک‌کننده انرژی محسوب می‌شود.



### ب- مجرای رسوب‌شوی<sup>۱</sup> (مجرای تخلیه رسوب - دریچه‌های رسوب‌بر)

در اغلب بندهای انحرافی لازم است به منظور کاهش میزان بار رسوب ورودی به تاسیسات آبیگر، مجرای تخلیه رسوب نیز احداث گردد. به همین جهت بهتر است که مجرای تخلیه رسوب هر چه نزدیک‌تر به آبیگر ساخته شود. مجرای تخلیه رسوب به‌گونه‌ای ساخته می‌شود که جریان آب در آن تقریباً موازی جریان آب از روی بند انحرافی باشد. عرض مجرای تخلیه رسوب معمولاً برابر عرض آبیگر است. برای انعطاف‌پذیری و ایمنی در بهره‌برداری بهتر است عرض مجرا به دو بخش تقسیم و هر بخش دارای دریچه مستقل باشد.

رقوم تاج مجرای تخلیه رسوب معمولاً هم سطح کف رودخانه در نظر گرفته می‌شود و لازم است حداقل ۰/۲ تا ۰/۹ متر طبق معیار USBR پایین‌تر از تراز آستانه آبیگر باشد. چون تراز آستانه آبیگر نسبت به تراز تاج دریچه‌های رسوب‌شوی بالاتر است، تنها آب زلال وارد کانال آبیگر شده و رسوبات در کف مجرای تخلیه رسوب ته‌نشین می‌گردد. رسوبات ته‌نشین شده در مجرای تخلیه رسوب را می‌توان به طور متناوب با باز کردن دریچه‌های رسوب‌بر، به پایین‌دست رودخانه منتقل نمود [۱۶].

به‌طور کلی در بندهای انحرافی، مجرای رسوب‌شوی برای نیل به اهداف زیر منظور می‌گردد:

- کنترل سرعت آبیگری اولیه مخزن با توجه به جریان ورودی
- تخلیه سریع مخزن در شرایط اضطراری
- پایین آوردن سطح آب مخزن به‌منظور تعمیرات احتمالی دیواره‌ها، آشغالگیر، آبیگر و...
- تخلیه هیدرولیکی رسوبات پشت بند انحرافی
- تامین آب مصرفی پایین دست در موارد خشکسالی
- کنترل جریان در پایین دست
- کمک به سرریز به‌منظور تخلیه سیلاب

### ج- دیوار جداکننده

دیوار جداکننده معمولاً به‌طور عمود بر بند انحرافی ساخته می‌شود و قسمت اصلی بند انحرافی را از مجرای تخلیه رسوب جدا می‌کند. دیوار جداکننده در قسمت بالادست تا ابتدای ورودی آبیگر و در پایین دست تا انتهای پوشش محافظ مجرای تخلیه رسوب ادامه می‌یابد. تاج این قسمت در تراز پایین‌تری نسبت به تاج بند انحرافی قرار می‌گیرد. وظایف اصلی دیوار جداکننده عبارت است از:

- جداکردن مجرای تخلیه رسوب از قسمت سرریز
- کمک به ایجاد حوضچه‌ای با تلاطم کم‌تر در نزدیکی دهانه آبیگر و در نتیجه رسوب‌گذاری در این ناحیه و ورود آب زلال به درون آبیگر

دیوارهای جداکننده را می‌توان همانند دیوارهای حایل که تحت اثر فشار رسوب و آب که از ناحیه مجرای تخلیه رسوب به آنها وارد می‌شود، طراحی کرد.



## د- خاکریز

برای جلوگیری از طغیان جریان در مواقع سیلابی و قرارگرفتن بند انحرافی در زیر آب، محدوده مورد نظر در اطراف بند انحرافی را با کمک خاکریز می‌توان محافظت نمود.

## ه- دهانه آبیگر

دهانه یا ورودی آبیگر بالاتر از کف آبراهه اصلی بوده و به وسیله آشغالگیر محافظت می‌شود. در صورتی که رسوبات ریزدانه امکان ورود به آبیگر را داشته باشند می‌توان از حوضچه رسوبگیر در داخل آبیگر استفاده کرد. دهانه ورودی آبیگر در این نوع آبیگرها در محدوده  $(0.5-0.8)m$  بالاتر از کف رودخانه قرار می‌گیرد. در دوره پرابی سطح آب بالا آمده و ممکن است ورودی آبیگر با جریان‌های تحتانی که رسوبات زیادی دارند، تغذیه شود. برای جلوگیری از این مساله می‌توان یکی از دو روش زیر را به کار برد [۳۷]

- تعبیه ورودی‌های مختلف در ترازهای متفاوت برای آبیگری در شرایط متغیر سطح آب
- ساخت یک ورودی بزرگ برای آبیگر که از پایین‌ترین تا بالاترین تراز سطح آب را دربرگیرد تا در مواقع بالا آمدن سطح آب با استفاده از تیرک‌های مسدود کننده دهانه ورودی بالا آورده شود.
- در این نوع آبیگرها، در بالادست بند انحرافی، رسوب‌گذاری اجتناب ناپذیر است، ولی اثرات ریخت‌شناسی آنها نیز کم خواهد بود. با این همه آبستستگی موضعی در پایین دست بند انحرافی وجود خواهد داشت. به منظور محافظت سازه در مقابل این اثرات لازم است تمهیدات لازم پیش‌بینی گردد نظیر:
- در نظر گرفتن یک مجرای خروجی با عرض کافی برای جریان پایه که در مواقع افزایش بده رودخانه بتوان از آن برای تخلیه بده اضافی نیز استفاده کرد.
- عمیق کردن پی سازه‌ها برای محافظت در برابر آبستستگی موضعی
- مقاوم‌سازی بستر پایین دست با پوشش‌های حفاظتی

## ۳-۱-۲- ضوابط طراحی

در طراحی هیدرولیکی این نوع آبیگرها موارد زیر باید مشخص شوند:

- تراز نرمال و حداکثر جریان
- ابعاد اصلی سازه‌های مهم نظیر ورودی آبیگر، طول تاج سرریز، ابعاد مجرای تخلیه رسوب و ابعاد دریچه‌های رسوب‌بر
- روش‌های حفاظتی بالادست و پایین دست بند انحرافی

در این آبیگرها از رابطه  $A_e = \frac{Q_D}{V_D}$  برای طراحی ابعاد ورودی آبیگر استفاده می‌شود ( $A_e$  سطح مقطع جریان در دهانه آبیگر است).



### ۳-۳-۲- آبیگر معمولی

در این نوع آبیگر بده طراحی جهت آبیگر  $Q_D$  در محدوده ذیل می‌باشد:

$$Q_{rmin} < Q_D < Q_{bl} \quad (3-3)$$

که در این رابطه:

$Q_{rmin}$ : بده حداقل رودخانه

$Q_{bl}$ : بده مورد نیاز برای شروع حرکت بار بستر در رودخانه

$Q_D$ : بده آبیگر

مصرف کنندگان در این گونه آبیگرها شامل شهرهای بزرگ، نواحی صنعتی به ویژه سامانه‌های خنک کننده در نیروگاه‌های حرارتی و اتمی و اراضی وسیع کشاورزی می‌باشند. این مصرف کنندگان نیاز به آب کاملاً مطمئن و دائمی دارند و هرگونه اختلال در آبرسانی زیان‌های سنگینی را به وجود می‌آورد. در این آبیگرها رودخانه‌ها نسبتاً بزرگ بوده و مساحت حوضه آبریز آنها در حدود چند هزار کیلومتر مربع می‌باشد. سواحل رودخانه عموماً مناطق توسعه یافته و مراکز جمعیتی است و به تغییرات رژیم رودخانه بسیار حساس می‌باشد.

### ۳-۳-۱- اجزای آبیگر معمولی

این نوع آبیگر شامل اجزای زیر است:

#### الف- دهانه آبیگر

در این نوع آبیگر نیز عملکرد و ویژگی‌های دهانه آبیگر مشابه آبیگرهای کوچک است.

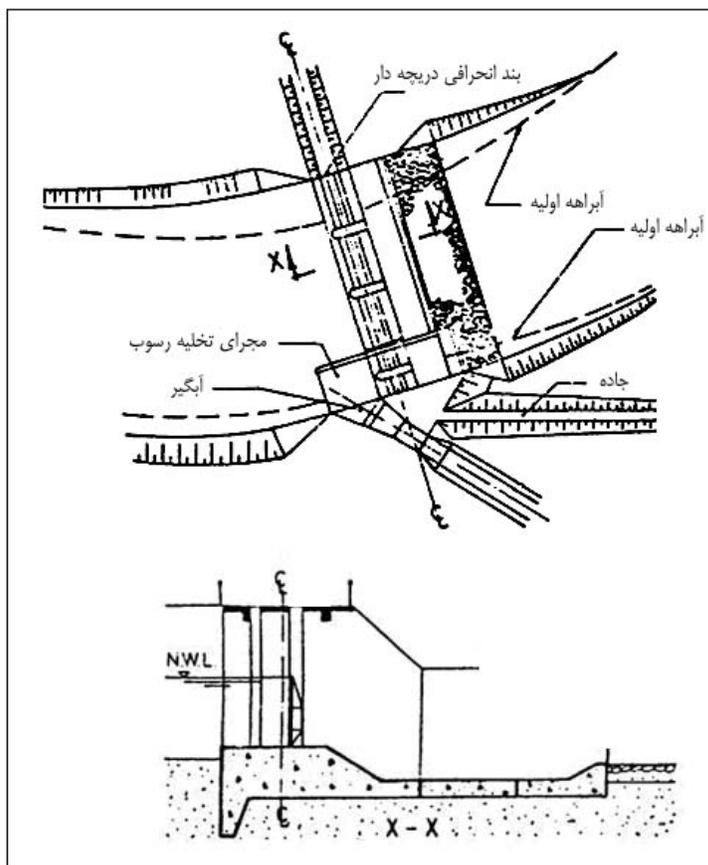
#### ب- بند انحرافی

بند انحرافی در این گونه آبیگرها اختلاف کلی با آبیگرها کوچک دارد. در این حالت به جای سرریز بدون کنترل و مجرای خروجی باریک، بند انحرافی معمولاً از نوع دریچه‌دار است. ارتفاع آستانه بتنی بند انحرافی کم بوده و تراز آن بالاتر از بستر رودخانه در نظر گرفته می‌شود (مقطع x-x شکل ۳-۳).

بندهای انحرافی دریچه‌دار خیلی پرهزینه‌تر از بندهای انحرافی بدون دریچه هستند، اما به این علت که بندهای دریچه‌دار امکان عبور سیلاب را با کمترین پس‌زدگی فراهم می‌کنند و رسوب‌گذاری در بالادست آن کم‌تر می‌باشد، بنابراین معمولاً از این نوع بندها در آبیگرهای معمولی استفاده می‌شود.

طول دریچه‌ها با توجه به هزینه و مقدار برگشت یا پس‌زدگی آب<sup>۱</sup> در بالادست تعیین می‌شود. باید حالتی بهینه که در آن هم هزینه و هم میزان پس‌زدگی آب در بالادست کم‌تر است، انتخاب گردد. به‌طور کلی طول بند انحرافی دریچه‌دار کم‌تر از عرض آبراهه اصلی رودخانه در نظر گرفته می‌شود.





شکل ۳-۳- جانمایی اولیه برای آبراهه‌های معمولی [۳۷]

طول قسمت دریچه‌دار بند انحرافی طوری انتخاب می‌شود که دریچه توانایی عبور جریان برای حرکت بار بستر  $Q_{b1}$  را، بدون افزایش تراز نرمال جریان، داشته باشد. در طراحی معمولاً قسمت باقی‌مانده از عرض رودخانه با یکی از روش‌های زیر مسدود می‌گردد:

- بازگذاشتن قسمتی از مقطع سیلابی آبراهه جهت عبور دادن قسمتی از بده سیل
- مسدود کردن مقطع سیلابدشت با خاکریز یا دیوار هادی و خارج نمودن سیل از طریق دریچه‌ها (شکل ۳-۴-الف و ب)
- مسدود کردن مقطع سیلابدشت با سرریز کمکی که تاج آن در تراز نرمال سطح آب قرارگیرد (شکل ۳-۴-پ)
- ترکیبی از سه روش یاد شده

برای انتخاب روش‌های فوق می‌توان از معیارهای زیر استفاده نمود:

- تفاضل بین تراز حداکثر جریان و تراز نرمال آب
- تفاضل بین  $Q_{rmax}$  و  $Q_{b1}$

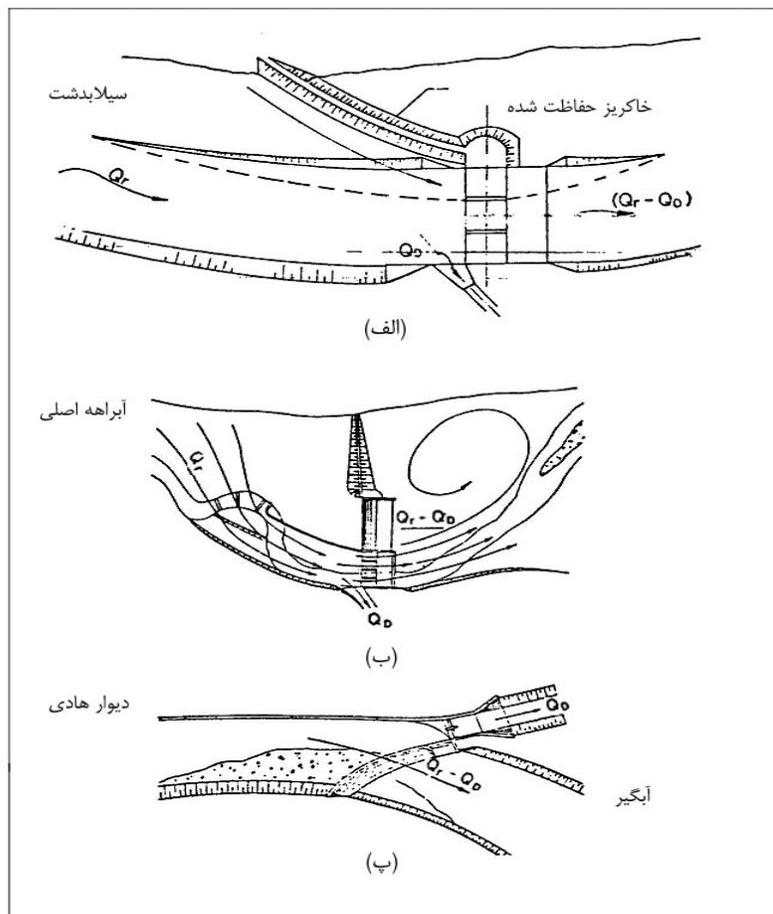
- اهمیت آبراهه در انتقال سیل

- پایداری آبراهه در هنگام وقوع سیل و هزینه عملیات حفاظتی

- وجود تقاطع بین جاده و رودخانه در محل انحراف



- ارزش املاک و تاسیسات موجود در بالادست و محدوده بالا آمدگی آب در پشت بند انحرافی به عنوان یک بررسی اولیه و انتخاب یکی از گزینه‌های ۱ تا ۴ می‌توان از جدول (۳-۱) بهره جست.



الف-خاکریز، ب- دیوار هادی و پ- سرریز کمکی بدون کنترل [۳۷]

شکل ۳-۴- مسدود کردن سیلابدشت

جدول ۳-۱- معیارهای انتخاب برای بررسی اولیه [۳۷]

گزینه	الف	ب	ج	د	ه	و
۱	$< 0.1m$	کوچک	کوچک	بی‌تاثیر	خیر	کم
۲	$1/0 - 1/5$	-	-	-	بله	کم
۳	$> 1/5$	بزرگ	بزرگ	-	خیر	زیاد
۴	$> 1/5$	بزرگ	بی‌تاثیر	-	بله	زیاد

انتخاب طرح نهایی براساس مقایسه گزینه‌های مختلفی که برای ترازهای متفاوت جریان و همچنین ابعاد مختلف دریچه‌ها طراحی شده‌اند انجام می‌شود. برای جلوگیری از ناپایداری و چند شاخه شدن مجرای بالادست در آبراهه‌های عریض، گزینه‌های زیر را نیز می‌توان در نظر گرفت (شکل ۳-۴):

- ساخت یک خاکریز انحنادار و غیرمستغرق بین تکیه‌گاه کناری بند انحرافی و دیوار رودخانه با شیب‌های محافظت شده.
- بند انحرافی مستقیم همراه با دیواره هادی به طوری که شکل آن در پلان به خطوط جریان نزدیک باشد.
- بند انحرافی منحنی شکل در پلان که به صورت سرریز بدون کنترل ساخته شده و دارای مجرای خروجی باشد. سرریز منحنی شکل باعث تشدید جریان حلزونی می‌شود. در این حالت کارایی دریچه‌ها زیاده‌تر می‌باشد، اما دریچه‌ها در معرض ضربه و فرسایش ناشی از رسوبات درشت‌دانه قرار می‌گیرند که باید برای چنین وضعیتی طراحی شوند.

### ۳-۲-۲- ضوابط طراحی

#### الف- ابعاد ورودی آبیگر

تعیین ابعاد ورودی آبیگر از پارامترهای مهم در طراحی است. با به دست آمدن ابعاد ورودی، شکل تبدیل مقطع از ورودی آبیگر به ورودی کانال طراحی می‌شود. طراحی ابعاد این آبیگرها با توجه به موارد زیر انجام می‌شود [۳۷]:

- سازه آبیگر مثل یک سرریز لبه پهن و با استفاده از روابط پیوستگی، ممتوم و برنولی طراحی می‌شود (شکل ۳-۵).
- بین ارتفاع آستانه ورودی  $hs$  و عمق آب در جلوی آبیگر  $d_1$  رابطه زیر برقرار است:

$$hs = \frac{1}{3} d_1 \quad (۳-۴)$$

- از تغییرات سطح آب داخل آبیگر در تخمین اولیه صرف نظر می‌شود.

عرض کانال آبیگر  $W_c$  برحسب نسبت  $\frac{W_c}{W_2}$  بیان می‌شود. ( $W_2 =$  عرض آبراهه اصلی است). به کمک این فرضیات سامانه معادلات قابل حل خواهد بود.

#### ب- طول قسمت دریچه‌دار بند انحرافی

قسمت دریچه‌دار بند انحرافی باید بده‌های اوج با احتمال وقوع بالا را بدون تغییر زیاد در تراز نرمال آب عبور دهد. این قسمت نیز همانند سرریز لبه پهن ساخته می‌شود (شکل ۳-۵).

جهت به دست آوردن ابعاد دریچه از روابطی نظیر پیوستگی و برنولی استفاده می‌شود.

$$Q_{ff} = q_{gs} \cdot W_{gs} \quad (۳-۵) \text{ رابطه پیوستگی:}$$

که در این رابطه:

$Q_{ff}$ : بده جریان عبوری از قسمت دریچه‌دار بند،  $W_{gs}$ : عرض قسمت دریچه‌دار و  $q_{gs}$  بده عبوری در واحد عرض قسمت

دریچه‌دار است. برای  $q_{gs}$  داریم:

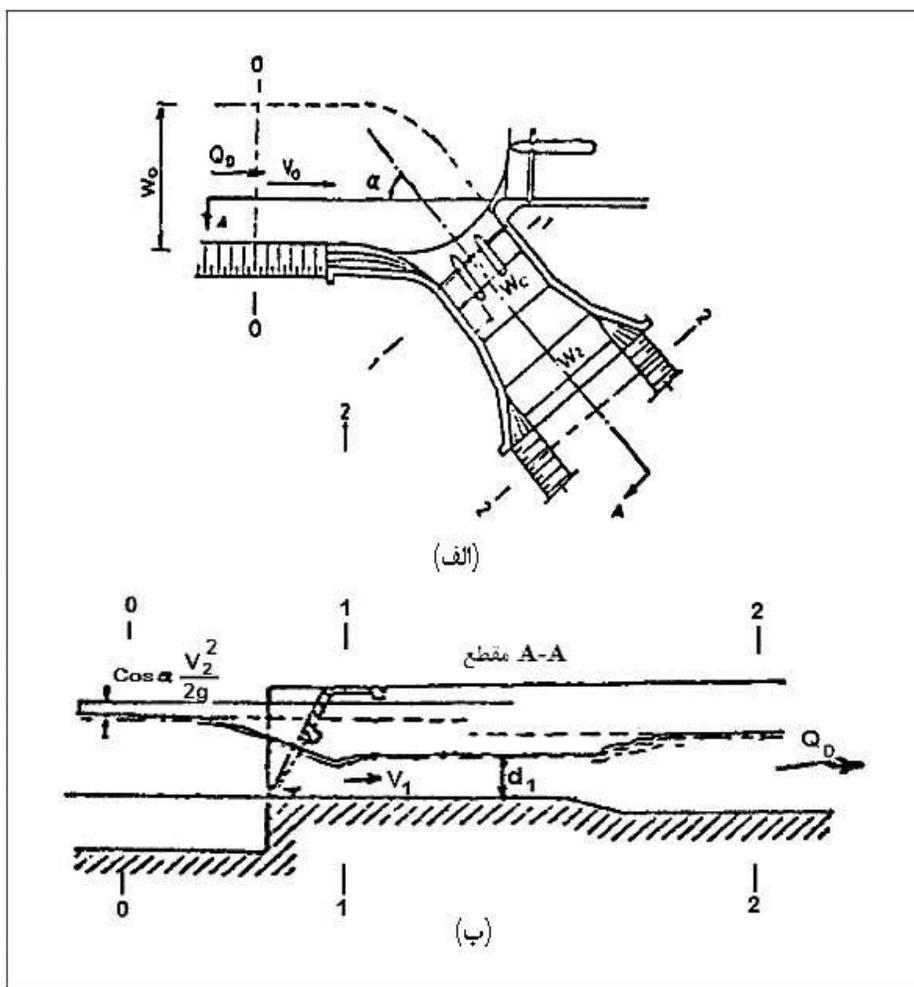
$$q_{gs} = K_{bc} \cdot d_1 \cdot Z_o^{0.5} \quad (۳-۶)$$

$$q_{gs} = K \cdot d_1 \quad (۳-۷)$$

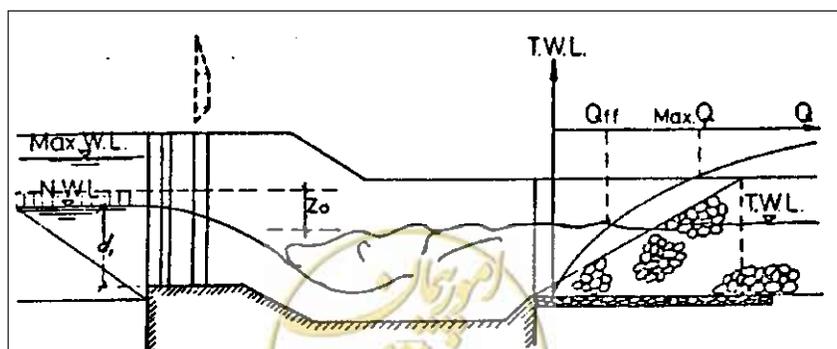
که در این روابط:



$d_1$ : عمق جریان در بالادست دریچه نسبت به تاج سرریز،  $Z_0$ : اختلاف بین تراز جریان در بالادست و تراز پایاب به علاوه ارتفاع نظیر سرعت جریان در آبراهه (شکل ۳-۶)،  $K_{bc}$ : ضریب تخلیه و  $K = K_{bc} Z_0^{0.5}$ .



شکل ۳-۵- طراحی هیدرولیکی آبریزی الف- پلان، ب- مقطع طولی از محل انحراف [۳۷]



شکل ۳-۶- نمادها و طرح مربوط به محاسبه طول بند انحرافی

در روابط فوق  $q_{gs}$  و  $W_{gs}$  مجهول می‌باشند. در طراحی برای هر تراز نرمال آب  $NWL$ ، جواب‌های مختلفی برای عرض آبرگیر و عرض قسمت دریچه‌دار به دست می‌آید که همگی ضوابط طراحی هیدرولیکی را برآورده می‌کنند. اما طراحی نهایی با توجه به عرض پایدار آبراهه و کمینه کردن هزینه‌ها انجام می‌شود. عرض آبراهه و عرض قسمت دریچه‌دار را می‌توان به کمک رابطه زیر به هم ربط داد. در این رابطه فرض بر این است که عرض آبراهه می‌کنند کاملاً توسط سرریز مسدود شده باشد.

$$W_{ac} = W_w = W_{gs} + (n-1)W_p \quad (۸-۳)$$

که در این رابطه:

$W_{ac}$ : عرض آبراهه

$W_w$ : طول تاج سرریز

$W_{gs}$ : عرض قسمت دریچه‌دار

$W_p$ : ضخامت پایه‌های بین دو دریچه

$n$ : تعداد پایه‌ها

کمینه کردن هزینه طرح پیچیده است و برای این منظور موارد زیر در نظر گرفته می‌شود:

- تعیین مقادیر مختلف برای تراز نرمال آب
  - محاسبه ابعاد سازه‌ها در جانمایی اولیه برای هر تراز نرمال آب
  - برآورد هزینه‌های مربوط
- از بین گزینه‌های مختلف، گزینه‌ای که دارای کم‌ترین هزینه باشد انتخاب می‌گردد. در مقایسه گزینه‌های مختلف برخی جوانب مهم طرح نیز باید در نظر گرفته شود، از جمله:
- هزینه جابجایی تاسیسات عمومی (که در معرض بالا آمدگی آب قرار می‌گیرند) مانند جاده‌ها، خطوط راه‌آهن و خطوط تلفن
  - هزینه سرریز، خاکریزها و عملیات ساماندهی
  - هزینه حوضچه آرامش و سایر عملیات مربوط به حفاظت آبراهه

### ج- ارتفاع فوقانی سازه‌ها و حداکثر تراز آب

این مرحله از طراحی براساس مقادیر محاسبه شده تراز نرمال آب و عرض بخش دریچه‌دار بند انحرافی استوار است. سایر داده‌های مورد نیاز عبارتند از:

- حداکثر بده سیل طراحی  $Q_{max}$
- هندسه آبراهه رودخانه در منطقه بالادست سد
- تراز فوقانی سازه‌ها با افزودن ارتفاع آزاد به ارتفاع حداکثر آب به دست می‌آید. حداکثر تراز پایاب نیز به شرایط پایین دست و نحوه تخلیه جریان بستگی دارد و دو حالت برای آن می‌توان در نظر داشت.
- تمام سیل از بخش دریچه‌دار عبور کند.



- سیل علاوه بر بخش دریاچه‌دار از سرریز کمکی نیز عبور کند.

برای هر دو حالت به کمک معادلات برنولی و پیوستگی روابطی ضمنی به دست می‌آید که باید با سعی و خطا حل شوند. در این حالت با فرض روابطی بین پارامترهای مجهول و حل معادلات برای مقادیر مختلف تراز نرمال آب، مقدار مناسب به دست خواهد آمد.

### ۳-۳-۳- آبیگر بسیار بزرگ

یک آبیگر بسیار بزرگ براساس نرخ انحراف با رابطه زیر مشخص می‌شود:

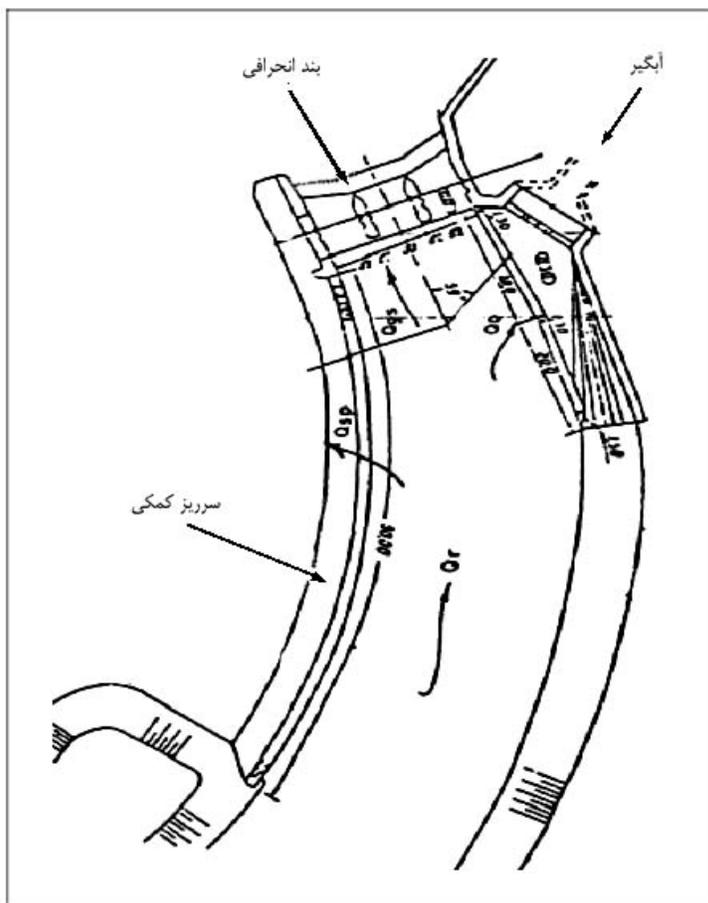
$$K_D'' = \frac{Q_D}{Q_{bi}} \geq 0.5 - 1 \quad (9-3)$$

مفهوم این رابطه این است که بده آبیگر بیش‌تر از بده جریان مورد نیاز برای آستانه حرکت بار بستر در محل انحراف می‌باشد. این حالت شرایط سختی را برای بهره‌برداری از آبیگر به وجود می‌آورد چون در اکثر اوقات سال  $Q_r - Q_D < Q_{bi}$  است، لذا بده جریان رودخانه پس از آبیگر  $(Q_r - Q_D)$  برای انتقال بار بستر کافی نخواهد بود به ویژه اگر بار بستر رودخانه زیاد باشد. در این نوع آبیگرها معمولاً در بالادست آبیگر، یک آبراهه همگرا در جهت جریان به صورتی که عرض آن در محل آبیگر ۲ تا ۳ برابر کوچک‌تر از عرض آبراهه اصلی باشد ایجاد می‌شود.

### ۳-۳-۳-۱- اجزای آبیگرهای بسیار بزرگ

در رودخانه‌هایی که این نوع آبیگر از آن منشعب می‌شود، در فصول خشک، مقدار جریان قابل توجه است. در فصول بارانی، دوره سیلابی چند ماهه در این رودخانه‌ها دیده می‌شود. قدرت انتقال آنها در زمان سیلابی قابل ملاحظه می‌باشد و میزان آب منحرف شده در این رودخانه‌ها در حدود ده‌ها متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. در این گونه آبیگرها، جانمایی اولیه با توجه به موارد زیر انجام می‌شود (شکل ۳-۷).

- ورودی آبیگر باید به اندازه کافی (در حدود ده‌ها متر) بزرگ باشد تا بتواند بده مورد نظر را عبور دهد. در چنین حالتی وجود مجرای تخلیه در بند انحرافی لزومی نداشته و بند انحرافی دریاچه‌دار به تنهایی قادر است وظیفه مجرای خروجی را نیز انجام دهد.
- بند انحرافی دریاچه‌دار از چند قسمت تشکیل شده است که هر قسمت با یک پایه از قسمت دیگر جدا شده و با یک دریاچه که عموماً دریاچه قطاعی می‌باشد پوشیده شده است. زاویه بین محور بند انحرافی و ورودی آبیگر در حدود ۹۰ تا ۱۲۰ درجه است.
- قسمت پایین دست بند انحرافی در برابر سرعت‌های زیاد جریان (بده در واحد عرض بیش از ۳ تا ۴ برابر بده در واحد عرض اولیه می‌باشد) محافظت گردد.
- اگر مقدار رسوب در مواقع سیلابی زیاد باشد رسوب ته‌نشین شده در پشت بند انحرافی به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. در این حالت طرح اولیه را در صورت امکان می‌توان با افزودن یک سرریز در بخش محدب خاکریز و در طرف مقابل آبیگر به طوری که تراز تاج آن تراز نرمال باشد اصلاح کرد. طول تاج آن باید به اندازه‌ای باشد که بتواند ۲۵ تا ۳۰ درصد بده اوج سیل را از خود عبور دهد که به همراه آن بخش عمده‌ای از رسوبات نیز خارج خواهد شد [۳۷].



شکل ۳-۷- جانمایی اولیه برای نرخ انحراف بسیار زیاد از رودخانه‌ای با رسوب زیاد با استفاده از بند انحرافی دریاچه‌دار و سرریز کمکی

### ۳-۳-۲- ضوابط طراحی

طرح اولیه با پارامترهای زیر تعریف می‌شود:

- عرض ورودی آبیگر و تراز نرمال جریان
- ابعاد خروجی‌های بند انحرافی
- عرض آبراهه بالا دست بند انحرافی
- خصوصیات آبراهه پایین دست

برای محاسبه عرض ورودی آبیگر و تراز نرمال آب و ابعاد خروجی‌ها می‌توان از روش به‌کار رفته در آبیگرهای معمولی استفاده کرد. عرض آبراهه بالا دست و عرض خروجی‌های بند انحرافی با یکدیگر ارتباط دارند.

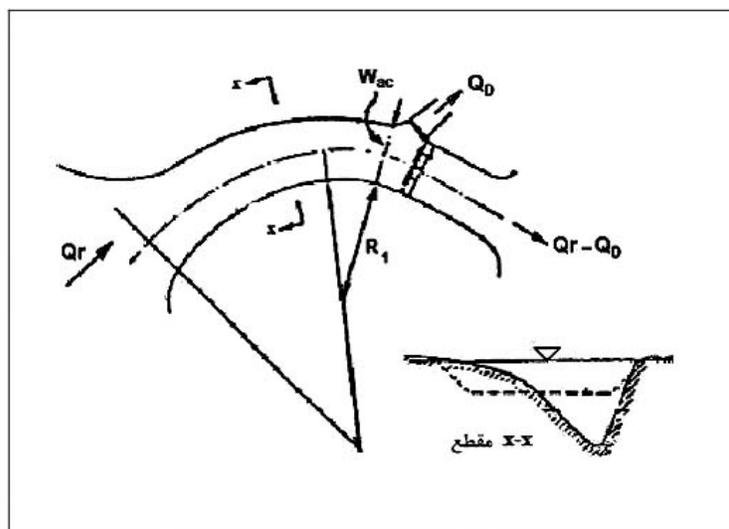
در طراحی هیدرولیکی باید دو ویژگی برای آبراهه بالا دست در نظر گرفت:

- حفظ قدرت حمل جریان رودخانه
- منحرف کردن رسوبات درشت‌دانه از دهانه ورودی آبیگر

برای حفظ قدرت حمل جریان رودخانه، تعیین عرض آبراهه  $W_{ac}$  مهم می‌باشد. انتخاب شعاع مناسب برای انحناى جریان در محل آبیگر نیز در انحراف رسوبات مهم می‌باشد (شکل ۳-۸). برای آنکه جریان حلزونی در آبراهه کاملا توسعه یابد حداقل زاویه قوس آبراهه باید بین ۵۰ تا ۶۰ درجه باشد. همچنین لازم است طول قوس به اندازه‌ای باشد که اجازه گسترش جریان حلزونی را بدهد. برای تعدادی از پروژه‌های تکمیل شده این طول در محدوده زیر قرار می‌گیرد:

$$\frac{L_{ac}}{W_{ac}} = 4 - 8 \quad (3-10)$$

در این رابطه  $L_{ac}$  طول قوس است. انتخاب نهایی عرض آبراهه در پروژه‌های بزرگ معمولا بر مبنای آزمایش بر روی مدل‌های هیدرولیکی به دست می‌آید.



شکل ۳-۸- نمادها و طرح مربوط به محاسبه عرض آبراهه پایاب

عرض آبراهه بالا دست ممکن است به دو صورت ثابت یا متغیر باشد:

- آبراهه با عرض ثابت: این حالت برای مواقعی که بده حداکثر طرح از ظرفیت تخلیه بند انحرافی بدون تغییر در تراز نرمال آب، کم‌تر باشد توصیه می‌شود. در این حالت طول بند دریاچه‌دار  $W_{gw}$  و عرض آبراهه تقریباً با هم برابرند. یعنی:

$$W_{ac} \approx W_{gw}$$

- آبراهه با عرض متغیر و همگرا: این حالت برای زمانی که بده حداکثر طرح از ظرفیت تخلیه بند انحرافی، بدون تغییر در تراز نرمال آب، بیش‌تر باشد به کار می‌رود. در این حالت برای کاهش بالا آمدگی آب از یک سرریز کمکی استفاده می‌شود. در این حالت محاسبه عرض آبراهه  $W_{ac}$  را به روش‌های زیر می‌توان انجام داد:

**روش اول (استفاده از بده آستانه حرکت):** در این روش، محاسبات بر مبنای بده آستانه حرکت ذرات در محل بند انحرافی  $Q_{bl}$  بدون تغییر در تراز نرمال آب می‌باشد. در این حالت رابطه پیوستگی را به صورت زیر می‌توان استفاده کرد:



$$W_{ac} = \frac{Q_{bl}}{q_0} \quad (۱۱-۳)$$

$$q_0 = U_c d_{NWL} \quad (۱۲-۳)$$

که در این رابطه:

$U_c$ : سرعت بحرانی برای آستانه حرکت بار بستر

$d_{NWL}$ : عمق آب در تراز نرمال

این روش ساده جزییات مربوط به انتقال رسوب و ارتباط بین تغییرات جریان و پارامترهای آبراهه را در نظر نمی‌گیرد.

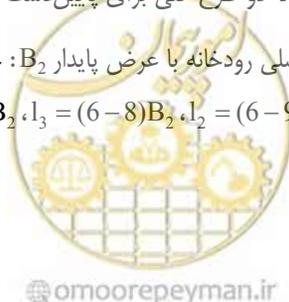
**روش دوم (استفاده از روابط رژیم):** با توجه به تئوری‌های موجود روابطی نظیر رابطه (۱۲-۳) بین بده جریان  $Q_d$  و عرض آبراهه رژیم  $W_{st}$  و شیب آبراهه  $S$  وجود دارد.

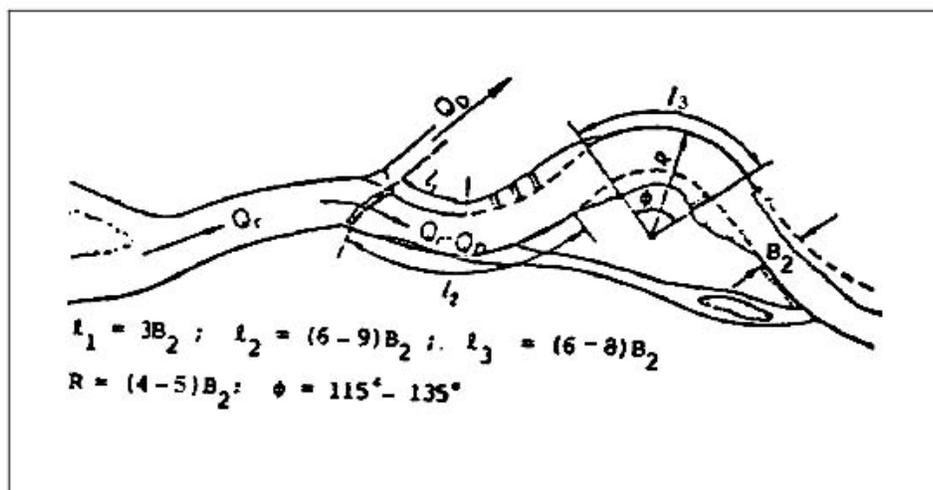
$$W_{st} = A.Q_d^{0.5}.S_d^{0.2} \quad (۱۳-۳)$$

عمق جریان در آبراهه بالادست برابر عمق نرمال آب در نظر گرفته می‌شود.  $Q_d$  بده طراحی می‌باشد و می‌توان آن را بده سیل با احتمال وقوع بین ۹ تا ۱۰ درصد در نظر گرفت.  $A$  ضریب تجربی است و مقدار آن بین ۰/۹ تا ۱/۱ می‌باشد [۳۷].

**روش سوم (روش شبیه‌سازی):** این روش برای جریان‌های متغیر با زمان، با در نظر گرفتن بار رسوب به کار می‌رود که موارد زیر در آن بررسی می‌شود.

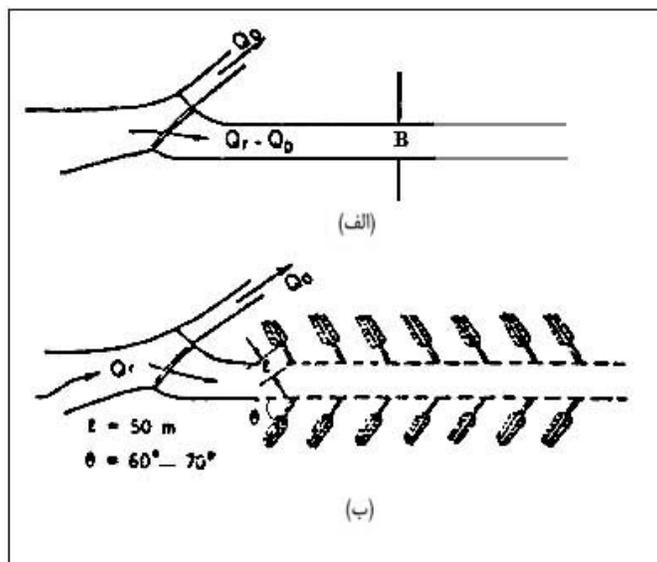
- تعیین هندسه اولیه آبراهه، با استفاده از روش‌های تخمینی
  - محاسبه بالا آمدگی آب در تراز نرمال برای حالت  $Q_r = Q_d$
  - تغییرات بستر آبراهه مثل رسوب‌گذاری یا فرسایش کف آبراهه
  - کنترل پایداری آبراهه
- برای شبیه‌سازی جریان، مدل‌های ریاضی متعدد وجود دارد. کاربرد این مدل‌ها شامل مراحل زیر می‌باشند.
- محاسبه پارامترهای هیدرولیکی (تراز آب، سرعت‌های متوسط) و نیمرخ برگشت آب در بالادست بند انحرافی
  - محاسبه تغییرات تراز بستر از شروع بالا آمدگی آب در بالادست
  - محاسبه مجدد نیمرخ برگشت آب در بالادست بند انحرافی پس از تغییرات تراز بستر
- در آبرگیرهای بزرگ، که بده جریان در پایین دست بند انحرافی کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند، برای جلوگیری از تغییرات شدید ریخت‌شناسی، قدرت حمل رسوب در آبراهه پایین دست باید افزایش یافته تا رسوبات را حمل کند. پیش‌بینی عملیات ساماندهی در این پروژه‌ها ضروری است. ایده اصلی در عملیات ساماندهی، افزایش شیب طولی متوسط آبراهه با ایجاد میانبر، کاهش زبری آبراهه و یا ترکیبی از این دو روش می‌باشد. معمولاً دو طرح کلی برای پایین‌دست این رودخانه‌ها قابل بررسی است:
- ایجاد آبراهه پیچ و خم‌دار در مسیر اصلی رودخانه با عرض پایدار  $B_2$ : خصوصیات این آبراهه که در شکل (۳-۹) مشخص شده است عبارتند از  $l_1 = 3B_2$ ،  $l_2 = (6-9)B_2$ ،  $l_3 = (6-8)B_2$ ،  $R = (4-5)B_2$  و  $\phi = 115^\circ - 135^\circ$ .





شکل ۳-۹- طرح شماتیک آبراهه پایین دست (آبراهه پیچ و خم‌دار)

– ایجاد آبراهه مستقیم در مسیر اصلی رودخانه: از ویژگی‌های این آبراهه، افزایش شیب طولی و کوچک‌تر بودن عرض و عمق جریان نسبت به حالت قبل می‌باشد. این آبراهه را می‌توان با ساخت خاکریز یا با استفاده از دو سری آبشکن در دو سمت آبراهه احداث کرد (شکل ۳-۱۰). برای محاسبه عرض آبراهه پایین دست نیز می‌توان از همان روش ذکر شده برای آبراهه بالادست  $W_{ac}$  استفاده کرد. طول آبراهه پایین دست نیز بستگی به شرایط محلی دارد.



الف- آبراهه مستقیم ایجاد شده با خاکریز، ب- آبراهه مستقیم شکل گرفته با آبشکن

شکل ۳-۱۰- طرح شماتیک آبراهه پایین دست



### ۳-۴- آبیگری با استفاده از ایستگاه پمپاژ

یکی از روش‌های آبیگری از رودخانه استفاده از ایستگاه پمپاژ است که در آن انتقال آب توسط پمپاژ کردن صورت می‌گیرد. استفاده از ایستگاه پمپاژ برای آبیگری معمولاً با توجه به دلایل زیر انجام می‌شود:

- هزینه بسیار زیاد ساخت بند انحرافی
- اختلاف زیاد بین تراز سطح آب در رودخانه و تراز مناطق اطراف
- غیراقتصادی بودن روش‌های دیگر نسبت به روش پمپاژ

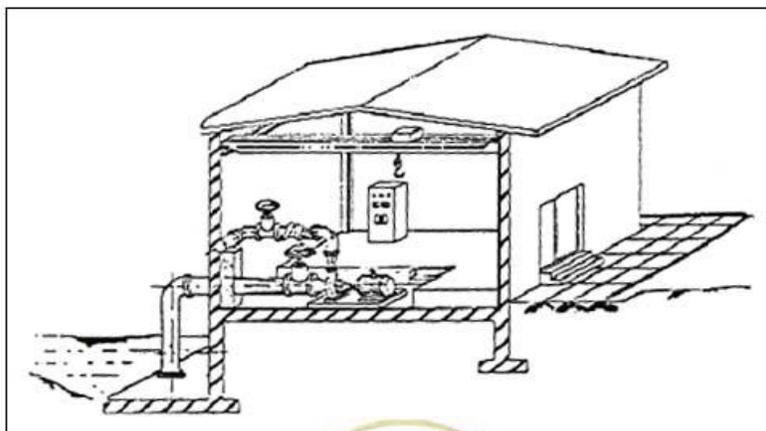
### ۳-۴-۱- انواع آبیگری با استفاده از پمپاژ

انواع متعددی از این نوع آبیگر در مناطق مختلف طرح و اجرا گردیده است. گاهی اوقات طبقه‌بندی و نامگذاری خاصی برای این نوع آبیگرها وجود ندارد و در کارهای آبیاری، آبرسانی و سدسازی ممکن است نام‌های گوناگونی به یک آبیگر اطلاق گردد. در ادامه شمای مختصری از انواع این روش آبیگری ارائه می‌گردد [ ۱۴، ۵].

#### ۳-۴-۱-۱- آبیگر ساده

این آبیگر در بیرون از رودخانه قرار گرفته و پمپ‌های آن افقی و توسط لوله‌های مکش، آب را از رودخانه برداشت می‌نمایند (شکل ۳-۱۱). برای آبیگری، همیشه احتیاج به ساختمان خاصی نیست و می‌توان با احداث سکویی در کنار رودخانه و نصب پمپ بر روی سکو و قرار دادن لوله مکش آب در رودخانه، آب مورد نیاز را برداشت نمود.

شرایط لازم برای ایجاد این نوع آبیگر شامل جریان نسبتاً پایدار، تغییرات کم سطح آب و شیب تند ساحل و عمق کافی آب است. برای آبیاری زمین‌های کم وسعت و در مواردی که آبیگر فصلی است ساخت این آبیگرها به علت سادگی و ارزانی مورد توجه قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱۱- آبیگر ساده

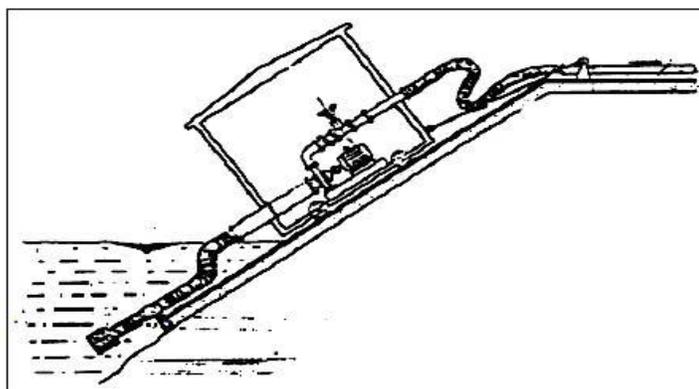


### ۳-۴-۱-۲- آبیگر متحرک روی سطح شیبدار

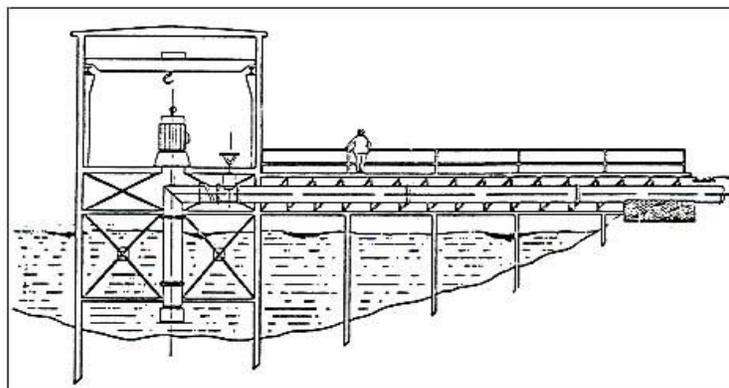
اگر میزان آبیگری کم و ساحل رودخانه دارای شیب مناسبی باشد، از این نوع آبیگر جهت برداشت آب می‌توان استفاده کرد. این نوع آبیگر خاص رودخانه‌ها و یا دریاچه‌هایی است که گستره آب در آنها بسیار متغیر است و ساحل رودخانه پسروری و یا پیشروی زیاد دارد. شکل (۳-۱۲) نمای شماتیک این نوع آبیگر را نشان می‌دهد.

### ۳-۴-۱-۳- آبیگر اسکله‌ای

این نوع آبیگر بیش‌تر در رودخانه‌هایی که دارای ساحل نرم و عمق جریان کافی می‌باشند، ساخته می‌شود. مزیت این نوع آبیگر این است که با احداث آن در محل مناسبی از عرض رودخانه، بدون ایجاد تغییر در شرایط هیدرولیکی رودخانه، تاثیر نوسانات سطح آب در رسوب‌گذاری در آبیگر به حداقل می‌رسد. شکل (۳-۱۳) این نوع آبیگر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۲- آبیگر روی سطح شیبدار



شکل ۳-۱۳- آبیگر اسکله‌ای

### ۳-۴-۱-۴- آبیگر شناور

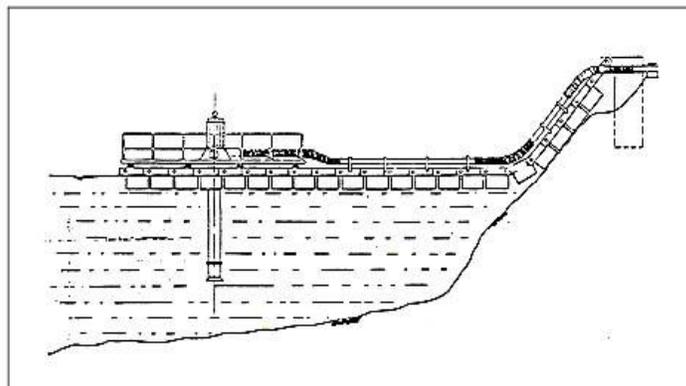
از این نوع آبیگر در دریاچه‌ها و رودخانه‌های آرام که تغییرات سطح آب در آنها زیاد باشد، استفاده می‌شود. در این نوع آبیگر تاسیسات پمپاژ روی یک سطح شناور بر آب نصب می‌گردد. با تغییرات سطح آب در فصول مختلف سال کلیه تاسیسات پمپاژ بالا و



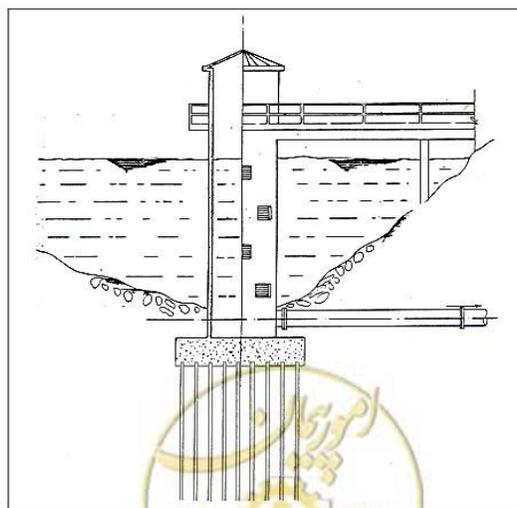
پایین می‌رود در این حالت فشار آب بر روی مکش پمپ ثابت باقی می‌ماند و برداشت آب از عمق معینی که کیفیت فیزیکی بهتری دارد صورت می‌گیرد. نمونه این آبیگر در شکل (۳-۱۴) نشان داده شده است.

### ۳-۴-۱-۵- برج آبیگر

این نوع آبیگر از قدیمی‌ترین تاسیسات آبیگری می‌باشد. برج آبیگر در دریاچه سدها و رودخانه‌های بزرگ و عمیق به منظور آبیگری با حجم زیاد ساخته می‌شود. تغییرات عمق آب بر عملکرد آن اثر چندانی ندارد، ولی نباید عمق آب از حدود ۲ متر کم‌تر شود. از آن‌جا که این آبیگر برای آبیگری زیاد، مناسب و اقتصادی است، در تاسیسات شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برج آبیگر معمولاً به صورت استوانه یا منشور یا مقطع بیضوی ساخته می‌شود. نمونه این آبیگر در تاسیسات آبرسانی شهر شیراز بر روی دریاچه درودزن مورد استفاده قرار گرفته است. احداث این نوع آبیگر با دشواری انجام عملیات ساختمانی در داخل آب روبرو می‌شود. دشواری بهره‌برداری از تاسیسات به سبب ورود ماسه و رس به داخل آبیگر از دیگر مشکلات این نوع آبیگر می‌باشد. شکل (۳-۱۵) نمایی از این آبیگر را نشان می‌دهد.



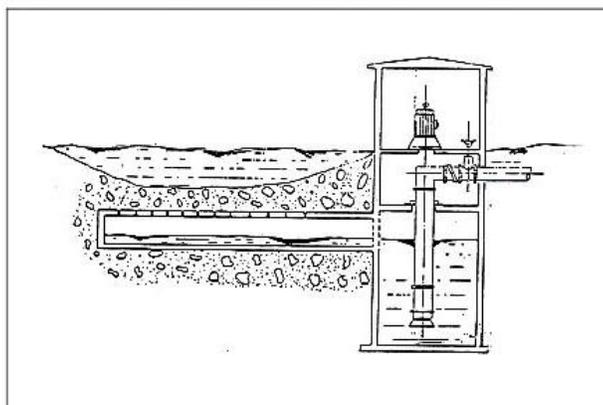
شکل ۳-۱۴- آبیگر شناور



شکل ۳-۱۵- برج آبیگر

## ۳-۴-۱-۶- آبیگر نفوذی

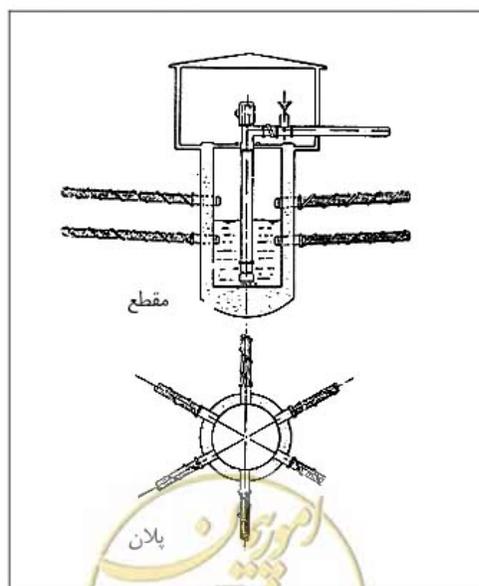
آبیگر نفوذی اغلب در رودخانه‌های کوچک ساخته می‌شود. این آبیگر در زیر بستر رودخانه به صورت یک کانال بتنی روزنه‌دار ساخته شده و آب‌هایی نفوذی رودخانه را به ساحل منتقل می‌نماید. نمونه‌ای از این نوع آبیگر در تاسیسات آبرسانی قدیم شهر رامسر دیده می‌شود. شکل (۳-۱۶) نمای این نوع آبیگر را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۶- آبیگر نفوذی

## ۳-۴-۱-۷- آبیگر با چاه و لوله‌های شعاعی

ساختمان این آبیگر شامل یک چاه دهانه گشاد با دیواره بتنی و عمق نسبتاً کم و تعدادی لوله شعاعی در اطراف و اعماق مختلف می‌باشد. این چاه‌ها در بستر یا ساحل رودخانه ساخته می‌شود و به وسیله لوله‌های شعاعی، آب را به داخل چاه مرکزی هدایت می‌کند (شکل ۳-۱۷).

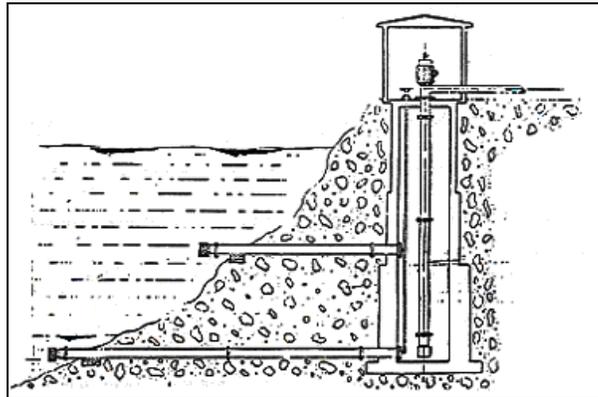


شکل ۳-۱۷- آبیگر با چاه و لوله‌های شعاعی

این آبیگر در رودخانه‌های با بستر آبرفتی دانه درشت ساخته می‌شود و اگر مواد معلق در رودخانه زیاد نباشد، از روش‌های مناسب تامین آب شهری است. ایراد عمده این نوع آبیگر، کاهش آبدهی بر اثر مرور زمان و گرفتگی لوله‌های شعاعی است. این نوع آبیگر در تاسیسات آبرسانی شهرهای رشت و اصفهان ساخته شده است.

### ۳-۴-۱-۸- آبیگر با چاه ساحلی

در این روش آب به وسیله یک یا چند لوله از رودخانه به داخل یک چاه که در ساحل رودخانه ساخته می‌شود، هدایت و از آن‌جا به وسیله پمپ به محل تصفیه خانه منتقل می‌گردد. این آبیگر در رودخانه‌های با بستر متغیر و عمق کم قابل اجرا نیست. این آبیگر در مقایسه با برج آبیگر مشکلات کم‌تری در بهره‌برداری دارد و معمولاً از سیلاب‌های رودخانه محفوظ است، ولی مشکل ورود مواد معلق به چاه همچنان قابل توجه است. تاسیسات آبرسانی شهر بهبهان از این نوع می‌باشد. نمونه‌ای از این آبیگر در شکل (۳-۱۸) آمده است.



شکل ۳-۱۸- آبیگر چاه ساحلی

### ۳-۴-۲- عوامل موثر در تعیین نوع آبیگر

در تعیین نوع آبیگر عوامل زیر نقش تعیین کننده دارد:

- عوامل اساسی: عوامل اساسی مانند میزان برداشت آب و تغییرات آن در فصول مختلف در دوره بهره‌برداری، در انتخاب نوع آبیگر تعیین کننده است.
- عوامل بیرونی: عوامل بیرونی شرایط و امکاناتی است که هریک از آنها در طی زمان بنابر عوامل پیچیده دیگری تغییر می‌کند. طرح ساختمان آبیگر باید به نحوی باشد که از این تغییرات آسیب نبیند و با آن سازگار باشد. مهم‌ترین این عوامل عبارتند از:
  - شرایط آب و هوایی
  - شرایط توپوگرافی و زمین‌شناسی بستر و ساحل رودخانه
  - شرایط هیدرولوژیکی و رودخانه شامل تغییرات فصلی جریان آب، مقدار و جهت سرعت جریان، شیب ساحل و بستر رودخانه، تاثیر کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب شامل دانه‌بندی و میزان مواد معلق در آب، بار بستر و خوردگی آب.

- عوامل اجرایی: عوامل اجرایی مانند مصالح، ماشین آلات، نیروی انسانی و تخصصی لازم، زمان و دوره ساخت آبیگر در بعضی از طرح‌ها نقش تعیین‌کننده‌ای دارد.
- عوامل اقتصادی: سرمایه‌گذاری و هزینه بهره‌برداری در همه طرح‌ها اهمیت اساسی دارد. لازمه طرح آبیگر، تلفیق اطلاعات و محدودیت‌های موجود است که همه آنها قابلیت بیان عددی و رابطه ریاضی صریح ندارد. طرح مناسب آن است که ارزان‌تر، ساده‌تر و بهره‌برداری از آن نیز ساده باشد.

### ۳-۴-۳- شرایط محل آبیگری

- به‌منظور احداث ایستگاه پمپاژ و آبیگری از طریق پمپاژ باید به نکات زیر در مورد محل آبیگر توجه نمود [۲۲]:
- محل ایستگاه پمپاژ، شرایط و امکانات مورد نیاز جهت ساخت، بهره‌برداری و دسترسی راحت را داشته باشد.
  - شرایط هیدرولیکی رودخانه در محل مورد نظر برای آبیگری به نحوی باشد که در صورت امکان بیش‌ترین آب ورودی و کم‌ترین رسوب ورودی به سامانه پمپاژ وجود داشته باشد و اثرات نامناسبی بر رفتار طبیعی رودخانه نداشته باشد.
  - محل انحراف به‌گونه‌ای باشد که نوسانات تراز آب روی پمپ‌ها را به حداقل برساند.
  - به‌منظور محافظت در برابر سیلاب، دیوارهای ایستگاه پمپاژ باید حداقل ۱/۲ متر بالاتر از تراز سیل با دوره برگشت ۱۰۰ ساله باشد.
- برای انتخاب محل و آماده کردن ایستگاه پمپاژ عوامل زیر باید مورد توجه قرار گیرد:
- آب و هوای منطقه
  - تعداد و ظرفیت پمپ‌ها
  - تاسیسات جانبی
  - حداکثر بده روزانه، حداقل بده روزانه و بده لحظه‌ای
  - پایش و رفتارسنجی<sup>۱</sup> سامانه جهت مشخص نمودن عملکرد آن هنگام انجام کار
  - سامانه پشتیبانی
  - نگهداری و تعمیرات

### ۳-۴-۴- اجزای ایستگاه پمپاژ

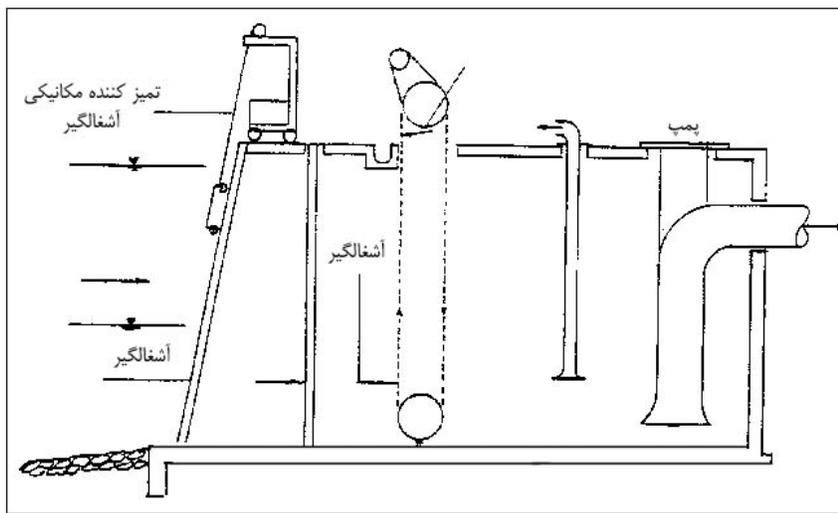
یک ایستگاه پمپاژ معمولاً شامل اجزای زیر است:

- دهانه آبیگر
- حوضچه مکش
- تیرک آب بند
- آشغالگیر



در آبیگری با استفاده از پمپاژ، اولین و مهم‌ترین هدف این است که هیچ جسم اضافی وارد آبیگر نشود. روش‌های مختلفی برای جلوگیری از ورود اجسام اضافی وجود دارد که شامل انواع آشغالگیرها، صفحه‌های مسطح سوراخ‌دار و صفحه‌های متحرک می‌باشد. این روش‌ها احتیاج به نگهداری و تمیز کردن دارند در ضمن باید در محل مناسب نصب شوند.

شکل (۳-۱۹) مقطعی از سامانه آبیگری به روش پمپاژ به همراه آشغالگیر را نشان می‌دهد. در این سامانه، جریان از بین یک آشغالگیر ثابت که اجسام بزرگ را می‌گیرد عبور کرده به آشغالگیر متحرکی که ذرات ریزتر را از سامانه جدا می‌کند، می‌رسد. هنگامی که سطح این آشغالگیر پر از آشغال شد به نحوی که ارتفاع آب در جلوی آن به سطح خاصی برسد، شروع به چرخش می‌کند و قسمت دیگر و تمیز آن جلوی جریان ورودی قرار می‌گیرد و آشغال‌ها نیز در قسمت بالا جدا می‌شود.



شکل ۳-۱۹- آبیگری با روش پمپاژ و آشغالگیر

باید توجه داشت ماهی‌ها و دیگر آبزیان وارد این آبیگر نشوند. برای جلوگیری از ورود آنها یک صفحه مسطح سوراخ‌دار در جلوی آبیگر نصب می‌شود. اندازه سوراخ‌ها با توجه به آبزیان منطقه تعیین می‌شود. مثلاً برای ماهی بالغ برابر (۱۰-۶) میلی‌متر، برای ماهی جوان ۳ میلی‌متر و برای آبزیان کوچک‌تر (۲-۱) میلی‌متر قابل قبول است. مساحت این صفحه مسطح هم از تقسیم بیش‌ترین بده به ضربی از سرعت عمود بر صفحه به دست می‌آید. مقدار این ضریب بین ۰/۲ تا ۰/۴ است [۲۲].

انتخاب نوع پمپ بستگی به توان مورد نیاز و ارتفاع پمپاژ آب، سرعت انتقال آب و کیفیت آب مصرفی دارد. اطلاعات کامل راجع به اجزای ساختمان ایستگاه پمپاژ، طراحی حوضچه مکش و آشغالگیرها، انواع پمپ‌ها و نحوه انتخاب نوع آن، در مرجع [۱۴] موجود است.

### ۳-۴-۵- مشکلات آبیگری به روش پمپاژ

به‌طور کلی مشکلات ایستگاه‌های پمپاژ را می‌توان به دو دسته زیر تقسیم نمود:

- نوسانات سطح آب رودخانه
- رسوب رودخانه



نوسانات سطح آب یکی از عوامل مشکل ساز در رودخانه‌ها می‌باشد که قبل از تعیین نوع و محل آبیگری باید به دقت مورد مطالعه قرارگیرد. روش مطالعه بدین ترتیب می‌باشد که به ازای یک دوره آماری، بده‌های مناسب رودخانه شناسایی و محاسبه می‌شوند. سپس با استفاده از نرم افزارهای مناسب نظیر HEC-RAS و Mike11، رودخانه را برای بده‌های مختلف، مدل کرده و ارتفاع آب را در مقاطع مختلف و محل‌های موردنظر به دست می‌آورند.

خسارت ناشی از رسوبات همراه جریان، بسیار وسیع و متنوع است و انواع آن به کمیت و کیفیت رسوبات بستگی داشته که فرایند فرسایش، حمل و رسوب گذاری نیز در این امر موثر می‌باشد. از میان مشکلات متعددی که طی فرایند فرسایش، حمل و رسوب گذاری به وجود می‌آید، مساله ته نشین شدن رسوبات و ایجاد مشکل در تاسیسات آبیگری بسیار مهم است. با ته نشین شدن رسوبات، ظرفیت رودخانه کاهش یافته و این امر باعث بالاتر آمدن سطح آب و وارد آمدن خسارت می‌گردد.

در مواقع سیلابی بسته به نوع پمپ‌ها و محل کارگذاری آنها امکان سیل گیری تاسیسات مربوط وجود خواهد داشت. در زمان کم آبی ممکن است برداشت آب با مشکل روبه‌رو شده و در مواردی این مشکل تا حد از کارافتادن پمپ‌ها و عدم امکان برداشت آب نیز پیش رود. مساله دیگر این که با توجه به اختلاف قابل توجه نوسانات سطح آب، استفاده از تاسیسات این نوع آبیگری به صورت آبیگر ساده میسر نبوده و ممکن است ارتفاع مکش در این حالت از ارتفاع مجاز مکش پمپ‌ها بیش تر گردد. در محل‌هایی که از آبیگر با پمپ‌های ثابت استفاده شود، این مشکل به شکل جدی تری ایجاد می‌شود. در چنین مواردی می‌توان، با تغییر محل پمپ‌ها و جابجایی محل آبیگر در جهت رفع مشکل اقدام کرد. حتی ممکن است اقدام به انجام لایروبی در محدوده آبیگر نیز کرد.

### ۳-۵- آبیگری توسط کف‌ریزها<sup>۱</sup>

کف‌ریز نوعی از سازه آبیگر هست که تخلیه بخشی از جریان توسط آن از کف مجرا انجام می‌شود. این نوع سازه در قسمتی از طول و در بخشی یا تمامی عرض در کف مجرا به صورت بازشدگی ایجاد می‌شوند و آب از طریق این بازشدگی به داخل کانال فرعی تخلیه می‌شود. بر روی این بازشدگی قاب مشبکی از میله‌های موازی یا صفحه مشبک نصب می‌گردد. این نوع آبیگر در مناطق یخچالی و کوهستانی و مسیرهای تند که از نقطه نظر راه دسترسی و امکانات ساخت در محدودیت بوده و همچنین در جاهایی که سنگ‌ها و تخته سنگ‌های بزرگ در رودخانه حمل شده و جریان متوسط رودخانه کم می‌باشد، بیش تر استفاده می‌شوند. شکل (۳-۲۰) نمونه‌ای از آبیگر نوع کف‌ریز را نشان می‌دهد.

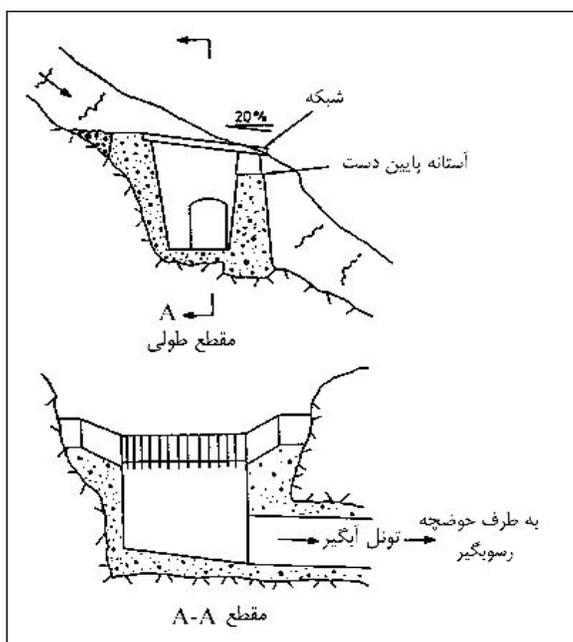
جریان آب همراه با مواد ریز با عبور از یک شبکه آشغالگیر که در کف رودخانه نصب شده، به محفظه‌ای وارد شده و سپس به طرف حوضچه رسوبگیر هدایت می‌شود. در انتهای محفظه یک سرریز، جهت تخلیه آب‌های اضافی پیش‌بینی می‌شود. پس از ته‌نشینی رسوبات در حوضچه رسوبگیر، جریان صاف و بدون رسوب به پایین دست منتقل می‌گردد. حوضچه رسوبگیر به نحوی طراحی می‌شود که به‌طور متناوب، رسوبات ته‌نشین شده در آن جدا شده و به پایین دست منتقل شود.

برخی از موارد کاربرد کف‌ریزها به قرار زیر است:

- در کانال‌های بزرگ به منظور انحراف جریان مازاد بر ظرفیت آنها



- در آبیگر نیروگاه‌های آبی به عنوان آشغالگیر
- به عنوان رسوبگیر جهت جداکردن بار بستر رودخانه‌ها
- به منظور کاهش حجم آب کانال‌های انتقال آب در ایستگاه‌های پرورش ماهی
- در آبیگر نیروگاه‌های برق آبی کوچک



شکل ۳-۲۰- آبیگر کفریز [۵]

### ۳-۵-۱- اجزای کفریزها

اجزای این نوع آبیگر شامل سه قسمت اصلی زیر می‌باشد [۳۷]:

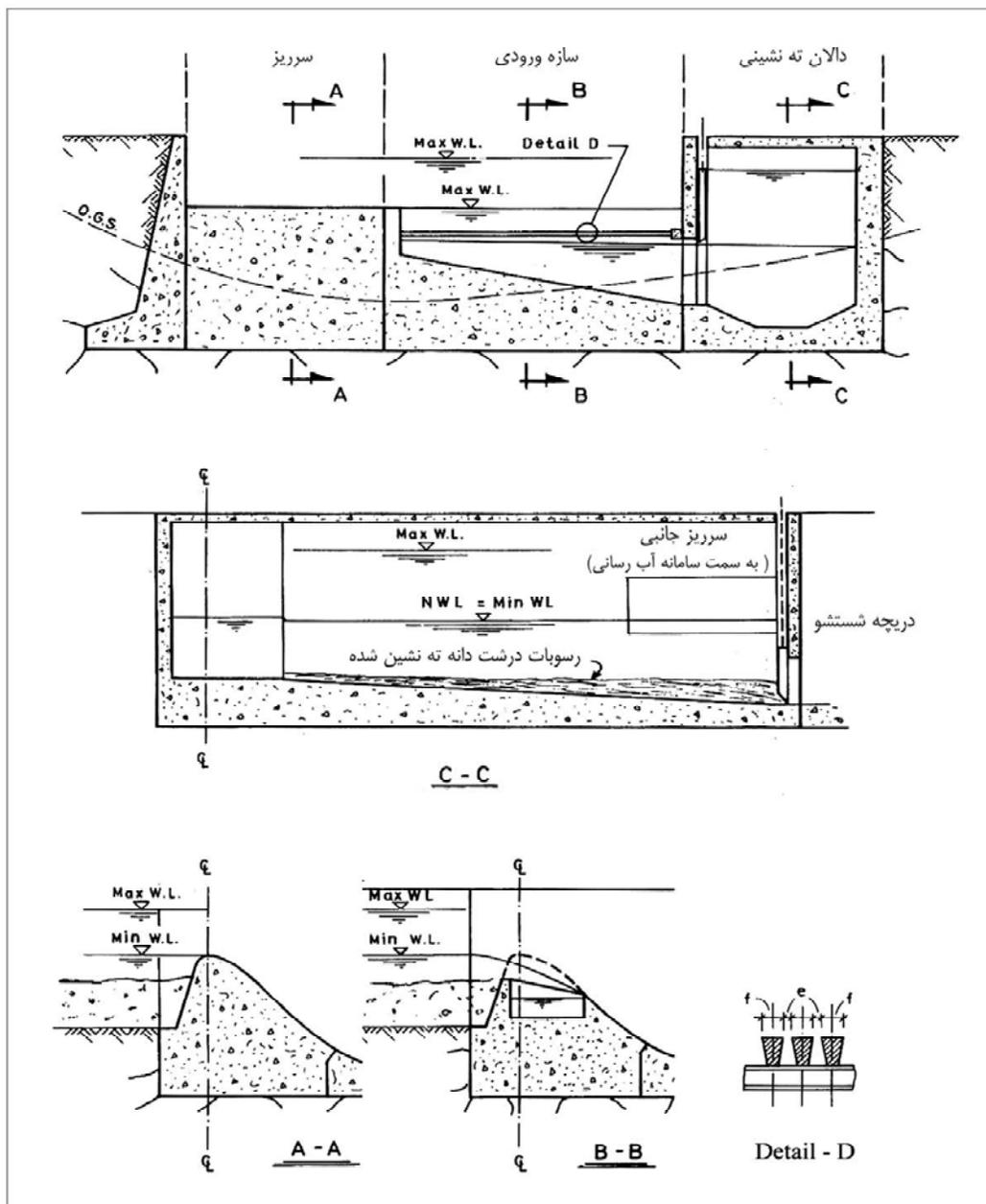
- ۱- سرریز (مقطع A-A در شکل ۳-۲۲).
- ۲- سازه ورودی که شامل دو بخش زیر است:
  - کف مشبک<sup>۱</sup>
  - دالان جمع‌کننده<sup>۲</sup> (مقطع B-B در شکل ۳-۲۱).
- ۳- دالان ته‌نشینی<sup>۳</sup> (مقطع C-C در شکل ۳-۲۱).

قسمت‌های یاد شده باید در برابر فرسایش‌های احتمالی موضعی محافظت شوند. این عمل با ایجاد فونداسیون عمیق و مقاوم

سازی سطوح مورد نظر حاصل می‌گردد. در زیر به معرفی هریک از این قسمت‌ها و مشخصات و کاربرد آنها پرداخته می‌شود:



- 1 - Bottom Racks
- 2 - Collector Gallery
- 3 - Settling Chamber



شکل ۳-۲۱- طرح کلی کفبریز [۳۷]

۳-۵-۱-۱- سرریز

سرریز به منظور مسدود کردن بخشی از عرض رودخانه استفاده می شود تا در زمان کم آبی نیز، جریان رودخانه به سمت کفبریز منحرف گردد. تراز تاج سرریز به گونه ای در نظر گرفته می شود تا هنگامی که جریان ورودی  $Q_R$  بزرگتر از بده طراحی آبیگر  $Q_D$  باشد، جریان مازاد از روی آن عبور نماید.



## ۳-۵-۱-۲- سازه ورودی

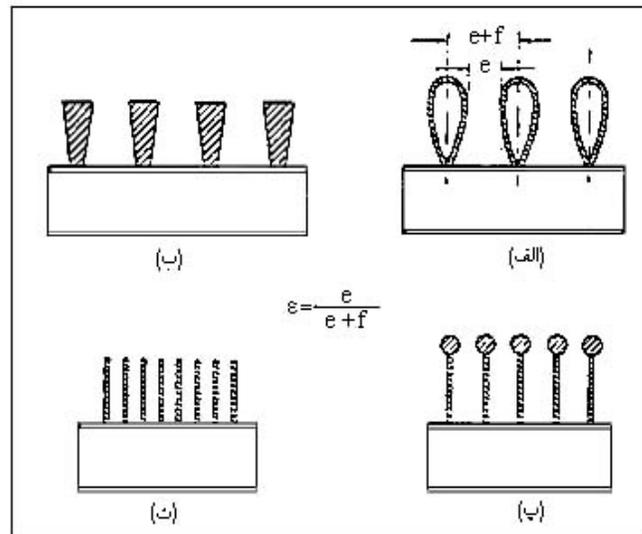
سازه ورودی مشتمل بر یک سازه بنایی سنگین و یا بتنی می‌باشد که مستقیماً در کف رودخانه ساخته می‌شود. دالانی شیبدار به نام دالان جمع‌کننده داخل این سازه قرار می‌گیرد و قسمت فوقانی آن با کف مشبک پوشانده می‌شود. کف مشبک ممکن است در تراز بستر رودخانه قرارگیرد و جریان از طریق آن به داخل دالان ذکر شده فرو ریزد و سپس از آن‌جا به سمت دالان ته‌نشینی منحرف شود.

## - کف مشبک

کف مشبک باید احتیاجات زیر را برآورده سازد:

مقاومت در برابر ضربات ناشی از برخورد سنگ‌های همراه جریان، ایجاد کم‌ترین مقاومت هیدرولیکی، ایجاد کم‌ترین خطر انسداد توسط رسوبات یا گیاهان یا آشغال و یا قطعات یخ. معمول‌ترین شکل سازه‌های آنها، یک قاب فولادی جوشکاری شده است که کاملاً داخل سازه ورودی مهار شده و توسط میله‌های فولادی پوشیده شده است. میله‌ها باید به صورت کاملاً صلب به قاب متصل شده باشند تا از هرگونه تغییر شکل در محل قرارگیری آنها جلوگیری شود. در عین حال شبکه باید قابلیت برداشته شدن داشته باشد تا در زمان نگهداری و تمیز کردن دالان جمع‌کننده، دسترسی به این دالان امکان‌پذیر باشد.

اولین عوامل مهم در کف مشبک، شکل مقطع عرضی میله‌ها می‌باشد. شکل‌های متفاوتی از میله‌های شبکه وجود دارد که نیازهای ذکر شده را برآورده می‌نمایند. مقطع عرضی این میله‌ها می‌تواند خط جریانی، ذوزنقه‌ای، دایره‌ای و یا مستطیلی شکل باشد (شکل ۳-۲۲).



الف- خط جریانی، ب- ذوزنقه‌ای، پ- دایره‌ای و ت- مستطیلی

شکل ۳-۲۲- شکل مقاطع میله‌های کف ریز

میله‌هایی با شکل خط جریانی، مناسب‌ترین مقطع برای میله‌های کف مشبک می‌باشد، زیرا کم‌ترین مقاومت هیدرولیکی را ایجاد می‌کند. میله‌های ذوزنقه‌ای شکل ساده‌تر بوده از مسدود شدن یا گرفتگی شبکه جلوگیری می‌کند. میله‌های دایره‌ای شکل

مشخصه‌های هیدرولیکی خوبی دارند، اما در برابر ضربات وارد شده مقاومت کمتری از خود نشان می‌دهند. میله‌های مستطیل شکل ارزان‌ترین نوع هستند، با این وجود کارایی هیدرولیکی آنها کم‌تر بوده و خطر مسدود شدن آنها بیش‌تر است. به‌منظور تسهیل عبور بار بستر از روی کف مشبک، توصیه شده است که کف مشبک یک شیب طولی داشته باشد. مقدار این شیب حداقل ۲۰٪ است. در حالتی که بار بستر خیلی زیاد باشد، شیب کف مشبک می‌تواند بیش‌تر و حدود ۴۰٪ در نظر گرفته شود. البته باید در نظر داشت که شیب طولی اعمال شده سبب کاهش در بازده هیدرولیکی سازه می‌شود. دومین عامل مهم در کف مشبک، فاصله بین میله‌های شبکه می‌باشد. تجربه‌های موجود منجر به توصیه استفاده از فاصله  $e=50$  میلی‌متر و یا بزرگ‌تر از آن شده است (شکل ۳-۲۲).

صرف‌نظر از نوع و شکل میله‌ها، ایجاد گرفتگی جزئی توسط اجسام جامد که اغلب آشغال‌های گیاهان می‌باشد، غیر قابل اجتناب می‌باشد. لازم است در طراحی کف مشبک این گرفتگی، معادل ۲۵ الی ۷۵ درصد سطح مفید کف‌ریز، در محاسبات لحاظ شود. به‌منظور جلوگیری از یخ‌زدگی و بسته‌شدن شبکه کف‌ریز توسط یخ، در صورتی که شرایط سخت زمستانی انتظار رود، از راه‌حل‌های زیر می‌توان استفاده کرد:

- پوشاندن میله‌های فولادی توسط مواد مناسب (لاستیک، رزین، نئوپرن و...)
- استفاده از میله‌های ساخته شده از مواد مقاوم در برابر یخ‌زدگی
- افزایش تراز سطح آب قبل از یخ‌زدگی شبکه به‌منظور شکل گرفتن یک لایه یخ پوششی بر روی آن و در نتیجه محافظت لایه زیرین از یخ‌زدگی

### – دالان جمع‌کننده

دالان جمع‌کننده، برای جمع‌آوری جریان عبور کرده از بین شبکه و سپس انتقال آن به دالان ته‌نشینی می‌باشد. در طراحی این سازه باید در نظر داشت که فاصله بین میله‌های شبکه آن قدر بزرگ باشد که در زمان وقوع سیلاب، جریان انحراف یافته بتواند رسوبات درشت را از بین آنها عبور دهد. بنابراین لازم است دیواره‌های این دالان در برابر ضربات و نیروهای ناشی از برخورد این بخش از رسوبات مقاومت کند. مقطع عرضی این دالان مستطیل شکل است. این دالان از مصالح بنایی یا بتن ساخته می‌شود و سطوح آن که در مجاورت جریان قرار می‌گیرد از بتن با کیفیت بالا ساخته می‌شود.

### ۳-۵-۱-۳- دالان ته‌نشینی

دالان ته‌نشینی تشکیل شده از یک سازه بتنی و یا بنایی است که در کنار رودخانه جای می‌گیرد و به عنوان دیوار حایل نیز عمل می‌کند. این سازه برای جداسازی بخش درشت‌دانه رسوبات وارد شده به آبیگر ساخته می‌شود و در حقیقت آبی را که به سمت سامانه آبرسانی می‌رود، عاری از رسوبات درشت‌دانه می‌کند. در سایر آبیگرها، سازه ته‌نشینی برای نگهداری و ته‌نشینی رسوبات ریزتر از ۲/۵ میلی‌متر استفاده می‌شوند، اما در کف‌ریزها، دالان ته‌نشینی برای نگهداری بخش درشت‌دانه رسوبات با اندازه ۵۰ میلی‌متر و یا درشت‌تر طراحی می‌شود. در سامانه نشان داده‌شده در شکل (۳-۲۱)، آب عاری از رسوبات درشت‌دانه توسط یک سرریز جانبی خارج می‌شود و رسوبات ته‌نشین شده توسط یک دریچه تحتانی به‌صورت دوره‌ای به بیرون منتقل می‌شود. دالان ته‌نشینی باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا بتواند کل قسمت درشت‌دانه رسوبات رد شده از بین میله‌های کف مشبک را در خود نگه دارد.

کف دالان باید با یک شیب طولی (بین ۲٪ الی ۱۰٪) ساخته شود. حجم در نظر گرفته شده برای رسوبات ته‌نشین شده، وابسته به بار رسوبی مورد انتظار و همچنین تناوب شستشوی رسوبات می‌باشد. عرض دریچه تحتانی برابر عرض دالان ته‌نشینی در نظر گرفته می‌شود. در این سازه استفاده از دریچه‌های قطاعی به دلیل سادگی، قدرت و استحکام کافی و نیاز به انرژی کم‌تر برای راه اندازی، مناسب‌تر هستند. پس از دریچه نیاز به سازه‌ای برای هدایت رسوبات شسته شده به داخل رودخانه می‌باشد. معمولاً ظرفیت جابجایی رسوب رودخانه در مواقع سیلاب به اندازه کافی بزرگ است تا بتواند رسوبات شسته شده از داخل دالان ته‌نشینی را حمل نماید. البته طرح‌هایی با یک دالان ممکن است به صورت منقطع کار کند یعنی در طی شستشوی رسوبات، عرضه و تامین آب به ناچار قطع شود. از آن‌جا که در طی سیلاب‌ها، عمل شستشو تکرار می‌شود، لازم است تا با در نظر گرفتن تمهیداتی این انقطاع‌ها کم شود.

در صورتی که بخش ریزدانه رسوبات خیلی زیاد باشد، این احتمال وجود دارد که سازه توسط این رسوبات مسدود شود. از این رو این سازه فقط برای رودخانه‌هایی که بخش ریزدانه رسوبات آنها (کوچک‌تر از ۰/۶ میلی‌متر) کم‌تر از ۲۵٪ کل بار رسوبات آنها باشد، توصیه می‌شود.

### ۳-۵-۲- ضوابط طراحی

#### ۳-۵-۲-۱- کف مشبک

رابطه زیر برای محاسبه طول کف مشبک  $L_R$  ارائه شده است:

$$L_R = \frac{q_D}{K_C K_Q \sqrt{2gd}} \quad (۱۴-۳)$$

که در این رابطه:

$K_C$ : ضریب انقباض

$K_Q$ : ضریب تخلیه با در نظر گرفتن شیب کف‌ریز

$d$ : عمق استاندارد برابر با  $d = 0.67d_{cr}$

$d_{cr}$ : عمق بحرانی

$q_D$ : بده بر واحد عرض می‌باشد که برابر با  $\frac{Q_D}{W_r}$  است و در آن  $W_r$  عرض کف مشبک و  $Q_D$  بده طراحی می‌باشد.

برای برآورد طول کف مشبک از رابطه بالا، مقادیر زیر برای پارامترهای آن توصیه شده است:

$$K_Q = (K_Q)_o - 0.2S_R$$

$$(K_Q)_o = 0.65 \sim 0.75 \quad (۱۵-۳)$$

$$K_C = 0.35$$

که در این رابطه:

$(K_Q)_o$ : ضریب تخلیه

$S_R$ : شیب کف‌ریز

به عنوان توصیه کلی مقدار تقریبی  $L_R$  به صورت زیر نیز ارائه شده است:





در حقیقت ترم آخر، مولفه غالب در این معادله می‌باشد. حتی می‌توان یک و یا هر دو ترم ابتدایی این معادله را به‌منظور ساده سازی در نظر نگرفت.

با حل گام‌به‌گام معادله یادشده در تعداد گام‌های دلخواه، بسته به میزان دقت مورد نیاز، می‌توان ارتفاع دالان  $h_g$  را به‌دست آورد. البته حداقل فاصله‌ای به اندازه ۱۰ الی ۲۰ سانتی‌متر بین سطح آب و شبکه قرار گرفته بر روی دالان باید در نظر گرفت. همچنین تراز انتهای پایین دست دالان جمع‌کننده، تعیین کننده تراز ابتدای ورودی دالان ته‌نشینی می‌باشد. لازم به ذکر است عرض و طول دالان جمع‌کننده نیز متاثر از ابعاد کف‌ریز می‌باشد.

### ۳-۲-۵-۳- دالان ته‌نشینی

این دالان تنها به‌منظور نگهداری بخش درشت‌دانه رسوبات طراحی می‌گردد. معمولاً عرض  $W_{SC}$  و ارتفاع  $H_{SC}$  دالان ته‌نشینی بسته به شرایط خاص محل (مثل تراز پایاب، تراز کناره رودخانه و بستر آن و عرض رودخانه) و با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\frac{L_{SC}}{V} = \frac{H_{SC}}{\omega} \quad (۱۸-۳)$$

که در این رابطه  $L_{SC}$ : طول دالان،  $V$ : سرعت میانگین جریان در دالان ته‌نشینی بوده و  $\omega$  سرعت سقوط آن بخش از رسوبات می‌باشد که ته‌نشین می‌شوند (ذرات بین ۰/۲ الی ۰/۲۵ میلی‌متر).

همچنین از معادله پیوستگی داریم:

$$Q_D = V \cdot H_{SC} \cdot W_{SC} \quad (۱۹-۳)$$

با انتخاب کردن مقادیر  $W_{SC}$ ،  $H_{SC}$  و بده طراحی  $Q_D$  مقدار سرعت میانگین جریان  $V$  از رابطه (۱۹-۳) مشخص شده، سپس با کمک رابطه (۱۸-۳) طول دالان  $L_{SC}$  نیز مشخص می‌شود. لازم به ذکر است که برای در نظر گرفتن حجم مشخصی از رسوبات ته‌نشین شده، مقداری به ابعاد محاسبه شده توسط معادلات بالا اضافه شود. همچنین توصیه می‌شود کف دالان ته‌نشینی از شیب ملایمی در حدود ۵٪ برخوردار باشد.





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

# فصل ۴

---

---

## رسوب‌زدایی در آبگیری از رودخانه





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## ۴-۱- کلیات

بحث رسوب یکی از مسایل اساسی در آبیگری از رودخانه‌ها است که مهندسين و طراحان تاسیسات آبی با آن مواجه هستند. در آبیگری از رودخانه و طراحی یک سازه انحراف باید میزان رسوبات ورودی به کانال آبیگر به حداقل مقدار ممکن برسد و در صورت نیاز جداسازی رسوبات در کانال آبیگر نیز انجام شود.

در آبیگری به روش پمپاژ، بار رسوبی صدمات زیادی به بخش‌هایی از تجهیزات مربوط می‌رساند. قطعاتی از این تجهیزات که در تماس با رسوبات می‌باشند در مدت زمان کوتاهی ممکن است صدمه دیده، کارایی آنها پایین آمده و تعمیر آنها هزینه زیادی را به همراه داشته باشد. در این حالت رسوبات باید قبل از ورود به سامانه پمپ‌ها از جریان جدا شوند. به همین منظور در سامانه پمپاژ معمولاً از آشغالگیر و حوضچه ترسیب در ورودی پمپ‌ها استفاده می‌شود. از طرف دیگر چنانچه در بخش‌هایی از سامانه انتقال سرعت جریان کم باشد، امکان رسوب‌گذاری در آنها وجود دارد. در اثر رسوب‌گذاری، شیب کانال‌ها تغییر کرده و با بالا آمدن رقوم کف کانال، ارتفاع آزاد در آنها کاهش یافته و در نهایت از ظرفیت آبرسانی کاسته می‌شود.

در آبیگری با استفاده از بند انحرافی، شرایط رسوب‌گذاری در پشت بند انحرافی وجود دارد. در این شرایط نیز ته‌نشینی تمام رسوبات همراه جریان به سختی صورت خواهد پذیرفت، مگر آنکه مخزن بسیار بزرگ باشد. از سوی دیگر رسوب‌گذاری در بالادست بند انحرافی می‌تواند مشکلات تازه‌ای را به وجود آورد. به‌خصوص وقتی که باید مقادیر قابل توجهی از آب منحرف گردد. در این حالت جداسازی رسوبات پس از انحراف جریان نیز باید صورت پذیرد.

در ادامه روش‌های مختلف رسوب‌زدایی در محدوده آبیگرها معرفی می‌گردد.

## ۴-۲- تقسیم‌بندی روش‌های رسوب‌زدایی در آبیگرها

روش‌های مختلفی جهت جدا کردن رسوبات بستر وجود دارد که در قالب سه گروه اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرند [۲].

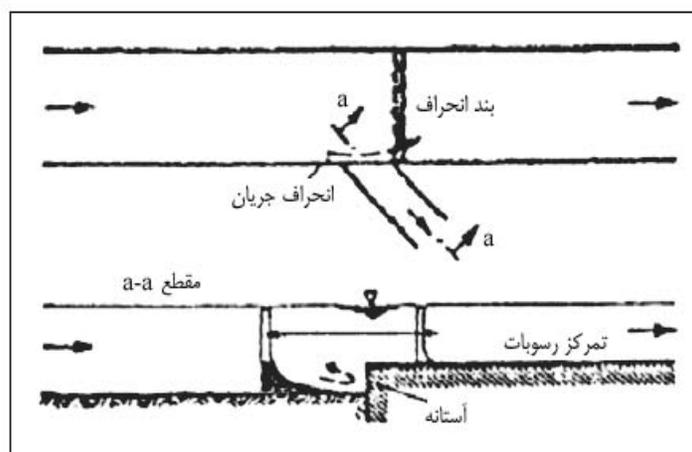
**گروه اول:** شامل روش‌هایی هستند که براساس راندن رسوبات<sup>۱</sup> عمل می‌کنند (شکل ۴-۱). در این حالت به لایه‌های بالایی جریان اجازه ورود به آبیگر داده می‌شود و لایه‌های پایین جریان که حاوی رسوب زیادی هست، از جلوی آبیگر دور می‌شود. یکی از این روش‌ها، استفاده از صفحات مستغرق<sup>۲</sup> می‌باشد که با ایجاد جریان‌های ثانویه رسوبات را از دهانه آبیگر دور می‌کند. از روش‌های دیگر مورد استفاده برای کاهش ورود رسوبات استفاده از آستانه<sup>۳</sup> در ورودی آبیگر است که باعث می‌گردد جریان حاوی رسوبات کف به داخل آبیگر منتقل نشود.

**گروه دوم:** شامل روش‌هایی است که بر مبنای اصل تخلیه رسوبات<sup>۴</sup> عمل می‌نمایند (شکل ۴-۲). در این حالت عمل جداسازی آب و رسوب با تقسیم جریان به دو بخش بالایی و پایینی، با استفاده از یک دال افقی صورت می‌پذیرد. بخش بالایی محتوی آب

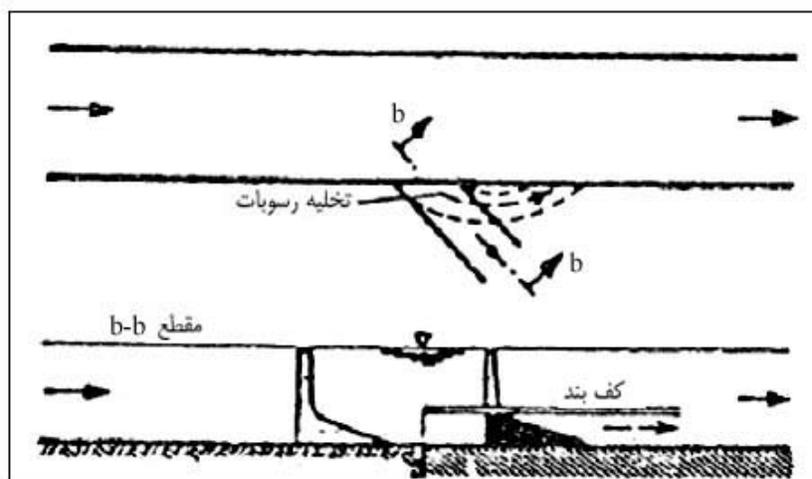


- 1- Sediment Rejection
- 2- Vanes
- 3- Sill
- 4- Sediment Extraction

زالال به کانال آبیگر منتقل می‌شود و بخش پایینی محتوی رسوبات به‌وسیله تونل‌های رسوبگیر و دریچه‌های شستشو به پایین دست هدایت می‌گردد. برای کاربرد این روش وجود اختلاف ارتفاع لازم، جهت شستشوی رسوبات ضروری است.



شکل ۴-۱- راندن رسوبات

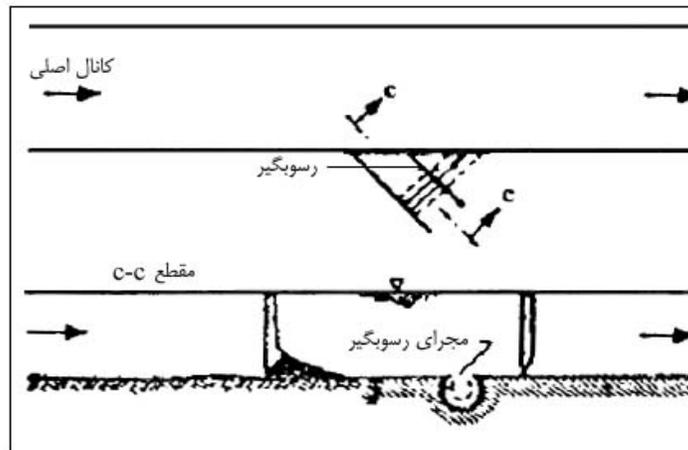


شکل ۴-۲- تخلیه رسوبات

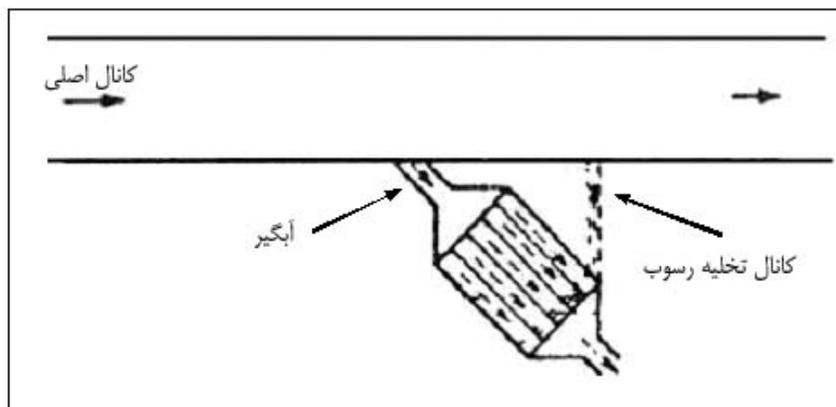
**گروه سوم:** شامل روش‌هایی است که در آنها رسوبات از طریق شکاف‌هایی تخلیه شده یا به‌وسیله سامانه‌های رسوبگیر در کف به تله انداخته می‌شوند. یک نمونه از این روش، رسوبگیر لوله‌ای<sup>۱</sup> است (شکل ۴-۳). به دلیل وجود نیروی ثقل و اندازه حرکت آب ورودی به مجرای زیرین شکاف، بار بستر وارد مجرا می‌شود. محتویات مجرا به یک حوضچه یا کانال زهکش تخلیه می‌شود و بدین ترتیب امکان کنترل رسوبات بیش‌تر فراهم می‌گردد.



جداسازی رسوبات معلق معمولاً پس از انحراف جریان صورت می‌پذیرد. یکی از روش‌های جداسازی رسوبات معلق استفاده از حوضچه ترسیب<sup>۱</sup> است. نوع متداول این روش، استفاده از حوضچه‌های ترسیب طولی است (شکل ۴-۴). این حوضچه‌ها از یک یا چند دالان به طول کافی تشکیل شده‌اند که اجازه ته‌نشینی ذرات رسوب را فراهم می‌سازند. برای جداسازی رسوبات وارد شده به کانال آبریز از حوضچه‌های ترسیب دایره‌ای یا گردابی نیز می‌توان استفاده کرد (شکل ۴-۵). در این نوع حوضچه‌ها، رسوبات در اثر جریان چرخشی در مرکز حوضچه متمرکز می‌شوند. رسوبات متمرکز یافته در مرکز حوضچه به همراه مقداری آب شستشو دهنده از کف آن خارج می‌گردد.

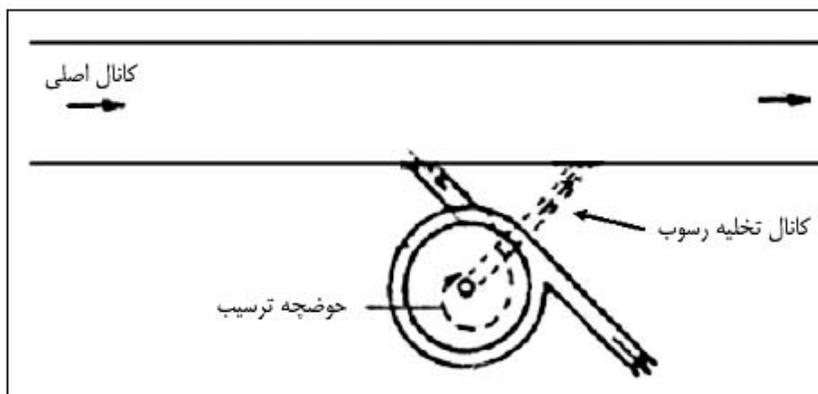


شکل ۴-۳- رسوبگیر لوله‌ای برای کنترل بار بستر



شکل ۴-۴- حوضچه ترسیب طولی





شکل ۴-۵- حوضچه ترسیب گردابی

سازه‌های رسوبگیر را براساس محل قرارگیری آنها می‌توان به دو دسته سازه‌های پیشگیرانه<sup>۱</sup> و سازه‌های علاج بخش<sup>۲</sup> نیز تقسیم نمود. سازه‌های پیشگیرانه در دهانه آبیگر احداث می‌گردند و بیش‌تر برای جداسازی بار بستر استفاده می‌شوند. بار معلق و بخشی از بار بستر که وارد کانال آبیگر می‌شوند، توسط روش‌های دیگری که به روش‌های علاج بخش موسومند، از جریان جدا می‌شوند.

#### ۳-۴- سازه‌های پیشگیرانه

این سازه‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- سازه‌های منحرف کننده جریان تحتانی پروسوب
  - سازه‌های جداکننده لایه فوقانی کم رسوب و لایه تحتانی پروسوب
- در ادامه سازه‌های فوق معرفی می‌شود.

#### ۱-۳-۴- سازه‌های منحرف کننده جریان تحتانی پروسوب

انواع مختلفی از این سازه‌ها وجود دارند که در ادامه معرفی و مبانی طراحی هیدرولیکی هر کدام بیان می‌گردد.

#### ۱-۱-۳-۴- دیواره‌های هدایت کننده رسوب

در این نوع از سازه‌های منحرف کننده رسوب، دسته‌ای از دیواره‌های منحنی شکل و مستغرق ساخته شده از بتن در جلوی کانال آبیگر قرار می‌گیرند تا با انحراف مناسب جریان تحتانی مانع از ورود بار بستر به داخل آبیگر شوند. این دیواره‌ها موازی هم بوده و از بالادست دهانه آبیگر شروع می‌شوند، در ابتدا بر جریان مماس بوده و با زاویه‌ای نسبت به آن پایان می‌یابند. ایده اولیه طراحی این دیواره‌ها توسط کینگ در سال ۱۹۳۳ مطرح شد و به نام دیواره‌های کینگ نیز معروف است [۲۹].

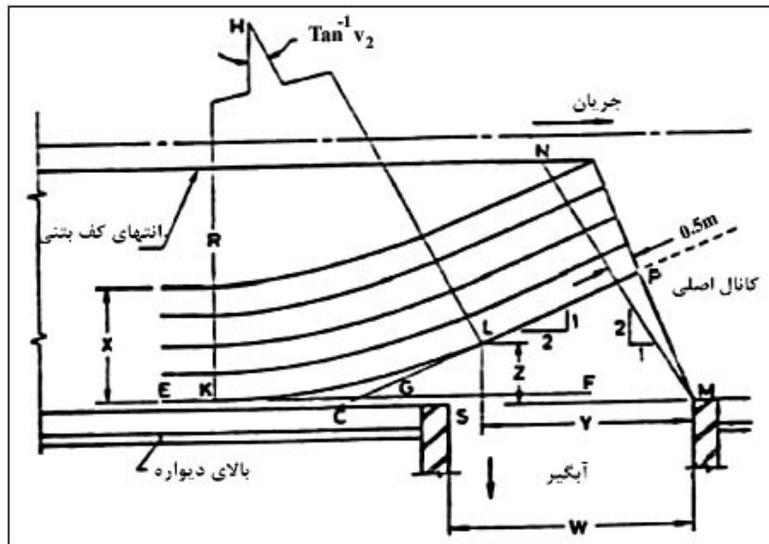


1- Excluders or Preventive Methods  
2- Ejector or Curative Methods

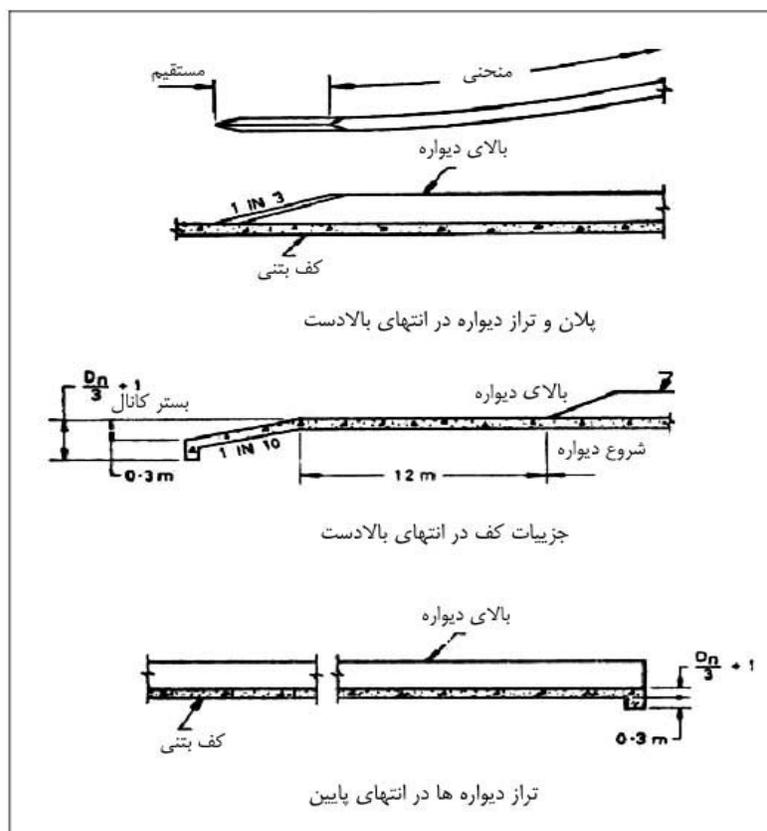
جانمایی اولیه و جزییات دیواره‌های هدایت‌کننده رسوب در شکل (۴-۶) و (۴-۷) نشان داده شده است. چنانچه بده کانال آبرگیر بیش‌تر از  $\frac{1}{3}$  بده آبراهه اصلی باشد، بهتر است از این دیواره‌ها استفاده نشود.

#### - توصیه‌های طراحی

- ۱- شعاع انحنا دیواره‌ها بهتر است ملایم و منظم باشد تا از ضربات ناشی از برخورد جریان به آنها کاسته شود. بهتر است شعاع انحنا از  $\frac{7}{5}$  متر کم‌تر نباشد.
- ۲- دیواره‌های منحنی شکل در بالادست از یک قسمت مستقیم در پلان، موازی محور مرکزی آبراهه اصلی، شروع می‌شوند. دماغه این قسمت دارای شیب ۱ عمودی به ۳ افقی در مقطع است. قسمت مستقیم ورودی، هم به جلو و هم به طرفین شیب‌دار دارد (شکل ۴-۷).
- ۳- به منظور جلوگیری از آبشستگی، پوشش کف در بالادست امتداد یافته و با شیب ۱ به ۱۰ طی یک روند نزولی به بستر متصل شود (شکل ۴-۷).
- ۴- به منظور یافتن انتهای پایین‌دست دیواره‌ها یک خط از گوشه پایین دست کانال آبرگیر به طرف بالادست با شیب ۲ به ۱ نسبت به محور مرکزی آبراهه اصلی در نظر گرفته می‌شود. دیواره‌های منحنی شکل باید به خط مزبور برسد و ترجیحاً تا فاصله‌ای تقریبی  $\frac{0.5}{1}$  تا  $\frac{1.5}{1}$  متر از طرف دیگر خط به صورت مستقیم (بدون انحنا) ادامه یابد (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۶- دیواره‌های هدایت‌کننده رسوب به همراه جزییات جانمایی آنها



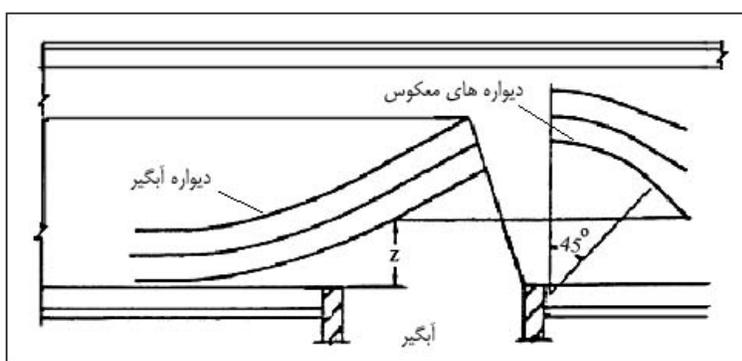
شکل ۴-۷- جزئیات دیواره‌های هدایت کننده رسوب

- ۵- ارتفاع دیواره‌ها حدود ۰/۲۵ تا ۰/۳۳ عمق جریان در آبراهه اصلی در نظر گرفته می‌شود. دیواره‌های باریک‌تر از نظر هیدرولیکی کارایی بهتری دارند؛ اما از نقطه نظر حفظ پایداری، ضخامت ۰/۱۲۵ متر برای دیواره با ارتفاع کم‌تر از ۰/۵ متر و ضخامت ۰/۲۵ متر برای دیواره با ارتفاع‌های بیش‌تر توصیه شده است. سطوح دیواره‌ها باید هموار باشد.
- ۶- فاصله بین دیواره‌ها حداقل حدود ۱/۵ برابر ارتفاعشان انتخاب شود.
- ۷- طولی از کف آبراهه اصلی که توسط دیواره‌ها پوشیده شده است و بالادست دیواره‌ها، به فاصله ۱۰ برابر عمق جریان یا ۱/۵ متر (هر کدام کم‌تر باشد)، با پوشش بتنی محافظت شود.
- ۸- پارامترهای طراحی دیواره‌ها ( $R, Z, Y, X$ ) که در شکل (۴-۶) نشان داده شده است، به صورت تابعی از عرض کانال آبیگر  $W$  در جدول (۴-۱) ارائه شده است. برای افزایش کارایی، بهتر است حداقل از دو دیواره استفاده شود.
- هنگامی که آبراهه اصلی کوچک بوده و دیواره‌های هدایت کننده رسوب بخش اعظمی از عرض آن را اشغال می‌کنند، ممکن است رسوبات زیادی به سمت کناره آبراهه اصلی که سرعت در آن‌جا پایین است، منتقل شده و ته‌نشین شوند. در چنین حالتی توصیه می‌شود که یک سری دیواره‌های معکوس در پایین دست دیواره‌های هدایت کننده رسوب مطابق شکل (۴-۸) ساخته شود. در این حالت قسمت منحنی شکل نزدیک‌ترین دیواره به کانال آبیگر بهتر است با زاویه  $45^\circ$  در جلوی آن واقع شود. انحناهای دیواره‌های

معکوس لزومی ندارد که هم مرکز باشند. انتهای بالادست این دیواره‌ها با شیب ۱ به ۳ طراحی می‌شود. فاصله نزدیک‌ترین دیواره معکوس از گوشه پایین دست کانال آبیگر نباید کمتر از فاصله Z برای دیواره‌های هدایت کننده رسوب باشد.

جدول ۴-۱- پارامترهای طراحی دیواره‌های هدایت کننده رسوب بر حسب عرض کانال آبیگر (W)

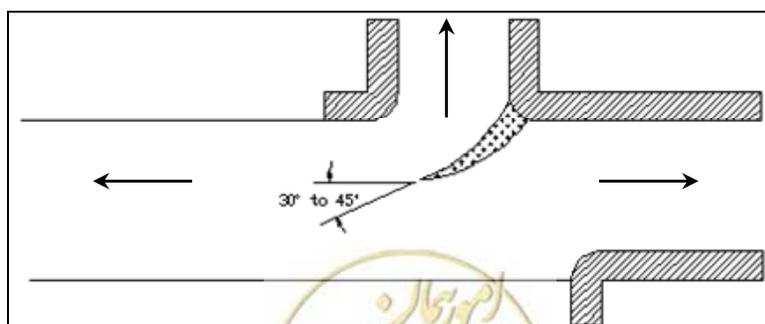
W (m)	۰/۶	۱/۲	۱/۸	۲/۴	۳/۰	۳/۶	۴/۶	۶	۷/۶	۹	۱۰/۶	۱۲
X (m)	۱/۲	۱/۵	۲/۱	۲/۴	۳	۳/۶	۴/۶	۵/۴	۶	۷	۷/۸	۸/۵
Y (m)	۰/۶	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۲/۴	۲/۷	۳	۴	۵/۲	۶	۶/۶	۷/۶
Z (m)	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۲/۴	۲/۷	۳	۳/۶	۴/۲	۵/۲	۵/۸	۶/۶
R (m)	۹	۹	۱۰	۱۲	۱۸	۲۱	۲۴	۳۰	۳۵	۴۴	۵۰	۵۷



شکل ۴-۸- دیواره‌های هدایت کننده رسوب به همراه دیواره‌های معکوس

#### ۴-۳-۱-۲- دیواره آبشکن

این روش برای هدایت بهتر جریان‌های سطحی به آبیگر و توزیع مناسب رسوب ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش یک دیواره قائم منحنی شکل که از گوشه پایین دست کانال آبیگر به آبراهه اصلی توسعه می‌یابد، استفاده می‌شود. در شکل (۴-۹) الگوی کلی دیواره آبشکن نشان داده شده است [۲۷].



شکل ۴-۹- دیواره آبشکن

## - توصیه‌های طراحی

- ۱- دیواره آبشکن، زمانی انحنای مناسب خطوط جریان را از آبراهه اصلی به کانال آبیگر به وجود می‌آورد که دماغه آن با راستای جریان در آبراهه اصلی زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه بسازد. بدین ترتیب توزیع متناسب بده جریان و رسوب به کانال آبیگر صورت می‌گیرد. این دیواره حداقل تا ۷۵ درصد عرض کانال آبیگر، می‌تواند توسعه یابد.
- ۲- ارتفاع دیواره آبشکن طوری انتخاب شود که حداقل ۰/۳ متر بالاتر از سطح جریان در آبیگر باشد.
- ۳- فاصله دماغه دیواره آبشکن تا گوشه بالادست آبیگر طوری باشد که بده مورد نیاز برای آبیگری، در فصول مختلف، قابل تامین باشد.

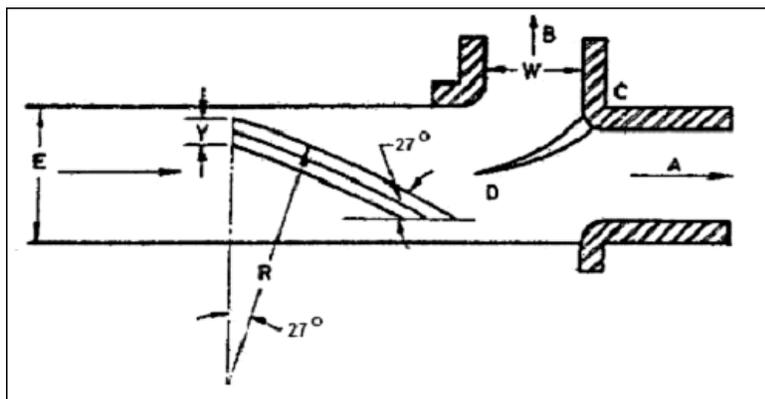
## ۳-۱-۳-۴- ترکیب دیواره آبشکن با دیواره‌های هدایت کننده رسوب

اگر رسوب وارد شده به آبیگر بیش از ظرفیت حمل رسوب آن باشد، دیواره آبشکن به تنهایی برای شرایط فوق مفید نخواهد بود. در چنین حالتی دیواره‌های هدایت کننده رسوب به همراه دیواره آبشکن بازده بیشتری خواهند داشت و توزیع مناسبی از رسوب را در سامانه به همراه خواهد داشت (شکل ۴-۱۰-الف). این سامانه ترکیبی، همچنین برای مواقعی که بده آبیگر بیش از  $\frac{1}{3}$  بده آبراهه اصلی است، می‌تواند به کار رود [۲۷].

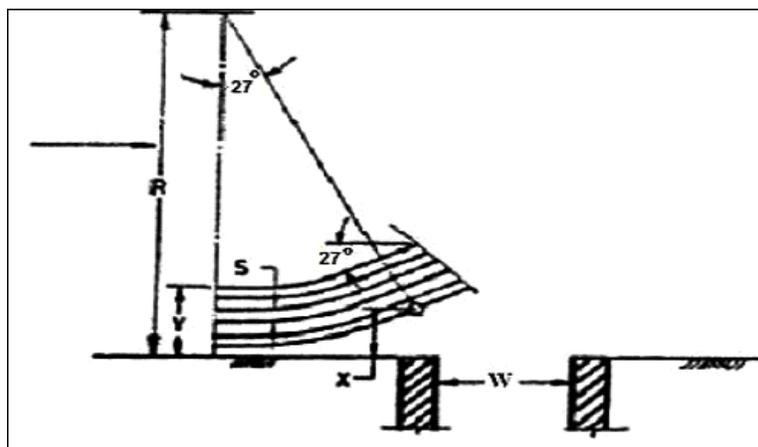
## - توصیه‌های طراحی

- ۱- حداقل شعاع دیواره‌های هدایت کننده رسوب ۷/۵ متر باشد. هر قدر شعاع دیواره‌ها بیشتر شود بازده نیز بیشتر می‌شود.
- ۲- قسمت انتهایی دیواره‌های هدایت کننده رسوب، مستقیم است و زاویه ۲۷° با محور کانال اصلی می‌سازد، (شکل ۴-۱۰-ب).
- ۳- ارتفاع دیواره‌ها  $\frac{1}{4}$  عمق جریان در آبراهه اصلی و فاصله بین آنها حدود ۱/۵ برابر ارتفاع آنها می‌باشد. فواصل X، Y و R (شکل ۴-۱۰-ب) در جدول (۴-۲) ارائه شده‌اند. دقت شود که اعداد فوق به عنوان یک تخمین اولیه بوده و برای شرایط مختلف ممکن است تغییر کنند.
- ۴- محدوده‌ای از بستر در اطراف دیواره‌ها و تا فاصله‌ای برابر ۱۵ تا ۳۰ متر در بالادست آن با پوشش مناسب محافظت شود.
- ۵- تراز بستر محافظت شده، ۱۵ سانتی‌متر بالاتر از بستر رسوبی آبراهه اصلی باشد. انتهای قسمت بالادست بستر محافظت شده حداقل به اندازه ۵ متر با شیب ۱ به ۱۰ ساخته شود.
- ۶- شیروانی کناری آبراهه اصلی در سمت آبیگر حداقل تا فاصله ذکر شده در بالادست محافظت شود. برای این منظور می‌توان از پوشش سنگی استفاده نمود.





الف- دیواره هدایت کننده رسوب و دیواره آبشکن



ب- دیواره‌های هدایت کننده رسوب

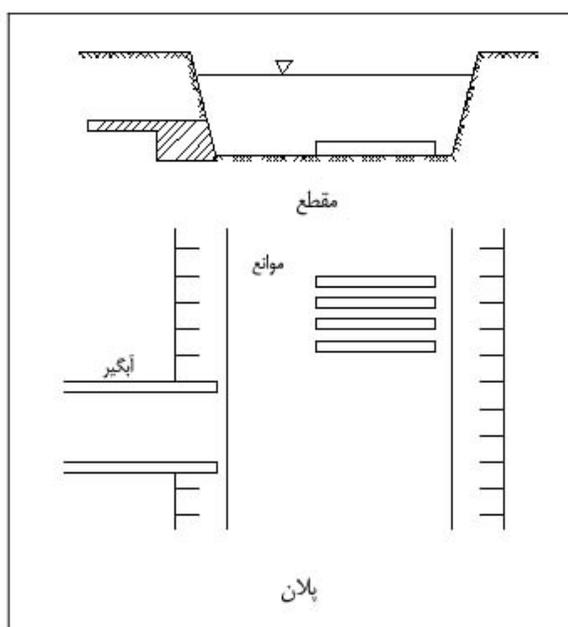
شکل ۴-۱- دیواره‌های هدایت کننده رسوب و دیواره آبشکن

جدول ۴-۲- ابعاد دیواره‌های هدایت کننده (برحسب متر)

۰/۶	۱/۲	۱/۸	۲/۴	۳/۰	۳/۶	۴/۹	۶/۱	۷/۶	۹/۱	۱۴/۲	۱۵/۲	W	عرض آبریز(متر)
۱/۲	۱/۵	۱/۸	۱/۸	۲/۱	۲/۴	۲/۴	۲/۷	۳/۰	۳/۰	۳/۷	۳/۷	X	برای عملکرد بالا
۰/۶	۰/۹	۱/۲	۱/۲	۱/۸	۲/۴	۲/۷	۲/۴	۴	۴/۵	۶/۱	۷/۶	Y	
۹/۱	۱۰/۷	۱۲/۲	۱۲/۲	۱۳/۷	۱۳/۷	۱۵/۲	۱۵/۲	۱۵/۲۴	۱۶/۸	۱۹/۸	۳۰/۵	R	
۰/۹	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۲/۷	۲/۷	X	برای عملکرد معمولی
۰/۶	۰/۶	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۲/۱	۲/۷	۳/۷	۴/۶	۵/۵	Y	
۷/۶	۹/۱	۹/۱	۹/۱	۹/۱	۹/۱	۱۰/۷	۱۰/۷	۱۰/۷	۱۲/۲	۱۵/۲	۲۲/۹	R	
۰/۹	۰/۹	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	X	حداقل توصیه شده
۰/۶	۰/۶	۰/۹	۰/۹	۱/۲	۱/۵	۱/۸	۲/۱	۲/۲	۳/۰	۳/۰	۳/۷	Y	
۷/۶	۷/۶	۹/۱	۹/۱	۹/۱	۹/۱	۱۰/۷	۱۰/۷	۱۰/۷	۱۲/۲	۱۲/۲	۱۵/۲	R	

#### ۴-۱-۳-۴- ایجاد مانع در کانال اصلی

در این روش تعدادی مانع مطابق شکل (۴-۱۱) در کف آبراهه اصلی و بالادست کانال آبیگر قرار می‌گیرد. بدین ترتیب در اثر وجود موانع، رسوبات کف در لایه‌های پایینی جریان، به لایه‌های بالایی جریان که دارای سرعت بیشتری است، منتقل شده و قبل از آن که فرصت کافی برای ورود به کانال آبیگر را پیدا کند، به پایین دست آبراهه اصلی منتقل می‌شود. بنابراین آب ورودی به کانال آبیگر دارای رسوب نسبتاً کمتری می‌باشد. زیرکردن کف یا ایجاد موانع نباید به نحوی باشد که به‌جای کنترل رسوب، باعث ورود رسوب بیشتر به کانال آبیگر شود. این پدیده زمانی اتفاق می‌افتد که موانع، خیلی دور از بالادست کانال آبیگر یا خیلی نزدیک به گوشه آبراهه اصلی در سمت آبیگر قرار بگیرند [۳۱].

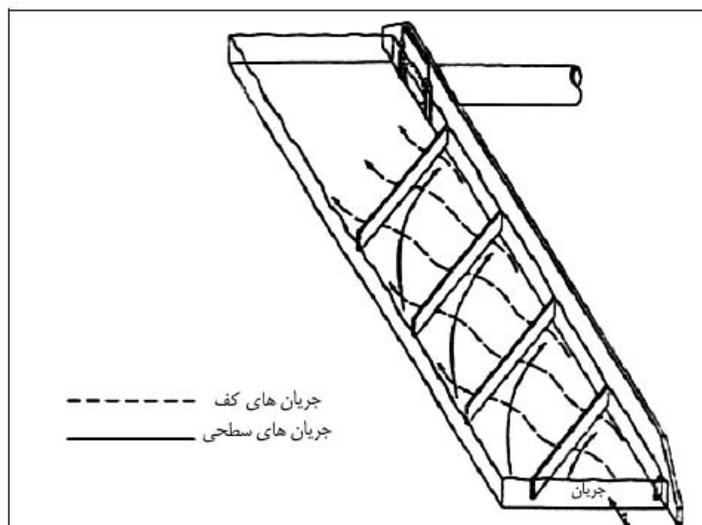


شکل ۴-۱۱- کنترل رسوب توسط ایجاد موانع

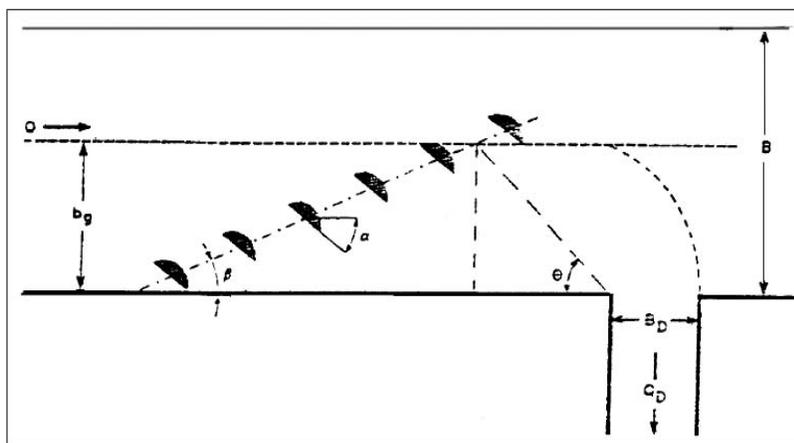
#### ۴-۱-۳-۵- صفحات سطحی

این صفحات که به‌طور مایل در سطح جریان کار گذاشته می‌شوند، موجب انحراف بیشتر جریان سطحی به سمت آبیگر و دور کردن جریان عمقی از آبیگر می‌گردد (شکل ۴-۱۲). بدین ترتیب یک جریان حلزونی در پایین دست صفحات ایجاد می‌شود. در نتیجه جریان عمقی، جابجایی رسوبات افزایش می‌یابد. این صفحات سطحی ممکن است چوبی یا فلزی باشند و با آرایش‌های مختلف در بالادست کانال آبیگر قرار می‌گیرد. نمونه‌ای از این صفحات سطحی که توسط شایومیان در کشور شوروی سابق استفاده شده و برای کانال‌های آبیگر متعددی به‌کار رفته است، در شکل (۴-۱۳) نشان داده شده است [۲۸] در ادامه توصیه‌های طراحی این نوع صفحات سطحی ارائه شده است.





شکل ۴-۱۲ - صفحات سطحی



شکل ۴-۱۳ - نمای کلی صفحات سطحی

## - توصیه‌های طراحی

- ۱- راستای قرارگیری صفحات، زاویه تقریبی  $\beta = 20^\circ$  با محور مرکزی کانال اصلی می‌سازد.
- ۲- فاصله صفحات از سطح آب کمتر از نصف عمق جریان در کانال اصلی است و محور قرارگیری آنها با جریان در کانال اصلی تقریباً زاویه  $\alpha = 30^\circ$  درجه را تشکیل می‌دهد.
- ۳- شکل هر صفحه، قسمتی از یک دایره می‌باشد. عرضی از کانال اصلی که توسط صفحات پوشیده می‌شود توسط رابطه (۴-۱) به دست می‌آید (شکل ۴-۱۳):

$$b_g = 0.72 \left( \frac{Q_D}{Q_r} + 0.07 \right) B_D$$

(۴-۱)



که در این رابطه:

$Q_D$ : بده کانال آبیگر ( $m^3/s$ )

$Q_r$ : بده جریان اصلی ( $m^3/s$ )

$B_D$ : عرض کانال آبیگر (m)

$b_g$ : عرضی از کانال اصلی که توسط صفحات پوشیده می‌شوند (m)

همچنین زاویه  $\theta$  (بر حسب درجه) با توجه به شکل (۴-۱۳) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\theta = 0.974 \left( \frac{V_D}{V_r} + 69.5 \right) \quad (۴-۲)$$

که در این رابطه:

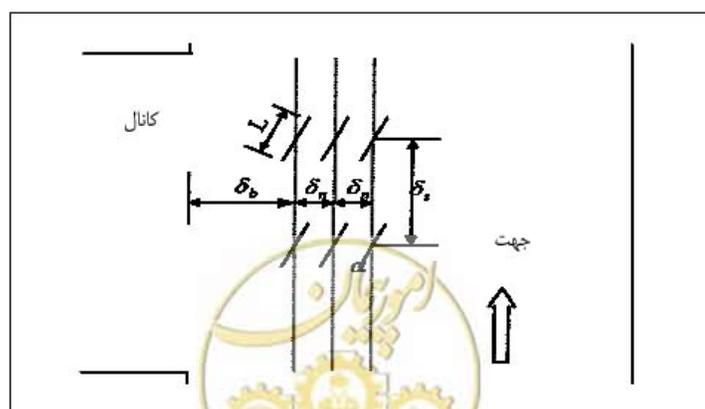
$V_D$ : سرعت جریان در کانال آبیگر

$V_r$ : سرعت جریان در آبراهه اصلی می‌باشد.

ایراد اساسی صفحات سطحی، امکان به تله‌اندازی و تجمع مواد زاید شناور است که این مساله مشکل بزرگ نگهداری آنها را به میان می‌آورد.

#### ۴-۳-۱-۶- صفحات مستغرق

صفحات مستغرق دیواره‌های کوچکی هستند که برای اصلاح الگوی جریان در نزدیکی بستر و باز توزیع جریان و انتقال رسوب در جهت عرضی و به منظور دور کردن رسوبات از دهانه آبیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور کلی صفحات مستغرق از یک دیواره که روی دو پایه متصل به بستر قرار دارد، تشکیل شده و به چندین روش قابل ساخت هست. یک روش بدین صورت است که قطعات چوبی یا بتنی به پایه‌ها پیچ می‌شوند. در روش دیگر از یک پانل بتنی پیش ساخته که به پایه‌های فولادی پیچ شده است، استفاده می‌شود. صفحات مستغرق به منظور کنترل رسوب، به گونه‌ای در دهانه آبیگر استقرار می‌یابند که جهت آنها به سمت دیواره مقابل آبیگر باشد. پارامترهای مهم طراحی صفحات مستغرق عبارتند از ارتفاع صفحه  $H$ ، طول صفحه  $L$ ، زاویه برخورد جریان  $\alpha$ ، فواصل طولی و عرضی صفحات  $\delta_n$  و  $\delta_s$  و فاصله اولین ردیف صفحات از دیواره  $\delta_b$  (شکل ۴-۱۴) [۲۱].



شکل ۴-۱۴- پارامترهای مهم طراحی صفحات مستغرق

## - توصیه‌های طراحی

با توجه به تحقیقات انجام شده در آبیگری از مسیرهای مستقیم می‌توان جمع‌بندی نهایی زیر را در مورد فواصل و آرایش این صفحات ارائه نمود:

- ۱- ارتفاع صفحات  $H$ : مقدار توصیه شده برای ارتفاع صفحات در محدوده  $0.5 < H/h < 0.5$  می‌باشد. در این جا  $h$  عمق جریان است.
- ۲- طول صفحات  $L$ : مقدار توصیه شده برای طول صفحات در محدوده  $2H < L < 3H$  می‌باشد و در بیش‌تر تحقیقات  $L = 3H$  استفاده شده است.
- ۳- فاصله طولی صفحات  $\delta s$ : فاصله طولی صفحات در دهانه آبیگر، در محدوده  $8H$  تا  $10H$  مناسب است.
- ۴- فاصله عرضی صفحات از دیواره  $\delta n$ : فاصله عرضی صفحات بین  $2H$  تا  $3H$  توصیه شده است.
- ۵- فاصله صفحات از دیواره آبیگر  $\delta b$ : این فاصله کم‌تر از  $4H$  توصیه شده و معمولاً برابر  $3H$  در نظر گرفته شده است.
- ۶- زاویه صفحات با جهت جریان  $\alpha$ : زاویه صفحات در محدوده  $15 < \alpha < 25$  توصیه شده ولی بیش‌ترین کاربرد صفحات با زوایای  $19/5$  و  $20$  درجه بوده است.
- ۷- تعداد ردیف صفحات: معمولاً از دو یا سه ردیف صفحات موازی با جهت جریان استفاده شده است.
- ۸- تعداد صفحات: تعداد صفحات به گونه‌ای انتخاب می‌شود که حداقل دو صفحه در بالادست آبیگر و یک صفحه در پایین دست آبیگر وجود داشته باشد.

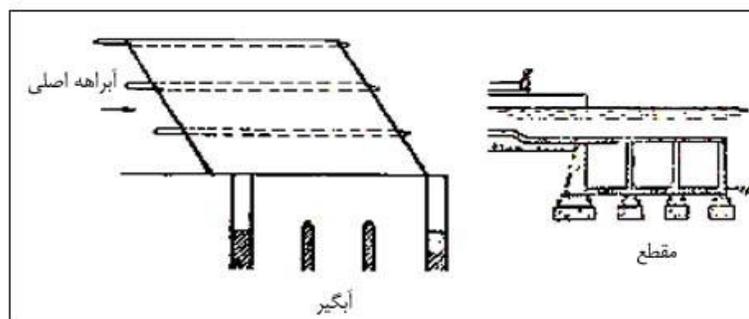
## ۴-۳-۲- سازه‌های جداکننده لایه‌های فوقانی و تحتانی جریان

در این سازه‌ها لایه پرسوب زیرین جریان از لایه کم رسوب بالایی جدا می‌شود، به گونه‌ای که آب با رسوب کم‌تر به کانال آبیگر منتقل و جریان پرسوب به پایین دست آبراهه اصلی هدایت می‌شود.

## ۴-۳-۲-۱- سکوی رسوبگیر

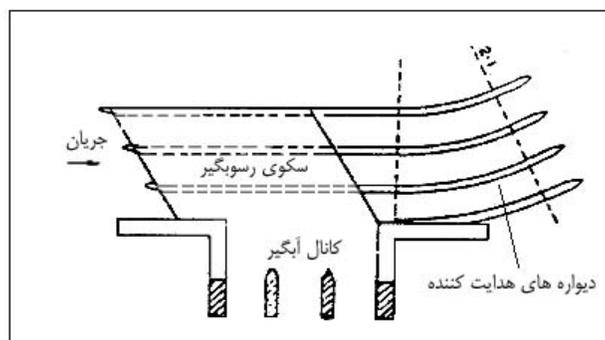
این سکو از یک صفحه افقی، که معمولاً از بتن مسلح ساخته شده و روی پایه‌هایی قرار دارد، تشکیل شده است (شکل ۴-۱۵). پایه‌ها، فضای زیر سکو را به مجاری تخلیه کننده تقسیم می‌کنند که مانند تونل‌های رسوبگیر عمل می‌نمایند. سکوی رسوبگیر برای کانال‌های آبیگر کوچک که از آبراهه‌های عمیق و بزرگ منشعب می‌شوند، به کار می‌رود و بهتر است در جاهایی استفاده شود که عمق جریان بیش از ۲ متر باشد. عملکرد این سکو بدین ترتیب است که جریان با رسوبات زیاد که بیش‌تر در نزدیک بستر متمرکز می‌باشد از طریق مجاری زیر سکو به پایین دست هدایت و از جلوی کانال آبیگر دور می‌شود و جریان کم رسوب فوقانی روی سکو به آبیگر راه می‌یابد [۲۹].





شکل ۴-۱۵- سکوی رسوبگیر

عیب این سکو آن است که رسوبات نزدیک بستر که از زیر سکو به پایین دست آبراهه اصلی منتقل می‌شوند، امکان ته‌نشینی در محدوده خروجی آن را دارند. در نتیجه ممکن است کارایی سازه با مشکل مواجه شود. برای رفع این مشکل، از دیواره‌های هدایت‌کننده رسوب در پایین دست و در ادامه پایه‌ها می‌توان استفاده کرد تا رسوبات به‌طور مناسبی به پایین دست هدایت شوند (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶- سکوی رسوبگیر به همراه دیواره هدایت‌کننده رسوب

#### - توصیه‌های طراحی

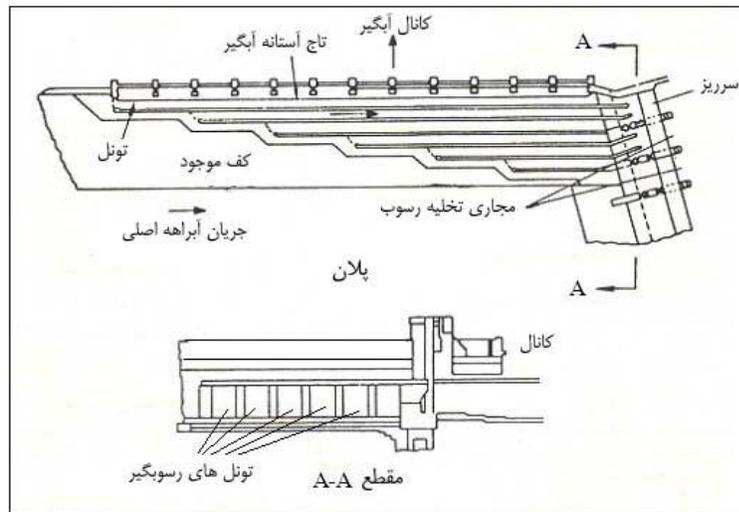
- ۱- تراز سکوی بتنی: این تراز باید طوری انتخاب شود که اهداف زیر را برآورده سازد:
  - جداسازی هرچه بیشتر جریان‌ات پرسیوب کف
  - تامین بده آبگیر از جریان عبوری از روی سکو
  - عمق تونل‌ها برای عبور مواد زاید بدون بسته‌شدن مجرای آن کافی باشد. بدین منظور ارتفاع تونل‌ها بین  $0/6$  تا  $0/9$  متر مناسب می‌باشد.
- ۲- عرض سکو: عرض سکو باید طوری انتخاب شود که همواره بده مورد نیاز کانال آبگیر را تامین نماید و توانایی عبور بده  $20$  تا  $25$  درصد بیش از بده کانال آبگیر را داشته باشد.
- ۳- حفاظت کف آبراهه اصلی: پوشش سنگی در فاصله‌ای مناسب (حدود  $15$  تا  $30$  متر) در بالادست سکو روی بستر و کناره‌ها به کار رود.



- ۴- پایه‌ها: تعداد پایه‌های مورد نیاز با توجه به ملاحظات سازه‌ای تعیین می‌شود. دماغه بالادست پایه‌ها دارای شیب ۱ به ۳ باشد که هم به جلو و هم به طرفین شیب‌دارد. بالادست پایه‌ها بهتر است به اندازه  $0/3$  متر جلوتر از لبه بالادست سکو باشد.
- ۵- لبه بالادست سکوی بتنی: معمولاً  $1/5$  تا ۳ متر از گوشه بالادست کانال آبریز فراتر می‌رود.

#### ۴-۳-۲- تونل رسوبگیر در جلوی آبریز

به‌منظور جداکردن بار سوبی در رودخانه، می‌توان از تونل رسوبگیر در جلوی آبریز و در بالادست بند انحرافی استفاده کرد. آب کم رسوب، از روی تونل به کانال آبریز وارد شده و جریان پرسیوب نزدیک کف از طریق تونل به پایین دست رودخانه منتقل می‌گردد. ایده اولیه کنترل رسوب از این طریق توسط الدسن در سال ۱۹۲۲ مطرح شد و بعدها توسط نیکلسون در سال ۱۹۳۴ تحقق عینی پیدا کرد که اولین تونل رسوبگیر را برای کانال آبریز چناب در هندوستان اجرا نمود. این رسوبگیر شامل شش تونل با طول‌های متفاوت بود که کل عرض ورودی آبریز را پوشش می‌داد و در انتها به دو دهانه مجرای تخلیه رسوب در بند انحرافی ختم می‌شد. شکل (۴-۱۷) پلان و مقطع عرضی نمونه‌ای از تونل رسوبگیر را نشان می‌دهد [۲۵].



شکل ۴-۱۷- تونل‌های رسوبگیر [۲۵]

#### - توصیه‌های طراحی

- ۱- عرض رسوبگیر: عرض تونل رسوبگیر معمولاً ۱ تا ۴ دهانه از مجرای تخلیه رسوب را پوشش می‌دهد. همچنین عرض رسوبگیر باید طوری باشد که جریان عبوری از روی آن، بده مورد نیاز برای کانال آبریز را همواره تامین نماید.
- ۲- شرایط رودخانه در بالادست: در انتخاب محل دهانه ورودی تونل‌های رسوبگیر عواملی مانند شرایط بالادست رودخانه و تغییرات احتمالی موجود در مسیر جریان، خصوصیات رسوب، محل تنظیم کننده آبریز و محل و طول دیواره تقسیم کننده تاثیر دارند.



۳- سقف تونل‌ها: صفحه بتنی مسلح که به عنوان سقف تونل‌ها عمل می‌کند معمولا ۰/۵ تا ۰/۸ متر از بالادست دماغه

دیوارهای تونل فراتر می‌رود و لبه زیرین آن در بالادست به شکل یک ربع بیضی با معادله زیر ساخته می‌شود:

$$\frac{x^2}{(2t \sim 3t)^2} + \frac{y^2}{t^2} = 1 \quad (۳-۴)$$

که در این رابطه:

t: ضخامت سقف تونل، x و y به ترتیب مختصات دماغه دیواره تونل می‌باشد.

۴- ابعاد تونل: تونل‌ها معمولا مقطعی مستطیل شکل داشته و دارای ورودی زنگوله‌ای شکل می‌باشند. طول تمام تونل‌ها

با یکدیگر متفاوت بوده و طوری تعیین می‌شوند که افت ارتفاع در آنها با تغییر سطح مقطع آن ثابت باشد. طول

نزدیک‌ترین تونل به آبیگر با عرض دهانه کانال آبیگر مساوی بوده و هر قدر از دهانه آبیگر فاصله گرفته می‌شود، طول

تونل‌ها کم‌تر خواهد شد. سرعت جریان در خروجی تونل‌ها باید از ته‌نشینی رسوب در این محل جلوگیری کند. عمق

تونل‌ها معمولا برابر اختلاف بین تراز تاج تنظیم کننده کانال آبیگر و تراز کف دهانه‌های مجرای تخلیه رسوب منهای

ضخامت سقف آن می‌باشد. شعاع انحنای خم در انتهای تونل در حدود ۱۰ تا ۱۵ برابر عرض تونل است. تعداد تونل‌ها

به ابعاد آنها و عرض کل رسوبگیر بستگی دارد. معمولا بین ۲ تا ۶ تونل توصیه می‌شود. ضخامت دیواره‌های تونل بین

۰/۳ تا ۰/۸ متر توصیه شده است.

۵- افت در تونل‌ها:

- افت اصطکاک: با توجه به رابطه مانینگ، افت به خاطر اصطکاک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$h_f = \frac{n^2 V^2 L}{R^{\frac{4}{3}}} \quad (۴-۴)$$

که در این رابطه:

$h_f$ : افت اصطکاک (m)

L: طول تونل (m)

R: شعاع هیدرولیکی متوسط (m)

V: سرعت متوسط جریان در تونل (m/s)

n: ضریب زبری

- افت ناشی از خم: مقدار افت به دلیل وجود انحنا در مسیر تونل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_b = F \left( \frac{V^2}{2g} \right) \left( \frac{\alpha}{180} \right) \quad (۵-۴)$$

که در این رابطه:

$h_b$ : افت ناشی از خم (m)

$\alpha$ : زاویه انحراف در خم (درجه)

F: ضریبی است که از رابطه زیر به دست می‌آید:



$$F = 0.124 + 3.106 \left( \frac{S}{2r} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (۴-۶)$$

که در این رابطه:

S: عرض متوسط تونل (متر)

r: شعاع انحنا در امتداد محور مرکزی تونل (متر)

- افت به خاطر باز شدگی مقطع: به دلیل افزایش سطح مقطع و تغییر سرعت جریان، افت به وجود آمده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_e = 0.1 \left[ \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right] \quad (۴-۷)$$

- افت به خاطر تنگ شدگی مقطع: افت ناشی از تنگ شدگی مقطع از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$h_e = 0.2 \left[ \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right] \quad (۴-۸)$$

که در این رابطه:

$V_1$  و  $V_2$ : به ترتیب سرعت جریان قبل و بعد از تغییر سطح مقطع

$h_e$ : افت به خاطر تغییر در سطح مقطع (متر)

افت کل در تونل‌های رسوبگیر معمولاً بین ۰/۶ تا ۱/۲ متر است [۳۰].

- ۶- سرعت جریان در تونل: سرعت جریان مورد نیاز برای حمل و خارج نمودن رسوبات از تونل به عوامل متعددی بستگی دارد که مقدار و اندازه رسوبات موجود در جریان از عمده‌ترین آنها می‌باشند. تجربه نشان داده است که حداقل سرعت ۱/۸ تا ۳ متر بر ثانیه در مسیرهای آبرفتی و تا ۴ متر بر ثانیه زمانی که بستر از نوع سنگ‌های درشت‌تر می‌باشد، کافی است [۳۰].

- ۷- بده رسوبگیر: بده رسوبگیر معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بده طراحی کانال آبرگیر است که البته تا مقادیر ۳۰ درصد نیز استفاده شده است.

- ۸- ارتفاع مورد نیاز جریان<sup>۱</sup> برای عملکرد سامانه: ارتفاع (اختلاف بین تراز آب بالادست و پایین دست در زمان سیلاب) در محدوده ۰/۶ تا ۱ متر برای بهره‌برداری مناسب کافی است. البته ترجیح داده می‌شود که ارتفاع بیش‌تری برای خروج بهتر رسوبات استفاده شود.

- ۹- مراحل طراحی هیدرولیکی تونل‌های رسوبگیر با توجه به تئوری حمل رسوب در زیر آمده است:

- حداکثر بده رودخانه QR، عمق جریان در رودخانه و بده کانال آبرگیر QD را مشخص کنید.
- تنش برشی در رودخانه را از رابطه زیر محاسبه نمایید. S شیب رودخانه و R شعاع هیدرولیکی است.

$$\tau_0 = \gamma R S \quad (۴-۹)$$



- اندازه بزرگترین ذره از مصالح بستر که در تنش برشی به دست آمده به حرکت در می آید  $dm$  را از نمودار شیلدز به دست آورید.
- مقداری (بین ۱ تا ۲ متر) برای ارتفاع تونل  $h$  در نظر بگیرید.
- بده رسوبگیر  $Q_{Ex}$  را فرض نمایید (۱۰ تا ۲۰ درصد  $Q_D$ )
- سرعت آستانه حرکت  $U_c$  را برای اندازه مصالحی که در مرحله ۳ به دست آمده با استفاده از معادله زیر به دست آورید.

$$\frac{U_c}{\sqrt{(\rho_s/\rho - 1)gd_m}} = 1.6 \left[ \frac{R_{Ex}}{d_m} \right]^{1/8} \quad (10-4)$$

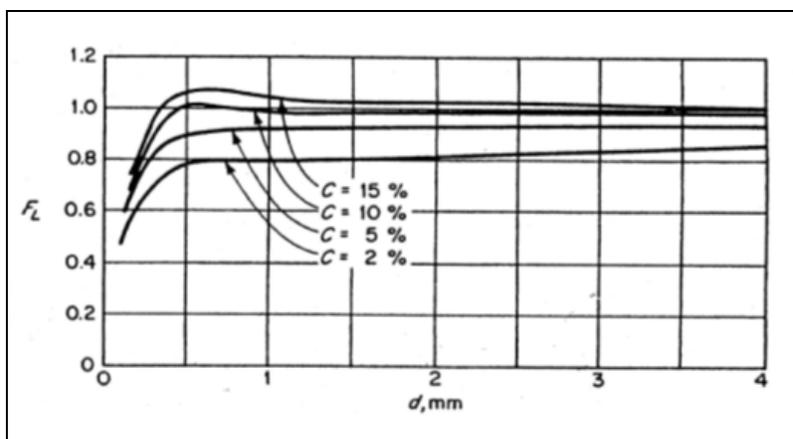
که در این رابطه:

$R_{Ex}$ : شعاع هیدرولیکی رسوبگیر،  $\rho_s$  و  $\rho$  به ترتیب چگالی رسوب و آب می باشد.

- سرعت رسوب گذاری حدی  $U_L$  را برای قطر  $d_m$  از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$U_L = F_L \sqrt{8gR_{Ex}(\rho_s/\rho - 1)} \quad (11-4)$$

- در رابطه فوق  $F_L$  پارامتری است که به اندازه ذره و غلظت رسوبات بستگی دارد و برای ذرات بزرگتر از ۰/۵ میلی متر بین ۰/۸ تا ۱ متغیر است. تغییرات پارامتر  $F_L$  نیز در مقابل قطر مصالح و غلظت رسوب  $C$ ، در شکل (۱۸-۴) نشان داده شده است [۲۵].



شکل ۱۸-۴ - تغییرات  $F_L$  با غلظت و قطر ذره رسوب

- سرعت جریان در رسوبگیر  $U_{Ex}$ ، بزرگتر از  $U_{Ex}$  و کمی کوچکتر از  $U_L$  انتخاب شود.
- عرض مفید رسوبگیر از رابطه  $B_{Ex} = \frac{Q_{Ex}}{U_{Ex} h}$  به دست می آید. عرض کل رسوبگیر با استفاده از این عرض به اضافه عرض دیواره های میانی به دست می آید.
- عرضی از رودخانه  $B_{RE}$  که بده  $Q_{Ex}$  را به تونل رسوبگیر هدایت می کند، با استفاده از رابطه زیر تعیین شود:

$$B_{RE} = (Q_D + Q_{Ex}) \frac{B_R}{Q_R} \quad (12-4)$$



- مقدار بار بستر که از عرض  $B_{RE}$  وارد تونل می‌شود، با به‌کارگیری روابط مناسب محاسبه شود.
- مقدار بار معلق که وارد تونل می‌شود، با انتگرال‌گیری حاصل ضرب سرعت جریان در غلظت رسوبات معلق از ارتفاع  $2d$  (قطر ذره رسوب است) تا ارتفاع  $h$  (ارتفاع تونل) به‌دست می‌آید. همچنین مقدار بار معلق که از بالای تونل وارد کانال آبگیر می‌شود با انتگرال‌گیری از تراز سقف تونل تا تراز سطح آب محاسبه شود.
- شایان ذکر است که این شیوه محاسبه، تغییرات غلظت بار معلق ناشی از آبگیری و تغییر در توزیع غلظت ناشی از برخورد آب با دماغه تونل را در نظر نمی‌گیرد.

- برای مقادیر معلوم  $Q_{EX}$ ،  $B_{EX}$  و  $h$  گرفتگی تونل محاسبه شود:

$$\frac{h - D_{FEX}}{h} = \text{درصد گرفتگی} \quad (۱۳-۴)$$

مقدار  $D_{FEX}$  (ارتفاع جریان آب در تونل) از معادله زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{Q_{EX}^2 \left( 1 + \frac{D_{FEX}}{B_{EX}} \right)}{g D_{FEX}^3 B_{EX}^2} = 4 F_L^2 (\rho_s / \rho - 1) \quad (۱۴-۴)$$

- غلظت رسوب  $C_T$  در تونل از رابطه زیر به‌دست می‌آید [۲۵]:

$$\text{Re} \sqrt{f} = \left( \frac{I}{d/4R_{EX}} \right)^{S_1} C_T^{1/3} \quad (۱۵-۴)$$

که در این رابطه:

Re: عدد رینولدز جریان درون تونل

f: ضریب دارسی ویسباخ

I: تابعی از قطر ذرات است که از جدول (۳-۴) به‌دست می‌آید

$$S_1: \frac{1}{0.89 d^{1/3}}$$

d: قطر متوسط ذرات رسوب می‌باشد.

جدول ۳-۴- تغییرات مقدار I با قطر متوسط ذره رسوب

d(mm)	۲/۵	۱/۵	۰/۹	۰/۶	۰/۲	۰/۱
I	۵۵۰	۴۶۰	۵۰	۹	۰/۴۲	۰/۰۶۵

در این‌جا لازم است که برخی موارد کنترل شود. از جمله باید گرفتگی محاسبه شده، از یک مقدار منطقی (حدود ۳۵٪) کم‌تر باشد [۱۰]. همچنین  $C_T$  محاسبه شده باید از غلظت رسوب ورودی به تونل بیش‌تر باشد.

هر کدام از شرایط فوق که ارضا نشود باید گام‌های (۴) تا (۱۵) تکرار شود. در نهایت بهترین ترکیب برای  $Q_{EX}$ ،  $B_{EX}$  و  $h$  به گونه‌ای انتخاب می‌شود که حداقل گرفتگی و حداقل  $Q_{EX}$  و بهترین وضعیت انتقال رسوب را، هم از حیث بازده و هم رعایت قیود داشته باشد. بازده رسوبگیر از تقسیم میزان رسوبات ورودی به تونل به کل میزان رسوبات وارد شده به محدوده تونل حاصل خواهد شد.

- پس از تعیین  $Q_{EX}$ ،  $B_{EX}$  و  $h$  نوبت طراحی تونل‌های میانی است. نزدیک‌ترین تونل میانی به دهانه آبیگر، با فاصله کمی از بالادست دهانه آغاز شده و تا دریچه رسوب‌شویی در بند انحرافی ادامه می‌یابد. سایر تونل‌های میانی طول کم‌تری دارند به طوری که با شیبی حدود یک به یک طولشان نسبت به تونل ما قبل خود کاهش می‌یابد.
- طول تونل‌ها به طریقی تعیین می‌شوند که افت در همه تونل‌ها مساوی هم باشند. افت شامل افت اصطکاک، افت ناشی از تغییر سطح مقطع و افت در ورودی و خروجی تونل‌ها خواهد بود [۲۵].

#### ۴-۴- روش‌های علاج بخش

با توجه به این که مقدار رسوبات ورودی به آبیگر ممکن است بالاتر از حد مجاز باشند، لذا لازم است با استفاده از سازه‌های مناسب که به عنوان روش‌های علاج بخش تلقی می‌گردد، این رسوبات از جریان جدا شوند. این سازه‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

- حوضچه ترسیب طولی
- تونل رسوبگیر
- حوضچه ترسیب گردابی
- لوله رسوبگیر گردابی

در ادامه به معرفی این سازه‌ها و خلاصه‌ای از مبانی طراحی هیدرولیکی آنها پرداخته می‌شود.

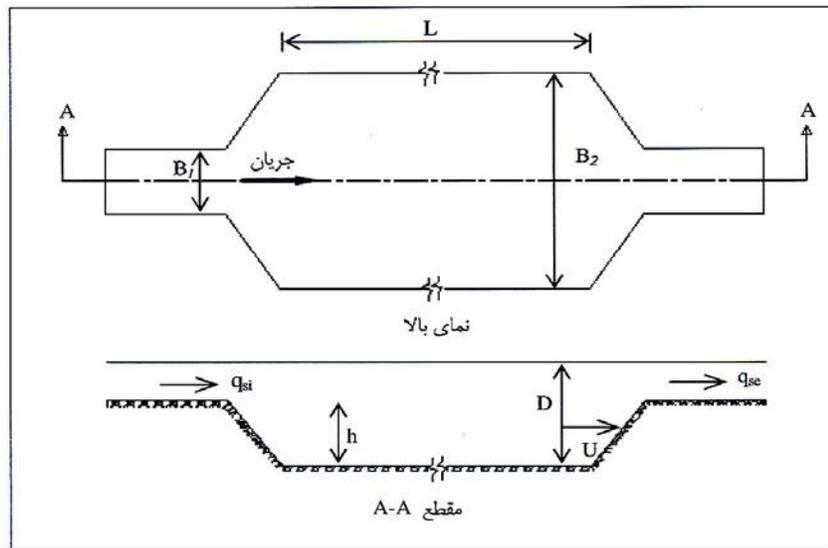
#### ۴-۴-۱- حوضچه ترسیب طولی

این حوضچه یکی از موثرترین روش‌ها برای ته‌نشین کردن ذرات معلق موجود در جریان می‌باشد. در این حوضچه جریان همراه با رسوب به مجرای عریض وارد شده (شکل ۴-۱۹) و با افزایش سطح مقطع جریان، سرعت به اندازه‌ای کم می‌شود که امکان ته‌نشینی ذرات معلق فراهم شود. بدین ترتیب غلظت رسوبات در جریان خروجی از حوضچه کاهش می‌یابد.

حداکثر قطر مجاز ذرات رسوب برای تاسیسات مختلف بدین قرار است [۳]:

- برای نیروگاه‌های کوچک با ارتفاع موثر کم (اختلاف ارتفاع سطح آب در بالادست و پایین دست): ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر
- برای نیروگاه‌های با ارتفاع موثر تا ۱۰۰ متر: ۰/۱ تا ۰/۲ میلی‌متر
- برای نیروگاه‌های با ارتفاع موثر بیش از ۱۰۰ متر: ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ میلی‌متر
- برای امور کشاورزی: ۰/۲۵ میلی‌متر
- برای امور آبرسانی شهری: ۰/۰۵ میلی‌متر





شکل ۴-۱۹- توصیف کلی حوضچه ترسیب

حوضچه‌های ترسیب از نقطه نظر قطر کوچک‌ترین ذره قابل ته‌نشینی، به دو دسته حوضچه‌های ترسیب درشت‌دانه و ریزدانه تقسیم می‌گردند. کانال‌های آبیاری در مناطق کوهستانی معمولاً نیازمند طراحی حوضچه‌های ترسیب مخصوص ته‌نشینی مواد درشت‌دانه بوده، در حالی که در دشت‌های پایین دست رودخانه که قدرت حمل کاهش می‌یابد، آبیگرها باید حوضچه‌های ترسیب ویژه مواد ریزدانه داشته باشند.

#### - توصیه‌های طراحی

۱- سرعت جریان در حوضچه ترسیب: برای ذراتی که از  $0.25$  میلی‌متر بزرگ‌تر هستند، سرعت جریان در حوضچه حدود  $0.25$  تا  $0.5$  متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. یک روش تقریبی در محاسبه سرعت جریان، استفاده از رابطه کمپ می‌باشد که در آن حداکثر سرعت جریان در حوضچه براساس قطر ذرات با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U = a\sqrt{d} \quad (4-16)$$

که در این رابطه:

$d$ : قطر ذرات (mm)

$U$ : سرعت جریان در حوضچه (m/s)

$a$ : ضریبی است که با توجه به قطر ذرات چنین انتخاب می‌شود:

$$a = 36 : d > 1\text{mm}$$

$$a = 44 : 0.1\text{mm} < d < 1\text{mm}$$

$$a = 51 : d < 0.1\text{mm}$$

(4-17)

در هر حال سرعت جریان در حوضچه ترسیب نباید از سرعت بحرانی ذرات مورد نظر (حداقل سرعتی که باعث جدا شدن رسوبات از کف می‌شود) بیشتر باشد.



۲- ابعاد حوضچه: ابعاد حوضچه ترسیب با توجه به نکات زیر تعیین می‌شود:

- سرعت متوسط جریان در حوضچه‌های ترسیب در حدود  $0/3$  متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود.
- در صورت لزوم شیب کف حوضچه ترسیب بین  $0/005$  تا  $0/02$  در نظر گرفته می‌شود.
- چنانچه حوضچه ترسیب بسیار عریض باشد، دیواره‌های جداکننده‌ای با ارتفاع  $2$  الی  $2/5$  متر در حوضچه در نظر گرفته می‌شود. نسبت عرض در کف حوضچه به عمق آب نیز حدود  $3$  تا  $5$  پیشنهاد می‌شود.

طول حوضچه را با استفاده از رابطه زیر می‌توان به‌دست آورد:

$$L = \alpha \frac{U \cdot D}{\omega} \quad (18-4)$$

که در این رابطه:

$U$  و  $D$ : به ترتیب عبارتند از سرعت و عمق جریان در حوضچه ترسیب و  $\omega$  سرعت سقوط ذرات است. مقدار توصیه شده برای  $\alpha$  بین  $1/2$  تا  $1/5$  می‌باشد.

جهت در نظر گرفتن تاثیر آشفتگی بر روی سرعت سقوط ذرات، طول اصلاح شده حوضچه به‌صورت زیر ارائه شده است:

$$L = \frac{D^3 U}{D^2 \omega - 0.132 U} \quad (19-4)$$

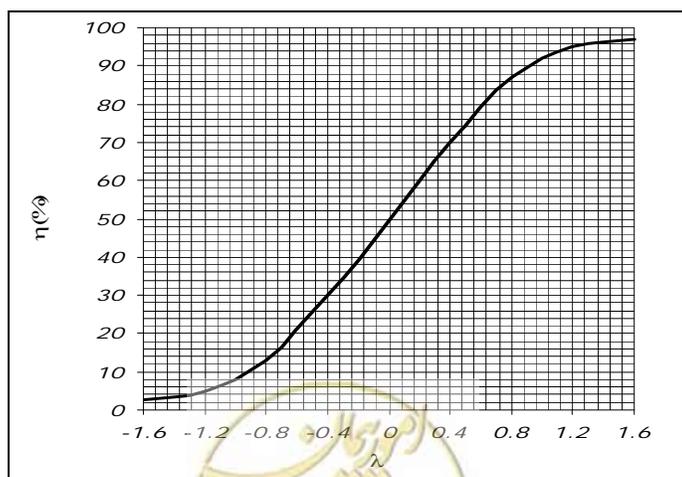
ولیکانف نیز رابطه‌ای تجربی به‌صورت زیر برای طول حوضچه ارائه داده است:

$$L = \frac{\lambda^2 U^2 (\sqrt{D} - 0.2)^2}{7.51 \omega^2} \quad (20-4)$$

که در این رابطه:

$D$  و  $L$ : به ترتیب عمق و طول حوضچه بر حسب متر و  $\lambda$  ضریبی است که وابسته به بازده حوضچه  $\eta$  است و با استفاده از

شکل (۲۰-۴) تعیین می‌گردد.



شکل ۲۰-۴- نمودار تغییرات  $\lambda$  بر حسب  $\eta$  در رابطه ولیکانف

معمولا حداقل مقدار نسبت طول به عرض حوضچه ( $L/B_2$ )، در محدوده ۲ تا ۳ در نظر گرفته می‌شود. در کارهای آبرسانی شهری و نیروگاه برق آبی، غالبا لازم است که طول حوضچه به حداقل برسد. در سامانه‌های آبیاری بهتر است نسبت  $L/B_2$  با عرض و عمیق نمودن مقطع کانال برابر ۸ تا ۱۰ در نظر گرفته شود. در این جا  $B_2$  عرض حوضچه است.

۳- بازده ته‌نشینی حوضچه: گارده و همکاران (۱۹۹۰) براساس مطالعات آزمایشگاهی متعدد، رابطه زیر را جهت محاسبه بازده حوضچه ترسیب ارائه کرده‌اند [۲۴]:

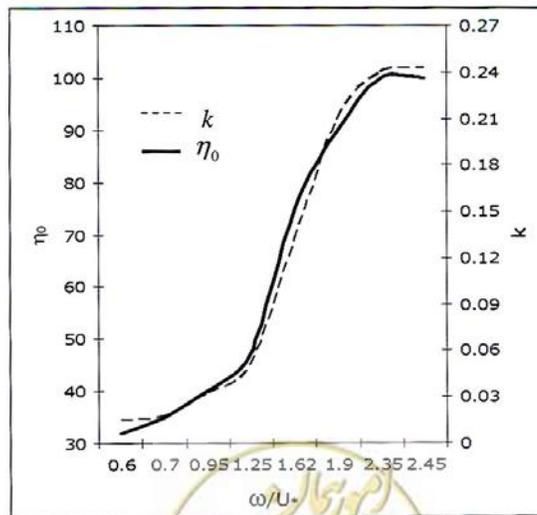
$$\eta = \eta_0 \left[ 1 - e^{-\frac{KL}{D}} \right] \quad (۲۱-۴)$$

که در این رابطه:

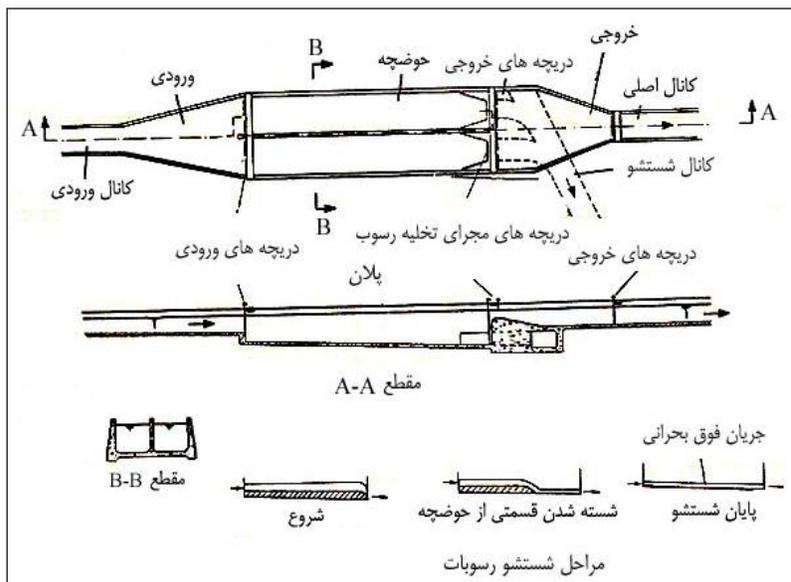
$\eta_0$ : بازده حدی که وابسته به  $\omega/U_*$  است و  $K$  یک ضریب می‌باشد. تغییرات مقادیر  $K$  و  $\eta_0$  برحسب  $\omega/U_*$  در شکل (۲۱-۴) نشان داده شده است.

۴- بهره‌برداری از حوضچه ترسیب و تخلیه رسوبات: روش تخلیه رسوبات انباشته شده در کف حوضچه عامل موثری در تعیین موقعیت تمامی تاسیسات آبریزی می‌باشد. تخلیه رسوبات ممکن است به‌طور پیوسته یا به‌طور متناوب انجام شود. در روش تخلیه پیوسته، معمولا رسوبات به‌وسیله لایروب‌های هیدرولیکی به یک مخزن ریخته شده و به‌صورت ثقلی یا پمپاژ تخلیه می‌شود. در روش تخلیه متناوب، آبریزی قطع و رسوبات با استفاده از روش شستشوی هیدرولیکی یا مکانیکی، دستی و یا پمپاژ تخلیه می‌شود.

در روش تخلیه متناوب، به‌منظور جلوگیری از قطع آبریزی معمولا حوضچه ترسیب به وسیله دیوارهایی به چندین محفظه تقسیم می‌شود و هر کدام از محفظه‌ها درحالی که بقیه محفظه‌ها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، به‌طور مستقل شستشو می‌شوند. شکل (۲۲-۴) نمونه‌ای از این سامانه شستشو را نشان می‌دهد. شرایط و موقعیت تاسیسات و عمق رودخانه، روش مناسب برای تخلیه رسوبات را تعیین می‌کند.



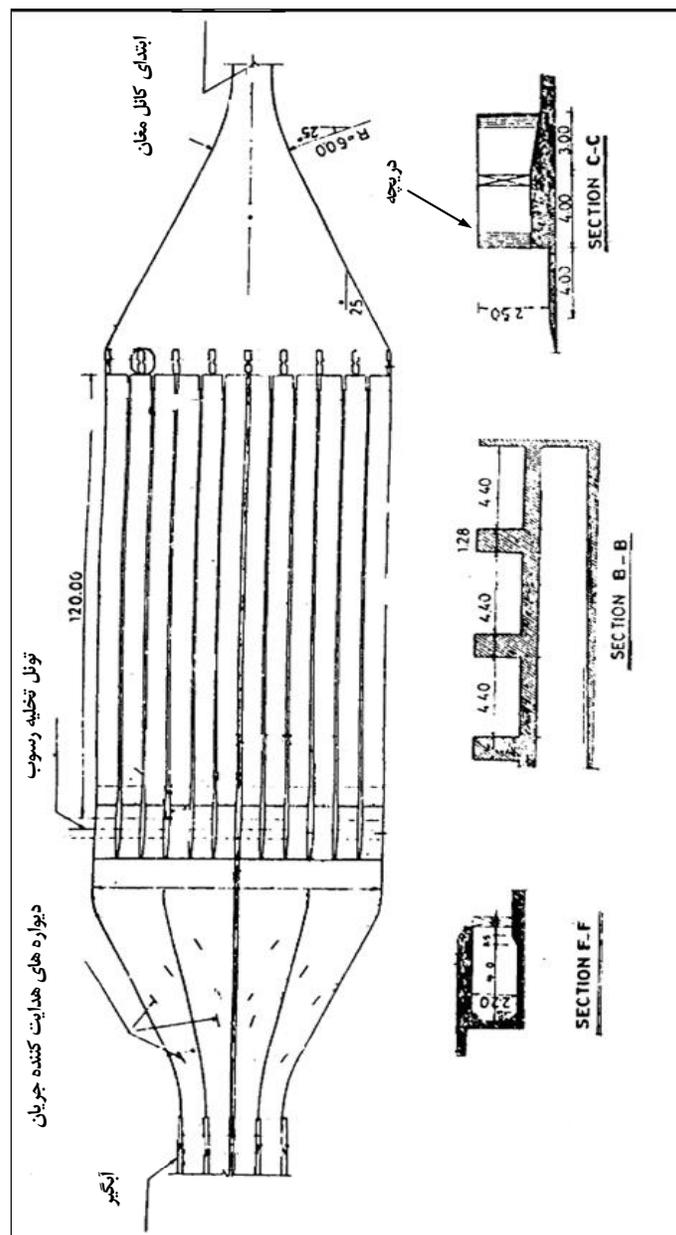
شکل ۲۱-۴- نمودار تغییرات  $K$  و  $\eta_0$  بر حسب  $\omega/U_*$



شکل ۴-۲۲- حوضچه ترسیب با محفظه‌های موازی [۵]

حوضچه ترسیب مغان، اولین حوضچه ترسیب ساخته شده در کشور است (شکل ۴-۲۳). شبکه آبیاری مغان در شمال غربی ایران و در نزدیکی مرز قرار دارد. آب مورد نیاز شبکه آبیاری توسط بند انحرافی میل مغان که بر روی رودخانه ارس ساخته شده است، تامین می‌گردد. آب رودخانه بعد از آبیاری وارد حوضچه ترسیب می‌گردد. حداکثر بده ورودی به حوضچه ۹۵ متر مکعب در ثانیه است که ۱۵ متر مکعب در ثانیه آن جهت شستشوی محفظه‌های حوضچه در نظر گرفته شده است. مشخصات این حوضچه ترسیب عبارت است از: طول حوضچه ۱۲۰ متر، عرض کل حوضچه: ۶۷ متر، تعداد گالری‌ها: ۱۲ عدد، عرض هر گالری: ۵ متر، عمق مفید حوضچه: ۲/۵ متر و حداکثر عمق حوضچه: ۳/۹۵ متر. این مشخصات پس از ساخت و آزمایش مدل هیدرولیکی حوضچه انتخاب شده است.



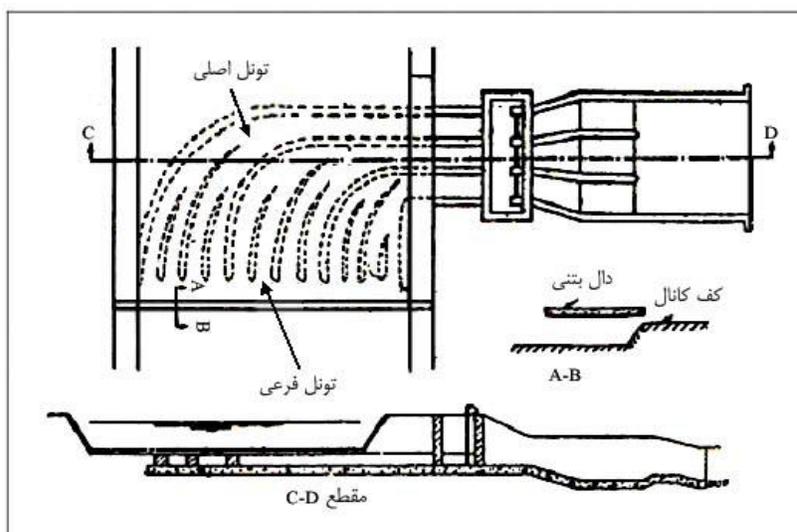


شکل ۴-۲۳- حوضچه ترسیب مغان [۵]

#### ۴-۴-۲- تونل رسوبگیر

تونل رسوبگیر علاوه بر این که در جلوی آبرگیر می‌تواند احداث شوند، در کانال آبرگیر نیز می‌توانند به منظور جداسازی رسوبات راه یافته به درون آبرگیر مورد استفاده قرار گیرند. البته تونل‌های ساخته شده در کانال آبرگیر تفاوت قابل توجهی با تونل‌های ساخته شده در جلوی آبرگیر دارد. اساس کار این رسوبگیر بر مبنای جدا سازی لایه زیرین جریان است که عموماً شامل ذرات بیش‌تر رسوب می‌باشد. این سازه معمولاً در عرض کامل کانال آبرگیر احداث می‌شود. سقف این تونل‌ها مقداری بالاتر از کف کانال آبرگیر می‌باشد.

این تونل‌ها مسیری منحنی شکل دارند و تا کناره یا ساحل کانال ادامه می‌یابند و به یک کانال تخلیه منتهی می‌شوند. در انتهای هر تونل دریچه‌ای برای کنترل جریان وجود دارد (شکل ۴-۲۴).



شکل ۴-۲۴- تونل رسوبگیر در کانال آبیگر

مبانی طراحی این نوع سازه‌ها مشابه تونل‌های رسوبگیر احداث شده در دهانه آبیگر می‌باشد. داده‌های مورد نیاز جهت طراحی تونل‌های رسوبگیر احداث شده در کانال آبیگر به قرار زیر است:

- ۱- پلان محل احداث سازه
- ۲- مشخصات و جزئیات سطح مقطع کانال آبیگر
- ۳- بده طراحی آبیگر
- ۴- مشخصات مربوط به کانال تخلیه شامل: سطح مقطع، بده و پلان
- ۵- داده‌های مربوط به رسوب شامل: داده‌های مربوط به بار معلق در عمق‌های مختلف، داده‌های مربوط به بار بستر و قطر مجاز ذراتی که می‌تواند به پایین دست حمل گردد. در کانال‌های نیروگاه‌ها معمولاً ذرات با قطر بیش‌تر از ۰/۲ میلی‌متر باید جدا کردند.

#### - توصیه‌های طراحی

- ۱- کانال ورودی: کانال ورودی بالادست رسوبگیر باید حتی‌المقدور مسیری مستقیم داشته باشد، در غیر این صورت توزیع رسوبات در محل سازه یکنواخت نخواهد بود. اگر این نوع رسوبگیر در محل قوس ساخته شود، رسوبات بیش‌تری وارد تونلی که در قوس داخلی هستند می‌شود، درحالی‌که تونلی که در قسمت خارجی قوس هستند ممکن است عاری از رسوب باشد. باید سعی شود که کلیه تونل‌ها به‌طور مساوی رسوب حمل نمایند و از مسدود شدن احتمالی آنها جلوگیری به‌عمل آید. اگر در محلی به ناچار باید این سازه در محل غیر مستقیم کانال احداث شود، انتخاب محل باید پس از انجام مدل‌سازی و مطالعات مربوط روی آن انجام گیرد.

طول قسمت مستقیم تونل رسوبگیر در بالادست آن، بستگی به عوامل زیر دارد:

- سرعت و عمق جریان
- قطر ذراتی که باید از جریان جدا گردند
- آشفته‌گی جریان

تونل رسوبگیر نباید در فاصله زیادی از دهانه ورودی کانال آبرگیر احداث شود، در این صورت رسوبات قبل از رسیدن به آن ممکن است ته‌نشین شده و ضمن کاهش ظرفیت کانال، عمل جدا سازی رسوبات به خوبی انجام نشود. همچنین اگر سازه خیلی نزدیک به دهانه کانال آبرگیر احداث شود، ممکن است رسوبات به صورت معلق از روی آن به پایین دست حمل شده و سازه نتواند به نحو مناسب و مطلوب عمل نماید.

معمولاً زمانی که این نوع رسوبگیر در کانالی که از یک رودخانه با کف درشت‌دانه منشعب شده، احداث می‌شود، سازه را در فاصله‌ای حدود ۴ الی ۸ برابر عرض کانال احداث می‌کنند و اگر کانال از رودخانه آبرفتی منشعب شده است، این فاصله را تا ۱۶ برابر عرض کانال می‌توان افزایش داد. اگر ذرات خیلی ریزدانه باید از جریان جدا شوند، می‌توان تعداد این نوع سازه‌ها را در طول کانال افزایش داد.

۲- بده مورد نیاز: بده مورد نیاز رسوبگیر بین ۲۰ تا ۲۵ درصد بده کانال در پایین دست رسوبگیر است. آنچه که مهم است بده تونل‌ها باید برای حمل رسوبات مورد نظر کافی باشد.

۳- ارتفاع و سقف تونل: سقف تونل در فاصله‌ای از کف باید ساخته شود که حداقل تلاطم و آشفته‌گی را در جلوی آن ایجاد کند و باعث غیر یکنواختی توزیع رسوبات نگردد. سقف تونل در پایین دست باید براساس کف کانال در این قسمت ساخته شود، در غیر این صورت ممکن است احداث سازه‌های استهلاک کننده انرژی ضروری باشد.

ارتفاع تونل‌ها را بین ۰/۲ تا ۰/۲۵ عمق جریان در نظر می‌گیرند. اگر چه برای اطمینان بیش‌تر می‌توان با استفاده از مدل‌های فیزیکی به مقادیر مطمئن‌تری رسید.

۴- شکل دماغه جلوی سقف تونل: دهانه سقف تونل رسوبگیر باید به اندازه دو برابر ضخامت آن از پایه‌های آن فراتر رود و شکل آن باید طوری باشد که حداقل اغتشاش و آشفته‌گی را در جریان اطراف خود به وجود آورد. بدین منظور قسمت زیرین آن را به صورت نیم بیضی با استفاده از رابطه زیر اجرا می‌کنند.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{a}{3}\right)^2} = 1 \quad \text{یا} \quad \frac{x^2}{4t^2} + \frac{y^2}{t^2} = 1 \quad (۲۲-۴)$$

که در این رابطه:

t : ضخامت سقف تونل و a ارتفاع ورودی تونل می‌باشد.

۵- تونل‌های اصلی و فرعی: رسوبگیر معمولاً عرض کامل کانال آبرگیر را می‌پوشاند و توسط دیواره‌هایی به تونل‌های کوچک‌تر (معمولاً بین ۳ تا ۵ تونل) تقسیم می‌شود که به تونل‌های اصلی معروفند. این دیواره‌ها که حالت همگرایی دارند، به صورت منحنی شکل به طرف یکی از دیواره‌های کانال ادامه پیدا می‌کنند. این امر افزایش سرعت جریان را در این تونل‌ها به همراه خواهد داشت. تونل‌های اصلی را نیز به تونل‌های فرعی کوچک‌تر (بین ۴ الی ۶ تونل) تقسیم

می‌کند (شکل ۴-۲۶). این امر باعث کاهش ضخامت سقف تونل می‌شود. مقاطع تونل‌های فرعی طوری انتخاب می‌شود که مقدار افت در آنها برابر باشد.

ابعاد تونل‌ها باید طوری انتخاب گردد که سرعت جریان از بین آنها قادر به حرکت و انتقال رسوبات مورد نظر به پایین دست باشد. مقطع ورودی هر تونل طوری انتخاب می‌گردد که سرعت ورودی به آنها، حداقل برابر سرعت متوسط جریان در کانال آبیگر باشند. مقطع تونل‌های فرعی به تدریج کاهش پیدا می‌کند، طوری که در انتهای آنها، جریان افزایش سرعتی حدود ۱۰-۲۰ درصد داشته باشد. شعاع دیواره‌های جدا کننده تونل‌های فرعی بین ۳ تا ۴ برابر عرض آنها می‌باشد. تونل‌های فرعی باید طوری طراحی شوند که سرعت جریان خروجی از آنها برابر باشد.

قسمت خروجی تونل‌های اصلی باید طوری طراحی شود که سرعت جریان خروجی از آنها بین ۲/۵ تا ۶ متر بر ثانیه، بر حسب نوع ذراتی که باید حمل شود، باشد. عمق تونل‌ها را می‌توان برای سهولت انجام تعمیرات احتمالی بین ۱/۸-۲/۲ متر در نظر گرفت. تونل‌ها باید طوری طراحی گردد که به صورت پر عمل کنند. ضخامت دیواره‌ها بین تونل‌های اصلی بین ۰/۴ و ۰/۸ متر مناسب می‌باشد. عرض تونل‌های اصلی در انتها برابر است. در نتیجه دریچه‌های رسوب‌شویی، هم اندازه و بده خروجی آنها نیز برابر می‌باشد. ۶- ارتفاع جریان در بالادست: ارتفاع موثر آب در بالا دست سازه (یعنی اختلاف عمق جریان در بالادست در کانال اصلی و پایین دست رسوبگیر در کانال تخلیه) باید به اندازه‌ای باشد که قادر به شستشوی کامل رسوبات باشد. معمولاً ارتفاع بین ۰/۶ و ۱/۰ متر مناسب بوده‌است. اما بهتر است برای مواقعی که لایروبی بیش‌تری باید انجام گیرد، مقدار بیش‌تری در نظر گرفته می‌شود.

۷- کانال تخلیه: این کانال باید طوری طراحی شود که قادر به حمل رسوبات وارد شده به آن باشد. نیل در سال ۱۹۶۷ رابطه زیر را برای محاسبه تقریبی حداقل سرعت مورد نیاز برای به حرکت در آوردن ذرات رسوب به دست آورد:

$$\frac{\rho}{\Delta\gamma} \frac{U_c}{d_g} = 2.5 \left( \frac{y}{d_g} \right)^{0.2} \quad (۲۳-۴)$$

که در این رابطه:

$\rho$ : چگالی جریان

$U_c$ : حداقل سرعت جریان برای به حرکت در آوردن ذرات رسوب

$d_g$ : قطر موثر ذرات

$y$ : عمق جریان

سرعت جریان در کانال تخلیه باید بیش‌تر از مقدار محاسبه شده از رابطه فوق باشد. ظرفیت حمل کانال تخلیه نیز باید کافی باشد، به نحوی که تمام بار وارد به آن به پایین دست حمل گردد. شیب کانال تخلیه را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد.

$$S = \frac{\tau_{oc}}{0.06g(\rho_s - \rho)d_{50}} \quad (۲۴-۴)$$

که در این رابطه:

$\tau_{oc}$ : تنش برشی بحرانی،  $d_{50}$ : قطر متوسط ذرات،  $\rho$  و  $\rho_s$ : به ترتیب چگالی رسوب و سیال می‌باشد.



مطالعات انجام شده بروی این نوع رسوب‌گیرها نشان داده است که شیب تقریبی کانال تخلیه برابر  $\frac{1}{300}$ ،  $\frac{1}{1200}$  و  $\frac{1}{18000}$  نتایج خوبی را به ترتیب برای رسوبات از نوع درشت، کوچک و ماسه داشته است.

۸- بازده رسوبگیر: بازده رسوبگیر را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\eta = \frac{q_{su} - q_{sd}}{q_{su}} \times 100 \quad (4-25)$$

که در این رابطه:

$q_{sd}$  و  $q_{su}$  به ترتیب مقدار رسوب در بالا دست و پایین دست رسوبگیر است. معمولاً بازده این نوع رسوبگیر بین ۵۰ تا ۶۵ درصد می‌باشد.

۹- افت در تونل‌ها: افت در تونل‌ها را شبیه تونل‌های جدا کننده رسوب که در جلوی آبرگیر ساخته می‌شود می‌توان به دست آورد.

#### ۴-۳- حوضچه ترسیب‌گردابی

در این نوع رسوبگیر از ایده ایجاد گردابه برای جدا نمودن رسوبات از جریان در کانال آبرگیر استفاده می‌شود. به این صورت که جریان به صورت مماس بر یک حوضچه استوانه‌ای شکل که دارای یک روزنه در کف محور خود می‌باشد، وارد می‌گردد. جریانی چرخشی در راستای قائم در حوضچه، شکل می‌گیرد. بنابراین ذرات رسوب ورودی به حوضچه در یک مسیر مارپیچی به سمت مرکز و کف آن حرکت می‌کنند و از طریق لوله خروجی در کف به طور پیوسته خارج می‌شود. بار بستر و معلق را می‌توان با استفاده از این روش از سامانه خارج نمود. سیمای کلی حوضچه ترسیب‌گردابی که توسط پال و همکاران معرفی شده در شکل (۴-۲۵) نشان داده شده است [۳۵] همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، قسمت تحتانی جریان پروسوب از زیر دیافراگمی که در فاصله  $h_1$  از کف کانال قرار گرفته است وارد حوضچه می‌شود. بقیه جریان از کنار کانال وارد کانال تخلیه شده به پایین دست می‌رود جریان چرخشی در حوضچه شکل گرفته، رسوبات حاوی جریان بر روی کف حوضچه ته‌نشین شده و از لوله خروجی کف خارج می‌شود. جریان زلال از روی صفحه منحرف کننده و از طریق سرریز جانبی به کانال تخلیه می‌ریزد.

#### - توصیه‌های طراحی

هدف طراحی حوضچه رسوبگیرگردابی، اطمینان از خروج ذرات رسوب بزرگ‌تر از قطر  $d_s$  با بازده  $\eta$ ، از یک کانال با عرض  $B$ ، عمق جریان  $h$ ، شیب کف  $S$ ، بده  $Q_C$  و توزیع مشخص غلظت ذرات رسوب می‌باشد. پارامترهای طراحی عبارتند از:

۱- قطر حوضچه  $d$  و ارتفاع حوضچه  $H$

۲- بده شستشو  $Q_0$  و قطر لوله تخلیه  $d_0$

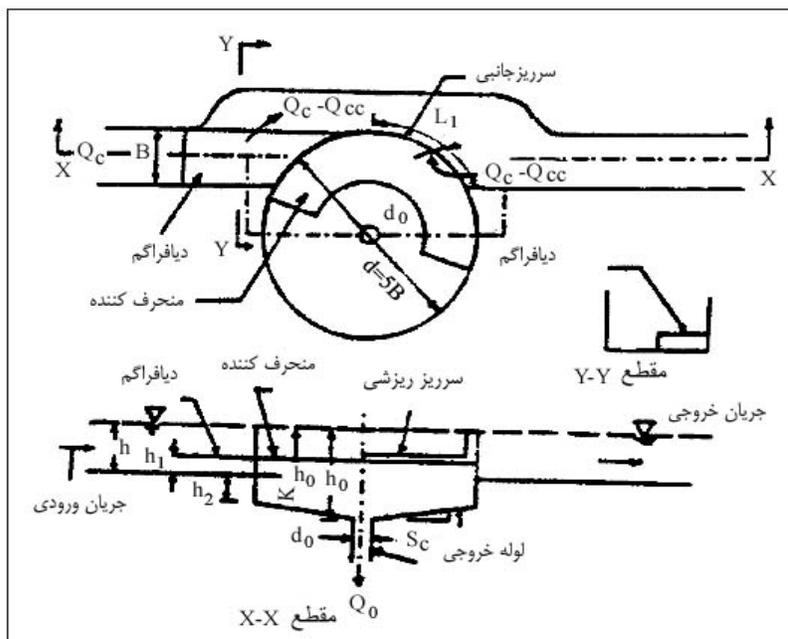
۳- عمق جریان در حوضچه

۴- شیب کف حوضچه  $S_C$

۵- عمق حوضچه در پیرامون آن  $h_2$

۶- طول سرریز جانبی در خروجی  $L_1$





شکل ۴-۲۵- حوضچه ترسیب گردابی [۳۵]

۷- قطر حوضچه: در جدول (۴-۴) روابط متعددی برای محاسبه قطر حوضچه نشان داده شده است. در این جدول:

$$A^* = \left( \frac{K_1 K_2 U_*}{V_{tp}} \right)^{\frac{1}{4}} \left( \frac{Q_{cc}}{\omega} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{۴-۲۶}$$

که در این رابطه:

$K_1$ : عدد حرکت ذره تابعی از  $(K_1 = \frac{\omega}{U_*})$

$K_2$ : ضریب ته‌نشینی تابعی از  $(K_2 = \frac{\omega d}{V_{tp} h_p})$

$\omega$ : سرعت سقوط ذرات رسوب

$U_*$ : سرعت برشی

$V_{tp}$ : سرعت مماسی در پیرامون حوضچه که برابر سرعت میانگین جریان در کانال در نظر گرفته می‌شود.

$Q_{cc}$ : بده جریان ورودی به حوضچه.

سالیوان (۱۹۷۲) نشان داد که:

$$U_* = (0.05 - 0.035) V_{tp} \tag{۴-۲۷}$$



جدول ۴-۴ - روابط مختلف برای محاسبه قطر حوضچه

قطر حوضچه (d)	محقق
6B	Sullivan (1972)
$(\frac{2Q_{cc}}{\omega})^{\frac{1}{2}}$	Salakhov (1975)
5.274A*	Cecen & Bayazit (1975)
5B	Paul (1983)
7.86B	Chrsostomou (1983)
5.316A*	Mashauri (1986)

پال و همکاران (۱۹۹۳) با توجه به جدول (۴-۴) برای قطر حوضچه  $d = 5B$  را توصیه کردند که از پشتوانه تحلیلی و آزمایشگاهی مناسبی برخوردار است.

۸- بده شستشو: بده لازم برای تخلیه رسوبات در محدوده ۳ الی ۳۰ درصد بده کانال ورودی پیشنهاد شده است.

۹- عمق دیواره حوضچه: با انتخاب مناسب عمق حوضچه در پیرامون آن  $h_2$  می‌توان بازده مناسبی برای حوضچه انتظار داشت. عمق حوضچه نسبت به تراز کانال ورودی  $h_2$  را از رابطه زیر می‌توان تخمین زد:

$$h_2 = 0.6h_1 \quad (28-4)$$

فاصله دیافراگم از کف کانال ورودی  $h_1$  برابر یک سوم عمق جریان در کانال ورودی  $h$  در نظر گرفته شود. یعنی:

$$h_1 = \frac{h}{3} \quad (29-4)$$

۱۰- شیب کف حوضچه: کف شیبدار حوضچه به خروج رسوبات درشت‌دانه کمک می‌کند و بده شستشو را افزایش می‌دهد.

سیسن و ماشوری  $S_o = 10$  را پیشنهاد نمودند و نشان دادند که بهتر است شیب کف حوضچه تندتر از این مقدار نباشد.

۱۱- عمق جریان: عمق‌های جریان در حوضچه عبارتند از: عمق در پیرامون حوضچه  $h_p$  و عمق در وسط حوضچه (روی

لوله خروجی تخلیه رسوب)  $h_o$ . برای تعیین عمق جریان در پیرامون حوضچه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\frac{h_p}{d} > 0.26 \quad (30-4)$$

همچنین ارتفاع دیواره اطراف حوضچه  $H$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H > 0.26d + a \quad (31-4)$$

در این رابطه  $a$  ارتفاع آزاد و در حدود ۰/۳ متر می‌باشد.

با توجه به شیب کف حوضچه، عمق در وسط حوضچه را می‌توان به دست آورد.

۱۲- قطر مجرای خروجی: با مشخص بودن  $Q_o$  و  $h_o$ ، مقدار قطر لوله خروجی  $d_o$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Q_o = C_d \pi d_o^2 \sqrt{\frac{gh_o}{8}} \quad (32-4)$$

پال و همکاران (۱۹۹۱) رابطه زیر را برای محاسبه ضریب  $C_d$  پیشنهاد کردند:



$$C_d = \frac{0.22R^{0.075} \cdot N_T^{0.054} \cdot Fr^{0.965}}{\left(\frac{h_o}{d_o}\right)^{0.375}} \quad (33-4)$$

که در این رابطه:

$$R: \text{ عدد رینولدز } \left( R = \frac{Q_o}{vd_o} \right)$$

$v$ : لزجت سینماتیکی

$$N_T: \text{ عدد چرخش } \left( N_T = \frac{\pi d_o^2 V_{to}}{Q_o} \right)$$

$$Fr: \text{ عدد فرود } \left( Fr = \frac{4Q_o}{\pi d_o^2 \sqrt{gd_o}} \right)$$

$$\text{در این جا } V_{to} = 2.38\sqrt{h_o}$$

همچنین توصیه شده است که  $22.5 \leq \frac{d}{d_o} \leq 40$  باشد.

۱۳- بازده حوضچه: پال و همکاران (۱۹۹۱) روابط زیر را برای تخمین بازده حوضچه ترسیب‌گردابی ارائه دادند.

$$\eta = 73.4 + 8 \log \frac{\omega}{W}$$

$$\eta = 2.16 \left( \frac{\omega}{V_{to}} \right)^{0.04} \left( \frac{Q_o}{Q_c} \right)^{1.27} \quad (34-4)$$

$$W = \frac{4(Q_{cc} - Q_o)}{\pi d^2}$$

#### ۴-۴-۴- لوله رسوبگیر گردابی

در این نوع رسوبگیر، یک لوله با شیبی در قسمت فوقانی آن در عرض کانال و زیر کف آن تعبیه می‌شود که می‌تواند عمود بر جهت جریان آب بوده و یا زاویه تقریبی ۳۰ تا ۴۵ درجه با آن بسازد (شکل ۴-۲۶). جریان پررسوب تحتانی نزدیک کف کانال از طریق رسوبگیر گردابی جدا می‌شود. جریان داخل لوله به وسیله دریچه‌ای در پایین دست آن کنترل شده و از آنجا به داخل یک کانال تخلیه می‌شود. قطر لوله در طول آن می‌تواند متغیر باشد که به میزان رسوبات خروجی بستگی دارد. شیار فوقانی لوله رسوبگیر حدود یک سوم قطر لوله در نظر گرفته می‌شود.

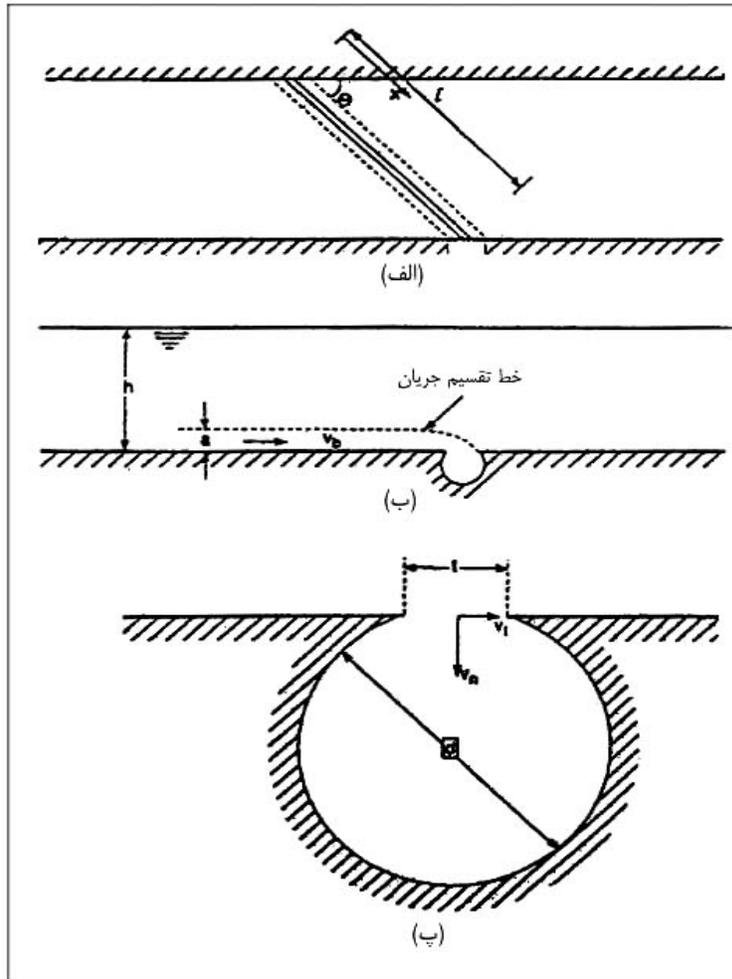
#### - توصیه‌های طراحی

داده‌های مورد نیاز برای طراحی عبارتند از:

- سطح مقطع کانال در محل احداث رسوبگیر
- بده طراحی در کانال و عمق جریان



- نسبت مجاز بده جریان در لوله رسوبگیر  $Q_p$  به بده جریان در کانال  $Q_D$  (معمولا بین ۱۰ درصد تا ۲۰ درصد می‌باشد).
- دانه‌بندی رسوبات همراه جریان



الف-پلان ، ب-جریان از روی لوله رسوبگیر، پ-مقطع لوله رسوبگیر [۱۹]

شکل ۴-۲۶- لوله رسوبگیر گردابی

- مراحل طراحی به قرار زیر است [۲۰]:

- ۱- سرعت سقوط برای ذرات رسوب با قطرهای  $d_{10}$ ،  $d_{30}$ ،  $d_{50}$ ،  $d_{70}$  و  $d_{90}$  را تعیین نمایید (یعنی  $\omega_{10}$ ،  $\omega_{30}$ ،  $\omega_{50}$ ،  $\omega_{70}$  و  $\omega_{90}$ ).
- ۲- ارتفاع جریان  $h_0$  دربالادست لوله رسوبگیر را انتخاب کنید.
- ۳- سرعت حداقل جریان  $U_{p0}$  در انتهای بسته لوله از رابطه زیر محاسبه می‌شود (m/s).

$$U_{p0} = \frac{0.693}{\cosh \gamma} \sqrt{2gh_0}$$

(۳۵-۴)



که در این رابطه:

بنابراین از رابطه فوق می‌توان  $\gamma$  و سپس  $1/d$  را محاسبه نمود. با معلوم بودن  $l$  برابر عرض کانال یا بزرگ‌تر از آن (وقتی لوله رسوبگیر با زاویه  $\theta$  نسبت به جهت جریان قرارگیرد) یا کوچک‌تر از آن (وقتی لوله رسوبگیر تمام عرض کانال را در بر نمی‌گیرد) می‌توان  $d$  را به‌دست آورد.

۴- سرعت متوسط جریان در لوله رسوبگیر  $U_p$  از رابطه زیر به‌دست می‌آید (m/s):

$$U_p = 0.721 \tanh \gamma \sqrt{2gh_0} \quad (36-4)$$

۵- بده جریان در لوله رسوبگیر از رابطه  $Q_p = \frac{\pi d^2}{4} U_p$  محاسبه می‌شود.

۶- نسبت  $\frac{Q_p}{Q_D}$  به‌دست می‌آید. اگر این مقدار با  $d$  به‌دست آمده قابل قبول نباشد، مقادیر  $h_0$  یا  $l$  اصلاح می‌شود. همچنین

در صورت نیاز می‌توان دو یا تعداد بیش‌تری لوله رسوبگیر را در کانال به‌کار برد.

۷- حداقل فاصله محل قرارگیری لوله رسوبگیر از دهانه کانال آبیگر برابر  $\frac{10U}{Fr \omega}$  باشد. در این جا  $Fr$  عدد فرود جریان در

بالادست لوله رسوبگیر،  $U$  سرعت متوسط جریان در محل رسوبگیر و  $\omega$  سرعت سقوط ذرات رسوب است.

بازده لوله رسوبگیرگردابی را براساس روش ارائه شده توسط وایت، که در ادامه آمده می‌توان به‌دست آورد [۲۰]:

- مقدار متوسط سرعت برشی  $u_*$  را در کانال تعیین کنید یا به‌طور تخمینی آن را برابر  $\frac{U}{15}$  انتخاب کنید که  $U$  سرعت متوسط جریان در کانال است.

- مقادیر  $\frac{\omega_{10}}{u_*}$ ،  $\frac{\omega_{30}}{u_*}$ ،  $\frac{\omega_{50}}{u_*}$ ،  $\frac{\omega_{70}}{u_*}$  و  $\frac{\omega_{90}}{u_*}$  را به‌دست آورید.

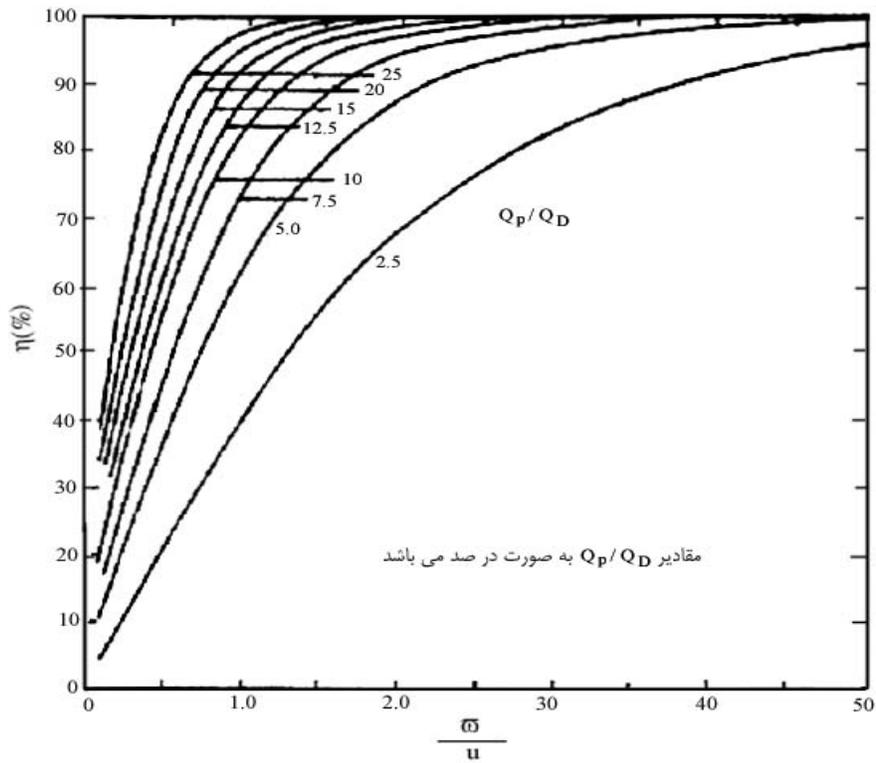
- با استفاده از شکل (۴-۲۷) که نمودار تغییرات بازده برحسب  $\frac{\omega}{u_*}$  و  $\frac{Q_p}{Q_D}$  است، بازده را برای هر یک از نسبت‌های فوق به‌دست آورید.

- بازده کل  $\eta$  را مطابق زیر به‌دست آورید:

$$\eta = \frac{(\eta_{10} + \eta_{30} + \eta_{50} + \eta_{70} + \eta_{90})}{5} \quad (37-4)$$

بازده واقعی لوله رسوبگیر با اعمال ضریب کاهش  $0.77$  اصلاح می‌شود یعنی  $\eta_t = 0.77\eta$ .





شکل ۴-۲۷- نمودار تغییرات  $\eta$  با  $\frac{\omega}{u}$  و  $\frac{Q_p}{Q_d}$  برای لوله رسوبگیر گردایی



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

# فصل ۵

---

---

## حفاظت آبگیرها





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## ۵-۱- کلیات

اصل مهمی که باید در طراحی و ساخت آبگیرها مدنظر قرارگیرد، پیش‌بینی تمهیدات حفاظتی از تاسیسات آبگیری در برابر حوادثی چون سیل و زلزله، ریزش توده‌های خاک یا قطعات سنگ از بالادست، ریزش یا لغزش بستر و دیواره‌های اطراف آبگیر، فرسایش دیواره‌های بالادست و پایین دست آبگیر، فرسایش بستر در محدوده آبگیر و رسوب‌گذاری در بالادست و پایین دست آبگیر می‌باشد.

به‌طورکلی احداث آبگیر در نقطه‌ای از یک رودخانه از طرفی به خاطر مکش آبگیر موجب فرسایش دیواره‌های بالادست و پایین دست و بستر جلوی آبگیر شده و از طرف دیگر به علت انحراف بخشی از بده جریان و کاهش سرعت جریان موجب رسوب‌گذاری در پایین دست آبگیر می‌شود. همان‌گونه که قبلاً عنوان گردید قوس خارجی رودخانه‌ها به علت وجود جریان حلزونی از نظر کاهش رسوب ورودی و افزایش بازده آبگیری محل مناسبی برای احداث آبگیر است. این جریان حلزونی ممکن است موجب فرسایش دیواره‌ها و بستر رودخانه در قوس خارجی شود. لذا هنگامی که آبگیری از قوس خارجی رودخانه صورت می‌گیرد، مساله فرسایش دیواره‌ها و بستر رودخانه در اطراف آبگیر تشدید می‌شود و می‌تواند موجب پایین افتادن تراز آب و کاهش کارایی آبگیر گردد.

فرسایش بستر و کرانه‌های رودخانه در بالادست و پایین دست آبگیرها مشکلات متعددی را به همراه دارد که می‌توان از این جمله به موارد زیر اشاره نمود:

۱- فرسایش دیواره‌های رودخانه در اطراف آبگیر می‌تواند با گذشت زمان موجب به خطر افتادن سازه آبگیر و تخریب آن گردد. لذا دیواره‌های رودخانه در بالادست و پایین دست آبگیر باید با پوشش‌های حفاظتی یا روش‌های مناسب دیگر حفاظت گردند.

۲- فرسایش دیواره‌های رودخانه در بالادست آبگیر ممکن است موجب تغییر مسیر رودخانه و دور زدن سازه آبگیر و در نتیجه از دست رفتن کاربری آبگیر گردد. برای تثبیت مسیر رودخانه و هدایت جریان به سمت آبگیر از روش‌های تثبیت کننده جداره و دیوار هادی و آبشکن می‌توان استفاده کرد.

۳- فرسایش بستر رودخانه در جلوی آبگیر بدون بند انحرافی موجب پایین افتادن تراز سطح آب شده و در نتیجه ممکن است کاربری آبگیر با مشکل مواجه شود. همچنین فرسایش بستر رودخانه در جلوی آبگیر می‌تواند موجب تخریب سازه آبگیر نیز گردد. لذا تثبیت بستر رودخانه در محدوده آبگیر ضروری به نظر می‌رسد. جهت تثبیت بستر رودخانه می‌توان از پوشش‌های حفاظتی یا سازه‌هایی مانند آبشار یا آستانه استفاده نمود.

اهداف مورد نظر در تثبیت بستر و دیواره‌های رودخانه در بالادست و پایین دست آبگیر به قرار زیر است:

- جلوگیری از فرسایش دیواره‌ها و تخریب اراضی حاشیه رودخانه
- جلوگیری از تخریب تاسیسات آبی و شبکه بهره‌برداری از رودخانه
- جلوگیری از تغییر مسیر رودخانه
- جلوگیری از پایین افتادن تراز سطح آب زیر تراز ورودی آستانه آبگیر



مشکل مهم دیگر، رسوب‌گذاری در محدوده آبیگراهاست. جهت حل این مشکل باید از سازه‌های انحراف و دفع رسوب که در فصل چهارم معرفی شده استفاده نمود.

مساله فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه پدیده‌ای است که باید با برنامه‌ریزی صحیح و منظم با آن برخورد نمود. آنچه که مهم است انتخاب روش مناسب برای این هدف می‌باشد که بستگی به عواملی نظیر شناخت صحیح مساله، تبیین اهداف و امکانات موجود دارد.

## ۵-۲- روش‌های حفاظت دیواره

حفاظت دیواره‌ها در مقابل فرسایش را می‌توان به دو روش کلی انجام داد:

۱- روش‌های مستقیم

روش‌های مستقیم حفاظت دیواره‌ها به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

- محافظت به وسیله سنگریزی

- سازه‌های توری سنگی

- روش‌های طبیعی (حفاظت به وسیله گیاهان)

- سایر پوشش‌ها (پوشش‌های بتنی قلابدار، کیسه‌های محتوی خاک و سیمان، دیوارهای بتی یا ساخته شده از مصالح بنایی،...)

۲- روش‌های غیرمستقیم

روش‌های غیر مستقیم به طور عمده عبارتند از:

- آبشکن‌ها

- صفحات مستغرق

در ادامه به معرفی اجمالی برخی از روش‌های فوق پرداخته می‌شود.

## ۵-۲-۱- محافظت به وسیله سنگریزی<sup>۱</sup>

پوشش سنگی یا سنگریزی لایه‌ای از سنگ است که بدون ملات به صورت ریزی یا سنگ‌چین و یا با ملات برای جلوگیری از آبستگی و فرسایش دیوار رودخانه به کار می‌رود پایداری و استقامت پوشش سنگریزی در برابر نیروی جریان فرساینده به عوامل زیر بستگی دارد:

- شکل، اندازه و وزن سنگ‌ها

- دوام سنگ‌ها

- دانه‌بندی سنگ‌ها و ضخامت لایه آن

- شیب دیواره‌های سنگریز

- سرعت جریان



روش طراحی پوشش حفاظتی سنگریز، براساس خصوصیات مصالح بستر و مقدار آبستگي موضعی تعیین می‌شود. با توجه به مصالح بستر، ضرورت پیش‌بینی فیلتر بین مصالح بستر و لایه سنگریزی مشخص می‌شود. علاوه بر این که طراحی مناسب بر پایداری پوشش بسیار موثر است، کنترل کیفیت هنگام اجرا نیز اثر قابل توجهی بر پایداری و موفقیت‌آمیز بودن طرح دارد.

شکل (۵-۱) نمونه‌ای از پوشش سنگریزی جهت حفاظت دیواره پایین آبگیر مستقیم را نشان می‌دهد.

روش‌های معمول اجرای سنگریزی شامل روش دستی، استفاده از ماشین‌های مخصوص<sup>۱</sup> و یا ریختن با کامیون و پهن کردن آن توسط بولدوزر می‌باشد. اجرای سنگریزی به روش دستی، پوشش پایداری را ایجاد می‌نماید. اما این روش معمولاً پرهزینه است، مگر این‌که هزینه سنگ مصرفی کم باشد و یا این‌که کارگر خیلی ارزان باشد. اجرای پوشش‌های ساحلی با شیب تند را می‌توان به صورت دستی انجام داد. با توجه به پرهزینه بودن این روش معمولاً استفاده از روش‌های دیگر و یا استفاده از شیب کم‌تر، اقتصادی خواهد بود. در روش اجرا به وسیله ماشین‌های مخصوص، سنگ‌ها به مقادیر کم و از فاصله بسیار کم ریخته می‌شوند. این کار از غیر یکنواخت بودن دانه‌بندی مصالح ریخته شده جلوگیری می‌کند. باید توجه داشت که جابجایی سنگ‌ها با هموار کردن سطح پوشش ممکن است منجر به شکستن سنگ‌ها و تغییر دانه‌بندی آن گردد.

برای آگاهی از جزییات طراحی پوشش سنگریزی و سایر پوشش‌های حفاظتی که در ادامه به آنها اشاره می‌شود به مرجع [۸]

مراجعه شود.



شکل ۵-۱- استفاده از پوشش سنگی جهت حفاظت دیواره در آبگیر مستقیم

## ۵-۲-۲- سازه‌های توری سنگی<sup>۲</sup>

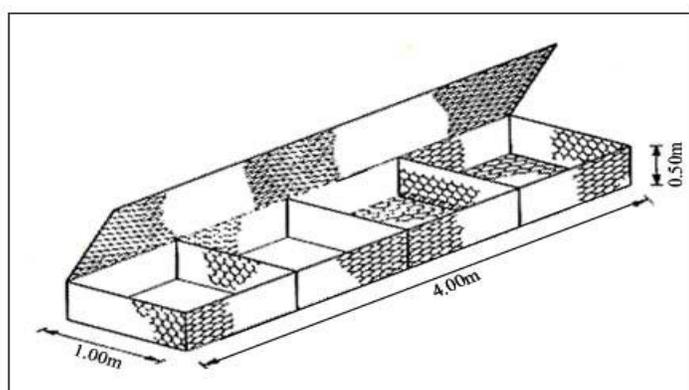
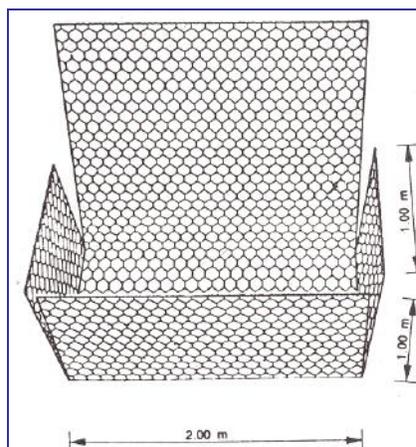
یکی دیگر از سازه‌های حفاظتی، توری سنگ‌ها می‌باشد. این‌گونه سازه‌ها از دو قسمت اصلی یعنی سنگ و توری‌های فلزی تشکیل می‌شود. این توری‌ها معمولاً در کارخانجات به صورت شبکه‌های یکپارچه ساخته شده و به محل کار حمل می‌شود. در محل اجرا درون توری‌ها را مصالح سنگی ریخته و مثل یک سبد می‌بندند و کناره‌های باقی‌مانده را با سیم می‌دوزند. جنس توری‌ها از نوع گالوانیزه می‌باشد و در شرایطی ممکن است علاوه بر پوشش گالوانیزه توسط لایه‌ای از پی‌وی‌سی نیز محافظت شود. یک واحد توری سنگی شامل یک سبد پر شده از سنگ به صورت جسمی یکپارچه آماده شده که با کنار هم قرار دادن و یا روی هم قرار دادن آنها، حفاظت کف یا دیواره رودخانه را انجام می‌دهد. وقتی مواد مصرفی در توری سنگ ریز باشد به فیلتر احتیاجی نیست.

1- Dragline

2- Gabion Structures

## ۵-۲-۱- توری سنگ‌ها شامل انواع زیر است

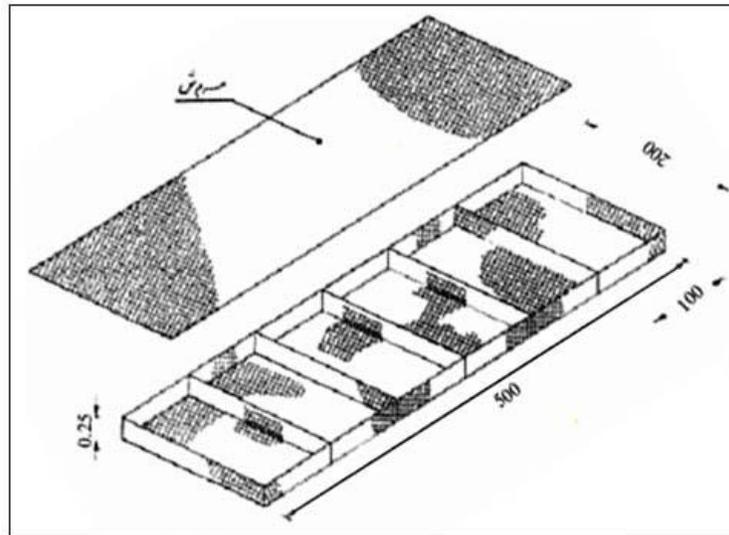
- توری سنگ جعبه‌ای<sup>۱</sup>: این نوع روش حفاظتی شامل یک سبد مکعب مستطیل شکل می‌باشد که از شبکه توری یا سیم‌های گالوانیزه تشکیل شده است.
  - توری سنگ تشکی<sup>۲</sup>: این روش حفاظتی نوعی از توری سنگ مکعب مستطیل شکل است که عمق آن نسبت به طول و عرضش کم‌تر می‌باشد و معمولا شامل چند قسمت کوچک‌تر می‌باشد. توری سنگ تشکی معمولا دارای طول ۶ متر و عرض ۲ متر می‌باشد و از ۶ خانه تشکیل می‌شود.
  - توری سنگ کیسه‌ای<sup>۳</sup>: این نوع توری سنگ شبیه کیسه می‌باشد و از نظر شکل ظاهری با توری سنگ‌های جعبه‌ای و تشکی تفاوت دارد.
- در شکل‌های (۲-۵) تا (۴-۵) انواع مختلف پوشش توری سنگی نشان داده شده است.



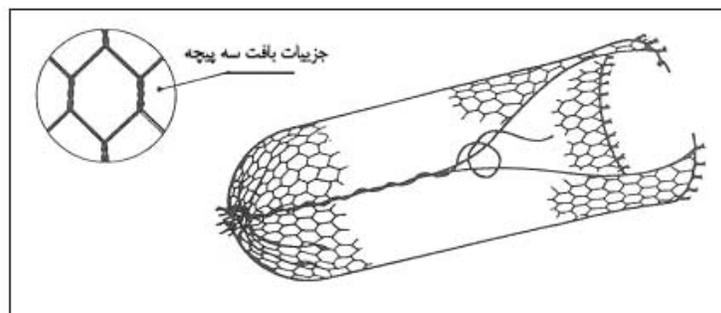
شکل ۵-۲- توری سنگ جعبه‌ای



- 1- Box Gabion
- 2- Reno Mattress
- 3- Sack Gabion

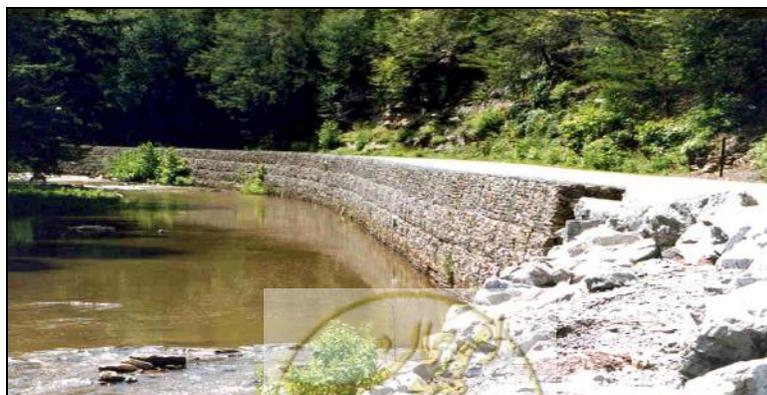


شکل ۵-۳- توری سنگ تشکی



شکل ۵-۴- توری سنگ کیسه‌ای

شکل (۵-۵) نمونه‌ای از سازه توری‌سنگی که جهت حفاظت قوس خارجی رودخانه به کار گرفته شده است را نشان می‌دهد.



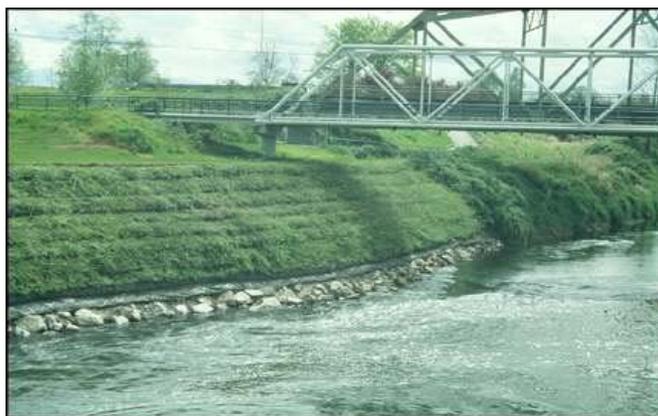
شکل ۵-۵- اجرای توری سنگ جهت حفاظت دیواره رودخانه

### ۵-۲-۳- حفاظت به وسیله گیاهان (حفاظت طبیعی)

گیاهان پتانسیل بالایی از لحاظ مهار فرسایش دارند. طراحی و اجرای این گونه روش‌ها احتیاج به دانش زیادی ندارد. این روش می‌تواند با هردو روش قبلی ترکیب شود و باعث تقویت آنها گردد. در شکل (۵-۶-الف) استفاده از پوشش گیاهی و در شکل (۵-۶-ب) استفاده از پوشش گیاهی به همراه پوشش سنگریزی را جهت حفاظت دیواره رودخانه نشان می‌دهد.

عواملی نظیر آب و هوا، سرعت و قدرت جریان و نوع پوشش گیاهی موجود در منطقه در طراحی موثر هستند. دو خاصیت مهم این روش که باعث استفاده فراوان آن می‌شود عبارتند از قیمت ارزان و در دسترس بودن در محیط، ضمن این که رسیدگی و تعمیرات ثانویه نیز در این روش ساده‌تر است. این پوشش‌ها در محل تقاطع‌ها، در رودخانه باریک، محل‌هایی که در معرض آبشستگی کمی قرار دارند و محل‌هایی که محیط طبیعت دست نخورده است و حتی در جاهایی که به علت وجود حیوانات وحشی نمی‌توان رفت و آمد کرد، کاربرد دارند. در هنگام محافظت به وسیله گیاهان باید به نکات زیر توجه شود:

- ۱- رویش گیاه باعث کم شدن عرض رودخانه می‌شود که نتیجه آن افزایش سرعت آب و وارد شدن نیروی بیش‌تر و فرسایش بیش‌تر در نقاطی که دارای پوشش گیاهی نیستند خواهد بود.
- ۲- اگر این گیاهان خوب مدیریت نشوند از بین می‌روند. گاهی اوقات مالکان زمین‌های اطراف و حیوانات باعث این آسیب‌ها می‌شوند.
- ۳- ریشه‌های درختان خود عامل نفوذ آب به ساحل می‌باشند و ممکن است به علت فشار آب زیرزمینی پایداری جداره از بین برود.
- ۴- این روش در مقابل آب، هوا، سیل و آتش آسیب پذیر است.



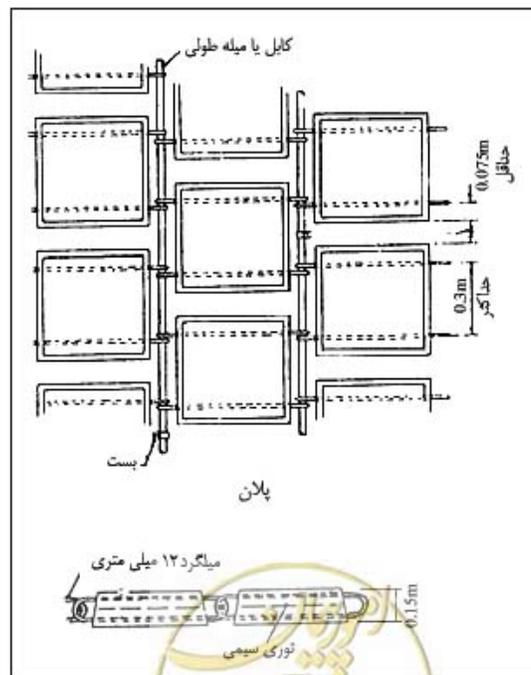
شکل ۵-۶-الف- پوشش گیاهی اجرا شده برای حفاظت دیواره رودخانه



شکل ۵-۶-ب- استفاده از ترکیب سنگریز و پوشش گیاهی جهت حفاظت دیواره رودخانه

#### ۵-۲-۴- پوشش‌های بتنی قلابدار

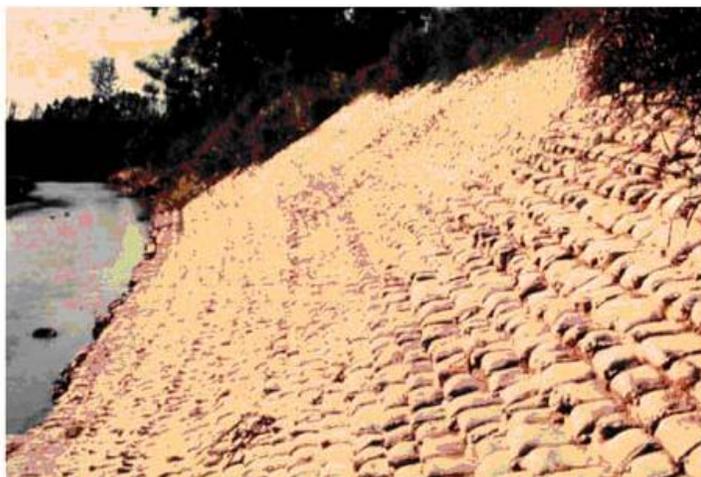
از قطعات پیش ساخته بتنی نیز می‌توان به عنوان سازه‌های حفاظتی استفاده کرد. بدین صورت که هر قطعه دارای چهار قلاب در دو طرف می‌باشد. پس از چیدن قطعات روی کرانه یا بستر میل گردهایی از درون قلاب‌های قطعات مجاور می‌گذرانند و انتهای میل گردها را مهار می‌کنند (شکل ۵-۷). سازه بتنی دارای دوام و توان بسیار است اما اجرای آن نیازمند صرف هزینه و امکانات کارگاهی ویژه می‌باشد. تصمیم به این که چه نوع سامانه حفاظتی انتخاب شود بستگی به نیازهای طرح، امکانات موجود، هزینه و اهداف طرح دارد.



شکل ۵-۷- پوشش بتنی قلابدار

### ۵-۲-۵- کیسه های محتوی خاک و سیمان

در این روش، کیسه های پر شده از خاک و سیمان را برای جلوگیری از فرسایش دیواره رودخانه به کار می برند. با رسیدن آب به این کیسه ها، مخلوط خاک و سیمان یکپارچه شده و پوشش بتنی سختی را ایجاد می نمایند. شکل (۵-۸) نمونه ای از این پوشش را نشان می دهد.

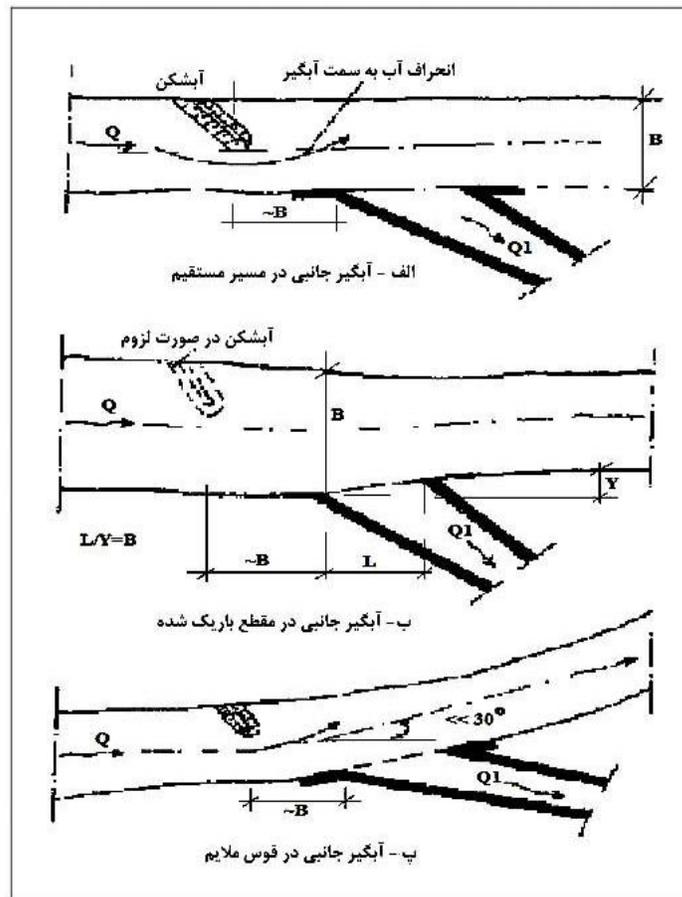


شکل ۵-۸- محافظت به وسیله کیسه های محتوی خاک و سیمان

### ۵-۲-۶- آبشکن ها<sup>۱</sup>

یکی از روش های متداول حفاظت دیوارها و هدایت جریان در رودخانه، ایجاد آبشکن هایی است که به صورت مایل و یا عمود نسبت به ساحل ساخته می شود. الگوی جریان اطراف آبشکن ها به گونه ای است که جریان تا فاصله ای از بالادست و پایین دست آبشکن ها قادر به فرسایش دیواره ها نخواهد بود. دماغه آبشکن در معرض فرسایش زیاد قرار دارد که باید با روش مناسب محافظت گردد. از آبشکن جهت انحراف آب به سمت آبگیر در مسیرهای مستقیم می توان استفاده نمود. هنگامی که آبگیر در قوس خارجی رودخانه قرار داشته باشد، آبشکن می تواند جریان ثانویه ناشی از قوس را تشدید نماید و میزان آبیگری را افزایش دهد [۱۸]. توصیه می شود آبشکن در ساحل مقابل آبگیر و به فاصله ای برابر عرض رودخانه در بالادست آبگیر احداث شود (شکل ۵-۹).



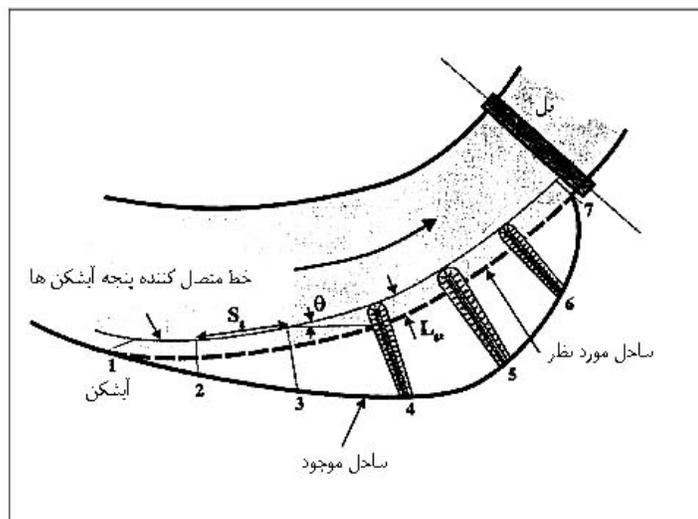


شکل ۵-۹- جانمایی آبشکن در قوس و مسیر مستقیم جهت هدایت آب به سمت آبیگر [۲۶]

از آبشکن به منظور تثبیت آبراهه در بالادست آبیگرها و پل‌ها (شکل ۵-۱۰) نیز می‌توان استفاده کرد، به‌گونه‌ای که از جابجایی رودخانه در پلان جلوگیری شود و با احیای ساحل از تخریب سازه جلوگیری شده و هزینه‌های نگهداری نیز کاهش یابد. آبشکن‌ها را می‌توان به صورت‌های زیر تقسیم‌بندی کرد:

- براساس مصالحی که در آنها به کار می‌رود: آبشکن‌های نفوذپذیر یا باز و آبشکن‌های نفوذناپذیر یا بسته
- براساس ارتفاع آنها نسبت به عمق آب: آبشکن مستغرق و آبشکن غیرمستغرق
- براساس زاویه‌ای که با کرانه می‌سازد: آبشکن جاذب، عمود و دافع
- براساس شکل آبشکن‌ها: آبشکن T شکل، آبشکن چوگانی و آبشکن L شکل





شکل ۵-۱۰- نحوه قرارگیری آبشکن‌ها در بالادست پل جهت تثبیت ساحل [۲۶]

آبشکن‌های نفوذ ناپذیر یا بسته: این نوع آبشکن‌ها به صورت سازه‌ای یکپارچه ساخته می‌شود که جریان آب را از بین خود عبور نمی‌دهند. مصالحی که در ساخت آن به کار می‌رود بستگی به دسترس بودن و ارزان بودن آن دارد. اطراف آبشکن‌ها روی بستر نیز با مصالح مقاوم پوشانیده می‌شود تا از وارد آمدن خسارت به سازه آن جلوگیری شود.

آبشکن‌های نفوذپذیر یا باز: آبشکن‌هایی هستند که به صورت یکپارچه ساخته نشده و جریان می‌تواند به راحتی از بین آنها عبور کند. این نوع آبشکن‌ها برای رودخانه‌هایی که رسوبات معلق زیادی دارند مفید می‌باشد. از طرف دیگر در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر مقاومت فرسایشی جریان کمتر بوده و شرایط جریان را کمتر تغییر می‌دهند. در نتیجه آبستگي کم‌تری در این نوع سازه دیده می‌شود. این نوع آبشکن‌ها از نظر اقتصادی به خاطر مصرف مصالح کمتر، ارزان‌تر می‌باشند، اما مشکل قفل شدن به دیواره رودخانه را دارند. این آبشکن‌ها در مقابل تغییر شکل‌های محدود انعطاف پذیرترند. آبشکن‌های نفوذپذیر ممکن است به صورت یک ردیف و یا دو ردیف اجرا شوند. این آبشکن‌ها معمولاً به منظور تثبیت دیواره رودخانه استفاده می‌شود.

آبشکن‌های دافع: این نوع آبشکن‌ها با زاویه‌ای بین ۶۰-۸۰ درجه به طرف بالا دست جریان نسبت به ساحل ساخته می‌شوند. جریان روی این آبشکن‌ها طوری خواهد بود که پس از گذشتن از روی آن مسیری تقریباً عمود به آبشکن خواهند داشت. شرایط جریان در اطراف آبشکن به گونه‌ای است که باعث آبستگي موضعی در محل دماغه آبشکن می‌شود. در این نوع آبشکن‌ها به خاطر کاهش سرعت آب در محدوده بین آبشکن و ساحل، در بالادست آبشکن رسوب‌گذاری اتفاق می‌افتد.

آبشکن‌های عمود: این نوع آبشکن‌ها معمولاً عمود به جریان می‌باشند و طول آنها کمتر از آبشکن‌های دافع می‌باشد. آبشکن‌های جاذب: این نوع آبشکن‌ها با زاویه‌ای بین ۶۰-۴۵ درجه به طرف پایین دست جریان نسبت به ساحل ساخته می‌شوند. بالادست این آبشکن‌ها به علت برخورد شدید آب باید از پوشش کافی و استقامت کافی برخوردار باشد.

عواملی که در انتخاب نوع آبشکن‌ها موثرند عبارتند از:

- عرض آبراهه
- عمق آب و ارتفاع سیلاب



- نوع و خصوصیات مصالح تشکیل دهنده بستر
  - مقدار رسوبی که همراه جریان حمل می‌شود
  - در دسترس بودن مصالح مورد نیاز و هزینه پروژه
- برای آگاهی از جزئیات طراحی آبشکن‌ها، به مرجع [۹] مراجعه شود.

### ۵-۳- روش‌های حفاظت بستر

روش‌های تثبیت بستر رودخانه‌ها به دو دسته کلی زیر تقسیم می‌گردد که می‌تواند در بالادست و پایین دست آبگیر و جلوی آبگیر به کار برده شود:

#### ۱- پوشش‌های محافظتی

برای تثبیت و اصلاح بستر رودخانه می‌توان از روش‌های مختلف حفاظتی نظیر سنگریزی، بتنی و توری سنگ استفاده کرد.

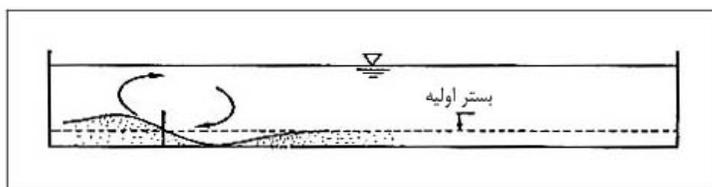
#### ۲- تثبیت‌کننده‌های بستر مانند صفحات مستغرق، آستانه و آبشار

در ادامه صفحات مستغرق، آستانه و آبشار معرفی می‌گردد.

### ۵-۳-۱- صفحات مستغرق

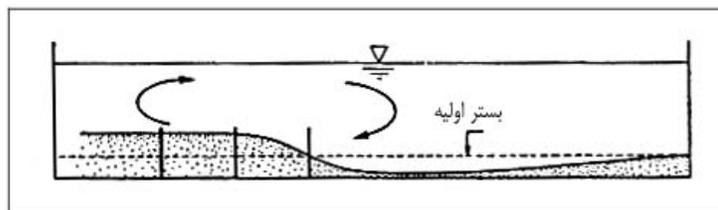
صفحات مستغرق دیواره‌های کوچکی هستند که برای اصلاح الگوی جریان نزدیک بستر و انتقال رسوب در طول مقطع عرضی کانال طراحی می‌گردند. این صفحات با زاویه ۱۵-۲۵ درجه نسبت به جریان نصب می‌شوند و ارتفاع اولیه آنها (۰/۴ - ۰/۲) برابر عمق آب می‌باشد. عملکرد صفحات به صورت تولید جریان ثانویه در اطراف صفحات می‌باشد که بزرگی و جهت تنش‌های برشی بستر را تغییر می‌دهد و موجب تغییر در توزیع سرعت جریان، عمق جریان و انتقال رسوب در ناحیه متاثر از صفحات می‌گردد. در نتیجه، تراز بستر رودخانه در قسمتی از مقطع عرضی کانال بالا می‌آید و در قسمتی دیگر پایین می‌رود. در شکل (۵-۱۱) تغییرات ناشی از صفحات مستغرق در تراز بستر نشان داده شده است [۳۴].

سطحی از بستر که متاثر از یک صفحه می‌باشد، محدود است. در فاصله‌ای دورتر از ۳ برابر ارتفاع صفحه، تاثیر صفحه بسیار کم خواهد بود. اگر از دو صفحه یا بیش‌تر استفاده شود، سطح بیش‌تری تحت تاثیر قرار می‌گیرد. اگر صفحات در یک ردیف تنظیم گردند، همان‌گونه که در شکل (۵-۱۲) نشان داده شده است، فاصله سطح تحت تاثیر بیش‌تر می‌شود.



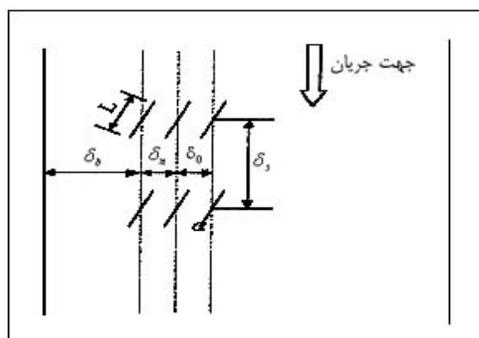
شکل ۵-۱۱- تغییرات ناشی از صفحات مستغرق در تراز بستر [۳۴]





شکل ۵-۱۲ - تغییر در نیمرخ بستر ناشی از یک ردیف سه تایی صفحه [۳۴]

پارامترهای اصلی طراحی صفحات مستغرق عبارتند از ارتفاع صفحات  $H_0$  (ارتفاع اولیه)، نسبت ارتفاع به طول صفحات  $H_0/L$ ، زاویه صفحات نسبت به جریان  $\alpha$ ، میزان استغراق صفحات  $T$ ، فاصله بندی صفحات  $\delta_n$  و  $\delta_s$  و فاصله اولین ردیف صفحات از دیواره  $\delta_0$  (شکل ۵-۱۳). ونگ (۱۹۸۹) نشان داد که فواصل عرضی صفحات باید از حدود ۲ تا ۳ برابر ارتفاع صفحات کمتر باشد. اگر فاصله عرضی بیش تر از این باشد، بازده صفحات کاهش خواهد یافت. فاصله طولی بین ردیف صفحات  $\delta_s$ ، به اهداف طراحی بستگی دارد.



شکل ۵-۱۳ - پارامترهای مهم طراحی سامانه صفحات مستغرق

### - مبانی طراحی

اساس تئوری طراحی صفحات مستغرق اولین بار توسط ادگارد و همکاران (۱۹۸۳-۱۹۸۶) ارائه شده است. شکل (۵-۱۴) برخی از متغیرهای طراحی اولیه را به صورت شماتیک در یک آبراهه قوسی نشان می‌دهد. در این شکل  $d_m$  عمق بستر فرسایش یافته از سطح جریان در حالت عدم حضور صفحات مستغرق،  $d_v$  عمق جریان از بستر فرسایش یافته در حالت حضور صفحات مستغرق و  $d_0$  عمق اولیه جریان است. پارامترهای جریان و رسوب که در طراحی صفحات مستغرق مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از عمق متوسط جریان در مقطع عرضی قبل از صفحات  $d_0$ ، سرعت جریان  $U$ ، پارامتر مقاومت بستر  $m$ ، نسبت عرض به عمق کانال  $B/d_0$ ، نسبت شعاع انحنای رودخانه به عرض آن  $r/B$  و عدد فرود رسوب  $F_D$  که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F_D = \frac{U}{\sqrt{gd_{50}}} \quad (۱-۵)$$

که در این رابطه  $d_{50}$  قطر متوسط دانه‌های رسوب می‌باشد.



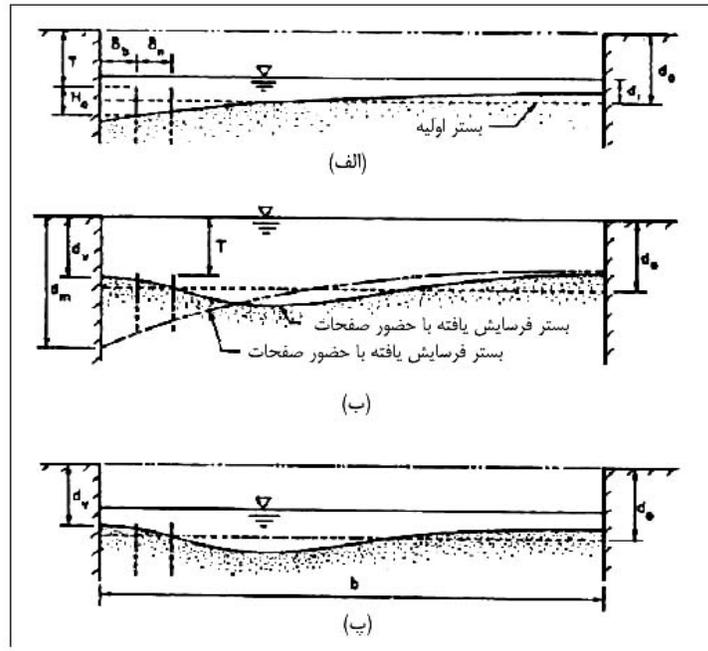
پارامتر مقاومت بستر  $m$ ، از رابطه زیر به دست می آید:

$$m = \kappa \sqrt{8/f} \quad (2-5)$$

در این رابطه  $f$ : ضریب دارسی ویسباخ و  $\kappa$  ثابت فن کارمن ( $\kappa = 0.4$ ) می باشد. بنابراین:

$$m = \kappa U / \sqrt{g S d_0} \quad (3-5)$$

که در این رابطه  $S$ : شیب طولی سطح آب و  $g$  شتاب ثقل می باشد.



الف- مرحله نصب، ب- مرحله جریان طرح و پ- مرحله پایانی [۳۴]

#### شکل ۵-۱۴- نمایش متغیرهای طراحی اولیه و مقاطع جریان

به طور کلی تغییرات ناشی از صفحات در تراز بستر با افزایش پارامترهای  $F_D$ ، ارتفاع صفحات، زاویه صفحات نسبت به جریان و مقاومت بستر افزایش می یابد. نمودارهای طراحی صفحات مستغرق در شکل های (۵-۱۵) و (۵-۱۶) ارائه شده است. از این نمودارها می توان برای طراحی صفحات یک ردیفه، دو ردیفه و سه ردیفه (ردیف های طولی) استفاده نمود.

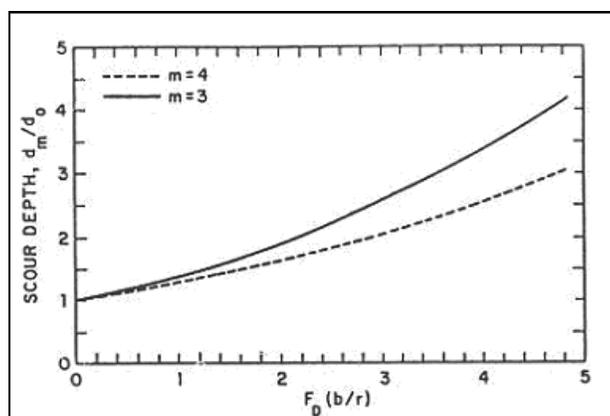
نمودارهای مذکور برای مقادیر استغراق نسبی  $T/d_0 = 0.5, 0.7, 1.0$ ، اعداد فرود  $F_D = 5, 15, 25$ ،  $H_0/L = 0.3$ ، زاویه برخورد  $\alpha = 20^\circ$  و پارامترهای مقاومت  $m = 3$  و  $m = 4$ ، فاصله بندی های  $\delta_n = 3H_0$ ،  $\delta_s = 15H_0$  و  $\delta_s = 30H_0$  قابل استفاده هستند. مقدار  $(d_m - d_v)/d_m$  برای هر درجه افزایش  $\alpha$  بزرگ تر از  $20^\circ$  در حدود ۳٪ افزایش می یابد.

شکل (۵-۱۵) حداکثر عمق آبستنگی در قوس یک رودخانه بدون حضور صفحات مستغرق  $d_m$  را به صورت تابعی از  $F_D B/r$  و  $m$  نشان می دهد. برای مثال اگر  $F_D = 15$ ،  $r/B = 5$  و  $m = 3$  باشد، شکل (۵-۱۵) عمق آبستنگی را برابر  $d_m = 2.6d_0$  می دهد.

شکل (۵-۱۶) نشان می دهد که برای جلوگیری از ایجاد یک چنین چاله آبستنگی و باقی ماندن تراز بستر در تراز متوسط مقطع عرضی یا نزدیک به آن، باید حداقل ۳ صفحه در هر ردیف وجود داشته باشد.

اگر  $H_0/L = 0.3$ ،  $T/d_0 = 0.7$ ،  $\alpha = 20^\circ$ ،  $\delta_n = 3H_0$ ،  $\delta_s = 15H_0$  و  $d_0/B = 0.03$  باشد، آنگاه  $(d_m - d_v)/d_m = 0.55$  است. با داشتن  $d_m = 2.6d_0$ ، افزایش عمق ناشی از صفحات در محل دیواره برابر  $1.17d_0$  یا ۱۷٪ بزرگتر از عمق متوسط  $d_0$  می‌باشد. اگر زاویه صفحات به  $24^\circ$  افزایش یابد، مقدار  $(d_m - d_v)/d_m$  با ۱۲٪ افزایش به  $0.62$  می‌رسد. در این حالت صفحات، تراز بستر را در محل دیواره تا تراز متوسط بستر بالا می‌آورند.

در یک کانال مستقیم، سه صفحه در هر ارائه تراز بستر را تا بالای صفحات بالا خواهد آورد، به شرطی که  $F_D > 15$  و  $\delta_s \leq 30H_0$  باشد. با افزایش فواصل  $\delta_s$  از  $15H_0$  به  $30H_0$  در یک سامانه شامل سه صفحه در هر ارائه، تغییر القا شده در تراز بستر بسته به مقدار  $B/r$ ، تنها در حدود ۲۰٪-۱۰٪ کاهش می‌یابد. برای این ارائه‌ها، هنگامی که نسبت عمق به عرض کانال  $d_0/B$  کم‌تر از حدود  $0.05$  باشد، افزایش تراز بستر ناشی از صفحات، به این نسبت غیر وابسته است.



شکل ۵-۱۵- عمق آبشستگی در دیواره خارجی قوس رودخانه [۳۴]

صفحات مستغرق علاوه بر تثبیت بستر، جهت حفاظت دیواره رودخانه در برابر فرسایش نیز کاربرد دارند. تانزند و ویزن (۲۰۰۱) صفحات مستغرق را در آبراهه‌های پیچانرودی برای تثبیت دیواره‌ها به کار بردند و مقادیر زیر را برای طراحی بهینه صفحات مستغرق پیشنهاد نمودند [۴۲]:

۱- مقدار  $\frac{L}{B}$  (طول صفحه به عرض کانال) برابر  $0.33$  باشد.

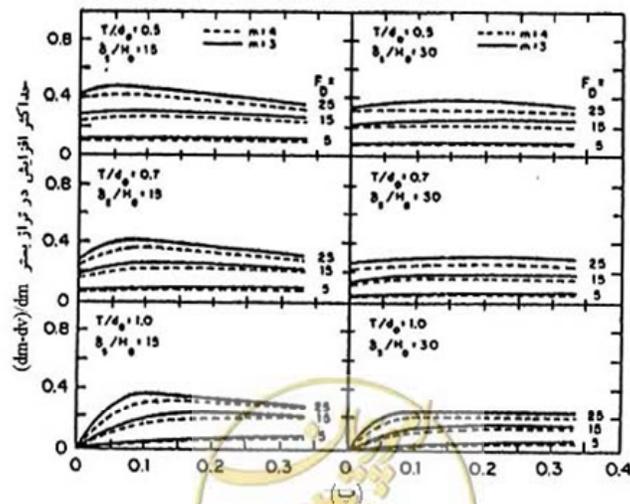
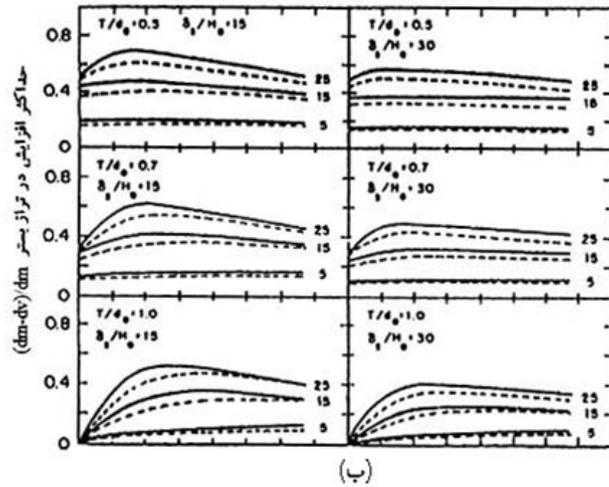
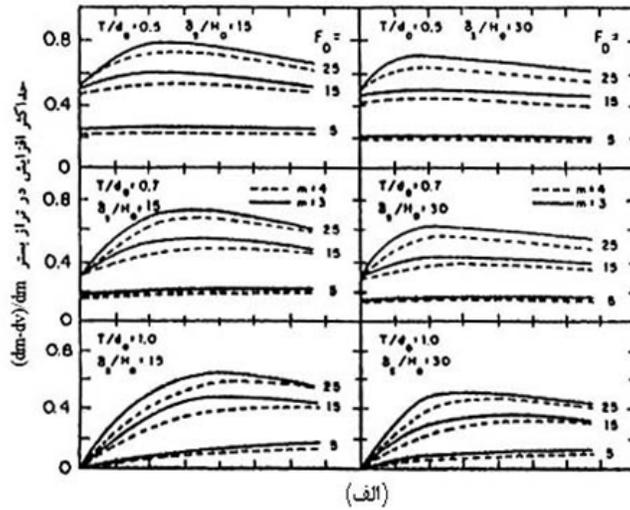
۲- مقدار  $\frac{H}{d}$  (ارتفاع صفحه به عمق آب) برابر  $0.35$  باشد.

۳- زاویه قرارگیری صفحات با جهت جریان برابر  $20^\circ$  درجه باشد.

۴- مقدار  $\frac{\delta_s}{B}$  (فاصله طولی صفحات به عرض کانال) برابر  $0.7$  باشد.

۵- مقدار  $\frac{\delta_n}{B}$  (فاصله عرضی صفحات به عرض کانال) برابر  $0.24$  باشد.



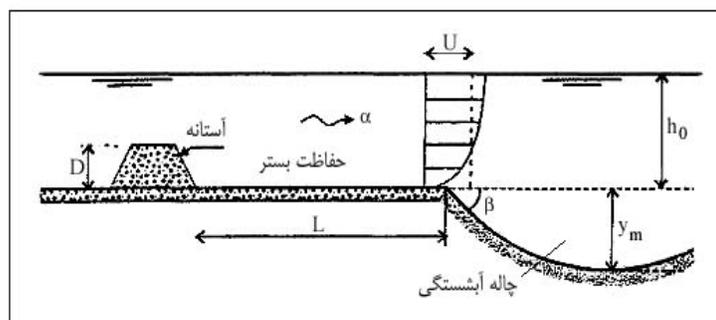


الف- سه صفحه در هر ردیف، ب- دو صفحه در هر ردیف و پ- یک صفحه در هر ردیف [۳۴]

شکل ۵-۱۶- حداکثر افزایش در تراز بستر ناشی از صفحات در طول دیواره خارجی قوس رودخانه

## ۵-۳-۲- آستانه

آستانه در عرض رودخانه معمولاً به گونه‌ای ساخته می‌شود که تراز تاج آن با تراز بستر تقریباً یکسان یا بالاتر و کف بستر در بالا دست و پایین دست سازه تقریباً برابر باشد. این سازه ممکن است از مصالح سنگی، شمع کوبی یا سپری، بتنی، گابیون یا توری سنگی و یا به صورت ترکیبی از آنها ساخته شود. شکل (۵-۱۷) نمونه‌ای از آستانه با پوشش بستر و آبستگي پایین دست آن را نشان می‌دهد. در شکل (۵-۱۸) نیز نمونه دیگری از آستانه نوع شمع کوبی نشان داده شده است. در ادامه مبانی طراحی آستانه از نوع شمع کوبی ارائه می‌شود.



شکل ۵-۱۷- جریان روی آستانه و آبستگي پایین دست آن

## - مبانی طراحی آستانه‌ها

ضوابطی که گروه مهندسين ارتش امريكا (۱۹۷۰) برای آستانه‌های از نوع شمع کوبی ارائه داده در شکل‌های (۵-۱۸) تا (۵-۲۰) نشان داده شده است [۳۸].

در این‌جا:

$$E_H = H + \frac{U^2}{2g} \quad (۴-۵)$$

که در این رابطه:

H: عمق آب در فاصله  $5d_c$  در بالادست آستانه نسبت به تاج آن

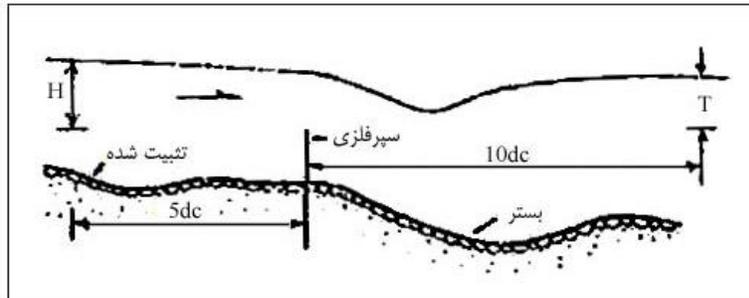
T: عمق پایاب در فاصله  $10d_c$  در پایین دست آستانه نسبت به تاج آن (برابر با اختلاف تراز پایاب و تراز تاج)

$d_c$ : عمق بحرانی برای تاج دوزنقه‌ای شکل

A: سطح کل جریان بالاتر از تاج آستانه در فاصله  $5d_c$  از آن

$A_v$ : سطح قسمتی از مجرا روی شیب‌های جانبی و بالاتر از تاج (در فاصله  $5d_c$  از تاج)





شکل ۵-۱۸- معرفی پارامترهای طراحی آستانه از نوع شمع کوبی [۳۸]

شکل (۵-۱۹) اندازه سنگ‌هایی که برای محافظت بستر در اطراف شمع کوبی نیاز است را بر حسب عمق پایاب و عمق آب در بالا دست روی تاج نشان می‌دهد. شکل (۵-۲۰) ضریب آبگذری  $C$ ، را بر حسب نسبت عمق پایاب به عمق بحرانی  $T/d_c$  و نسبت سطح جریان در کناره‌های مقطع به کل مقطع  $A_v/A$  نشان می‌دهد. سازه‌ای با مشخصات فوق زمانی موثر است که  $T/d_c \geq 0.8$  باشد. چنانچه عمق پایاب کم باشد جریان با نیروی بیش‌تری به بستر برخورد می‌کند و آبشستگی اطراف، احتمال تخریب آن را ممکن است به همراه داشته باشد. طول تاج آستانه معمولاً برابر با عرض مجرا در نظر گرفته می‌شود.

روند استفاده از شکل‌های فوق برای پایاب و بده جریان مشخصی در طراحی چنین است:

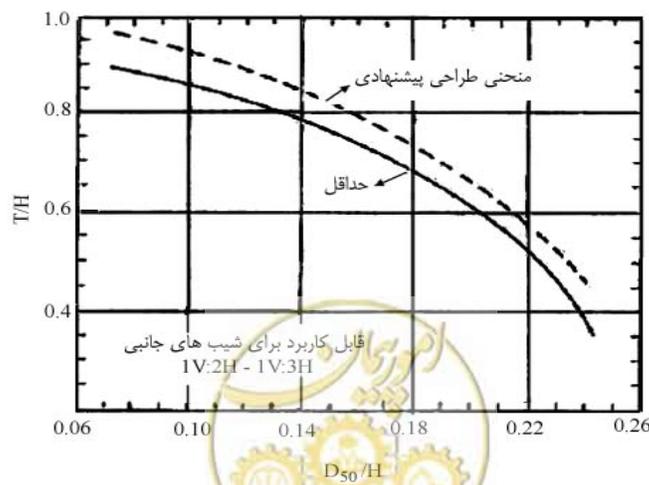
۱- تراز تاج به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که:

$$T/d_c > 0.8 \quad (5-5)$$

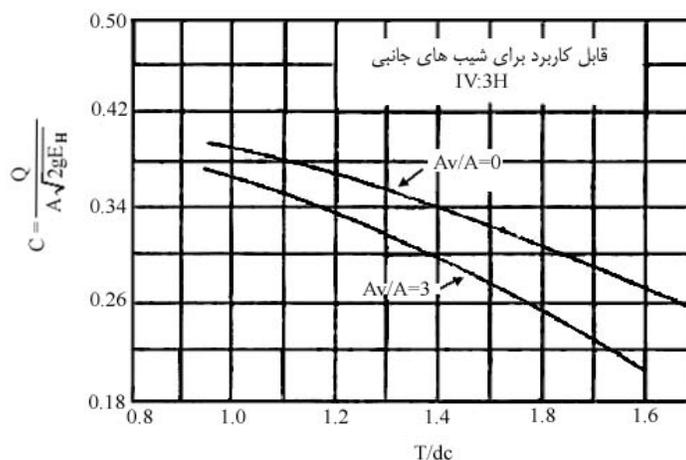
۲- مقدار  $H$  با استفاده از شکل (۵-۲۰) و معادله (۵-۴) به‌دست می‌آید.

۳- با استفاده از شکل (۵-۱۹) اندازه سنگ‌های مورد نیاز برای محافظت بستر به‌دست می‌آید.

بدین طریق ارتفاع شمع‌ها بالاتر از بستر و همچنین ابعاد سنگ‌های پوشش اطراف آن تعیین می‌شوند. مقدار پی شمع‌ها با توجه به مسایل سازه‌ای و تحلیل پایداری آن صورت می‌گیرد. ضخامت لایه سنگریزی نیز باید به اندازه کافی باشد و در صورت نیاز در زیر آن فیلتر مناسب نیز استفاده شود.



شکل ۵-۱۹- اندازه سنگ‌های مورد نیاز در طراحی آستانه از نوع شمع کوبی [۳۸]



شکل ۵-۲۰- ضریب بده در طراحی آستانه از نوع شمع کوبی [۳۸]

### ۵-۳-۲-۱- آبخستگی پایین دست آستانه‌ها

دیتز (۱۹۶۰) رابطه زیر را برای محاسبه حداکثر عمق آبخستگی پایین دست آستانه ارائه کرد [۳۸]:

$$\frac{y_{m,e}}{d_o} = \frac{\omega U - U_c}{U_c} \quad (۶-۵)$$

که در این رابطه:

$y_{m,e}$ : حداکثر عمق آبخستگی از سطح اولیه بستر (m)

$d_o$ : عمق اولیه جریان (m)

$U_c$ : سرعت بحرانی ذرات (سرعت در آستانه حرکت)

$U$ :  $Q/A$ ، سرعت متوسط جریان (m/s)،  $Q$  بده ( $m^3/S$ )،  $A$ : سطح مقطع جریان ( $m^2$ )

$\omega$ : ضریب آشفستگی

مطالعات دیتز (۱۹۶۹) نشان داد که مقدار متوسط ضریب آشفستگی به صورت  $\omega = 2/3 + 2r_o$  و حداکثر مقدار آن  $\omega = 1 + 3r_o$  می‌باشد که  $r_o$  شدت نسبی آشفستگی می‌باشد.

هافمن و بوجی (۱۹۹۳) با آزمایش روی بستر افقی و برای جریان زیر بحرانی روی آستانه، رابطه زیر را برای  $r_o$  ارائه کردند:

$$r_o = \sqrt{0.0225 \left(1 - \frac{D}{d_o}\right)^{-2} \left(\frac{L - 6D}{6.67d_o} + 1\right)^{-1.08} + 1.45 \frac{g}{C^2}} \quad (۷-۵)$$

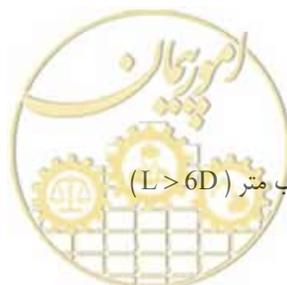
که در این رابطه:

$C$ : ضریب شزی بستر ( $m^{1/2}/s$ )

$D$ : ارتفاع آستانه (m)

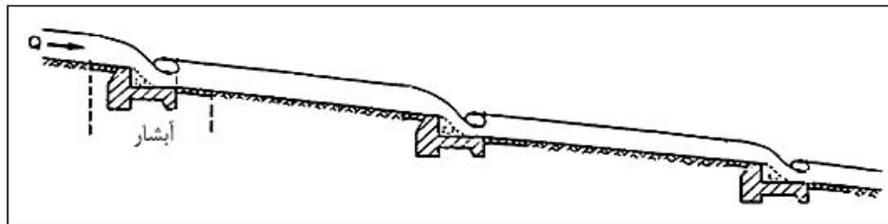
$g$ : شتاب ثقل ( $g = 9.81 m^2/s$ )

$L$ : طول کفبند افقی پایین دست آستانه بر حسب متر ( $L > 6D$ )



## ۵-۳-۳- آبشار

آبشارها یا بندهای شیب‌شکن سازه‌هایی هستند که به منظور تثبیت تراز بستر در مجاری شیب‌دار و همچنین کنترل پایین افتادگی بستر استفاده می‌شوند. چنانچه در محدوده آبگیرها انتظار پایین رفتن تراز بستر وجود داشته باشد یا بستر دستخوش تخریب زیادی شده باشد، به منظور تثبیت آن می‌توان از شیب‌شکن استفاده کرد. آبشارها به عنوان استهلاک کننده انرژی نیز ساخته می‌شوند و در بالا دست خود از آبشستگی بستر جلوگیری می‌کنند. این سازه‌ها معمولاً عرض مجرا را می‌پوشانند و از بتن، سنگ‌چین، توری‌سنگ، شمع‌های چوبی و سپرهای فلزی ساخته می‌شوند. سنگ‌چین و شمع‌های چوبی برای شیب‌شکن‌های کوچک و کانال‌های با عرض کمتر از ۳۰ متر و سپرهای فلزی، توری‌سنگ‌ها و سازه‌های بتنی معمولاً برای شیب‌شکن‌های بزرگ با عرض جریان متغیر تا حداکثر ۱۰۰ متر به کار می‌روند. ارتفاع مناسب برای این نوع شیب‌شکن حداکثر حدود ۴/۶ متر است. در بعضی موارد از چند شیب‌شکن متوالی با ارتفاع کمتر نیز جهت تثبیت تراز بستر استفاده می‌شود (شکل ۵-۲۱). آبشارها را می‌توان به دو نوع با کف‌بند و آستانه انتهایی و دیگری با کف‌بند بدون آستانه انتهایی تقسیم‌بندی نمود.



شکل ۵-۲۱- تثبیت بستر شیب‌دار با استفاده از چند آبشار

## - مبانی طراحی

معمولاً آبشارها طوری ساخته می‌شوند که عمق پایاب در پایین دست آنها کم باشد و عمق جریان در بالا دست آنها برابر عمق بحرانی جریان در روی تاج آن، یا کمتر از آن باشد. از نکات مهم در طراحی آبشارها حفظ پایداری آبشار و کف‌بند آن است، ضمن این‌که آبشستگی احتمالی پایین دست آن را نیز باید در نظر داشت. ضرورت دیوارهای آب بند را نیز نباید از نظر دور داشت. آبشارهای بتنی یا توری‌سنگی برای محافظت بستر به‌خصوص در مناطق خشک، کاربرد زیادی دارند.

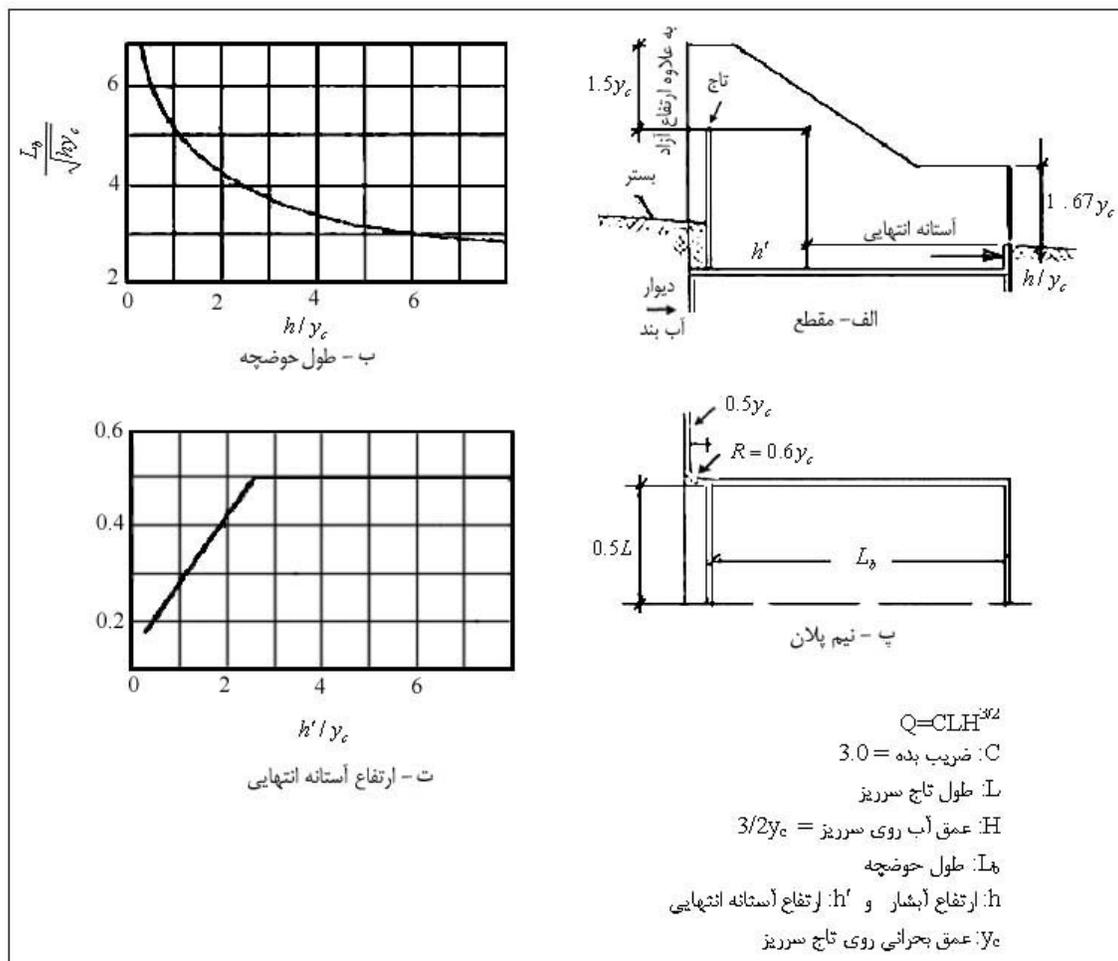
معادله کلی محاسبه بده، همان معادله کلی سرریزها به‌صورت زیر می‌باشد [۳۲]:

$$Q = CLH^{3/2} \quad (۵-۸)$$

که در این رابطه:

C: ضریب آبگذری، L: طول تاج آبشار و H عمق جریان روی آبشار است.

گروه مهندسين ارتش آمریکا مقدار ۳ را برای ضریب آبگذری C برای آبشارهای قائم بتنی پیشنهاد کرده است. معمولاً شیب دیواره اطراف مجرای اصلی و کف رودخانه پایین دست باید محافظت شود. گروه مهندسين ارتش آمریکا جهت طراحی آبشارهای قائم بتنی شکل (۵-۲۲) را ارائه داده است. در این نوع آبشار، همان‌طور که در شکل مشخص است، اختلاف تراز بستر در بالادست و پایین دست آبشار زیاد نیست. با انتخاب ارتفاع آبشار h، طول حوضچه پایین دست یا طول کف‌بند L<sub>b</sub> را از شکل (۵-۲۲-ب) و ارتفاع آب‌پایه h' را از شکل (۵-۲۲-ت) می‌توان به‌دست آورد که تابعی از عمق بحرانی جریان در بالا دست روی آبشار و ارتفاع آبشار است.



شکل ۵-۲۲- طراحی آبشارهای قائم بتنی [۳۲]

ایلر در سال ۱۹۸۴ براساس تعاریف ارائه شده در شکل (۵-۲۳) که مربوط به آبشاری است که در آن اختلاف تراز بستر در بالادست و پایین دست آن زیاد است، منحنی طراحی نشان داده شده در شکل (۵-۲۴) را توصیه کرد. در این شکل  $D_n = q^2 / gh^3$  عدد آبشار است. ایلر اشاره کرده است که اگر عمق پایاب کم تر از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی به اندازه ۲۰ درصد یا کم تر ( $y_2 \leq 20\%$ ) باشد، یک پرش هیدرولیکی مناسب در پایین دست آن شکل می گیرد و چنانچه عمق پایاب کم تر از ۸۰ درصد عمق ثانویه باشد جریان با سرعت زیاد از روی کفبند خارج شده و باعث آبستگي زیاد در پایین دست آن می شود که ممکن است سازه را با مشکل همراه سازد.

طول کفبند در پایین دست آبشار باید طوری باشد که پرش هیدرولیکی روی آن شکل بگیرد و به پایین دست منتقل نشود. ایلر روابط زیر را برای طول کفبند ارائه داد (شکل ۵-۲۳). با استفاده از این دو رابطه طول کفبند محاسبه و بیشترین مقدار انتخاب می گردد.

$$L_b = L_d + H + 2y_c$$

(۹-۵)

$$L_b = 4 y_2$$

که در این رابطه:

$L_b$ : طول کفبند

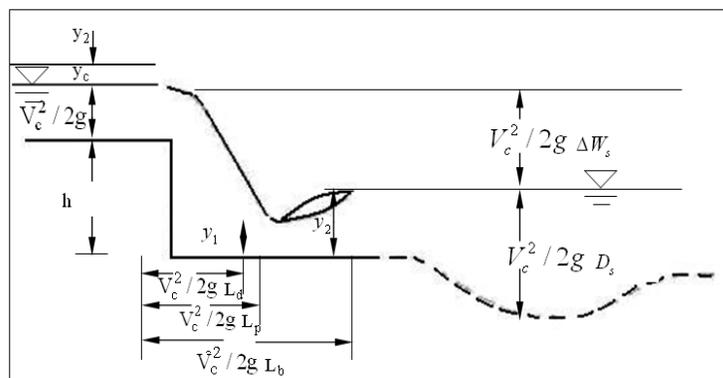
$h$ : ارتفاع آبشار

$y_2$ : عمق ثانویه پرش هیدرولیکی

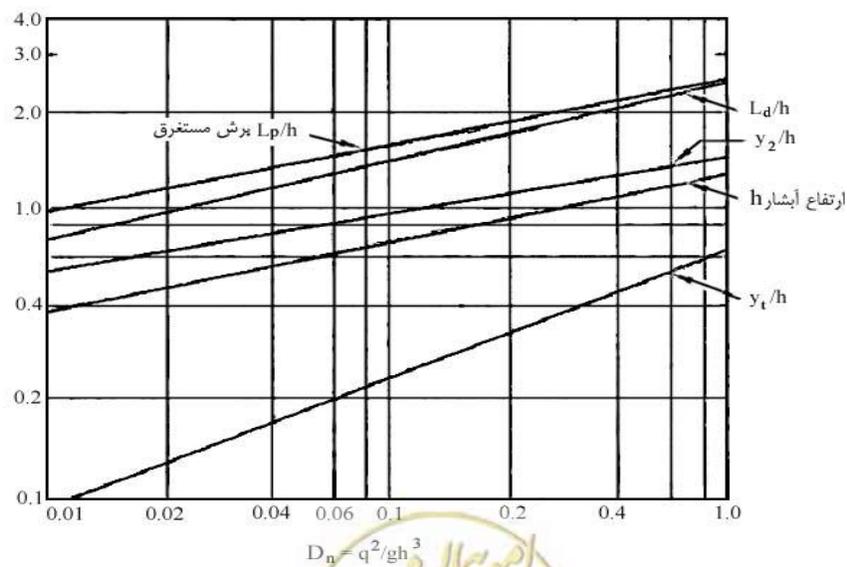
$L_d$ : فاصله بین محل شروع پرش و دیواره قائم آبشار

$y_c$ : عمق بحرانی روی آبشار

در طراحی براساس روش ایلر، ابتدا تراز پایاب تعیین و سپس از شکل (۵-۲۴) مقادیر اولیه طراحی به دست می آید و در صورت نیاز با استفاده مدل فیزیکی اصلاح می گردد.



شکل ۵-۲۳- معرفی پارامترهای آبشارهای قائم



شکل ۵-۲۴- پارامترهای طراحی به عنوان تابعی از عدد آبشار  $D_n$  [۳۲]

## ۵-۳-۳-۱- آبشستگی پایین دست آبشارهای قائم

ایلمر معتقد است اگر طراحی براساس رابطه (۷-۵) صورت گیرد، کفبند طول کافی را خواهد داشت که پرش را در خود جا دهد و حداقل آبشستگی را در پایین دست ایجاد کند. در این حالت عمق آبشستگی از سطح پایاب بیش از  $2y_c + h$  نخواهد بود، یعنی:

$$D_{smax} \leq 2y_c + h \quad (۱۰-۵)$$

رابطه USBR جهت تخمین عمق آبشستگی پایین دست آبشارهای قائم به صورت زیر می باشد (شکل ۵-۲۵) [۳۲]:

$$d_s = 1.9 H_t^{0.225} q^{0.54} - Y_d \quad (۱۱-۵)$$

که در این رابطه:

$d_s$ : عمق آبشستگی موضعی نسبت به بستر پایین دست آبشار (m)

$q$ : بده در واحد عرض ( $m^3/s/m$ )

$Y_d$ : عمق پایاب (m)

$H_t$ : اختلاف تراز انرژی بالادست و پایین دست به صورت زیر است:

$$H_t = \left( Y_u + \frac{V_u^2}{2g} + z_u \right) - \left( Y_d + \frac{V_d^2}{2g} + z_d \right) \quad (۱۲-۵)$$

که در این رابطه:

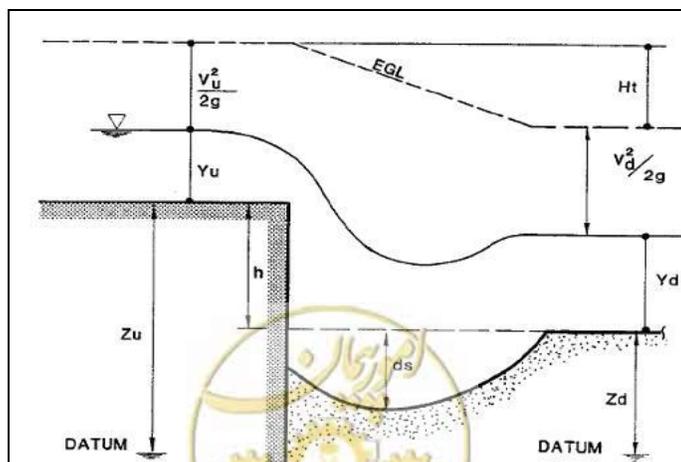
$Y$ : عمق جریان (m)

$V$ : سرعت جریان (m/s)

$z$ : تراز بستر نسبت به سطح مبنای مشخص (m)

$g$ : شتاب ثقل ( $\frac{m}{s^2}$ )

اندیس های  $u$  و  $d$  اشاره به بالادست و پایین دست جریان دارند. پارامترهای فوق در شکل (۵-۲۵) نشان داده شده اند.



شکل ۵-۲۵- پارامترهای تخمین عمق آبشستگی براساس رابطه USBR

فلیک و لارسن (۱۹۸۳) رابطه زیر را برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی ارائه داد [۳۲].

$$\frac{d_s}{y_c} = 8 \left( \frac{U_c}{\omega} \right)^{\frac{3}{4}} - \frac{6 + \frac{U_c}{\omega}}{\sqrt{1 + \frac{2H_t}{y_c}}} \quad (۱۳-۵)$$

که در این رابطه:

$d_s$ : عمق آبشستگی از سطح پایاب

$y_c$ : عمق بحرانی جریان روی تاج آبشار

$U_c$ : سرعت بحرانی جریان

$\omega$ : سرعت سقوط مصالح بستر

$H_t$ : اختلاف تراز آب در بالا دست و پایین دست





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

# فصل ۶

---

---

## ملاحظات جانبی آبیگری از رودخانه





[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## ۶-۱- کلیات

به طور کلی در هنگام طراحی و اجرای تاسیسات انحراف جریان علاوه بر نکات فنی، نکات دیگری را نیز باید در نظر گرفت که در موفقیت‌آمیز بودن طرح تاثیر بسزایی دارند که آنها را ملاحظات جانبی می‌نامیم. در این فصل به بررسی ملاحظات مربوط به کیفیت آب منحرف شده، ملاحظات زیست محیطی احداث آبیگر، ملاحظات جانبی مربوط به روش‌های آبیگری از رودخانه‌ها و رسوب‌گیرها، مسایل ارزیابی و بهره‌برداری، مسایل فرهنگی و اجتماعی و انتخاب روش آبیگری پرداخته می‌شود.

## ۶-۲- ملاحظات مربوط به کیفیت آب آبیگر

یکی از اهداف عمده در طرح‌های آبیگری و تاسیسات انحراف آب علاوه بر تامین بده مناسب جریان، تضمین کیفیت آب منحرف شده می‌باشد، به طوری که کیفیت آب منحرف شده از میانگین کیفیت رودخانه پایین‌تر نباشد.

اطمینان از کیفیت مناسب آب با در نظر گرفتن ملاحظات زیر حاصل می‌گردد:

- جلوگیری از نفوذ رسوبات به خصوص رسوبات درشت‌دانه به آبیگر

- جلوگیری از ورود اجسام شناور به آبیگر

- کنترل رژیم یخ

کیفیت آب منحرف شده بسته به موارد مصرف متفاوت خواهد بود. مصارف عمده آب رودخانه شامل شرب، کشاورزی و صنعتی می‌شود. کیفیت آب مورد نیاز برای شرب نسبت به سایر موارد نیاز به استاندارد بالاتری دارد. در حالت کلی و برای تمام مصارف یاد شده، رعایت نکات زیر از لحاظ کیفیت آب مهم می‌باشد:

• آب مورد استفاده باید عاری از رسوبات و مواد شناور باشد.

• آب منحرف شده از رودخانه نیاز به رسوبگیری قبل از ورود به سامانه اصلی دارد.

## ۶-۲-۱- معیارهای آب شرب

معیارهای زیر در استفاده شرب از آب رودخانه باید در نظر گرفته شوند:

- درجه حرارت در محل طرح

- خصوصیات فیزیکی آب رودخانه شامل رنگ، بو، تیرگی و مواد معلق

ویژگی‌های فیزیکی آب شرب باید با مشخصات داده شده در جدول (۶-۱) مطابقت کند.

جدول ۶-۱- مشخصات فیزیکی آب آشامیدنی

مقدار مجاز	مقدار مطلوب	ویژگی	ردیف
۱۵ واحد (pt-co)	۵ واحد (pt-co)	رنگ	*۱
---	غیر قابل اعتراض	بو	۲
۲۵ واحد جکسون (JTU)	۵ واحد جکسون (JTU)	تیرگی (کدورت)	۳
۶/۵-۹/۲	۷-۸/۵	pH	۴

(\*) در صورت موجود بودن آهن تا میزان حداکثر ۰/۳ میلی گرم در لیتر همراه با مقادیر کم تانن، رنگی ایجاد می شود که از حد استاندارد بیان شده بالاتر است. در چنین حالتی مقادیر بالاتر از استاندارد نیز قابل قبول می باشد.

- خصوصیات شیمیایی آب شامل pH، مواد محلول، هدایت الکتریکی، سختی، فلزات سنگین، هیدروکربن های کلردار، فسفات و...

غلظت مواد شیمیایی موجود در آب نباید از مقادیر داده شده در جدول (۲-۶) و جدول (۳-۶) تجاوز نماید.

جدول ۲-۶- حدود مجاز مواد شیمیایی سمی در آب آشامیدنی

ردیف	نوع ترکیب	حداکثر غلظت mg/lit
۱	ترکیبات آرسنیک بر حسب (As)	۰/۰۵
۲	ترکیبات کارمیم بر حسب (cd)	۰/۰۱
۳	ترکیبات سیانور بر حسب (CN)	۰/۰۵
۴	ترکیبات سرب بر حسب (Pb)	۰/۱
۵	ترکیبات جیوه بر حسب (Hg)	۰/۰۰۱
۶	ترکیبات سلنیوم بر حسب (Se)	۰/۰۱
۷	ترکیبات کرم بر حسب (Cr)	۰/۰۵
۸	ترکیبات بورن بر حسب (B)	۰/۰۱
۹	ترکیبات باریم بر حسب (Ba)	۰/۰۱

جدول ۳-۶- مشخصات سایر مواد شیمیایی در آب آشامیدنی

ردیف	نوع ترکیب	حداکثر مقدار مطلوب mg/lit	حداکثر مقدار مجاز mg/lit
۱	کل مواد جامد	۵۰۰	۲۰۰۰
۲	سختی کل بر حسب (Caco <sub>3</sub> )	۱۵۰	۵۰۰
۳	کلسیم بر حسب (Ca)	۷۵	۲۰۰
۴	منیزیم* بر حسب (Mg)	۵۰	۱۵۰
۵	منگنز بر حسب (Mn)	۰/۰۵	۰/۵
۶	آهن بر حسب (Fe)	۰/۳	۱
۷	روی بر حسب (Zn)	۵	۱۵
۸	مس بر حسب (Cu)	۰/۰۵	۱/۵
۹	سولفات* بر حسب (So <sub>4</sub> )	۲۰۰	۴۰۰
۱۰	کلرور بر حسب (Cl)	۲۰۰	۶۰۰
۱۱	آمونیاک بر حسب (N)	۰/۰۰۲	۰/۰۵
۱۲	پاک کننده ها	۰/۱	۰/۲
۱۳	فسفات ها بر حسب (P)	۰/۱	۰/۲

(\*) در صورتی که مقدار سولفات بیش تر از ۲۵۰ میلی گرم در لیتر باشد، مقدار منیزیم نباید از ۳۰ میلی گرم در لیتر تجاوز کند. ولی چنانکه

مقدار سولفات کم تر از ۲۵۰ میلی گرم در لیتر است مقدار منیزیم حداکثر تا ۱۵۰ میلی گرم در لیتر قابل قبول خواهد بود.

- خصوصیات بیولوژیکی آب شامل نیاز اکسیژنی بیولوژیکی و کلیفرم

- خصوصیات رادیولوژیکی آب آشامیدنی
  - خصوصیات باکتریولوژیکی آب آشامیدنی
- اطلاعات کامل راجع به معیارهای آب آشامیدنی در مرجع [۷] موجود است.

### ۶-۲-۲- معیارهای آب کشاورزی

یکی از پارامترهای عمومی آب مصرفی جهت مصارف کشاورزی دمای آب است. دمای آب ورودی به مزرعه باید نزدیک به دمای مزرعه بوده و در هر صورت کم‌تر از ۱۲-۱۰ درجه سانتی‌گراد نباشد. در استفاده از آب برای مصارف کشاورزی همچنین باید به این نکته توجه داشت که ذرات رسوب بزرگ‌تر از  $0.2\text{mm}$  نباید وارد شبکه توزیع آب شوند. ورود رسوبات درشت‌دانه می‌تواند صدمات زیر را به شبکه وارد سازد:

- رسوب‌گذاری در کانال‌ها باعث تغییرات ریخت‌شناسی شده و آب‌گذری کانال را کاهش می‌دهد.
- باعث گرفتگی سامانه آبیاری تحت فشار شده و سرعت بالای ذرات رسوب داخل لوله‌ها ( $2\text{ m/s}$ ) ساییدگی لوله‌ها را به همراه خواهد داشت.

جدول (۶-۴) مشخصات آب مصرفی برای آبیاری را نشان می‌دهد [۱۸].

جدول ۶-۴- راهنمای بررسی کیفیت آب آبیاری

میزان محدودیت			واحد	مسایل بالقوه
شدید	کم تا متوسط	صفر		
>3 >2000	0.7-3 450-2000	<0.7 <450	ds/m mg/l	شوری ECW TDS
<0.2 <0.3 <0.5 <1.3 <2.9	0.2-0.7 0.3-1.2 0.5-1.9 1.3-2.9 2.9-5	>0.7 >1.2 >1.9 >2.9 >5		نفوذپذیری ECW
>9 >10 >3	3-9 4-10 0.7-3	<3 <4 <0.7	SAR me/l mg/l	مسمومیت یونی - آبیاری سطحی سدیم کلر بور
- -	>3 >3	<3 <3	me/l me/l	مسمومیت یونی - آبیاری بارانی سدیم کلر
>30 >8.5	5-30 1.5-8.5	<5 <1.5	mg/l me/l	نیترژن ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) بیکربنات‌ها ( $\text{HCO}_3$ ) - فقط آبیاری بارانی
حدود تغییرات نرمال 6.5-8.4				اسیدیته (PH)



### ۳-۲-۶- معیارهای آب صنعتی

کیفیت آب مورد نیاز در نیروگاه‌های حرارتی توسط دستگاه‌های خاص خنک‌کننده تعیین می‌شود، ولی در هر صورت موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- آبی که در سامانه خنک‌کننده استفاده می‌شود باید عاری از هرگونه رسوب باشد، چرا که ذرات نسبتاً درشت می‌توانند درون دستگاه‌های خنک‌کننده ته‌نشین شده و ذرات سخت در اثر سرعت بالای آب می‌توانند باعث صدمه زدن به سطوح فلزی از قبیل پروانه پمپ شوند.
  - از ورود اجسام شناور به داخل چنین سامانه‌هایی باید شدیداً ممانعت کرد، زیرا چنین اجسامی باعث تخریب لوله‌های چگالنده‌ها خواهند شد.
  - جلبک‌ها و هرگونه میکروارگانیسمی نباید به این سامانه‌ها وارد شوند زیرا چسبیدن این مواد به دیواره لوله‌های چگالنده‌ها، باعث کاهش قدرت انتقال دما در سامانه خواهند شد.
  - غلظت کربنات کلسیم ( $\text{CaCO}_3$ ) نباید بیش از 1-3 mg/l باشد. زیرا چسبیدن این مواد به دیواره لوله‌ها باعث تشکیل یک لایه عایق حرارتی شده و هدایت گرمایی لوله‌های چگالنده‌ها را پایین خواهند آورد.
  - غلظت کربنات کلسیم برای دستگاه‌های تولید بخار در نیروگاه‌های حرارتی نباید بیش‌تر از 0.1 mg/l باشد.
- به علت استفاده از تجهیزات خاص در انتقال آب به نیروگاه‌های برق آبی، لازم است موارد زیر در کیفیت آب رعایت گردد:
- رسوبات درشت‌دانه ورودی به سامانه انتقال به خاطر وجود نواحی با سرعت پایین، ته‌نشین می‌شوند و به علت وجود نواحی با سرعت بالا می‌توانند در اثر برخورد با سطوح فلزی و بتنی موجود از قبیل پنستاک، شیرها و پروانه توربین‌ها باعث ساییدگی و صدمات جبران‌ناپذیری شوند. تجربه نشان داده است که ذرات رسوبی در محدوده 0.25 – 0.5 mm نباید وارد سامانه شوند.
  - از ورود هرگونه اجسام شناور در داخل سامانه باید جلوگیری کرد، چرا که باعث گرفتگی مجاری شده و افت‌های موضعی به‌وجود می‌آورند.

### ۳-۶- ملاحظات زیست محیطی احداث آبیگر

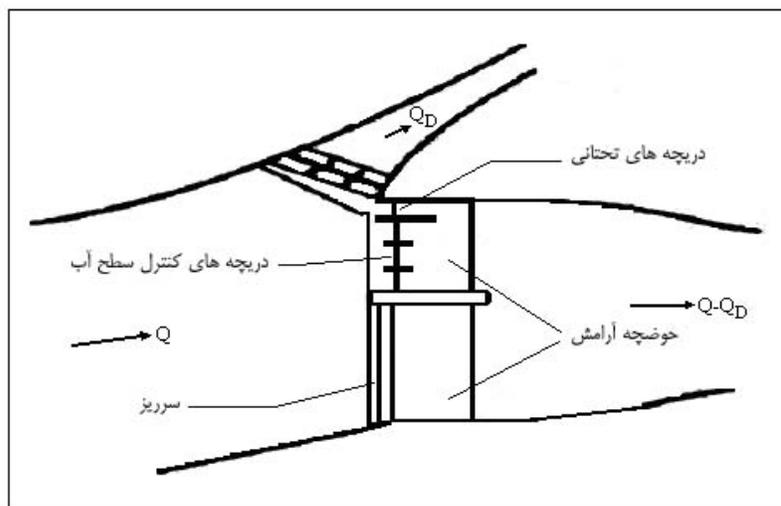
هدف کلی از ملاحظات زیست محیطی در هر پروژه عمرانی، پیش‌بینی اثرات جانبی و دراز مدت پروژه و بررسی تبعات ناشی از آن و در نهایت، بهینه‌کردن طرح مهندسی با در نظر گرفتن تبعات زیست محیطی آن در کنار سایر پارامترها است. انحراف آب باید بدون ایجاد اثرات زیست محیطی نامطلوب در رودخانه باشد که این مهم با در نظر گرفتن موارد زیر تامین می‌گردد:

- جلوگیری از نفوذ رسوبات به‌خصوص رسوبات درشت‌دانه به آبیگر



- بررسی وضعیت محیط زیست موجود قبل از انحراف: محیط زیست مربوط به منطقه محل پروژه باید بررسی و شناسایی شود. اگر تبعات مورد نظر، باعث عدم تعادل محیط زیست شود، حتی الامکان سعی شود گزینه‌ای مناسب‌تر با تبعات کم‌تر انتخاب شود.
- پیش‌بینی اثرات طولانی مدت و جانبی پروژه‌های آبیگری: طراحی باید طوری باشد که اثرات جانبی و دراز مدت ناشی از آن بر روی محیط مزبور شناسایی شده و چاره‌اندیشی‌های لازم صورت گیرد.
- ارزیابی احتمالی منفی بودن اثرات فوق و بررسی عوامل کاهش دهنده آنها: پروژه مورد نظر باید شرایط اکولوژیکی رودخانه و مناطق وابسته به آن را به هم نزند، حتی اگر لازم باشد جهت جلوگیری از این تبعات، از منابع آب به صورت محدود استفاده کرد.
- متعادل کردن اثرات منفی احتمالی به همراه حداقل کردن هزینه ناشی از آنها  
تبعات زیست محیطی ناشی از احداث آبیگر در رودخانه را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:
- در اثر انحراف بخشی از جریان رودخانه، بده جریان در پایین دست آبیگر کاهش خواهد یافت و در نتیجه هوادهی جریان که به صورت طبیعی در رودخانه‌ها صورت می‌گیرد، کاهش یافته و ممکن است زندگی آبیان در پایین دست آبیگر را به مخاطره اندازد.
- تغییر در تراز آب رودخانه، باعث تغییر در تراز آب زیرزمینی خواهد شد. تغییرات دراز مدت در تراز آب زیرزمینی می‌تواند بافت خاک منطقه و بافت گیاهی منطقه را تحت تاثیر قرار دهد.
- یکی از مهم‌ترین اثرات نامطلوب زیست محیطی احداث آبیگر در رودخانه‌ها، کاهش ظرفیت انتقال رسوب رودخانه بوده که باعث افزایش تراز بستر در پایین دست آبیگر و تغییر در لایه‌های آبرفتی بستر می‌شود. بنابراین معیار زیست محیطی برای طراحی سازه‌های آبیگر، نگهداری ظرفیت انتقال رسوب رودخانه، به خصوص رسوبات درشت‌دانه می‌باشد.  
باید توجه داشت که تاسیسات انحراف جریان باید اثرات زیست محیطی زیان‌آور را به حداقل برساند. بیش‌تر رسوبات انتقال یافته در رودخانه که موجب خسارت می‌شود، ذرات درشت‌دانه بوده که در مواقع سیلابی انتقال می‌یابند. استفاده از بند انحرافی جهت آبیگری موجب کاهش در ظرفیت حمل رسوبات می‌شود. چنانچه مقدار آب منحرف شده زیاد باشد ممکن است کاهش عرض رودخانه در پایین دست به صورت شکل (۶-۱) لازم گردد. در چنین شرایطی، هدف اصلی، عبور درصدی از حداکثر جریان بوده (مثلاً ۲۰٪ سیل طراحی) که توسط دریچه‌هایی کنترل می‌گردد. از جمله ضوابط طراحی، سرعت جریان در طول مسیر بوده که باید بزرگ‌تر از سرعت بحرانی بوده تا موجب انتقال رسوبات شده و به طور پیوسته انتقال رسوبات را در مسیر جریان انجام دهد.





شکل ۶-۱- طرح شماتیک انحراف آب از رودخانه و کاهش عرض در پایین دست رودخانه [۳۶]

#### ۶-۴- ملاحظات مربوط به انتخاب محل آبیگر

انتخاب محل مناسب آبیگر در یک پروژه آبیگری برای موفقیت پروژه ضروری است. یک محل مناسب می‌تواند اختلال در آبرسانی را که به دلیل ورود رسوب به آبیگر به وجود می‌آید به حداقل کاهش دهد. باید توجه داشت که بعد از اجرای پروژه، مشکلات ایجاد شده در اثر انتخاب نامناسب محل به سختی قابل اصلاح می‌باشد. در انتخاب محل آبیگر ملاحظات زیر را باید مدنظر قرار داد:

- محل ساخت آبیگر باید از منابع کاهش دهنده کیفیت آب نظیر خروجی فاضلاب‌ها، شاخه‌های فرعی آلوده‌کننده و مناطق با فرسایش زیاد، دور باشد.
  - در مواقع سیلابی، اموال و تاسیساتی نظیر ساختمان‌ها، بزرگراه‌ها، خطوط راه آهن، پل‌ها و خطوط فشار قوی برق در نواحی اطراف آبیگر باید با محدود کردن بالا آمدگی آب و یا ساخت سیل‌بندها محافظت شوند.
  - موقعیت انحراف به گونه‌ای باشد که طول کانال‌های انتقال را حداقل نماید.
  - آبیگر باید حتی‌المقدور در سمتی از رودخانه قرارگیرد که مصرف‌کنندگان در آن سمت باشند.
  - دسترسی محل انحراف به جاده‌های موجود امکان‌پذیر باشد.
  - محل انحراف باید به منابع قرضه محلی نزدیک باشد تا هزینه ساخت تاسیسات انحراف کاهش یابد.
  - عمق و بده کافی در محل انحراف وجود داشته باشد.
  - آبیگری از مناطقی از رودخانه که به صورت جزیره درآمده‌اند، مناسب نیست.
  - آبیگر نباید نزدیک مناطق گردابی و مناطقی با آشفتگی زیاد باشد.
  - آبیگری از قوس داخلی رودخانه‌ها معمولاً مناسب نیست.
- باید توجه داشت که آبیگری از مکان‌های زیر در رودخانه‌ها رضایت بخش نیستند:



- در دلتای رودخانه‌های ورودی به مخازن سدها
  - پایین دست محل تلاقی دو رودخانه که شاخه فرعی دارای رسوب زیادی باشد.
  - آبیگری از قسمت‌های ناپایدار رودخانه
  - آبیگری از رودخانه‌های شریانی
- اگر آبیگر در یک مسیر کاملاً مستقیم قرارگیرد، این خطر وجود دارد که با گذشت زمان به علت جابجایی مجرا در پلان، آبیگر از مسیر خارج شود. اگر به دلایل ویژه‌ای آبیگر باید در مسیر مستقیم رودخانه احداث شود، دیواره جانبی آبراهه در طول وسیعی باید محافظت شود.
- با توجه به این که محلی که تمام شرایط ذکر شده را داشته باشد، به ندرت دست یافتنی است و برای محل انحراف، شرایط هیدرولیکی بیش‌ترین اهمیت را دارد، سایر شرایط را می‌توان با طراحی مناسب فراهم نمود. سیلاب را می‌توان با ساخت سیل‌بند کنترل کرد و تقریباً برای هر نوع خاکی، روش‌هایی برای اصلاح پی وجود دارد اما برای یک محل انحراف که شرایط هیدرولیکی لازم را ندارد، پروژه همراه با مشکلات زیادی خواهد بود.

#### ۶-۴-۱- ملاحظات جانبی آبیگری به روش پمپاژ

- در این روش، برای این که رسوبات کم‌تری وارد آبیگر شود، در جلوی دهانه ورودی آبیگر، حوضچه یا گودالی<sup>۱</sup> با عرض بیش‌تر از دهانه آبیگر احداث می‌نمایند. آشغالگیر در دهانه ورودی آبیگر نصب می‌شود تا از ورود مواد معلق جلوگیری می‌نماید. دریچه‌ای برای موارد اضطراری و برای تعمیرات لوله مکش پمپ در نظر گرفته می‌شود. این روش آبیگری زمانی می‌تواند مفید باشد که ساحل رودخانه تحت تاثیر فرسایش قرار نگیرد و جریان در رودخانه نسبتاً آرام باشد.
- یکی از نکات بسیار مهم در آبیگری به روش پمپاژ جداسازی کامل ذرات جامد از آب است. ورود هر جسم جامد به لوله‌های آبیگری و پمپ باعث بروز مشکلاتی مثل خرابی و فرسایش پره‌های پمپ و کاهش عملکرد پمپ می‌شود. روش‌های مختلفی برای جلوگیری از ورود اجسام اضافی به سامانه پمپاژ وجود دارد که شامل انواع آشغالگیرها، صفحه‌های مسطح سوراخ‌دار و صفحه‌های متحرک می‌باشد.
- مساله مهمی که در استفاده از این روش‌ها وجود دارد، نگهداری و تمیز کردن به موقع آنهاست. ضمن این که باید در محل مناسب نصب شوند. همچنین باید توجه داشت ماهی‌ها و دیگر آبزیان نباید وارد این سامانه شوند.
- در مورد محل ایستگاه پمپاژ ملاحظات زیر را باید در نظر گرفت [۵]:
- ایستگاه پمپاژ باید در جایی احداث شود که آب برداشتی کیفیت مناسب داشته باشد.
  - راه‌های دسترسی به ایستگاه پمپاژ مناسب باشد.
  - از ورود افراد غیرمسوول به اطراف ایستگاه پمپاژ جلوگیری شود.
  - امکانات لازم برای مقابله با اتفاقاتی نظیر سیل و آتش‌سوزی مهیا باشد.



- ساختمان ایستگاه پمپاژ محیط مناسبی برای تجهیزات مربوط باشد. دما، رطوبت، تهویه و روشنایی عواملی است که در صورت رعایت نکردن به سامانه صدمه می‌زند.

یکی دیگر از مسائلی که در آبیگری به روش پمپاژ مطرح است، شکل‌گیری گرداب‌های سطحی همراه هسته هوا یا بدون هسته هوا، در ورودی آبیگیر است که می‌تواند باعث کاهش بازده، ایجاد پدیده کویتاسیون و ارتعاش در پمپ‌ها، توربین‌ها و خطوط انتقال گردد. روش‌های مختلفی برای کاهش یا حذف گرداب در آبیگیرها وجود دارد. برای این کار می‌توان از صفحات ضدگرداب استفاده کرد. در میان عوامل متعددی که بر مکانیسم شکل‌گیری این گرداب‌ها موثرند، خروج از مرکزیت جریان نزدیک شونده به مجرای آبیگیر از اهمیت بیش‌تری برخوردار است که این عامل نتیجه عدم تقارن در میدان جریان ورودی ناشی از شکل هندسی سازه آبیگیر است. در استفاده از صفحات ضد گرداب موارد زیر باید در نظر گرفته شود [۱۷]:

- هرگونه عدم تقارن در قرارگیری صفحات کاهش گرداب، درصد هوای موجود در گرداب را افزایش می‌دهد.
- با کاهش سطح صفحات هوا ورودی به جریان افزایش می‌یابد.

#### ۶-۴-۲- ملاحظات جانبی در آبیگری توسط بند انحرافی

چنانچه سطح آب در رودخانه دارای نوسان شدید باشد، باید ارتفاع بند انحرافی به اندازه‌ای در نظر گرفته شود که بتواند آب لازم را به‌صورت دائمی تامین نماید. در صورتی که نوسانات آب در رودخانه در طول سال کم باشد، ارتفاع بند انحرافی تاثیر چندانی در تامین آب نخواهد داشت. در روش آبیگری با استفاده از بند انحرافی، موارد زیر را باید مدنظر قرار داد:

#### ۶-۴-۲-۱- پدیده زیر شویی

زمانی که آب جمع شده در بالا دست سازه به داخل بستر نفوذ کرده و از قسمت پایین دست سازه بیرون آید، گردابیان هیدرولیکی ممکن است از مقدار بحرانی آن بیش‌تر شده و در این حالت خاک زیر بستر توسط جریان آب شسته شده و به پایین دست انتقال یابد (پدیده زیرشویی) که با گذشت زمان مقدار ذرات شسته شده بیش‌تر می‌گردد و در نهایت ممکن است باعث ایجاد آبراه‌هایی شده که تا بالا دست سازه ادامه می‌یابد و در نهایت تخریب سازه را به همراه خواهد داشت. برای جلوگیری از وقوع این پدیده و یا کاهش خسارات آن، می‌توان به دو طریق عمل نمود:

- احداث طول کافی کفبند و بستر نفوذ ناپذیر
- احداث دیواره‌های آب بند یا شمع‌هایی در بالادست

#### ۶-۴-۲-۲- شکست کفبند

اگر وزن سازه کم‌تر از نیروی بالا برنده باشد، احتمال شکست کفبند وجود خواهد داشت. ایجاد موج‌های ایستاده<sup>۱</sup> و پرش هیدرولیکی در پایین دست سازه کشش‌هایی را ایجاد کرده و به مانند نیروی بالا برنده عمل می‌نماید و اگر کفبند از ضخامت کافی برخوردار نباشد، موجب شکست آن می‌شود. کاهش این نوع خسارت را با روش‌های زیر می‌توان انجام داد:

- قرار دادن دیواره یا شمع‌هایی در زیر سازه در قسمت بالادست آن



- ساختن کفبند مقاوم از بتن مسلح

#### ۶-۴-۳- فرسایش در بالا دست یا پایین دست سازه

با کاهش عرض جریان در محل سازه امکان فرسایش در بالا دست و پایین دست سازه وجود دارد. در چنین حالتی با حرکت و ادامه این آبشستگی به طرف سازه احتمال تخریب سازه وجود دارد. برای جلوگیری از این امر می‌توان به روش‌های زیر عمل نمود:

- احداث دیواره‌ها یا شمع‌هایی بلندتر از حداکثر عمق آبشستگی

- احداث کفبند یا سنگ‌چین در بالا دست و پایین دست سازه به طول کافی و مناسب

#### ۶-۴-۲-۴- احداث نردبان ماهی‌رو<sup>۱</sup>

با توجه به این‌که ساختن سازه‌هایی نظیر بند انحرافی و یا سرریز مانع حرکت آبزیان می‌شود. لذا باید مسیر یا گذرگاهی برای این منظور در نظر گرفت که بدان اصطلاحاً نردبان ماهی‌رو گویند. توسط این گذرگاه، ماهی‌ها به راحتی به بالا دست یا پایین دست رودخانه حرکت می‌کنند.

ماهی‌ها معمولاً در آب با سرعت حدود ۳ متر بر ثانیه توانایی حرکت دارند. بنابراین طراحی نردبان ماهی‌رو باید با در نظر گرفتن این مقدار برای سرعت جریان انجام شود. دیواره‌های داخلی نردبان ماهی‌رو باعث می‌شود که اختلاف ارتفاع آب در بالا دست و پایین دست به‌طور ناگهانی کاهش پیدا نکند. در بالا دست و پایین دست نردبان ماهی‌رو دریچه‌هایی نیز می‌توان نصب نمود که کنترل بهتر جریان را انجام دهد.

#### ۶-۴-۲-۵- احداث دریچه‌های زیرگذر

دریچه‌های زیر گذر بخشی از یک بند انحرافی است که رسوبات جمع شده در کانال بالا دست بند انحرافی را به همراه بخشی از جریان سیلاب به پایین دست هدایت می‌کند. احداث این دریچه‌ها بسیار مفید خواهد بود. آنچه که مهم است عملکرد صحیح و به موقع دریچه‌ها می‌باشد که به نحو احسن لایروبی را انجام دهد.

#### ۶-۵- ملاحظات جانبی رسوب‌گیرها

با توجه به این‌که رسوب‌گیرها، رسوب موجود در جریان را از آن جدا کرده و نقش مهمی در تامین آب مناسب دارند لذا لازم است با توجه به شرایط محلی، دقت کافی در طراحی آنها به‌عمل آید.

محل و روش تخلیه رسوبات جدا شده از جریان توسط رسوبگیر یکی از ملاحظات مهم رسوب‌گیرها است. معمولاً رسوبات جدا شده توسط رسوبگیر به پایین دست رودخانه یا محل مناسب دیگری هدایت و تخلیه می‌شود. لذا لازم است در انتخاب محل رسوبگیر به نحوه تخلیه رسوبات نیز توجه داشت. امکان استفاده از رسوبات جدا شده توسط رسوبگیر را نیز نباید از نظر دور داشت.

باید توجه داشت که رسوبات درشت‌دانه‌ای که یا در کانال ته‌نشین می‌شوند و یا باعث وارد آمدن خسارت بر توربین می‌گردند، باید جدا شوند، درحالی‌که همیشه جدا سازی رسوبات ریزدانه‌ای که برای حاصلخیز کردن زمین‌های کشاورزی مفید هستند، ضروری به

1- Fish Ladder



نظر نمی‌رسد. البته از نظر اقتصادی نیز جدا سازی این ذرات مقرون به صرفه نیست. با این وجود اگر مقدار رسوبات ریزدانه بسیار زیاد باشد جدا سازی این ذرات باید صورت گیرد.

قبل از گرفتن هر نوع تصمیم و انجام هر کاری جهت جدا سازی رسوبات، اطلاعات کامل راجع به مقدار و وسعت رسوبات موجود و مقداری از آن که به داخل کانال هدایت می‌شوند و ظرفیت رسوب‌گذاری کانال و درصدی از آن که باید جدا گردند، باید حاصل گردد.

سازه‌های رسوبگیر نباید خیلی دور از ورودی کانال آبیگیر احداث شوند. در این صورت رسوبات قبل از رسیدن به آن ممکن است ته‌نشین شده و ضمن کاهش ظرفیت کانال، عمل جداسازی رسوبات توسط رسوبگیر به‌خوبی انجام نشود. همچنین اگر خیلی نزدیک به دهانه کانال آبیگیر احداث شوند، ممکن است ذرات رسوب به حالت معلق باقی مانده و از روی رسوبگیر به پایین دست حمل شوند و رسوبگیر نتواند به نحو مناسبی عمل نماید. اگر قرار است ذرات خیلی ریزدانه از جریان جدا شوند، می‌توان تعداد این نوع سازه‌ها را در طول کانال افزایش داد.

زمانی که در محل مورد نظر برای آبیگری، در مسیر رودخانه قوسی وجود ندارد، به ناچار باید از مسیر مستقیم رودخانه آبیگری انجام گیرد. در چنین حالتی نیز جلوگیری و کنترل ورود رسوبات به داخل کانال آبیگیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در پروژه‌های مهم لازم است با ساخت مدل فیزیکی رسوبگیر، عملکرد آن مورد بررسی قرار گیرد.

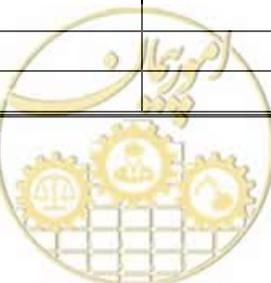
#### ۶-۵-۱- آب مورد نیاز برای سازه‌های رسوبگیر

مقدار آب مورد نیاز برای سازه‌های رسوبگیر در بسیاری از مناطق مهم به نظر می‌رسد. در جاهایی که مشکل کمبود آب وجود ندارد، محدودیتی در انتخاب نوع رسوبگیر وجود ندارد، اما زمانی که کمبود آب وجود دارد انتخاب روش مناسب رسوب‌زدایی اهمیت خود را نشان می‌دهد.

مقدار آب مورد نیاز سازه‌های رسوبگیر در جدول (۶-۵) آورده شده است [۲۴]. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، حوضچه رسوبگیر گردابی در مقایسه با سایر روش‌ها تلفات آب بسیار کمی دارد و به‌طور کلی نسبت به سایر روش‌های کنترل رسوب، اقتصادی‌تر است. از دیگر مزایای این حوضچه‌ها ابعاد کوچک حوضچه‌های گردابی و کارکردن آن به‌طور دائمی است. لازم به ذکر است انتخاب نوع رسوبگیر با توجه به شرایط محلی صورت می‌گیرد.

جدول ۶-۵- مقدار آب مورد نیاز سازه‌های رسوبگیر

نوع سازه	درصد آب مورد نیاز برای رسوبگیر
تونل‌های جداکننده رسوب در محل دهانه آبیگیر	۸۰-۱۰
تونل‌های دفع‌کننده رسوب در کانال آبیگیر	۲۵-۱۰
حوضچه‌های ترسیب	۳-۱/۵
لوله‌های گردابی	۵۰-۱۰
حوضچه‌های ترسیب گردابی	۱۰-۳



## ۶-۶- مسایل ارزیابی و بهره‌برداری

یکی از مسایل مهمی که تاکنون موجب ایجاد خسارات قابل ملاحظه به تاسیسات عمرانی و اقتصادی کشور شده است، عدم پیش‌بینی اعتبار و امکانات فنی لازم در دوران بهره‌برداری می‌باشد. متأسفانه بسیاری از ابنیه مهم کشور که با صرف هزینه بسیار زیادی ساخته شده‌اند پس از ساخت رها شده و بعضاً دچار تخریب شده‌اند. برخی از موارد مهمی که در دوران بهره‌برداری و نگهداری، موجب خسارت دیدن تاسیسات آبیگری می‌گردد به شرح زیر می‌باشند:

- عدم لایروبی به موقع کانال آبیگر و سامانه انتقال آب
  - عدم استفاده از تجهیزات مناسب لایروبی
  - عدم اجرای عملیات کنترل رشد علف‌های هرز در محدوده آبیگر و تاسیسات مربوط به آن
  - عدم اجرای بازسازی های لازم و به موقع در محدوده تاسیسات آبیگری و خرابی‌های ناشی از فرسایش و سیل
  - عدم تعمیر و سرویس به موقع تجهیزات مکانیکی و هیدرومکانیکی تاسیسات آبیگری
  - عدم جلوگیری از تردد مکرر وسایل نقلیه سنگین در مجاورت آبیگر و تاسیسات آبیگر
- رعایت موارد فوق براساس یک برنامه دقیق می‌تواند ضمن به حداقل رسانیدن مسایل و مشکلات آتی، کارایی تاسیسات آبیگری را به میزان قابل توجهی افزایش دهد. بدیهی است که تدوین یک برنامه دقیق بهره‌برداری و نگهداری و پیش‌بینی امکانات فنی و مالی مورد نیاز، جهت مدیریت سامانه انحراف و انتقال آب ضروری است.

## ۶-۷- انتخاب روش آبیگری و نوع آبیگر

در انتخاب آبیگر عوامل متعددی از جمله عملکرد و هدف طراحی، ابعاد کار از نقطه نظر بده جریان و عمق آب و موارد دیگری مثل ویژگی‌های محل و نحوه اجرا دخالت می‌کنند. مواردی مثل داده‌های مربوط به انتخاب محل و ابعاد تاسیسات، انتخاب نوع آبیگر را محدود می‌سازد. به عنوان مثال طبیعت رودخانه و محدوده تغییرات سطح آب، بده جریان و بده رسوبات و معیارهایی مثل نحوه بهره‌برداری و شکل توزیع آب در تاسیسات مختلف محدودیت‌های دیگری را در انتخاب آبیگر به وجود می‌آورد. همچنین وجود و یا عدم وجود آب کافی جهت شستشوی رسوبات ته‌نشین شده در انتخاب آبیگر موثر می‌باشد.

محل یک آبیگر ممکن است در یک نهر، رودخانه، کانال، دریاچه، مخزن یا ساحل دریا باشد. نحوه دسترسی به محل و این‌که ساختمان طرح در محیط خشک و یا داخل آب انجام می‌گیرد و یا این‌که نیاز به تاسیسات انحراف آب می‌باشد، از عوامل مهم در انتخاب نوع آبیگر محسوب می‌شود. در تمامی موارد، مطالعه مدل طرح، اطلاعات با ارزشی در مورد اجرا و مناسب بودن آن در اختیار طراح قرار می‌دهد.

انتخاب روش آبیگری به عوامل متعددی از قبیل شرایط توپوگرافی، شرایط اقلیمی، نوع رودخانه، اهداف طرح، درصد بده انحرافی و موقعیت انحراف بستگی دارد و با توجه به این‌که در مناطق مختلف کشور شرایط بسیار متفاوتی حاکم است، لذا نمی‌توان توصیه کلی برای انتخاب روش‌های آبیگری برای هر منطقه از کشور ارائه نمود و لازم است با مطالعه دقیق و در نظر گرفتن مسایل فنی و



اقتصادی و با توجه به شرایط محلی و قضاوت مهندسی نوع آبیگر مناسب را انتخاب کرد و در صورت نیاز نسبت به ساخت مدل فیزیکی آن اقدام نمود.

## ۶-۸- مسایل فرهنگی و اجتماعی

علاوه بر مسایلی که در قسمت قبل عنوان گردید، مسایل فرهنگی و اجتماعی نیز در طراحی و اجرای تاسیسات انحراف و انتقال آب مطرح هستند. عدم احساس مسوولیت نسبت به اموال عمومی از جمله موارد به وجود آورنده این نوع مشکلات و مسایل می باشد. از جمله عوارض و مشکلاتی که بر اثر مسایل فرهنگی و اجتماعی رخ می دهد، می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تخریب پوشش محافظتی یا دیواره آبراهه در بالادست یا پایین دست آبیگر
- برداشت مصالح به کار رفته در پوشش های حفاظتی اطراف تاسیسات آبیگری
- سرقت لوازم و تجهیزات مکانیکی و هیدرومکانیکی و یا ایجاد خسارت به آنها
- عدم مشارکت در عملیات بهره برداری و نگهداری

بدیهی است که راه حل مشکلات فوق ریشه در سطح آگاهی ساکنین اطراف تاسیسات آبیگری و توریست های محلی می باشد که مستلزم یک برنامه آموزشی و ترویجی دقیق و دراز مدت می باشد که در کنار سایر فعالیت های مرتبط با بهره برداری و نگهداری باید مورد توجه مسوولین قرار گیرد.

## ۶-۹- ملاحظات قانونی

در اجرای مفاد قانون توزیع عادلانه آب و به منظور در نظر گرفتن نیاز آبی امروز جامعه و نسل های آینده کشور، همراه با حفظ حقوق ذینفعان بالادست و حقایق های مصرف کنندگان پایین دست، با رعایت ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی و جلوگیری از اثرات منفی کمی و کیفی برداشت بی رویه آب در چارچوب سیاست های مصوب وزارت نیرو، «دستورالعمل اجرایی تخصیص آب» در وزارت نیرو تصویب و به کلیه شرکت های آب منطقه ای استان ها ابلاغ شده است که شرکت های آب منطقه ای را موظف می سازد قبل از اقدام به صدور مجوز برداشت از منابع آب سطحی برای متقاضیان مصارف مختلف (کشاورزی، صنعت و شرب) به هر میزان و در هر شکل، مجوز لازم را از کمیسیون تخصیص آب ستاد امور آب وزارت نیرو اخذ نمایند.

تخصیص آب عبارت از میزان آبی است که در هر یک از محدوده های مطالعاتی و حوضه های آبریز و همچنین آب های ورودی به کشور از منابع عمومی آب با توجه به توانایی ها و امکانات منابع آب هر یک از آنها و با لحاظ حقوق مصرف کنندگان قبلی، برای مصارف مختلف به وسیله وزارت نیرو مشخص و به شرکت های آب منطقه ای ابلاغ می شود تا پروانه های بهره برداری برای متقاضیان مصارف مختلف در سقف آن صادر کند. برای کسب اطلاعات بیش تر در این زمینه به «دستورالعمل اجرایی تخصیص آب» مصوب وزارت نیرو مراجعه شود.

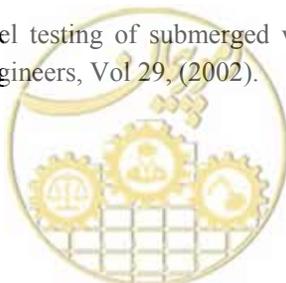


## منابع و مراجع

- ۱- ابریشمی، جلیل، "هیدرولیک کانال‌های باز"، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۲).
- ۲- اندرودی، محمدرضا، "معرفی سازه‌های کنترل رسوب"، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی عمران، (۱۳۷۵).
- ۳- بیرامی، محمدکریم، "سامانه‌های انتقال آب"، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۵).
- ۴- پیرستانی، محمدرضا، "بررسی الگوی جریان و آبستگي در دهانه ورودی آبگیر کانال‌های دارای انحنا"، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، (۱۳۸۳).
- ۵- جعفرزاده، اسماعیل، "روش‌های کنترل رسوب در شبکه‌های آبیاری"، انتشارات فرهنگ جامع، (۱۳۷۱).
- ۶- رضایی، نادر، "بندهای انحرافی و آبگیرها"، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران، (۱۳۷۵).
- ۷- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، "استاندارد کیفیت آب آشامیدنی"، نشریه شماره ۱۱۶-۳-S، (۱۳۷۱).
- ۸- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، "راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری پوشش‌ها در کارهای مهندسی رودخانه"، نشریه شماره ۳۳۲، (۱۳۸۴).
- ۹- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، "راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای"، نشریه شماره ۳۱۱-الف، (۱۳۸۶).
- ۱۰- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، "تعیین بار بستر به روش مایر - پیتر و مولر (در مطالعات رسوب)", نشریه شماره ۲۲۰-S، (۱۳۸۰).
- ۱۱- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، "تعیین بار کل رسوب رودخانه‌ها به روش انیشتین و کلی"، نشریه شماره ۲۷۳-S، (۱۳۸۳).
- ۱۲- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، "تعیین دوره بازگشت سیلاب طراحی برای کارهای مهندسی رودخانه"، نشریه شماره ۳۱۶-S، (۱۳۸۴).
- ۱۳- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، "تعیین منحنی بده - اشل رودخانه با استفاده از روش انیشتین بارباروسا"، نشریه شماره ۱۵۶-S، (۱۳۷۵).
- ۱۴- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، "ضوابط طراحی هیدرولیکی ایستگاه‌های پمپاژ شبکه‌های آبیاری و زهکشی"، نشریه شماره ۳۱۷، (۱۳۸۴).
- ۱۵- شفاعی بجزستان، محمود، "هیدرولیک رسوب"، دانشگاه شهید چمران اهواز، (۱۳۸۴).
- ۱۶- غلامی علم، ایرج، "بررسی پارامترهای موثر در طراحی مجاری رسوب‌شوی سدهای انحرافی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۷).
- ۱۷- کبیری سامانی، ع، برقی، م، "بررسی تاثیر نحوه قرارگیری صفحات ضدگرداب بر بازدهی سازه‌های آبگیری"، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، (۱۳۸۰).
- ۱۸- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، نشریه شماره ۱۰۵۳، چاپ چهارم، (۱۳۷۰).



- 19- Atkinson, E., "Vortex tube sediment extractors, I: Trapping efficiency", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 10, (1994).
- 20- Atkinson, "Vortex tube sediment extractors, II: Design", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 10, (1994).
- 21- Barkdoll, B.D., Ettema, R., and Odgaard, A.J. (1999). "Sediment control at lateral diversions: Limits and enhancements to vane use". J. Hydraulic Engineering, ASCE, Vol: 125, pp. 862-870.
- 22- Federal Highway Administration, "Highway storm water pump station design manual", HEC-24, (2000).
- 23- FHWA, "River engineering for highway encroachments", NHI 01-004, (2001).
- 24- Garde R. J. and Ranga Raju, K.J. "Design of stilling basins, Journal of Hydraulic Engineering", ASCE. Vol 28, No. 1, (1990).
- 25- Garde, R.J., Pande, P.K., "Use of sediment transport concept in design of tunnel type sediment excluders, Commission on irrig. and drain., ICID bulletin", Vol., 25, No. 2., (1976).
- 26- Helmut Lauterjung, and Gangolf Schmidt, "Planning of water and hydropower intake Structures", GTZ, (1989), 122 p.
- 27- Indian Standard, "Criteria for hydraulic design of groyne walls for sediment distribution at offtake point in canal", (1975).
- 28- Indian Standard, "Criteria for design of silt vanes for sediment control in offtaking canals", (1972).
- 29- Indian Standard, "Criteria for hydraulic design of skimming platforms for sediment", (1972).
- 30- Kothiyari, U.C., Pande, P.K., and Gahlot, A.K., "Design for tunnel type sediment excluders", "Journal of Irrigation and Drainage Engineering", ASCE. Vol. 120, No. 1, (1994).
- 31- Khushalani, "Irrigation practice and design", "diversion and distribution works", Oxford publishing, (1990).
- 32- Margaret S. Petersen, "River engineering", U.S. Army, University of Arizona, (1986).
- 33- Micro, "Hydro design manual, intermediate technology publication", (1993).
- 34- Odgaard, A.J. and Wang, Y., "Sediment management with submerged vanes I: Theory", "Journal of Hydraulic Engineering", ASCE., Vol 117, and No 3, (1991).
- 35- Paul, Sayal, Sakhuja and Dhillion, "Vortex settling basin design", "Journal of Hydraulic Engineering", ASCE, Vol. 117, No. 2, (1991).
- 36- Raudkivi, Sedimentation, "exclusion and removal of sediment from diverted water", Balkema, (1990).
- 37- Razvan, River intakes and diversion dams, Elsevier, (1989).
- 38- Tatsuaki Nakato, "A Review of international literature of design practice and experience with low-head alluvial-"channel grade-control structures", U. S. Army Engineer, Iowa Institute of hydraulic research, (1998).
- 39- Toru, K., "Design of irrigation water intake", ICID 9th congress, Moscow, Report 35, (1975).
- 40- U.S. Army Corps of Engineers, EM 1110-2-1601, (1998).
- 41- Van Rijn, Leo C., "Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas", Published in The Netherlands, (1993).
- 42- Voisin, A., Townsend R.D., "Model testing of submerged vanes in strongly curved narrow channel bends", Canadian journal of civil engineers, Vol 29, (2002).



## خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی 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 آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف 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 فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی <http://tec.mporg.ir> قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی



**Islamic Republic of Iran**  
**Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision**

# **Guideline on River Intake and Protection**

**No.509**

Office of Deputy for Strategic Supervision

Ministry of Energy

Bureau of Technical Execution System

Bureau of Engineering and Technical  
Criteria for Water and Wastewater

<http://tec.mporg.ir>

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



o moorepeyman.ir



[omoorepeyman.ir](http://omoorepeyman.ir)

## این نشریه

با عنوان « راهنمای آگیری از رودخانه و حفاظت آن » برای شناخت روش‌های مختلف آگیری از رودخانه، مبانی طراحی هیدرولیکی آنها، روش‌های کنترل رسوب ورودی به آگیرها و حفاظت آنها و نیز ملاحظات جانبی آگیری از رودخانه و رسوبگیرها، تهیه شده است که برای مهندسان مشاوره که در زمینه مهندسی رودخانه فعالیت دارند، راهنمای مناسبی می‌باشد.

