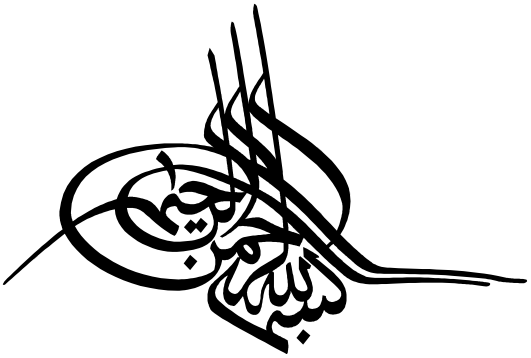


طراحی هیدرولیکی سازه‌ها

هیدرولیک پیشرفته

سری کتاب‌های کمک آموزشی دکتری

مجموعه عمران

مؤلف: فرهاد بهمن پوری

سرشناسه	: بهمن‌پوری، فرهاد (۱۳۶۳)
عنوان	: طراحی هیدرولیکی سازه‌ها، هیدرولیک پیشرفته
مشخصات نشر	:تهران: مشاوران صعود ماهان، ۱۴۰۱
مشخصات ظاهری	: ۳۲۵ ص
فروست	:سری کتاب‌های کمک آموزشی دکتری
شابک	: ۴- ۵۶۴- ۴۵۸- ۶۰۰- ۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	:فیپای مختصر
یادداشت	: این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شماره کتابشناسی ملی	۴۷۳۹۸۰۷

:

کتاب: .....طراحی هیدرولیکی سازه‌ها، هیدرولیک پیشرفته

مدیر مسئول:..... هادی سیاری، مجید سیاری

مولف:..... فرهاد بهمن‌پوری

ناشر:.....مشاوران صعود ماهان

مسئول تولید محتوا:..... سمیه بیگی

نوبت و تاریخ چاپ: .....اول / ۱۴۰۱

تیراژ:..... ۱۰۰۰ جلد

.....قیمت:..... ۳/۷۹۰ /۰۰۰

شابک:.....۴- ۵۶۴- ۴۵۸- ۶۰۰- ISBN:۹۷۸

انتشـــارات مشاوران صعود ماهان: خیابان ولیعصر، بالاتر از تقـاطع مطهری،

روبروی قنادی هتل بزرگ تهـــران، جنب بانک ملی، پلاک ۲۰۵۰

تلفن: ۴- ۸۸۱۰۰۱۱۳

سخن ناشر

«ن والقلم و ما یسطرون»

کلمه نزد خدا بود و خدا آن را با قلم بر ما نازل کرد.

به پاس تشکر از چنین موهبت الهی، مؤسسه ماهان درصدد برآمده است تا در راستای انتقال دانش و مفاهیم با کمک اساتید مجرب و مجموعه کتب آموزشی خود برای شما داوطلبان ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد، گام مؤثری بردارد. امید است تلاش‌های خدمتگزاران شما در این مؤسسه پایه‌گذار گام‌های بلند فردای شما باشد.

مجموعه کتاب‌های کمک آموزشی ماهان به‌منظور استفاده داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد سراسری و آزاد تألیف شده‌اند. در این کتاب‌ها سعی کرده‌ایم با بهره‌گیری از تجربه اساتید بزرگ و کتب معتبر داوطلبان را از مطالعه کتاب‌های متعدد در هر درس بی‌نیاز کنیم.

دیگر تألیفات ماهان برای سایر دانشجویان به‌صورت ذیل است.

- مجموعه کتاب‌های ۸ آزمون: شامل ۵ مرحله کنکور کارشناسی ارشد ۵ سال اخیر به همراه ۳ مرحله آزمون تألیفی ماهان همراه با پاسخ تشریحی می‌باشد که برای آشنایی با نمونه سوالات کنکور طراحی شده است. این مجموعه کتاب‌ها با توجه به تحلیل ۳ ساله اخیر کنکور و بودجه‌بندی مباحث در هریک از دروس، اطلاعات مناسبی جهت برنامه‌ریزی درسی در اختیار دانشجو قرار می‌دهد.
- مجموعه کتاب‌های کوچک: شامل کلیه نکات کاربردی در گرایش‌های مختلف کنکور کارشناسی ارشد می‌باشد که برای دانشجویان جهت جمع‌بندی مباحث در ۲ ماهه آخر قبل از کنکور مفید است.

بدین‌وسیله از مجموعه اساتید، مولفأن و همکاران محترم خانواده بزرگ ماهان که در تولید و به‌روزرسانی تالیفات ماهان نقش مؤثری داشته‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نماییم.

دانشجویان عزیز و اساتید محترم می‌توانند هرگونه انتقاد و پیشنهاد درخصوص تالیفات ماهان را از طریق سایت ماهان به آدرس mahan.ac.ir با ما در میان بگذارند.

مؤسسه آموزش عالی آزاد ماهان

سخن مؤلف

مقدمه مؤلف

کتاب حاضر شامل دو بخش طراحی هیدرولیکی سازه‌ها و هیدرولیک پیشرفته می‌باشد که دو درس اصلی از دروس تخصصی آزمون دکتری مهندسی عمران گرایش مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی است.

درس طراحی هیدرولیکی سازه‌ها یکی از دروس مهم برای دانشجویان رشته مهندسی عمران گرایش سازه‌های هیدرولیکی و رشته مهندسی آب - کشاورزی گرایش سازه‌های آبی می‌باشد

درس هیدرولیک و به تبع آن هیدرولیک پیشرفته نیز یکی از دروس مهم برای دانشجویان رشته مهندسی عمران گرایش‌های هیدرولیک، منابع آب و محیط‌زیست و رشته مهندسی آب-کشاورزی گرایش‌های سازه‌های آبی و منابع آب می‌باشد.

به سبب پراکندگی مطالب در آزمون دکتری و نبود منبع مشخص، در این کتاب سعی شده است به طور کامل منابع مورد سوال آزمون ارائه شود. این کتاب تقریبا چکیده تمام منابع فارسی موجود به علاوه منابع لاتین معتبر می باشد که به طور مفصل برای هر فصل از کتاب مباحث مربوطه به طور جامع بیان شده است. سوالات کنکور دکتری مربوطه و نکات کلیدی مفهمومی برای هر بخش از کتاب ارائه شده است. و در انتهای کتاب تست‌های تالیفی و سپس پاسخ تشریحی تست‌ها ارائه شده است.

با توجه به تجربه نگارنده در تدریس این درس طی پنج سال کتاب حاضر علاوه بر اینکه منبع آزمون دکتری است کتاب جامعی به عنوان مرجع درسی برای گرایش‌های قید شده می باشد. همچنین به عنوان منبعی برای آزمون کارشناسی ارشد مورد استفاده است.

از آنجایی‌که هیچ اثر علمی خالی از کاستی و نقص نیست خواهشمند است نظرات علمی خود را برای توسعه دانش مهندسی هیدرولیک و سازه‌های هیدرولیکی برای ما ارسال بفرمایید.

با احترام

فرهاد بهمن پوری

دانشجوی سابق دکتری عمران سازه های هیدرولیکی دانشگاه تهران

دانشجوی دکتری عمران هیدولیک دانشگاه فدریکو دوم ایتالیا

F_bahmanpouri@yahoo.com

فهرست

عنوان | صفحه

بخش اول: طراحی هیدرولیک سازه‌ها ۷

فصل اول: اصول طراحی سدهای کوتاه ۹

فصل دوم: طراحی کانال‌های روباز ۱۵

فصل سوم: آبگیرها، دریچه‌ها و شیرها ۱۹

فصل چهارم: سرریزها ۲۹

فصل پنجم: حوضچه‌های آرامش با پرش هیدرولیکی ۴۷

فصل ششم: سازه‌های هیدرولیکی در خطوط انتقال آب و در شبکه‌های آبیاری ۶۱

تست‌های تالیفی بخش طراحی هیدرولیکی سازه ها ۹۰

پاسخ تست‌های تالیفی بخش طراحی هیدرولیکی سازه ها ۹۸

بخش دوم: سدهای خاکی ۱۰۲

فصل اول: مبانی طراحی سد خاکی ۱۰۳

فصل دوم: تراوش از بدنه و پی سدهای خاکی ۱۱۰

فصل سوم ترک‌ها ۱۱۹

فصل چهارم: پایداری شیروانی‌ها ۱۲۷

فصل پنجم: تحلیل دینامیکی سدهای خاکی ۱۳۰

فصل ششم: سدهای سنگریزه‌ای ۱۳۷

فصل هفتم: نکات تکمیلی ۱۴۵

پاسخ تشریحی سوالات کنکور سراسری ۱۵۲

تست های تالیفی بخش سدهای خاکی ۱۵۷

پاسخ تست‌های تالیفی بخش سدهای خاکی ۱۶۲

بخش سوم: هیدرولیک پیشرفته ۱۷۲

فصل اول: مروری بر هیدرولیک مقدماتی ۱۷۳

فصل دوم: محاسبات جریان متغیر تدریجی (دائمی) ۱۸۵

فصل سوم: جریان‌های متغیر مکانی (جریان‌های گسسته متغیر تدریجی) ۱۸۷

فصل چهارم: سرریزها ۱۹۶

فصل پنجم: کاویتاسیون ۲۰۴

فصل ششم: تبدیل‌ها ۲۱۸

فصل هفتم: سازه‌های کنترل کننده جریان ۲۲۴

فصل هشتم: پرش هیدرولیکی و کنترل آن ۲۳۸

فصل نهم: جریان‌های غیر دائمی ۲۵۲
فصل دهم: روندیابی سیل ۲۷۱
فصل یازدهم: ضربه قوچ ۲۷۷
تست‌های تالیفی ۲۸۷
پاسخ تشریحی تست‌های تالیفی ۳۰۰
سوالات کنکور ۹۴ ..... ۳۱۰
پاسخ‌های تشریحی سوالات کنکور ۹۴ ..... ۳۱۳
سوالات کنکور سراسری ۹۶ طراحی هیدرولیکی ۳۱۶
پاسخ کنکور سراسری ۹۶ طراحی هیدرولیکی ۳۱۸
منابع ۳۲۵

بخش اول

طراحی هیدرولیکی سازه‌ها

فصل اول

اصول طراحی سدهای کوتاه

- معیارهای پایداری
- تنش یا خستگی قائم در سطح بدنه سد
- کنترل انرژی جنبشی مخرب در پایاب سد

فصل اول

اصول طراحی سدهای کوتاه

انواع سدها
- مخزنی: ذخیره آب
- انحرافی: کنترل سطح آب رودخانه و رساندن آب به محل مورد نظر

■ معیارهای پایداری

پایداری در مقابل لغزش

ضریب لغزش مطمئن:

ضریب اصطکاک استاتیکی $f = \frac{\sum F_H}{\sum F_V} \le f'$ $\quad f \le f' \leftarrow$ سد پایدار

محدوده ضریب F
- با زمین لرزه $f \le ۰/۸۵$
- بدون زمین لرزه $f \le ۰/۶۵$

■ ضریب اطمینان در مقابل لغزش

$$SF = f' \frac{\sum F_V}{\sum F_H} \qquad ۱ < SF < ۱.۵$$

ضریب اطمینان در مقابل برش – اصطکاک:

$$SFF = f' \frac{\sum F_V + b\sigma}{\sum F_H}$$

b طول قاعده در سطح مورد مطالعه

σ تنش برش مجاز در سطح برش

تنش برشی مجاز بتن حدود $\frac{۱}{۶}$ مقاومت برش یا $\frac{۱}{۲۰}$ مقاومت فشاری آن است.

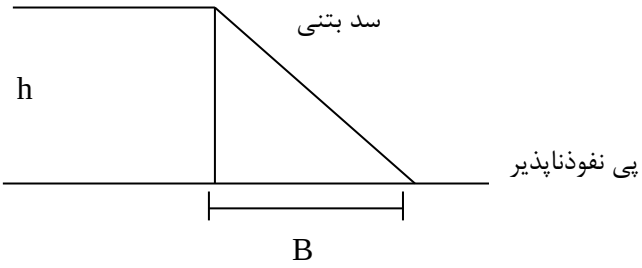
$۷ < \sigma < ۱۴ \quad \frac{Kg}{m^۲}$ و f' برای حرکت بتن روی سنگ بین ۰.۵۵ تا ۰.۷۵ است.

ضریب اطمینان در مقابل واژگونی:

برابر است با نسبت لنگر مقاوم به نیروی واژگون کننده

$$SF = \frac{\sum ME_{\text{مقاوم}}}{\sum ME_{\text{مخرب}}} = ۱/۵ - ۱/۷$$

سوال کنکور ۹۲: پی زیر سد کاملاً نفوذناپذیر، اگر ضریب اصطکاک ایستایی بتن روی پی ۰/۷ و وزن مخصوص بتن و آب به ترتیب ۲/۴ و ۱ تن به مترمکعب باشد و ضریب اطمینان در مقابل لغزش ۱/۲ باشد. ضریب اطمینان در مقابل واژگونی چقدر است؟



۱) ۱/۴۴ ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۲/۴۵

پاسخ: گزینه ۴ صحیح است.

نقطه لنگرگیری

لغزش $SF = f' \frac{\sum F_V}{\sum F_H}$

$$\text{وزن } F = W = \frac{۱}{۲} B h \gamma_C$$

$$\text{نیروی آب پشت سد } F_h = \frac{۱}{۲} \gamma_w h^۲$$

$$\text{بازوی لنگر } b = \frac{۲B}{۳}$$

$$\text{بازوی لنگر } a = h/۳$$

فرض پی نفوذ ناپذیر، در نتیجه برای مثلث زیر پی: $U = \frac{۱}{۲} B h \gamma_w = ۰$

$$\text{بازوی لنگر} = ۲/۳ B$$

$$SF = ۱/۲ = \frac{۰/۷ \left(\frac{۱}{۲} B h \gamma_C - \frac{۱}{۲} B h \gamma_w \right)}{\frac{۱}{۲} \gamma_w h^۲}$$

$$\frac{۱/۲}{۰/۷} = \frac{B(\gamma_C - \gamma_w)}{h \gamma_w}$$

$$\frac{۱/۲}{۰/۷}=\frac{B}{h}(۱/۴۱)\Rightarrow\frac{B}{h}=\frac{۰/۶}{۰/۴۹}=۱/۲۲۴$$

$$SF_{over}=\frac{\sum M}{\sum M}=\frac{\frac{۱}{۲}Bh\,\gamma_C.\frac{۲}{۳}B}{\frac{۱}{۲}\gamma_w h^۲.\frac{h}{۳}+\frac{۱}{۲}Bh\gamma_w.\frac{۲}{۳}B}=\frac{\frac{۲}{۳}B^۲\gamma_C}{\frac{۱}{۳}\gamma_w h^۲+\frac{۲}{۳}\gamma_w B^۲}$$

$$\div\gamma_w h^۲=\frac{\frac{۲}{۳}\left(\frac{B}{h}\right)^۲\times۲/۴}{\frac{۱}{۳}+\frac{۲}{۳}\left(\frac{B}{h}\right)^۲}=\frac{\frac{۲}{۳}\times۲/۴\times۱/۵}{\frac{۱}{۳}+\frac{۲}{۳}(۱/۵)}=\frac{۱/۶(۱/۵)}{\frac{۱}{۳}+\frac{۲}{۳}(۱/۵)}=\frac{۲/۴}{۱/۳۳}=۱/۸$$

حل مساله با فرض $u=۰$ به دلیل پی نفوذناپذیر:

$$SF=۱/۲=\frac{۰/۷\left(\frac{۱}{۲}Bh\gamma_C\right)}{\frac{۱}{۲}\gamma_w h^۲}\Rightarrow\frac{۱/۲}{۰/۷}=\frac{B\gamma_C}{h\gamma_w}=۲/۴\frac{B}{h}\Rightarrow B/h=\frac{۱}{۱/۴}$$

$$SF_{over}=\frac{\sum M}{\sum M}=\frac{\frac{۱}{۲}Bh\,\gamma_C.\frac{۲}{۳}B}{\frac{۱}{۲}\gamma_\omega h^۲.\frac{h}{۳}+۰}=\frac{۲B^۲\gamma_C}{h^۲\gamma_\omega}$$

$$=۲\times۲/۴\times\left(\frac{B}{h}\right)^۲=۲\times۲/۴\times\frac{۱}{(۱/۴)^۲}\approx۲/۴۵$$

■ تنش یا خستگی قائم در سطح بدنه سر

خستگی قائم در سطح بدنه سد در سراب $\sigma_u=\frac{\sum F_v}{b}-۶\frac{\sum M_۰}{b^۲}$

خستگی قائم در سطح بدنه سد در پایاب $\sigma_d=\frac{\sum F_V}{b}+۶\frac{\sum M_۰}{b^۲}$

b: عرض در مقطع مورد بررسی

$\sum M_۰$ = مجموع ممان‌های نیروهای وارد بر سر تا سطح مورد بررسی و نسبت به مرکز سطح (در جهت عقربه ساعت مثبت است)

$\sum F_V$: مجموع نیروهای قائم (جهت ثقل مثبت)

برای پایداری (در مقابل خستگی قائم) باید مقادیر σ_d,σ_u در شرایط پر یا خالی بودن مخزن مثبت باشند.

چنانچه مقاومت مواد متشکه زمین کمتر از $۱۴\frac{Kg}{cm^۲}$ باشد آن مواد خاک نامیده می‌شود.

حداقل ضریب اطمینان در مقابل لغزش برای چند نوع پی:

بتن روش شن و ماسه درشت: $SF\geq ۲.۵$

بتن روی ماسه: $SF \geq ۲.۵$

بتن روی سنگ رس (شیل): $SF \geq ۲.۵$

بتن روی لای و رس: باید آزمایش شود.

کنترل انرژی جنبشی مخرب در پایاب سد

کنترل شیب خروجی و جوشش خاک در انتهای سازه آبی:

چنان‌چه هیچ‌گونه دیوار سپری در پائین دست سازه در نظر گرفته نشود، شیب هیدرولیکی در انتهای سازه به بی‌نهایت میل کرده و می‌تواند ذرات خاک‌های غیر چسبنده را با خود حمل نماید.

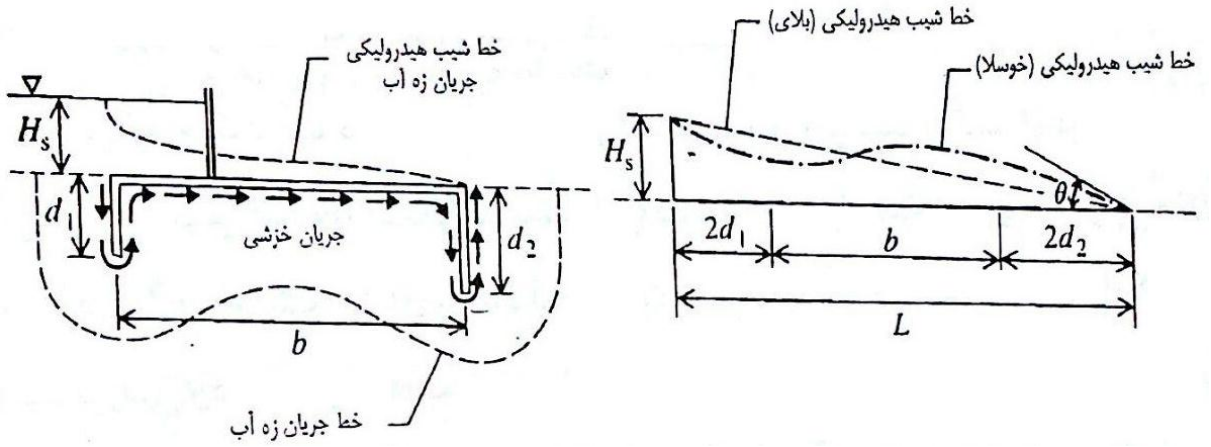
شیب خروجی براساس تجزیه و تحلیل شبکه جریان توسط خوسلا به صورت زیر ارائه شده است:

$$G_e = \frac{H_S}{\pi d_۲ \sqrt{\lambda}}$$

در این رابطه: بازه آب روی سازه : H_S که اختلاف رقوم سطح آب در سراب و پایاب است

$$\lambda = \frac{۱}{۲}\left(۱+\sqrt{۱+\alpha^۲}\right) \qquad \alpha = \frac{b}{d_۲}$$

$d_۲$: ارتفاع دیوار سپری در انتهای سازه ($d_۲$ اختلاف رقوم کف بستر و پائین‌ترین نقطه سازه بتنی در انتها).



چنان‌چه وزن مخصوص خاک در حالت غوطه‌وری (γ_{Sub}) کمتر از وزن مخصوص آب باشد خاک برخاسته و جوشش بوجود می‌آید. چنان‌چه وزن مخصوص آب برابر با وزن مخصوص حالت غوطه‌ور می‌باشد حالت بحرانی پیش می‌آید و چنین شیبی به شیب بحرانی معروف است:

$$Ge(cr) = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma} = (۱-n)(Gs-۱)$$

n : تخلخل خاک

Gs : ثقل مخصوص خاک خشک

شیب خروجی مجاز برای پی‌های نفوذپذیر:

نوع خاک	ماسه ریز	ماسه درشت	ریگ
شیب خروجی مجاز	$\frac{۱}{۷} - \frac{۱}{۶}$	$\frac{۱}{۶} - \frac{۱}{۵}$	$\frac{۱}{۵} - \frac{۱}{۴}$

مطالعه و بررسی زیر فشار در هر نقطه دلخواه و محاسبه نیروی زیرفشار

از آن‌جایی که روش شبکه جریان برای بررسی و مطالعه زیرفشار از پیچیدگی‌های خاص برخوردار است، محققین سعی نموده‌اند روش‌های ساده زیر را به کار ببرند:

الف: روش بلای $L = L_v + L_H$

L_v: مجموع طول‌های عمودی خزش

L_H: مجموع طول‌های افقی خزشی

براین اساس شیب هیدرولیکی در طول تمام سازه مقداری ثابت و برابر $\frac{H_S}{L}$ است. افت بر بار در هر نقطه دلخواه برابر است با: $H_S \frac{L_M}{L}$ که در آن L_m طول تا نقطه مورد نظر است.

اگر ضریب خزش C در رابطه $C = \frac{L}{H_S}$ از مقدار داده شده مربوط به نوع خاک مربوطه بیشتر یا مساوی باشد، سازه آبی در مقابل آب شستگی در پی مقاوم خواهد بود.

*هر چه خاک درشت‌تر باشد مقدار C مجاز کمتر است. مثلاً برای شن با قلوه سنگ C مجاز بین ۴ تا ۶ و برای ماسه بادی یا سیلیت این ضریب حدود ۱۸ است.

ب: روش لین: (تئوری خزشی – وزنی لین)

افت بار در جهت قائم بیش از افت بار در جهت افق است زیرا که فشار آب در جهت قائم باعث مقاومت بیشتر در مقابل حرکت می‌شود.

$$Lw = L_V + \frac{۱}{۳} L_H$$

چنان‌چه خط لغزش با افق زاویه کمتر یا مساوی ۴۵° بسازد خط خزش افقی و در غیر این صورت قائم است.

شیب هیدرولیکی در این روش نیز در تمام طول مسیر خزش مقداری ثابت است:

$$\frac{H_S}{L_W}$$

لین ضریبی را شبیه ضریب خزشی بلای ولی به عنوان ضریب تراوش به صورت زیر ارائه داد:

$$PF = \frac{L_W}{Hs}$$

حداقل ضریب تراوش لازم برای جلوگیری از آب شستگی برای رس خیلی سخت برابر 1.6 و برای ماسه باری یا سیلیت 8.5 است. یعنی هر چه خاک سخت‌تر باشد (نفوذناپذیرتر) این ضریب کمتر است.

برای محاسبه زیر فشار در هر نقطه دلخواه مانند M:

h_m = رقوم سطح آب در سراب – رقوم نقطه مورد نظر – مجموع افت‌ها تا نقطه

فصل دوم

طراحی کانال‌های روباز

- پوشش گیاهی در کف کانال
- حداقل سرعت مجاز
- محاسبات مربوط به کانال‌های فرسایشی
- مقطع عرض کانال در کنار کوهپایه

فصل دوم

طراحی کانال‌های روباز

اصولاً شیب کف کانال باید در حدی باشد که جریان در کانال بجز در موارد بسیار خاص زیر بحرانی باشد.
چنان‌چه بخواهند سرعت آب در کانال در حد ایمنی باشد کانال را باید طوری طراحی نمایند که عدد فرود در آن از ۰.۳ تا ۰.۴ تجاوز ننماید شیب کف کانال نیز باید در حدی باشد که سرعت آب در کانال باعث فرسایش و یا برعکس رسوب گذاری نشود.
در مورد شیب جانبی کانال دو نکته مهم است:
۱-انتخاب حداکثر شیب جانبی ← تلفات آب در اثر تبخیر بیشتر
۲-شیب جانبی باید در حدی باشد که باعث ریزش نگردد.
*در کانال‌های بزرگ و عمیق شیب جانبی قسمت مربوط به ارتفاع آزاد را می‌توان تندتر از شیب ناحیه مربوط به زیر آب در نظر گرفت.
*شیب جانبی کانال‌های دارای پوشش معمولاً تندتر از شیب جانبی کانال بدون پوشش است.

■ پوشش گیاهی در کف کانال

سود:

- باعث استحکام خاک در برابر آب شستگی
- کاهش تلاطم آب در نزدیکی‌های بستر و کاهش خطرات شستگی

زیان:

- کاهش دبی
- ته نشین شدن رسوبات، کاهش سطح مؤثر
- افزایش ضریب زبری که نتیجه آن کاهش دبی و سرعت جریان است

■ حداقل سرعت مجاز

۱-براساس ته نشین شدن رسوبات معلق در آب:
طبق Chow: چنانچه غلظت رسوبات در آب کم باشد حداقل سرعت مجاز برای جلوگیری از ته نشین شدن رسوبات در حد ۰/۶تا ۰/۹متر بر ثانیه است.
مطابق USBR: چنانچه عدد فرود بین ۰/۱۲ و ۰/۳، باشد در کانال‌ها رسوبات ته‌نشین نشده و در کانال‌های خاکی فرسایش نخواهد داشت.
۲-براساس رشد گیاهان آبزی: برای جلوگیری از رشد و نمو گیاهان آبزی سرعت متوسط جریان می‌بایست بیش از ۰/۵الی ۰/۶ متر بر ثانیه باشد.

۳-براساس درجه یخبندان: چنانچه سرعت متوسط جریان بیش از ۱/۲ الی ۳ متر در ثانیه باشد سطح آب یخ نمی‌زند.

در طراحی کانال‌های غیر فرسایشی:

بحث حداکثر سرعت مجاز در کانال‌های غیر فرسایش مطرح نمی‌باشد اما برای جلوگیری از ته‌نشین شدن رسوبات حداقل سرعت مجاز مطرح است.

■ محاسبات مربوط به کانال‌های فرسایشی

۱-روش حداکثر سرعت مجاز

-حداکثر سرعت مجاز به سرعتی اطلاق می‌شود که در کانال فرسایش ایجاد نشود و تابع بافت خاک، رسوبات معلق در آب، عمق آب و عمر کانال است.

-کانال‌های مستعمل معمولاً در مقابل جریان نسبت به کانال‌های تازه ساز مقاومت بیشتری دارند.

- در کانال‌های عمیق تلاطم جریان کمتر به کف و دیواره‌های جانبی منتقل می‌شود و نسبت به کانال‌های کم عمق در مقابل جریان مقاوم‌ترند.

- در کانال‌هایی که رسوبات ریز دانه جریان دارد رسوبات به جدار می‌چسبد و منافذ را پر کرده و باعث مقاومت بیشتر در مقابل فرسایش می‌گردد. پس در کانال با آب گل‌آلود حداکثر سرعت مجاز نسبت به کانال با آب صاف بیشتر است.

- حداکثر سرعت مجاز در خاک‌های غیرچسبنده: تابع اندازه ذرات (قطر متوسط)

- حداکثر سرعت مجاز در خاک‌های چسبنده: تابع بافت خاک و وزن مخصوص آن است.

۲-روش نیروی برشی مجاز

نیروی برشی یا نیروی مالشی ناشی از جریان آب در کانال است که به کف وارد شده و با نیروی اصطکاک در جریان یکنواخت برابر است

تنش برش $\tau = \gamma RS.$

برای کانال عریض $\tau = \gamma ys.$

برای کانال‌های عریض $R = y$

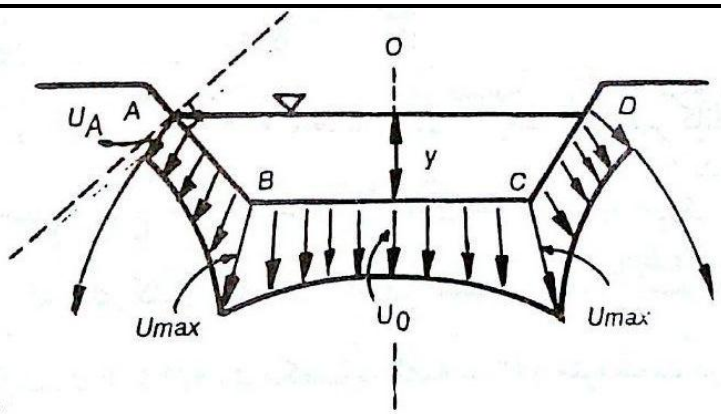
*در خاک‌های پی چسبنده یا دانه ریز نیروی چسبندگی نسبت به نیروی ثقل زیاد است لذا از مؤلفه نیروی ثقل چشم پوش می‌شود.

-تنش برشی مجاز کمتر از تنش برشی است که به ازاء آن ذرات خاک شروع به حرکت می‌کند.

-زاویه دستیابی خاک ϕ: به اندازه و گوشه‌دار بودن ذرات خاک بستگی دارد.

■ توزیع سرعت ناشی از نشت آب در بدنه کانال

سرعت نفوذ جریان در محور کانال کمتر از سرعت در گوشه‌های کف است.

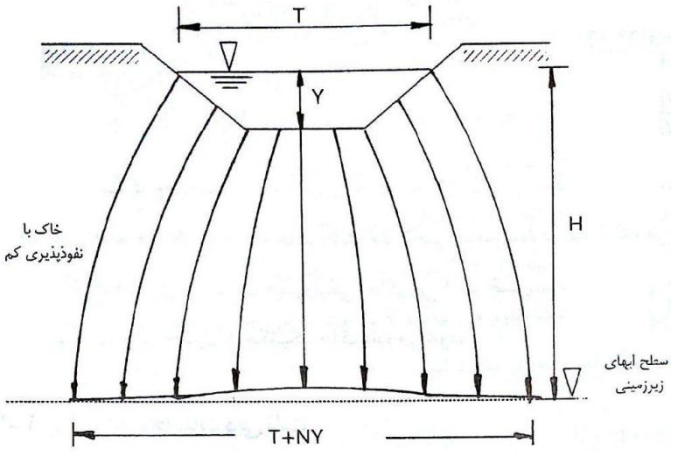


-ضخامت پوشش بتنی به حداکثر دبی جریان و به سطح آب‌های زیر زمینی بستگی دارد.

-در مورد میزان دبی نشت سه عامل نقش دارند:

- ابعاد کانال
- خاک بستر
- وضعیت آبهای زیرزمینی

بررسی حالت‌های مختلف سطح آب زیر زمینی:



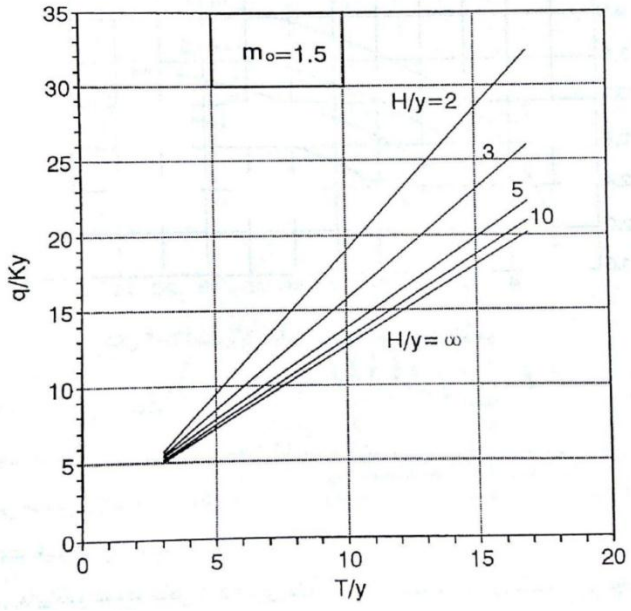
طبق نمودار موسکات:

حالتی‌که سطح با آب زیرزمینی عمیق‌تر باشد اتلاف آب از بدنه کمتر است

در صورتی‌که عمق آب زیرزمینی زیاد باشد یعنی نسبت $\frac{H}{y}$ بیشتر باشد شیب هیدرولیکی $i=\frac{\Delta H}{\Delta L}$ به سمت ۱ میل می‌کند.

اگر عمق آب زیرزمینی نزدیک کف کانال باشد شیب هیدرولیکی $i=\frac{\Delta H}{\Delta L}$ حداکثر مقدار خود را داراست.

$H=0$ دبی نشت صفر است و اگر $H<0$ باشد دبی نشت منفی می‌شود و کانال حالت زهکشی می‌شود.



نمودار موسکات

■ مقطع عرض کانال در کنار کوهپایه

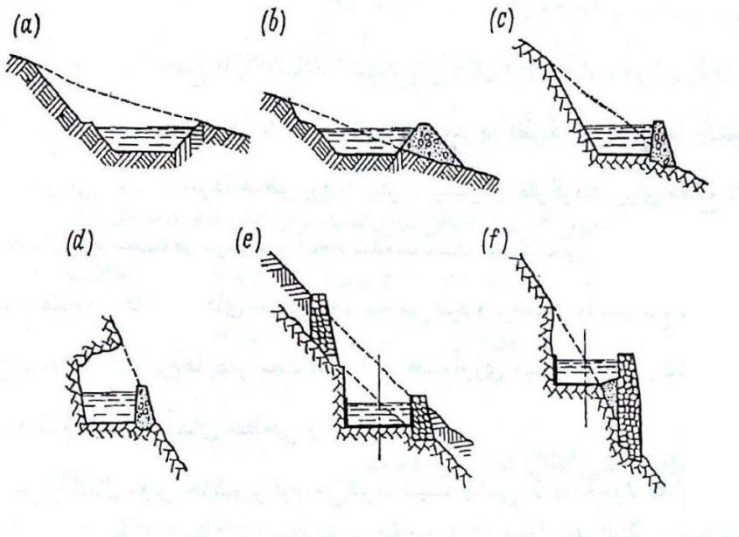
پروفیل عرضی کانال در این مواقع به شیب عرضی و نوع خاک بستر بستگی دارد.

a: اگر مقطع کانال در دل خاک قرار گیرد بهترین حالت است. برای زمین‌های مقاوم مناسب است.

b: اگر همزمان خاکبرداری و خاکریزی لازم باشد.

c: اگر شیب عرض کانال زیاد باشد.

d: اگر کوه به صورت ریزش باشد.



e: شیب تند و بستر سنگی.

f: بستر و دیوار سنگی با شیب تند.

فصل سوم

آبگیرها، دریچه‌ها و شیرها

- آبگیر با دریچه کشویی
- آبگیرهای تحتانی سدها
- تبدیل‌ها (تبدیل‌های لوله ای)
- دریچه ها و شیرها
- نیروهای وارد بر دریچه

فصل سوم

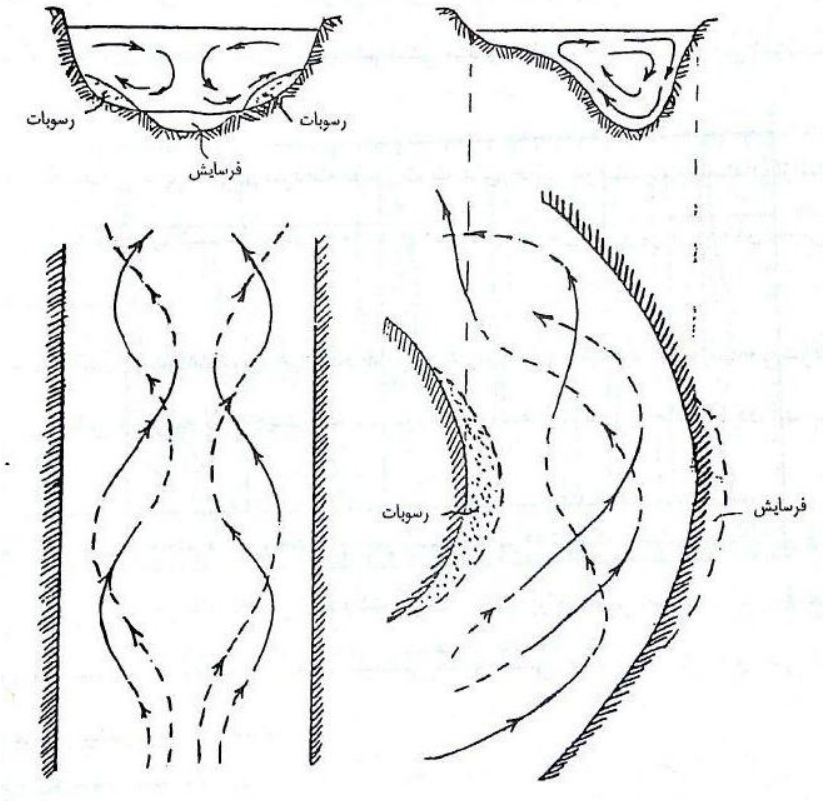
آبگیرها، دریچه‌ها و شیرها

در کانال‌هایی که دارای پیچ و خم هستند فرسایش در ساحل متقعر شده (خارجی) و انباشته شدن در ساحل متحدب شده (داخلی) روی می‌دهد مانند شکل.

از اینرو برای آبگیری از کانال بهتر است که آبگیری از ساحل متقعر انجام شود.

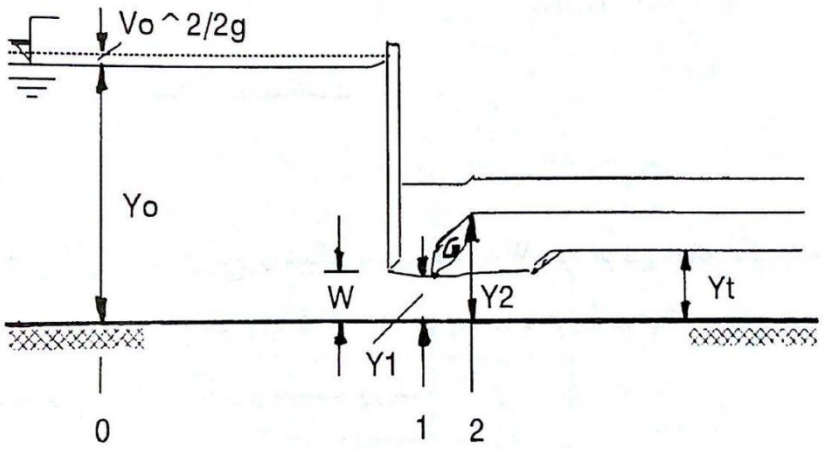
تا رسوبات کمتری دارد کانال آبگیر شود.

نکته: جهت چرخش جریان های عرضی برای کانال ها مهم می باشد که در فصول بعدی توضیح داده شده است.



وضعیت جریان در کانال‌های عرضی

■ آبگیر با دریچه کشویی



اگر ارتفاع بازشدگی دریچه w، کمتر از عمق بحرانی باشد، در مقطع ۱ در پائین است دریچه جریان فوق بحرانی خواهد بود.
چنانچه ارتفاع آب در پایاب y_t، کمتر از ارتفاع ثانویه پرش هیدرولیکی برای مقطع ۱ و یا مساوی آن باشد جریان کاملاً آزاد و باز ۱ $y_t > y_2$ جریان مستغرق است.
در جریان آزاد، جریان در پائین دست اثری در جریان بالادست ندارد اما در جریان مستغرق مقدار آبی که روی مقطع ۱ قرار می‌گیرد همانند یک دیوار جلوی حرکت آب را می‌گیرد و جریان را کند می‌کند.

$y_1 = C_C w$

C_C: ضریب فشردگی یا ضریب همگرایی

دبی عبوری از زیر دریچه برای عرض واحد $q = C_d \quad w\sqrt{2gy_0}$

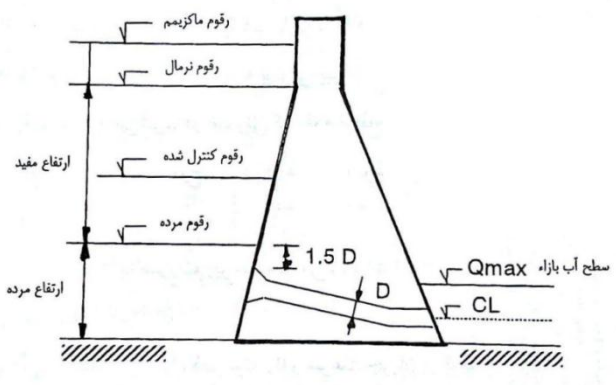
C_d ضریب دبی جریان

ضریب دبی جریان، تابعی از $\frac{y_0}{w}$ برای جریان آزاد و تابعی از $\frac{y_t}{w}, \frac{y_0}{w}$ برای جریان مستغرق است.

■ آبگیرهای تحتانی سدها

در مواردی که عمق آب در مخزن سد زیاد است، برای مصارف پائین است و همچنین برای تخلیه سد در مواقع اضطراری و در برخی موارد برای تخلیه رسوبات انباشته شده در مخزن سد از آبگیرهای تحتانی استفاده می‌شود.
در سدهای وزنی آبگیر معمولاً در بدنه سد قرار دارد.
در سدهای پشت بند دار یا پایه‌دار، آبگیر بین پایه‌ها قرار داده می‌شود.
در سدهای خاکی به دلیل نشت آب و اثرات آن آبگیر در بدنه سد قرار نمی‌گیرد.
در سدهای بتنی، برای اینکه به ازاء رقوم‌های پائین، سطح آب جریان پر و بدون گرداب باشد برای دهانه ورودی سقف بالا سر در نظر می‌گیرند. که اصطلاحاً Hood نامیده می‌شود.

رقوم طراحی سطح آب در مخزن سد:



- حداکثر رقوم سطح آب در مخزن در شرایط عادی (بدون سیلاب) رقوم نرمال است
- حداقل رقوم سطح آب رقوم مرده است
- در شرایط سیلابی سطح آب مخزن تا رقوم ماکزیمم بالا می‌آید.
- رقوم مرده مربوط به حداکثر رقومی می‌باشد که در زمان عمر مفید سد رسوبات می‌توانند در مخزن جمع شوند.
- سطح آب در مخزن بین رقوم مرده و نرمال در نوسان است و حداکثر برداشت آب به ازاء رقومی بین نرمال و مرده صورت می‌گیرد.
- چنانچه فاصله رقوم مرده و سقف دهانه ورودی حدود ۱.۵برابر قطر لوله باشد در تمام شرایط آبگیری در لوله آبگیر گرداب ایجاد نمی‌شود. برای کاهش این فاصله ممکن است از سقف بالاسر استفاده شود.
- چنان‌چه به ازاء دبی طرح سطح آب در پایاب پائین‌تر یا هم سطح تراز محور خروجی لوله آبگیر قرار بگیرد جریان آزاد بحساب آمده و معادله برنولی بین رقوم طراحی در سراب و رقوم محور خروجی لوله آبگیر نوشته می‌شود.
- در صورتی‌که رقوم سطح آب در پایاب بالاتر از رقوم محور خروجی لوله باشد جریان حالت مستغرق حاکم است.

تبدیل‌ها: (تبدیل لوله‌ای)

زاویه تبدیل با محور لوله یا زاویه تبدیل، θ در حالت ایده‌های برای حالت همگرایی به صورت زیر بدست می‌آید،

$$tg\theta = \frac{۱}{Fra}$$

در حالت ایده‌آل واگرایی:

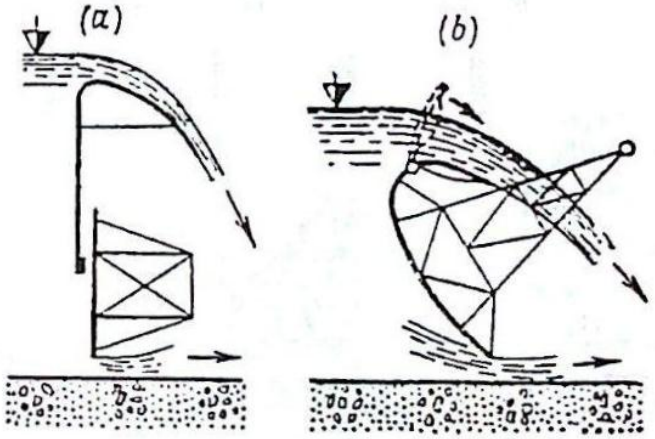
$$tg\theta = \frac{۱}{۲Fra}$$

Fr_a متوسط فرود بین ابتدا و انتهای مقطع

- طول تبدیل در حالت واگرایی بیشتر از حالت همگرایی است.
- افت در تبدیل واگرا حدود ۲ برابر افت در تبدیل همگراست.
- در تبدیل واگرا انحناء خطوط جریان بیشتر، جریان گردابی‌تر و امکان فرسایش بیشتر است.

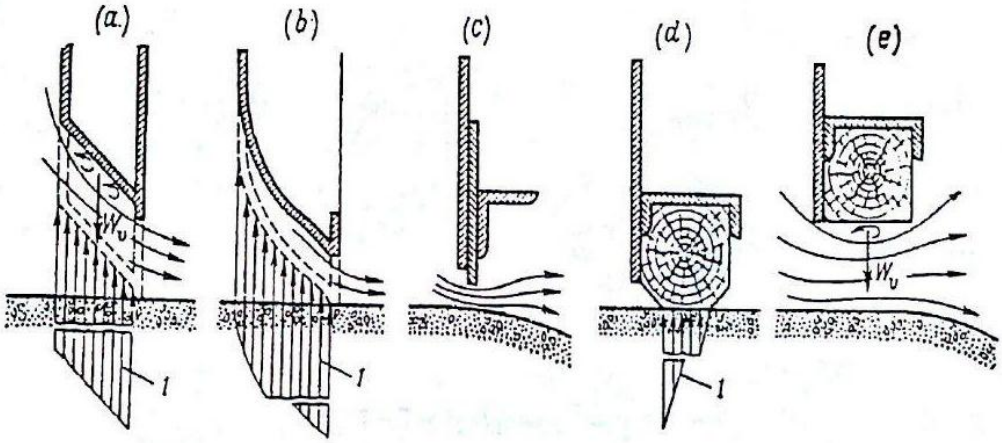
دریچه‌ها و شیرها

دریچه ممکن است به صورت روزنه عمل کند: این نوع دریچه‌ها برای عبور رسوبات استفاده می‌شوند.
و یا ممکن است به صورت روزنه عمل کند، این نوع دریچه‌ها برای تنظیم دبی جریان و همچنین عبور مواد معلق و آشغال مناسب‌تر هستند.
گاهی برای ترکیب عملیات از دریچه‌های مضاعف کشویی یا مضاعف قطاعی استفاده می‌شود.



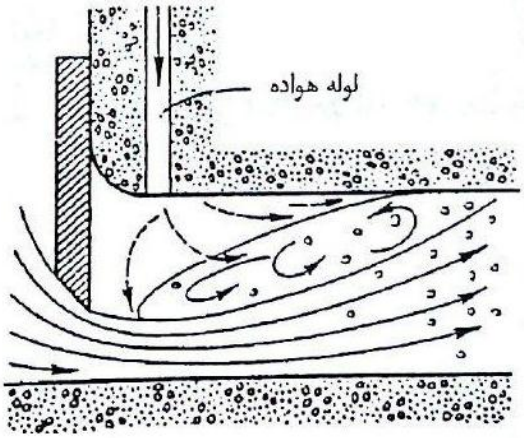
تأثیر شکل زیرین دریچه در عبور آب

برای شکل‌های زیر در حالت باز بودن دریچه خلاء ایجاد می‌شود، این امر باعث می‌شود که در سازه لرزه ایجاد شده، خوردگی بوجود آید از اینرو نیروی لازم جهت بالا کشیدن دریچه بیشتر شود.



برای کاهش میزان خلاء ممکن است از حالت زیر استفاده شود، در این حالت دهانه ورودی به صورت کاملاً خمیده ساخته شده است.
تجربه نشان داده است چنانچه سطح زیرین دریچه به صورت تیغه فولادی ساخته شود در آن صورت در زیر دریچه خلاء ایجاد نمی‌شود. در این حالت نیروی زیرفشار در زمان بسته بودن دریچه بسیار ناچیز است.

با توجه به انحناء شدید خطوط جریان، اصولاً در دهانه ورودی آبگیر خلاء ایجاد می‌شود. بنابراین در هر حالت در دهانه ورودی آبگیرها بهتر است از لوله مواد دهنده برای خلاءزدایی استفاده شود.



نیروهای وارد بر دریچه

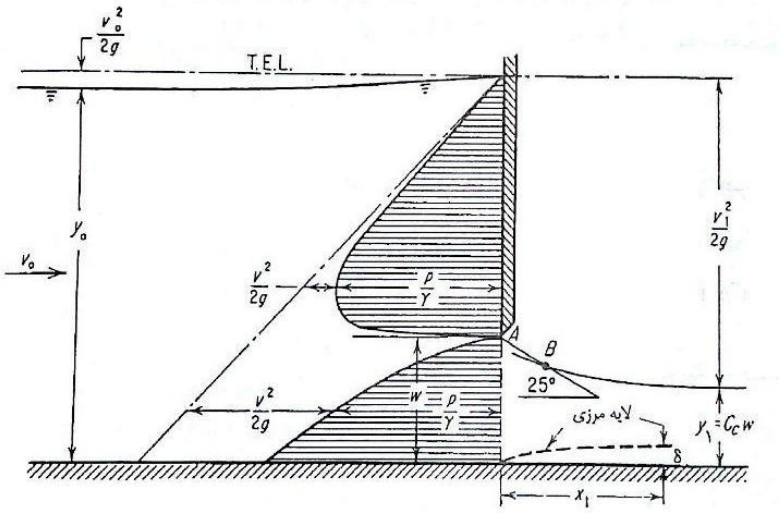
ترکیب نیروهای وارد بر دریچه در حالت بسته به صورت زیر است:

-نیروهای فشار آب به ازاء رقوم نرمال سطح آب در مخزن باضافه حداکثر نیروی ناشی از امواج در نظر گرفته می‌شود.

-نیروهای فشار آب به ازاء رقوم ماکزیمم سطح آب در مخزن در هنگام سیلابی شدن جریان باضافه متوسط نیروی امواج در نظر گرفته می‌شود.

-نیروهای ناشی از فشار آب و زمین لرزه بازاء رقوم نرمال سطح آب در مخزن در نظر گرفته می‌شود.

نیروها برای دریچه نیمه باز:



$$\frac{1}{2}\gamma y_0^2 - \frac{1}{2}\gamma y_1^2 - R = \rho q(\upsilon_1 - \upsilon_0)$$

یا

$$\frac{1}{2}y_0^2 - \frac{1}{2}y_1^2 - \frac{R}{\gamma} = \frac{q^2}{g}\left(\frac{1}{y_1} - \frac{1}{y_0}\right)$$

در این رابطه: R : نیروی عکس‌العمل از طرف دریچه برآب که با نیروی هیدرودینامیکی برابر است.

q : دبی جریان برای یک متر عرض دریچه

در صورتی که جریان در پائین دست دریچه مستغرق باشد برای محاسبه نیروی هیدرودینامیکی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\frac{۱}{۲}y_{۰}^{۲}-\frac{۱}{۲}y_{x}^{۲}-\frac{R}{\gamma}=\frac{q^{۲}}{g}\left(\frac{۱}{y_{۱}}-\frac{۱}{y_{۰}}\right)$$

که در آن:

$$y_d=y_t\left[\sqrt{۱+۲Fr_t^{۲}\left(۱-\frac{y_t}{y_{۱}}\right)}\right]$$

y_t: عمق آب در پایاب

Fr_t: عدد فرود در پایاب

سوال: با توجه به شکل قبل با توجه به داده‌های زیر نیروی هیدرودینامیکی وارد بر دریچه را برای جریان آزاد محاسبه کنید:

$y_{۰}=۲/۵m$

$w=۰/۵m$

$q=۲\frac{m^{۳}}{s.m}$

$C_C=۰/۶۱۸$

حل:

$$y_{۱}=C_C w=۰/۶۱۸\times ۰/۵=۰/۳۱m$$

نیروی عکس‌العمل معادل نیروی هیدرودینامیکی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

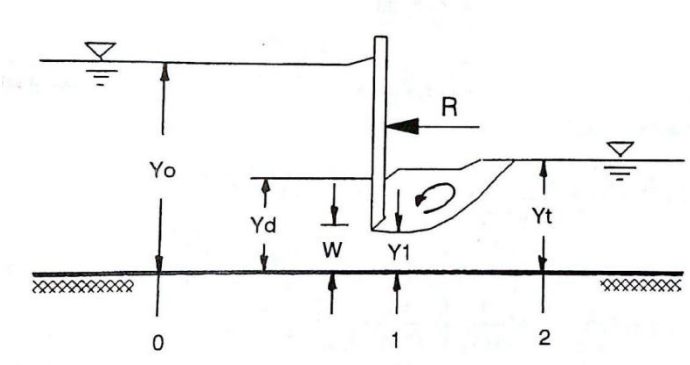
$$\frac{۱}{۲}y_{۰}^{۲}-\frac{۱}{۲}y_{۱}^{۲}-\frac{R}{\gamma}=\frac{q^{۲}}{q}\left(\frac{۱}{y_{۱}}-\frac{۱}{y_{۰}}\right)$$

$$\frac{۱}{۲}(۲/۵)^{۲}-\frac{۱}{۲}(۰/۳۱)^{۲}-\frac{R}{\gamma}=\frac{۴}{۹/۸۱}\left(\frac{۱}{۰/۳۱}-\frac{۱}{۲/۵}\right)$$

$$\frac{R}{\gamma}=۱/۹۲\Rightarrow R=۱/۹۲\,ton/m$$

وزن مخصوص آب $\gamma=۱\frac{ton}{m}$ در نظر گرفته شده است.

سوال: چنانچه در شکل زیر $w=۰/۵m, y_{۰}=۲/۵m, q=۱/۱\frac{m^{۳}}{s.m}$ $y_t=۲m, C_c=۰/۶۱۸$ **باشد نیروی هیدرودینامیکی وارد بر دریچه چقدر است:**



حل:

$y_{۱}=C_C \quad w=۰/۶۱۸\times ۰/۵=۰/۳۱$

آزاد بودن جریان کنترل می‌شود:

$$Fr_۱ = \frac{q}{\sqrt{g}\ y_۱^{۳/۲}} = \frac{۱.۱}{\sqrt{۹/۸}\ \ ۰/۳۱^{۳/۲}} = ۲/۰۴$$

$$y_۲ = \frac{y_۱}{۲}\left(\sqrt{۱+۸Fr_۱^۲}-۱\right) = ۰/۷۵ < y_t = ۲_m$$

لذا جریان مستغرق است

$$Fr_t = \frac{۱.۱}{\sqrt{۹/۸۱}\times ۲^{۳/۲}} = ۰/۱۲۴$$

$$y_d = y_t\left[\sqrt{۱+۲Frt^۲\left(۱-\frac{y_t}{y_۱}\right)}\right] = ۲\left[\sqrt{۱+۲\times ۰/۱۲۴^۲\left(۱-\frac{۲}{۰/۳۱}\right)}\right] = ۱/۸۲۳m$$

حال محاسبه نیروی هیدرودینامیکی:

$$\frac{۱}{۲}y_۰^۲ - \frac{۱}{۲}y_d^۲ - \frac{R}{\gamma} = \frac{q^۲}{g}\left(\frac{۱}{y_۱}-\frac{۱}{y_۰}\right)$$

$$\frac{۱}{۲}(۲/۵)^۲ - \frac{۱}{۲}(۱/۸۲۳)^۲ - \frac{R}{\gamma} = \frac{۱/۱^۲}{۹/۸۱}\left(\frac{۱}{۰/۳۱}-\frac{۱}{۲/۵}\right)$$

$$R = ۱/۱۱ \quad ton$$

فصل چهارم

سرریزها

- سرریزهای جانبی
- سرریز تنداب
- سرریز نیلوفری
- سرریز پلکانی
- سرریز سیفون
- توضیحاتی در مورد سرریز اضطراری
- سرریز اوجی
- سرریز لبه پهن

فصل چهارم

سرریزها

این فصل از مهمترین فصول دروس طراحی هیدرولیکی سازه‌ها و سرریزها می‌باشد و سؤالات زیادی برای هر دو درس از این مبحث در کنکور بیان می‌شود.

سرریز جریان را از زیر بحرانی به فوق بحرانی تبدیل می‌کند، لذا امکان فرسایش شدید آبی در پایانه سرریز متحمل بوده و از اینرو مستهلک کننده انرژی در پایاب سرریز بسیار نیاز است.

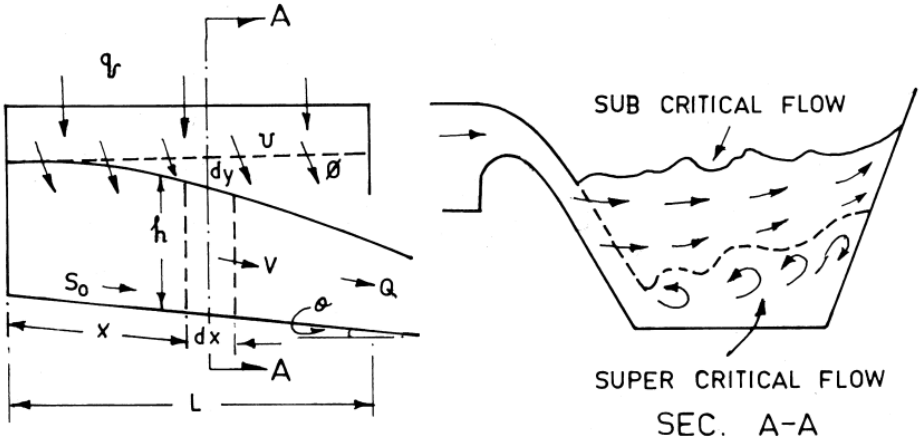
زمانی که حجم زیادی از آب وارد مخزن می‌شود و تراز آب مخزن بالاتر از تراز نرمال سد می‌شود سرریزها با شرایط کنترل شده آب را به پائین دست منتقل می‌کنند.

برای مقاطع عریض رودخانه ← سرریز بدون دریچه

برای مقاطع تنگ رودخانه ← سرریز با دریچه ← کنترل جریان بهتر صورت می‌گیرد ← لذا به سرریز کنترل کننده سیل معروف هستند.

سرریزهای جانبی: Side- channel spillways

- چنانچه طول تاج سرریز عمود بر محور رودخانه، جوابگوی انتقال سیل نباشد از سرریز جانبی استفاده می‌شود.
- سرریز جانبی با تونل آب یا با تندآب (Chute) به جریان رودخانه پائین است می‌پیوندد.
- محاسبات سرریزهای جانبی براساس جریان متغیر مکانی است.



سرریز جانبی و مشخصه های جریان