جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه - وزارت نیرو

ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

نشریه شماره ۱۹۸

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه - وزارت نیرو

ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف

نشریه شماره ۱۹۸

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۹/۰۰/٤

۱۳۷۹

فهرستبرگه

سازمان برنامه و بودجه . دفتر امور فنی و تدوین معیارها
ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحرافی/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ وزارت نیرو،[طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور].- تهران: سازمان‌برنامه و بودجه ، مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات، ۱۳۷۹.
۱۴۰ ص.: مصور.- (سازمان‌برنامه و بودجه دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ نشریه شماره۱۹۸)(انتشارات سازمان برنامه و بودجه؛۷۹/۰۰/۴)

ISBN 964-425-187-3

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۲/۸۴۰۳-۵۴/۷۱۱۰ مورخ ۱۳۷۸/۱۲/۱۸
کتابنامه: ص.۱۳۹-۱۴۰
۱.بندهای انحرافی - طرح و محاسبه - استانداردها. ۲. آب - ذخیره - استانداردها. ۳. سازه - طرح و محاسبه.الف. ایران.وزارت نیرو.طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور. ب. سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات. ج. عنوان.د. فروست.

ش.۱۹۸ ۲س/۳۶۸ TA

شابک ۳-۱۸۷-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-187-3

ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف
تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها
ناشر:سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات
چاپ اول: ۵۰۰ نسخه، ۱۳۷۹
قیمت: ۱۰۰۰۰ریال
چاپ و صحافی: موسسه زحل چاپ
همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

بسمه تعالی

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه
دفتر رئیس

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی و مشاوران	**شماره:** **۱۰۲/۸۴۰۳-۵۴/۷۱۱۰**
	تاریخ: **۱۳۷۸/۱۲/۱۸**

موضوع: ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف

به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی کشور این دستورالعمل از گروه **دوم** مذکور در ماده هفت آیین نامه در **یک** صفحه صادر می‌گردد. تاریخ مندرج در ماده ۸ آیین نامه در مورد این دستورالعمل **۱۳۷۹/۴/۱** می باشد.

به پیوست نشریه شماره ۱۹۸ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان"ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف"ابلاغ می‌گردد.

دستگاه‌های اجرایی و مهندسان مشاور می‌توانند مفاد نشریه مذکور و دستورالعمل‌های مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرح‌های عمرانی مورد استفاده قرار دهند.

محمد علی نجفی
معاون رییس جمهور و
رییس سازمان برنامه و بودجه

بسمه تعالی

پیشگفتار

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

نظام جدید فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۳/۲۳ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان برنامه و بودجه (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

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

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

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

دفتر امور فنی و تدوین معیارها

زمستان ۱۳۷۸

ترکیب اعضای کمیته

اعضای کمیته فنی شماره ۱۶ طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب‌کشور که بر تهیه استاندارد حاضر نظارت داشته‌اند به ترتیب حروف الفباء به شرح زیر هستند :

آقای مهندس محمود آدرنگی	مهندسین مشاور یکم	فوق‌لیسانس راه و ساختمان
خانم مهندس نوشین رواندوست	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب‌کشور	لیسانس سازه
آقای مهندس محمد زاهدی	مهندسین مشاور سانو	لیسانس مکانیک ساختمان
آقای دکتر ابوالقاسم صانعی‌نژاد	مهندسین مشاور پارس اسلوب	دکترای سازه
آقای دکتر محمدرضا عسکری	مهندسین مشاور بندآب	دکترای سازه
خانم مهندس نیکو ملک‌احمدی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب‌کشور	لیسانس عمران - آب
آقای دکتر حسن نصری قجری	مهندسین مشاور سان‌فایر	دکترای سازه
آقای مهندس رحیم واعظی	مهندسین مشاور سانو	فوق‌لیسانس سازه

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل یکم - کلیات	۱
۱-۱ کلیات	۱
۱-۲ معرفی اجزاء اصلی سیستم انحراف	۳
۱-۲-۱ سازه آبگیر	۳
۱-۲-۲ بند انحراف	۳
۱-۲-۳ مجرای تخلیه رسوب	۳
۱-۲-۴ دیوارها و کف‌بندهای آب‌بند	۴
۱-۲-۵ عملیات ساماندهی	۴
۱-۲-۶ تأسیسات حذف رسوب	۴
۱-۳ ملاحظات کلی در طراحی پروژه‌های انحراف	۴
۱-۳-۱ تغییر در ریخت‌شناسی رودخانه در اثر ساخت بند انحراف	۶
۱-۳-۲ عوامل زیست محیطی	۸
۱-۴ ملاحظات کلی برای تعیین محل ساخت تأسیسات انحراف (جانمائی)	۸
۱-۴-۱ شرایط کلی	۹
۱-۴-۲ شرایط هیدرولیکی	۱۰
۱-۴-۳ شرایط توپوگرافی	۱۰
۱-۴-۴ شرایط ژئوتکنیکی	۱۱
۱-۴-۵ سایر شرایط	۱۱
۱-۵ اطلاعات پایه موردنیاز	۱۱
۱-۵-۱ داده‌های هیدرولوژی و هیدرولیکی	۱۱
۱-۵-۲ اطلاعات ریخت شناسی	۱۱
۱-۵-۳ اطلاعات توپوگرافی	۱۲
۱-۵-۴ داده‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی	۱۲
۱-۵-۵ اطلاعات کلی آبرسانی	۱۲
۱-۵-۶ اطلاعات زیست محیطی	۱۲

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل دوم – طرح مقدماتی اجزای انحراف آب	۱۳
۲-۱ کلیات	۱۳
۲-۲ عوامل مهم طراحی	۱۳
۲-۲-۱ سیل طراحی	۱۳
۲-۲-۲ سرعتهای مجاز و ارتفاعهای حداقل برای کنترل رسوب	۱۴
۲-۲-۳ آبگیری از دو طرف بند	۱۴
۲-۲-۴ طراحی دریچه‌ها	۱۵
۲-۲-۵ حداقل ارتفاع سازه‌های بند	۱۵
۲-۳ تقسیم‌بندی سیستم انحراف از دیدگاه بزرگی	۱۵
۲-۳-۱ پروژه‌های انحراف کوچک	۱۶
۲-۳-۲ پروژه‌های انحراف بزرگ	۲۰
فصل سوم – نشت، فشار برکنش و پدیده رگاب	۲۴
۳-۱ کلیات	۲۴
۳-۲ نشت	۲۴
۳-۲-۱ رابطه پیوستگی	۲۴
۳-۲-۲ شبکه جریان	۲۵
۳-۲-۳ تخمین بده نشت از زیر یک سازه هیدرولیکی به کمک شبکه جریان	۲۸
۳-۳ نیروی برکنش زیر بند انحراف آب	۲۹
۳-۴ نیروی نشت بر واحد حجم توده خاک	۳۰
۳-۵ پدیده رگاب و ایمنی سازه‌های هیدرولیکی در مقابل آن	۳۲
۳-۶ روشهای خزشی برای تعیین فشار بر کنش و ضریب اطمینان در مقابل رگاب	۳۳
۳-۶-۱ روش خزشی ساده (روش بلای)	۳۴
۳-۶-۲ روش خزشی وزنی (روش لین)	۳۶
۳-۶-۳ روش خوسلاو	۳۸

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل چهارم - بارهای طراحی	۳۹
۴-۱ کلیات	۳۹
۴-۱-۱ بارهای مقاوم	۳۹
۴-۱-۲ بارهای محرک	۳۹
۴-۲ طبقه‌بندی بارها	۴۰
۴-۳ ترکیب‌های بار	۴۱
۴-۴ تشریح بارهای وارد بر بند	۴۱
۴-۴-۱ بار مرده	۴۱
۴-۴-۲ وزن آب روی وجوه بالادست و پائین‌دست	۴۱
۴-۴-۳ فشار جانبی آب	۴۱
۴-۴-۴ فشار آب هنگام سرریز	۴۲
۴-۴-۵ فشار آب پایاب	۴۳
۴-۴-۶ فشار رسوب	۴۳
۴-۴-۷ فشار بر کنش	۴۴
۴-۴-۸ نیروهای زلزله	۴۵
۴-۴-۹ فشار موج	۴۸
۴-۴-۱۰ فشار باد	۴۹
۴-۴-۱۱ فشار یخ	۴۹
فصل پنجم - تحلیل و طراحی	۵۰
۵-۱ کلیات	۵۰
۵-۲ محاسبه تنش در محل تماس با پی و در هر مقطع افقی دلخواه	۵۰
۵-۲-۱ روشهای دستی	۵۰
۵-۲-۲ روش‌های کامپیوتری	۵۵
۵-۳ ایمنی در مقابل واژگونی	۵۵

فهرست مطالب

عنوان		صفحه
۵-۴	ایمنی در مقابل لغزش	۵۵
۵-۵	تنشهای مجاز	۵۹
۵-۶	هندسه اولیه مقطع بند انحراف آب	۶۱
۵-۷	تعیین حداقل عرض پایه برای شرایط طراحی مختلف	۶۲
۵-۸	طراحی سازه‌ای سایراجزای بند	۶۵
	فصل ششم - روشهای اجرایی	۶۶
۶-۱	عملیات انحراف موقت آب رودخانه	۶۶
۶-۱-۱	کلیات	۶۶
۶-۱-۲	عملیات انحراف در دره‌های عمیق و کم عرض (دره‌ای)	۶۶
۶-۱-۳	عملیات انحراف آب در بسترهای عریض	۶۶
۶-۲	عملیات زهکشی	۶۸
۶-۳	عملیات بتن‌ریزی	۷۰
۶-۴	عملیات بتن‌ریزی و قالب‌بندی	۷۱
۶-۵	میلگردهای حداقل و حرارتی	۷۱
۶-۶	درزبندی	۷۲
۶-۶-۱	درز اجرایی	۷۲
۶-۶-۲	درز انقباض	۷۳
۶-۶-۳	درز انبساط	۷۳
	فصل هفتم - مشخصات فنی بتنهای حجیم	۷۶
۷-۱	کلیات	۷۶
۷-۲	مصالح مصرفی	۷۷
۷-۲-۱	سیمان	۷۷
۷-۲-۲	آب	۷۹

فهرست مطالب

عنوان		صفحه
۷-۲-۳	سنگدانه‌ها	۷۹
۷-۲-۴	مواد مضاف	۸۴
۷-۳	مشخصات مکانیکی بتن‌های حجیم	۸۴
۷-۳-۱	مقاومت فشاری	۸۵
۷-۳-۲	مدول ارتجاعی	۸۶
۷-۳-۳	نسبت پواسون	۸۶
۷-۳-۴	جمع شدگی	۸۶
۷-۳-۵	تغییرات حجم	۸۷
۷-۳-۶	ضریب انبساط حرارتی	۸۷
۷-۳-۷	پایایی	۸۷
۷-۳-۸	مقاومت در مقابل سایش	۸۹
۷-۳-۹	تراوایی	۸۹
۷-۳-۱۰	وزن مخصوص	۹۰
۷-۳-۱۱	کارایی	۹۰
۷-۴	آزمایشهای کنترل کیفیت	۹۱
۷-۵	کنترل درجه حرارت	۹۱
۷-۶	لایه‌های بتن‌ریزی	۹۲
	پیوست شماره ۱- طراحی سازه‌های هیدرولیکی بندهای انحراف آب	۹۴
	پیوست شماره ۲- مثالهایی جهت تعیین نشت، زیر فشار و پدیده رگاب	۱۱۱
۸-	منابع و مآخذ	۱۳۹

مقدمـه

استاندارد حاضر "ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف بتنی" می‌باشد که بـا نـظارت کـمیته سـازه طـرح تـهیه استانداردهای مهندسی آب کشور تهیه گردیده است.

همانطور که عنوان این استاندارد نشان می‌دهد، هدف آن نوشتن یک مرجع در مورد هیدرولیک بندهای انحراف نبوده، بلکه ضوابط طراحی سازه‌ای مدنظر بوده است.

در دو فصل اول فقط ارائه کلیاتی در زمینه مسائل هیدرولیک بندهای انحراف مطرح شـده است. در ایـن فـصل‌ها مطالب مختلفی از معرفی اجزا بند، تأثیر بند بر روی رودخانه، لزوم درنظر گرفتن مسائل زیست محیطی، جانمایی بند، اطلاعات موردنیاز تا انواع سرریزها (آزاد، پهن، گابیونی و شیب‌دار) بصورت خلاصه آمده است و بـه‌ویژه در مورد دریچه‌دار بودن و یا نبودن سرریزها بحث شده و منابع معرفی گردیده است.

در مورد انواع آبگیر فرض بر آبگیر با ایجاد بند انحراف بوده است. مسلماً پرداختن به جزئیات این مباحث، خود موضوع استانداردهای جداگانه و مفصلی خواهد بود که تدوین آن از اهداف این مجموعه نبوده است.

در فصول ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ تمام معیارهای سازه‌ای مربوط به طراحی بندهای انحراف بطور مبسوط ارائه شده‌اند. سازه‌هایی مانند دیوارهای حائل، حوضچه‌ها، پل‌های دسترسی و سازه‌های حفاظت رودخانه، نیز موضوع مبحث جداگانه می‌باشند که هریک طبق ضوابط خاصی باید طراحی گردند. هر چند، برای طراحی سازه‌ای این اجزا نـیز راهنمایی‌هایی در این استاندارد ارائه شده است.

استاندارد حاضر به‌وسیله تیم طراحی مهندسین مشاور بندآب، به سرپرستی آقای دکتر محمدرضا عسکری و آقای مهندس محمدرضا اخوان لیل‌آبادی و با مساعدت ویژه آقایان مهندس شاپور طاحونی برای بخش سازه‌ای استاندارد و مهندس وحید فریدنی برای بخش هیدرولیکی آن و با نظارت کمیته ۱۶ تهیه گردیده است که بدینوسیله از زحمات کلیه دست‌اندرکاران و همچنین کسانی که در مورد پیش‌نویس ارسالی اظهارنظر نموده‌اند، تشکر می‌نماید.

امید است که کارشناسان و صاحبنظرانی که فعالیت آنها با این رشته از مهندسی آب مرتبط می‌باشد، با توجهی که مبذول می فرمایند این استاندارد را مورد بررسی دقیق قرار داده و با ارائه نظرات و راهنماییهای ارزنده خود کمیته فنی شماره ۱۶ (سازه) را در تنظیم این استاندارد در چاپهای آتی یاری و راهنمایی فرمایند.

فصل یکم - کلیات

۱-۱ کلیات

رودخانه‌ها منابع قابل دسترس و معمولاً همیشگی آب هستند. آب رودخانه‌ها می‌تواند به مصارف مختلف از جمله آشامیدن، کشاورزی و صنعت برسد. مشکلاتی که در این راه وجود دارد عبارتند از:

- میزان بده[1] و تراز آب در رودخانه که برحسب زمان تغییر می‌کند.
- کیفیت آب رودخانه به دلیل وجود رسوب و آلودگیهای دیگر متغیر بوده و ممکن است مناسب نباشد.

لذا در هر پروژه تأمین آب، باید هدف برطرف نمودن این مشکلات باشد. اجرای پروژه‌های انحراف آب، باید در عین حال که انحراف مداوم جریان آب مورد نیاز با کیفیت و کمیت مطلوب را میسر می‌سازد، توجه ویژه‌ای به مسائل زیست محیطی ناشی از اجرای پروژه نیز داشته باشد.

با توجه به تغییرات میزان مصرف طی زمان در مقایسه با آورد رودخانه، یک پروژه تأمین آب می‌تواند از یکی از مجموعه تأسیسات زیر تشکیل شود:

- آبگیر
- بند انحراف آب و آبگیر
- سد مخزنی و تأسیسات آبگیر و بند انحراف

اگر مقدار آب مورد نیاز برای مصرف از آورد پایه رودخانه بیشتر باشد در فصولی از سال آب مورد نیاز را نمی‌توان تأمین کرد. در این صورت تنظیم آورد رودخانه به کمک یک مخزن ضروری خواهد بود. چنین مخزنی معمولاً وظیفه ذخیره‌سازی و تنظیم آورد رودخانه را به عهده خواهد داشت. با توجه به موقعیت محل مصرف نسبت به محل ذخیره‌سازی، آب تنظیم شده با آبگیری مستقیم از مخزن سد و تحویل به سیستم انتقال، یا با رهاسازی آب در پائین‌دست سد و سپس با احداث تأسیسات انحراف آب، به محل مصرف منتقل می‌گردد. انتخاب بین روش‌های مختلف آبگیری و انتقال باید بر پایه مقایسه فنی و اقتصادی این روشها صورت گیرد.

تصمیم‌گیری در مورد ضرورت احداث بند انحراف و آبگیر در مقایسه با ساخت فقط تأسیسات آبگیر بر پایه دو اصل زیر صورت می‌گیرد:

۱- مقدار آب لازم برای آبگیری در هر زمان از ۲۰ تا ۲۵ درصد حداقل آورد[2]، رودخانه در آن زمان کمتر باشد

1- Discharge

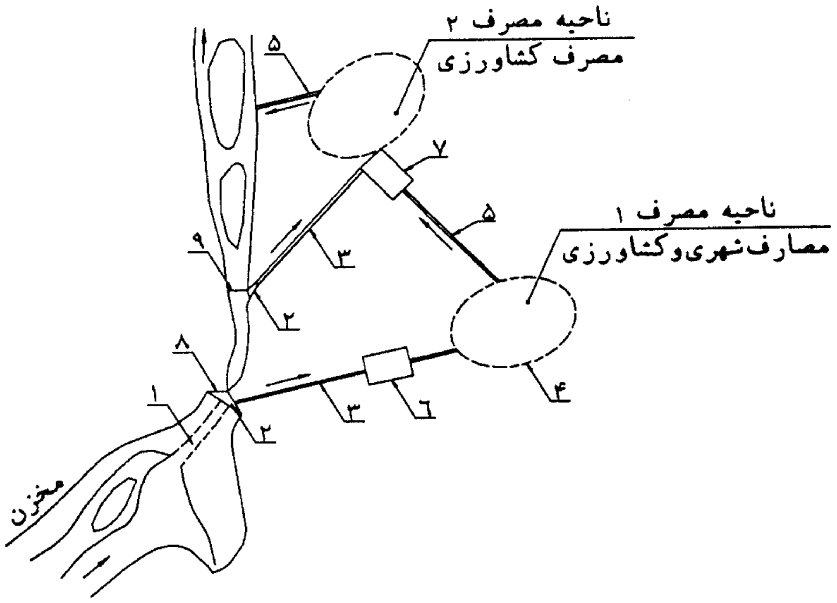
۲- حداقل بده رودخانه باتوجه به خطرپذیری مورد قبول در عدم توانائی در تأمین آب مصرفی تعریف می‌شود. مثلاً

[۱]، [۲]. برای نیازهای آبی بیش از این، ابعاد آبگیر بسیار بزرگ می‌شود، لذا در چنین شرایطی ساخت یک بند انحراف اقتصادی‌تر و عملی‌تر خواهد بود.

۲- رودخانه در حداقل بده تعریف شده دارای عمقی برابر ۱ تا ۱/۵ متر باشد. معمولاً برای جلوگیری از ورود رسوب به داخل آبگیر، کف آبگیر حداقل ۰/۵ متر بالاتر از ترازکف رودخانه ساخته می‌شود و عمقی حدود ۰/۵ تا ۱ متر نیز برای ورود مقدار آب موردنظر به آبگیر با توجه به افت‌های موضعی و سطح آب داخل آبگیر باید در نظر گرفته شود.

در صورتیکه دو شرط فوق برقرار نباشد، احداث بند انحراف لازم خواهد بود.

در شکل (۱-۱) جایگاه بند انحراف در یک سیستم تأمین، انتقال و توزیع آب نشان داده شده است.



۱- رودخانه
۲- آبگیر
۳- کانال انتقال
۴- توزیع
۵- جمع‌آوری
۶- تصفیه‌خانه آب
۷- تصفیه‌خانه فاضلاب
۸- سد مخزنی
۹- بند انحراف

شکل ۱-۱- اجزای سیستم تأمین و توزیع آب

در تأمین آب کشاورزی حداقل بده را می‌توان جریانی دانست که ۸۰ درصد مواقع بده رودخانه از آن بیشتر می‌باشد و در تأمین آب مصرفی یک شهر حداقل بده جریانی است که ۹۵ تا ۹۷ درصد مواقع آورد رودخانه از آن بیشتر باشد.

در این استاندارد ضمن ارائه شرح مختصری در مورد مبانی هیدرولیکی طراحی بندهای انحراف، ضوابط طراحی سازه‌ای این بندها ارائه می‌گردد.

۱-۲ معرفی اجزاء اصلی سیستم انحراف

در طراحی یک سیستم انحراف آب، دستیابی به اهداف زیر باید مورد توجه واقع شود.
- بالا آوردن تراز آب تا حد مطلوب برای آبگیری و کاهش نوسانات سطح آب.
- عبور سیلاب طرح بدون افزایش تراز آب از تراز تعریف شده
- کنترل رسوبات
- کنترل پایداری بازه[1] رودخانه در بالادست و پائین‌دست محل آبگیری.

بر این پایه اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده یک سیستم انحراف را می‌توان به شرح زیر تقسیم‌بندی کرد، شکل (۱-۲).

۱-۲-۱ سازه آبگیر[2]

این سازه همراه با تجهیزات هیدرومکانیک مربوط به آن برای استحصال آب از رودخانه احداث می‌شود. واضح است که آبگیر اساسی‌ترین بخش یک پروژه انحراف را تشکیل می‌دهد و هرگونه اختلال در کار آن منجر به توقف یا اختلال در کل شبکه آبرسانی پائین‌دست آن می‌شود.

۱-۲-۲ بند انحراف[3]

این سازه برای ایجاد تراز آب موردنظر در عرض مناسبی از رودخانه ساخته می‌شود. قسمتی از بدنه شامل سازه‌های عبور سیلاب (سرریز) و قسمتی از آن نیز ممکن است از یک خاکریز تشکیل شده باشد. ارتفاع یک بند انحراف به ندرت از ۱۰ متر تجاوز می‌کند. سرریز بند انحراف ممکن است دارای دریچه تنظیم و یا بدون دریچه باشد. در انتها سرریز به حوضچه آرامش ختم می‌شود. در اکثر بندها به منظور دسترسی به ساحل مقابل پلی روی بند احداث می‌گردد.

۱-۲-۳ مجرای تخلیه رسوب[4]

این بخش از سیستم انحراف در کنار آبگیر ساخته شده و وظیفه آن تخلیه رسوبات جمع شده در زیر آستانه ورودی

1- Reach
2- Intake Structure
3- Diversion Dam
4- Sluice Way

آبگیر و باز نگاهداشتن مسیر جریان به سمت آبگیر می‌باشد. این بخش، از کانالهای دسترس، دریچه و ابزار هیدرومکانیک و سازه استهلاک انرژی در پائین‌دست تشکیل شده است.

۱-۲-۴ دیوارها و کف‌بندهای آب‌بند[1]

به منظور کاهش تراوش و فشارهای برکنش، دیوارها و کف‌بندهای آب بند در قسمت بالا و پائین‌دست بند ساخته می‌شوند این سازه‌ها در جلوگیری از آب‌شستگی نیز نقش دارند.

۱-۲-۵ عملیات ساماندهی[2]

به منظور پایدار کردن رودخانه در بالادست و پائین‌دست محل انحراف باید سازه‌هائی جهت ساماندهی رودخانه احداث شوند.

دیوارهای حائل[3]،گوره‌ها[4]، آب‌شکن‌ها[5] و سنگ‌چین[6] از انواع عملیات ساماندهی می‌باشند.

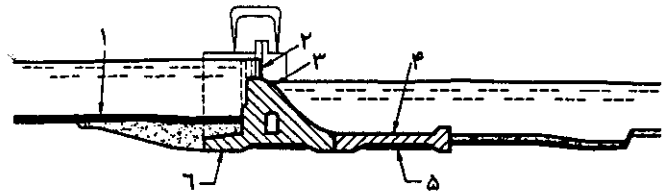
۱-۲-۶ تأسیسات حذف رسوب[7]

این تأسیسات در بالادست آبگیر برای جلوگیری از ورود رسوب به داخل آبگیر یا در پائین‌دست آبگیر برای جدا کردن رسوبات وارد شده به آن احداث می‌گردد. با احداث تأسیسات حذف رسوب از ورود رسوب به سیستم انتقال آب جلوگیری می‌شود.

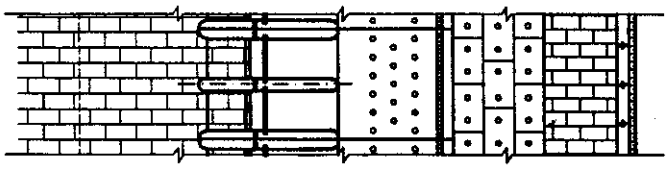
۱-۳ ملاحظات کلی در طراحی پروژه‌های انحراف

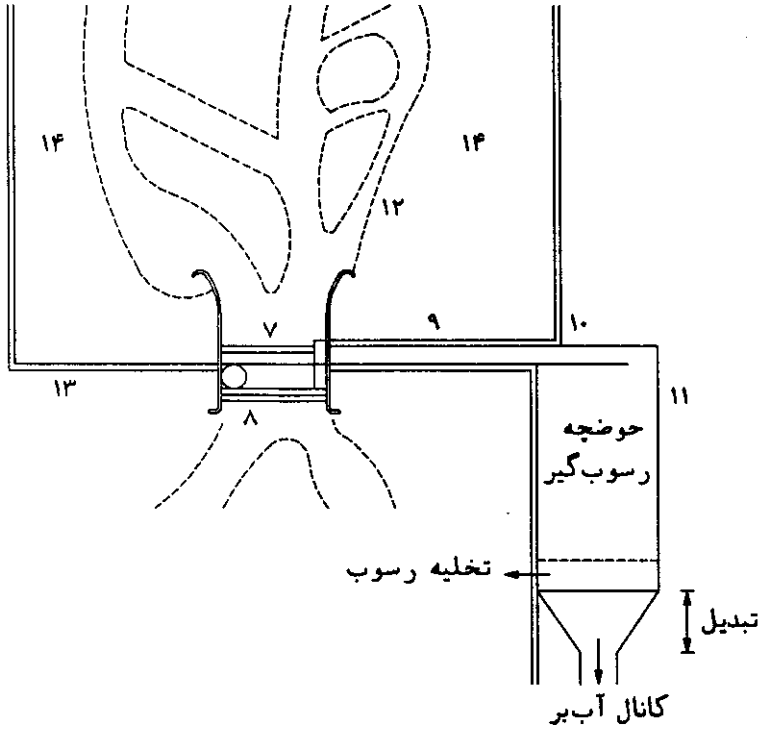
با اجرای یک طرح انحراف آب ممکن است تغییراتی در ریخت‌شناسی و همچنین شرایط زیست محیطی رودخانه بوجود آید از این‌رو این دو نکته باید در طراحی هر سیستم انحراف آب مورد توجه واقع شود.

1- Cut off Walls and Aprons
2- Training Works
3- Retaining Walls
4- Levees
5- Groynes
6- RipRap
7- Sediment Excluders



الف - مقطع





ب- پلان

۱- کف‌بند بالادست

۲- دریچه سرریز

۳- سرریز

۴- حوضچه آرامش

۵- کف‌بند پائین‌دست

۶- دیوار آب‌بند

۷- تأسیسات شستشوی رسوب

۸- سرریز

۹- آبگیر و دریچه آن

۱۰- کانال آبرسان

۱۱- تأسیسات حذف رسوب

۱۲- دیوار هدایت

۱۳- قسمت خاکی بند انحراف

۱۴- خاکریزهای حفاظت بالادست در مقابل سیل (ساماندهی)

شکل ۱-۲- قسمت‌های مختلف یک بند انحراف

۱-۳-۱ تغییر در ریخت‌شناسی[1] رودخانه در اثر ساخت بند انحراف

بند انحراف باید در مسیری از رودخانه ساخته شود که از پایداری نسبی برخوردار است، در غیر این صورت باید هزینه‌های سنگینی برای تثبیت بازه رودخانه در مسافت قابل ملاحظه‌ای در بالادست و پائین‌دست بند پرداخت گردد. پایداری نسبی رودخانه را به این صورت می‌توان تعریف کرد که هندسه بازه در اثر عبور سیلاب‌های معمول، تغییر قابل توجهی نداشته باشد.این بدان معنی است که هر چند در طول یک‌سال آبی، رسوب‌گذاری و فرسایش در مسیر رودخانه رخ می‌دهد ولی شکل کلی مقطع و شیب طولی رودخانه کم و بیش ثابت باقی می‌ماند.

به‌طورکلی آب گرفته شده از آبگیر یک سیستم انحراف باید عاری از رسوبات درشت دانه باشد. در نتیجه پس از انحراف آب رسوبات در مسیر رودخانه باقی می‌ماند. اگر رسوبات نتوانند از بالادست یک بند به طرف پائین‌دست آن انتقال یابند، تغییرات متفاوتی در بازه رودخانه در دو طرف بند به شرح زیر ایجاد می‌شود شکل (۱-۳):

- قسمت بالادست که در اثر بالا آمدن سطح آب، و در نتیجه کم شدن سرعت جریان، رسوب‌گذاری خواهد داشت.
- قسمت پائین‌دست که جریان در آن از طریق سرریزها وارد شده و عاری از رسوبات درشت می‌باشد.

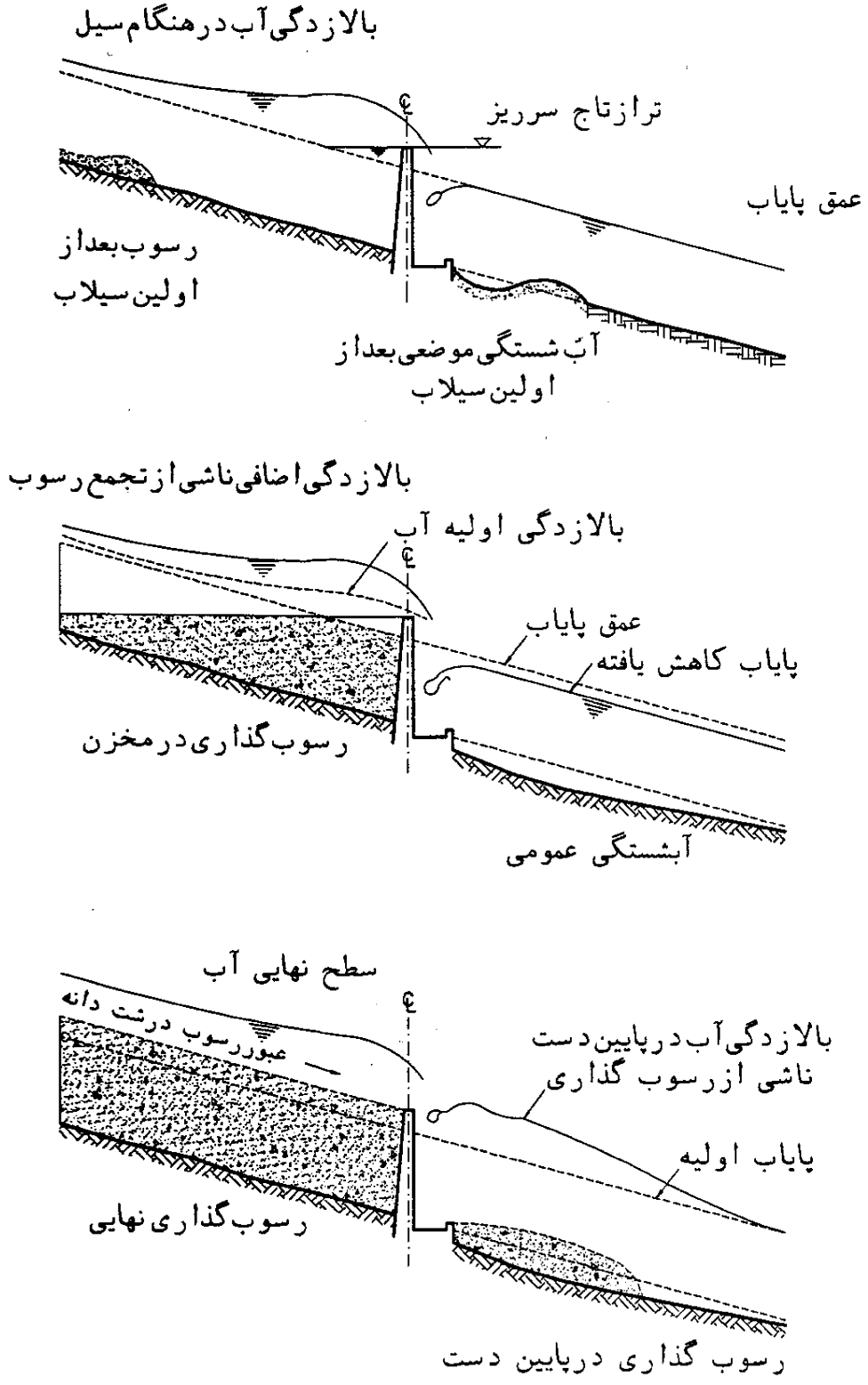
تغییرات ریخت‌شناسی همانطور که در شکل (۱-۳) به صورت شماتیک نشان داده شده، پس از ساخت بند در سه مرحله انجام می‌گیرد.

الف - در مرحله نخست رسوب‌گذاری در بالادست بند انجام می‌گیرد. میزان رسوب‌گذاری در جریان سیلابها می‌تواند بسیار زیاد باشد. همچنین کف‌کنی در پائین‌دست در اثر دو عامل اتفاق می‌افتد:
  - افزایش قدرت حمل رسوب جریان در اثر حذف رسوبات آن در بالادست
  - افزایش سرعت و آشفتگی جریان عبوری از مسیر تندآب سرریز (که عرض آن از عرض معمول رودخانه کمتر است)

ب - در مرحله دوم بالادست بند تا تراز سرریز پر از رسوب می‌شود. در اثر بالا آمدن کف، تراز آب در بازه بالادست بند نیز افزایش می‌یابد، که در نتیجه ممکن است آب به زمینهای اطراف سرازیر شود. همچنین اگر دیوارهای کناری رودخانه قابل فرسایش باشند و یا توپوگرافی اجازه دهد مسیر رودخانه ممکن است عوض شده و بند را دور بزند.کف‌کنی نیز در مسیر پائین‌دست گسترش می‌یابد که منجر به کاهش تراز پایاب و به خطر افتادن پلهای پائین‌دست می‌گردد. کاهش تراز پایاب منجر به افزایش آب‌شستگی در پائین‌دست سازه‌های استهلاک انرژی نیز می‌شود.

پ - در مرحله نهائی شیب اولیه بستر برقرار شده، کلیه رسوبات به پائین‌دست حمل می‌گردد و تراز آب در بازه بالادست به حداکثر خود می‌رسد. به دلیل انتقال کلیه رسوبات به پائین‌دست و کم‌شدن بده جریان توسط آبگیر، رسوب‌گذاری در پائین‌دست اتفاق خواهد افتاد.

1- Morphology



شکل ۱-۳- اثر ساخت بند انحراف بر آب شستگی پائین‌دست

شدت تغییرات ریخت‌شناسی به عوامل زیر بستگی دارد:

- بده انحراف
- ارتفاع بند
- آبنگاشت سیلاب [1]
- بار رسوب

برای جلوگیری از تغییرات ریخت‌شناسی ذکر شده در مسیر رودخانه، رسوب ورودی از بالادست باید تا حد امکان به پائین‌دست منتقل شود. به این منظور می‌توان با تنگ‌کردن مقطع رودخانه در محل بند شدت جریان را افزایش داد و با ساختن دریچه‌هائی که آستانه آنها در نزدیکی بستر رودخانه قرار دارند و باز کردن آنها در مواقع سیلابی، عبور رسوبات را به پائین‌دست تسهیل نمود.

۱-۳-۲ عوامل زیست محیطی

احداث بند انحراف آب نباید منجر به آسیب رساندن به محیط زیست اطراف خود شود بعنوان مثال، کم‌شدن بده جریان در پائین‌دست، باعث افت تراز آب زیرزمینی از یک سو و کم‌شدن میزان اکسیژن محلول در آب می‌شود. کم‌شدن رسوب موجود در آب نیز در پائین‌دست بند منجر به تغییر شکل مسیر رودخانه خواهد شد، که همه اینها می‌توانند تغییراتی را درزندگی گیاهان و جانوران در پائین‌دست ایجاد نمایند. در بالادست بند نیز ایجاد یک مخزن و تراز آب بالاتر، تغییرات زیست محیطی به دنبال خواهد داشت. از اینرو در طراحی هر سیستم انحراف توجه به مسائل زیست محیطی مانند مسائل یاد شده از اهمیت خاصی برخوردار است.

۱-۴ ملاحظات کلی برای تعیین محل ساخت تأسیسات انحراف (جانمائی [2])

انتخاب صحیح محل انحراف آب برای موفقیت یک پروژه امری ضروری است. انتخاب یک محل نامناسب می‌تواند موجب افزایش هزینه‌های اجرایی و حتی منجر به اختلال و یا ناممکن شدن آبگیری ناشی از ته‌نشینی رسوبات در بخشهای مختلف سیستم گردد.

باید توجه داشت که به ندرت می‌توان محلی را یافت که تمامی شرایط موردنظر را دارا باشد. ولی از میان مواردی که

1- Hydrograph

2- Lay out

باید مورد توجه قرار گیرند شرایط هیدرولیکی دارای بیشترین اهمیت می‌باشند. می‌توان با تحلیل اطلاعات و با اجرای تمهیداتی مشکلات احتمالی ناشی از، محل نامناسب را نسبت به محل مصرف رفع نمود، سیلاب را می‌توان با ساخت سیل بندها کنترل نمود و تقریباً برای هر نوع خاکی روشهائی برای اصلاح وجود دارد (البته با پرداخت هزینه‌های لازم)، اما برای یک محل انحراف که شرایط هیدرولیکی مناسبی ندارد امکان شکست کامل پروژه وجود خواهد داشت. پایداری آبراهه محل احداث بند باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. اگر آبراهه پایدار است باید پیش‌بینی‌های لازم انجام گیرد تا بعد از ساخت نیز همچنان پایدار باقی بماند و اگر پایدار نیست عملیات ساماندهی مناسب مثل خاکریزی و ساخت آب‌شکن [1] برای پایدارکردن آن طراحی شود. قرارگیری آبگیر در ساحل خارجی خود یک شرط کلی برای هر پروژه انحراف است که باید مورد توجه قرار گیرد.

به‌طورکلی عوامل اصلی که باید برای انتخاب محل مناسب اجرای یک طرح انحراف آب مورد توجه قرارداد را به صورت زیر می توان خلاصه نمود:

۱-۴-۱ شرایط کلی

اولین گام در جانمائی یک طرح انحراف آب انتخاب منطقه مناسب برای احداث آن می‌باشد که این امر با توجه به شرایط کلی طرح به شرح زیر انجام می‌گیرد. محل دقیق پروژه بعد از این مرحله با در نظرگرفتن شرایط ذکر شده در بندهای بعدی مشخص می‌گردد:

الف - نوع سیستم آبرسانی

اگر آب به صورت ثقلی در سیستم توزیع و انتقال جریان دارد، تراز عادی آب باید به نحوی انتخاب شود که بر افت‌های موجود در سیستم غلبه کند.

ب - برنامه‌ریزی و مدیریت آب در حوضه رودخانه

محل مخازن و سایر طرحهای انحراف آب موجود باید مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

ج - دوری جستن از منابع کاهش‌دهنده کیفیت آب

محل ساخت باید از منابعی نظیر خروجی فاضلاب‌ها، شاخه‌های فرعی آلوده و مناطق با فرسایش فاصله داشته باشد.

1- Epi,Groyne

۱-۴-۲ شرایط هیدرولیکی

از مهمترین عوامل در جانمائی طرح انحراف آب، تأمین شرایط هیدرولیکی طرح می‌باشد. این عوامل را به صورت زیر می‌توان تقسیم‌بندی نمود:

الف - سازه‌های انحراف باید در یک بازه پایدار رودخانه قرار گیرند. یک آبراهه تک‌شاخه مناسب‌تر از جریانی چندشاخه می‌باشد و یک پیچ [1] (چم) با خم متوسط بر یک پیچ شدیداً گسترش یافته ارجح است زیرا در جریان یک سیل ممکن است چم گسترش یافته، با یک میان‌بر، قطع شود و به این ترتیب جریان، محل انحراف آب را دور بزند.

ب - موقعیت آبگیر باید طوری باشد که حداقل رسوب وارد آن شود. به صورت یک معیار کلی می‌توان گفت در صورت امکان، آبگیر باید در دیواره بیرونی یک خم و مقداری پائین‌دست‌تر از مقطع حداکثر خمیدگی باشد. در صورت نبود چنین امکانی، باید با ساخت تأسیساتی از عدم ورود رسوب به سیستم آبگیر اطمینان حاصل نمود. جریان سطحی در طول یک خم به طرف دیواره خارجی رفته و جریان عمقی که قسمت اعظم رسوب در آن بخش حرکت می‌کند به طرف دیواره داخلی خم حرکت می‌کند و به این ترتیب آبگیر که در دیواره بیرونی خم قرار دارد آب صاف را گرفته و رسوب از آن دور می شود. البته باید توجه داشت که معیار ذکر شده برای خم‌های شدید (شعاع خم کوچکتر از سه تا چهار برابر عرض رودخانه) صحیح نمی‌باشد. همچنین اگر بده آبگیری زیاد باشد (بزرگتر از ۳۰ تا ۴۰ درصد بده رودخانه) الگوی جریان در خم با الگوی ذکر شده متفاوت خواهد بود. برای هدایت آب صاف و دورشدن رسوب از محل آبگیر می‌توان از دیوارهای هدایت نیز استفاده کرد و از ورود اجسام شناور با نصب آشغالگیر جلوگیری نمود. البته باید روی بند، محلی برای عبور اجسام شناور بزرگ، مثل تنه درخت، پیش‌بینی شود.

ج - موقعیت انحراف به نحوی باشد که افت‌های انرژی به حداقل برسد. این موضوع مخصوصاً در پروژه‌های تولید برق اهمیت زیادی دارد.

۱-۴-۳ شرایط توپوگرافی

الف - نواحی زیر آب رفته در بالادست یک بند انحراف آب در اثر بالاآمدن آب در مواقع سیلابی باید به حداقل برسد. اموال و تأسیساتی نظیر ساختمانها، بزرگراهها، خطوط راه‌آهن، پلها و خطوط فشار قوی در این نواحی باید با محدود کردن حداکثر تراز آب یا ساخت سیل بندها در امتداد نواحی مورد تهدید، محافظت شوند.

ب - موقعیت انحراف باید به نحوی باشد که طول کانالهای انتقال به حداقل ممکن برسد. در صورتی که تلمبه‌زنی نیز در نظر گرفته شده باشد باید در کمینه کردن کل هزینه سالانه، هزینه انرژی نیز در نظر گرفته شود.

ج - آبگیر باید در سمتی از رودخانه قرار گیرد که عمده مصرف‌کنندگان در آن سمت می‌باشند.

1- Meander

۱-۴-۴ شرایط ژئوتکنیکی

الف - کف آبراهه و دیواره‌ها در محل انحراف آب باید از خاک مقاوم و پایدار بوده دارای تراوایی کم و مقاومت برشی کافی باشد. معمولاً سنگ بستر عمیق‌تر از آنست که بتوان از آن به عنوان پی بند انحراف استفاده نمود.
ب - تراوش از اطراف دیوارهای حائل و از داخل و زیر خاکریزها باید کمینه باشد.

۱-۴-۵ سایر شرایط

الف - محل انحراف آب به جاده‌های موجود، دسترسی داشته باشد.
ب - محل انحراف آب به منابع قرضه محلی، نزدیک باشد تا هزینه ساخت آن کاهش یابد.
ج - اگر رودخانه محل اجرای پروژه انحراف آب، زیستگاه ماهیان زیادی باشد باید از ورود ماهیان به داخل سیستم انحراف جلوگیری شود و امکان مهاجرت طبیعی ماهیان در مسیر رودخانه وجود داشته باشد.

۱-۵ اطلاعات پایه موردنیاز

برای طراحی و ساخت هر پروژه انحراف آب، اطلاعاتی موردنیاز است که همیشه در دسترس نمی‌باشد. از آنجا که مطالعات و طراحی یک بند انحراف آب با در نظر گرفتن زمان لازم برای جمع‌آوری اطلاعات معمولاً دو تا سه سال طول می‌کشد، بهتر است بلافاصله پس از مشخص شدن محل احداث بند، ایستگاههای اندازه‌گیری در آنجا برپا شود تا اطلاعات بیشتری در هنگام طراحی در اختیار طراحان قرار گیرد. اطلاعات اصلی موردنیاز در هر پروژه به شرح زیر است:

۱-۵-۱ داده‌های هیدرولوژی و هیدرولیکی

این داده‌ها شامل آبنگاشت جریان رودخانه در زمانهای عادی،کم‌آبی و سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف (مانند ۵۰ ساله، ۱۰۰ ساله و ۱۰۰۰ ساله) و رابطه بین بده و تراز آب در بعضی از مقاطع می‌باشد. پیش‌بینی پائین افتادن تراز پایاب در اثر فرسایش آبراهه پائین‌دست برای طراحی مستهلک‌کننده‌های انرژی لازم می‌باشد. همچنین اطلاعاتی در مورد میزان انتقال رسوب، دانه‌بندی مصالح بستر و رابطه بین بده جریان و مقدار رسوب از دیگر داده‌های لازم برای طراحی‌ها می‌باشد.

۱-۵-۲ اطلاعات ریخت شناسی

این اطلاعات شامل مسیر رودخانه و تغییرات آن در گذشته می‌باشد. در این راستا وجود عکسهای هوائی که در گذشته و در زمانهای مختلف تهیه شده‌اند می‌تواند کمک مؤثری بنماید.

۱-۵-۳ اطلاعات توپوگرافی

محل انحراف باید نقشه‌برداری شده و مناطق مربوط به تأسیسات آبگیر، ساختمانهای جنبی و جاده‌های دسترسی روی نقشه مشخص شوند. اگر ساخت مدل هیدرولیکی مدنظر باشد، نقشه‌برداری باید با جزئیات کافی انجام گیرد تا امکان ساخت آبراهه را در مدل بدهد (مثلاً نیمرخهای عرضی در فواصل حداکثر ۱۰۰ متر برداشت شود). برای محاسبه منحنی‌های فرا آب[1] نقشه‌برداری باید در تمام محدوده بالاآمدگی آب در پشت بند انجام گیرد. در این حال فاصله نیمرخهای عرضی می‌تواند به ۵۰۰ متر و حتی بیشتر (۱۰ برابر عرض آبراهه) افزایش یابد. آبراهه پائین‌دست نیز باید تا فاصله‌ای حدود ۱۰ برابر عرض جریان برداشت شود.

نقشه‌برداری از نیمرخهای عرضی باید شامل مقطع سیلابی آبراهه تا تراز حداکثر آب باشد. برای محاسبات هیدرولیکی، مقیاس نقشه‌برداری $\frac{1}{1000}$ تا $\frac{1}{2000}$ و برای طراحی سازه‌ای مقیاس $\frac{1}{100}$ تا $\frac{1}{200}$ لازم می‌باشد.

۱-۵-۴ داده‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی

اطلاعات ژئوتکنیکی مربوط به لایه‌بندی زمین در محل تأسیسات انحراف، نظیر سرریزها، آبگیر، حوضچه ته‌نشین، تجهیزات تلمبه‌زنی، خاکریزها، جاده‌ها و غیره موردنیاز می‌باشد. بررسی‌ها باید برای عمقی تا حداقل ۲ برابر ارتفاع آب پشت سازه‌ها در بستر و مناطق ساحلی اطراف بند انجام شود.

۱-۵-۵ اطلاعات کلی آبرسانی

میزان تقاضای آب، موقعیت مصرف‌کننده‌ها، کیفیت آب موردنیاز، تراز آب موردنیاز در ورودی آبگیر از دیگر اطلاعات موردنیاز برای جانمائی سیستم انحراف می‌باشد.

۱-۵-۶ اطلاعات زیست محیطی

اطلاعات مربوط به شرایط زیست محیطی مانند کیفیت آب در بده‌های مختلف، نوع آبزیان موجود، شرایط زیستی آنها و گیاهان خاص منطقه باید در مرحله طراحی در اختیار باشد.

1- Back Water

فصل دوم - طرح مقدماتی اجزای انحراف آب

۲-۱ کلیات

طراحی اجزای مختلف یک پروژه انحراف آب کاملاً به شرایط محلی و اهداف خواسته شده از هر پروژه بستگی دارد. آبگیرها و بندهای مشابهی ممکن است دیده شوند ولی به سختی بتوان دو طرح را کاملاً یکسان یافت. معهذا در طی سالها، تجربه مهندسین در زمینه طراحی پروژه‌های انحراف آب افزایش یافته، که از این تجربیات و نکات ضعف و قوت آنها، می‌توان به نتایج و ضوابطی دست یافت که در طرحهای جدید مورد استفاده قرار گیرد.

نظر به اینکه طرح هریک از اجزای یک سیستم انحراف آب در طرح سایر اجزای آن اثر می‌گذارد، طراحی هندسه اجزای مختلف بند انحراف از قبیل تراز آستانه سرریز، ارتفاع و طول بند و ابعاد آبگیر، روندی همراه با آزمون و خطا دارد و مانند هر پروژه مهندسی دیگر، طرح بهینه با لحاظ نمودن هزینه‌های ساخت، نگهداری، و بهره‌برداری مشخص می‌شود.

به عنوان مثال ابعاد آبگیر روی تراز عادی آب[1] اثر می‌گذارد و حداکثر تراز آب[2] علاوه بر تراز عادی آب به طول سرریز بند نیز بستگی دارد. هرچه طول سرریز بیشتر باشد تراز حداکثر آب کمتر خواهد شد و در نتیجه به محافظت کمتری برای زمینهای اطراف در بالادست بند احتیاج خواهد بود. از طرفی سرریز با طول زیادتر می‌تواند سبب افزایش هزینه‌های ساخت بند شود. در بندهای بزرگتر، برای کاهش تراز حداکثر آب در سیلابهای با دوره بازگشت طولانی، ممکن است لازم شود که از سرریزهای دریچه‌دار استفاده شود که موجب افزایش هزینه ساخت و بهره‌برداری خواهدشد.

۲-۲ عوامل مهم طراحی

در اینجا به عواملی که در طراحی نقش مهم‌تری دارند پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱ سیل طراحی

انتخاب سیل طراحی بر مبنای ملاحظات اقتصادی می‌باشد. در پروژه‌های انحراف، در مقایسه با سدها، خسارات وارده بر تأسیسات انحراف و زمینهای اطراف در اثر عبور سیلابی بزرگتر از سیل طراحی کمتر است، از این‌رو معمولاً در پروژه‌های انحراف سیل طراحی با دوره بازگشت بین ۵۰ تا ۵۰۰ ساله انتخاب می‌گردد. [۳]، [۴] و [۵]

1- Normal Water Level (N.W.L)

2- Maximum Water Level (M.W.L)

۲-۲-۲ سرعتهای مجاز و ارتفاعهای حداقل برای کنترل رسوب

سرعت جریان ورودی به آبگیر به نحوی کنترل می‌گردد که غلظت رسوبات جریان یافته به سوی آبگیر زیاد نشود. سرعت بیش از یک متر بر ثانیه در طرح آبگیر توصیه نمی‌شود. این سرعت در طرح‌های کوچکتر به ۰/۵ متر بر ثانیه محدود می‌شود زیرا سرعت زیاد تمیز کردن آشغالگیر را مشکل و افت ورودی را افزایش می‌دهد.

معمولاً برای جلوگیری از ورود رسوبات، آبگیر در قسمت خارجی یک خم پس از نقطه حداکثر انحناء قرار داده می‌شود و کف آن ۰/۵ تا ۰/۸ متر بالاتر از کف رودخانه ساخته می‌شود. در مواقعی که رسوبات زیادی توسط جریان حمل می‌شود، ممکن است تراز آستانه ورودی آبگیر کافی نباشد و این رسوبات کار آن را مختل کند. در این صورت می‌توان از چند آبگیر در ترازهای مختلف استفاده کرد و یا با قراردادن تیرکهایی[1] در محل پیش‌بینی شده در مقطع ورودی آبگیر، تراز آستانه ورودی آن را در هنگام سیل به میزان دلخواه بالا آورد به ترتیبی که از ورود رسوبات به داخل آن جلوگیری شود.

۲-۲-۳ آبگیری از دو طرف بند

همانگونه که در بخش ۲-۲-۲ تشریح شد برای دور کردن رسوب از بلوک آبگیر، باید آبگیر را در قسمت خارج خم رودخانه قرار داد. اگر لازم باشد برای رساندن آب به هر دو طرف بند، دو آبگیر در دو طرف احداث شود مسلماً دیگر نمی‌توان هر دو آبگیر را در موقعیت‌های مناسب قرار داد به نحوی که رسوبات از آنها دور شوند. در چنین مواردی یکی از روشهای زیر اتخاذ می‌گردد:

- انتخاب یک مسیر مستقیم برای احداث بند و قرار دادن دو آبگیر در دو طرف آن. در چنین حالتی انتظار می‌رود که رسوبات در جلو هر دو آبگیر ته‌نشین شوند و لازم است سیستم رسوب‌شویی بتواند مسیر آبگیرها را باز نگهدارد.
- احداث یک آبگیر در قسمت بیرون خم و انتقال آب به طرف دیگر. این روش مخصوصاً اگر بده موردنظر در طرف مقابل رودخانه بسیار کمتر از طرفی باشد که آبگیر در آن احداث می‌شود توصیه می‌گردد.
- احداث دو آبگیر در دو پیچ متوالی. در این صورت عملیات ساماندهی طولانی‌تر شده و هزینه طرح افزایش می‌یابد.

1- Stop Log

۲-۲-۴ طراحی دریچه‌ها

وظیفه اصلی دریچه‌های بند حفظ تراز عادی در پشت بند و عبور سیلاب به نحوی است که تراز آب در پشت بند از حد مشخصی بیشتر نشود. در مواقع کم‌آبی معمولاً دریچه‌ها بسته هستند و اگر هم عمق آب در بالادست افزایش یابد مجاری تخلیه رسوب باز می‌شوند تا ضمن عبور بده اضافی، رسوب جلوی آبگیرها را نیز تخلیه کنند.

در مواقع سیلابی فرض بر عدم افزایش تراز آب از تراز عادی است. میزان بازشدن دریچه بستگی به عمق آب در پشت بند و سطح پایاب در پائین دست دریچه‌ها دارد.

منحنی بده – اشل [1] سرریزها در بازشدگی‌های مختلف دریچه‌ها در مرحله طراحی تهیه می‌گردد (از طریق مطالعات نیمه‌تجربی و یا مدل فیزیکی). ضمناً دریچه‌ها را می‌توان به صورت یکسان باز نکرد، از این روش می‌توان در تخلیه بهتر رسوبات در پشت بند و انحراف رسوبات از جلو آبگیر استفاده کرد. در عوض عملکرد نامتقارن دریچه‌ها منجر به افزایش هزینه سازه‌های استهلاک انرژی و کنترل فرسایش در آبراهه پائین‌دست می‌گردد.

دریچه‌های آبگیر وظیفه کنترل بده ورودی به آبگیر را عهده‌دار هستند. بده عبوری از دریچه‌ها علاوه بر شکل آبگیر و میزان بازشدگی دریچه‌ها به سطح آب در بالادست و پائین‌دست آبگیر نیز بستگی دارد. اگر بده موردنیاز در پائین‌دست کم شود و یا تراز آب در پشت آبگیر از تراز عادی بیشتر شود لازم است دریچه‌ها تا حد لازم برای کنترل بده موردنیاز پائین‌آورده شوند. میزان آبگذری آبگیر با توجه به شرایط هیدرولیکی از مطالعات نیمه تجربی در مرحله طراحی بدست می‌آید. برای دقت بیشتر می‌توان اقدام به ساخت مدل فیزیکی نمود.

۲-۲-۵ حداقل ارتفاع سازه‌های بند

حداقل ارتفاع سازه‌های بند انحراف پس از بدست آوردن حداکثر تراز آب (با توجه به سازه‌های تخلیه سیل و بده طراحی و تراز پایاب) و اضافه کردن عمق آزاد مناسب بدست می‌آید. همچنین نباید تراز بالای سازه‌ها از تراز آب در مخزن در هنگام وقوع سیلاب طراحی، هنگامیکه یکی از دریچه‌ها باز نشود، پائین‌تر باشد.

۲-۳ تقسیم‌بندی سیستم انحراف از دیدگاه بزرگی

همانگونه که گفته شد احداث یک بند انحراف آب منجر به ایجاد تغییرات شکلی در مسیر رودخانه می‌گردد. برای کاهش هرچه بیشتر این تغییرات باید رسوبات بتوانند از بالادست بند به طرف پائین‌دست آن انتقال یابند. میزان

1- Rating Curve

حمل رسوبات معمولاً بر حسب بزرگی سیل، افزایش می‌یابد و از این‌رو طرح بند باید به صورتی باشد که تا آنجا که امکان دارد در سیلاب‌های بزرگتر در محل بند، منحنی بده - اشل، رودخانه تغییرات شدید نداشته باشد و یا به عبارتی عمق آب در بالادست بند افزایش چشمگیر نسبت به قبل از ساخته شدن بند پیدا نکند. بعلاوه افزایش عمق آب در پشت بند باعث به زیر آب‌رفتن زمینهای بیشتری در اطراف محل بند نیز می‌شود. بدین ترتیب با افزایش عمق آب در پشت بند ممکن است لازم شود هزینه‌های سنگینی بابت تثبیت رودخانه در بالادست بند و همچنین ایجاد خاکریز برای جلوگیری از سرریز جریان به طرف دشت‌های اطراف پرداخت گردد. هرچه پروژه انحراف بزرگتر و ارتفاع بند بیشتر باشد مسائل ذکر شده در بالا اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. با توجه به موارد بالا پروژه‌های انحراف به دو دسته پروژه‌های انحراف کوچک و پروژه‌های انحراف بزرگ تقسیم‌بندی شده‌اند [۲]. البته باید توجه داشت که نمی‌توان مرز مشخصی را بین این دو دسته تعیین کرد و این مرز خود به وضعیت رودخانه (دیواره‌ها از لحاظ فرسایش‌پذیری و شکل مقطع) و منطقه بستگی پیدا می‌کند. از این رو تقسیم‌بندی انجام شده حالت کلی دارد و شرایط محلی را باید در کنار آن در نظر داشت.

۲-۳-۱ پروژه‌های انحراف کوچک

در این پروژه‌ها بده انحراف از چند صد لیتر بر ثانیه تجاوز ننموده و حداکثر ارتفاع بند ۲ تا ۳ متر می‌باشد. سرمایه‌گذاری برای این پروژه‌ها کم بوده و بنابراین با حداقل اطلاعات و ساده‌ترین طرح به انجام می‌رسد. در اینگونه طرح‌ها بدنه معمولاً از یک سرریز اوجی بتنی وزنی تشکیل شده است. طول سرریز با توجه به بده سیل طراحی تعیین می‌گردد، ولی سرریز معمولاً در سراسر عرض آبراهه اصلی رودخانه امتداد می‌یابد و تاج آن در تراز عادی آب و بدون کنترل می‌باشد. تراز عادی آب به نوبه خود از تحلیل جریان ورودی به آبگیر با مشخص بودن بده انحراف و ابعاد آبگیر و با در نظر داشتن تراز محل مصرف بدست می‌آید. حداکثر تراز آب با مشخص بودن شکل سرریز و طول آن و بده سیلاب محاسبه می‌شود. با اینکه در بالادست بند در مواقع کم آبی رسوب‌گذاری وجود دارد ولی بدلیل کوتاه بودن ارتفاع بند، تغییرات شکلی در مسیر رودخانه زیاد نخواهد بود، ضمن آنکه در مواقع پرآبی مقداری از رسوبات از روی سرریز تخلیه خواهند شد.

برای جلوگیری از عبور سیلابهای بزرگتر از دو طرف بند، می‌توان دشت سیلابی [1] را با خاکریز مسدود کرده و یا با ساخت خاکریز در امتداد سواحل رودخانه تا فاصله لازم در بالادست، زمینهای اطراف را حفاظت نمود.

۲-۳-۱-۱ طراحی آبگیر

در طراحی آبگیر، با داشتن بده انحراف و حداقل سطح آب موردنیاز در ابتدای سیستم انتقال برای انحراف بده

1- Flood Plain

موردنظر، تراز آستانه و عرض آبگیر محاسبه می‌شود. ورودی آبگیر مجهز به آشغالگیر[1] و احیاناً تجهیزاتی برای جلوگیری از ورود اجسام شناور می‌باشد. آبگیرهای کوچک به نحوی طراحی می‌شوند که سرعت در محل شبکه آشغالگیر حدود ۰/۵ متر بر ثانیه باشد. سرعت بیشتر تمیزکردن آشغالگیر را مشکل کرده و افت ورودی به آبگیر را افزایش می‌دهد. طراحی ابعاد آبگیر بر اساس روابط پیوستگی و انرژی انجام می‌گیرد.

۲-۳-۱-۲ طراحی سرریز و سیستم استهلاک انرژی[2]

در انتخاب نوع سرریز عوامل مختلفی باید در نظر گرفته شود از جمله مقاومت پی، مصالح در دسترس و قیمت تمام شده. همچنانکه اشاره شد در بندهای کوتاه معمولاً از یک سرریز اوجی شکل استفاده می‌شود. شکل مقطع این سرریز به جنس بستر بستگی دارد. نمونه‌هائی از این نوع سرریز در شکل (۲-۱) نشان داده شده است.

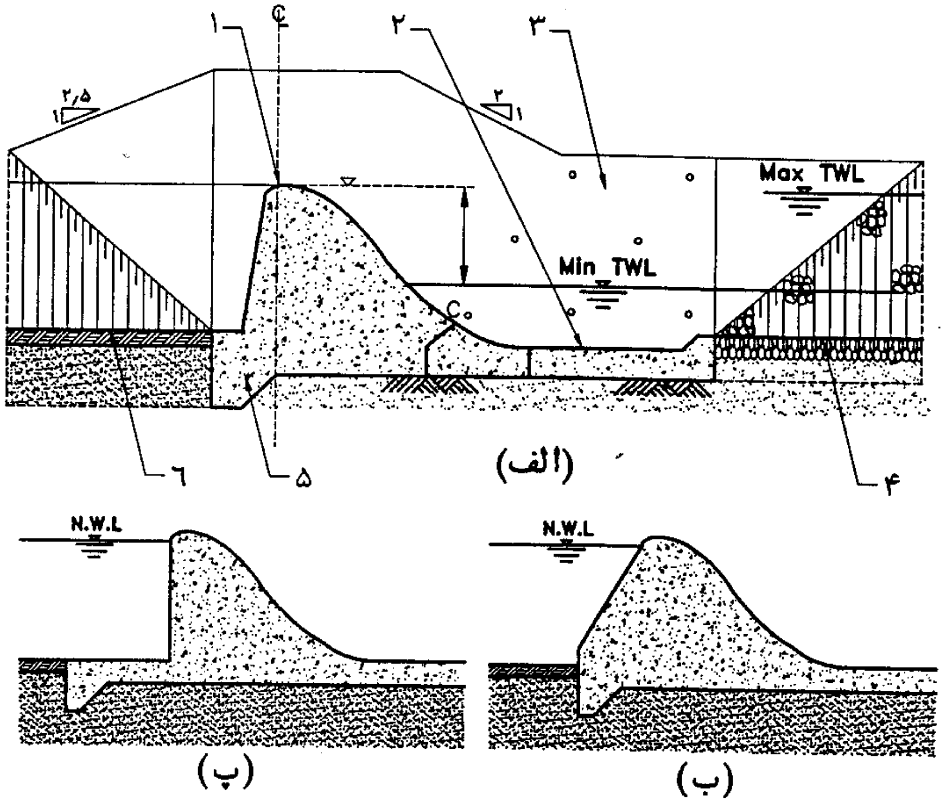
اگر ارتفاع سرریز کم باشد (در حد ۱/۵ متر) می‌توان از سرریزهای شیب‌دار که از دال‌های بتنی و یا سنگ‌چین روی خاک کوبیده شده تشکیل شده‌اند استفاده کرد (شکل۲-۲) [۵]. در ارتفاع بیشتر، سرریزهای اوجی شکل معمولاً اقتصادی‌تر هستند [۶].

در مناطقی که سنگ مناسب قابل دسترسی است سرریز توری سنگی که به نحوی در مقابل عبور آب ناتراوا شده باشد به عنوان یک گزینه می‌تواند مطرح باشد (شکل ۲-۳). در این سرریزها توصیه می‌شود حداکثر اختلاف سطح آب بین بالادست و پایاب از ۱/۵ متر و حداکثر بده ویژه از ۳ متر مکعب بر ثانیه در متر طول تجاوز نکند [۵].

سرریزهای اوجی شکل دارای ضریب تخلیه بزرگتر و هندسه ویژه‌ای هستند که با تلفیق روشهای نظری و تجربی بدست آمده‌اند. سرریزهای دیگر به صورت سرریز لبه پهن طراحی می‌شوند که ضریب تخلیه آنها نیز به صورت تجربی بدست آمده‌اند. در پائین‌دست هر سرریز یک سیستم استهلاک انرژی نیز لازم است که گزینه‌های مختلفی از آن وجود دارد. بستر رودخانه در پائین‌دست سیستم استهلاک انرژی باید در مقابل آب‌شستگی محافظت شود. برای توضیحات بیشتر در مورد طراحی سرریزها و سیستم‌های استهلاک انرژی به منابع [۷]، [۸]، [۹] و [۱۰] رجوع گردد. توضیحات مختصری در مورد طراحی سرریزها و حوضچه‌های آرامش نیز در پیوست (۱) این گزارش آمده است.

1- Trashrack

2- Energy Dissipator

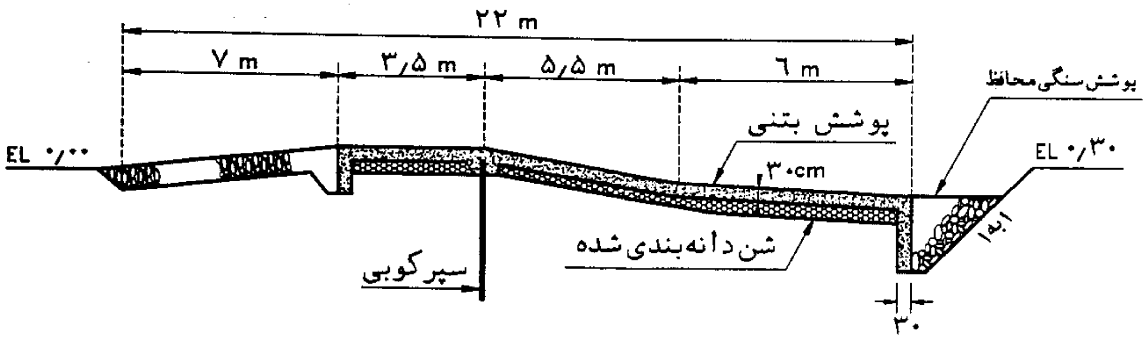


الف – طرح عمومی یک سرریز برای استقرار روی سنگ بستر مناسب

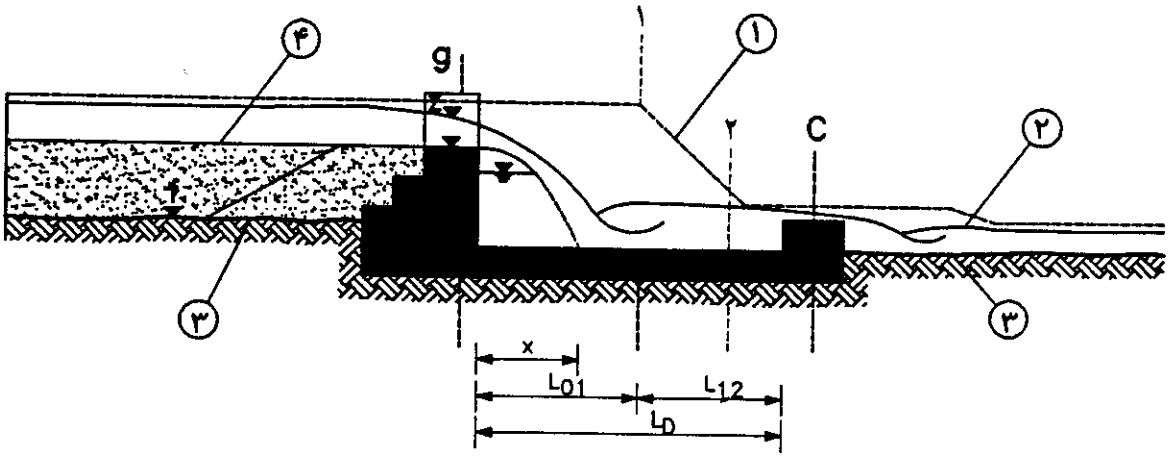
ب و پ – سازه سرریز بر روی پی تراوا

۱– سرریز
۲– حوضچه آرامش
۳– تکیه‌گاه چپ
۴– مسیر پایاب با پوشش سنگی محافظ
۵– دیواره آب‌بند
۶– پوشش رسی

شکل ۲–۱– چند نمونه از شکل مقاطع سرریزهای اوجی



شکل ۲–۲– یک نمونه از سرریز شیبدار [۵]



۱- خط انرژی

۲- منحنی سطح آزاد آب

۳- بستر طبیعی رودخانه

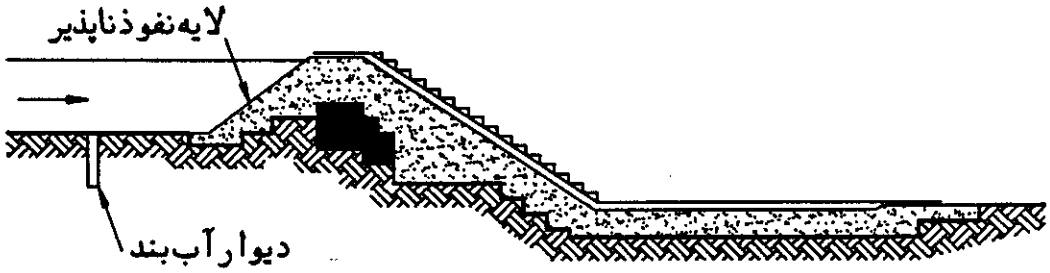
۴- بستر رودخانه پس از محافظت

رقومها

Z = رقوم تاج سرریز

f = رقوم کف بستر رودخانه

الف - سرریز قائم



ب - سرریز پلکانی (ترکیبی از توری سنگی و خاکریز)

شکل ۲-۳- سرریزهای توری سنگی

۲-۳-۱-۳ مجرای تخلیه رسوب

وظایف مجرای تخلیه رسوب عبارتند از:
- انتقال بار بستر از سمت دهانه آبگیر به طرف کانال پائین‌دست و تخلیه رسوبات ته‌نشین شده در جلو ورودی آبگیر.
- فراهم آوردن یک مسیر آزاد برای عبور آب به طرف آبگیر.

مجرای تخلیه رسوب در کنار آبگیر بوده و معمولاً با دیواری از بستر اصلی رودخانه جدا می‌شود. مجرای تخلیه رسوب در انتها دارای دریچه‌ای است که قسمتی از بدنه بند انحراف محسوب می‌شود. آستانه دریچه مجرای تخلیه رسوب نزدیک کف رودخانه قرار داده می‌شود تا با بازشدن آن رسوبات جمع شده در جلوی آبگیر به راحتی تخلیه شوند. مجرای تخلیه رسوب و ابعاد دریچه‌های آن باید به نحوی طراحی شود که با بازشدن دریچه‌ها سرعت کافی برای حرکت رسوبات جمع شده در جلوی آبگیر ایجاد شود و در عین حال افت انرژی در مسیر کانال مجرای تخلیه رسوب در هنگام کارکرد آبگیر زیاد نباشد. روشهای دیگری نیز برای انحراف رسوب از جلوی آبگیر و جلوگیری از ورود آن به سیستم انتقال وجود دارد که شرح کاملی از آنها را می‌توان در منابع مختلف یافت [۱۱].

۲-۳-۲ پروژه‌های انحراف بزرگ

با افزایش بده انحراف و عمق آب موردنیاز در پشت بند، ابعاد آبگیر، مجرای تخلیه رسوب و ارتفاع بند افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع بند و ته نشست رسوب در پشت آن، افزایش تراز آب و تغییرات ریختاری رودخانه در طی زمان نیز شدیدتر می‌شود. بعلاوه با افزایش ارتفاع تراز تاج سرریز، تراز آب در هنگام سیل طراحی نیز افزایش می‌یابد و بالارفتن تراز آب، هزینه محافظت زمینهای دو طرف بند در بالادست را بسیار افزایش می‌دهد. در چنین شرایطی برای کنترل حداکثر تراز آب می‌توان از سرریزی با آستانه پائین و دریچه استفاده نمود تا در هنگام سیل کلیه دریچه‌ها باز شده و جریان آب و رسوب بدون مانعی قابل توجه عبور کند.

۲-۳-۲-۱ طراحی آبگیر

با افزایش بده انحراف، ابعاد آبگیر نیز افزایش می‌یابد. می‌توان با افزایش عرض آبگیر از افزایش بیش از حد تراز عادی آب جلوگیری کرد ولی در این صورت کنترل ورود رسوب به داخل آبگیر مشکل‌تر می‌گردد. در طراحی، آبگیر به صورت یک سرریز لبه پهن در نظر گرفته شده به کمک روابط معمول در هیدرولیک (پیوستگی، انرژی و ممنتوم[1]) ابعاد آن بدست می‌آید.

1- Momentum

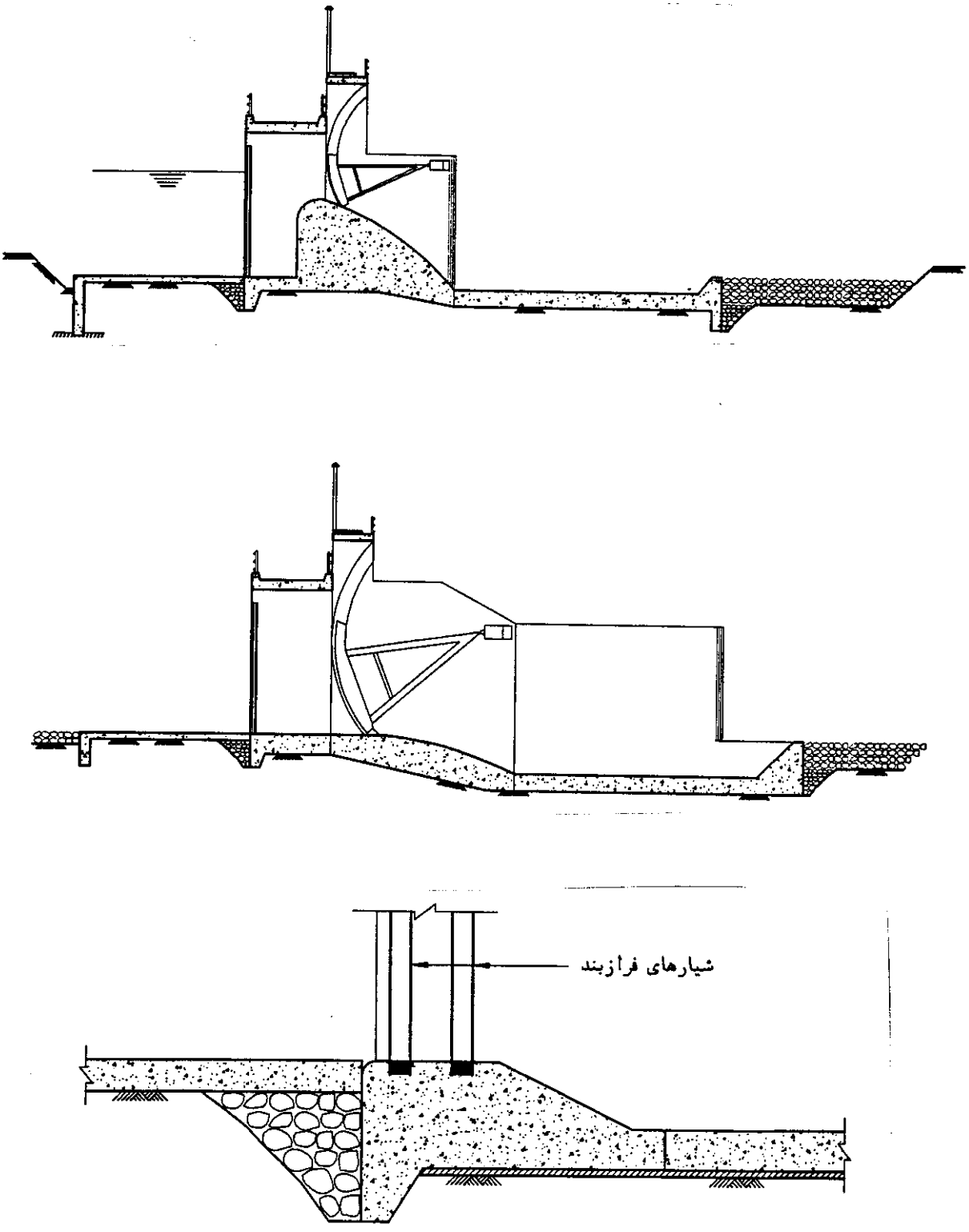
مجهولات در طراحی عبارتند از : عرض آبگیر، عمق آب و سرعت در داخل آبگیر، تراز آب پشت بند و ارتفاع آستانه آبگیر. از آنجا که تعداد مجهولات زیاد است انجام محاسبات با فرض‌های ساده‌کننده و استفاده از روابط تجربی ممکن می‌گردد. معمولاً راه‌حل‌های متعددی با ترکیب عرض‌های مختلف آبگیر وجود دارد. بهترین راه حل با محاسبه چند ترکیب و مقایسه هزینه‌ها بدست می‌آید. در برآورد هزینه‌ها باید هزینه جابجائی تأسیسات در بالادست در اثر بالازدن تراز آب، ساماندهی رودخانه، سازه‌های استهلاک انرژی و محافظت در برابر آب شستگی در پائین‌دست در نظر گرفته شود.

۲-۳-۲-۲ طراحی سرریز و سیستم استهلاک انرژی

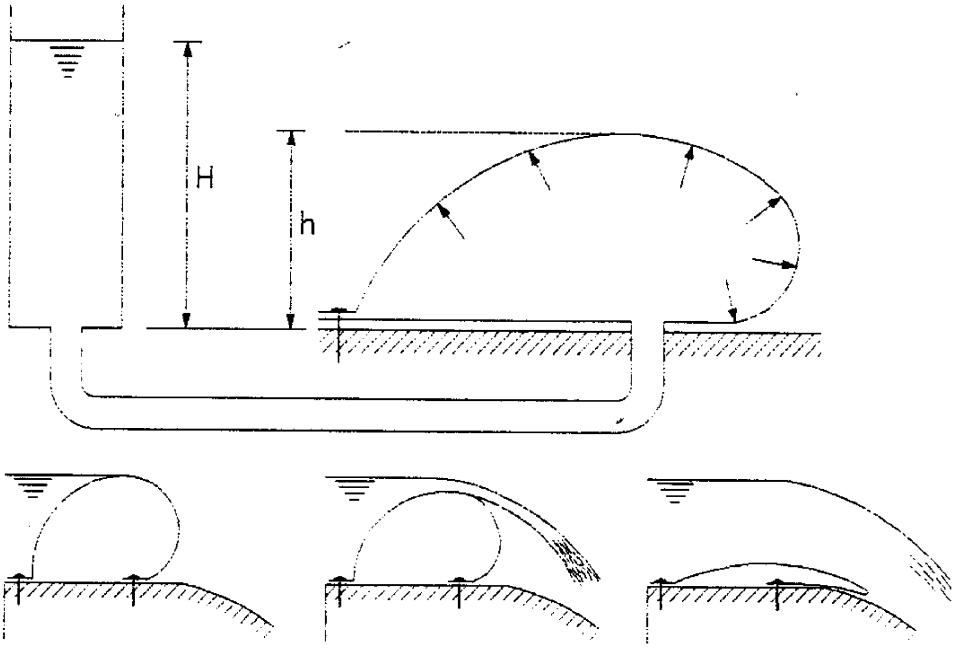
کاهش تراز آستانه سرریز و دریچه‌دار کردن آن اگرچه هزینه ساخت بند را افزایش می‌دهد ولی در مواقع سیلابی با بازکردن دریچه‌ها، تراز آب پائین آمده، ضمن تخلیه رسوبات و کاهش اثرات ریختاری در اثر ساخت بند و اعمال کمترین اختلال در مسیر رودخانه محافظت زمینهای بالادست کم هزینه‌تر می‌شود.

در بندهای بزرگ معمولاً یک سرریز با آستانه‌ای نزدیک به بستر طبیعی رودخانه یاکمی بالاتر به صورت یک سرریز اوجی شکل یا لبه پهن طراحی می‌گردد. (شکل ۲-۴)

شکل مقطع سرریز دریچه‌دار بستگی به نوع دریچه و عملکرد آن، شرایط جریان و مشخصات مصالح پی دارد. در تیغه‌های آب کمتر از ۲/۵ متر آستانه سرریز را می‌توان به صورت یک سطح صاف طراحی کرد (سرریز لبه پهن). در تیغه‌های آب بیشتر از ۲/۵ متر، بهتر است سرریز به شکل اوجی ساخته شود. باید توجه داشت که شکل مقطع سرریز و محل و شکل دریچه‌ها روی ضریب تخلیه سرریز اثر می‌گذارد [۸] دریچه‌ها می‌توانند از انواع مختلف قطاعی و یا کشویی انتخاب گردند، منابع متعددی در مورد طراحی و ساخت دریچه‌ها رهنمودهایی ارائه نموده‌اند [۱۲] و در نهایت طراحی این دریچه‌ها باید به نحوی باشد که با حداقل نمودن وزن، ضمن کاهش هزینه‌های مربوط امکان عملکرد آسان‌تر آنها نیز فراهم آید. بعلاوه بهره‌گیری از سیستم‌های قابل انعطاف (غشاء لاستیکی) با عملکرد مشابه دریچه‌ها نیز می‌تواند مورد توجه واقع شود. در این سیستم با متورم کردن اجزاء لاستیکی (پرکردن داخل آنها توسط آب یا باد) مسیر رودخانه مسدود می‌گردد و تراز آب به اندازه مطلوب در بالادست افزایش داده می‌شود. ارتفاع این بندها غالباً کمتر از ۴ متر در نظر گرفته می‌شود و در طول‌هایی در حدود یکصدمتر نیز از آنها استفاده شده است. عملکرد نوع آبی این سیستم بطور شماتیک در شکل ۲-۵ نشان داده شده است. همچنانکه ملاحظه می‌شود، غشاء موردنظر به یک منبع تغذیه‌کننده که تراز آب در آن (H) ۳۰ تا ۵۰ درصد بیش از تراز تاج غشاء (h) است متصل می‌باشد، در مواقع سیلابی که تراز آب در بالادست بند افزایش می‌یابد ازدیاد فشار نسبت به H موجب خواهد گردید که آب از غشاء تخلیه شده و تراز تاج آن کاهش یابد و در نتیجه سیلاب باگذر بیشتری از روی غشاء عبور کند. شرح مبسوط جزئیات طراحی در مأخذ [۱۳] آمده است. مزایای این سیستم را می‌توان در عملکرد خودکار آن، عبور ساده اجسام شناور و سادگی ساخت برشمرد و نقاط ضعف آن را در نیاز به تأمین غشاء مخصوص (وارداتی) و عدم امکان تخلیه کامل بار بستر دانست.



شکل ۲-۴-انواع سرریزهای دریچه‌ای



شکل ۲-۵- عملکرد سیستم غشاء قابل انعطاف

طول سرریز دریچه‌دار باید کمتر از عرض آبراهه رودخانه باشد زیرا سیلابهای با بده زیاد کمتر اتفاق می‌افتند و در فاصله دو سیل رسوبات زیادی در عرض زیاد پشت بند ته‌نشین می‌گردد. عرض کمتر سرریز باعث افزایش سرعت در بده‌های معمول و تخلیه رسوبات پشت بند و البته کاهش هزینه ساخت بند می‌گردد. در بندهای انحراف بـزرگ می‌توان برای افزایش سرعت با احداث خاکریز، کانال بالادست به طرف بند را تنگ‌تر نمود. مسیر دشت سیلابی را می‌توان با احداث خاکریز بست و یا اجازه داد اگر فرسایش قابل ملاحظه‌ای رخ ندهد سیلاب از دشت سیلابی عبور کند. انتخاب عرض کمتر برای سرریز باعث افزایش حداکثر تراز آب در سیل‌های بزرگتر می‌شود. می‌توان در صورت نیاز به کاهش تراز آب، از یک سرریز کمکی که تاج آن در تراز عادی آب قرار دارد، استفاده کرد.

۲-۳-۲-۳ مجرای تخلیه رسوب

طراحی مجرای تخلیه رسوب شبیه آنچه در بخش قبلی در مورد پروژه‌های انحراف کوچک گفته شد می‌باشد. البته با اضافه‌شدن عرض آبگیر، ابعاد مجاری تخلیه رسوب نیز بزرگ می‌گردد و در نتیجه آب موردنیاز بـرای شسـتشوی رسوب افزایش می‌یابد. با کاهش تراز آستانه سرریز و دریچه‌دار شدن آنها در پروژه‌های انحراف آب بزرگ، وظیفه رسوب‌زدایی را می‌توان به سرریزهای بند محول کرده و در این صورت نیازی به طراحی مجرای تخلیه رسوب جدا نخواهد بود.

فصل سوم - نشت[1]، فشار برکنش[2] و پدیده رگاب[3]

۳-۱ کلیات

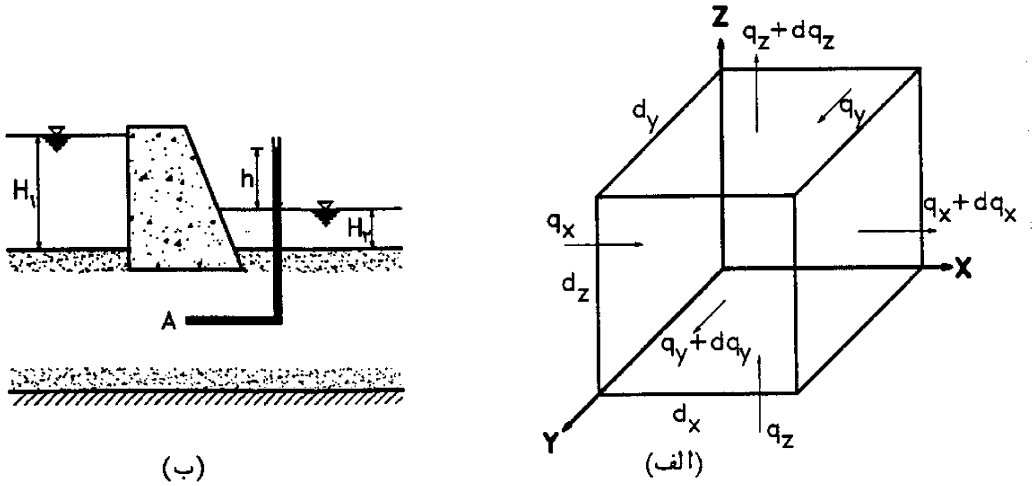
اغلب بندهای انحراف آب روی پی تراوا احداث می‌شوند. در این حالت از عمده مسائلی که باید در طراحی آنـها منظور گردد، مطالعه شدت نشت آب از پی تراوا، تعیین فشار بر کنش و گرادیان جریان در لحظه خروج از پای سد می‌باشد.

۳-۲ نشت

جریان آب ازمیان محیط متخلخل خاک بسته به شرایط آن را نشت یا زهاب گویند. قانون عمومی حاکم بر جریان آب زیرزمینی، قانون دارسی می‌باشدکه بر حسب آن سرعت، رابطه خطی با شیب هیدرولیکی، طبق رابطه V= ki، دارد. k را ضریب تراوایی گویند. در این قسمت ابتدا روابط حاکم بر جریان آب زیرزمینی در محیط سه بعدی و دو بعدی معرفی شده و سپس حل آنها برای محاسبه زیر فشار و بده، مورد توجه قرار می‌گیرد.

۳-۲-۱ رابطه پیوستگی[4]

مطابق شکل (۳-۱) یک جزء مکعبی شکل از خاک در نقطه A از پی تراوا یک بند انحراف در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳-۱- یک جزء مکعبی شکل خاک

1- Seepage
2- Up Lift
3- Piping
4- Continuity Equation

طبق اصل پیوستگی، جریان ورودی به جزء حجم، مساوی جریان خروجی از این جزء حجم می‌باشد. با اعمال این اصل و استفاده از قانون دارسی، رابطه زیر بدست می‌آید.

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (۱-۳)$$

که در آن :

h = ارتفاع هیدرولیکی در نقطه A

k_x، k_y و k_z = ضرایب تراوایی در امتدادهای x و y و z می‌باشند.

رابطه فوق، رابطه پیوستگی جریان در حالت سه بعدی است. برای جریان دو بعدی در صفحه xz رابطه بصورت زیر در می‌آید:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (۲-۳)$$

در صورتیکه لایه از نقطه نظر تراوایی همگن باشد، یعنی $k_x = k_z = k$ رابطه دیفرانسیل جریان بصورت زیر درمی‌آید:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad (۳-۳)$$

رابطه فوق، رابطه لاپلاس نامیده می‌شود.

۳-۲-۲ شبکه جریان[1]

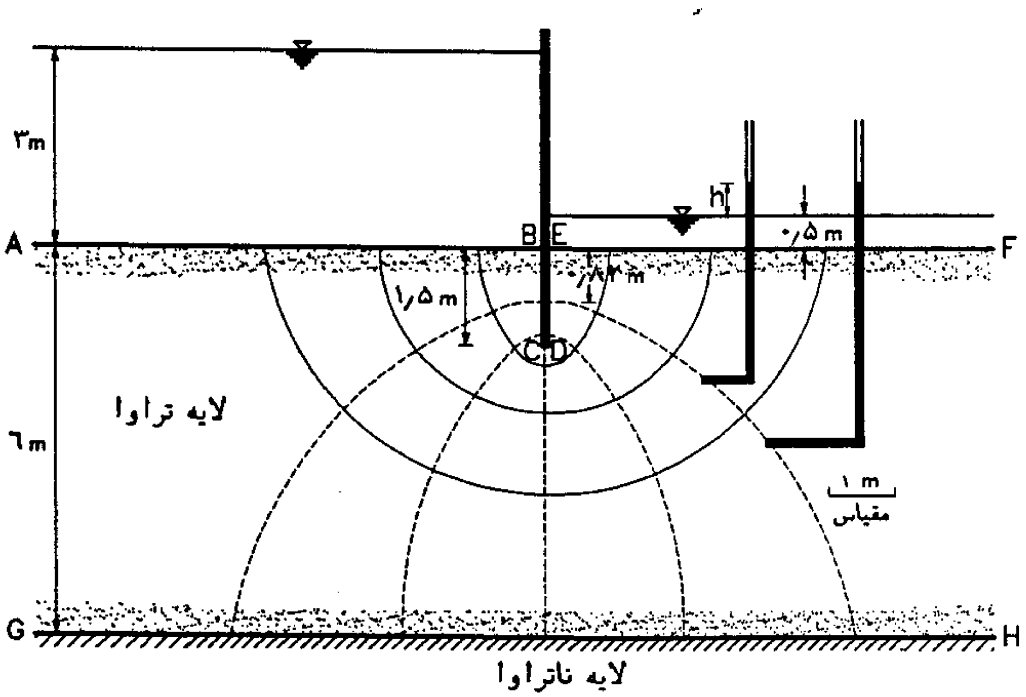
مجموعه‌ای از خطوط هم فشار[2] و خطوط جریان را، شبکه جریان نامند. خطوط جریان در امتداد جریان قرار داشته

1- Flow Net

2- Equipotential

و خطوط هم فشار، نقاطی راکه دارای ارتفاع نظیر فشار [1] یکسان می‌باشند، به هم وصل می‌نمایند. شکل (۳-۲) شبکه جریان را در زیر یک سپر کوبیده شده درون یک محیط تراوا نشان می‌دهد.

لایه تراوا از نقطه‌نظر تراوایی همگن فرض شده است ($k_X = k_Z = k$). در این شکل خطوط پر، خطوط جریان و خطوط خط چین خطوط‌هم فشار هستند. در رسم شبکه جریان باید شرایط مرزی بدقت مورد توجه قرار گیرد.

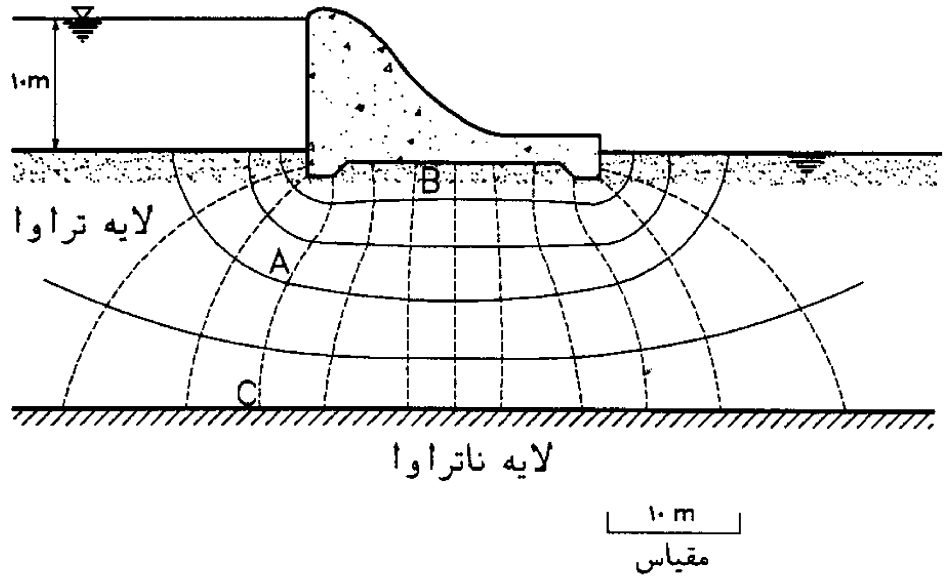


شکل ۳-۲- شبکه جریان در زیر و اطراف یک سپر

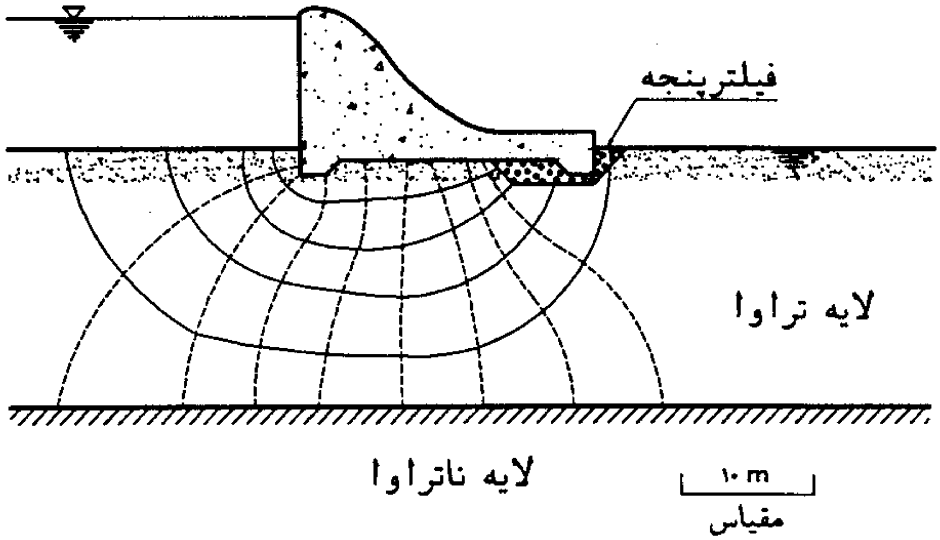
خطوط جریان و خطوط هم فشار با زاویه قائمه یکدیگر را قطع می‌نمایند و باید با روش سعی و خطا طوری رسم شوند که چشمه‌های شبکه، مشابه مربع باشند.

امروزه با وجود نرم‌افزارهای پیشرفته، رسم شبکه جریان با دقت بسیار خوب حتی در سه بعد به راحتی امکان‌پذیر شده است. بطور نمونه در اشکال (۳-۳) و (۳-۴)، دو نمونه از شبکه جریان در زیر یک بند انحراف آب رسم شده است.

1- Piezometric Level



شکل ۳-۳- شبکه جریان در زیر یک بند انحراف آب



شکل ۳-۴- شبکه جریان در زیر یک بند انحراف آب با زهکش پنجه

۳-۲-۳ تخمین بده نشت از زیر یک سازه هیدرولیکی به کمک شبکه جریان

مجرای جریان، نوار واقع بین دو خط جریان را گویند. برای محاسبه بده نشت در زیر یک سازه هیدرولیکی، یک مجرای جریان مطابق شکل (۳-۵) در نظر گرفته می‌شود. در این شکل، خطوط هم فشار متقاطع با این مجرای جریان نیز همراه با ارتفاعات هیدرولیکی مربوط نمایش داده شده است. اگر q بده عبوری از یک مجرای جریان در واحد طول سازه هیدرولیکی در نظر گرفته شود (عمود بر صفحه کاغذ)، با استفاده از قانون دارسی می‌توان نوشت:

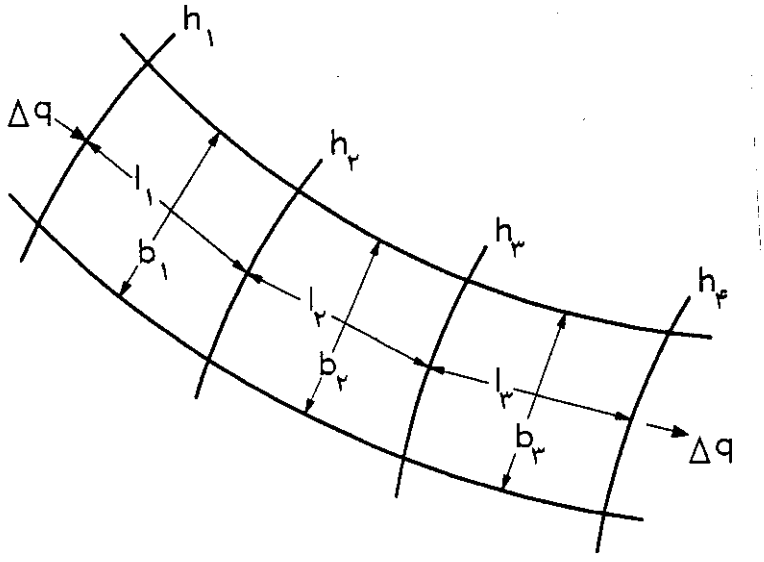
$$q = kiA = k\left(\frac{h_1 - h_2}{l_1}\right) b_1 = k\left(\frac{h_2 - h_3}{l_2}\right) b_2 = k\left(\frac{h_3 - h_4}{l_3}\right) b_3 \qquad (۴-۳)$$

اگر چشمه های شبکه بصورت مربع باشند، می توان نوشت:

$$l_1 = b_1 \qquad l_2 = b_2 \qquad l_3 = b_3$$

در نتیجه با استفاده از رابطه ۳-۴ می‌توان نوشت:

$$h_1 - h_2 = h_2 - h_3 = h_3 - h_4 = \ldots\ldots = \Delta h = \frac{h}{N_d} \qquad (۵-۳)$$



شکل ۳-۵- مجرای جریان

Δh = افت فشار بین دو خط هم فشار متوالی (اختلاف ارتفاع نظیر فشار بین دو خط هم فشار متوالی).

h = اختلاف ارتفاع هیدرولیکی بین بالادست و پائین‌دست

N_d = تعداد پله‌های افت فشار

رابطه ۳-۵ نشان می‌دهد که افت فشار بین خطوط هم فشار متوالی یکسان است. با ترکیب روابط ۳-۴ و ۳-۵ بدست می‌آید:

$$\Delta q = k\frac{h}{N_d} \qquad (۳-۶)$$

اگر N_f تعداد مجراهای جریان در شبکه جریان باشد، بده نشت در واحد طول سازه هیدرولیکی برابر خواهد بود با:

$$q = N_f \cdot \Delta q = kh\frac{N_f}{N_d} \qquad (۳-۷)$$

اگر چشمه‌های شبکه جریان بصورت مربع نبوده و نسبت طول به عرض آنها بصورت زیر باشد:

$$\frac{b_۱}{l_۱} = \frac{b_۲}{l_۲} = \frac{b_۳}{l_۳} = \ldots = n \qquad (۳-۸)$$

در این صورت بده نشت در واحد طول سازه هیدرولیکی برابر خواهد شد با:

$$q = kh\,\frac{N_f}{N_d}\,n \qquad (۳-۹)$$

۳-۳ نیروی برکنش زیر بند انحراف آب

از شبکه جریان می‌توان برای تعیین نیروی بر کنش در زیر بند انحراف آب استفاده نمود. روش کار با یک مثال ارائه می‌شود. مقطع بند انحراف شکل (۳-۳) با مقیاس بزرگتر در شکل (۳-۶) رسم شده است. زیر فشار در نقطه D به شرح زیر قابل محاسبه است:

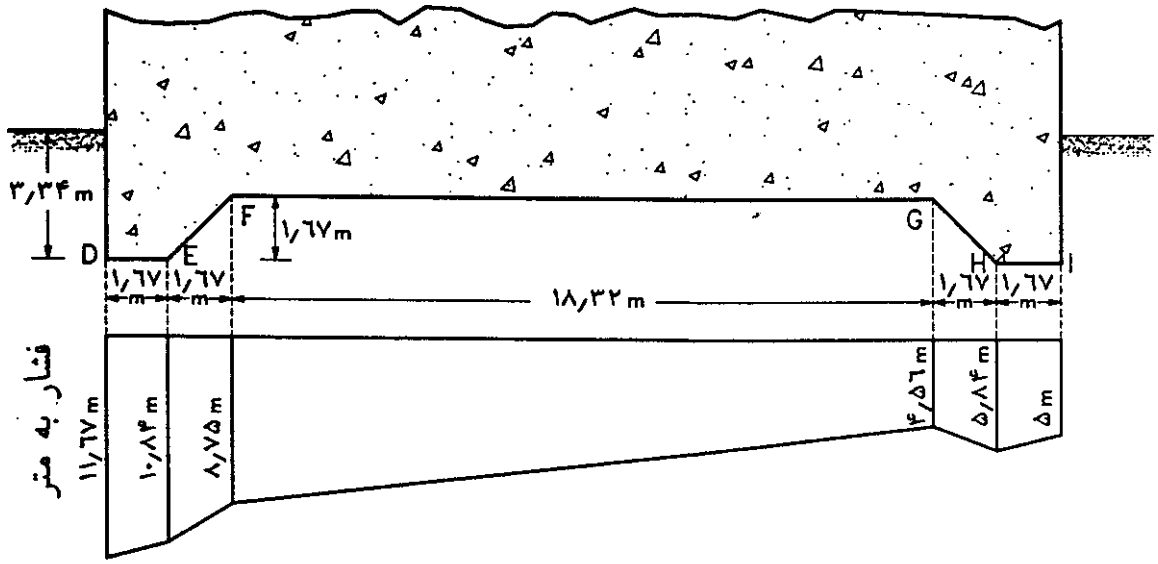
$$\Delta h = \frac{h}{N_d}$$

زیر فشار[1] نقطه D = UP_D = (۱۰ + ۳/۳۴) – افت فشار

= ۱۳/۳۴ – ۲ (Δh) = ۱۳/۳۴ – ۲ × ۰/۸۳۳ = ۱۱/۶۷ m

1- Up Lift

با همین روش زیر فشار نقاط E،.... I، تعیین شده و نمودار تغییرات زیر فشار بدست می‌آید که در شکل (۳-۶) رسم شده است. تغییرات زیر فشار بین دو نقطه F و G برای ساده شدن کار خطی فرض شده است.



شکل ۳-۶- فشار بر کنش در زیر یک بند انحراف آب

۳-۴ نیروی نشت بر واحد حجم توده خاک

عبور جریان آب از میان یک توده خاک، باعث اعمال نیرو بر آن توده می‌شود که به آن نیروی نشت گویند. برای محاسبه مقدار نیروی نشت بر واحد حجم خاک، توده خاکی محصور بین دو خط جریان ab و cd و دو خط هم فشار ef و gh مطابق شکل (۳-۷) در نظرگرفته می‌شود. ضخامت توده خاک در امتداد عمود بر صفحه شکل مساوی واحد فرض می‌شود. وزن توده خاک برابر است با:

$$W = (L)(L)(1)(\gamma_{sat}) = L^2 \gamma_{sat}$$

نیروی هیدرواستاتیک مؤثر بر وجه ef برابر است با:

$$F = h_1 \gamma_w L$$

و به همین ترتیب نیروی هیدرواستاتیک مؤثر بر وجه gh مساوی $F = h_2 L\gamma_w$ بدست می‌آید. $\Downarrow F + \upsilon$

برای تعادل باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$\Delta F = h_1 \gamma_w L + L^2 \gamma_{sat} \sin\alpha - h_2 \gamma_w L \qquad (۱۰-۳)$$

داریم :

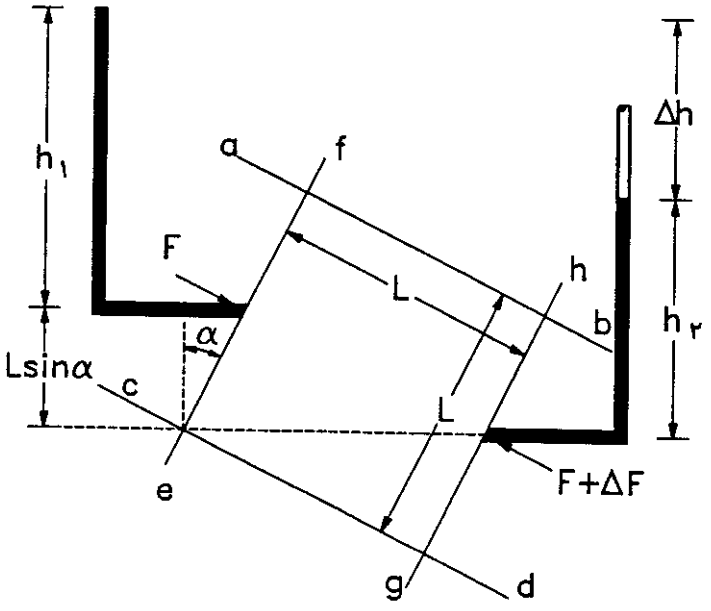
$$h_1 + L\sin\alpha = h_2 + \Delta h \Rightarrow h_2 = h_1 + L\sin\alpha - \Delta h \qquad (۱۱-۳)$$

با ترکیب روابط ۳-۱۰ و ۳-۱۱ رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta F = h_1 \gamma_w L + L^2 \gamma_{sat} \sin\alpha - (h_1 + L\sin\alpha - \Delta h)\gamma_w L$$

یا :

$$\Delta F = L^2 (\gamma_{sat} - \gamma_w)\sin\alpha + \Delta h \gamma_w L = \underbrace{L^2 \gamma' \sin\alpha}_{\text{نیروی نشت}} + \underbrace{\Delta h \gamma_w L}_{\text{وزن غوطه‌ور توده خاک}} \qquad (۱۲-۳)$$



شکل ۳-۷- تعیین نیروی نشت

که در آن $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ وزن مخصوص غوطه‌ور می‌باشد.

با استفاده از رابطه ۳-۱۲ نیروی نشت مؤثر بر توده خاک برابر $\Delta h\ \gamma_w\ L$ می‌باشد. بنابراین :

$$\text{نیروی نشت مؤثر بر واحد حجم توده خاک} = \frac{\Delta h\ \gamma_w\ L}{L^2} = \gamma_w \frac{\Delta h}{L} = \gamma_w\ i \qquad (۱۳-۳)$$

که در آن i شیب هیدرولیکی است که مساوی نسبت افت ارتفاع هیدرولیکی به طول مسیر نشت می‌باشد.

۳-۵ پدیده رگاب و ایمنی سازه‌های هیدرولیکی در مقابل آن

در پنجه (پائین‌دست) سازه‌های هیدرولیکی (شکل ۳-۸)، نشت رو به بالا وجود دارد که طبق رابطه ۳-۱۳ مقدار نیروی آن مساوی حاصلضرب وزن مخصوص آب در شیب هیدرولیکی موجود است. اگر این نیرو بر وزن مؤثر خاک غلبه نماید، باعث از بین رفتن تنش مؤثر و در نتیجه حرکت توده خاک به سمت بالا و جوشش آن می‌شود. آن شیب هیدرولیکی که باعث تساوی نیروی نشت و وزن خاک می‌شود، به شیب بحران[1] موسوم بوده و از رابطه زیر قابل تعیین است:

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{G_s\ \gamma_w + e\ \gamma_w}{1 + e} - \gamma_w = \frac{(G_s - 1)\ \gamma_w}{1 + e}$$

در نتیجه :

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \qquad (۱۴-۳)$$

که در آن :

G_s = چگالی دانه‌ها

γ_{sat} = وزن مخصوص اشباع خاک

e = نسبت تخلخل

γ_w = وزن مخصوص آب می‌باشند.

برحسب G_s و e خاکهای معمول، مقدار i_{cr} بین ۰/۸۵ تا ۱/۱ می‌باشد. ضریب اطمینان در مقابل پدیده رگاب از رابطه زیر تعیین می‌شود:

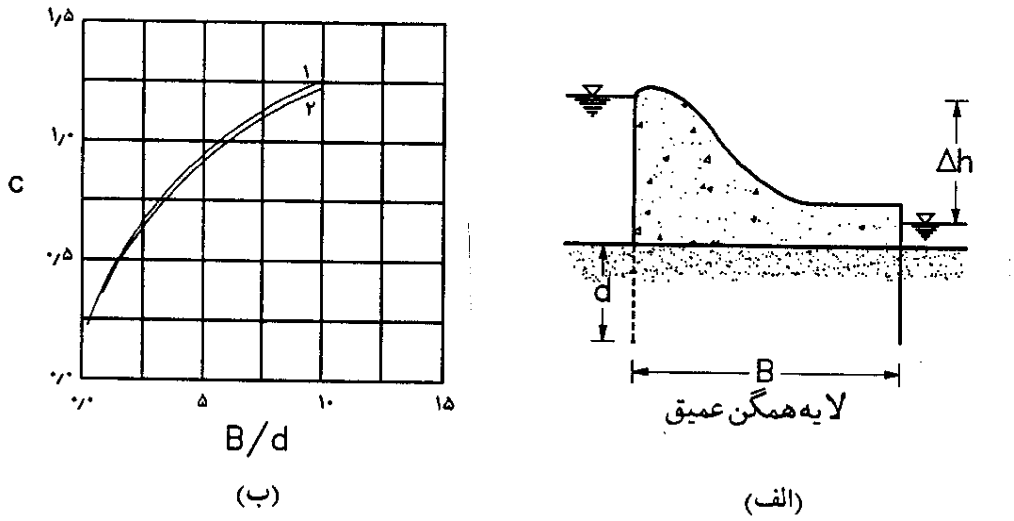
$$FS = \frac{i_{cr}}{i_{exit}} \qquad (۱۵-۳)$$

1- Critical Gradiant

که در آن i_{exit}، حداکثر شیب هیدرولیکی خروجی موجود می‌باشد. مقدار آن را می‌توان با توجه به شبکه جریان تعیین نمود. ضریب اطمینانی در حدود ۳ تا۴ برای عملکرد مناسب سازه‌های هیدرولیکی لازم است. از نمودار شکل (۳-۸) نیز می‌توان برای تعیین شیب هیدرولیکی خروجی در پنجه یک بند انحراف آب استفاده نمود. با توجه به نمادهای موجود در این شکل، شیب هیدرولیکی حداکثر خروجی در پائین‌دست یک بند انحراف آب برابر است با:

$$i_{exit} = C \frac{\Delta h}{B} \qquad (۱۶-۳)$$

که در آن C ضریبی است که از نمودار شکل (۳-۸) بدست می‌آید [۲۵].



شکل (۳-۸) حداکثر شیب هیدرولیکی موجود در پنجه یک بند انحراف آب روی پی تراوا

منحنی ۱- سپرکوبی فقط در پائین‌دست

منحنی ۲- سپرکوبی در بالا و پائین‌دست

بطور نظری می‌توان ثابت نمود که شیب هیدرولیکی حداکثر خروجی در پای یک ردیف سپرکوبیده شده در لایه تراوا نشان داده شده در شکل (۳-۲) برابر است با:

$$i_{exit} = \frac{1}{\pi} \times \frac{\text{حداکثر ارتفاع هیدرولیکی}}{\text{عمق نفوذ سپر در لایه تراوا}} \qquad (۱۷-۳)$$

۳-۶ روشهای خزشی[1] برای تعیین فشار بر کنش و ضریب اطمینان در مقابل رگاب

در بخشهای گذشته مبانی نظری برای تعیین فشار بر کنش و ضریب اطمینان در مقابل رگاب در سازه‌های

1- Creep Method

هیدرولیکی مورد بررسی قرارگرفت. در کنار این روشهای نظری، روش‌های نیمه تجربی نیز برای تعیین کمیتهای فوق ارائه شده است. روشهای خزشی یکی از این روش‌ها است. روش خزشی، اول بار توسط بلای [1] ارائه شد. بعدها لین [2] اصلاحی در آن انجام داد که حاصل کار، روش خزشی وزنی بود. این روشها بسیار ساده و عملی می‌باشند، لیکن باید با دقت به کار گرفته شوند.

۳-۶-۱ روش خزشی ساده (روش بلای) [۱۴]

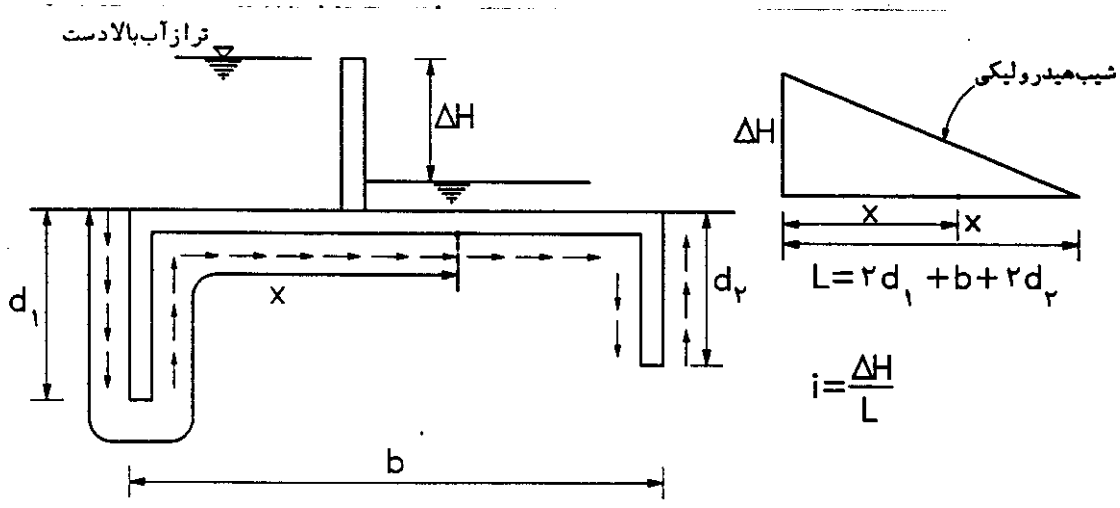
در این روش میزان افت فشار متناسب با طول خزش در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال در شکل (۳-۹)، طول خزش با پیکانهای کوچکی نشان داده شده است. مقدار آن برابر است با:

$$L = 2d_1 + b + 2d_2 \qquad (۳-۱۸)$$

در نتیجه شیب هیدرولیکی متوسط موجود برابر است با :

$$i = \frac{\Delta H}{L} \qquad (۳-۱۹)$$

طبق نتایج تجربی، شیب هیدرولیکی مجاز در پنجه در این روش مطابق جدول ۳-۱ می‌باشد.



شکل ۳-۹- روش خزشی ساده (روش بلای)

1- Bleich 2- Lane

جدول ۳-۱- شیب هیدرولیکی مجاز طبق روش خزشی ساده لین

نـوع خاک	شیب هیدرولیکی خروجی مجاز
ماسه ریز	$\frac{۱}{۷}$ تا $\frac{۱}{۶}$
ماسه درشت	$\frac{۱}{۱۶}$ تا $\frac{۱}{۵}$
شن	$\frac{۱}{۵}$ تا $\frac{۱}{۴}$

در صورتیکه شیب هیدرولیکی خروجی بیشتر از مقادیر فوق باشد، باید طول خزش را افزایش داد. افرایش طـول خزش با استفاده از افزایش عمق سپرها و یا افزودن طول کف بند بالادست و پائین‌دست امکان‌پذیر است.

با محاسبه شیب هیدرولیکی متوسط طبق رابطه ۳-۱۹، می‌توان فشـار بـر کـنش را در هـر نـقطه مـحاسبه نـمود، شکل(۳-۹).

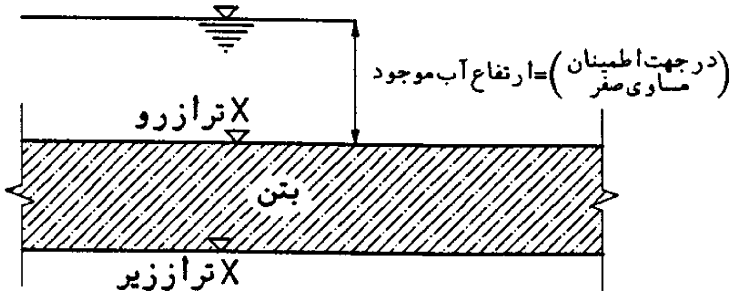
$$\Delta H_x = \frac{\Delta H}{L} x \qquad (۳-۲۰)$$

x = طول خزشی تا نقطه x

ΔH_x - تراز آب بالادست = ارتفاع فشار موجود در نقطه x (۳-۲۱)

ارتفاع‌آب‌موجود درنقطهx – تراز زیریاروی بتن‌درنقطهx – ارتفاع فشارموجود درنقطهx = فشاربرکنش موجود درنقطهx (۳-۲۲)

تراز زیر یا روی بتن را می توان در رابطه ۳-۲۲ قرار داد. اگر برای محاسبه فشار بر کنش، تراز روی بتن مورد استفاده قرار گرفته و مقدار فشار بر کنش مساوی h حاصل شود، با ضریب اطمینان ۱/۵، حداقل ضخامت دال بتنی لازم برای مقابله با بر کنش، مساوی h ۱/۲ می‌باشد.



شکل ۳-۱۰- فشار بر کنش

۳-۶-۲ روش خزشی وزنی (روش لین) [۱۴]

با توجه به شکل (۳-۱۱)، در روش خزشی وزنی، طول خزش وزنی از رابطه زیر بدست می آید:

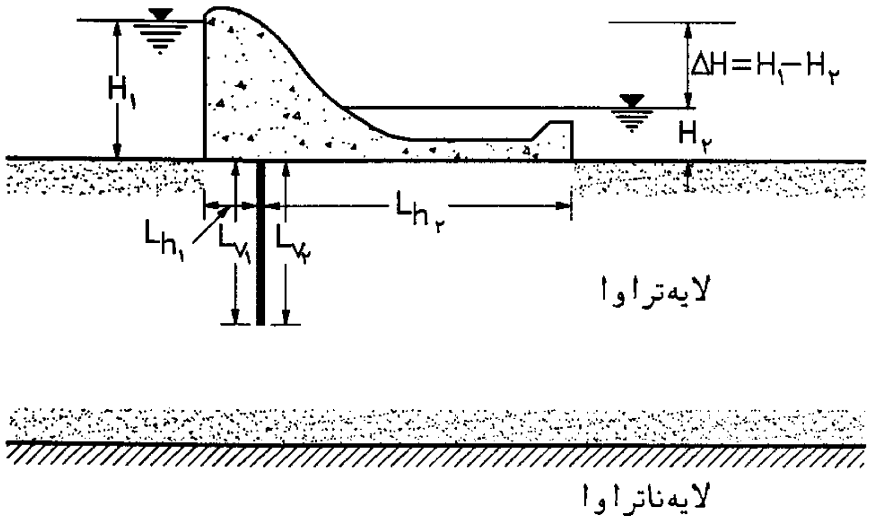
$$L_w = \frac{\Sigma L_h}{۳} + \Sigma L_v \qquad (۲۳-۳)$$

که در آن :

L_w = طول خزش وزنی

ΣL_h = مجموع طول‌های خزشی افقی

ΣL_v = مجموع طول‌های خزشی قائم



شکل ۳-۱۱- روش خزشی وزنی

ملاحظه می‌شود که در این روش، ارزش طول‌های خزشی افقی $\frac{1}{3}$ ارزش طول‌های خزشی قائم فرض شده است.

با داشتن طول خزش وزنی، شیب هیدرولیکی مطابق گذشته از رابطه زیر قابل محاسبه است :

$$i = \frac{\Delta H}{L_w} \qquad (۲۴-۳)$$

مقادیر حداکثر مجاز شیب هیدرولیکی در این روش به قرار جدول ۳-۲ است.

جدول ۳-۲- حداکثر شیب هیدرولیکی مجاز طبق روش خزشی وزنی

حداکثر شیب هیدرولیکی مجاز	مصالح
$\frac{1}{8/5}$	ماسه خیلی ریز یا لای
$\frac{1}{7}$	ماسه ریز
$\frac{1}{6}$	ماسه متوسط
$\frac{1}{5}$	ماسه درشت
$\frac{1}{4}$	شن ریز
$\frac{1}{3}$	شن درشت
$\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$	رس نرم تا متوسط
$\frac{1}{1/8}$	رس سخت
$\frac{1}{1/6}$	لایه ناتراوا و یا سنگ کف

اگر شیب مسیر خزش تندتر از ۴۵ درجه باشد، مسیر قائم و اگر کمتر از ۴۵ درجه باشد، مسیر افقی منظور می‌شود. محاسبه زیر فشار در این روش مطابق روابط ۳-۲۰ تا ۳-۲۲ در نظر گرفته می‌شود. در این حالت x طول خزشی وزنی خواهد بود.

۳-۶-۳ روش خوسلاو[1]

روش خوسلاو یک روش نظری - تجربی برای محاسبه نشت و فشار بر کنش در زیر یک سازه هیدرولیکی است. در این روش مسیر جریان در لایه تراوا بصورت سهمی فرض شده و معادلات لاپلاس با توجه به شرایط مرزی برای آن حل شده است.

امروزه با تدوین برنامه‌های کامپیوتری که با دقت بسیار خوب می‌توانند مسأله نشت را با شرایط مرزی مختلف حل نمایند، کمتر تمایلی به استفاده از روشهای نسبتاً دقیق و دستی پر کار مثل روش خوسلاو یا روش‌های تقریبی بلای ولین وجود دارد.

در پیوست شماره (۲) روش خوسلاو بطور تفصیل ارائه گردیده است.

1- Khosla's Method

فصل چهارم - بارهای طراحی

۴-۱ کلیات

بند انحراف آب بتنی، یک سد وزنی کوتاه است و از این نظر در رده سازه‌های وزنی قرار می‌گیرد. عـامل پـایداری اینگونه سازه‌ها در مقابل نیروهای وارده وزن و شکل آنهاست. چنین سازه‌ای باید با توجه به وزن خود در مـقابل لغزش و واژگونی ناشی از نیروهای وارده و سایر ناپایداریها مقاومت کرده و آنها را به طور ایمن به پی انتقال دهد.

در شکل (۴-۱) کلیه بارهای خارجی وارد بر بند نشان داده شده است. با توجه به بحث فوق، این بارها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۴-۱-۱ بارهای مقاوم شامل:

الف - وزن بند (نیروی F_1) و بارهای نظیر وزن عبورگاه پل روی سرریز، دریچه‌ها و موارد مشابه

ب - فشار جانبی آب پائین‌دست (فشار پایاب F'_2)

پ - وزن آب موجود در وجه بالادست (نیروی F_3) و پائین‌دست (نیروی F'_3)

۴-۱-۲ بارهای محرک شامل :

الف - فشار جانبی آب مخزن (نیروی F_2)

ب - فشار بر کنش (نیروی U)

پ - فشار موج (نیروی F_9)

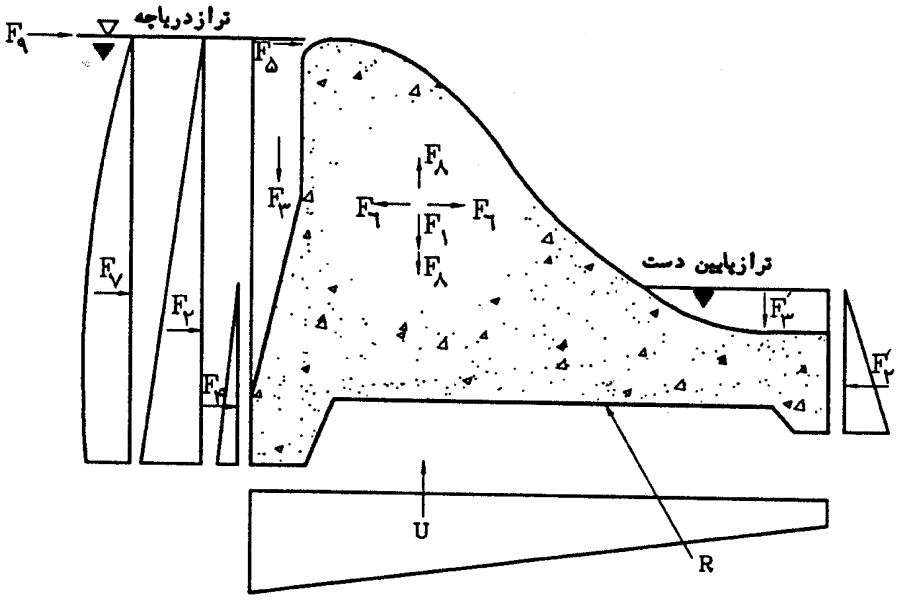
ت - فشار یخ (نیروی F_5)

ث - فشار رسوب (نیروی F_4)

ج - نیروی القایی زلزله در بدنه بند (نیروی افقی F_6 و نیروی قائم F_8)

چ - اضافه فشار هیدرودینامیک آب مخزن در حین زلزله (نیروی F_7)

ح - فشار باد



شکل ۴-۱- نیروهای مؤثر بر بندهای وزنی

برآیند نیروهای مقاوم و محرک بند، واکنش R بر قاعده آن ایجاد می‌کند.

۴-۲ طبقه‌بندی بارها

بارهای وارد بر بندها، در دو طبقه عمومی زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

الف - بارهای عادی :

بارهای عادی بارهایی هستند که تأثیر درازمدت بر بند دارند و بند باید با ضرایب اطمینان کافی در مقابل آنها مقاومت نماید. این بارها عبارتند از : الف - فشار آب در تراز مخزن پر[1]، ب - وزن بند و وزن سازه‌های دائمی روی آن و پ - فشار بر کنش.

ب - بارهای غیرعادی :

بارهای غیرعادی بارهایی هستند که تأثیر کوتاه‌مدت بر بند دارند و ضرایب اطمینان به کار رفته برای آنها کوچکتر از ضرایب اطمینان بارهای عادی است. این بارها عبارتند از : الف - فشار آب مخزن در تراز سیلاب طراحی[2]، ب - فشار موج، پ - فشار رسوب، ت - نیروهای ناشی از زلزله و ث - فشار یخ.

1- Normal Water Level

2- Flood Level

۴-۳ ترکیب‌های بار

۱- ترکیب بار ۱ (شرایط اجراء): ساختمان بند تمام شده، ولی مخزن خالی است و فشار پایاب وجود ندارد.

۲- ترکیب بار ۲ (شرایط عادی بهره‌برداری): تراز دریاچه در حالت پر + پایاب در حالت خشک + فشار بر کنش در حالت عادی + فشار یخ + فشار رسوب.

۳- ترکیب بار ۳ (شرایط سیلابی): تراز دریاچه در حالت سیلابی و در حال سرریز + تمام دریچه‌ها باز + پایاب در تراز سیلابی + فشار بر کنش در حالت عادی + فشار رسوب.

۴- ترکیب بار ۴: ترکیب بار ۱ + زلزله

۵- ترکیب بار ۵: ترکیب بار ۲ + زلزله

۶- ترکیب بار ۶: ترکیب بار ۳ + حداکثر فشار بر کنش محتمل

۷- ترکیب بار ۷: ترکیب بار ۵ + حداکثر فشار بر کنش محتمل

۸- هر ترکیب بار دیگری که طراح تشخیص دهد

۴-۴ تشریح بارهای وارد بر بند

۴-۴-۱ بار مرده

بار مرده شامل وزن بتن بند (با وزن مخصوص ۲/۴ تن بر مترمکعب) و تجهیزات دائمی مثل پایه‌ها، دریچه‌ها، وزن عبورگاه پل روی سرریز می‌باشد.

برای محاسبه وزن و نقطه اثر آن، معمولاً مقطع بند به اشکال هندسی ساده تقسیم می‌شود.

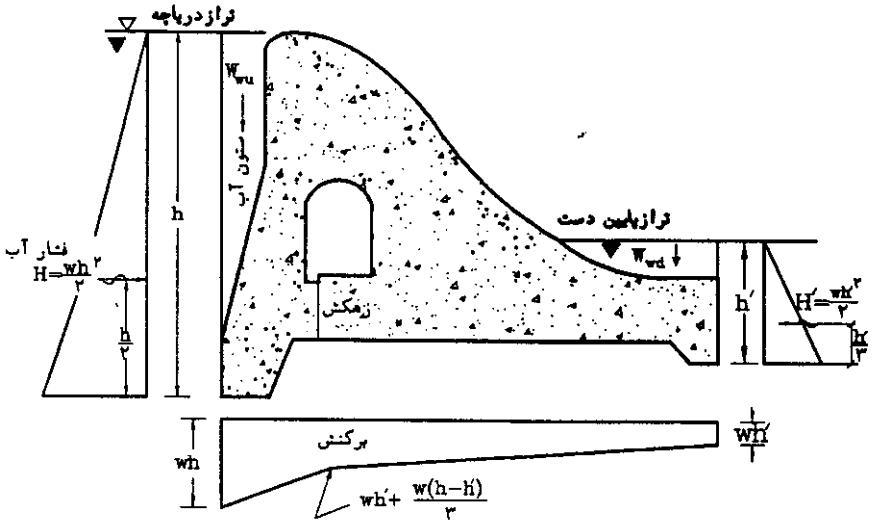
۴-۴-۲ وزن آب روی وجوه بالادست و پائین‌دست

روی وجوه شیبدار بالادست و پائین‌دست، وزن گوه‌ای از آب با وزن مخصوص یک تن بر متر مکعب در محاسبات پایداری منظور می‌شود. نیروهای F_3 و F'_3 در شکل (۴-۱) و نیروهای W_{wu} و W_{wd} در شکل (۴-۲).

۴-۴-۳ فشار جانبی آب

طبق اصول استاتیک سیالات، فشار ناشی از آب در عمق h مساوی $\gamma_w h$ می‌باشد که عمود بر سطح تماس اعمال می‌شود. γ_w وزن مخصوص آب است که در محاسبات مساوی ۱ تن بر متر مکعب منظور می‌شود. در صورتی که

مطابق شکل (۴-۲) وجه بالادست بند شیبدار باشد، فشار آب به دو مؤلفه قائم و افقی تقسیم می‌شود. مؤلفه قائم که با W_{wu} نشان داده می‌شود، وزن آب موجود روی وجه بالادست تا سطح مخزن می‌باشد که در مرکز ثقل آن اثر می‌کند. مؤلفه افقی هم با توزیع مثلثی روی تصویر قائم وجه بالادست تأثیر می‌نماید. (نیروی H در شکل ۴-۲). محل اثر این نیرو در فاصله یک سوم ارتفاع از قاعده بند قرار دارد.



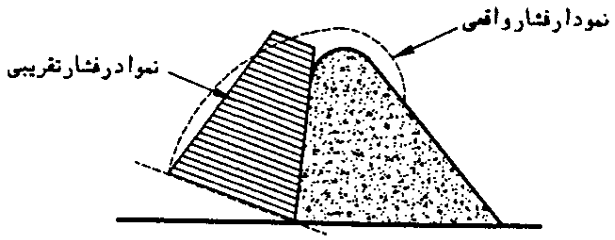
شکل ۴-۲- نیروهای ناشی از آب بر مقطع غیر سرریز بند

۴-۴-۴ فشار آب هنگام سرریز

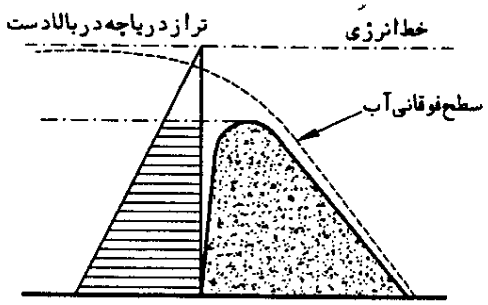
معمولاً از وزن آب در جریان از روی سرریز در محاسبات صرفنظر می‌شود، چون سرعت جریان در حد سرعت جهش بوده و لایه آب در آستانه جدایی از سطح سرریز است و در نتیجه هیچگونه فشاری بر آن وارد نمی‌کند. نیروی گریز از مرکز آب در حین جریان از روی سطوح مقعر پائین‌دست بند، مثلاً در آرام‌کننده جامی[1]، در صورتی که مقدار آن قابل توجه باشد، ممکن است در طراحی در نظر گرفته شود. اگر سرریز کنترل شده باشد، یعنی در روی آن دریچه نصب شده باشد، دریچه‌ها به عنوان جزیی از مقطع بند در نظر گرفته می‌شوند و فشار ایستابی وارد بر آنها در طراحی منظور می‌شود.

در حین عبور آب از روی سرریز، رأس مثلث فشار روی خط انرژی فرض می‌گردد و فشار قسمت ذوزنقه‌ای شکل این مثلث که در محدوده ارتفاع سرریز قرار دارد، به عنوان فشار مؤثر بر سرریز منظور می‌شود (قسمت سایه خورده در شکل ۴-۳).

1- Bucket



الف) فشارنظری



ب) فشار مفروض برای طراحی

شکل (۴-۳) فشار آب بر سرریزها

الف) فشارنظری

ب) فشار مفروض برای طراحی

۴-۴-۵ فشار آب پایاب

فشار آب پایاب نیز مانند فشار آب مخزن منظور می‌شود.

۴-۴-۶ فشار رسوب

رسوبات جمع شده در کف مخزن، فشارهای قائم و افقی بر وجه بالادست ایجاد می‌نمایند. در محاسبه نیروی قائم، وزن آن قسمت از رسوبی که در روی ناحیه شیبدار وجه بالادست قرار دارد، با وزن مخصوص ۱/۹۲۵ تن بر مترمکعب منظور می‌شود. در صورتی که قبلاً وزن آب موجود در روی ناحیه شیب‌دار وجه بالادست بطور کامل در نظر گرفته شده باشد، کافی است فقط وزن غوطه‌ور رسوب با وزن مخصوص غوطه‌ور ۰/۹۲۵ تن بر متر مکعب به آن اضافه شود.

در محاسبه فشار افقی، رسوب به صورت مایعی با وزن مخصوص ۱/۳۶ تن بر مترمکعب منظور می‌شود [۲۲] که فشار ناشی از آن بر روی تصویر قائم وجه بالادست عمل می‌کند. با توجه به اینکه قبلاً فشار ایستابی در تمام ارتفاع منظور شده است، کافی است اضافه فشار ناشی از وزن غوطه‌ور رسوب با وزن مخصوص غوطه‌ور ۰/۳۶ تن بر مترمکعب به فشار آب اضافه شود (نیروی F_4 در شکل ۴-۱).

به علت مقاومت برشی رسوب، در طراحی هیچگونه اضافه فشار دینامیکی برای رسوب در حین زلزله منظور نمی‌شود.

۴-۴-۷ فشار بر کنش

فشار بر کنش بر بندهای متکی بر پی تراوا در فصل سوم مورد بحث قرار گرفت.
آب موجود در مخزن به مرور زمان در درزها، شکافها و حفره‌های موجود در بدنه و در محل تماس بدنه با سطح زمین رسوخ کرده و یک فشار رو به بالا، (بر کنش)، در کلیه مقاطع افقی بند بوجود می‌آورد. در محاسبات مربوط به نیروی برکنش، همواره دو سوال اصلی وجود دارد:
۱- چند درصد از مقطع افقی تحت تأثیر نیروی برکنش قرار دارد؟
۲- فشار مؤثر بر کنش چقدر می‌باشد؟

بطورکلی اگر زهکشی انجام نشود، فشار بر کنش در بالادست مساوی ارتفاع آب مخزن تا تراز موردنظر و فشار برکنش در پائین‌دست، مساوی ارتفاع پایاب تا تراز موردنظر می‌باشد.

در پاسخ به سوال اول، در حال حاضر اکثر طراحان فرض می‌نمایندکه نیروی بر کنش بر ۱۰۰ درصد مقطع افقی تأثیر می‌نماید.
و در پاسخ به سوال دوم، فشار بر کنش در حالات مختلف ترکیب بار بشرح زیر محاسبه می‌گردد:

الف - فشار بر کنش در ترکیبات بارگذاری عادی

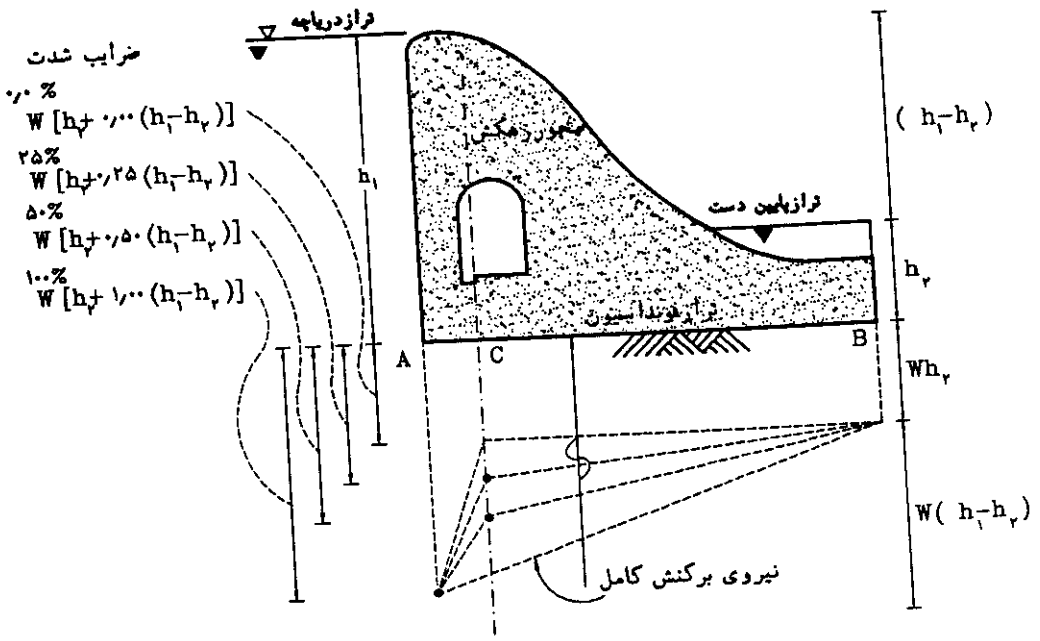
مطابق شکل (۴-۴)، فشار بر کنش در پاشنه A مساوی ارتفاع آب مخزن و فشار برکنش در پنجه B مساوی ارتفاع آب پایاب فرض می‌شود. فشار بر کنش در محل چاههای زهکش (نقطه C) مساوی فشار نقطه B به اضافه یک سوم اختلاف فشار A و B در نظر گرفته شده [۱۸] و فشارهای برکنش A و C و B به صورت خطی به یکدیگر وصل می‌شود (ضریب شدت $\frac{1}{3}$).

ب - فشار برکنش برای ترکیبات بارگذاری غیرعادی

برای ترکیبات غیرعادی که در آنها فرض می‌شود بنا به عللی چاههای زهکش گرفته و عمل نمی‌نمایند، فشار بر کنش به صورت خطی از فشار حداکثر آب مخزن در پاشنه (نقطه A) تا فشار پایاب تغییر می‌کند (ضریب شدت ۱).

پ - تأثیر زلزله

به علت تأثیرات آنی نیروی زلزله، فرض می‌شود که در حین وقوع زلزله تغییری در فشار بر کنش به وجود نمی‌آید.



شکل ۴-۴- توزیع فشار بر کنش برای ترکیبات عادی

۴-۴-۸ نیروهای زلزله

در نظر گرفتن نیروهای حاصل از زلزله در بندهای انحراف آب بستگی به بزرگی، ارتفاع و اهمیت آن دارد و برای غالب بندهای کوچک و عادی تعیین‌کننده نمی‌باشد.

زلزله دو تأثیر در نیروهای طراحی بندها دارد :

الف - ایجاد اضافه فشار حاصل از زلزله در فشار آب پشت بند

ب - ایجاد نیروی ماند[1] افقی و قائم در بدنه بند

1- Inertia Force

الف - اضافه فشار هیدرودینامیکی آب مخزن

مطالعات نظری نشان می‌دهد که توزیع اضافه فشار ناشی از زلزله آب مخزن، در ارتفاع به صورت سهمی است. متداولترین روش برای تعیین این اضافه فشار، روش زنگار[1] می‌باشد که توسط دفتر عمران ایالات متحده[2] توصیه شده است. طبق این روش شدت اضافه فشار هیدرودینامیک در عمق Z از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$P_e = C\alpha\gamma_w h \qquad (۱-۴)$$

در رابطه فوق P_e شدت اضافه فشار ناشی از زلزله، γ_w وزن مخصوص آب (مساوی ۱ تن بر مترمکعب)، h حداکثر عمق آب مخزن (متر) و α ضریب افقی زلزله که برابر است با :

$$\alpha = \frac{ABI}{R} \qquad (۲-۴)$$

که در آن:

A = شتاب مبنای طرح طبق پهنه‌بندی آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران

B = ضریب پاسخ که برای اجسام صلب مساوی ۲ فرض می‌شود

I = ضریب اهمیت (مساوی ۱ یا ۱/۲ براساس میزان خسارت وارده)

R = ضریب رفتار که مساوی ۴ می‌باشد

و C ضریبی است که از رابطه زیر بدست می‌آید و تابعی از عمق Z می‌باشد:

$$C = \frac{C_m}{۲}\left[\frac{Z}{h}\left(۲-\frac{Z}{h}\right)+\sqrt{\frac{Z}{h}\left(۲-\frac{Z}{h}\right)}\right] \qquad (۳-۴)$$

Z = عمق از سطح آب تا تراز موردنظر برای محاسبه فشار هیدرودینامیک

C_m = مقدار حداکثر C که طبق رابطه تقریبی زیر یا دقیقتر شکل (۴-۵) تعیین می‌شود.

$$C_m = ۰/۷۳\ \left(\frac{۹۰^\circ - \phi^\circ}{۹۰^\circ}\right) \qquad (۴-۴)$$

ϕ = زاویه‌ای که وجه بالادست بند با امتداد قائم می‌سازد. وجه بالادست غالباً دارای شیب ثابتی نیست و معمولاً ناحیه فوقانی آن به صورت قائم و ناحیه تحتانی آن شیبدار است. در چنین مواردی بدین ترتیب عمل می‌شود که اگر ارتفاع قسمت قائم بزرگتر از نصف ارتفاع بند باشد، وجه بالادست قائم فرض شده و ϕ مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود. اگر ارتفاع قسمت قائم کمتر از نصف ارتفاع کل باشد، شیب وجه بالادست مساوی شیب خطی فرض می‌شود که پاشنه را به محل تقاطع سطح آب با وجه بالادست وصل می‌کند.

1- ZANGAR

2- United States Bureau of Reclamation (USBR)

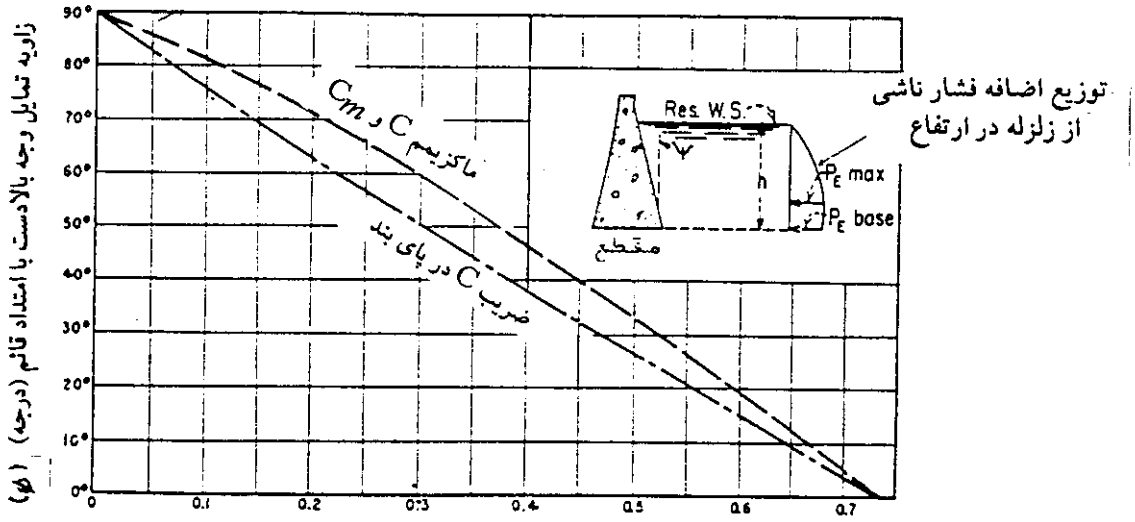
با محاسبه سطح زیر نمودار، برآیند اضافه فشار در عمق Z از رابطه زیر بدست می‌آید[۷]:

$$P_E = ۰/۷۲۶\ P_e.\ Z.$$ (۴-۵-الف)

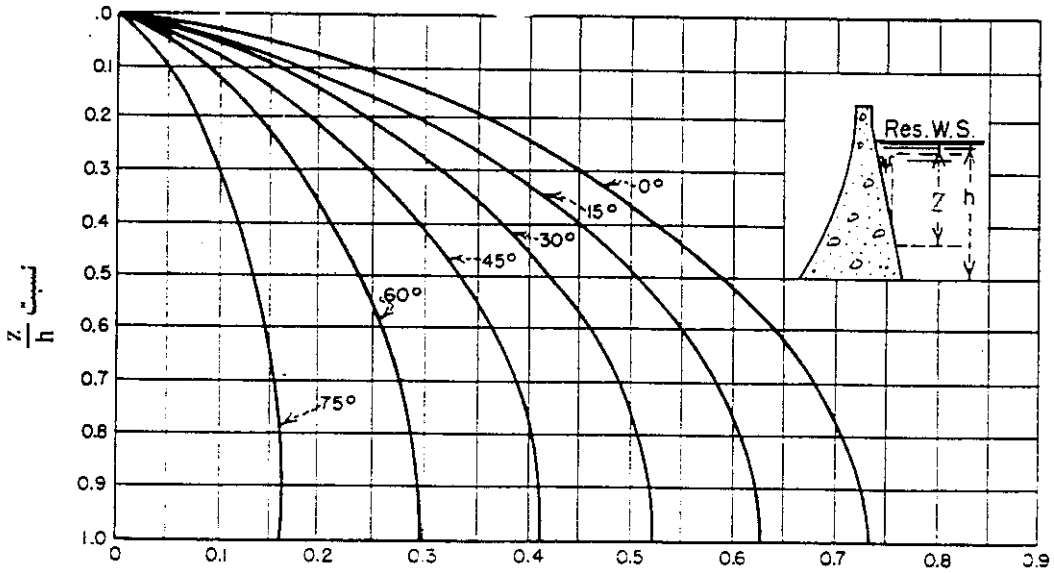
و لنگر اضافه فشار نسبت به ترازی در عمق Z برابر است با [۷]:

$$M_E = ۰/۳\ P_e\ Z^۲$$ (۴-۵-ب)

در روابط فوق P_e شدت اضافه فشار ناشی از زلزله در عمق Z می‌باشد.



الف - ضریب C_m و ضریب C در پایه



ب - ضریب فشار C

شکل ۴-۵- ضرایب C_m و C در رابطه زنگار [۷]

ب - ایجاد نیروی ماند افقی و قائم در بدنه بند

- مؤلفه افقی نیروی ماند

مقدار نیروی ماند زلزله در امتداد افقی از رابطه زیر بدست می‌آید و محل تأثیر آن در مرکز ثقل مقطع مورد مطالعه منظور می‌شود:

$$V = \alpha W \qquad (۶-۴)$$

در رابطه فوق α در قبل تعریف شده و :

W = وزن قطعه موردنظر

V = نیروی ماند القایی زلزله در امتداد افق

- مؤلفه قائم شتاب زلزله

مؤلفه قائم شتاب زلزله می‌تواند باعث سبکتر یا سنگین‌تر شدن جسم بند شود. برای در نظرگرفتن تأثیر شتاب قائم زلزله، وزن مخصوص بتن در ضریب $(۱ \pm \alpha_v)$ ضرب می‌گردد که در آن α_v شتاب قائم زلزله بوده و مقدار آن کسری از شتاب افقی ($\frac{۱}{۲}$ تا $\frac{۲}{۳}$) در نظر گرفته می‌شود. محققین در خصوص تأثیر و چگونگی تأثیر شتاب قائم زلزله متفق‌القول نیستند و در طراحی کمتر بندی این شتاب تعیین‌کننده بوده است.

۴-۴-۹ فشار موج

با وزش باد بر روی دریاچه مخزن بند، نیروی مالشی در سطح دریاچه به وجود آمده و سطح دریاچه مواج می‌شود. برای تعیین ارتفاع موج حداکثر، از رابطه زیر استفاده می‌شود [۱۸].

$$h_w = ۰/۰۳۲ \sqrt{V.F} + ۰/۷۵۳ - ۰/۲۷۱ F^{۰/۲۵} \quad (F < ۳۲\,km) \qquad (۷-۴)$$

$$h_w = ۰/۰۳۲ \sqrt{V.F} \quad (F > ۳۲\,km) \qquad (۸-۴)$$

که در رابطه فوق :

h_w = ارتفاع موج بر حسب متر

V = سرعت باد بر حسب کیلومتر بر ساعت

F = دور خیز باد بر حسب کیلومتر (در بندهای انحراف می‌تواند به اندازه طول دریاچه انتخاب گردد).

حداکثر فشار تولید شده به علت موج از رابطه زیر بدست می‌آید [۱۸]:

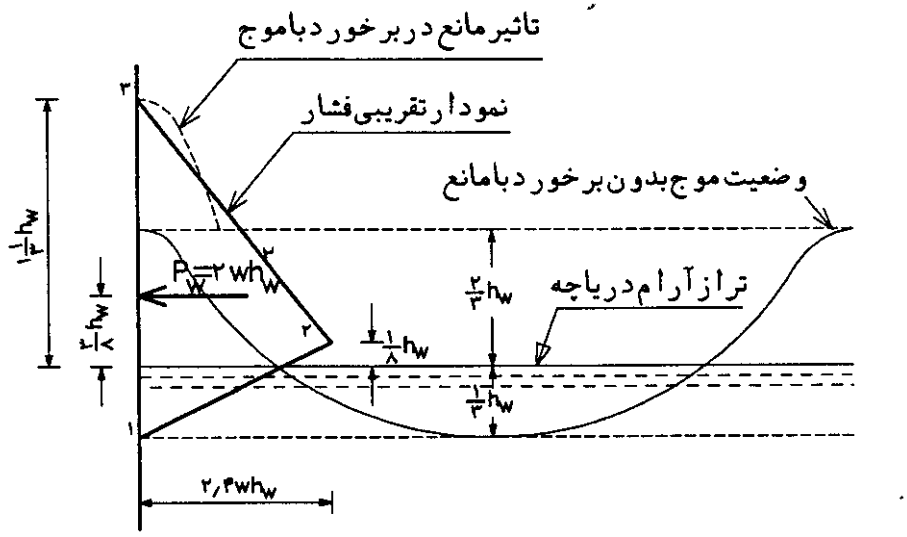
$$P_w = ۲/۴ \; wh_w \qquad (۹-۴)$$

که در ارتفاعی مساوی h_w ۰/۱۲۵ از تراز آرام دریاچه اثر می‌نماید.

برآیند فشار ناشی از موج برای عرض واحد از رابطه زیر محاسبه می‌گردد [۱۸]:

$$P_w = ۲/۰ wh^۲_w \qquad (۱۰-۴)$$

مطابق شکل (۴-۶) مرکز هندسی نمودار فشار موج در h_w ۰/۳۷۵ از تراز آرام دریاچه قرار دارد.



شکل ۴-۶- فشار موج (فقط برای مناطق عمیق مورد استفاده قرار می‌گیرد) [۱۸]

۴-۴-۱۰ فشار باد

در طراحی بندها معمولاً فشار باد در نظر گرفته نمی‌شود، لیکن در صورت لزوم، می‌توان فشار باد را مساوی ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع سطح بادگیر در نظر گرفت [۱۸].

۴-۴-۱۱ فشار یخ

در صورتی که امکان یخبندان سطح دریاچه وجود داشته باشد، فشار یخ در محل تماس ضخامت لایه یخ بسته با وجه بالادست بند، مساوی ۲۵ تن برمترمربع در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال اگر ضخامت یخبندان مساوی ۶۰سانتیمتر باشد (که ضخامت قابل توجهی برای مناطق بسیار سردسیر است)، نیروی ناشی از یخ مساوی (تن) ۱۵=۰/۶×۲۵ در واحد عرض بند در تراز سطح دریاچه خواهد بود [۱۸].

فصل پنجم - تحلیل و طراحی

۵-۱ کلیات

این فصل اختصاص به تحلیل و طراحی سازه‌ای بندهای وزنی دارد. بند انحراف اساساً در رده سازه‌های وزنی قرار دارد و از نقطه‌نظر سازه‌ای، در اینگونه سازه‌ها، باید کنترل‌ها و محاسبات زیر انجام گردد.

الف - محاسبه تنش در محل تماس با پی و مقاطع افقی مختلف

ب - کنترل واژگونی

پ - کنترل لغزش

۵-۲ محاسبه تنش در محل تماس با پی و در هر مقطع افقی دلخواه

۵-۲-۱ روشهای دستی

در این حالت یک بلوک یا نوار قائم به عرض یک متر، فرض می‌شود که به صورت یک تیر طره‌ای قائم عمل می‌کند. سایر مفروضات به شرح زیر می‌باشند:

- مصالح شالوده و جسم بند همگن و همسانگرد[1] می‌باشند.
- تنش‌ها در شالوده و جسم بند در محدوده ارتجاعی[2] هستند.
- به علت انتقال تنش‌ها، هیچگونه حرکتی در شالوده ایجاد نمی‌شود.
- شالوده (سنگ پی) و بند به صورت یک واحد یکپارچه عمل می‌کنند.
- هیچگونه نیرویی به واسطه عمل تیر افقی به تکیه‌گاههای جانبی انتقال پیدا نمی‌کند.
- محاسبات تنش و پایداری برای نوار قائمی از بند به عرض یک متر انجام می‌شود.
- بازشوها و سوراخها اثر موضعی داشته و در پایداری کلی تأثیری نمی‌گذارند.

۵-۲-۱-۱ تنش در وجوه بالادست و پائین‌دست

در شکل (۵-۱) دستگاه مختصات و علائم قراردادی انتخابی برای نیروها در مقطع عرضی یک بند بتنی به همراه مقطع افقی موردنظر به موازات قاعده بند نشان داده شده است. در این شکل داریم:

σ_z = تنش قائم در امتداد قائم (از این به بعد به اختصار تنش قائم‌نامیده می‌شود).

σ_y = تنش قائم در امتداد افقی (از این به بعد به اختصار تنش افقی نامیده می‌شود).

σ_{zy} = تنش برشی

1- Isotropic 2- Elastic

مرکز مختصات همواره در پائین‌دست مقطع افقی در نظر گرفته می‌شود. توزیع σ_z در روی صفحه افقی به صورت خطی در نظر گرفته شده که در نتیجه تغییرات آن به صورت زیر در می‌آید:

$$\sigma_z = a + by \qquad (۵-۱)$$

با استفاده از روابط تعادل نیروهای قائم و تعادل لنگرها در حول مرکز، سطح مقطع افقی به‌دست می‌آید، شکل (۵-۲).

(تعادل نیروها) $$W = \frac{۱}{۲}(a + a + bT)\ T$$

و

(تعادل لنگرها) $$M = \frac{۱}{۲}(a - a - bT)\ T.\frac{T}{۶}$$

با حل معادلات فوق بدست می‌آید:

(۵-۲) (علامت M منظور گردد) $$a = \frac{W}{T} - \frac{۶M}{T^۲} \quad و \quad b = \frac{۱۲M}{T^۳}$$

که در آن :

W = نیروی محوری در مرکز سطح مقطع مورد مطالعه برحسب تن

M = لنگر خمشی در مرکز سطح مقطع مورد مطالعه برحسب تن – متر

T = بعد مقطع افقی در صفحه خمش

با تعریف برون محوری طبق رابطه زیر:

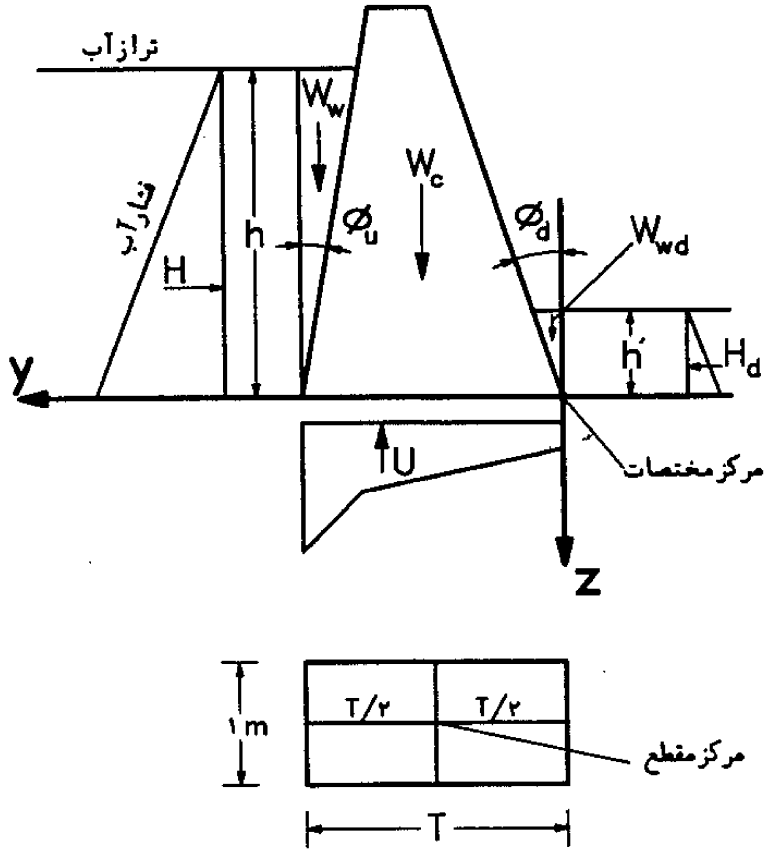
$$e = \frac{M}{W}$$

تنشهای قائم بالادست و پائین‌دست با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

(۵-۳-الف) $$\sigma_{zu} = \frac{W}{T}(۱ + \frac{۶e}{T}) \quad (بالادست)$$

(علامت e منظور گردد)

(۵-۳-ب) $$\sigma_{zd} = \frac{W}{T}(۱ - \frac{۶e}{T}) \quad (پائین‌دست)$$



شکل ۵-۱- مقاطع قائم و افقی و جهت مثبت نیروها

الف - مقطع قائم

ب - مقطع افقی

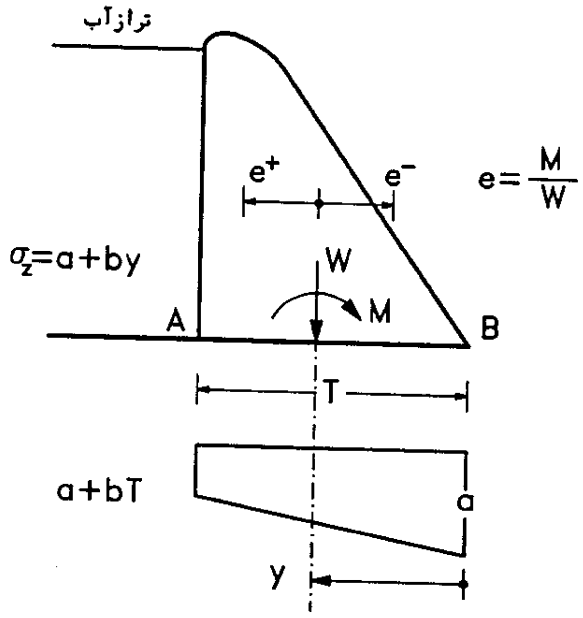
توجه : تمام نیروها در جهت مثبت فرضی نشان داده شده‌اند.

با تعیین مقدار تنش قائم σ_z در وجه بالادست و پائین‌دست، مقادیر تنش افقی σ_y و تنش برشی τ_{yz}، تنش‌های اصلی σ_p در وجوه بالادست و پائین‌دست قابل محاسبه می‌شود. بدین منظور مطابق شکل (۵-۳) یک جزء مثلثی در وجه پائین‌دست در نظر گرفته می‌شود. در این شکل σ_{zd} تنش قائم در پائین‌دست است که از رابطه ۵-۳- ب محاسبه می‌شود. P_d فشار در وجه پائین‌دست به علت فشار پایاب و σ_{pd} تنش اصلی به موازات وجه پائین‌دست می‌باشد. با استفاده از رابطه تعادل نیروها در امتداد قائم، تنش اصلی σ_{pd} بدست می‌آید:

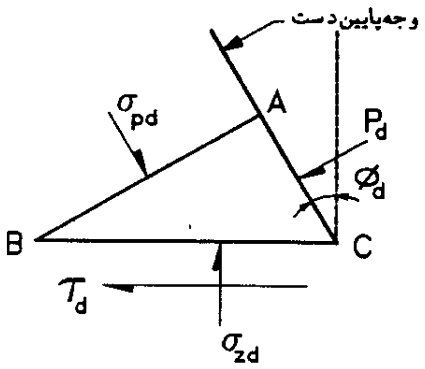
$$\sigma_{pd} = \frac{\sigma_{zd}}{\cos^2 \phi_d} - P_d \tan^2 \phi_d \qquad (۴-۵)$$

در رابطه فوق، ϕ_d زاویه وجه پائین‌دست با امتداد قائم است . در صورتی که فشار موجود در وجه پائین‌دست در نظر گرفته نشود، تنش اصلی در وجه پائین‌دست، از تقسیم تنش قائم بر مجذور کسینوس شیب وجه پائین بدست می‌آید. با استفاده از رابطه تعادل نیروها در امتداد افقی برای جزء شکل (۵-۳) مقدار تنش برشی در وجه پائین‌دست، بدست می‌آید:

$$\tau_d = (\sigma_{zd} - P_d) \tan \phi_d \qquad (۵-۵)$$



شکل ۵-۲- تغییرات تنش قائم σ_z



شکل ۵-۳- وضعیت تنشها در یک جزء کوچک در وجه پائین‌دست

همچنین با استفاده از رابطه تعادل نیروهای افقی برای جزء شکل (۵-۴)، تنش افقی σ_{yd} در وجه پائین‌دست بدست می‌آید:

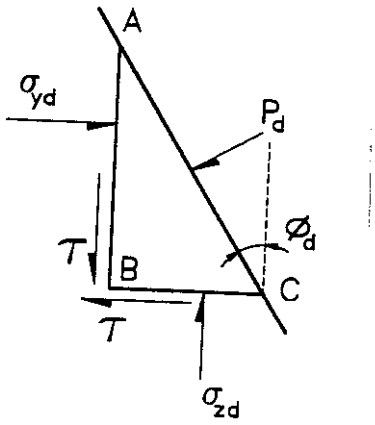
$$\sigma_{yd} = \sigma_{zd} \tan^{۲} \phi_d + P_d (۱ - \tan^{۲} \phi_d) \qquad (۶-۵)$$

روابط نظیر در وجه بالادست بصورت زیر بدست می‌آید:

$$\sigma_{pu} = \sigma_{zu}/\cos^{۲} \phi_u - P_u \tan^{۲} \phi_u \qquad (۷-۵)$$

$$\tau_u = -(\sigma_{zu} - P_u) \tan \phi_u \qquad (۸-۵)$$

$$\sigma_{yu} = \sigma_{zy} \tan^{۲} \phi_u + P_u (۱ - \tan^{۲} \phi_u) \qquad (۹-۵)$$



شکل ۵-۴- تنشهای قائم، افقی و برشی مؤثر به جزء کوچک در وجه پائین‌دست

در روابط فوق :

σ_{zu} = تنش قائم در وجه بالادست

σ_{pu} = تنش اصلی در وجه بالادست

τ_u = تنش برشی در وجه بالادست

σ_{yu} = تنش افقی در وجه بالادست

ϕ_u = زاویه وجه بالادست با امتداد قائم

P_u = فشار مؤثر بر سطح آزاد وجه بالادست به علت فشار آب مخزن

P_d = فشار هیدرواستاتیک در وجه پائین‌دست

ϕ_d = زاویه وجه پائین‌دست با امتداد قائم

σ_{zd} = تنش قائم در وجه پائین‌دست

σ_{pd} = تنش اصلی در وجه پائین‌دست

τ_d = تنش برشی در وجه پائین‌دست

σ_{yd} = تنش افقی در وجه پائین‌دست

۵-۲-۲ روش‌های کامپیوتری

در حال حاضربهترین روش برای حل عددی تنش در محیط های پیوسته، استفاده از تحلیل اجزای محدود می‌باشد که نرم‌افزارهای موجود در این زمینه عبارتند از:

۱- ADAP (Berkely, California, ۱۹۷۳)

۲- EADAP (Berkely, California, ۱۹۸۹)

۳- PADAP (Tehran, Iran, ۱۹۹۳)

۵-۳ ایمنی در مقابل واژگونی

فلسفه کنونی طراحی بندهای بتنی عدم ایجاد تنش کششی در وجه بالادست به علت تأثیر نیروهای وارده است. در صورت رعایت چنین شرطی برآیند نیروهای وارده در یک سوم میانی قاعده قرار گرفته و ضریب اطمینانی بزرگتر از ۲ در مقابل واژگونی وجود خواهد داشت. بنابراین با رعایت شرط عدم ایجاد کشش در وجه بالادست، کنترل ضریب اطمینان واژگونی لازم نیست. در صورت نیاز به چنین کنترلی، ضریب اطمینان حداقل در مقابل واژگونی مساوی ۲ منظور می‌شود.

۵-۴ ایمنی در مقابل لغزش

بر حسب در نظر گرفتن و یا نگرفتن تنش چسبندگی در نیروی مقاوم لغزشی، دو روش برای تعیین ضریب اطمینان در مقابل لغزش وجود دارد:

الف - ضریب اطمینان در مقابل لغزش با منظورکردن تنش چسبندگی

در این روش ضریب اطمینان در مقابل لغزش در تراز موردنظر، از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S.F = \frac{R}{\Sigma H} \qquad (۱۰-۵)$$

که در آن :

S.F = ضریب اطمینان در مقابل لغزش

ΣH =کل نیروی افقی وارده در بالای تراز موردنظر

R = نیروی مقاوم در مقابل لغزش

در صورتی که سطح لغزش به صورت افقی باشد، نیروی مقاوم در مقابل لغزش از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = f(\Sigma W - U) + C.A \qquad (۱۱-۵)$$

که در آن :

f = ضریب اصطکاک سطح تماس (عددی بین ۰/۶ تا ۱ برای سطح تماس بتن روی سنگ یا بتن روی بتن)

ΣW = مجموع نیروی قائم رو به پائین

U = نیروی بر کنش

C = تنش چسبندگی سطح تماس. مقدار آن برای سطح تماس بتن با بتن، یا بتن روی سنگ باید براساس یک آزمایش مناسب به‌دست آید.

A = مساحت تحت فشار مقطع

در صورتی که سطح لغزش مطابق شکل (۵-۵) شیبدار باشد، رابطه ۵-۱۱ بصورت زیر در می‌آید:

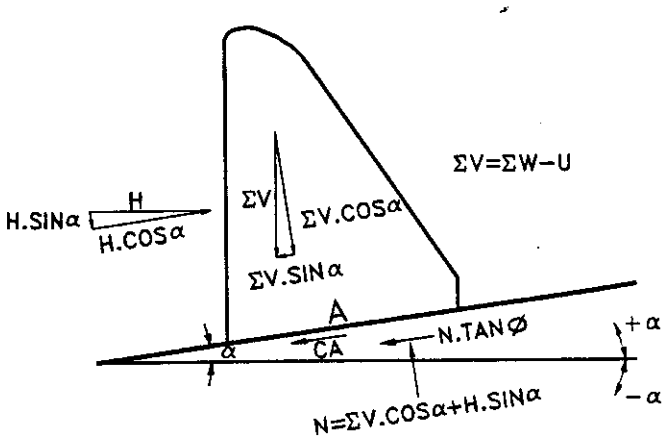
$$R = (\Sigma W - U)(f + \tan\alpha) + \frac{C.A}{\cos\alpha(1 - f\tan\alpha)} \qquad (۱۲-۵)$$

تمام علایم رابطه فوق قبلاً تعریف شده‌اند و α نیز زاویه شیب سطح لغزش با افق مطابق شکل (۵-۵) می‌باشد.

در صورت وجود فشار مقاوم در جلوی پنجه بند، آن را می‌توان در نیروی مقاوم به حساب آورد. در این صورت نیروی مقاوم اصلاح شده برابر خواهد شد با:

$$R' = R + P_p \qquad (۱۳-۵)$$

در رابطه فوق R طبق معادلات ۵-۱۱ یا ۵-۱۲ محاسبه شده و P_p فشار مقاوم موجود در جلوی پنجه است.



شکل ۵-۵- سطح لغزش شیبدار [۱۴]

ضرائب اطمینان در مقابل لغزش برای ترکیبهای بار فصل چهارم بصورت جدول ۵-۱ پیشنهاد می‌گردد [۱۸]:

جدول ۵-۱- ضرایب اطمینان کلی

ردیف	ترکیب بارگذاری	ضریب اطمینان حداقل لغزش
۱	۱،۲و۳	۴/۰
۲	۴و۵	۳/۰
۳	۶و۷	۱/۵

به صورت دیگر ضریب اطمینان در مقابل لغزش را با استفاده از فلسفه ضریب اطمینان جزیی، می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$F = \frac{\frac{f(\Sigma W - U)}{F_\phi} + \frac{CA}{F_c}}{\Sigma H} \qquad (۱۴-۵)$$

که در آن:

F = ضریب اطمینان در مقابل لغزش (همواره بزرگتر از ۱)

F_ϕ = ضریب اطمینان جزیی اصطکاکی

F_c = ضریب اطمینان جزیی چسبندگی

مقادیر F_ϕ و F_c طبق جدول ۵-۲ می‌باشند [۱۸]:

جدول ۵-۲- ضرایب اطمینان جزیی

ردیف	ترکیبات بار	F_ϕ	F_c		
			برای درزهای افقی و سطح تماس بند با پی	برای پی	
				با شناسایی کامل	سایر موارد
۱	۳و۲،۱	۱/۵	۳/۶	۴/۰	۴/۵
۲	۵و۴	۱/۲	۲/۴	۲/۷	۳/۰
۳	۷و۶	۱/۰	۱/۲	۱/۳۵	۱/۵

ب - ضریب اطمینان در مقابل لغزش بدون منظورکردن تنش چسبندگی

در این روش ضریب اطمینان در مقابل لغزش از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S.F = \frac{f'(\Sigma W - U)}{\Sigma H} \qquad (۱۵-۵)$$

که در آن :

ΣW = مجموع نیروی قائم رو به پائین

U = نیروی بر کنش

ΣH =کل نیروی افقی وارده در بالای تراز موردنظر

مقادیر ضریب اصطکاک f' و ضریب اطمینان طبق جدول ۵-۳ تعیین می‌شود [۱۹] :

جدول ۵-۳- ضرایب اطمینان و ضرایب لغزش ایمن

نوع مصالح	ضریب لغزش f'	حداقل ضریب اطمینان پیشنهادی (بدون منظور کردن چسبندگی)
بتن روی بتن	۰/۶۵ تا ۰/۸	۱ تا ۱/۵
بتن روی سطح سنگی سالم، تمیز و نامنظم	۰/۸	۱ تا ۱/۵
بتن روی سنگ، با مقداری لایه‌بندی	۰/۷	۱ تا ۱/۵
بتن روی شن و ماسه درشت	۰/۴	۲/۵
بتن روی ماسه	۰/۳	۲/۵
بتن روی سنگ رس (شیل)	۰/۳	۲/۵
بتن روی لای و رس	*	* ۲/۵

کاربرد این روش اکثراً در مورد سدهای وزنی با ارتفاع کم که به عنوان بندهای انحراف آب در روی بستر آبرفتی احداث می‌شوند، مطرح می‌باشد.

۵-۵ تنشهای مجاز

الف - تنش کششی مجاز

اکثر آیین‌نامه‌ها، حتی در ترکیباتی که در آنها نیروی زلزله وجود دارد، اجازه هیچ‌گونه تنش کششی (با منظور کردن نیروی بر کنش) را در بالادست (پاشنه) نمی‌دهند. در حالت مخزن خالی، ممکن است در پائین‌دست (پنجه) تنش کششی بوجود آید. در چنین مواردی بعضی آیین‌نامه‌ها تنش کششی را درحدود ۵کیلوگرم بر سانتیمترمربع در مقاطع افقی که از داخل بدنه بند می‌گذرد، مجاز می‌دانند.

تنش‌های مجاز کششی زیر برای ترکیبهای بارگذاری منعکس در فصل چهارم قابل توصیه است.

در ترکیب بار ۲، نباید هیچ‌گونه تنش کششی در وجه بالادست بند در ترازهای مختلف بوجود آید. برای دیگر ترکیبات بار تنشهای کششی مجاز اسمی در جدول شماره ۵-۴ ذکر شده است [۲۱].

* برای تعیین مقدار مناسب باید آزمایش صورت بگیرد.

جدول ۵-۴- تنش‌های کششی مجاز

ترکیب بار	تنش کششی مجاز
۳	۰/۰۰۸ f'_c
۴	۰/۰۱۶ f'_c
۵	۰/۰۱۶ f'_c
۶	۰/۰۳۲ f'_c

f'_c = مقاومت نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه

در ترکیب بار ۱ (مخزن خالی)، مقادیر تنش کششی کوچک در وجه پائین‌دست اجازه داده می‌شود، زیرا این تنش‌ها دائمی نیستند و در حالت سرویس بسته می‌شوند.

ب - تنش مجاز فشاری

مقاومت فشاری بتن مورد استفاده در بندهای انحراف آب بتنی، حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در روی نمونه استوانه‌ای می‌باشد. تنش فشاری مجاز با اعمال ضریب اطمینان بر مقاومت فشاری بتن بدست می‌آید. برای ترکیبهای بار ۱، ۲ و ۳ ضریب اطمینانی مساوی ۳ با حداکثر مقاومت فشاری ۱۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، برای ترکیبهای بار ۴، ۵ و ۶ ضریب اطمینانی مساوی ۳ × ۰/۷۵ با حداکثر مقاومت فشاری ۱۳۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، و برای ترکیبهای بار ۷ و ۸، ضریب اطمینانی مساوی ۱/۵ پیشنهاد می‌شود که بر مقاومت نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه اعمال می‌شوند. مقاومت فشاری سنگ پی نیز از اعمال ضرایب اطمینان ۴، ۲/۷ و ۱/۳ [به‌ترتیب برای ترکیبهای بار عادی (۱، ۲ و ۳)، غیرعادی (۴، ۵ و ۶) و فوق‌العاده (۷ و ۸)] بر مقاومت فشاری سنگ بدست می‌آید.

پ - احداث ماهیچه

در صورتی که تنش‌های موجود از تنش مجاز تجاوز کند، ولی مقدار اختلاف چندان بزرگ نباشد، می‌توان با دادن پخ (ماهیچه) تنش‌ها را به مقدار مجاز رساند. ارتفاع حداکثر ماهیچه با استفاده از روابط زیر به دست می‌آید [۱۸]:
ارتفاع ماهیچه در پاشنه (بالادست):

$$h_f = ۰/۰۶\ h - \frac{۰/۶۵۸}{۱۰۰۰۰}\ h^۲ - ۱/۰۷ \qquad (۱۶-۵)$$

ارتفاع ماهیچه در پنجه (پائین‌دست):

$$h_f = ۰/۰۶۵\ h - \frac{۱/۱}{۱۰۰۰۰} h^۲ - ۰/۹ \qquad (۱۷-۵)$$

که در آن :

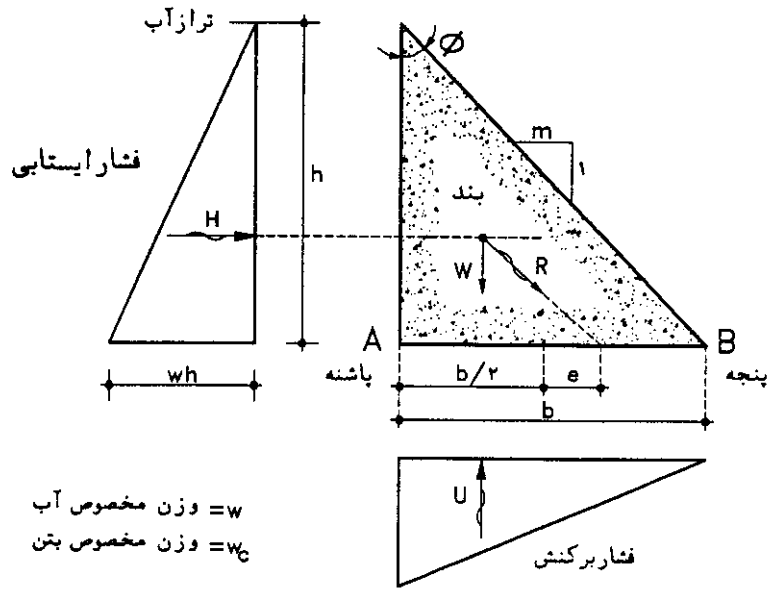
h = ارتفاع بند برحسب متر (بزرگتر از ۲۰ متر)

h_f = ارتفاع ماهیچه برحسب متر

شیب ماهیچه در بالادست (پاشنه)، ۱ افقی به ۲ قائم و در پائین‌دست (پنجه)، ۲ افقی به ۱ قائم منظور می‌شود. استفاده از ماهیچه و روابط فوق غالباً برای بندهای بلندتر از ۲۰ متر مطرح می‌باشد.

۶-۵ هندسه اولیه مقطع بند انحراف آب

اگر فقط فشار ایستابی در نظر گرفته شود، مقطع آرمانی بند، یک مثلث قائم‌الزاویه خواهد بود که رأس آن منطبق بر محل فشار صفر بوده و عرض قاعده آن مساوی b می‌باشد. در شکل (۵-۶) این مقطع آرمانی به همراه نمودار فشار ایستابی و فشار بر کنش با توزیع مثلثی نشان داده شده است. مقطع مثلث قائم‌الزاویه دارای این خاصیت است که در حالت مخزن خالی و فشار بر کنش صفر، وقتی که فقط تحت تأثیر وزن قرار دارد، برآیند نیروهای خارجی از ثلث قاعده عبور کرده و مقدار تنش در محل پنجه (B) مساوی صفر می‌باشد.



شکل ۵-۶- مقطع اولیه بند وزنی [۱۸]

۵-۷ تعیین حداقل عرض پایه برای شرایط طراحی مختلف

در این بخش هدف تعیین تناسبی بین عرض قاعده و ارتفاع بند بر حسب وضعیت نیروهای وارده می‌باشد. با توجه به روابط حاصل، طراح می‌تواند برحسب نیروهای موثر، تناسب اولیه‌ای قبل از انجام کنترل دقیق، بین قاعده و ارتفاع تخمین بزند.

حالت ۱- بند ایمن در مقابل واژگونی (بدون فشار بر کنش)

با گرفتن لنگر حول نقطه B، شکل (۵-۶):

لنگر W حول نقطه B:

$$M = \frac{w_c\, mh^2}{2} \times \frac{2mh}{3} = \frac{w_c m^2 h^3}{3}$$

لنگر H حول نقطه B:

$$M = \frac{w.h^3}{6}$$

با ضریب اطمینان ۱ در مقابل واژگونی داریم:

$$\frac{w_c m^2 h^3}{3} - \frac{wh^3}{6} \geq \qquad \text{یا} \qquad m \geq \sqrt{\frac{w}{2w_c}} \geq 0/456$$

$(w_c = 2/4\ t/m^3 \quad ; \quad w = 1\ t/m^3)$

پس نتیجه می‌شود:

$$b \geq 0/456\ h \qquad (۵-۱۸)$$

حالت ۲- بند ایمن در مقابل واژگونی (فشار بر کنش با توزیع مثلثی):

$$\frac{w_c m^2 h^3}{3} - \frac{wh^3}{6} - \frac{wm^2 h^3}{3} \geq 0$$

$$m \geq \sqrt{\frac{w}{2(w_c - w)}} \geq 0/595 \rightarrow b \geq 0/595\, h \qquad (۵-۱۹)$$

حالت ۳- بند ایمن در مقابل واژگونی (فشار بر کنش با توزیع مستطیلی) :

$$\frac{w_c m^2 h^3}{3} - \frac{w h^3}{6} - \frac{w m^2 h^3}{2} \geq 0$$

$$m \geq \sqrt{\frac{w}{(2w_c - 3w}} \geq 0/748 \quad \rightarrow \quad b \geq 0/748h \qquad (۲۰-۵)$$

حالت ۴- بند ایمن در مقابل لغزش (بدون فشار برکنش)

$$\frac{H}{W} = f \leq 0/75 \qquad \text{(به فرض)}$$

$$\frac{\frac{wh^2}{2}}{\frac{w_c m h^2}{2}} \geq 0/75$$

$$m \geq \frac{4w}{3w_c} \geq 0/555 \quad \rightarrow \quad b \geq 0/555\ h \qquad (۲۱-۵)$$

توضیح : با توجه به اینکه ضرایب اطمینان به کار رفته در حالتهای ۱، ۲، ۳ و ۴ مساوی ۱ منظور شده است، این مطالعات جنبه علمی داشته و ارزش عملی ندارند.

حالت ۵- بند ایمن در مقابل لغزش (فشار بر کنش با توزیع مثلثی):

$$\frac{H}{W - U} = f \leq 0/75$$

$$\frac{\frac{wh^2}{2}}{\frac{w_c m h^2}{2} - \frac{wmh^2}{2}} \leq 0/75$$

$$m \geq \frac{4w}{3(w_c - w)} \geq 0/952 \quad \rightarrow \quad b \geq 0/952\ h \qquad (۲۲-۵)$$

حالت ۶- عدم ایجاد تنش کششی در بند (بدون فشار بر کنش)

در محاسبات زیر تنش فشاری با علامت مثبت و تنش کششی با علامت منفی منظور می‌شود:

تنش ناشی از وزن:

$$\sigma_{zu} = \frac{۲w_c hb}{۲b} = w_c h \quad \text{تنش قائم در بالادست (پاشنه)}$$

$$\sigma_{zd} = ۰ \quad \text{تنش قائم در پائین‌دست (پنجه)}$$

تنش ناشی از فشار ایستابی:

$$\sigma_{zu} = -\frac{wh^۳}{۶} \cdot \frac{۶}{b^۲} = -\frac{wh^۳}{m^۲ . h^۲} = -\frac{wh}{m^۲} \quad \text{تنش قائم در بالادست (پاشنه)}$$

$$\sigma_{zd} = \frac{wh}{m^۲} \quad \text{تنش قائم در پائین‌دست (پنجه)}$$

با ترکیب دو تنش بالادست خواهیم داشت :

$$\sigma_{zu} = w_c h - \frac{wh}{m^۲} \geq ۰$$

$$w_c h \geq \frac{wh}{m^۲} \qquad m \geq \sqrt{\frac{w}{w_c}} \geq ۰/۶۴۵ \qquad (۲۳-۵)$$

حالت ۷- تنش فشاری قائم در هر تراز، از فشار آب مخزن در آن نقطه کمتر نباشد [۱]. با استفاده از رابطه تنش حالت ۶ می‌توان نوشت :

$$h(w_c - \frac{w}{m^۲}) \geq wh$$

$$m \geq \sqrt{\frac{w}{w_c - w}} \geq ۰/۸۴۵ \qquad (۲۴-۵)$$

یعنی حدود ۳۱ درصد افزایش نسبت به حالت ۶

حالت ۸- عدم ایجاد تنش کششی در بند (فشار بر کنش با توزیع مثلثی)

۱- بر اساس معیار موریس لوی (Mauric Levy's Criterion)

با استفاده از حالت ۶ و احتساب تنش کششی ناشی از فشار بر کنش، می‌توان نوشت:

$$(w_c - w)\, h \geq \frac{wh}{m^2}$$

که از آن نتیجه می‌شود:

$$m \geq \sqrt{\frac{w}{w_c - w}} \geq ۰/۸۴۵ \qquad (۲۵-۵)$$

که همان تناسب به دست آمده از معیار لوی است.

۵-۸ طراحی سازه‌ای سایراجزای بند

الف - حوضچه‌ها

حوضچه‌ها همانند سازه‌های نگهدارنده آب (مخازن) می‌باشند که برای طراحی آنها باید به نشریه ۱۲۳ تا ۱۲۵ سازمان برنامه و بودجه تحت عناوین ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی، مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی و مجموعه نقشه‌های مخازن تیپ مراجعه گردد.

ب - دیوارهای حفاظتی

دیوارهای حفاظتی همانند دیوارهای حائل است که وظیفه آنها حفظ پایداری جناحین رودخانه و ساماندهی جریان می‌باشند. طراحی و تحلیل این دیوارها طبق موازین، آئین نامه بتن ایران (آبا) انجام میگیرد. ضمناً موضوع طراحی سازه‌ای دیوارهای حائل می‌تواند خود موضوع استاندارد جداگانه‌ای باشد.

پ - پل دسترسی

بارگذاری پل دسترسی طبق آئین نامه ۱۳۹ سازمان برنامه و بودجه تحت عنوان آئین‌نامه بارگذاری پل‌ها می‌باشد و طراحی آن مطابق آئین نامه‌های موجود در این زمینه است.

بطورکلی در ترکیب سایر سازه‌ها با بند انحراف باید ضوابط طراحی چنین سازه‌هایی نیز مدنظر قرار گیرد و در هر حال استاندارد حاکم مشخص شود.

فصل ششم - روشهای اجرایی

۶-۱ عملیات انحراف موقت آب رودخانه

۶-۱-۱ کلیات

عملیات احداث بند انحراف آب، نیاز به عملیات انحراف موقت آب دارد. اهمیت این موضوع دو چندان می‌شود اگر این حقیقت در نظر گرفته شود که عملیات انحراف آب رودخانه، جزء ردیفهای مهم مخارج احداث بند انحراف آب است.

هر ساختگاه ویژگیها و محدودیتهای مربوط به خود را دارد، ویژگیهای عرض و عمق رودخانه می‌تواند در تعیین روش انحراف آب مؤثر باشد. عوامل مؤثر دیگر، عمق و جنس آبرفت، توپوگرافی ، و رژیم جریان آب رودخانه می‌باشد. وجود فصول خشک و یا سدهای تنظیمی در بالادست رودخانه از دیگر عوامل مؤثر در انتخاب روش انحراف آب است. حفظ قابلیت کشتیرانی در رودخانه و مهاجرت ماهی‌ها از سایر عوامل محدودکننده دیگر می‌باشد.

۶-۱-۲ عملیات انحراف در دره‌های عمیق و کم عرض (دره‌ای)

در دره‌های عمیق و کم عرض، عملیات انحراف آب رودخانه از طریق یکی از روشهای زیر انجام می‌شود:

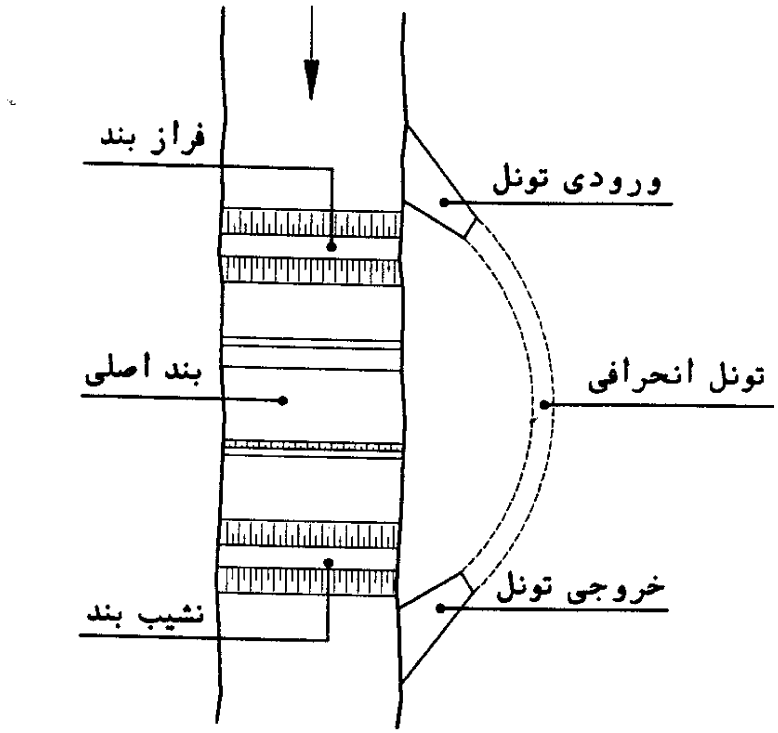
- تونل
- آبروی لوله‌ای موقت

در اشکال (۶-۱) و (۶-۲) ترتیبات کلی کار ارائه شده است، توجه شود که در حالت انحراف تونلی، عملیات پرهزینه خواهد بود و این شیوه اجرایی بیشتر برای احداث سدها به‌کار گرفته می‌شود.

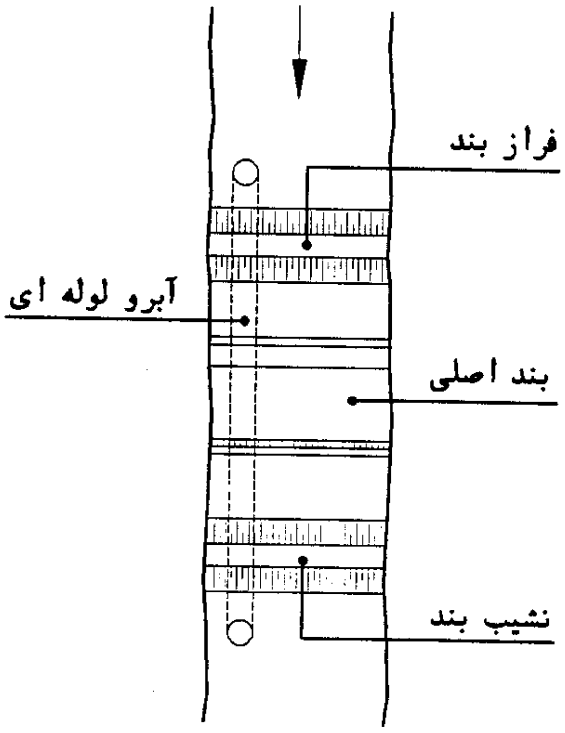
۶-۱-۳ عملیات انحراف آب در بسترهای عریض

عملیات انحراف در بسترهای عریض به کمک یکی از روشهای زیر صورت می‌گیرد:

- ساخت کانال انحرافی
- اجرای مرحله‌ای

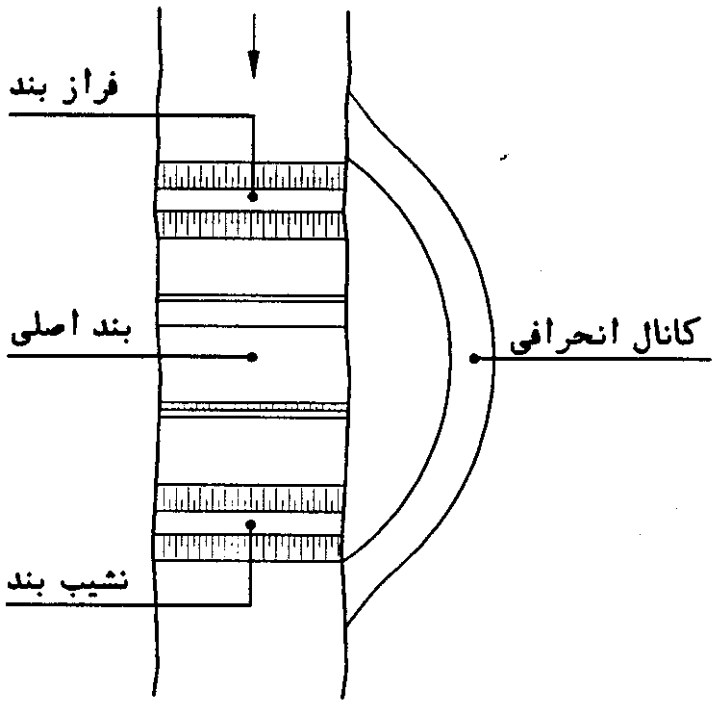


شکل ۶-۱- انحراف تونلی



شکل ۶-۲- انحراف آبرو لوله‌ای

عملیات ساخت کانال انحرافی بسیار شبیه به تونل انحرافی است با این تفاوت که عملیات بصورت روباز بوده و کم‌هزینه‌تر است. در این روش ابتدا یک کانال در کنار بستر اصلی احداث می‌گردد. سپس سد موقت بالادست (فرازبند) اجرا شده و در نهایت با اجرای سد موقت پائین‌دست (نشیب‌بند) آب رودخانه به کانال فرعی منحرف شده و عملیات احداث بند اصلی شروع می‌شود (شکل ۶-۳).

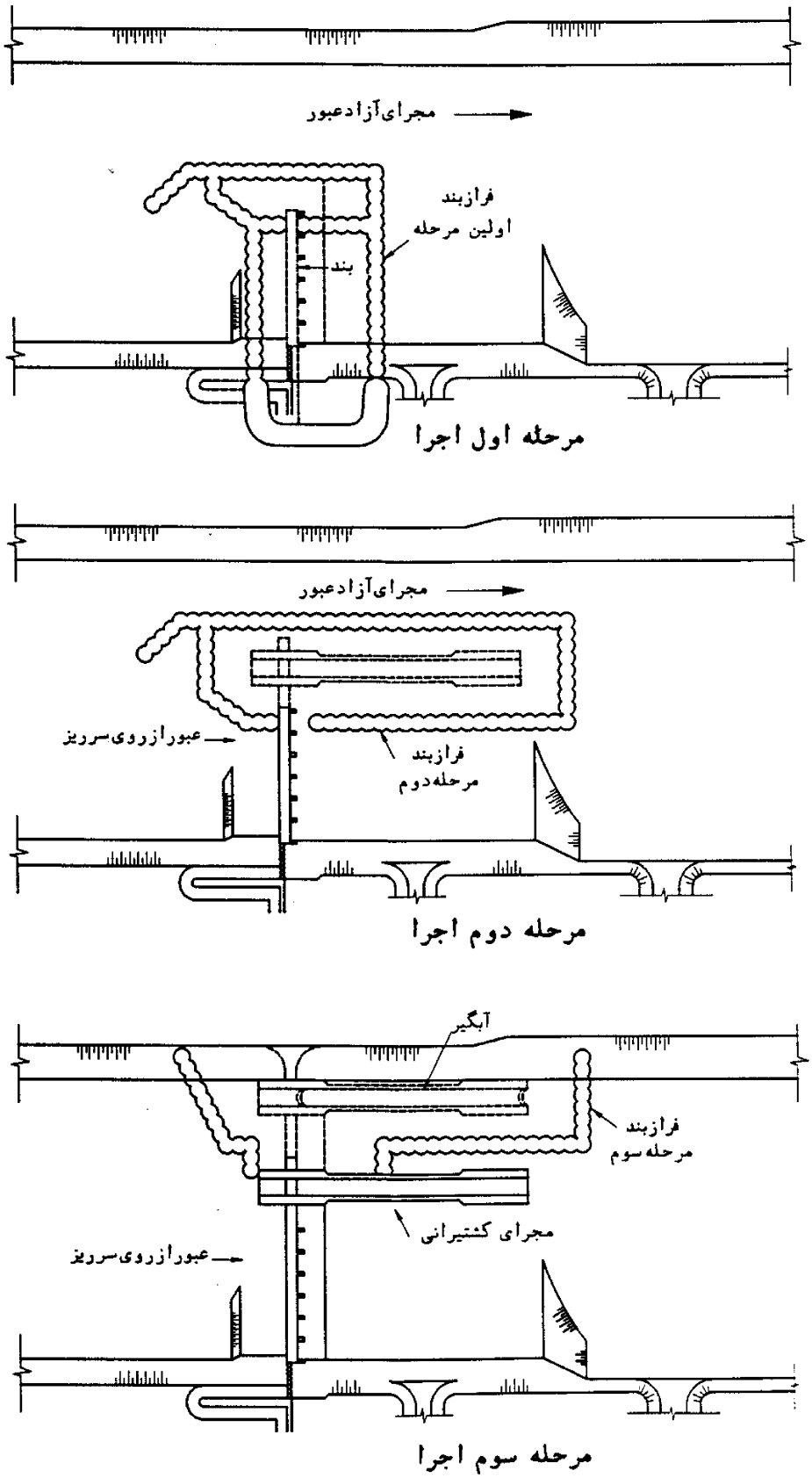


شکل ۶-۳-کانال انحرافی

در روش اجرای مرحله‌ای با استفاده از سدهای موقت، قسمتی از بستر از محیط اطراف جدا شده و عملیات احداث قسمتی از بند در آن انجام می‌شود. سپس توسط سدهای موقت، قسمتی دیگر از بستر از محیط اطراف جدا شده و آب به قسمت ساخته شده بند منحرف می‌گردد و قسمت دیگری از بند انحراف در سمت جدا شده ساخته می‌شود. عملیات به همین ترتیب ادامه می‌یابد تا به پایان برسد (شکل ۶-۴).

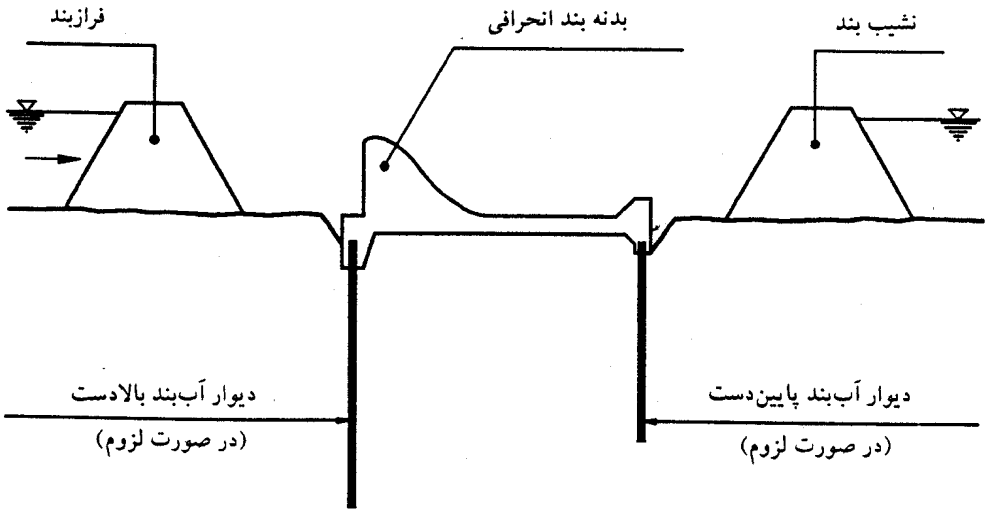
۶-۲ عملیات زهکشی

در انجام عملیات گودبرداری برای احداث بند، با توجه به اشباع بودن محیط اطراف، زه‌آب فراوانی وارد محوطه گود خواهد شد. در صورتیکه تراوایی محیط کم باشد، با استفاده از تلمبه‌زنی می‌توان محیط را خشک و عملیات ساختمانی را انجام داد. لیکن در صورت بالا بودن تراوایی، حجم زه‌آب ورودی زیاد بوده و تلمبه‌زنی جوابگوی زه‌آب محیط نخواهد بود. در چنین حالتی لازم است با سپرکوبی و یا ساخت دیواره آب بند، بده زه‌آب محیط را کاهش داد. در صورت طراحی دقیق، سیستم سپرکوبی (و یا دیواره آب بند) می‌تواند به‌عنوان جزیی از سیستم بند اصلی مورد استفاده قرارگیرد (شکل ۶-۵).



شکل ۶-۴-روش اجرای مرحله‌ای یک بند در رودخانه پر آب

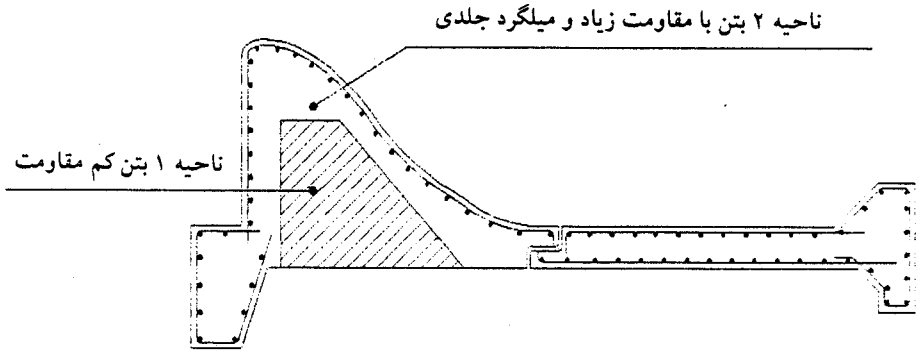
نحوه مسدود نمودن مسیر انحراف آب در پایان عملیات اجرایی و آغاز آب‌اندازی با توجه به مشکلات حادث از اهم موارد است و طراح باید از قبل به این مقوله بپردازد و روش اجرایی و قابل قبولی را ملحوظ دارد.



شکل ۶-۵- ایجاد دیوار آب‌بند بالادست و پائین‌دست به‌منظور کاهش زه‌آب ورودی به گودبرداری

۶-۳ عملیات بتن‌ریزی

میزان تنش‌های موجود در داخل بدنه بند انحراف زیاد نیست و غالباً در بخش میانی، بند انحراف نیازی به استفاده از بتن پر مقاومت و پر سیمان نمی‌باشد. در مقابل در سطح خارجی بند به علت تماس با جریان آب و احتمال فرسایش، نیاز به بتن پر مقاومت می‌باشد.به دلایل فوق غالباً بتن بند انحراف با دو عیار سیمان انتخاب می‌شود. برای قسمت میانی از بتن با عیار سیمان کمتر از ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و برای سطوح خارجی از بتن با عیار حدود ۳۵۰کیلوگرم بر مترمکعب استفاده می‌شود (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۶- استفاده از دو نوع بتن بتن کم مقاومت و بتن با مقاومت زیاد در بدنه بند انحراف آب

۶-۴ عملیات بتن‌ریزی و قالب‌بندی

در شکل ۶-۶ دو ناحیه بتن کم مقاومت و بتن با مقاومت زیاد مشخص می‌باشد. در صورت استفاده از بتن کم آب، در هنگام بتن‌ریزی ناحیه ۱ (کم عیار)، نیازی به قالب‌بندی در شیب پائین‌دست نمی‌باشد. لیکن در بتن‌ریزی ناحیه ۲، باید قالب با هندسه دقیق منحنی سطح خارجی سرریز، تعبیه شود*. این قالب برای ساخت بتن صیقلی و بدون شیار، باید کاملاً آب‌بند بوده و تمهیدات مناسب برای جلوگیری از بوجود آمدن پستی و بلندی در نظر گرفته شود. قالبهای فلزی و یا تخته چند لایی با پوشش لاکی، غالباً برای حصول سطح صاف و صیقلی کافی می‌باشند.

۶-۵ میلگردهای حداقل و حرارتی

الف - میلگردهای حداقل کف‌ها و دیوارهای حایل

میلگرد حداقل کف‌ها و سایر اجزای سازه‌ای مشابه، مطابق با بخش ۸-۷-۳ آیین‌نامه بتن ایران (آبا) ، نشریه ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه و هر نشریه ذیربط دیگر برحسب مورد تعیین می‌گردد.

در دیوارهایی که نقش نگهدارنده آب ندارند، حداقل میلگردهای طولی دیوار ۰/۲۵ درصد مقطع می‌باشد که معمولاً $\frac{۲}{۳}$ آن در وجه آزاد و $\frac{۱}{۳}$ آن در وجه سمت خاک قرارداده می‌شود. در صورتیکه ضخامت دیوار بیشتر از یک متر باشد، مقدار حداقل ۰/۲۵ درصد در ضریب زیر ضرب می‌شود:

$$\alpha = ۱/۳ - ۰/۳۰\ h \geq ۰/۷$$

در صورتیکه دیوارها و کف‌ها نقش نگهدارنده آب را داشته باشند (مثل دیوارهای حوضچه رسوبگیر)، میلگرد حداقل آنها طبق بخش ۴-۶-۶ از ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی (نشریه شماره ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه) تعیین می‌گردد.

ب - میلگردهای جلدی سرریز

معمولاً در وجه خارجی سرریز یک شبکه میلگرد قرار داده می‌شود. با استناد به آیین‌نامه R ۳۴۳ آیین‌نامه انستیتوی

---

* در بعضی از موارد در عمل سرریزها بدون استفاده از قالب و با استفاده از بتن با اسلامپ کم و با کوبیدن آن اجرا می‌شوند، لیکن برای شرایط اجرایی در ایران مخصوصاً در نقاط سردسیر نباید از این روش استفاده نمود.

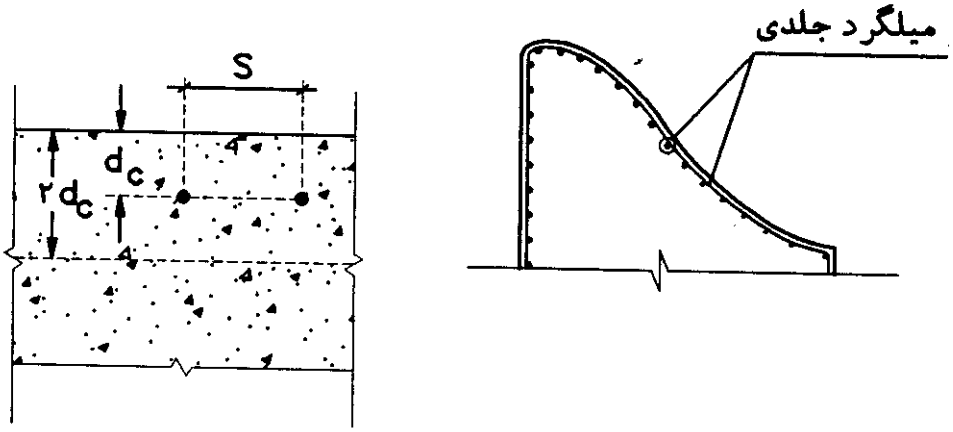
بتن آمریکا[1]، رابطه زیر می‌تواند ملاک خوبی برای انتخاب این میلگردها باشد.

$$A_b = \frac{۲d_cS}{۱۰۰}$$

S = فاصله میلگردها

d_c = فاصله مرکز میلگرد از سطح بتن

A_b = سطح مقطع میلگرد



شکل ۶-۷- نحوه توزیع میلگردهای جلدی سرریز

۶-۶ درزبندی

به‌منظور کنترل تغییر شکلهای حرارتی و همچنین مسائل اجرایی لازم است درزهایی در بدنه بند انحراف بتنی ایجاد گردد. انواع درزهای به‌کار رفته در یک بند انحراف به قرار زیر است:

- درز اجرایی[2]
- درز انقباض[3]
- درز انبساط[4]

۶-۶-۱ درز اجرایی

درز اجرایی فقط به علت مسائل اجرایی و کنترل حجم بتن‌ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در درز اجرایی میلگردها ممتد بوده و با تدابیری که در آماده‌سازی سطح قطع شده بتن انجام می‌شود، فرض می‌گردد که پیوستگی در بتن نیز وجود دارد. وجود نوار آب‌بند در این درز اختیاری می‌باشد.

1- ACI = American Concrete Institute

2- Construction Joint

3- Contraction Joint

4- Expansion Joint

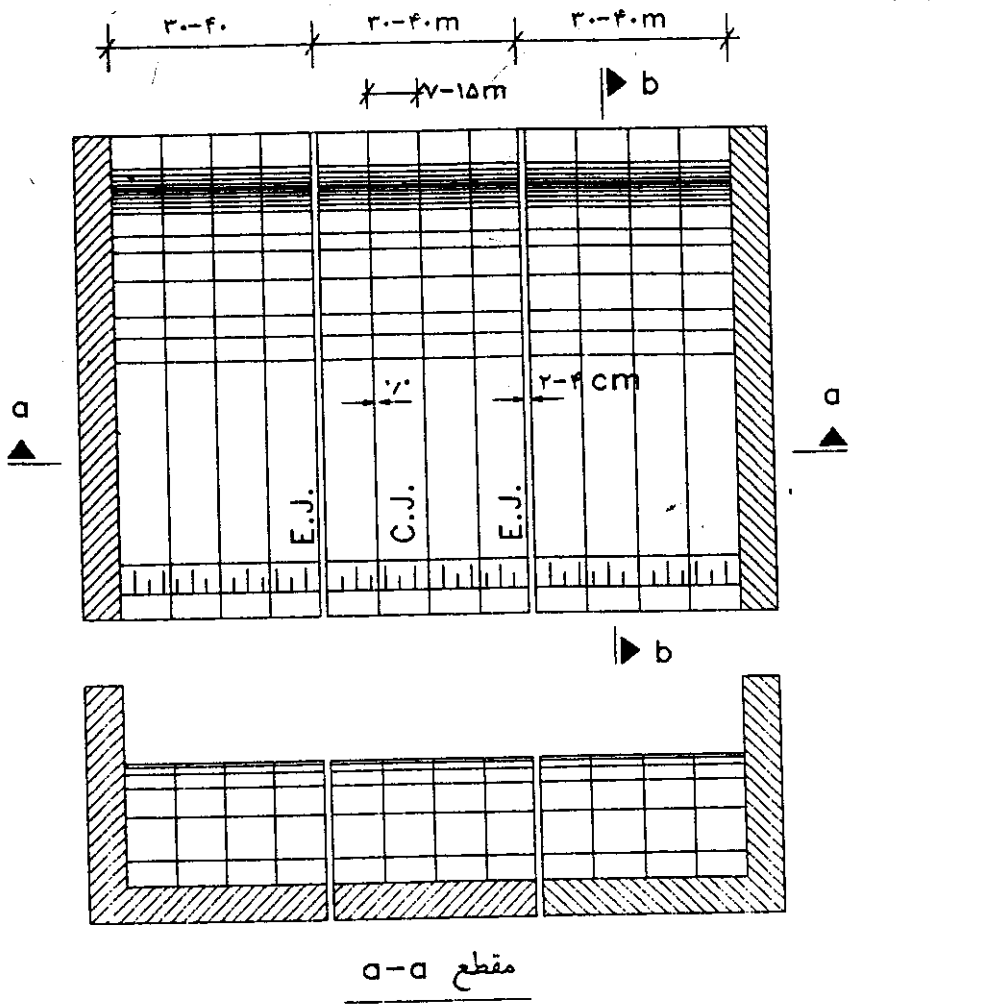
۶-۶-۲ درز انقباض

درز انقباض به منظور کنترل نسبی مسائل حرارتی بتن تعبیه شده و امکان حرکات ناشی از انقباض بتن را تأمین می‌کند. غالباً میلگردها در محل درز انقباض قطع می‌شوند و سطح بتن در محل قطع توسط قالب‌بندی بصورت صیقلی در می‌آید. لیکن بتن جدید در مجاورت و چسبیده به بتن قدیم ریخته می‌شود و فاصله بین آنها ایجاد نمی‌گردد. فواصل درزهای انقباض حدود ۷ تا ۱۵متر انتخاب می‌شود. با تعبیه درزهای انقباض، غالباً نیاز به درز اجرایی از بین می‌رود. با قرار دادن کام و زبانه در محل درز انقباض امکان حرکت برشی دو قطعه مجاور نسبت به یکدیگر از بین می‌رود. نصب نوار آب‌بند در محل درز انقباض اجباری است.

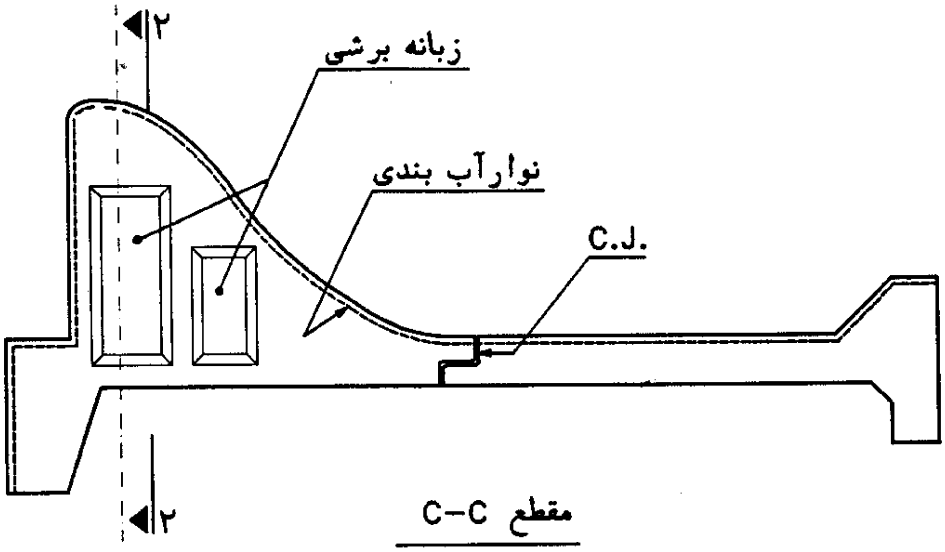
۶-۶-۳ درز انبساط

درز انبساط به منظور کنترل کامل مسائل حرارتی سازه تعبیه می‌گردد و امکان انبساط و انقباض را در طول کل سازه بوجودمی‌آورد. در محل درز انبساط میلگردها قطع شده و بین بتن قدیم و جدید فاصله‌ای در حدود ۲ تا ۴ سانتیمتر ایجاد می‌شود. تعبیه نوار آب‌بند در محل درز انبساط در بخشهایی که در بالادست قرار دارد اجباری است. با ایجاد کام و زبانه در محل درز انبساط از حرکات برشی دو قطعه مجاور جلوگیری می‌شود. درزهای انبساط در فواصل ۳۰ تا ۴۰ متر در امتداد طولی بدنه بند انحراف در نظر گرفته می‌شوند.

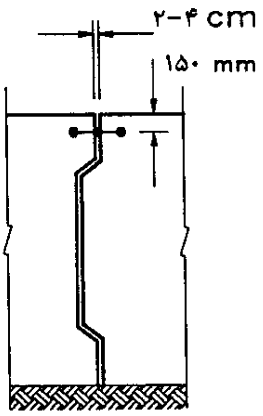
در شکل (۶-۸) کلیه درزهای مورد استفاده در یک بند انحراف نشان داده شده است.



شکل ۶-۸- انواع درزهای مورد استفاده در یک بند انحراف آب



مقطع C-C



مقطع ۲-۲

شکل ۶-۸- دنباله

فصل هفتم - مشخصات فنی بتنهای حجیم

۷-۱ کلیات

بتن حجیم[1] را می‌توان حجم بزرگی از بتن که برای ساخت یک سازه بتنی حجیم، توپر و یکپارچه به صورت درجا مورد استفاده قرار می‌گیرد و حاوی درصد بزرگی از سنگدانه‌های درشت و عیار سیمان کم است، تعریف نمود. عامل پایداری سازه‌های ساخته شده از بتن حجیم (نظیر بندها و سدها) در برابر بارهای خارجی، هندسه، وزن و مقاومت بتن مصرفی می‌باشد.

بتن حجیم همانند بتن معمولی، نیز ترکیبی از سیمان، سنگدانه‌ها و آب است که بر حسب مورد ممکن است حاوی مواد مضاف برای بهبود بعضی خواص بتن باشد.

اختلاف عمده در اجرای بتن حجیم با بتن معمولی، مقوله کنترل دما می‌باشد. افزایش دمای حاصل از گیرش (دمای هیدراتاسیون[2]) در بتنهای حجیم بسیار قابل توجه است و می‌تواند باعث آثار سوء افزایش حجم که کاهش بعدی حجم و به‌وجود آمدن ترک را به دنبال دارد، گردد.

طرح اختلاط مناسب برای بتن حجیم، تعیین مقدار سیمان، سنگدانه‌ها، آب و مواد مضاف می‌باشد به طوری که کارائی، مقاومت، پایایی و ناتراوایی موردنظر را با کمترین هزینه و کمترین گرمای آبگیری (گرمای هیدراتاسیون) تأمین نماید.

هدف از این فصل ارائه دستورالعمل‌های لازم در محدوده بندهای انحراف آب برای بتنهای حجیم است. بدیهی است که برای سدهای بتنی باید فراتر از آنچه در اینجا آمده به این مقوله پرداخته شود. شایان ذکراست که به جز مواردی که در این نشریه تصریح شده، مفاد آیین‌نامه بتن ایران (جلد اول) معتبر بوده و باید ملاک عمل قرار گیرد.

معمولاً در بندهای انحراف از بتن غلتکی، به دلیل فولادگذاری جلدی بتن حجیم، استفاده نمی‌شود لیکن در صورتیکه در بخش‌هایی از دیواره‌های بند انحراف بتن غلتکی به‌کار برده شود، برای کاهش دادن گرمای ناشی از دمای آبگیری (هیدراتاسیون)، و در نتیجه به حداقل رسیدن ترک‌ها، لازمست مقدار سیمان کم باشد و تا حد امکان بزرگترین سنگدانه‌هایی که باعث جدایی نشوند مورد استفاده قرار گیرد.

1- Mass Concrete

2- Setting Temperature

۷-۲ مصالح مصرفی

مصالح مصرفی در بتن حجیم، سیمان، آب، سنگدانه‌ها و مواد مضاف می‌باشند که در زیر به شرح و مشخصات فنی آنها پرداخته می‌شود.

۷-۲-۱ سیمان

سیمانهای مورد استفاده در بتنهای حجیم شامل سیمان پرتلند (از نوع ۱، ۲، ۴ و ۵)، سیمان روباره آهنگدازی، و سیمان پوزولانی می‌باشد.

- سیمان پرتلند نوع ۱ همان سیمان پرتلند معمولی می‌باشد که در بتن‌ریزی اکثر سدها از این نوع سیمان استفاده شده است.
- سیمان پرتلند نوع ۲ (یا اصلاح شده) نسبت به سیمان نوع ۱ از حرارت‌زایی کمتری برخوردار بوده و مقاومت بیشتری در مقابل عوامل شیمیائی ضعیف دارد.
- سیمان پرتلند نوع ۴ (سیمان با حرارت‌زایی کم) سیمانی است که حرارت‌زایی آن در هنگام گیرش از همه انواع سیمان کمتر است و در صورت وفور مناسب‌ترین سیمان برای بتنهای حجیم می‌باشد. لیکن تا به حال از آن کم استفاده شده است، چون سیمان نوع ۲ همراه با تدابیر جنبی برای کنترل حرارت، کفایت می‌کند.
- سیمان تیپ ۵ صرفاً برای بتن‌های حجیم بدون میلگرد، در صورتیکه محیط سولفاتی شدید باشد کاربرد دارد.
- سیمان روباره آهنگدازی از آسیاب و مخلوط کردن سیمان پرتلند و سرباره کوره‌های آهنگدازی که در آنها آهن تولید می‌شود، به‌دست می‌آید. درصد اختلاط روباره بین ۲۵ تا ۶۵ درصد وزن کل سیمان می‌باشد.
- سیمان پرتلند پوزولانی از آسیاب و مخلوط کردن پوزولانها (خاکهای طبیعی و مصنوعی جایگزین سیمان) با سیمان پرتلند ساخته می‌شوند. پوزولانها به مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومینیومی اطلاق می‌شود که به تنهایی خاصیت گیرش و سیمانی شدن را ندارند ولی به صورت ذرات ریز و در مجاورت رطوبت با آهک آزاد شده از آبگیری سیمان و در درجه حرارت محیط، ترکیباتی با خاصیت سیمانی تشکیل می‌دهند. سیمان پوزولانی دیرگیر بوده و در حین گیرش حرارت کمتری تولید می‌کند. درصد پوزولان ۱۵ تا ۴۰ درصد وزن کل سیمان است.
- سیمان مصرفی در بتن حجیم بندها و سدها، باید مشخصات شیمیایی جدول ۷-۱ را داشته باشد [۱۸].

جدول ۷-۱- مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی در بتن بندها و سدها [۱۸]

۱- ترکیب شیمیایی		
(I) Lime	آهک	٪
(II) Soluble Silica	سیلیس محلول	٪ -
(III) Alumina	آلومینا	٪ -
(IV) Iron Oxide	اکسید آهن	٪ -
(V) Magnesia	منگنز	٪ ≯ ۵/۰
(VI)SO_3	سولفور	٪ ≯ ۲/۷۵
(VII) Insolube residue	مواد غیرمحلول	٪ ≯ ۱/۵
(VIII) Loss on Ignition	اتلاف در احتراق	٪ ≯ ۴/۰
(IX) $\frac{CaO-0/7SO_3}{2/8Sio_2 + 1/2AL_2O_3 + 0/65Fe_2O_3}$		≮ ۰/۶۶
		≯ ۱/۰۲
(X) $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$		≮۰/۶۶ و ۱/۰۲ >
۲- ریزی		
درصد مانده روی الک BS۱۷۰		≯ ۱۰/۰۰
(< سطح مخصوص cm^2/gr)		≮ ۲۸۰۰
۳- غلظت	-	٪
۴- زمان گیرش		
(I) اولیه (دقیقه)		≮ ۳۰
(II) نهایی (دقیقه)		≮ ۶۰۰
۵- سلامت		
انبساط لوشاتولیه (mm)		≯ ۱۰
۶- مقاومت فشاری (Kg/cm^2)		
(I) ۳ روز		≮ ۱۶۰
(II) ۷ روز		≮ ۲۲۰
۷- دمای گیرش (هیدراتاسیون cal/gr)		
(فقط برای سیمانها با حرارت‌زایی کم)		
(I) ۷ روز		≯ ۶۵
(II) ۲۸ روز		≯ ۷۵

۷-۲-۲ آب

آب مصرفی در بتن باید عاری از مواد زیان‌آور برای بتن باشد. حداکثر مقادیر مجاز برای مواد زیان‌آور در آب مصرفی در جدول ۷-۲ ارائه شده است. مقدار pH آب مصرفی در بتن نباید از ۴/۵ کمتر و از ۸/۵ بیشتر باشد.

جدول ۷-۲- حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان‌آور در آب مصرفی بتن حجیم غیر مسلح*.

نوع ماده زیان‌آور	حداکثر غلظت مجاز (قسمت در میلیون)
ذرات جامد معلق	۲۰۰۰
مواد محلول	۳۵۰۰۰
کلر (Cl)	۱۰۰۰۰
سولفات (SO_4)	۳۰۰۰
قلیایی ($Na_2O + 0/658\ K_2O$)	۶۰۰

۷-۲-۳ سنگدانه‌ها

الف - سنگدانه‌های درشت

سنگدانه‌های درشت مصرفی در بتن حجیم سازه‌های آبی، متشکل از دانه‌هایی با اندازه ۵ تا ۱۵۰ میلیمتر** می‌باشند. سنگدانه‌ها باید توپر، سخت و عاری از درز و ترک، رگه‌های ضعیف و مصالح هوازده بوده و کاملاً تمیز باشند. سنگهایی که میزان جذب آب آنها بیشتر از ۳ درصد و چگالی آنها کمتر از ۲/۵ باشد، برای استفاده مناسب نیستند. مقدار یون سولفیت SO_3 موجود نیز نباید از ۰/۴ درصد وزنی سنگدانه‌ها تجاوز کند.

سنگدانه‌ها با اندازه حداکثر بزرگتر، و دانه‌بندی خوب، دارای حجم حفرات کمتری نسبت به سنگدانه‌ها با اندازه حداکثر کوچکتر، هستند، بنابراین برای حجم مساوی، بتن با سنگدانه درشت‌تر، احتیاج به سیمان کمتری خواهد داشت. از طرف دیگر تجربه نشان داده است که برای نسبت آب به سیمان مساوی، سنگدانه‌ها با اندازه حداکثر کوچکتر منجر به بتن با مقاومت بیشتری می‌شود. با توجه به دو پدیده فوق که در جهت عکس یکدیگر عمل می‌کنند، ملاحظه می‌شود که بهینه نمودن مقاومت و سیمان مصرفی، تعادلی بین دو عامل بالا ایجاد می‌کند [۱۸].

---

* در مورد بتن مسلح به جدول ۳-۵-۱ آئین‌نامه بتن ایران (و زیرنویس مربوطه) مراجعه شود.

** در صورتی که سازه دارای میلگرد باشد، بر حسب تراکم شبکه میلگرد، اندازه حداکثر به ۳۵ تا ۷۵ میلیمتر تقلیل می‌یابد.

هرچندکه درگذشته سنگدانه‌هایی با اندازه حداکثر تا ۲۵۰ میلیمتر در ساخت بعضی از سدهای مهم دنیا استفاده شده است، لیکن به مناسبت ترکهایی که در اطراف سنگدانه‌های بزرگ به علت اختلاف در تغییر حجم به وجود می‌آید و همچنین ایجاد حفرات آب و هوا در زیر این سنگدانه‌ها در محل تماس با قالب، امروزه اندازه حداکثر ۱۵۰ میلیمتر به‌طور عمومی پذیرفته شده است.

شکل سنگدانه‌ها نیز به مقدار زیادی بر کارایی بتن تأثیر دارد. بهترین کارایی در هنگام استفاده از سنگدانه‌های صاف و مدور بدست می‌آید و کاربرد سنگدانه‌های پولکی کمترین کارایی را موجب می‌گردند. بنابراین نتیجه می‌شود که مقررات مربوط به دانه‌بندی، نمی‌تواند به تنهایی معیاری برای تعیین کارآیی باشد و باید مشخصات هندسی سنگدانه‌ها (معمولاً به وسیله اندیس پولکی و اندیس سوزنی تعیین می‌شود) مشخص شده و هنگام اجرا رعایت گردد. سنگدانه‌های گرد که از آبرفت رودخانه‌ها به‌دست می‌آیند، بهترین کارآیی را دارند. سنگدانه‌های شکسته که حاصل خردکردن سنگها در سنگ‌شکنها می‌باشند، هر چندکه خواص مقاومتی بتن را بهبود می‌بخشند، لیکن باعث کارآیی کم و در نتیجه افزایش نسبت آب به سیمان می‌شوند. امروزه با فن‌آوری جدید، می‌توان سنگدانه‌هایی با هندسه مناسب از لاشه‌های سنگ به‌دست آورد. یک سنگدانه وقتی پولکی در نظر گرفته می‌شودکه نسبت عرض به ضخامت آن بزرگتر از ۳ و وقتی سوزنی در نظر گرفته می‌شودکه نسبت طول به عرض آن بزرگتر از ۳ باشد.

در صورتی که سطح سنگدانه‌ها خیلی صاف باشد، چسبندگی خمیر سیمان با آن کم می‌شود، به‌همین جهت، میزان چنین سنگدانه‌هایی در مخلوط ، باید خیلی پائین نگه داشته شود، هر چندکه وجود آنها باعث کارایی بیشتر بتن گردد.

- دانه‌بندی :

سنگدانه‌ها در حدود ۸۵ درصد حجم بتن حجیم را که شامل دانه‌هایی تا اندازه حداکثر ۱۵۰ میلیمتر می‌باشند، تشکیل می‌دهند. میزان جفت و جور شدن دانه‌ها به یکدیگر در مخلوط بتن، بستگی به دانه‌بندی سنگدانه‌ها دارد. در جدول ۷-۳ دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد استفاده در ساخت چند بند و سد بطور نمونه ارائه شده [۱۸] که می‌تواند معیاری برای انتخاب اولیه در طرح اختلاط بتن باشد.

طبقه‌بندی سنگدانه‌های درشت طبق توصیه‌های آئین‌نامه بتن آمریکا در جدول ۷-۴ و طبق توصیه‌های دفتر عمران ایالات متحده در جدول ۷-۵ ارائه شده است.

به علاوه حداکثر اندازه سنگدانه‌های درشت نباید از $\frac{۱}{۴}$ اندازه حداقل ضخامت سازه و همچنین $\frac{۲}{۳}$ فاصله خالص بین میلگردهای شبکه‌های افقی یا جایی که بیش از یک شبکه میلگرد قائم در مجاورت سطح قالب وجود دارد، بزرگتر باشد.

مقدار مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های درشت نباید از مقادیر مندرج در جدول ۷-۶ بزرگتر باشد.

جدول ۷-۳- دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد استفاده در طرح اختلاط چند بند و سد نمونه [۱۸]

ردیف	مقاومت نمونه استوانه‌ای ۱۵×۳۰ Kg/cm^2	درصد وزنی						ماسه
		۸۰ - ۱۵۰ mm	۴۰ - ۸۰ mm	۲۰ - ۴۰ mm	۱۰ - ۲۰ mm	۵ - ۱۰ mm	ماسه	
۱	۱۴۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۱	۷	۲۲	ماسه شکسته
۲	۱۷۵	۳۳	۱۷	۱۳	۸	۷	۲۲	ماسه شکسته
۳	۱۴۰	۲۲	۲۰	۱۵	۱۳	۱۱	۱۹	ماسه شکسته
۴	۱۷۵	۲۳	۱۹	۱۵	۱۴	۱۰	۱۹	ماسه شکسته
۵	۲۶۰	۳۳	۱۷	۱۳	۸	۸	۲۱	ماسه شکسته
۶	۲۶۰	۳۳	۱۷	۱۳	۸	۴	۲۵	ماسه شکسته
۷	۱۷۵	۲۶	۲۱	۱۶	۱۸		۱۹	ماسه طبیعی
۸	۱۷۵	۲۴	۱۶	۱۴	۱۲	۸	۲۶	ماسه شکسته
۹	۱۷۵	۲۱	۱۸	۱۷	۱۴	۶	۲۴	ماسه شکسته و درهم
۱۰	۲۰۰	۲۳	۱۹	۱۷	۱۱	۸	۲۲	ماسه طبیعی
۱۱	۱۵۰	۲۳	۱۸	۱۷	۱۱	۸	۲۳	ماسه طبیعی

جدول ۷-۴- طبقه‌بندی سنگدانه‌های درشت طبق آئین‌نامه بتن آمریکا [۲۰]

اندازه الک (میلیمتر)	درصد وزنی ریزتر			
	قلوه سنگ (۸۰ تا ۱۵۰ میلیمتر)	درشت (۴۰ تا ۸۰ میلیمتر)	متوسط (۲۰ تا ۴۰ میلیمتر)	ریز (۵ تا ۲۰ میلیمتر) (بادامی)
۱۷۵	۱۰۰			
۱۵۰	۹۰ تا ۱۰۰			
۱۰۰	۲۰ تا ۴۵	۱۰۰		
۸۰	۰ تا ۱۵	۹۰ تا ۱۰۰		
۵۰	۰ تا ۵	۲۰ تا ۵۵	۱۰۰	
۴۰		۰ تا ۱۰	۹۰ تا ۱۰۰	
۲۵		۰ تا ۵	۲۰ تا ۴۵	۲۰ تا ۱۰۰
۲۰			۱ تا ۱۰	۹۰ تا ۱۰۰
۱۰			۰ تا ۵	۳۰ تا ۵۵
۵				۰ تا ۵

جدول ۷-۵- حدود دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت به منظور حصول بتن باکارایی مناسب طبق توصیه دفتر عمران ایالات متحده [۲۲]

درصد وزنی برای محدوده‌های مختلف (اندازه‌ها به میلیمتر)					
اندازه حداکثر	۸۰ - ۱۵۰	۴۰ - ۸۰	۲۰ - ۴۰	۱۰ - ۲۰	۵ - ۱۰
(قلوه سنگ) ۱۵۰	۲۰ - ۳۰	۲۰ - ۳۲	۲۰ - ۳۰	۱۲ - ۲۰	۸ - ۱۵
(درشت) ۸۰	-	۲۰ - ۴۰	۲۰ - ۴۰	۱۵ - ۲۵	۱۰ - ۱۵
(متوسط) ۴۰	-	-	۴۰ - ۵۵	۳۰ - ۳۵	۱۵ - ۲۵
(ریز) ۲۰	-	-	-	۳۰ - ۷۰	۲۰ - ۴۵

جدول ۷-۶- حداکثر مواد زیان‌آور مجاز در سنگدانه‌های درشت طبق آئین‌نامه بتن ایران [۲۸]

نوع ماده زیان‌آور	حداکثر درصد وزنی مجاز در کل نمونه
کلوخه‌های رسی	۰/۲۵
دانه‌های نرم	۵
چرت به صورت ناخالصی	
- در معرض شرایط محیطی شدید	۱
- در معرض شرایط محیطی متوسط	۳
- در معرض شرایط محیطی ملایم	۵
دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر)	۱
زغال‌سنگ، لیگنیت، یا سایر مصالح سبک :	
- هنگامی که نمای ظاهری بتن حائز اهمیت است	۰/۵
- سایر بتن‌ها	۱
دانه‌های سست شامل مجموع کلوخه‌های رسی، دانه‌های نرم، چرت هوازده، شیلها و شیستهای متورق هوازده :	
- بتن نمایان	۳
- بتن تحت سایش	۵
- سایر بتن‌ها	۷
سولفاتها (SO_3^{--})	۰/۴
کلریدها (Cl^-)	۰/۰۲

ب - سنگدانه‌های ریز

سنگدانه‌های ریز می‌تواند به‌صورت شکسته و یا طبیعی باشد. این سنگدانه‌ها باید سخت، متراکم، پایا و بدون لایه سطحی باشند و مقادیر مواد زیان‌آور موجود در آنها، نباید از مقادیر حداکثر ذکر شده در جدول ۷-۷ تجاوز نماید. مقادیر آورده شده در این جدول برای سازه‌هایی که در مجاورت جزر و مد آب احداث می‌گردند باید به نصف تقلیل یابد.

جدول ۷-۷ حداکثر مقادیر مواد زیان‌آور در سنگدانه‌های ریز [۲۸]

نوع ماده زیان‌آور	حداکثر درصد وزنی مجاز در کل نمونه
کلوخه‌های رسی و دانه‌های سست	۳
دانه‌های گذشته از الک شماره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلیمتر) - بتن تحت سایش - سایر بتنها	 ۳ ۵
ذغال سنگ، لیگنیت، یا سایر مصالح سبک - هنگامیکه نمای ظاهری بتن حائز اهمیت است - سایر بتنها	 ۰/۵ ۱
میکا	۱
سولفاتها برحسب $(SO_3)^{--}$	۰/۴
کلرورها برحسب $(CL)^{-}$	۰/۰۴

- دانه‌بندی :

تأثیر دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز بر کارایی بتن، به مراتب بیشتر از تأثیر دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت می‌باشد. دانه‌بندی نامناسب سنگدانه‌های ریز باعث افزایش مقدار آب برای کارآیی مطلوب و همچنین موجب مشکلاتی در کارایی مواد مضاف برای هوا دادن به بتن می‌گردد. در جدول ۷-۸ محدوده درصد دانه‌بندی مناسب برای سنگدانه‌های ریز ارائه شده است.

جدول ۷-۸- محدوده درصد دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز [۱۸]

درصد وزنی مانده روی الک	شماره الک
۰	$\frac{۳}{۸}$ اینچ (۱۰ میلیمتر)
۰ تا ۵	نمره ۴ (۴/۷۵ میلیمتر)
۵ تا ۱۵	نمره ۸ (۲/۳۶ میلیمتر)
۱۰ تا ۲۵	نمره ۱۶ (۱/۱۸ میلیمتر)
۱۰ تا ۳۰	نمره ۳۰ (۰/۶ میلیمتر)
۱۵ تا ۳۵	نمره ۵۰ (۰/۳ میلیمتر)
۱۲ تا ۲۰	نمره ۱۰۰ (۰/۱۵ میلیمتر)
۳ تا ۷	سینی

پ - سنگدانه های مستعد واکنش قلیایی

تجربه نشان می‌دهد که بعضی سنگدانه‌ها با قلیایی‌های سیمان به تدریج واکنش نشان داده و ترکیبی بوجود آورند که حجم آن بیشتر از حجم اولیه مواد بوجود آورنده است که نتیجه آن تورم داخلی و ترکهای حجمی می‌باشد. استاندارد [1] ASTM آزمایشهایی برای ارزیابی این اثر وضع کرده است. روش معمول در جلوگیری از بوجود آمدن چنین واکنشهایی، محدود کردن درصد قلیایی‌های سیمان ($Na_2O + 0/658\ K_2O$) به ۰/۶ درصد وزنی می‌باشد.

سنگهایی که دارای سیلیس فعال باشند، مستعد واکنش با قلیایی‌های سیمان هستند. تعدادی از کانیهای فعال عبارتند از : اوپال [2]، کلدنی [3]، تری دای‌میت [4]. این کانی‌ها در سنگهای اوپالین [5]، کلسدونیک [6]، سنگ آهک [7] سیلیسی، ریولیت [8] و توف [9] ریولیتی، داسیت [10] و توفهای داسیتی، آندزیت [11] و توف آندزیتی و فیلیت [12] یافت می‌شوند. پذیرش سنگدانه‌ها باید بر اساس یک استاندارد معتبر صورت گیرد. در حال حاضر نشریه ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه در این زمینه ضوابطی ارائه داده است.

۴-۲-۷ مواد مضاف

مواد مضاف مهمی که در بتنهای حجیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارتند از:

- مواد حباب‌زا [13]

- روان‌کننده‌ها [14]

استفاده از هرگونه ماده مضاف باید با توجه به اطلاعات مستند از آثار درازمدت آنها انجام شود.

۳-۷ مشخصات مکانیکی بتن‌های حجیم

آن دسته از مشخصات مکانیکی بتن‌های حجیم که لازم است معلوم باشند، عبارتند از :

- مقاومت فشاری

1- ASTM=American Society for Testing Materials
2- Opal
3- Chalcedony
4- Tridymite
5- Opaline
6- Chalcedonice
7- Limestone
8- Rhyolite
9- Tuff
10- Dacite
11- Andesite
12- Phyllite
13- Air Entrainning
14- Plasticizer

- مدول ارتجاعی
- نسبت پواسون
- جمع‌شدگی [1]
- تغییرات حجم
- ضریب انبساط حرارتی
- پایائی [2]
- مقاومت در برابر سایش [3]
- تراوایی [4]
- وزن مخصوص
- کارآیی

همواره می‌توان در طرح اولیه مقادیر تقریبی مشخصات یاد شده را بر مبنای محاسبه و یا تجربیات گذشته بدست آورد. بعد از طرح اختلاط و تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگدانه، آب و بتن مصرفی، می‌توان با استفاده از آزمایشهای خاصی اقدام به تعیین دقیق مشخصات یاد شده نمود.

۷-۳-۱ مقاومت فشاری

مقاومت فشاری مشخصه مهم بتن می‌باشد، لیکن در بتن حجیم بندها و سدها، مشخصاتی نظیر پایایی و آب‌بند بودن دارای اهمیت مساوی و یا بیشتر هستند. هر چند که بعضی از این خواص را به‌نحوی می‌توان به مقاومت ربط داد، لیکن باز عوامل دیگری نیز وجود دارند که می‌توانند به طور مجرد بر روی این مشخصات تأثیرگذارند. عواملی که بر روی مقاومت فشاری بتن تأثیر دارند، عبارتند از:

- نوع سیمان
- نوع پوزولان
- شکل و بافت سطحی سنگدانه‌ها
- مقاومت و شکل بلوری سنگدانه‌ها
- دانه‌بندی سنگدانه‌ها
- میزان هوا
- استفاده از مواد مضافی که باعث تسریع در گیرش بتن می‌شوند.
- نسبت آب به سیمان

1- Shrinkage
2- Durability
3- Abrasion
4- Permability

در صورت ثابت بودن تمام عوامل ۱ تا ۷، مقاومت بتن تابعی از نسبت آب به سیمان خواهد بود. طرح اختلاط بتن می‌تواند بر مبنای یکی از روشهای متداول انجام پذیرد، لیکن در هر صورت باید ضوابط بخشهای ۶-۴ و ۶-۵ از آیین‌نامه بتن ایران تأمین گردد.

به عنوان نمونه در جدول ۷-۹، مشخصات طرح اختلاط بتن مصرفی در سدهای معروف دنیا ارائه شده است که می‌تواند الگویی برای طرحهای جدید باشد.

۷-۳-۲ مدول ارتجاعی

در محدوده تنش‌های مجاز مورد استفاده در طراحی بندها و سدهای بتنی، رفتار بتنهای حجیم را می‌توان الاستیک خطی فرض کرد. تمام عواملی که باعث افزایش و یا کاهش مقاومت بتن می‌شوند، باعث افزایش و یا کاهش مدول ارتجاعی نیز می‌شوند. بنابراین، نسبت آب به سیمان کمتر، سیمان بیشتر، میزان هوای کمتر، زمان مراقبت طولانی‌تر و عمر بتن باعث افزایش مدول ارتجاعی و مقاومت می‌شوند. مقادیر مدول ارتجاعی برای بتن حجیم در دامنه $۰/۲۵\times۱۰^{۶}$ تا $۰/۴\times۱۰^{۶}$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع برای عمر ۲۸ روز و $۰/۳\times۱۰^{۶}$ تا $۰/۵\times۱۰^{۶}$ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع برای عمر یکسال باشد.

۷-۳-۳ نسبت پواسون

مانند مدول ارتجاعی تمام عواملی که باعث افزایش و یا کاهش مقاومت بتن می‌شوند، باعث افزایش و یا کاهش نسبت پواسون نیز می‌گردند. معمولاً نسبت پواسون برای بتن‌های معمولی و بتن‌های سبک در محدوده ۰/۱۱ تا ۰/۲۷ متغیر است که معمولاً برای تغییر شکل‌های ارتجاعی تحت تأثیر تنش‌های مجاز، ۰/۲ اختیار می‌گردد.

۷-۳-۴ جمع شدگی

جمع‌شدگی بتن سخت شده، به علت جمع شدگی ژل سیمان می‌باشد که قبلاً از آبگیری سیمان ایجاد شده است. عوامل مؤثر در جمع‌شدگی، میزان آب واحد حجم و ترکیب سنگدانه‌ها می‌باشند. ایجاد حبابهای هوا در بتن، باعث ایجاد روانی در جمع‌شدن بتن می‌شود، و معمولاً کم‌شدن جمع‌شدگی به علت کاهش در مقدار آب مصرفی، با افزایش جمع‌شدگی به علت دخول هوا جبران می‌شود. افزودن پوزولان‌ها معمولاً جمع‌شدگی را افزایش می‌دهد، مگر اینکه با استفاده از پوزولان خاکستر آتشفشانی، میزان آب مصرفی به مقدار زیادی کاهش یابد. نمونه‌هایی از کاهش جمع‌شدگی به علت افزودن پوزولان خاکستر آتشفشانی، در بعضی از سدهای مهم دنیا وجود دارد.

۷-۳-۵ تغییرات حجم

تغییرات حجم به علت تغییر در میزان رطوبت، واکنشهای شیمیایی، تغییر در درجه حرارت، و تنش‌های ناشی از بارهای وارده بوجود می‌آید. تغییرات حجم بیش از اندازه، برای بتن مضر است. در صورتی که قطعه بتنی آزادی حرکت در لبه‌ها نداشته باشد، تغییرات حجم می‌تواند باعث بوجود آمدن ترک در بتن شود. ایجاد ترک هم باعث کاهش مقاومت و پایداری کل سازه و هم باعث کاهش پایایی و خدمت‌پذیری [1] سازه می‌شود.

نوع دیگری تغییر حجم که به صورت تورم است، می‌تواند به علت واکنشهای سنگدانه‌ها با قلیایی‌های سیمان بوجود آید. این پدیده بسیار خطرناک است و می‌تواند باعث نتایج زیانباری گردد. در این خصوص در قسمت ۷-۲-۳-پ توضیحات بیشتری ارائه شده است.

۷-۳-۶ ضریب انبساط حرارتی

با توجه به اینکه سنگدانه‌ها در حدود ۷۵ تا ۸۰ درصد حجم مواد جامد بتن را تشکیل می‌دهند، خواص حرارتی بتن حجیم بستگی به خواص حرارتی سنگدانه‌ها (بخصوص سنگدانه‌های درشت) دارد. با اندازه‌گیریهای انجام شده در روی سدهای بتنی، ضریب انبساط حرارتی بتن حجیم در حدود ۹×۱۰^{-۶} بر درجه سانتیگراد بدست آمده است.

۷-۳-۷ پایایی

بتن پایا، بتنی می‌باشد که بتواند در مقابل تأثیرات زیان‌آور محیطی در حین بهره‌برداری، مقاومت نماید. عوامل مؤثر در پایایی بتن عبارتند از:

الف - مشخصات فیزیکی بتن سخت شده

ب - سازگاری مصالح مخلوط بتن با یکدیگر

ج - روش تولید و عمل آوردن بتن

ت - طبیعت تأثیر عوامل زیان‌آور محیطی

عوامل زیان‌آور محیطی شامل یخ زدن و بازشدن یخ [2]، و عوامل شیمیایی می‌باشد.

1- Serviceability

2- Freezing And Thawing

جدول ۷-۹- طرح اختلاط بتن سدهای ساخته شده در جهان [۱۸]

نام	تاریخ اتمام	نوع	سیمان نوع	سیمان kg/m³	پوزولان نوع	پوزولان kg/m³	شن ماسه kg/m³	شن kg/m³	نوع سنگدانه	حداکثر اندازه cm	آب kg/m³	W/C	هوازا	روان کننده چگالی kg/m³
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵ ۱۶
Hoover (U.S.A)	۱۹۳۶	وزنی ثقلی	IV	۲۲۵	--	--	۵۵۲	۱۵۹۰	Limestone Granite	۲۲/۵	۱۳۰	۰/۵۶	۰/۰	۲۴۹۰ خیر
Grand Coulee (U.S.A)	۱۹۴۲	وزنی	II & IV	۲۲۴	--	--	۳۸۳	۱۵۲۰	Basalt	۱۵/۰	۱۳۴	۰/۶۰	۰/۰	۲۴۶۴ خیر
Shasta (U.S.A)	۱۹۴۴	وزنی ثقلی	IV	۲۲۰	--	--	۵۳۸	۱۶۱۴	Andesite Slate	۱۵/۰	۱۲۲	۰/۵۶	۰/۰	۲۴۹۴ خیر
Friant (U.S.A)	۱۹۴۲	وزنی	IV	۱۷۸	Pumicite	۳۶	۵۶۰	۱۵۶۳	Quartzite Granite Rhyolite	۲۰/۰	۱۲۷	۰/۵۰	۰/۰	۲۴۶۲ خیر
Hungry Horse (U.S.A)	۱۹۵۲	وزنی ثقلی	II	۱۱۲	Flyash	۵۳	۵۰۰	۱۶۷۳	Sandstone	۱۵/۰	۷۷	۰/۴۷	۳/۰	۲۴۱۵ خیر
Glen Canyona (U.S.A)	۱۹۶۳	وزنی ثقلی	II	۱۱۲	Pumicite	۵۶	۴۶۱	۱۶۵۲	Limestone Sandstone	۱۵/۰	۹۱	۰/۵۴	۳/۵	۲۳۷۱ خیر
Glen Cabyon (0.37% admixture added U.S.A)	۱۹۶۳	وزنی ثقلی	II	۱۱۲	Pumicite	۵۳	۴۷۵	۱۶۶۲	Chalcedonic Cbert.	۱۵/۰	۸۳	۰/۵۰	۳/۵	۲۳۸۵ بله
Flaming Gorge (U.S.A)	۱۹۶۲	وزنی ثقلی	II	۱۱۲	Calc.shale	۵۶	۴۳۳	۱۷۲۱	Limestone Sandstone	۱۵/۰	۸۸	۰/۵۳	۳/۵	۲۴۰۹ خیر
Salamonde (Portugal)	۱۹۵۳	ثقلی	II	۲۵۰	--	--	۴۳۸	۱۵۵۳	Granite	۳۰/۰	۱۳۳	۰/۵۴	۰/۰	۲۳۷۰ —
Pieve-de Cadore (Italy)	۱۹۴۹	وزنی ثقلی	Ferric Pozzolanic	۱۵۰	Natural	۵۰	۷۰۰	۱۲۳۷	Limestone	۱۲/۰	۱۲۶	۰/۶۳	۲/۰	۲۵۵۰ بله
Chastang (France)	۱۹۵۱	وزنی ثقلی	Ferric Pozzolanic	۲۲۴	--	--	۴۵۰	۱۶۴۰	Granite	۲۴/۵	۹۵	۰/۴۵	—	۲۴۱۰ —
Warragamba (Australia)	۱۹۶۰	وزنی	II	۱۹۵	--	--	۵۰۳	۱۶۸۶	Quartzite	۱۵/۰	۱۰۴	۰/۵۳	۰/۰	۲۴۶۰ خیر
Francisco Madro (Mexico)	۱۹۴۹	R.H. پایه‌دار	IV	۲۲۰	--	--	۵۳۰	۱۴۱۰	Basalt	۱۵/۰	۱۳۲	۰/۶۰	—	— —
Kranolarsk (USSR)	۱۹۶۸	وزنی	IV	۲۳۰	--	--	--	--	Granite	۱۰/۰	۱۲۶	۰/۵۵	—	— بله
JohnDay	۱۹۷۲	وزنی	II	۸۸	Calc.shale	۳۰	۵۵۵	۱۷۶۰	Gravel	۱۵/۰	۸۰	۰/۶۶	۶/۰	۲۵۱۰ خیر
Angostura (U.S.A.)	۱۹۴۹		II	۲۰۱	--	--	۶۳۱	۱۴۷۱		--	۱۱۹	--	۳/۰	۲۴۲۱
Kortes (U.S.A.)	۱۹۵۰		II	۱۹۴	--	--	۵۳۴	۱۶۰۲		--	۱۰۳	--	۳/۵	۲۴۳۳
CanyonFerry (U.S.A.)	۱۹۵۴	ثقلی	II	۱۱۷	Flyash	۵۰	۵۰۰	۱۶۷۴		--	۸۲	--	۳/۰	۲۴۲۴
Monticello (U.S.A.)	۱۹۵۷		II	۱۱۶	Diatoma-ceousearth	۵۰	۴۷۶	۱۷۲۵		--	۸۳	--	۳/۰	۲۴۴۹
Anchor (U.S.A.)	۱۹۵۹		II	۱۶۷	--	--	۵۱۴	۱۶۱۷		--	۸۴	--	۳/۰	۲۳۸۳
Yellowtail (U.S.A.)	۱۹۶۵		II	۱۱۷	Flyash	۵۰	۵۲۸	۱۶۷۱		--	۸۲	--	۳/۰	۲۴۴۹
Dworshak (U.S.A.)		وزنی		۱۸۱		۰	۵۰۴	--		--	--	۰/۵۶	۵/۸	--
				۱۲۷	Flyash	۴۳	۵۰۴	--		--	--	۰/۵۶	۶/۱	--
				۹۸	Calc.shale	۵۰	۵۵۲	--		--	--	۰/۸۰	۶/۰	--
Libby (U.S.A.)		وزنی		۱۲۶		۰	۵۲۸	--		--	--	۰/۶۶	۶/۱	--
				۱۱۷	Flyash	۴۰	۵۰۴	--		--	--	۰/۵۳	۶/۰	--
				۸۲	Flyash	۲۸	۵۲۸	--		--	--	۰/۷۴	۵/۷	--
Gordon (Australia)	۱۹۷۲			۲۱۶	Flyash	۵۳	۵۷۵	۱۶۴۷		--	--	۰/۵۰	--	--
				۱۹۰	Flyash	۶۵	۵۹۵	۱۴۳۷		--	--	۰/۵۳	--	--
				۱۴۸	Flyash	۸۰	۶۲۵	۱۴۳۷		--	--	۰/۵۸	--	--
Bhakra	۱۹۶۶	وزنی		۱۱۲	--	--	۴۵۸	۱۷۷۲	Quartzite Limestone	۱۶/۵	۸۹	۰/۸۰	۳/۶	۲۴۳۸
India(all values with F.M. of Sand=2.5)				۱۳۹	--	--	۴۱۲	۱۷۶۳		--	۹۰	۰/۶۴	۳/۶	۲۴۴۱
				۱۶۷	--	--	۴۱۴	۱۷۶۱		--	۹۲	۰/۵۵	۳/۶	۲۴۴۱
				۲۲۳	--	--	۳۷۲	۱۷۵۰		--	۹۴	۰/۴۲	۳/۷	۲۴۴۰
				۱۵۱	Calcined Shale	۱۷	۴۱۴	۱۷۶۱		--	۹۲	--	۳/۷	--
				۱۴۲	--	۲۵	۴۱۴	۱۷۶۱		--	۹۲	--	۳/۷	--
				۱۳۵	--	۳۳	۴۱۴	۱۷۶۱		--	۹۲	--	۳/۶	--
				۱۲۵	--	۴۲	۴۱۴	۱۷۶۱		--	۹۲	--	۳/۷	--

تکرار یخ زدن و بازشدن یخ، باعث هوازدگی بتن می‌شود که نتیجه آن خردشدن سطحی بتن و پیشرفت آن است. فرآیند کار عبارت است از نفوذ آب به داخل خلل و فرج بتن، یخ زدن و انبساط آب نفوذی و بالاخره خرد شدن بتن، برای جلوگیری از پدیده یاد شده، تراوایی بتن تا حد ممکن باید کم بوده و سنگدانه‌ها نیز مقاومت کافی در مقابل پدیده یخ زدن داشته باشند. روش مقابله، ایجاد حبابهای هوا توسط مواد حباب‌زا در مخلوط بتن می‌باشد.

عوامل شیمیایی می‌تواند ناشی از موارد زیر باشد:

- واکنش شیمیایی بین مواد تشکیل دهنده بتن
- قرار داشتن سازه در معرض آبهای اسیدی
- قرار داشتن سازه در معرض آبهای قلیایی

در بتنهای حجیم، مورد ۱ از همه مهمتر است و در حال حاضر زیان‌آورترین واکنش داخلی که بین اجزای مخلوط بتن صورت می‌گیرد، واکنش سنگدانه‌ها با قلیایی‌های سیمان است که در قسمت ۷-۲-۳-پ در خصوص آن بحث شد.

۷-۳-۸ مقاومت در مقابل سایش

بتن ناحیه سرریز بندها و سدها در خطر سایش جریان قرار دارد. عوامل مؤثر در مقاومت بتن در مقابل سایش، مقاومت بتن و اندازه حداکثر سنگدانه‌ها می‌باشد. هرچه مقاومت بتن زیادتر و حداکثر اندازه سنگدانه‌ها کوچکتر باشد، مقاومت در مقابل سایش بیشتر خواهد بود.

خلاءزائی[1] عامل بسیار مهمی در سایش بتن ناحیه سرریز است و اگر از تدابیری برای جلوگیری از خلاءزایی (مثل هوادهی جریان) استفاده نشود، وقوع فرسایش[2] در سطوحی که آب روی آنها با سرعتی بزرگتر از حدود ۱۵ متر بر ثانیه عبور می‌کند، اجتناب‌ناپذیر است.

۷-۳-۹ تراوایی

برای پایایی بیشتر، بتن بندها و سدها باید نسبتاً ناتراوا باشد. اگر بتن ناتراوا نباشد، آب به مرور زمان در آن نفوذ کرده و باعث حل شدن نمکها و یا عوامل شیمیایی می‌شود.

1- Cavitation 2- Erosion

تراوایی بتن نسبت معکوس با میزان سیمان و عمر بتن و نسبت مستقیم با نسبت آب به سیمان دارد. بتنهای دارای حباب هوا، دارای تراوایی کمتری نسبت به بتنهای بدون حباب هوا هستند.

۷-۳-۱۰ وزن مخصوص

با توجه به اینکه پایداری بندها و سدهای وزنی بستگی به وزن آنها دارد، بنابراین وزن مخصوص عامل مـهمی در پایداری سدهای وزنی خواهد بود. عاملی که تأثیر عمده در وزن مخصوص بتن دارد، چگالی دانه‌ها می‌باشد. استفاده از حداکثر مقدار سنگدانه‌های درشت که دارای دانه‌بندی خوب از اندازه حداقل تا اندازه حداکثر می‌باشد، بـاعث افزایش وزن مخصوص بتن خواهد شد. همچنین وزن مخصوص به نسبت آب به سیمان و وجود مواد حباب‌ساز نیز بستگی خواهد داشت.

۷-۳-۱۱ کارایی

کارایی خاصیتی است که بیان‌کننده سهولت جا دادن، تراکم و ایجاد سطح ظاهری مناسب می‌باشد. عوامل مؤثر در کارایی به قرار زیر می‌باشند.

- دانه‌بندی، وزن مخصوص و نسبت ذرات درشت به ریز
- حداکثر اندازه دانه‌ها
- شکل دانه‌ها (هم دانه‌های درشت و هم دانه‌های ریز)
- بافت سطحی مصالح
- کیفیت آب به عنوان یک ماده روان‌کننده
- ظرفیت جذب آب توسط سنگدانه‌ها
- مقدار سیمان
- وجود حبابهای هوا در داخل بتن
- مواد مضاف
- وسایل مورد استفاده برای حمل و نقل و تراکم

عوامل سوم، چهارم و ششم از موارد یاد شده قابل کنترل توسط مهندس نیستند و بستگی به شرایط طرح دارند.

۴-۷ آزمایشهای کنترل کیفیت

آزمایشهایی که برای کنترل کیفیت بتنهای حجیم به کار گرفته می‌شوند، عمدتاً شامل موارد زیر می‌باشند:

- آزمایش سنگدانه‌ها
- آزمایش سیمان
- آزمایش آب
- آزمایش بتن تازه و بتن سخت شده

آزمایشهای مهم مربوط به سنگدانه‌ها شامل دوام در مقابل سایش، مقاومت در برابر یخبندان، پایداری شیمیایی، شکل مصالح و بافت سطحی، دانه‌بندی، وزن مخصوص حجمی[1]، وزن مخصوص، جذب آب، رطوبت سطحی و تعیین درصد مواد زیان آور می‌باشد.

آزمایشهای مربوط به سیمان شامل آزمایش زمان گیرش، مقاومت فشاری، ترکیبات شیمیایی و اندازه‌گیری میزان مواد زیان‌آور می‌باشد.

آزمایشهای مهم مربوط به آب شامل آزمایشهای شیمیایی و میزان مواد زیان‌آور می‌باشد. آزمایشهای مهم مربوط به بتن شامل آزمایش روانی[2]، مقاومت فشاری و مقاومت کششی می‌باشد.

۵-۷ کنترل درجه حرارت

عوامل مؤثر در درجه حرارت سیمان در هنگام گیرش عبارتند از:

الف - مقدار سیمان و نوع آن

ب - پیش سرمایش[3]

پ - پس سرمایش[4]

ت - مدیریت اجرا

الف - مقدار سیمان

با محدود کردن مقدار سیمان در طرح اختلاط و استفاده از سیمانهای تیپ ۲ و یا پوزولان‌دار، می‌توان مقدار حرارت‌زایی در هنگام گیرش را کاهش داد.

1- Bulk Density

2- Slump Test

3- Pre - Cooling

4- Post - Cooling

ب - پیش سرمایش

با پیش سرمایش سنگدانه‌ها، استفاده درصدی از مقدار آب به صورت پودر یخ، می‌توان درجه حرارت مخلوط بتن تهیه شده را کاهش داد.

درجه حرارت توصیه شده برای مخلوط بتن در کارهای حجیم، ۱۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. با حصول این درجه حرارت، در اغلب بتن‌ریزی‌های حجیم احتیاج به پس سرمایش بتن تازه نیست.

پ - پس سرمایش

با تعبیه لوله‌های داخلی در جسم بتن و عبور آب خنک از داخل آن، می‌توان حرارت تولید شده در زمان گیرش را کنترل نمود. این تدبیر در اغلب موارد برای بتن‌ریزی‌های خیلی حجیم و در فصول گرم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ت - مدیریت اجرا

مجموعه تلاشهایی نظیر تنظیم فواصل بتن‌ریزی و ابعاد بلوک [1] مورد بتن‌ریزی، و عایق نمودن بتن نسبت به گرمای محیط، (برای کنترل درجه حرارت بتن در هنگام گیرش انجام می‌شود) مدیریت اجرا در کنترل درجه حرارت بتن نامیده می‌شود.

۶-۷ لایه‌های بتن‌ریزی

بتن حجیم باید به صورت لایه لایه ریخته شود. با استفاده از ویبراتور ۶ اینچ (۱۵۰ میلیمتر) و باکتهایی با ظرفیت ۳ تا ۶ متر مکعب و حداکثر اندازه سنگدانه ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر و اسلامپ کوچکتر از ۴۰ میلیمتر، ضخامت هر لایه می‌تواند ۵۰ سانتیمتر باشد. در صورت استفاده از ویبراتورهای ۳ تا ۴ اینچ (۷۵ تا ۱۰۰ میلیمتر) و اسلامپ کوچکتر از ۵۰ میلیمتر، حداکثر ضخامت لایه‌ها ۳۵ سانتیمتر توصیه می‌شود. استفاده از لایه‌ها با ضخامت کوچکتر، از نقطه‌نظر تراکم و جلوگیری از تجمع سنگدانه‌ها (کرموشدن بتن) در امتداد درزها، گوشه‌ها و سایر وجوه قالب ارجح می‌باشد.

ضخامت لایه باید به صورت مضرب زوجی از ارتفاع کل بلوک اختیار گردد. پیشروی لایه‌ها در جبهه جلو به صورت پله پله می‌باشد که پا خور پله حدود ۱/۵ متر می‌باشد. پوکر ویبراتور باید به‌طور کامل در عمق هر لایه نفوذ نماید و لبه بتن ریخته شده در هر باکت با بتن ریخته شده در باکت بعدی به طور همزمان ویبره گردد.

1- Lift

ارتفاع بلوک در هر نوبت بتن‌ریزی برحسب ضخامت کل پوسته بندها و سدها، از ۲ متر برای بندها و سدهای وزنی با پوسته ضخیم، و تا ۳ متر برای سدهای قوسی با پوسته نازکتر متغیر است.

بتن پس از ریخته‌شدن از باکت، توسط یک بولدوزر کوچک پخش شده و سپس توسط یکسری ویبراتور که به یک بولدوزر کوچک متصل می‌باشند، متراکم می‌گردد. نواحی نزدیک به قالب و گوشه‌ها توسط ویبراتور دستی متراکم شوند.

پیوست شماره ۱- طراحی سازه‌های هیدرولیکی بندهای انحراف آب

۱- کلیات

یک پروژه انحراف آب دارای اجزای مختلفی است که لازم است از لحاظ هیدرولیکی طراحی گردند. از جمله این اجزا می‌توان از سرریزها، دریچه‌ها، سیستم شستشو و سازه‌های دفع رسوب، سازه‌های استهلاک انرژی، بلوک آبگیر، پیش‌بند، سپری‌ها و عملیات ساماندهی نام برد. انواع مختلفی از سازه‌های فوق‌الذکر وجود دارد که هر کدام در شرایطی خاص کاربرد دارند و مطالعه آنها خود مبحث مفصلی را تشکیل می‌دهد. در این بخش بطور اجمال به معرفی و ارائه روش طراحی (اندازه‌دهی) برخی از عمده‌ترین اجزاء (احیاناً از نظر هزینه‌بری جهت ساخت) و معمولترین سازه‌های هیدرولیکی بندهای انحراف آب پرداخته می‌شود.

۱-۱ سرریزهای اوجی آزاد

رابطه جریان عبوری از روی این سرریزها به صورت زیر است:

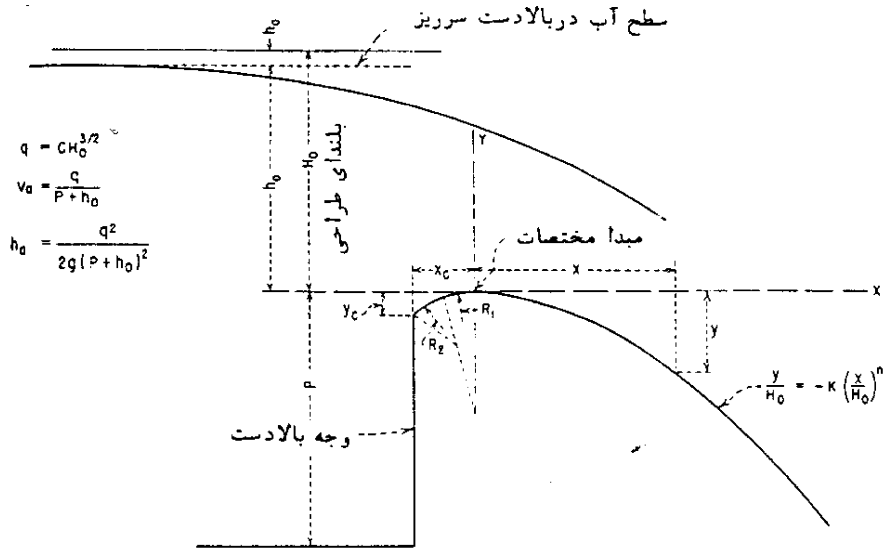
$$Q = CLH_{\circ}^{1/5}$$

که در این رابطه L طول سرریز بر حسب متر، $H_{\circ}$ تراز انرژی روی سرریز بر حسب متر و C ضریب تخلیه می‌باشد. با توجه به افزایش هزینه‌ها در صورت افزایش $H_{\circ}$ و L، باید با طرح هیدرولیکی مناسب برای سرریز، ضریب C را بیشینه کرد.

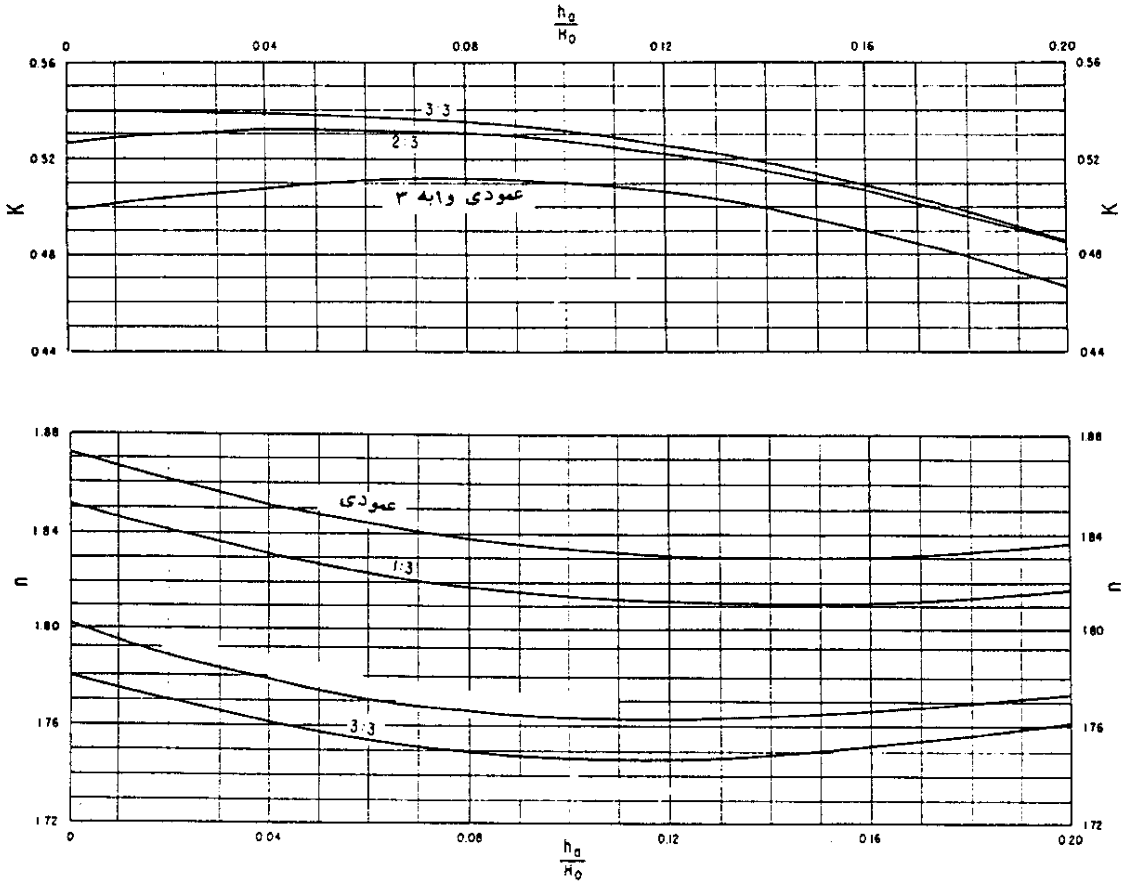
مقدار ضریب تخلیه C به عوامل مختلفی بستگی دارد. شیب نمای بالادست، ارتفاع آستانه از کف و ضخامت تیغه آب روی تاج سرریز، عوامل مؤثر بر مقدار C می‌باشند. حداکثر مقدار C در سیستم متریک ۲/۲۲۵ است.

برای تعیین نیمرخ تاج سرریز، روشهای استانداردی توسط دو مرکز تحقیقاتی عمده توصیه شده است. طرح توصیه شده توسط دفتر عمران ایالات متحده در شکل (پ ۱-۱) ارائه شده است [۷].

پس از تعیین نیمرخ تاج سرریز و روشن شدن هندسه آن، می‌توان ضریب تخلیه مربوط به طرح را از نمودارهای توصیه شده که در اشکال (پ ۱-۲) تا (پ ۱-۶) نشان داده شده است، بدست آورد.

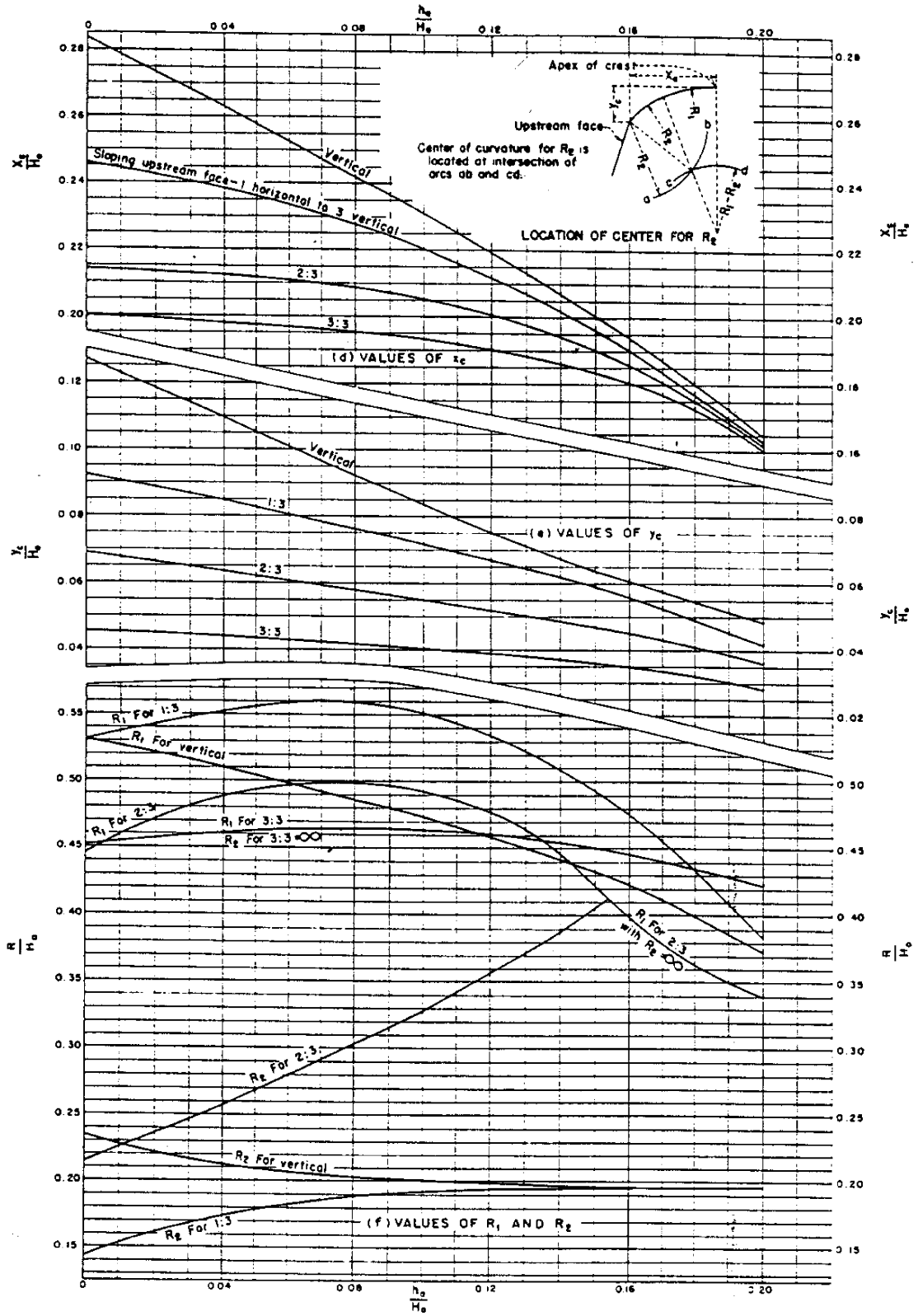


الف - اعضاء نیمرخ آستانه سرریز اوجی



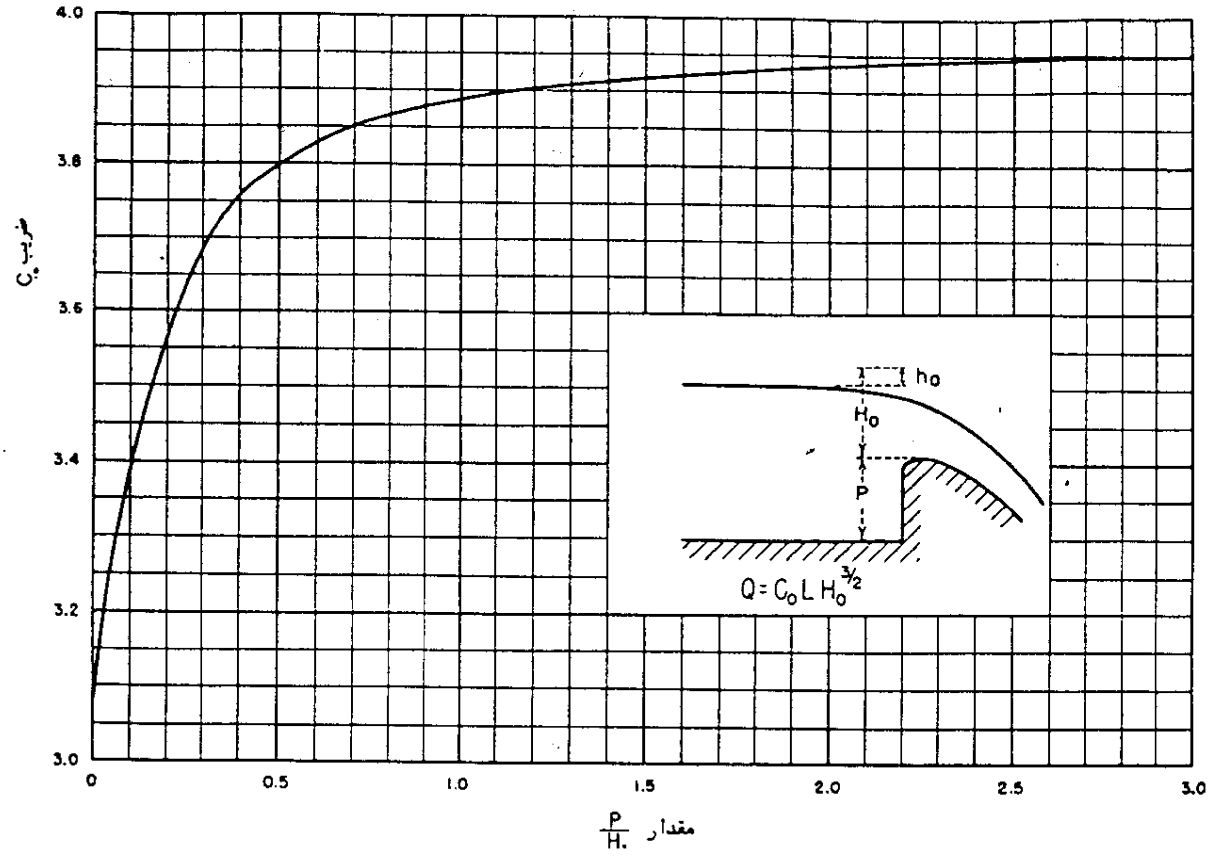
ب - ضرایب k و n

شکل (پ ۱-۱) اعضاء نیمرخ آستانه سرریز اوجی شکل و ضرائب معادله منحنی پائین‌دست بند [۷]

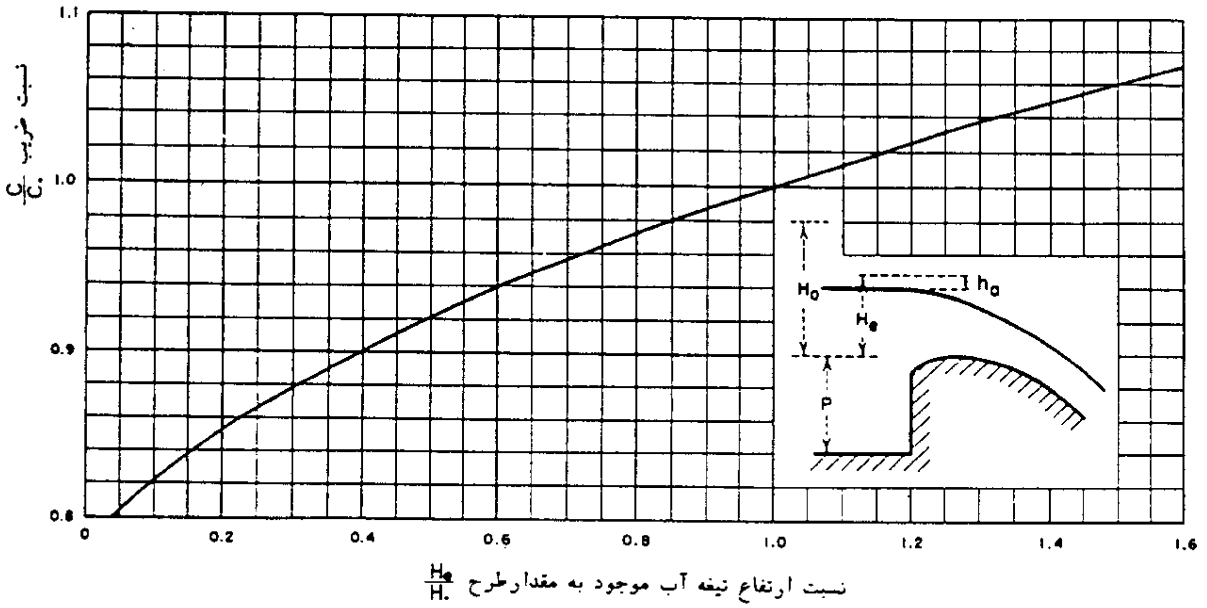


ج - ضرایب هندسی بند اوجی شکل

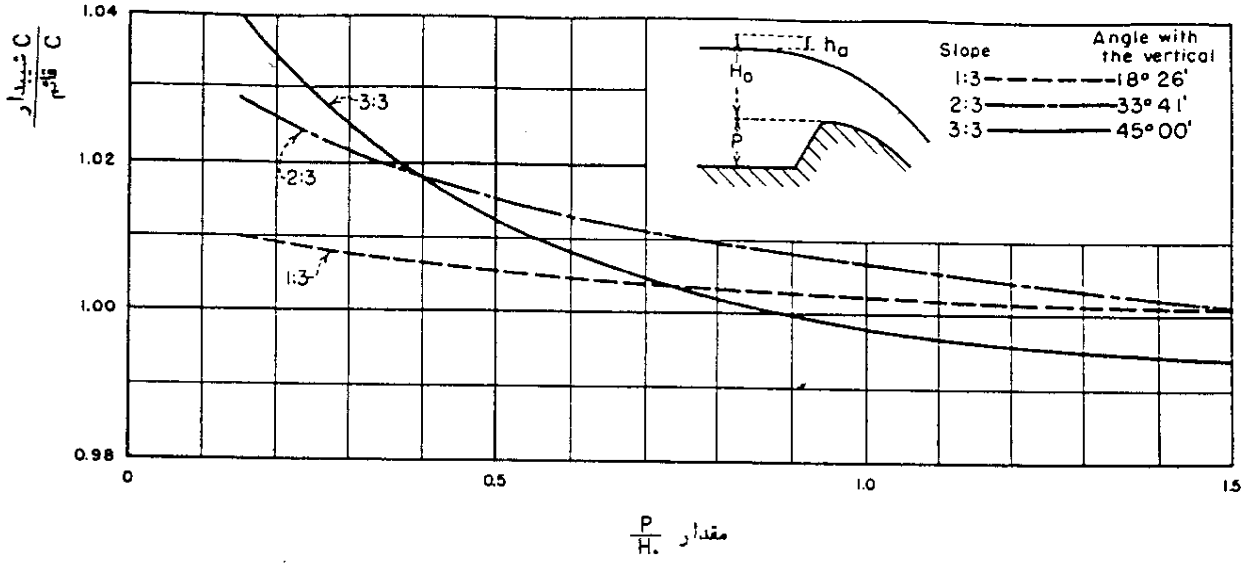
شکل (پ ۱-۱) دنباله [۷]



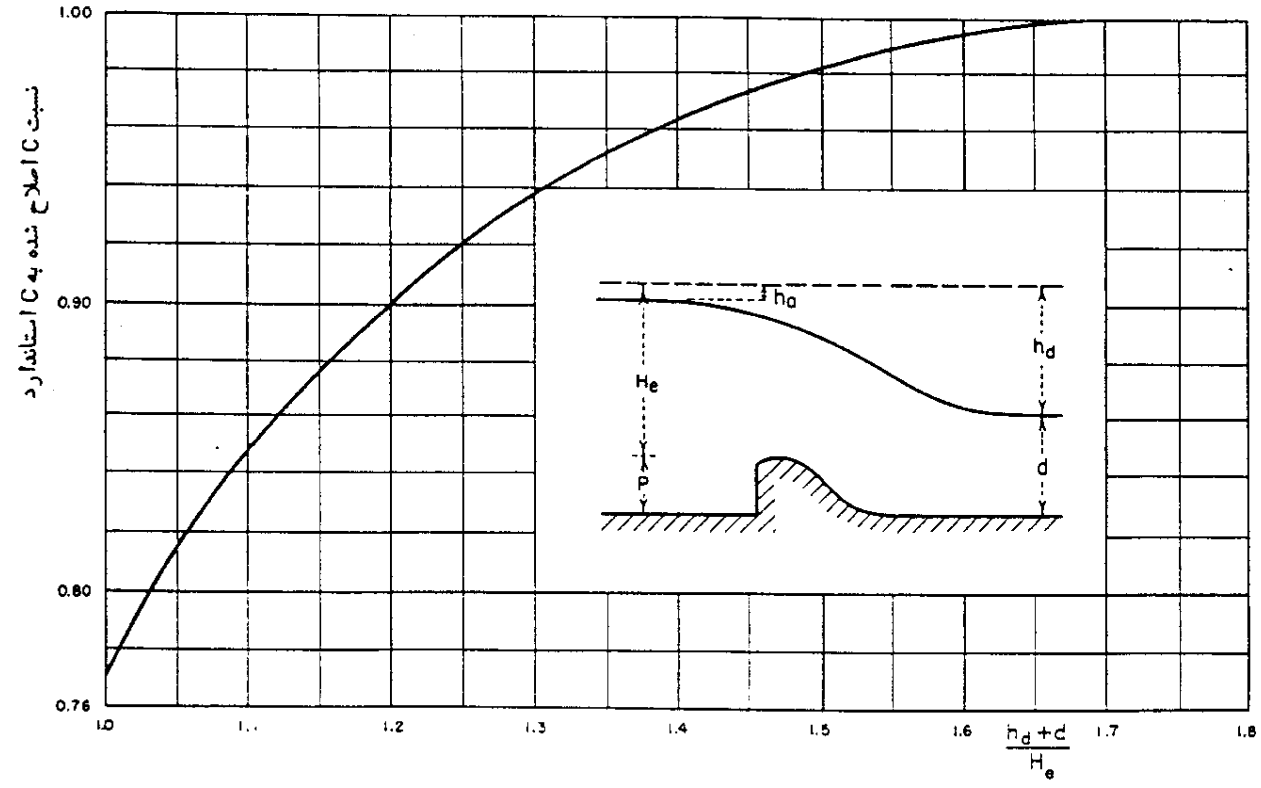
شکل (پ ۱-۲) ضریب تخلیه C_0 برای سرریز اوجی شکل در بده طرح [۷]



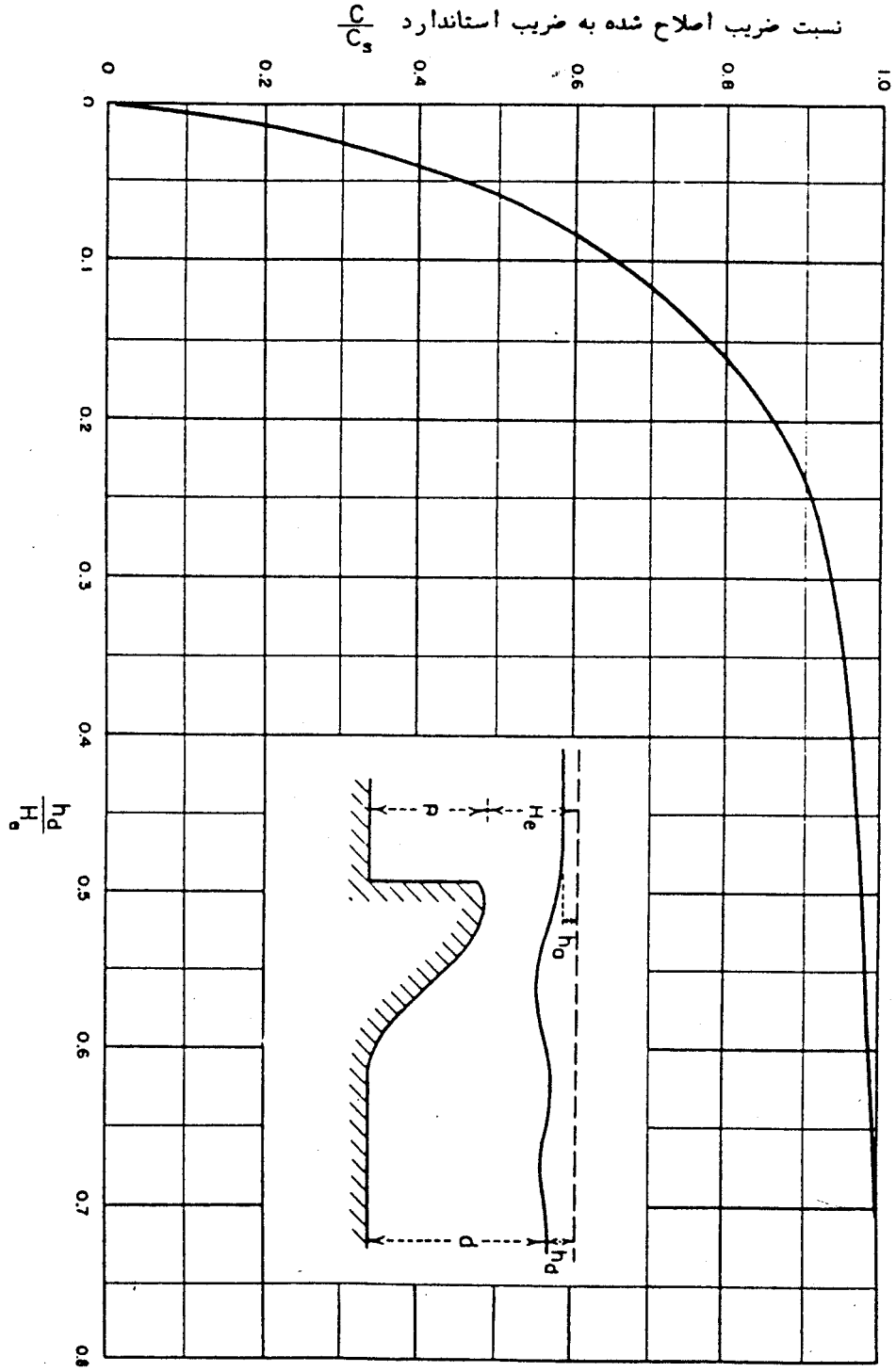
شکل (پ ۱-۳) اصلاح ضریب C برای بده غیر از بده طرح [۷]



شکل (پ ۱-۴) اصلاح ضریب تخلیه C برای اثر شیب‌دار بودن وجه فوقانی [۷]



شکل (پ ۱-۵) اثر تراز حوضچه بر ضریب C [۷]



شکل (پ ۱-۶) اثر استغراق جریان بر ضریب C [۷]

۱-۲ سرریزهای اوجی با دریچه

جریان عبوری از یک سرریز دریچه‌دار وقتی قسمتی از دریچه باز است مشابه جریان از یک روزنه می‌باشد. در این صورت شکل تاج سرریز باید مطابق جت خروجی از روزنه باشد که آنرا برای یک روزنه قائم می‌توان به صورت زیر نوشت، محور مختصات مطابق شکل (پ ۱-۱):

$$-y = \frac{x^2}{4H}$$

که H ارتفاع خط انرژی تا مرکز بازشدگی است. بده عبوری را می‌توان از فرمول زیر یافت:

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\, CL(H_1^{\frac{3}{2}} - H_2^{\frac{3}{2}})$$

برای دریچه‌های قطاعی ضریب C را می‌توان از شکل (پ ۱-۷) بدست آورد [۷].

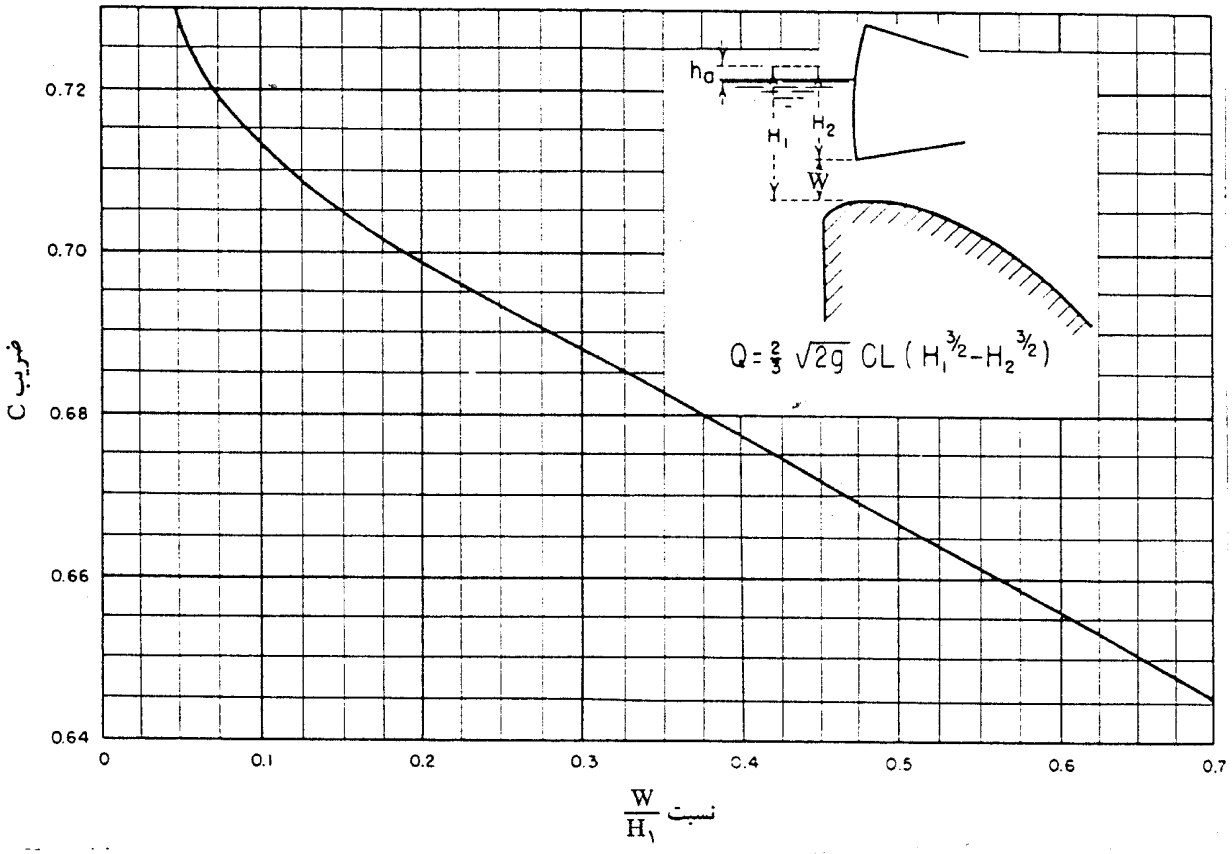
ضریب تخلیه C به عوامل مختلفی از جمله شکل تاج و دریچه و موقعیت دریچه نسبت به تاج سرریز بستگی دارد. جزئیات مربوط به طرح سرریزهای اوجی با دریچه قطاعی و همچنین با دریچه کشویی را می‌توان در مأخذ [۸] یافت.

۱-۳ سرریزهای لبه پهن

اگر طول سرریز در جهت جریان بیش از سه برابر تیغه آب روی آن باشد سرریز لبه پهن محسوب می‌شود. بده عبوری از روی سرریزهای لبه پهن از رابطه :

$$Q = CLH_o^{\frac{3}{2}}$$

قابل محاسبه است که ضریب تخلیه C به شکل سرریز بستگی دارد. ضریب تخلیه برای شکلهای مختلف سرریز لبه پهن را می‌توان در کتابهای مأخذ هیدرولیک از جمله مأخذ [۱۰] یافت.



شکل (پ ۱-۷) ضریب تخلیه سرریز اوجی با دریچه قطاعی در موقعیت خاص نشان داده شده در شکل [۷]

در صورتیکه سرریز لبه پهن دارای دریچه باشد در بازشدگی‌های کم عبور جریان از زیر دریچه مثل عبور جریان از یک روزنه می‌باشد، بده از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$Q = CLW\sqrt{2gH}$$

که L طول سرریز، W بازشدگی دریچه و H بلندی انرژی بالادست دریچه است. برای جزئیات و بدست آوردن ضریب تخلیه C که به عوامل مختلف از جمله شکل دریچه و سرریز بستگی دارد به مأخذ [۸] رجوع کنید.

۱-۴ دریچه کشویی روی کف افقی

وضعیت جریان در حین عبور از زیر یک دریچه کشویی در شکل (پ ۱-۸) مشخص شده است.

جریان از زیر دریچه در دو حالت زیر می‌تواند رخ دهد:

الف) جریان آزاد

ب) جریان مستغرق

در جریان آزاد، عمق آب پائین‌دست y_3 تأثیری بر جریان دریچه ندارد.

در جریان مستغرق، عمق آب در پایاب y_3 بر روی جریان دریچه تأثیر می‌گذارد شکل (پ ۱-۹).

بده عبوری از یک دریچه کشویی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q = C_d WL\sqrt{2gy_1}$$

ضریب تخلیه C از نمودار شکل (پ ۱-۱۰) قابل تعیین است. اگر جریان از زیر دریچه آزاد باشد، از منحنی تقریباً افقی فوقانی و اگر جریان مستغرق باشد، از منحنی‌های مورب که هر کدام برای $\frac{y_3}{W}$ معینی هستند استفاده می‌شود. منحنیهای خط چین بر مبنای مطالعات تئوریک به‌دست آمده‌اند.

۱-۵ دریچه قطاعی روی کف افقی

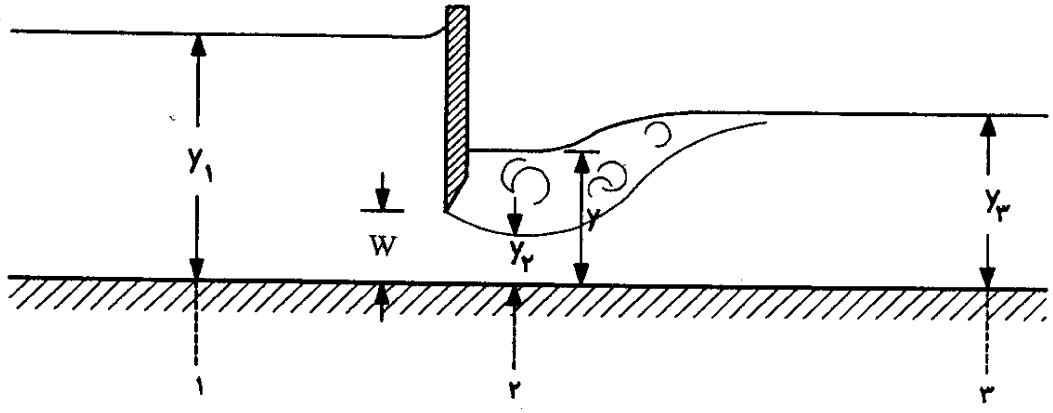
رابطه جریان برای دریچه‌های قطاعی به صورت زیر است :

$$Q = C_d WL\sqrt{2gy_1}$$

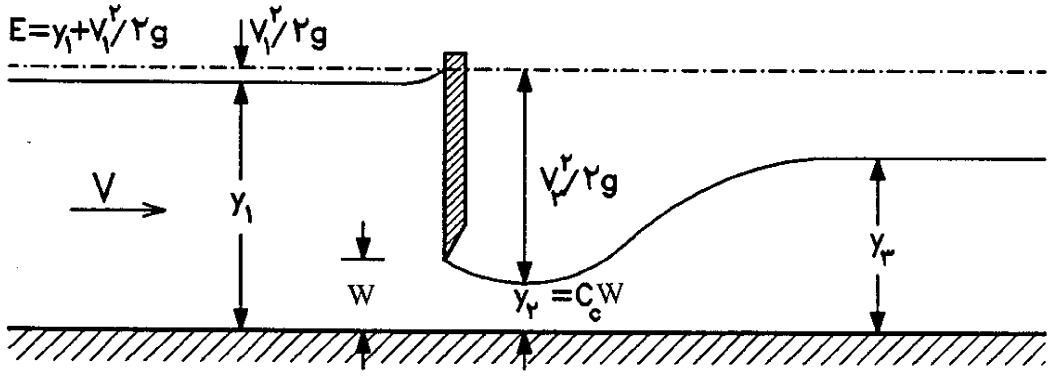
که در آن :

C_d = ضریب تخلیه طبق نمودارهای شکل (پ ۱-۱۱) برحسب نوع جریان و نسبت W/r و سایر عوامل مشخص شده در شکل (پ ۱-۱۱)

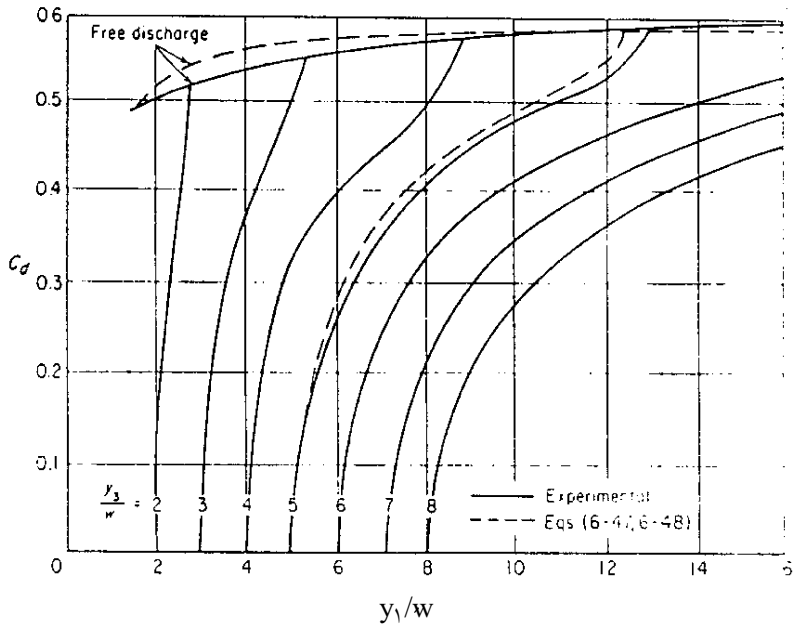
اگر عمق پایاب زیاد شود دریچه مستغرق شده، ضریب تخلیه آن کاهش می‌یابد، شکل (پ ۱-۱۱) [۲۳]. اگر در یک دریچه قطاعی $\frac{y_3}{r} = ۰/۷۵$، $\frac{W}{r} = ۰/۵$ و $\frac{a}{r} = ۰/۵$ انتخاب شود. در این صورت ضریب تخلیه طبق نمودار (پ۱-۱۱) $C_d = ۰/۳$ حاصل می‌گردد.



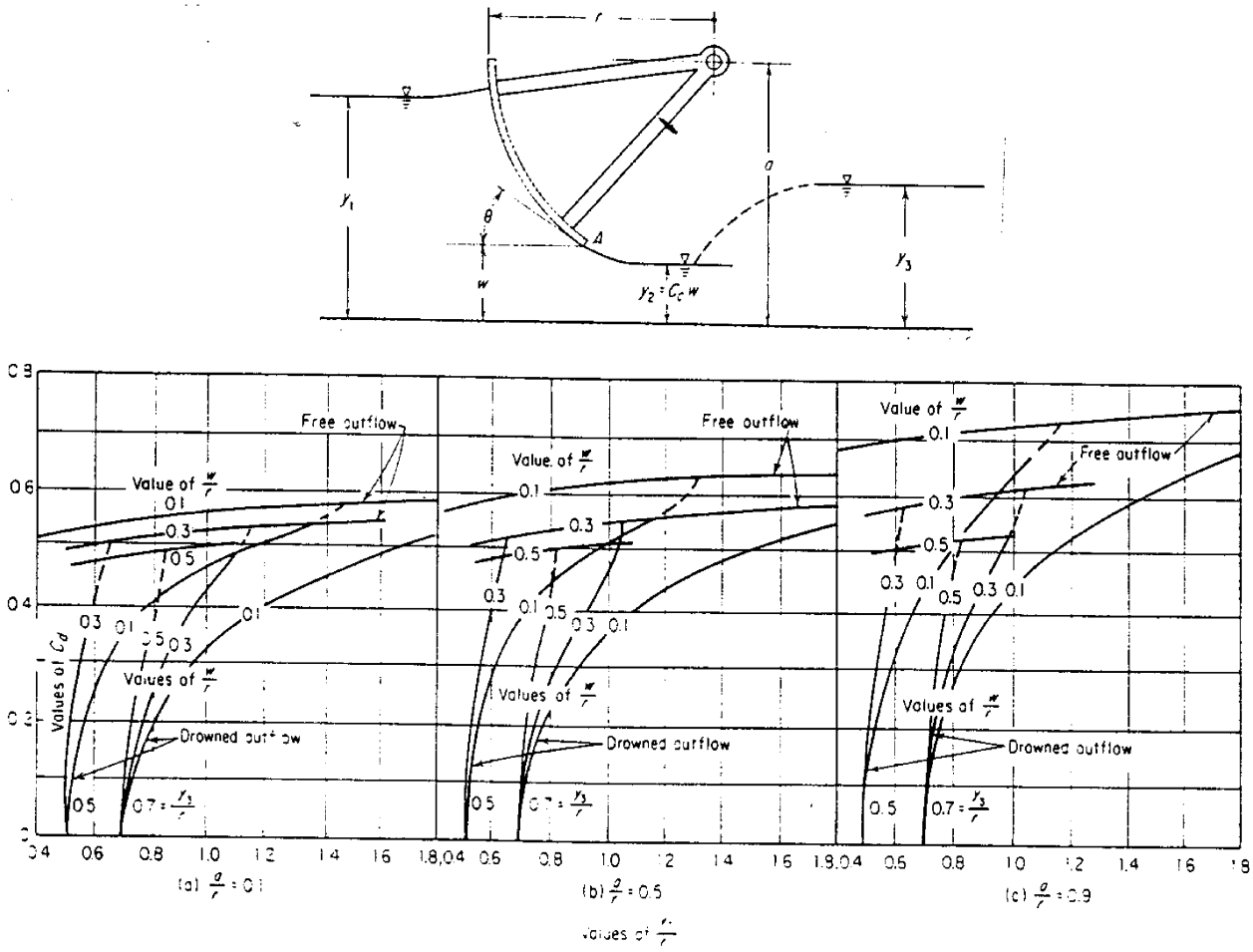
شکل (پ ۱-۸) وضعیت جریان در حین عبور از یک دریچه کشویی



شکل (پ ۱-۹) تأثیر عمق آب در پایاب بر روی جریان



شکل (پ ۱-۱۰) ضریب تخلیه C_d

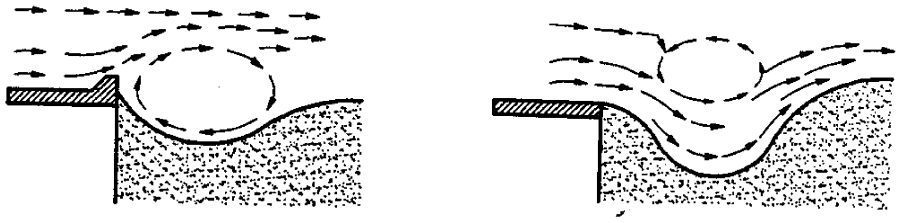


شکل (پ ۱-۱۱) [۲۳]

۱-۶ انواع حوضچه آرامش

جریان با سرعت زیاد که از روی سرریز و یا از سیستم مجرای تخلیه رسوب عبور می‌کند اگر به همان شکل وارد رودخانه شود تا مسافت زیادی باعث آب شستگی در بستر خاکی پائین‌دست می‌شود. برای جلوگیری و کنترل چنین پدیده‌ای روشهای مختلفی وجود دارد [۷]. از جمله می‌توان با ایجاد یک پرش هیدرولیکی در محل مشخصی بلافاصله در پائین‌دست سرریز و یا سیستم مجرای تخلیه رسوب (حوضچه آرامش) جریان فوق بحرانی را به یک جریان زیر بحرانی با سرعت کمتر تبدیل نمود. یک پرش هیدرولیکی در طول مشخصی رخ می‌دهد و دارای نوسانات شدیدی می‌باشد. بنابراین لازم است محدوده‌ای که در آن پرش رخ می‌دهد در مقابل فرسایش کاملاً محافظت شود. ساخت بلوکهای ابتدایی و میانی در محل پرش می‌تواند در سرعتهای بالاتر به مخلوط شدن جریان پرسرعت در لایه‌های پائینی و جریان کم سرعت در لایه‌های بالایی کمک کرده طول پرش را کاهش دهد.

ایجاد یک پایانه نیز در انتهای حوضچه آرامش به تثبیت پرش و دور کردن جریان پرسرعت از نزدیک بستر و در نتیجه کاهش آب‌شستگی کمک می‌کند، شکل (پ ۱-۱۲).



الف) بدون پایانه　　ب) با پایانه

شکل (پ ۱-۱۲) تأثیر پایانه در حذف جریانهای چرخشی عمیق

با انجام آزمایش، اشکال بهینه برای حوضچه‌های آرامش برحسب عدد فرود و سرعت جریان ورودی بدست آمده است که مطابق جدول زیر می‌باشد.

نوع حوضچه	محدوده عدد فرود
I	۱/۷ تا ۲/۵
II	> ۴/۵ سرعت ورودی ۱۵ m/s >
III	> ۴/۵ سرعت‌ورودی ۱۵ m/s >
IV	۲/۵ تا۴/۵

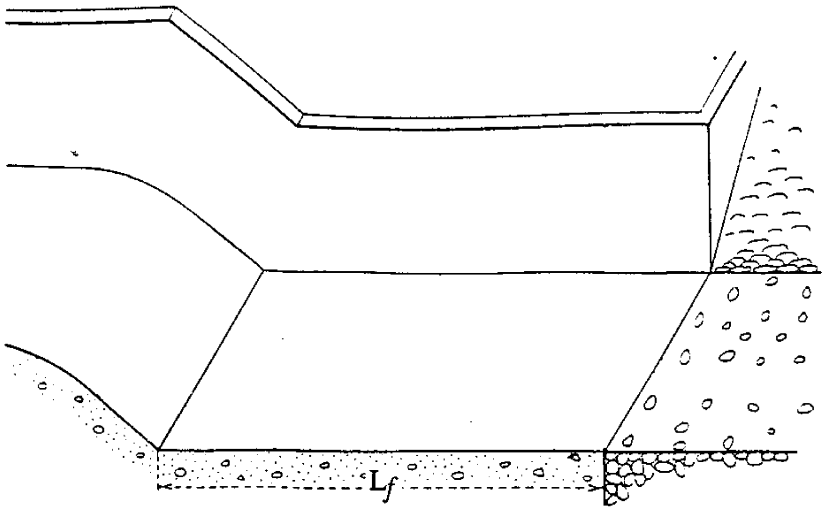
در حال حاضر با توجه به اعتبار مأخذ مذکور در ایران عملاً طراحی حوضچه‌های آرامش بر اساس توصیه‌های این مأخذ صورت می‌گیرد [۹].

ابعاد و شکل حوضچه‌های آرامش در اشکال (پ ۱-۱۳) تا (پ ۱-۱۶) آمده است.

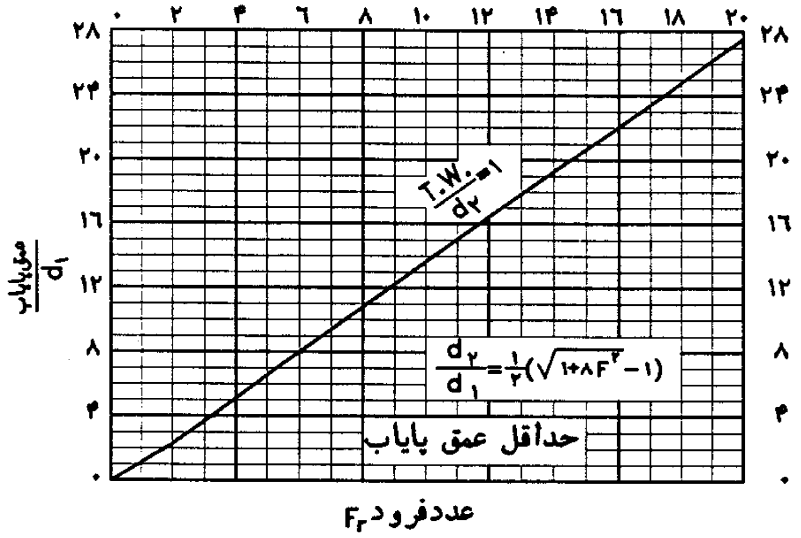
۱-۷ حفاظت پائین‌دست

در پائین‌دست حوضچه آرامش دو سیستم حفاظتی زیر تعبیه می‌گردد، شکل (پ ۱-۱۷):

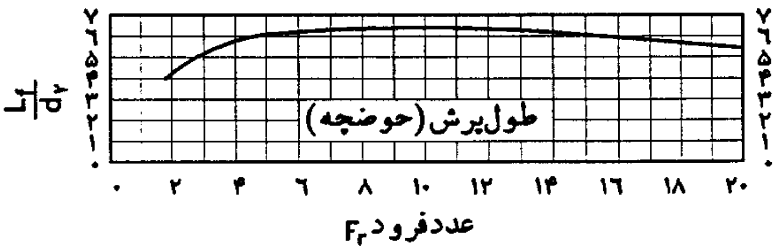
- پاشنه پائین‌دست به منظور کاهش گرادیان خروجی
- سنگ‌چین پائین‌دست به منظور جلوگیری از فرسایش پائین‌دست.



الف - ابعاد حوضچه



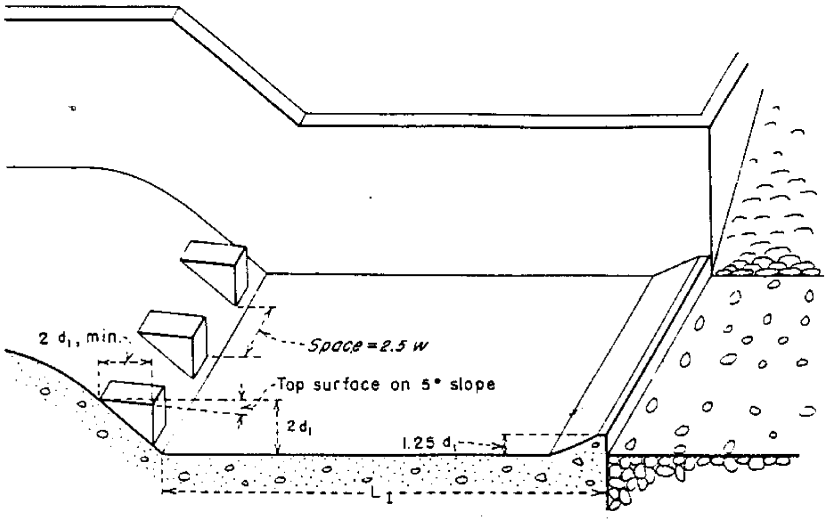
ب - حداقل عمق پایاب



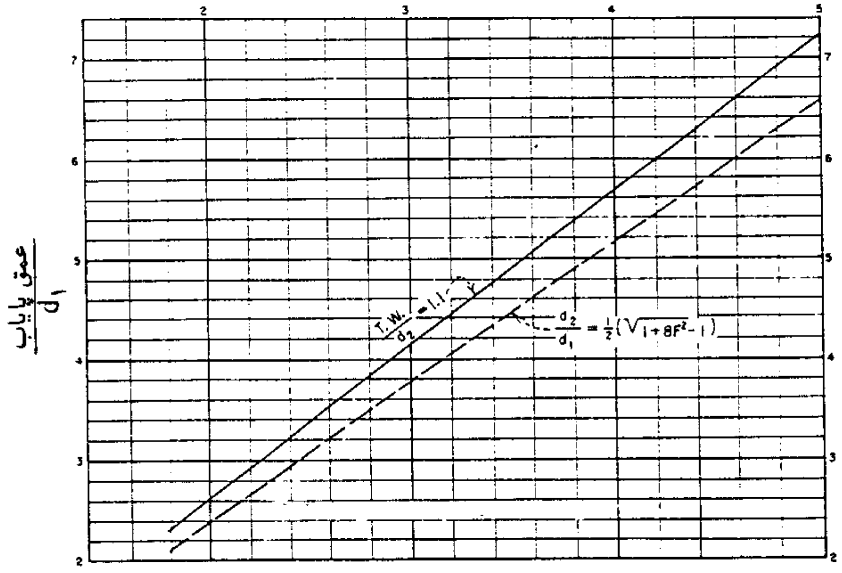
ج - طول پرش (طول حوضچه)

در این نمودار d_1 عمق جریان قبل از ورود به حوضچه و d_2 عمق جریان بعد از پرش هیدرولیکی می‌باشد

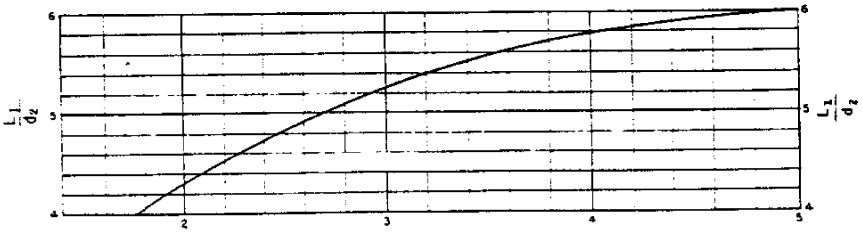
شکل (پ ۱-۱۳) مشخصات حوضچه آرامش تیپ (۱) USBR



الف – ابعاد حوضچه

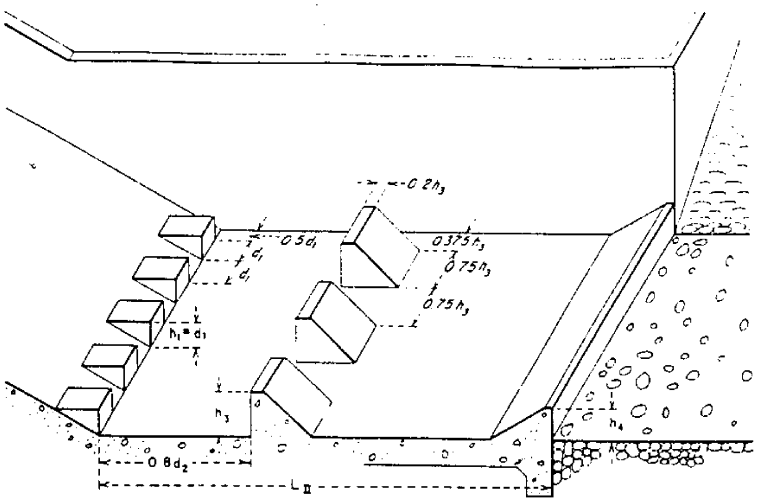


ب – حداقل عمق پایاب

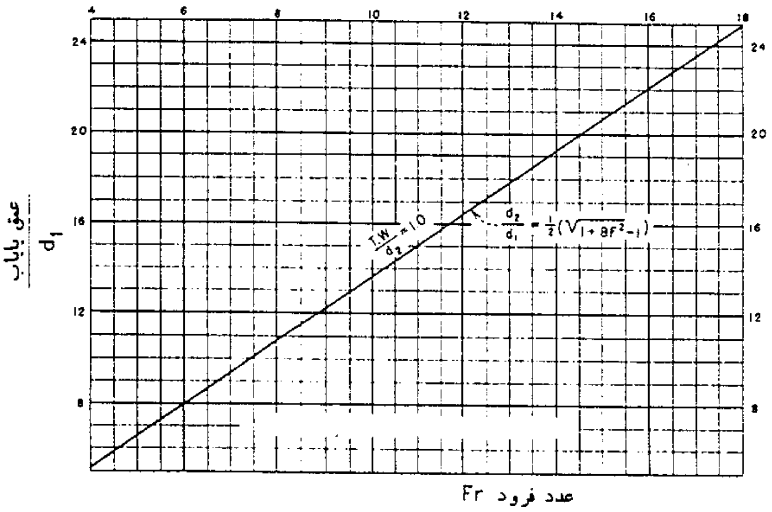


ج – طول پرش (طول حوضچه)

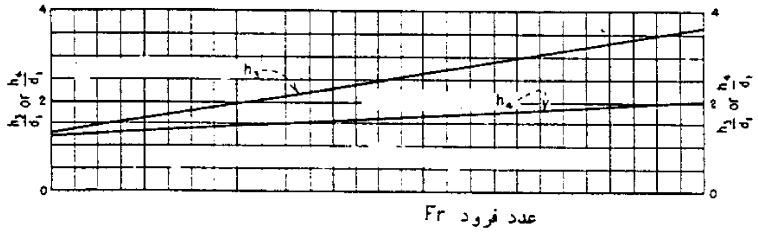
شکل (پ ۱-۱۴) مشخصات حوضچه آرامش تیپ (۴) USBR



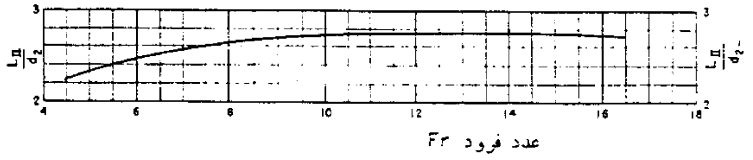
الف - ابعاد حوضچه



ب - حداقل عمق پایاب

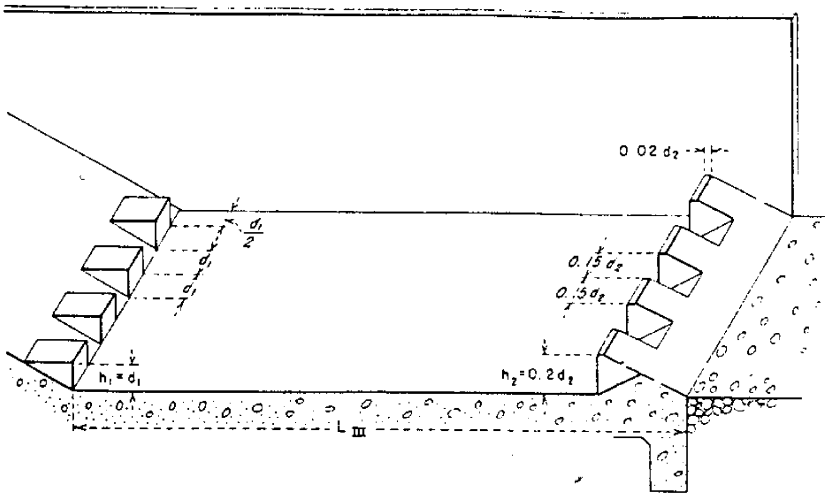


ج - ارتفاع بلوکهای میانی و انتهایی

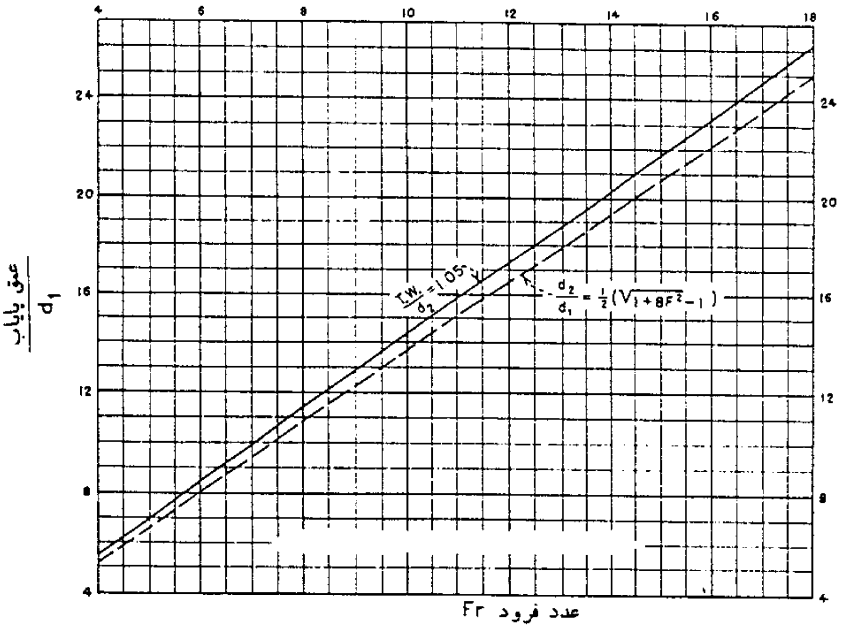


د - طول پرش

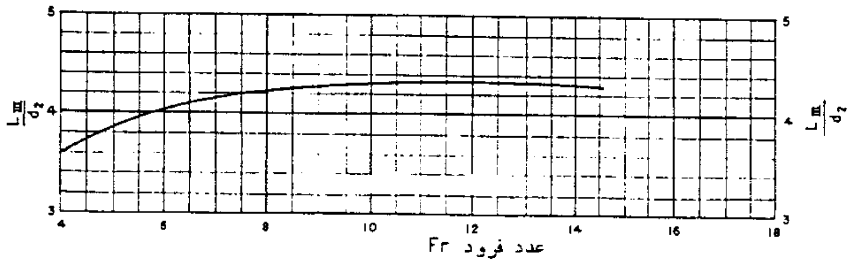
شکل (پ ۱-۱۵) مشخصات حوضچه آرامش تیپ (۳) USBR



الف - ابعاد حوضچه



ب - حداقل عمق پایاب



ج - طول پرش (طول حوضچه)

شکل (پ ۱-۱۶) مشخصات حوضچه آرامش تیپ (۲) USBR

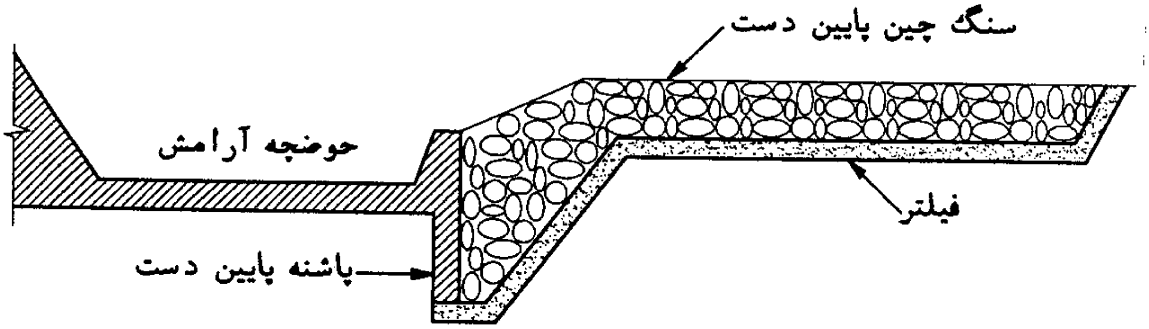
اندازه سنگهای پائین‌دست برای جلوگیری از فرسایش، برحسب سرعت جریان از رابطه زیر قابل محاسبه است [۹]:

$$d_g = \frac{V^2}{25}$$

V = سرعت جریان برحسب متر بر ثانیه

d_g = قطر سنگ برحسب متر

مصالح سنگ‌چین باید با دانه‌بندی خوب باشند که ۶۰ درصد ذرات آن دارای ابعاد بزرگتر یا مساوی عدد بدست آمده از رابطه بالا باشد. ضخامت لایه، در حدود ۱/۵ تا ۲ برابر قطر بدست آمده توصیه می‌شود و لازم است یک قشر فیلتر از شن و ماسه در زیر آن قرار داده شود، شکل (پ ۱-۱۷).



شکل (پ ۱-۱۷)

پیوست شماره ۲- مثالهایی جهت تعیین نشت، زیر فشار و پدیده رگاب

کلیات

در این پیوست مثال‌ها و توضیحات بیشتری در خصوص موضوعات مطروحه در فصل سوم ارائه می‌شود. در این پیوست برای حل مسائل، ناگزیر به استفاده از بعضی معیارهای هیدرولیکی گردیده که منظور استاندارد بودن آنـها نمی‌باشد. لذا می‌توان روشهای مشابه دیگری را نیز بکار بست.

مثال پ -۲-۱- کاربرد شبکه جریان در تعیین زیر فشار

برای شبکه جریان نشان داده شده در شکل (۳-۳) از فصل سوم مطلوبست تعیین :

الف - ارتفاع نظیر فشار در نقاط A، B و C

ب - اگر $k = ۰/۰۱$ mm/s باشد، مطلوبست تعیین بده نشت برحسب متر مکعب بر روز بر یک متر طول سد

حل :

حداکثر ارتفاع هیدرولیکی h مساوی ۱۰ متر می‌باشد. در شکل (۳-۳) تعداد افت فشار $N_d = ۱۲$ و در نتیجه :

$$\Delta h = h/N_d = ۱۰/۱۲ = ۰/۸۳۳ \text{ m}$$

$$H_A = H_C = ۱۰ - ۳ \times ۰/۸۳۳ = ۷/۵ \text{ m}$$

$$H_B = ۱۰ - ۵ \times ۰/۸۳۳ = ۵/۸۴ \text{ m}$$

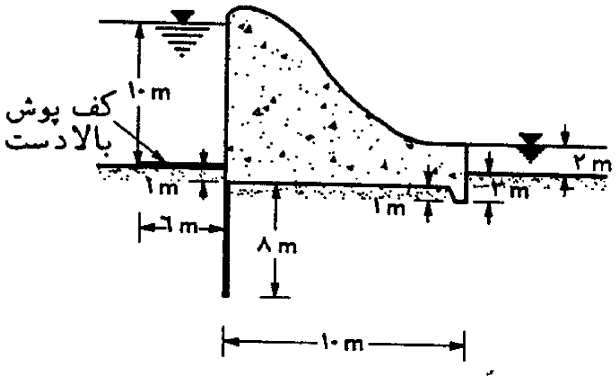
$$q = kh \frac{N_f}{N_d}$$

$$k = ۰/۰۱ \text{ mm/s} = \frac{۰/۰۱}{۱۰۰۰}(۶۰ \times ۶۰ \times ۲۴) = ۰/۸۶۴ \text{ m/day}$$

$$q = ۰/۸۶۴ \times ۱۰ \times \frac{۵}{۱۲} = ۳/۶ \text{ m}^۳/(\text{day.m})$$

مثال پ -۲-۲- کاربرد روش‌های خزشی به منظور مطالعه پدیده رگاب

در شکل (پ ۲-۱)، مقطع یک بند انحراف آب نشان داده شده است. مصالح پی بند از ماسه‌ریز می‌باشد. با استفاده از روش خزشی وزنی، ایمنی سازه را در مقابل پدیده رگاب بررسی نمایید.



شکل (پ ۲-۱) مقطع بند انحراف آب

حل : با استفاده از رابطه ۳-۲۳ طول خزشی وزنی برابر است با:

$$L_w = \frac{\Sigma L_h}{۳} + \Sigma L_v$$

$$\Sigma L_h = ۶ + ۱۰ = ۱۶\,m$$

$$\Sigma L_v = ۱ + (۸ + ۸) + ۱ + ۲ = ۲۰\,m$$

$$L_w = \frac{۱۶}{۳} + ۲۰ = ۲۵/۳۳\ m$$

$$\Delta H = ۱۰ - ۲ = ۸m$$

$$i = \frac{\Delta H}{L_w} = \frac{۸}{۲۵/۳۳} = ۰/۳۱۶ = \frac{۱}{۳/۱۶} > \frac{۱}{۷}$$

. . پس سازه ایمن نیست.

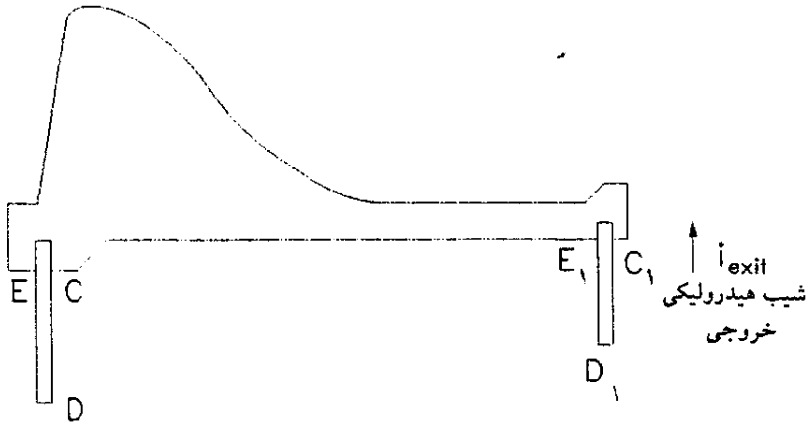
روش خوسلاو

روش خوسلاو یک روش نظری - تجربی برای محاسبه نشت و فشار برکنش در زیر یک سازه هیدرولیکی است. در این روش مسیر جریان در لایه تراوا بصورت سهمی فرض شده و معادلات لاپلاس با توجه به شرایط مرزی برای آن حل شده است. حاصل کار برای استفاده در طرحهای عملی، در نمودارهای اشکال (پ ۲-۳) تا (پ ۲-۵) ارائه شده است.

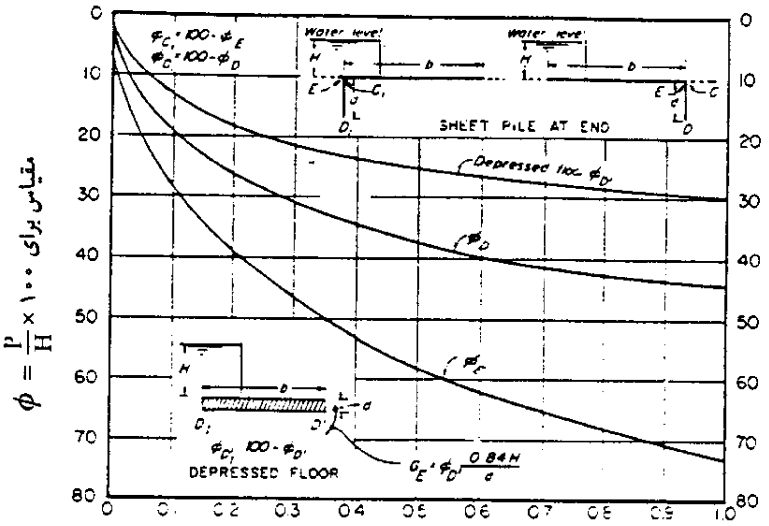
نمودار شکل (پ ۲-۳) مربوط به حالتی است که پرده آب بند دقیقاً در بالادست یا پائین‌دست قرار داشته و یا پی بدون پرده آب‌بند بصورت عمیق می‌باشد.

نمودار شکل (پ ۲-۴) وجود پرده آب‌بند را در حد فاصل بالادست و پائین‌دست و بالاخره نمودار شکل (پ ۲-۵) اثر شیب پی را منظور می‌نماید.

در روش خوسلاو، ابتدا فشار در نقاط مشخصی که در اطراف هر آب بند قرار دارد (نقاط E , D و C در شکل (پ ۲-۲)) محاسبه گردیده و سپس تغییر فشار بین این نقاط بصورت خطی فرض می‌شود.



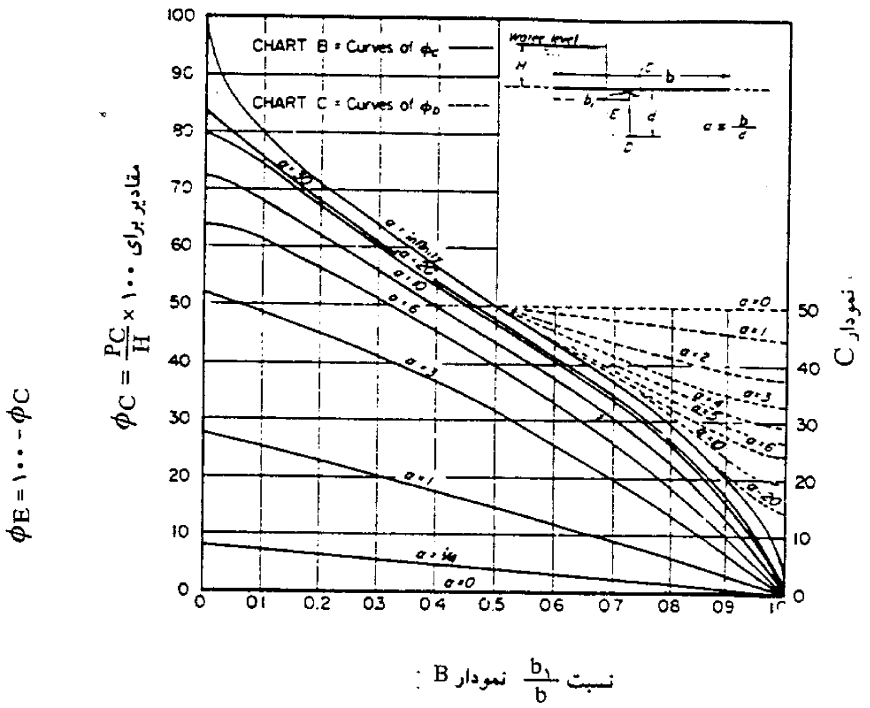
شکل (پ ۲-۲) نقاط مشخصی که فشارشان مستقیماً در روش خوسلاو محاسبه می‌شود.



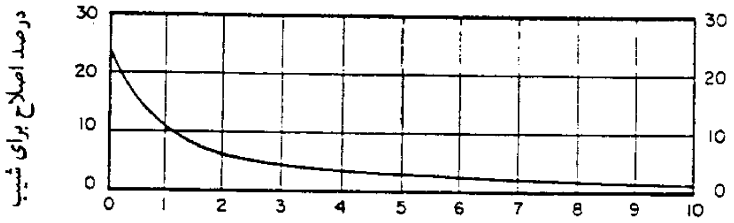
مقادیر $(\frac{1}{a} = \frac{d}{b})$

نمودار A

شکل (پ ۲-۳) پرده آب‌بند در بالادست یا پائین‌دست [۱۲]



شکل (پ ۲-۴) پرده آب‌بند در حد فاصل بالادست و پائین‌دست [۱۲]



نمودار D

شکل (پ ۲-۵) تأثیر شیب پی [۱۲]

علائم به‌کار رفته در روش خوسلاو:

b = طول افقی پی، متر،

d = عمق آب‌بند از روی پی، متر،

α = نسبت $\frac{b}{d}$،

b_1 = طول افقی پی در بالادست آب بند، متر،

b_2 = طول افقی پی در پائین‌دست آب‌بند، متر،

H = اختلاف ارتفاع آب بین بالادست و پائین‌دست، متر،

E = نقطه اتصال آب‌بند با پی در بالادست،

C = نقطه اتصال آب‌بند با پی در پائین‌دست ،

D = عمیق‌ترین نقطه آب‌بند،

ϕ_E، ϕ_D و ϕ_C = نسبت فشار در نقاط E، D و C نسبت به H، درصد

برای استفاده از نمودارهای اشکال (پ ۲-۳) تا (پ ۲-۵)، باید از قانون وارونه‌سازی استفاده نمود. براساس این قانون با توجه به جهت جریان در زیر پی، اگر درصد فشار در نقطه C، ϕ فرض شود، در نقطه قرینه آن یعنی C_1 مساوی ϕ - ۱۰۰ خواهد بود. ϕ نسبت فشار برحسب H در هر نقطه می‌باشد، یعنی ϕ = ۱۰۰ p/H حالات مختلفی که در روش خوسلاو قابل مطالعه است، به شرح زیر می‌باشد:

۱- آب‌بند دقیقاً در بالادست و پائین‌دست پی قرار دارد.

در این حالت با بهره‌گیری از مجموعه منحنی‌های نمودار شماره (پ ۲-۳) میزان ϕ_E، ϕ_D و ϕ_C بشرح زیر محاسبه می‌گردد:

- ϕ_D و ϕ_E را می‌توان با استفاده از مقدار $\frac{1}{a}$ محاسبه نمود.

- ϕ_{C1} از رابطه $\phi_{C1} = 100 - \phi_E$ و ϕ_{D1} از رابطه $\phi_{D1} = 100 - \phi_D$ تعیین می‌گردد.

۲- پی عمیق بدون آب‌بند

در این حالت با بهره‌گیری از نتایج آزمایشگاهی، معادلات تجربی ارائه گردیده‌اند که بصورت منحنی $\phi_{D'}$ در نمودار شکل (پ ۲-۳) نشان داده شده است. بنابراین ابتدا با استفاده از منحنی مزبور $\phi_{D'}$ محاسبه گردیده و سپس $\phi_{D'1}$ با توجه به رابطه $\phi_{D'1} = 100 - \phi_{D'}$ تعیین می‌شود.

۳- آب‌بند دقیقاً در بالادست یا پائین‌دست پی قرار ندارد.

معادلاتی که میزان ϕ_E، ϕ_D و ϕ_C را تعیین می‌کنند بصورت مجموعه منحنی‌های نمودار شماره (پ ۲-۴) ارائه گردیده‌اند. نحوه محاسبه ϕ_E، ϕ_D و ϕ_C بشرح زیر می‌باشد:

- ϕ_C با استفاده از مقادیر $\frac{b_1}{b}$ و α محاسبه می‌شود.

- $\phi_E = 100 - \phi_C$ خواهد بود که در اینجا ϕ_C با استفاده از مقادیر $(\frac{b_1}{b} - 1)$ و α قابل محاسبه می‌باشد.

در صورتیکه $\frac{b_1}{b} > ۰/۵$ باشد، می‌توان $\phi_{D'}$ را با استفاده از $\frac{b_1}{b}$ و α محاسبه نمود.
در صورتیکه $\frac{b_1}{b} < ۰/۵$ باشد، می‌توان ϕ_D را از رابطه $\phi_D = ۱۰۰ - \phi_{D'}$ بدست آورد که در آن $\phi_{D'}$ با استفاده از $(\frac{b_1}{b} - ۱)$ و α قابل محاسبه است.

۴- تصحیح برای تأثیر آب‌بندها بر یکدیگر

برای تعیین میزان تأثیر آب‌بندهای مجاور یکدیگر، خوسلاو رابطه تجربی زیر را پیشنهاد نموده است:

$$C = ۱۹\sqrt{\frac{D}{b'}} \times \frac{d+D}{b} \qquad (پ\ ۲-۱)$$

که در آن :

C = تصحیح لازم برای اصلاح فشار بدست آمده از نمودارهای شماره (پ ۲-۳) و (پ ۲-۴) برحسب درصد

b' = فاصله آب‌بندها از یکدیگر برحسب متر،

d = عمق آب‌بندی که تعیین تأثیر آب‌بند به عمق D بر روی آن موردنظر است برحسب متر،

D = عمق آب‌بندی که تعیین تأثیرش بر روی آب‌بند به عمق d موردنظر است برحسب متر،

b = طول پی برحسب متر،

می‌باشد. میزان تصحیحی که توسط این رابطه محاسبه می‌شود با توجه به موقعیت آب‌بند به عمق d که در بالادست یا پائین‌دست آب‌بند به عمق D قرار گرفته باشد، مثبت یا منفی خواهد بود. بعبارت دیگر وجود آب‌بند اضافی موجب افزایش فشار در بالادست و کاهش فشار در پائین‌دست می‌گردد که این امر با نتایج نظری و عملی هماهنگی دارد.

این رابطه تجربی به استثنای حالتی که آب‌بند میانی کوتاهتر از آب‌بندهای کناری بوده و در فاصله‌ای دو برابر عمق آنها قرار گرفته، در سطح گسترده‌ای برای حالات مختلف قابل استفاده می‌باشد. لازم به اشاره است که تأثیر آب‌بندها بر روی زیر فشار تا فاصله‌ای معادل دو برابر عمق آنها قابل توجه بوده و بیش از این فاصله تأثیر مهمی ندارند.

چنانچه ضخامت پی در این محاسبات مورد توجه قرار گیرد، عمق خالص آب‌بندها در رابطه پ ۲-۱ درج خواهد شد.

در صورت وجود پی شیب‌دار که در برخی از بندهای انحراف آب مورد استفاده قرار می‌گیرد، عمق آب‌بندی که در رابطه پ۲-۱ بکار می‌رود باید از سطح بالای آب‌بندی که تصحیح آن مطرح است، اندازه‌گیری شود.

۵- تصحیح برای شیب پی

تأثیر شیب پی، به کمک نمودار شکل (پ۲-۵) انجام می‌گیرد. در صورتیکه شیب در جهت جریان به طرف پائین باشد، میزان تصحیح ناشی از شیب مثبت و در صورتیکه به طرف بالا باشد، منفی می‌باشد.

۶- تصحیح برای ضخامت پی

در نمودارهای شماره (پ ۲-۳) و (پ ۲-۴) برای محاسبه فشار در نقاط مشخص، از ضخامت پی صرفنظر شده است. لذا فشار بدست آمده برای نقاط E و C در سطح بالایی پی صادق می‌باشند، در حالیکه عملاً محاسبه فشار در این نقاط برای سطح زیر پی دارای اهمیت است.بنابراین باید تصحیحات لازم برای ضخامت پی t در نتایج بدست آمده، منظور گردد. میزان این تصحیح با توجه به تغییر خطی فشار بین نقاط D، C و E بصورت زیر می‌باشد:

تصحیح برای نقطه E = $-(\frac{\phi_E - \phi_D}{d} \times t)$ (پ ۲-۲)

تصحیح برای نقطه C = $+(\frac{\phi_D - \phi_C}{d} \times t)$ (پ ۲-۳)

که در این روابط ϕ_E، ϕ_Dو ϕ_Cارقام بدست آمده از نمودارهای اشکال (پ ۲-۳) و (پ ۲-۴) بوده و عمق آب‌بند از سطح بالای پی می‌باشد.

شیب هیدرولیکی[1] خروجی

خوسلاو رابطه‌ای به شکل زیر برای شیب هیدرولیکی در پائین‌دست بند انحراف آب پیشنهاد می‌نماید:

$$i_{exit} = \frac{\Delta H}{d} \times \frac{1}{\pi\sqrt{\lambda}}$$ (پ ۲-۴)

و

$$\lambda = \frac{1 + \sqrt{1 + (b/d)^2}}{2}$$ (پ ۲-۵)

که در آن :

i_{exit} = شیب هیدرولیکی خروجی، شکل (پ ۲-۲)

1- Hydraulic Gradiant

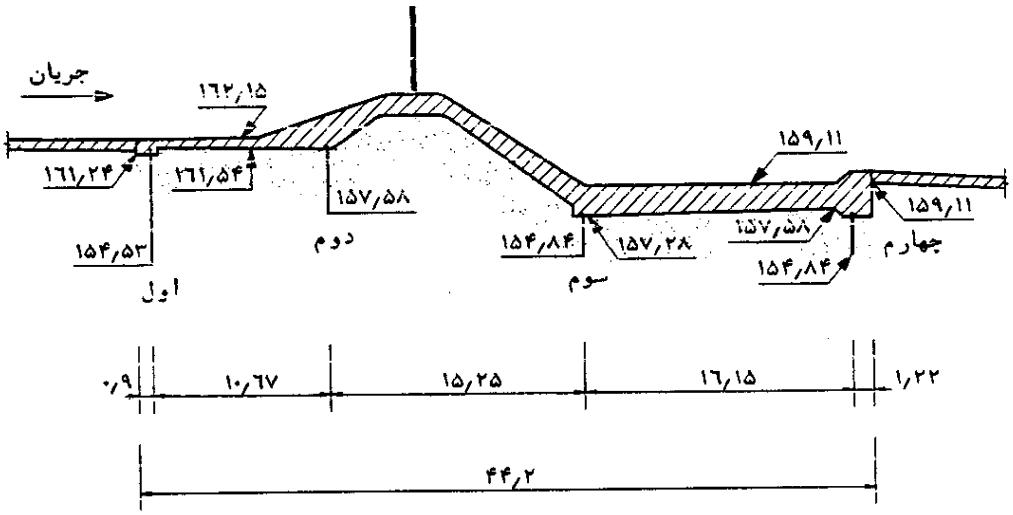
ΔH = اختلاف ارتفاع هیدرولیکی بین بالادست و پائین‌دست

d = عمق آب‌بندپائین‌دست از روی پی

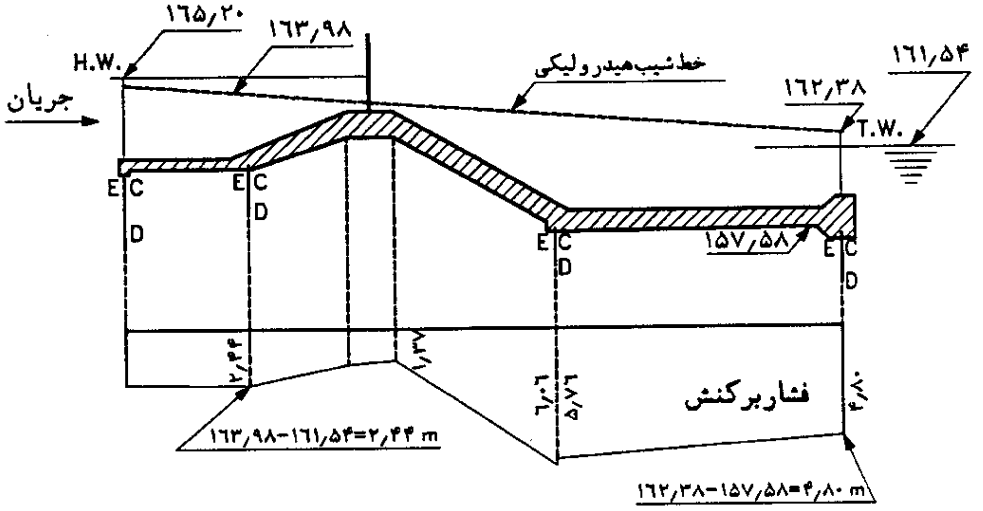
b = طول افقی پی

رابطه فوق قابل مقایسه با رابطه ۳-۱۷ می‌باشد. توجه شود که وجود آب‌بند پائین‌دست باعث کاهش شیب هیدرولیکی خروجی می‌شود، لیکن زیر فشار را در بالادست خود افزایش می‌دهد.

مثال پ -۲-۳- مطلوبست رسم نمودار زیر فشار و تعیین شیب خروجی برای بندانحراف آب نشان داده شده در شکل (پ ۲-۶) با استفاده از روش خوسلاو



الف - مقطع بند انحراف



ب - نمودار فشار برکنش

شکل (پ ۲-۶) مقطع بند انحراف و نمودار فشار برکنش در زیر آن

حـل :

سپر ردیف اول :

$b = ۴۴/۲۰ \ m$

عمق سپر ردیف اول نسبت به سطح دال $d = ۱۶۲/۱۵ - ۱۵۴/۵۳ = ۷/۶۲ \ m$

$b_۱ = ۰/۹۱ \ m$

$\alpha = \frac{۴۴/۲۰}{۷/۶۲} = ۵/۸۰$

$\frac{b_۱}{b} = \frac{۰/۹۱}{۴۴/۲۰} = ۰/۰۲۱$ و $۱ - \frac{b_۱}{b} = ۰/۹۷۹$

تعیین ϕ_E:

از روی نمودار B، شکل (پ ۲-۴) مقدار ϕ_C به ازای $\alpha = ۵/۸$ و $۱ - \frac{b_۱}{b} = ۰/۹۷۹$ مساوی ۳/۵ تعیین می‌شود. در نتیجه مقدار ϕ_E برابر می‌شود با :

$\phi_E = ۱۰۰ - \phi_C = ۱۰۰ - ۳/۵ = ۹۶/۵٪$

تعیین ϕ_D:

چـون $\frac{b_۱}{b}$ از ۰/۵ کـوچکتر است، بـه ازای $\alpha = ۵/۸$ و $۱ - \frac{b_۱}{b} = ۰/۹۷۹$ ازمـقیاس دست راست نـمودار C، شکل (پ ۲-۴) مقدار ϕ_D مساوی ۲۵/۵ درصد بدست می‌آید که مقدار واقعی آن برابر است با:

$\phi_D = ۱۰۰ - ۲۵/۵ = ۷۴/۵٪$

تعیین ϕ_C:

از روی نمودار B مقدار ϕ_C بطور مستقیم به ازای $\alpha = ۵/۸$ و $\frac{b_۱}{b} = ۰/۰۲۱$ بدست می‌آید:

$\phi_C = ۶۳٪$

اصلاح ϕ_E و ϕ_C به علت ضخامت دال بتنی :

$$\phi_E \text{ اصلاح عمق برای} = \frac{۱۶۲/۱۵ - ۱۶۱/۲۴}{۱۶۲/۱۵ - ۱۵۴/۵۳}(\phi_E - \phi_D) = ۲/۶٪$$

$$\phi_C \text{ اصلاح عمق برای} = \frac{۱۶۲/۱۵ - ۱۶۱/۵۴}{۱۶۲/۱۵ - ۱۵۴/۵۳}(\phi_D - \phi_C) = ۰/۹۲٪$$

تأثیر سپر ردیف دوم روی سپر ردیف اول:

$$D_۲ = ۱۶۱/۵۴ - ۱۵۷/۵۸ = ۳/۹۶$$

$$D_۱ = ۱۶۱/۵۴ - ۱۵۴/۵۳ = ۷/۰۱$$

$$\phi_C \text{ اصلاح روی} = +۱۹\sqrt{\frac{D_۲}{b'}} \times \frac{D_۱ + D_۲}{b}$$

b' = فاصله بین دو سپر

$D_۱$ = عمق سپر مورد بررسی

$D_۲$ = عمق سپر اثرگذارنده

$$\phi_C \text{ اصلاح روی} = +۱۹\sqrt{\frac{۳/۹۶}{۱۰/۶۷}} \times \frac{۷/۰۱ + ۳/۹۶}{۴۴/۲} = +۲/۹\%$$

اگر شمع تأثیرگذار پائین‌دست باشد، اصلاح فوق با علامت مثبت و اگر شمع تأثیرگذار در بالادست باشد، با علامت منفی وارد می‌شود:

ϕ_E اصلاح شده $= ۹۶/۵ - ۲/۶ = ۹۳/۹٪$

ϕ_C اصلاح شده $= ۶۳ + ۰/۸۸ + ۲/۹ = ۶۶/۸٪$

سپرهای ردیف دوم :

$$d = ۱۶۲/۱۵ - ۱۵۷/۵۸ = ۴/۵۷ \text{ m}$$

$$b_۱ = ۱۰/۶۷ + ۰/۹۱ = ۱۱/۵۸ \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{۴۴/۲}{۴/۵۷} = ۹/۷$$

$$\frac{b_۱}{b} = \frac{۱۱/۵۸}{۴۴/۲} = ۰/۲۶ \quad \text{و} \quad ۱ - \frac{b_۱}{b} = ۱ - ۰/۲۶ = ۰/۷۴$$

ϕ_E :

$$\left.\begin{array}{l}\alpha = ۹/۷ \\ ۱ - \frac{b_۱}{b} = ۰/۷۴\end{array}\right\} \xrightarrow{\text{نمودار B}} \phi C = ۲۸٪ \text{ و } \phi E = ۱۰۰ - ۲۸ = ۷۲٪$$

ϕD :

$$\left.\begin{array}{l}\frac{b_۱}{b} = ۰/۲۶ < ۰/۵ \quad ۱ - \frac{b_۱}{b} = ۰/۷۴ \\ \alpha = ۹/۷\end{array}\right\} \xrightarrow{\text{نمودار C}} \phi D = ۱۰۰ - ۳۶ = ۶۴٪$$

ϕC :

$$\left.\begin{array}{l}\frac{b_۱}{b} = ۰/۲۶ \\ \alpha = ۹/۷\end{array}\right\} \xrightarrow{\text{نمودار B}} \phi C = ۵۸٪$$

اصلاحاتی که باید بر ϕE و ϕC اعمال گردد.

$$\text{اصلاح عمق برای } \phi E = \frac{۱۶۲/۱۵ - ۱۶۱/۵۴}{۱۶۲/۱۵ - ۱۵۷/۵۸} (\phi E - \phi D) = -۱/۱٪$$

$$\text{اصلاح عمق برای } \phi C = \frac{۱۶۲/۱۵ - ۱۶۱/۵۴}{۱۶۲/۱۵ - ۱۵۷/۵۸} (\phi D - \phi C) = +۰/۸٪$$

تأثیر اولین ردیف سپر روی ϕE :

$$\text{اصلاح روی } \phi E = -۱۹ \sqrt{\frac{D_۲}{b'}} \times \frac{D_۱ + D_۲}{b}$$

$$D_۲ = ۱۶۱/۵۴ - ۱۵۴/۵۳ = ۷/۰۱m$$

$$D_۱ = ۱۶۱/۵۴ - ۱۵۷/۵۸ = ۳/۹۶m$$

$$b' = ۱۰/۶۷m$$

$$\text{اصلاح روی } \phi E = -۱۹ \sqrt{\frac{۷/۰۱}{۱۰/۶۷}} \times \frac{۷/۰۱ + ۳/۹۶}{۴۴/۲} = ۳/۹٪$$

تأثیر سومین ردیف سپر روی ϕC:

$$\phi C = +۱۹ \sqrt{\frac{D_۲}{b'}} \times \frac{D_۱ + D_۲}{b}$$

$$D_۲ = ۱۶۱/۵۴ - ۱۵۴/۸۴ = ۶/۷۰m$$

$$D_۱ = ۱۶۱/۵۴ - ۱۵۷/۵۸ = ۳/۹۶m$$

$$b' = ۱۵/۲۵m$$

$$\phi C = +۱۹ \sqrt{\frac{۶/۷}{۱۵/۲۴}} \times \frac{۳/۹۶ + ۶/۷۰}{۴۴/۲} = +۳٪$$

اصلاح ϕC برای شیب :

برای شیب ۱ قائم به ۲ افقی به طرف بالا از نمودار D، شکل (پ ۲-۵) مقدار ضریب اصلاح مساوی ۶/۵- درصد (علامت منفی به خاطر شیب به بالا در جهت جریان می‌باشد) بدست می‌آید.

$$\text{مقدار اصلاح} = -۶/۵ \times \frac{۳/۰۵}{۱۵/۲۵} = -۱/۳٪$$

$$\phi E \text{ اصلاح شده} = ۷۲ - ۱/۱ - ۳/۹ = ۶۷٪$$

$$\phi C \text{ اصلاح شده} = ۵۸ + ۰/۸۸ + ۳/۰ - ۱/۳ = ۶۰/۵٪$$

سپرهای ردیف سوم :

$$d = ۱۵۹/۱۱ - ۱۵۴/۸۴ = ۴/۲۷m$$

$$b_۱ = ۱۵/۲۵ + ۱۰/۶۷ + ۰/۹۱ = ۲۶/۸۳m$$

$$\alpha = \frac{۴۴/۲}{۴/۲۷} = ۱۰/۴$$

$$\frac{b_۱}{b} = \frac{۲۶/۸۳}{۴۴/۲} = ۰/۶۱$$

ϕE :

$$\left.\begin{array}{l} \alpha = ۱۰/۴ \\ ۱ - \frac{b_۱}{b} = ۱ - ۰/۶۱ = ۰/۳۹ \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{نمودار B}} \phi C = ۵۱/۵ \quad \text{و} \quad \phi E = ۱۰۰ - ۵۱/۵ = ۴۸/۵٪$$

ϕD :

$$\left.\begin{array}{l} \alpha = ۱۰/۴ \\ \frac{b_۱}{b} = ۰/۶۱ > ۰/۵ \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{نمودار C}} \phi D = ۴۳٪$$

ϕC :

$$\left.\begin{array}{l} \alpha = ۱۰/۴ \\ \frac{b_۱}{b} = ۰/۶۱ \end{array}\right\} \xrightarrow{\text{نمودار B}} \phi C = ۳۸٪$$

اصلاحات انجام شده در ارتباط با ϕ_E و ϕ_C

$$\phi_E \text{ اصلاح} = \frac{۱۵۹/۱۱ - ۱۵۷/۲۸}{۱۵۹/۱۱ - ۱۵۴/۸۴}(۴۸/۵ - ۴۳) = -۲/۴٪$$

$$\phi_C \text{ اصلاح} = \frac{۱۵۹/۱۱ - ۱۵۷/۲۸}{۱۵۹/۱۱ - ۱۵۴/۸۴}(۴۳ - ۳۸) = +۲/۲٪$$

تأثیر سپر ردیف دوم روی ϕ_E:

تراز پائین سپر ردیف دوم مساوی ۱۵۷/۸۸+ است که بالاتر از تراز بالای سپر ردیف سوم یعنی ۱۵۷/۲۸ قرار دارد و در نتیجه تأثیری روی آن نخواهد داشت.

تأثیر سپر ردیف چهارم روی ϕ_C:

$$\phi_C \text{ اصلاح} = +۱۹\sqrt{\frac{D_۲}{b_۱}} \times \frac{D_۱ + D_۲}{b}$$

$D_۲ = ۱۵۷/۲۷ - ۱۵۴/۸۴ = ۲/۴۴$ m

$D_۱ = ۱۵۷/۲۸ - ۱۵۴/۸۴ = ۲/۴۴$ m

$b_۱ = ۱۶/۱۵$ m

اصلاح ϕ_E برای شیب :

شیب ۱ افقی به ۲ قائم بوده و به سمت بالاست. از نمودار D مقدار اصلاح ۶/۵+ درصد بدست می‌آید (علامت + از آن جهت اختیار شده که شیب در خلاف جریان، به سمت بالا می‌باشد). با توجه به اینکه ضریب تناسب $\frac{۷/۶۲۵}{۱۵/۲۵} = ۰/۵$ می‌باشد، مقدار اصلاح برابر است با:

$$\text{مقدار اصلاح} = +۶/۵ \times \frac{۱}{۲} = +۳/۲۵٪$$

مقادیر اصلاح شده برابرند با:

ϕ_E اصلاح شده $= ۴۸/۵ - ۲/۴ + ۳/۲۵ = ۴۹/۳۵٪$

ϕ_C اصلاح شده $= ۳۸ + ۲/۲ + ۰/۸ = ۴۱/۰٪$

سپرکوبی ردیف چهارم :

$d = ۱۵۹/۱۱ - ۱۵۴/۸۴ = ۴/۲۷ \ m$

$\frac{۱}{\alpha} = \frac{d}{b} = \frac{۴/۲۷}{۴۴/۲} = ۰/۱۰$

$\phi_E = ۲۷/۵٪$ (بطور مستقیم از نمودار A، شکل (پ ۲-۳) بدست می‌آید)

$\phi_D = ۱۸/۸٪$ (بطور مستقیم از نمودار A بدست می‌آید)

اصلاح ϕ_E

اصلاح ϕ_E برای عمق $= \frac{۱۵۹/۱۱ - ۱۵۷/۲۸}{۴/۲۷}(\phi_E - \phi_D) = -۳/۸٪$

اصلاح ϕ_E برای تأثیر سپر ردیف سوم $= -۱۹\sqrt{\frac{۲/۴۴}{۱۶/۱۵}} \times \frac{۲/۴۴ + ۲/۴۴}{۴۴/۲} = -۰/۸\%$

اصلاح شده $\phi_E = ۲۷/۵ - ۳/۸ - ۰/۸ = ۲۲/۹٪$

شیب خروجی

$G = \frac{H}{d} \times \frac{۱}{\pi\sqrt{\lambda}}$

$\lambda = \frac{۱ + \sqrt{۱ + (b/d)^۲}}{۲} = \frac{۱ + \sqrt{۱ + (۴۴/۲ : ۴/۲۷)^۲}}{۲}$

$\lambda = \frac{۱ + ۱۰/۴}{۲} = ۵/۷$

$G_E = \frac{۳/۶۶}{۴/۲۷} \times \frac{۱}{\pi\sqrt{۵/۷}} = ۰/۱۱۴ \leq \frac{۱}{۴}$ تا $\frac{۱}{۶}$ برای ماسه

مثال پ -۲-۴- طراحی یک بند انحراف آب با مشخصات زیر در نظر است*:

بده سیلاب $= ۱۸۰۰ \ m^۳/s$

تراز حداکثر سیلاب (HFL [1]) قبل از احداث $= ۳۰۰ \ m$

تراز بستر رودخانه $= ۲۹۳ \ m$

تراز عادی دریاچه $= ۲۹۹ \ m$

حداکثر ارتفاع پله آب [2] در هنگام سیلاب $= ۱ \ m$

شیب خروجی مجاز $= \frac{۱}{۶}$

ضریب رسوب لیسی [3] $f = ۱$

تراز تاج دهانه آبگیری $= ۲۹۷/۵ \ m$

FSL [4] در پائین‌دست دهانه آبگیری $= ۲۹۶ \ m$

تراز بستر کانال در پائین‌دست دهانه آبگیری $= ۲۹۳/۵ \ m$

---

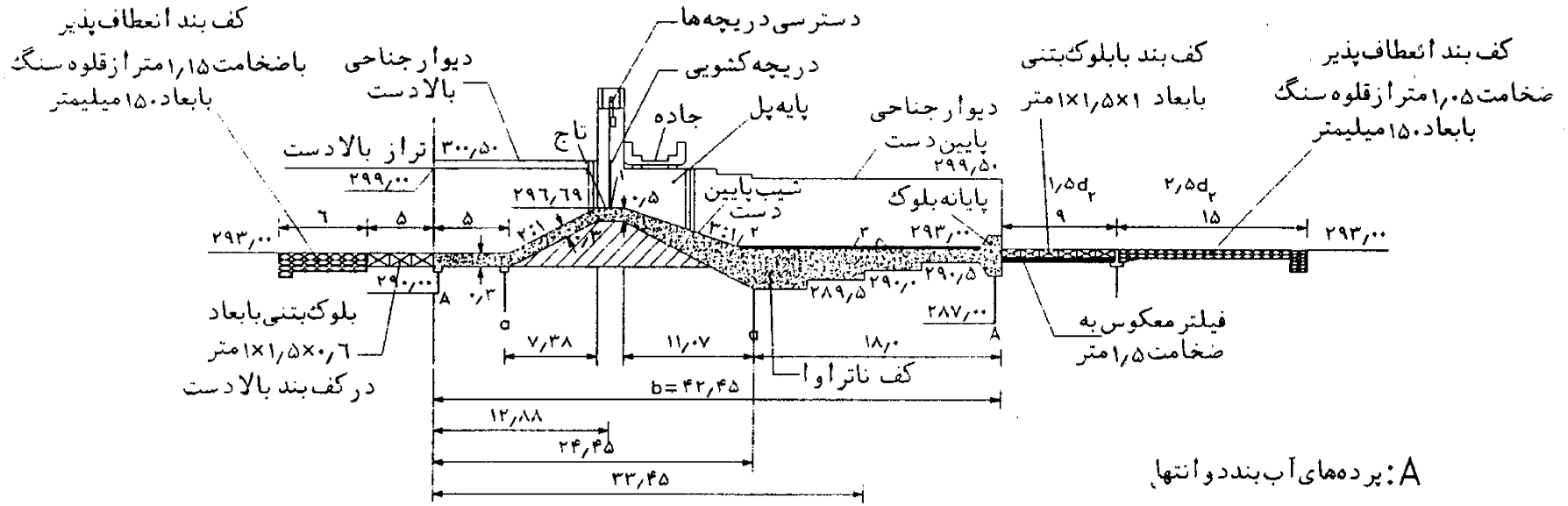
* P. Novack: Hydraulic Structures - Unwin Hyman, 1990

1- High Flood Level

2- Afflux

3- Laceys' Silt Factor

4- Flood Surface Level



A: پرده‌های آب‌بند دو انتها

a: پرده‌های آب‌بند اضافی

در صورت نیاز باید خاک زیر سد
توسط روش ارتعاشی متراکم گردد.

شکل (پ ۲-۷) برشی از یک بند انحراف آب که نشان‌دهنده جزئیات پی است

(مربوط به مثال پ ۲-۴) [۱۶]

مطلوبست طراحی اجزای مختلف بند انحراف آب، همچنین عرض آبراهه لازم برای دهانه آبگیری را برای عبور جریانی به مقدار ۱۰۰ متر مکعب بر ثانیه طراحی نمایید.

حل :

عرض رودخانه طبق تئوری رژیم = $۴/۸۵\sqrt{Q} = ۴/۸۵\sqrt{۱۸۰۰} \cong ۲۰۵\,m$

بعنوان تخمین اولیه عرض کل بند مساوی ۲۰۰ متر انتخاب می‌شود. اگر این عرض به ۲۰ دهانه با فاصله مرکز به مرکز پایه ها مساوی ۱۰ متر تقسیم شود، با فرض عرض ۱/۵ متر برای پایه‌ها، عرض آزاد بند برابر خواهد بود با:

عرض آزاد بند = $۲۰۰ - ۱۹ \times ۱/۵ = ۱۷۱/۵\ m$

با صرفنظر کردن از جمع‌شدگی جریان در اطراف پایه‌های میانی و کناری و با انتخاب سرریز لبه پهن، ارتفاع سیلاب در بالای تاج برابر است با:

$$Q = ۱/۷\ C_d\ bH$$

با فرض $C_d = ۱$ داریم:

$$H = \left[\frac{۱۸۰۰}{۱/۷x\ ۱۷۱/۵}\right]^{\frac{۲}{۳}} = ۳/۳۶m$$ ، تراز انرژی در بالای تاج

حداکثر ارتفاع سیل = $۳۰۰ - ۲۹۳ = ۷\ m$

$V = \frac{۱۸۰۰}{۲۰۰\times۷} = ۱/۳\ m/s$ ، سرعت آب رودخانه در بالادست

انرژی آب بالادست = $\frac{V^۲}{۲g} = \frac{۱/۳^{\,۲}}{۲\times۹/۸۱} \cong ۰/۰۸\ m$

تراز کل انرژی در بالادست (TEL [1]) = $۳۰۰ + ۰/۰۸ = ۳۰۰/۰۸$

$$b_{مؤثر} = b_{آزاد} - ۲\,(nk_p + k_a)\,H$$

که در آن :

n = تعداد پایه ها مساوی ۱۹

k_p = ضریب پایه مساوی ۰/۰۱ برای پایه نیم دایره

k_a = ضریب پایه کناری (۰/۱ برای دیوار جناحی ۴۵ درجه)

1- Total Energy Level

بنابراین :

$b_e = ۱۷۱/۵ - ۲ \times (۱۹ \times ۰/۰۱ + ۰/۱) \times ۳/۳۶ = ۱۶۹/۵۵ \ m$

ارتفاع انرژی اصلاح شده در بالای سرریز $H = \left[\frac{۱۸۰۰}{۱/۷ \times ۱۶۹/۵۵}\right]^{۲/۳} = ۳/۳۹ \ m$

در نتیجه تراز تاج سرریز برابر است با:

تراز انرژی بالادست = ۳۰۰/۸

تراز تاج سرریز = ۳۰۰/۸ - ۳/۳۹ = ۲۹۶/۶۹

با توجه به اینکه پله مجاز[1] آب ۱ متر است، داریم:

نسبت به تراز مبنا ۲۹۹ = ۱ - ۳۰۰ = d/s HFL = تراز سیلاب حداکثر در پائین‌دست

حال باید کنترل کرد که جریان در بالای سرریز آزاد[2] (مدولار) و یا غوطه‌ور[3] (غیر مدولار) است. برای اینکه جریان از روی سرریز آزاد (مدولار) باشد (یعنی تحت تأثیر پائین‌دست قرار نداشته باشد)، نسبت $\frac{H_۲}{H_۱}$ **باید کمتر از ۰/۷۵ باشد که در آن** $H_۱$ **تراز آب بالادست و** $H_۲$ **تراز آب پائین‌دست نسبت به تاج سرریز می‌باشد [۱۶].**

ارتفاع آب در بالادست $H_۱ = ۳۰۰/۰۰ - ۲۹۶/۶۹ = ۳/۳۱ \ m$

ارتفاع آب در پائین‌دست $H_۲ = ۲۹۹ - ۲۹۶/۶۹ = ۲/۳۱ \ m$

در نتیجه نسبت استغراق برابر است با:

$$\frac{H_۲}{H_۱} = \frac{۲/۳۱}{۳/۳۱} = ۰/۷ < ۰/۷۵$$

بنابراین جریان از روی سرریز آزاد (مدولار) است و سرریز سیل طرح را می‌تواند با تراز موردنظر بالادست و پائین‌دست از خود عبور دهد.

توجه شود که اگر سازه غوطه‌ور باشد، ظرفیت تخلیه (بده جریان) آن کاهش می‌یابد. برای تعیین بده تخلیه در این حالت از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Q_s = fQ_m$$

1- Afflux (اختلاف بین سطح آب در بالادست و پائین‌دست سرریز هنگام سیل)

2- Free (modular)

3- Submerged (non - modular)

در رابطه فوق:

Q_s = بده جریان مستغرق (غیر مدولار)

Q_m = بده جریان آزاد (مدولار)

f = ضریب تصحیح

ضریب تصحیح بستگی به نوع سازه، نسبت غوطه‌وری $\frac{H_2}{H_1}$، و نسبت $\frac{P_2}{H_1}$ داردکه در آن P_2 ارتفاع تاج نسبت به بستر پائین‌دست می‌باشد (جدول پ -۲-۱).

جدول پ-۲-۱- ضرائب تصحیح برای جریانهای غوطه‌ور

ملاحظات	f	$\frac{H_2}{H_1}$	نوع سازه
وجوه بالادست قائم یا شیبدار	۱/۰	≤ ۰/۷۵	سرریز لبه پهن
وجوه قائم	۰/۹۵	۰/۸۰	
	۰/۸۸	۰/۸۵	
	۰/۷۵	۰/۹۰	
	۰/۵۷	۰/۹۵	
شیب وجه بالادست ۱:۵	≅ ۱	۰/۸۰	
	۰/۹۵	۰/۸۵	
شیب وجه پائین‌دست ۱:۲	۰/۸۲	۰/۹۰	
	۰/۶۲	۰/۹۵	
شیب وجه بالادست ۱:۱	≅ ۱	۰/۸۰	
	۰/۹۸	۰/۸۵	
	۰/۹۰	۰/۹۰	
شیب وجه پائین‌دست ۱:۲	۰/۷۳	۰/۹۵	
$\frac{P_2}{H_1} \geq$ ۰/۷۵	≅ ۱	≤ ۰/۳	سرریز اوجی
$\frac{P_2}{H_1}$ = ۰/۷۵ ۱/۵۰	۰/۹۸۵	۰/۶	
۲/۵	۰/۹۸۲		
	۰/۹۶۳		
$\frac{P_2}{H_1}$ = ۰/۷۵ ۲/۰	۰/۹۲	۰/۸	
۳/۰	۰/۹۱		
	۰/۸۸		
$\frac{P_2}{H_1}$ = ۰/۷۵ ۲/۰	۰/۶	۰/۹۵	
۳/۰	۰/۵۵		
	۰/۴۵		
	$\{1-(\frac{H_2}{H_1})^{\frac{3}{2}}\}^{0/385}$		سرریز لبه تیز مستطیلی
	$\{1-(\frac{H_2}{H_1})^{\frac{5}{2}}\}^{0/385}$		مثلثی

عمق فرسایش :

عمق فرسایش براساس تئوری رژیم در دو حالت مختلف از روابط زیر بدست می‌آید [۱۶]:

الف - در صورتیکه عرض آبراهه بزرگتر یا مساوی عرض رژیم باشد:

$$R_s = ۰/۴۷۵ \left(\frac{Q}{f}\right)^{\frac{۱}{۳}}$$

ب - در صورتیکه عرض آبراهه کوچکتر از عرض رژیم باشد:

$$R_s = ۱/۳۵ \left(\frac{q^۲}{f}\right)^{\frac{۱}{۳}}$$

$$f = ۱/۷۵ \sqrt{d}$$

در روابط فوق :

f = ضریب رسوب لیسی

d = قطر متوسط ذرات برحسب میلیمتر

Q = بده طرح برحسب متر مکعب بر ثانیه

q = بده واحد عرض برحسب متر مکعب بر ثانیه

$$B = ۴/۸۵ \sqrt{Q}$$ عرض رژیم

عمق فرسایش طبق تئوری رژیم برابر است با:

$$R_s = ۰/۴۷۵ \left(\frac{۱۸۰۰}{۱}\right)^{\frac{۱}{۳}} = ۵/۷۸ \text{ m}$$

محاسبه عمق پرده ناتراوا[1]

عمق فرسایش در بالادست = ۱/۷۵ × ۵/۷۸ = ۱۰/۱۱ m

عمق فرسایش در پائین دست = ۲/۰۰ × ۵/۷۸ = ۱۱/۵۶ m

1- Cutoff

ترازانتهای پرده ناتراوای بالادست = ۳۰۰ − ۱۰/۱۱ = ۲۸۹/۸۹ m

ترازانتهای پرده ناتراوای پائین‌دست = ۲۹۹ − ۱۱/۵۶ = ۲۸۷/۴۴ m

عمق پرده ناتراوای بالادست = d_1 = ۲۹۳ − ۲۸۹/۸۹ = ۳ m

عمق پرده ناتراوای پائین‌دست = d_2 = ۲۹۳ − ۲۸۷/۰۴ = ۶ m

تراز آب دریاچه = ۲۹۹ m

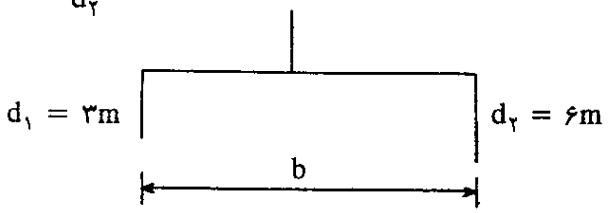
با فرض عمق آب پائین‌دست مساوی صفر، حداکثر بار نشت برابر است با:

$H_S = ۲۹۹ - ۲۹۳ = ۶\ m$

شیب خروجی $G_e = \dfrac{H_S}{\pi d_2 \sqrt{\lambda}}$

$\lambda = \frac{1}{2}[1 + \sqrt{(1 + \alpha^2)}]$

$\alpha = \dfrac{b}{d_2}$



با توجه به اینکه شیب خروجی مجاز $\frac{1}{6}$ می‌باشد، می‌توان نوشت:

$\dfrac{1}{6} = \dfrac{6}{6\pi\sqrt{\lambda}}$ $\qquad \lambda = (\dfrac{36}{6\pi})^2 = 3/65$

$\lambda = \frac{1}{2}[1 + \sqrt{(1 + \alpha^2)}]$

$(2\lambda - 1)^2 - 1 = \alpha^2$

$(2 \times 3/65 - 1)^2 - 1 = \alpha^2$

$\alpha = 6/22$

$\alpha = \dfrac{b}{d_2} = 6/22 \rightarrow b = 6/22 d_2 \rightarrow \quad b = 6/22 \times 6 = 37/32 m$

اگر طول حوضچه آرامش مساوی ۳ برابر عمق بعد از پرش در نظر گرفته شود، خواهیم داشت:

عمق بعد از پرش = ۶m (۲۹۹ − ۲۹۳)

طول حوضچه‌آرامش = ۶ × ۳ = ۱۸ m

عرض سرریز = ۱ m

طول ابتدایی = ۵ m

بالادست با شیب ۲ به ۱ = ۲(۲۹۶/۶۹ − ۲۹۳) = ۷/۳۸ m

پائین‌دست با شیب ۳ به ۱ = ۳(۲۹۶/۶۹ − ۲۹۳) = ۱۱/۰۷ m

طول کل = ۴۲/۴۵ m > ۳۷/۳۲ m

تعیین شیب فشار در نقاط مختلف در زیر سرریز

طول کل خزش در زیر سرریز (روش بلای) = ۲ × ۳ + ۴۲/۴۵ + ۲ × ۶ = ۶۰/۴۵ m

شیب هیدرولیکی (شیب اتلاف فشار) = $\frac{۶}{۶۰/۴۵}$ = ۰/۰۹۹۲

در نتیجه اتلاف فشار در قسمتهای مختلف برابر است با:

اتلاف فشار در پرده آب بند بالادست = ۰/۰۹۹۲ × ۶ = ۰/۵۹۵

اتلاف فشار در پرده آب بند پائین دست = ۰/۰۹۹۲ × ۱۲ = ۱/۱۹ m

اتلاف تا زیر دریچه (نقطه ۱) = ۰/۵۹۵ + ۰/۰۹۹۲ × ۱۲/۸۸ = ۱/۸۷ m

اتلاف تا نقطه ۲ = ۰/۵۹۵ + ۰/۰۹۹۲ × ۲۴/۴۵ = ۳/۰۲ m

اتلاف تا نقطه ۳ = ۰/۵۹۵ + ۰/۰۹۹۲ × ۳۳/۴۵ = ۳/۹۱ m

بنابراین شیب فشار در نقاط مختلف برابر است با:

نقطه ۱ = ۲۹۹ − ۱/۸۷ = ۲۹۷/۱۳

نقطه ۲ = ۲۹۹ − ۳/۰۲ = ۲۹۵/۹۸

نقطه ۳ = ۲۹۹ − ۳/۹۱ = ۲۹۵/۰۹

فشار برکنش در سطح فوقانی نقاط مختلف برابر است با:

نقطه ۱ h = ۲۹۷/۱۳ − ۲۹۶/۶۹ = ۰/۴۴ m

نقطه ۲ h = ۲۹۵/۹۸ − ۲۹۳/۰۰ = ۲/۹۸ m

نقطه ۳ h = ۲۹۵/۰۱ − ۲۹۳/۰۰ = ۲/۰۱ m

ضخامت بتن در نقاط مختلف:

نقطه ۱ (تاج) = ۱/۲ h = ۰/۵ m

نقطه ۲ (بالادست حوضچه آرامش) = ۱/۲ h = ۳/۵ m

نقطه ۳ (وسط حوضچه آرامش) = ۱/۲ h = ۲/۵ m

ضخامت سرریز در نواحی مختلف مطابق شکل (پ ۲-۷) انتخاب می‌شود. در بالادست نیز ضخامت اسمی مساوی ۰/۳ متر در نظر گرفته می‌شود.

طراحی کف‌بند پائین‌دست:

در پائین‌دست حوضچه آرامش، یک کف‌بند به طول d_2 ۱/۵ با استفاده از بلوک‌های بتنی تعبیه می‌گردد.

$$\text{طول کف‌بند} = ۱/۵\ d_2 = ۱/۵ \times ۶ = ۹\ m$$

برای این کف‌بند از بلوکهایی به ابعاد ۱×۱/۵ متر در پلان و عمق ۱ متر که داخل آنها با سنگ شکسته[1] پر شده، استفاده می‌شود. این بلوکهای بتنی در روی یک لایه فیلتر معکوس به ضخامت ۱/۵ متر با درزبندی آزاد در کنار یکدیگر چیده می‌شوند. در پائین‌دست این کف‌بند بتنی، یک کف‌بند انعطاف‌پذیر سنگی از مصالح سنگ شکسته به طول d_2 ۲/۵ منظور می‌شود:

$$\text{طول کف‌بند سنگی} = ۲/۵\ d_2 = ۲/۵ \times ۶ = ۱۵\ m$$

$$\text{حجم مصالح برای واحد طول} = ۲/۶۳\ d_2 = ۲/۶۳ \times ۶ = ۱۵/۷۸\ m^3/m$$

$$\text{ضخامت} = \frac{۱۵/۷۸}{۱۵} = ۱/۰۵\ m$$

ابعاد حداقل سنگها براساس رابطه دفتر عمران ایالات متحده[2] برابر است با:

$$d = \frac{KV^2}{2g}$$

1- Spawl

2- USBR

که در آن V سرعت متوسط و K = ۱ برای جریان آرام و K = ۱/۴ برای جریان خیلی متلاطم[1] می‌باشد. رابطه دیگری که برای ابعاد سنگها پیشنهاد شده است، رابطه پترکا[2] می‌باشد:

$$d = ۰/۰۳۲ (S_s - ۱)^{\frac{۱}{۲}} V^{\frac{۹}{۴}}$$

که در آن S_s چگالی نسبی مصالح می‌باشد، سرعت متوسط در پائین‌دست برابر است با:

$$V = \frac{۱۸۰۰}{(۲۰۰ \times ۶)} = ۱/۵ \ m/s$$

در نتیجه ابعاد سنگها بین (متر) ۰/۱ = d – ۰/۱۵ بدست می‌آید. برای این منظور سنگهایی به شکل تقریباً مکعب مستطیل با بعد تقریبی ۱۵۰ میلیمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (از سنگهای پولکی شکل نباید استفاده شود).

طراحی کف‌بند بالادست :

در بالادست بند ابتدا یک کف‌بند بتنی ناتراوا به طول $d_۱$ ۱/۵ منظور می‌گردد [۱۶]:

$L = ۵ \ m$ انتخاب می‌شود $\quad d_۱ = ۱/۵ \times ۳ = ۴/۵$ طول = ۱/۵ $d_۱$

برای این ناحیه از بلوکهای بتنی به ابعاد ۱/۵ × ۱ متر و ضخامت ۰/۶ متر استفاده می‌شود. در بالادست کف‌بند بتنی یک کف‌بند انعطاف‌پذیر به طول ۲ $d_۱$ تعبیه می‌گردد.

طول پرش = ۲ $d_۱ = ۲ \times ۳ = ۶ \ m$

حجم مصالح در واحد طول = ۲/۲۵ $d_۱ = ۲/۲۵ \times ۳ = ۶/۷۵ \ m^۳/m$

ضخامت = $\frac{۶/۷۵}{۶} = ۱/۱۵ \ m$

ابعاد مصالح سنگی، مشابه ابعاد انتخاب شده برای کف‌بند پائین‌دست منظور می‌شود.

1- Highly Turbulent

2- Peterka & Bos Eq.

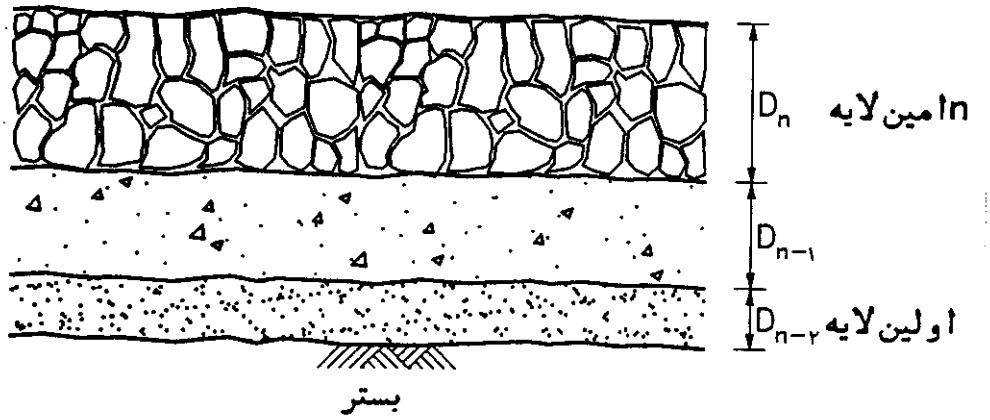
طراحی فیلتر معکوس پائین‌دست :

این فیلتر باید دارای مشخصات زیر باشد:

الف - تراوایی (به منظور آزادکردن فشار برکنش)

$$\frac{\Delta H_n}{D_n} < \frac{\Delta H_{n-1}}{D_{n-1}} < \frac{\Delta H_{n-2}}{D_{n-2}} < \ldots.$$

که در آن ΔH_n اتلاف فشار در n امین لایه به ضخامت D_n می‌باشد، شکل (پ ۲-۸)



شکل (پ ۲-۸) ساختمان فیلتر

شرط (الف) وقتی برآورده می‌شود که:

۱- $\dfrac{d_{15}\ \text{مصالح فیلتر}}{d_{15}\ \text{مصالح پایه}} = ۵ \sim ۴۰$

منظور از مصالح فیلتر و مصالح پایه، دو مصالح مجاور هم می‌باشد که مصالح فیلتر لایه فوقانی و مصالح پایه لایه تحتانی را تشکیل می‌دهند.

۲- در صورت امکان d_s هر لایه بزرگتر از ۰/۷۵ میلیمتر باشد (برای جلوگیری از گرفتگی لایه فیلتر).

ب - جلوگیری از فرار ذرات ریزتر خاک (خاک بند بودن[1] مصالح)

برای این منظور دو شرط زیر باید برقرار باشد:

$$\text{(۱)}\quad \frac{d_{۱۵}\ \text{مصالح فیلتر}}{d_{۸۵}\ \text{مصالح پایه}} \le ۵ \qquad \text{و} \qquad \text{(۲)}\quad \frac{d_{۵۰}\ \text{مصالح فیلتر}}{d_{۵۰}\ \text{مصالح پایه}} = ۵ \sim ۶۰$$

برای مصالح فیلتر دانه‌بندی مندرج در جدول پ -۲-۲ توصیه می‌شود:

جدول پ -۲-۲- دانه‌بندی مصالح فیلتر

$\frac{d_{۵۰}\ \text{فیلتر}}{d_{۵۰}\ \text{مصالح پایه}}$	$\frac{d_{۱۵}\ \text{فیلتر}}{d_{۱۵}\ \text{مصالح پایه}}$	شکل دانه‌ها
۵ – ۱۰	۵ – ۱۰	دانه‌های همگن گرد (شن)
۱۰ – ۳۰	۶ – ۲۰	دانه‌های همگن تیزگوشه (شن شکسته، خرده سنگ)
۱۲ – ۶۰	۱۲ – ۴۰	دانه‌ها با دانه‌بندی خوب

در صورتیکه منحنی دانه‌بندی لایه فوقانی و بستر معلوم باشد، منحنی دانه‌بندی لایه میانی را می‌توان رسم نمود. قسمت پائینی این منحنی دانه‌بندی (ناحیه ریزدانه‌ها) تقریباً موازی با منحنی دانه‌بندی مصالح بستر می‌باشد. اقتصادی‌تر است به جای استفاده یک مخلوط ساختگی برای بوجود آوردن یک منحنی دانه‌بندی مشخص، از مصالح طبیعی موجود که دانه‌بندی مناسبی داشته باشد، استفاده نمود. در شکل (پ ۲-۹) نمونه‌ای از منحنی‌های دانه‌بندی برای مصالح فیلتر نشان داده شده است.

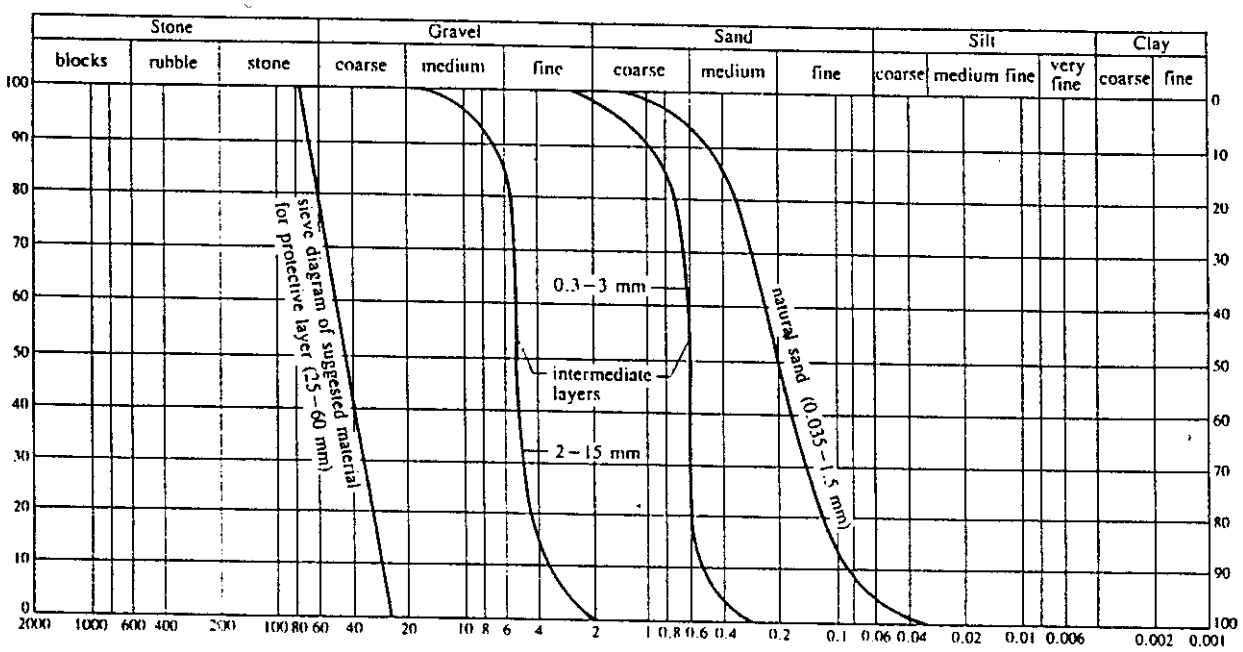
به منظور توزیع بهتر دانه‌بندی در هر لایه در ساخت فیلتر، ضخامتهای زیر به عنوان مقادیر حداقل (در حالت خشک) باید مورد توجه قرار گیرند:

ماسه، شن‌ریز ۰/۰۵ تا ۰/۱ متر

شن ۰/۱ تا ۰/۲ متر

سنگ چینی ۱/۵ تا ۲ برابر بزرگترین قطر

1- Soil - Tight



شکل (پ ۲-۹) نمونه‌هایی از منحنی‌های دانه‌بندی برای لایه‌های میانی [۱۶]

روشهای دیگر برای ساخت لایه فیلتر

الف - استفاده از یک لایه سنگ‌چین[1] یا بلوکهای بتنی پرشده توسط سنگ شکسته با درزهای باز[2] بر روی فیلتر نایلون

ب - لایی‌ها (تشکها)ی نایلون - ماسه[3]

پ - گابیون بر روی شن‌ریز[4]

در درزهای انتهایی (انتهای بالادست سازه بتنی و انتهای پائین‌دست با کانال محافظت نشده)، اگر جزییات خاصی پیش‌بینی نشده باشد، به علت شسته شدن مصالح بستر، لایه فیلتر می‌تواند متحمل خسارت گردد. در اشکال زیر جزییات لازم برای افزایش ضخامت لایه فیلتر در این درزها ارائه شده است.

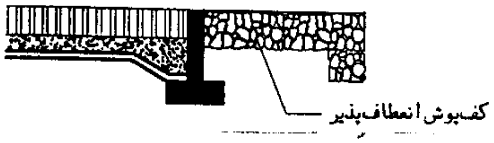
1- Rip - rap

2- Open Joints

3- Nylon - Sand Mattresses

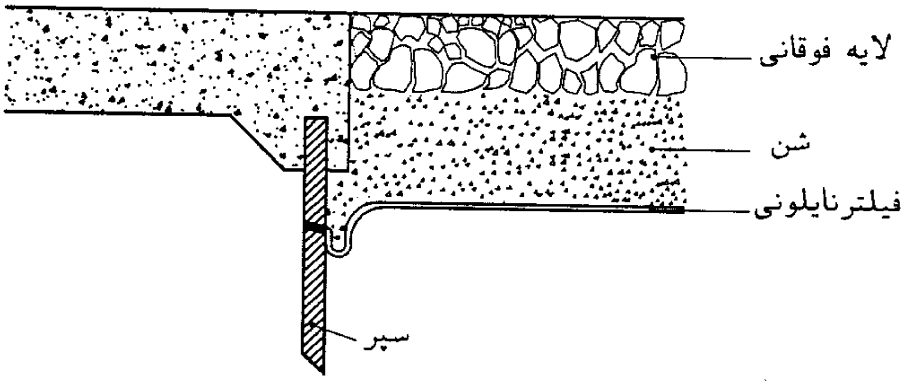
4- Gabions on Fine Gravel

الف) فیلتر / اتصال کانال ب) سازه بتنی / اتصال فیلتر



ج) فیلتر / اتصال کانال (با دیوار انتهایی)

شکل (پ ۲-۱۰) افزایش ضخامت لایه فیلتر در درزهای انتهایی [۱۶]



شکل (پ ۲-۱۱) جزییات درز انتهایی در فیلترهای ساخته شده از پارچه‌های نایلون[1]

آبراهه آبگیری

$Q_{\text{کانال}}$ = ۱۰۰ m^3/s

تراز دریاچه = +۲۹۹ m

تراز تاج دهانه آبگیری = +۲۹۷/۵ m

بار ارتفاعی ایجادکننده جریان = ۲۹۹ - ۲۹۷/۵ = ۱/۵ m

(از ارتفاع نظیر سرعت صرفنظر شده است)

1- Nylon Fabric

کنترل مدولار یا غیرمدولار (آزاد و یا مستغرق بودن) جریان از روی سرریز دهانه آبگیری

بار بالا دست (U/s head [1]) $H_1 = ۲۹۹ - ۲۹۷/۵ = ۱/۵۰ \ m$

بار پائین‌دست (d/s head [2]) $H_2 = ۲۹۶ - ۲۹۷/۵ = -۱/۵۰ \ m$

ارتفاع تاج نسبت به بستر پائین‌دست $P_2 = ۲۹۷/۵ - ۲۹۳/۵ = ۴ \ m$

نسبت استغراق $= \frac{H_2}{H_1} = -۱$ و $\frac{P_2}{H_1} = ۲/۶۷$

اعداد فوق بیانگر شرایط جریان آزاد از روی سرریز می‌باشند.

با فرض استفاده از سرریز لبه پهن ($Q = ۱/۷ \ b_e \ H^{۳/۲}$)، حداقل عرض مؤثر برابر است با:

$$b_e = \frac{۱۰۰}{(۱/۷ x \ ۱/۵^{\frac{۳}{۲}})} \simeq ۳۲m$$

اگر از چهار دهانه ۱۰ متری با عرض پایه‌های ۱/۵ متر استفاده شود، داریم:

دهانه آزاد $= ۴۰ - ۳ \times ۱/۵ = ۳۵/۵ \ m$

انقباض [3] جریان

مقدار جمع‌شدگی $= ۲(۳ \times ۰/۰۱ + ۰/۱) \times ۱/۵ = ۰/۳۹ \ m$

$b_{مؤثر}$ موجود $= ۳۵/۵ - ۰/۳۹ = ۳۵/۱۱ \ m > ۳۲ \ m$

1- Up Stream Head

2- Down Stream Head

3- Contraction

۸- منابع و مآخذ

1- Grishin, M.M.:" Hydraulic Structures", Translated from the Russian, Mir publishers Moscow, Vol 1., 1982

2- Rezvan, Ernest: "River Intake and Diversion Dams", Elsevier, Amesterdom, 1989

3- 4th ICOLD congress, Q.12, 1951

4- 16th ICOLD congress, Q.63, 1975

5- U.S. Bureau of Reclamation: "Canals and Related structures". Design standards No.3. 1967

6- Khushalani and Khushalani: "Irrigation (Diversion and Distribution works Vol. Four), Oxford and IBH Publ. 1990

7- U.S. Bureau of Reclamation: "Design of small Dams." 3rd. Ed., 1977, Oxford & IBH publishing Co., New Delhi

8- U.S. Army water ways Experimental station 1959: "Hydraulic Design criteria", Washington, DC: U.S. Department of the Army

9- Peterka .A.J.: "Hydraulic Design of stilling Basins and Energy Dissipators", U.S. Bureau of Reclamation 1978

10- King , H.W., revised by E.F. Brater: "Handbook of Hydraulics", 4th Ed., McGraw-Hill Book Co., Inc. New York, N.Y. 1954

11- British Hydraulic Research Association: "Sediment control at Intakes", 1995

12- Davis, C.V. and sorenson, K.E.: "Handbook of Applied Hydraulics", McGraw-Hill Book Co., 3rd. Ed., 1969

13- " The Theory of Flexible Dams Inflated by water pressure" : , J.H.R, I.A.H.R, Vol 2 , No 1, 1973

14- Das, Braja, M.: "Advanced soil Mechanics", McGraw-Hill Book Co., 1983

15- Abdel - Aziz, Ismail Kashef : "Ground water Engineering " McGraw-Hill Book Co.

16- Novak, P. and others: "Hydraulic structures", UNWIN HYMAN, 1990

17- Chow, V.T. : "Open channel Hydraulics" , McGraw-Hill Book Co.,1959

18- Varshney, R.S. :" Concrete Dams", Oxford and IBH publishing Co., PVT., LTD.1982

19- Portland Cement Association: "Small Concrete Dams" 1971

20- ACI COMMITTEE 343R: "Analysis and Design of Reinforced Concrete Bridge structures", Part 4, ACI Manual of concrete practice,

21- Jansen, Robert B.: " Advanced Dam Engineering for Design, Construction, and Rehabilitation". Van Norested Reinhold. 1988

22- U.S. Bureau of Reclamation.: " Design of Gravity Dams" A water Resources Technical Publication, Denver Colorado, 1976.

23- Henderson, F. M.: "Open Channel Flow", The Macmillan Company, New York.

۲۴- ابریشمی، جلیل - حسینی، سید محمود: "هیدرولیک کانالهای باز" نشر مشهد

۲۵- بیرامی، م: " سازه‌های هیدرولیکی " انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان

۲۶- نشریه شماره ۱۲۳ سازمان برنامه و بودجه: " ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی"

۲۷- نشریه شماره ۱۲۴ سازمان برنامه و بودجه: " مشخصات فنی عمومی مخازن آب زمینی "

۲۸- نشریه ۱۲۰ سازمان برنامه و بودجه (آئین‌نامه بتن ایران جلد ۱).

۲۹- رمضانیانپور، علی‌اکبر - شاه‌نظری، محمدرضا: "تکنولوژی بتن" انتشارات علم و صنعت ۱۱۰ تابستان ۱۳۷۶

Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization - Ministry of Energy

Structural Design Criteria for Diversion Dams

No: 198

Office of the Deputy for Technical Affairs
Bureau of Technical Affairs and Standards

1379/2000

این نشریه
با عنوان «ضوابط طراحی سازه‌ای بندهای انحراف»، و با هدف ارائه ضوابط طراحی سازه‌ای مربوط به بندهایی که جهت تسهیل در آبگیری ایجاد می‌شود، تدوین گردیده است.
در دو فصل اول فقط ارائه کلیاتی در زمینه مسائل هیدرولیک بندهای انحراف مطرح شده است. در این فصلها مطالب مختلفی از معرفی اجزاء بند، تأثیر بند بر رودخانه، لزوم در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی، جانمایی بند، اطلاعات موردنیاز تا انواع سرریزها به صورت خلاصه آمده است.
در فصول ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ معیارهای سازه‌ای مربوط به طراحی بندهای انحراف به طور مبسوط ارائه شده است.

مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات

ISBN 964-425-187-3

9789644251870