طراحی هیدرولیکی سازه ها

دکتر محمدرضا کاویانپور
دانشیار دانشکده عمران

پایان نامه ارشد و دکتری عمران
مدیر گروه بهمراه تیم متخصص در انجام پایان نامه ارشد و دکتری عمران از پروپوزال تا دفاع و ثبت مقاله همراه شماست
https://telegram.me/omranihayesharif

سرفصل درس:

- مقدمه ای بر سدسازی و منابع آب در ایران
- مطالعات اولیه طرح
- فاکتورهای موثر بر انتخاب نوع و محل سد
- شناخت انواع سدها و نقاط ضعف و قوت آنها
- شناخت و ارزیابی پدیده کاویتاسیون و مقابله با آن در سازه های هیدرولیکی
- طراحی هیدرولیکی تخلیه کننده های تحتانی
- طراحی هیدرولیکی سازه های کنترل کننده جریان شامل: دریچه ها و شیرها
- طراحی هیدرولیکی انرژی شکن ها شامل پرتاب کننده جامی و حوضچه آرامش
- آشنائی با سرریزها و طراحی آنها شامل تندآب، جانبی، نیلوفری، پلکانی و ....
- مطالعات هیدرولیکی رسوب و کنترل آن در سدها
- آشنائی با حوضچه های رسوبگیر و اصول طراحی آنها
- طراحی تونل های انحراف آب

منابع درس:

- هیدرولیک رسوب محمود شفاعی بجستان
- طراحی سازه های هیدرولیکی- دکتر شمسائی
- سازه های تنظیم آب در سیستم های آبیاری ترجمه دکتر فرهودی
- هیدرولیک سد (Hydraulics of Dam By Hager) ترجمه مسعود قدسیان
- Hydraulic Structures- C.D. Smith
- Design of Small Dams- USBR
- Falvey H.T. (1990). Cavitation in chutes and spillways. Engineering Monograph 42. Water Resources Technical Publication. USBR
- Applied Hydraulics- Davis
- Hydraulic Design of Stilling Basin and Energy Dissipators- USBR
- Hydraulic Structures- Narayanan, Naluri, Novak, Vallentine

فاکتورهای موثر بر انتخاب نوع و محل سد

- مطالعات هیدرولوژیک
- فاکتورهای زیست محیطی
- فاکتورهای زمین شناسی و ژئوتکنیکی
- مصالح
- شرایط محلی
- هواشناسی

کنترل سیلاب

- هزینه صرف شده باید مد نظر قرار گیرد
- سیستم کنترل باید هوشیار باشد و از حالت دستی خارج گردد
- امکان کنترل سیلاب با ذخیره موقت آب اضافی در مخزن بررسی گردد

سیستم کنترل سیلاب

مقدمه

با توجه به اهمیت منابع آب در امنیت غذائی و اجتماعی و وابستگی جوامع بشری به این منبع حیاتی، لزوم توجه به مدیریت منابع آبی و استفاده بهتر از آن ضرورت می یابد. این نکته بخصوص برای کشور ما ایران که در نقطه حساسی از جغرافیای آبی جهان قرار گرفته بسیار حائز اهمیت خواهد بود. کاهش نزولات جوی، خشک شدن بسیاری از رودخانه های پر آب و دریاچه ها و باتلاق های طبیعی شاهد مدعای حاضر می باشد. نه تنها میهن اسلامی که کل منطقه دستخوش تنش آبی و بحران آب قرار گرفته و این ماده حیاتی را از بسیاری منابع ثروت زیرزمینی و شناخته شده جهان، گرانبها و ارزشمندتر نموده است. چنانچه توجه مسئولان، بهره برداران بخش کشاورزی و صنعت و عموم مردم بر حفظ کمی و کیفی مصارف معطوف نگردد، انتظار بحران های بیشتری را از ناحیه کاهش و هدر رفت و آلودگی این منبع حیاتی در آینده نزدیک باید انتظار داشت. این وظیفه همه آحاد مردم و بخصوص نسل جوان و فرهیخته کشور است که در این راستا به وظیفه انسانی و ملی خود عمل نموده و تلاش نمایند تا به ارتقای بهره برداری و آگاهی رسانی به مسئولان و مردم کمک نمایند. در این ارتباط توجه به مباحث زیر توصیه می شود.

- انسان و آب شیرین : بر اساس آمارهای انتشار یافته، در جهان سالانه سه میلیون نفر به دلیل ابتلا به بیماری های ناشی از مصرف آب آلوده می میرند. یک میلیارد جمعیت جهان دسترسی به آب قابل شرب ندارند و ۳ میلیارد نفر آب آلوده و بدون کیفیت مصرف می کنند. در سال ۲۰۰۰ حدود ۲۰٪ جمعیت جهان در ۳۰ کشور با کمبود آب مواجه بوده اند و پیش بینی می شود که در سال ۲۰۲۵ حدود ۳۰٪ با کمبود آب مواجه شوند. محققان در تازه ترین تحلیل ها اعلام نموده اند که شاخص فقر آب مقدار منابع آب موجود نیست بلکه کارائی نحوه استفاده از منابع در این زمینه موثر است.
- شبکه های فرسوده شهری: در کشور حدود ۴۴ میلیون نفر از شبکه آب شهری با ظرفیت حدود ۲ میلیارد مترمکعب استفاده می کنند. به نقل از سازمان برنامه و بودجه سابق، از ۱/۲۵۸ میلیارد مترمکعب آب تحویلی شبکه در سال ۷۹ تنها ۶۹۴ میلیون مترمکعب فروخته شده است که معادل ۴۵ درصد آب به حساب نیامده می باشد. این در حالی است که به نقل از وزارت نیرو، هدر رفت آب در کل کشور ۲۸ درصد و در تهران ۳۱ درصد است که چند درصد هم آب به حساب نیامده باید به آن اضافه شود. در حال حاضر حدود ۵۴ تصفیه خانه در حال ساخت است که ۵۰ مترمکعب بر ثانیه و یا ۲ میلیارد مترمکعب در سال را تصفیه می نماید که در بخش غیرشرب قابل استفاده است. آمارهای مراکز دیگر همچنین نشان می دهد که سالانه حدود ۱۰ میلیارد مترمکعب آب به خارج از مرزها می ریزد و ۳۵ درصد آب شرب به علت فرسودگی هدر می رود. بنابراین در حوزه هدر رفت آب نیز علیرغم تفاوت آمارها، متاسفانه نیازمند برنامه ریزی دقیق خواهیم بود.

- سیستم های نوین آبیاری : کل زمین آبی و دیم کشور ۱۸ میلیون هکتار است که حدود ۸۵۰ هزار هکتار آن کمتر از ۱الی ۲ هکتار است (۵ درصد) و ۸۴ درصد از اراضی کشاورزی نیز زیر ۱۰ هکتار است که نشان دهنده کوچک بودن ابعاد زمین های کشاورزی و در نتیجه عدم امکان بهینه سازی تولیدات در این بخش می باشد. حدود ۳۳۰ هزار هکتار از ۷/۸ میلیون هکتار اراضی آبی کشور زیر پوشش سیستم نوین آبیاری قرار گرفته است و قرار بود سالی ۱۰۰ هزارهکتار به این سیستم (۸۵-۹۰ درصد بازدهی) مجهز می شوند.
- تولید واحد سطح : تولید کشور در گندم آبی حدود ۳/۲ تن در هکتار است که می توان آنرا به ۶ تا ۱۱ تن در هکتار رساند. بنابراین با استفاده از روش های نوین آبیاری در کنار بذر مناسب می توان بسیاری از نیازهای غذائی کشور را افزایش داده و گذشته از رفع نیازهای داخل به صادرات آن همت گمارد.
- شبکه های آبیاری : تاکنون برای بیش از ۳ میلیون هکتار (از مجموع حدود ۸/۷ میلیون هکتار) از اراضی کشاورزی از طریق ساخت سد آب تامین شده است. از مجموع ۳ میلیون هکتار از اراضی آبخور سدهای کشور، حدود ۱/۵۷ میلیون هکتار دارای شبکه اصلی آبیاری (۵۲ درصد آب را از سد به پائین دست می رسانند) و ۶۵۰ هزار هکتار دارای شبکه های فرعی (۲۲ درصد آب سد را به مزارع می رسانند). با در نظر گرفتن ۶۰ سد در حال احداث (با ظرفیت ۲۲ میلیارد مترمکعب) به نظر می رسد که ۲/۳۵ میلیون هکتار از آب سدها استفاده نمی کنند و به دلیل احداث سد و پائین افتادن سطح آب زیرزمینی و کاهش دسترسی به آب سطحی با مشکلات بیشتری روبرو هستند.
- مدیریت : فراهم نبودن امکانات مدیریت بهینه تنظیم و توزیع آب و عدم امکان تخلیه آب مازاد و در نتیجه شور شدن اراضی و نبودن امکان توسعه مکانیزاسیون به شکل گیری نظام نامناسب بهره وری از آب و خاک منجر شده است، چنانچه در حال حاضر ۶۰۰ هزار هکتار اراضی زه در کشور داریم.

خط مشی های آینده

با توجه به نکات مطرح در قبل، عنایت به موارد زیر جهت عبور از بحران تنش آب و کمبود آن توصیه می شود.

- با توجه به مشکلات جهان امروز تامین آب سالم برای همه باید در سرلوحه فعالیت دولت قرار گیرد
- مدیریت بهره برداری باید در کنار تامین آب سالم مورد توجه همگان قرار گیرد.
- جلوگیری از هدر رفتن آب از طریق مدیریت شبکه و تاسیسات از اهمیت خاص برخوردار است.
- با توجه به آنکه کشور با روند افزایش جمعیت و سطح زندگی و تغییر آب و هوا با بحران آب روبرو می باشد، لذا تمهیدات لازم در جهت جلوگیری از خروج آب از کشور و هدر رفت آن باید مورد توجه قرار گیرد.
- توجه به استفاده از سیستم های نوین آبیاری و روش ها و الگو های مناسب کشت در سرلوحه تصمیمات دولت باید قرار گیرد.

- توسعه شبکه های آبیاری پشت سدها و اجرای مدیریت بهره برداری بهینه از تاسیسات سد و شبکه از جمله موضوعات مهم در طرح های عمرانی آب باید مد نظر قرار گیرد.
- آگاهی رسانی به عموم جامعه، فرهنگ سازی و آموزش برنامه ریزان، بهره برداران و عموم اقشار جامعه باید در تمام سطوح آموزشی مورد توجه مسئولان و فرهیختگان جامعه قرار گیرد.

آب کالای اقتصادی مهم

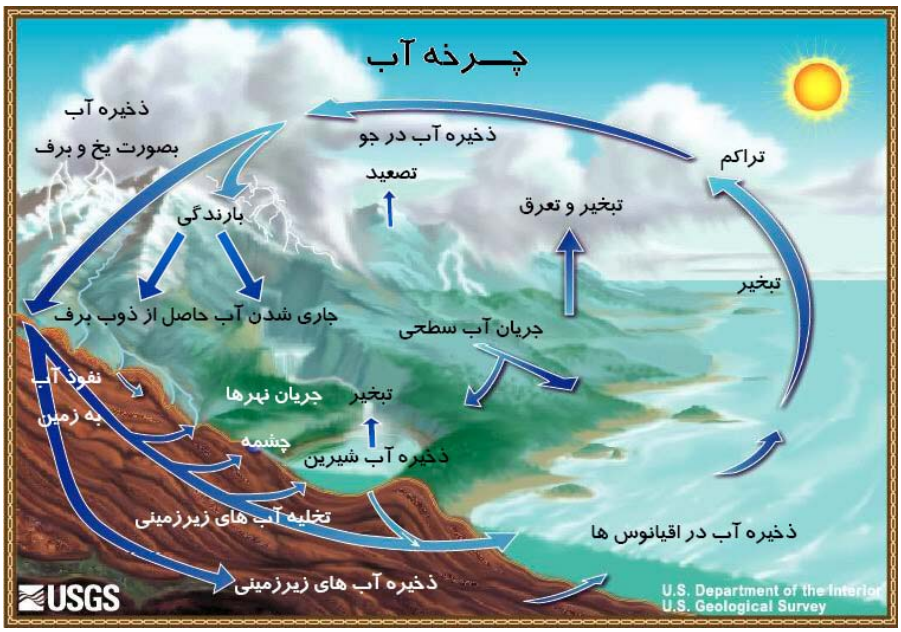
با توجه به نکات مطرح در اهمیت آب برای حفظ و بقای جامعه بشری نکات زیر باید مد نظر قرار گیرد.

❖ آب یک کالای خاص با مشخصات ویژه است

- یک ماده ضروری و حیاتی است (تولید اقتصادی و محیط زیست و فعالیت بشری)
- یک ماده کمیاب است
- یک ماده گذرا است (تحت ثقل جریان دارد و باید استحصال شود)

❖ آب یک سیستم است

- (از بارش و رواناب و جذب و تغذیه و تبخیر و ... را شامل میشود)



نمائی از چرخه یا سیکل آب در طبیعت

❖ آب یک کالای عمومی است

- باید همه بخش های مصرفی امکان دسترسی به آن را داشته باشند

- بازار آب همگن نیست و قیمت گذاری برای بخش های شهری، صنعتی و کشاورزی باید متفاوت باشد.

❖ توجه به آب مجازی

استانداردهای سرانه مصرف آب در کشورهای مختلف جهان به لحاظ موقعیت جغرافیائی، فرهنگی و اقتصادی بندرت از ۲۰۰ لیتر بر ثانیه تجاوز می کند، اما مصرف آب علاوه بر مصرف مستقیم، از طریق تغذیه مواد غذائی و میوه ها و خدمات و کالا نیز می باشد. بر این اساس گفته شده که مقدار آب مصرفی غیرمستقیم هر نفر در روز به طور متوسط حدود ۳۴۰۰ لیتر در روز است. این آب، آب مجازی نامیده شده و معادل مقدار آبی است که برای تولید یک محصول و یا ارائه خدمات خاص استفاده می شود. به عنوان مثال برای تولید یک کیلوگرم غلات بطور متوسط نیاز به ۱ تا ۲ مترمکعب آب و برای تولید یک کیلوگرم گوشت بطور متوسط نیاز به ۱۶ مترمکعب آب است. بنابراین باید توجه نمود که با صادرات و واردات کالا و محصولات حجم زیادی آب جابجا می شود و لذا تجارت کالا همراه با تجارت آب مجازی می باشد که در قیمت گذاری آن کالا باید مد نظر قرار گیرد. حجم مبادلات تجارت آب مجازی در دنیا ۱۶۰۰ میلیارد مترمکعب در سال برآورد می شود. بنابراین توجه به نکات زیر حائز اهمیت می باشد :

- صادرات کالا یا خدمات به معنای صادرات آب مجاری صرف شده برای آن کالا یا خدمات نیز می باشد.
- منابع آب داخلی باید به فعالیت های دارای اولویت و با ارزش افزوده بالا اختصاص یابد.
- مفهوم آب مجازی از منظر ضایعات هم مهم است، زیرا بطور متوسط حداقل ۱۵٪ کل تولیدات کشاورزی در مراحل مختلف تولید تا مصرف ضایع می شوند که معادل ۱۲ میلیارد مترمکعب در جهان است.

نگاهی به تاریخ تمدن آب و سازه های آبی در ایران

ذکر این نکته ضروری است که ایرانیان یکی از تمدن های بزرگ شناخته شده در زمینه مهندسی آب در جهان می باشند که در کارنامه خود سازه های آبی بزرگی را به جهان معرفی نموده اند. ایرانیان باستان در ساخت نهرها و کانال های آبیاری دقت بسیار داشتند و اگر مسیر آب سست و آبکش می نمود، کف نهرها را آجر فرش کرده و ملات یا آهک برای آب بندی به کار می بردند. به عنوان نمونه بقایای سیستم های زهکشی شهری در شهر سوخته قابل ملاحظه و اشاره شده است.

Khaju Bridge & Diversion Dam (Isfahan-1644)

در میان ۵۷ پدیده شگفت انگیز بازمانده از فرهنگ بشری که بعنوان نخستین میراث جهانی از سوی یونسکو ارزش گذاری شده است، سه پدیده معماری ایران یعنی معبد چغاز نبیل (۳۳۰۰ سال قبل) و آثار باستانی تخت جمشید و میدان نقش جهان اصفهان بعنوان میراث فرهنگی ثبت شده است و چهارمین آثاری که در این رابطه در دست اقدام یونسکو قرار دارد مجموعه آسیابهای شوشتر است که تعیین قدمت آن هنوز دقیق امکان پذیر نشده ولی گفته شده که آسیاب های شوشتر ۱۷۰۰ سال قدمت دارند، بقایای تاسیسات آبی در خوزستان و سازه های مهار آب و سدها همچون بند امیر در استان فارس از جمله این دستاوردها می باشند. روش های کهن آبیاری در ایران باستان شامل موارد زیر بوده است.

- چاه
- آب انبار
- قنات ۱ و ۲ و ۳
- نهرکشی
- سد

نمونه ای از آب انبارهای در نواحی مرکزی ایران

چاه‌های لافت که در بخش مرکزی شهرستان قشم جای گرفته، یکی از جاذبه‌های گردشگری استان هرمزگان به شمار می‌رود و اهمیت جایگاه چاه در تفکر ایرانیان را نشان می دهد. چاه‌های لافت به چاههای طلا نیز معروف است، در پشت قلعه لافت و در داخل گودال مجاور قلعه قرار دارند و برای جمع آوری آب باران حفر شده‌اند. برخی از محققان قدمت آنها را مربوط به دوران هخامنشی می‌دانند. این چاه‌ها در کنار دریا جای دارند و آب شیرین مورد نیاز ساکنان محلی را تامین می نموده است. بنا به نوشته های تاریخی آمده است که در تخت جمشید :

> صخره طبیعی صاف و گودی‌ها پر شد. در دامنه آن قسمت از کوه رحمت که مشرف بر تخت است، آبراهه‌هایی کندند و سر این آبراهه‌ها را در یک خندق بزرگ و پهن، که در پشت دیوار شرقی تخت کنده بودند، گذاشتند تا آب باران کوهستان از راه آن خندق به جویبارهایی در جنوب و شمال صفه راه یابد و وارد محوطه نشود.

بدین گونه خطر ویرانی بناهای روی تخت، به دلیل سیلاب جاری از کوهستان از میان رفت. اما بعدها که این خندق پر شد، آب باران قسمت اعظم برج و باروی شرقی را کند و به درون محوطه کاخ‌ها ریخت.

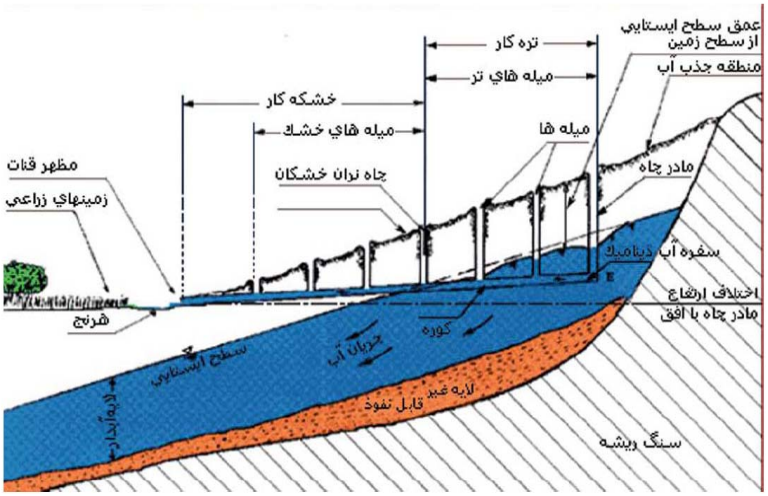
نمائی از چاه های لافت در قشم

چاه ذخیره آب باران در تخت جمشید

آبراهه احداث شده هدایت باران در تخت جمشید

قنات، کاریز، افلج، کهریز، فجارا، خطارا و کنارجینگ نام های این سازه می باشند که از دوران باستان تاکنون نقش مهمی در استحصال منابع آب زیرزمینی اثفا نموده و مبنای تشکیل تمدن در نواحی مختلف بوده است. از آنجاکه در بسیاری نقاط ایران رودخانه چندانی وجود ندارد و تعداد رودخانه دائمی نیز بسیار اندک است، مردم ایران در حدود سه هزار سال پیش به ابتکار نوین و تحسین انگیز دست یافتند که به قنات مشهور شد. ایرانیان باآگاهی کامل از وجود جریان های آبهای زیرزمینی به فکر افتاده اند که به جار چاه های عمودی چاه های افقی حفر کنند تا بدین ترتیب به آب های زیرزمینی راه یابند و آنرا با استفاده از شیبی ملایم به سطح زمین هدایت کنند. در بسیاری کشورهای متکی به نظام های آبیاری از طریق قنات، قنات های زیادی نابود شده اند ولی با این حال در ایران، عمان، پاکستان، افغانستان، آذربایجان، چین و الجزایر هنوز قنات نقش مهم در نظام تولید کشاورزی بازی می کنند. این ابداع مهم و بی نظیر بعدها از خاورمیانه به شمال آفریقا اسپانیا و سیسیل انتقال و بهره برداری شد. مورخین یونانی از قنات های ایران در زمان هخامنشیان سخن

رانده و لذا می توان قدمت قنات را به پیش از هخامنشیان نسبت داد. مورخان در مورد قنات و در عهد اشکانیان و ساسانیان نیز سخن گفته اند. طی ۳۲امین نشست مجمع عمومی یونسکو تاسیس مرکز بین الملل قنات و سازه های تاریخی آبی بین ایران و دبیرکل یونسکو جهت حمایت از این سازه ها به امضا رسید. شکل زیر برش طولی یک قنات شامل مادر چاه و کوره و مظهر قنات را نشان می دهد.



برش طولی لز قنات

قنات ها تا قبل از شکل گیری شبکه انتقال آب شرب وظیفه مهمی را در تامین آب شرب شهرها ایفا می نمودند. به عنوان مثال آب مورد نیاز شهر تهران در گذشته از طریق دو رودخانه کرج و جاجرود و برخی قنات ها و چاه های عمیق تامین می شد. البته لوله کشی آب در تهران از یک سو مشکل بی آبی را در تهران از بین برد، اما از سوی دیگر شبکه سنتی توزیع آب اصلی شهر تهران که مشتمل بر تعداد قابل توجهی قنات بود، نیز از بین رفت. سازه های آبی از جمله قنوات، مشک ها، آب انبارها و غیره نقش قابل توجهی در شکل گیری تقسیم کار اجتماعی، مدنیت و توسعه شهر تهران ایفا کردند. بزرگترین کوره قنات تهران ۲۴ کیلومتر طول داشته که از کوههای کن و باغات آن منطقه شرچشمه گرفته و مظهر آن در خیابان پاستور تقاطع ۱۲ فروردین با ۴۰۰ متر اختلاف ارتفاع از مادر چاه در کن قرار دارد. جداول زیر آماری از تعداد و تنوع مشخصات این سازه آبی در تهران را در گذشته های دور ساخته شده و در حال حاضر شناسائی شده اند را نشان می دهند.

گروه‌بندی قنوات تهران از نظر طول قنات

طول	«۲۰۰	۵۰۰-۲۰۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۵۰۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰۰-۵۰۰۰	«۱۰۰۰	نامشخص
تعداد	۳۲	۵۶	۷۲	۸۱	۱۳۵	۶۲	۱۲	۵۰
درصد از کل	۶/۴	۱۱/۲	۱۴/۴	۱۶/۲	۲۷	۱۲/۴	۲/۴	۱۰

گروه‌بندی قنوات تهران از نظر عمق مادر چاه

عمق مادر چاه	«۱۰	۲۰-۱۰	۵۰-۲۰	۱۰۰-۵۰	۱۵۰-۱۰۰	«۱۵۰	نامشخص
تعداد قنات	۱۱	۶۶	۱۷۵	۱۰۱	۱۷	۵	۹۳
درصد از کل	۲/۳۵	۱۴/۱۰	۳۷/۳۹	۲۱/۵۸	۳/۶۳	۱/۰۷	۱۹/۸۹

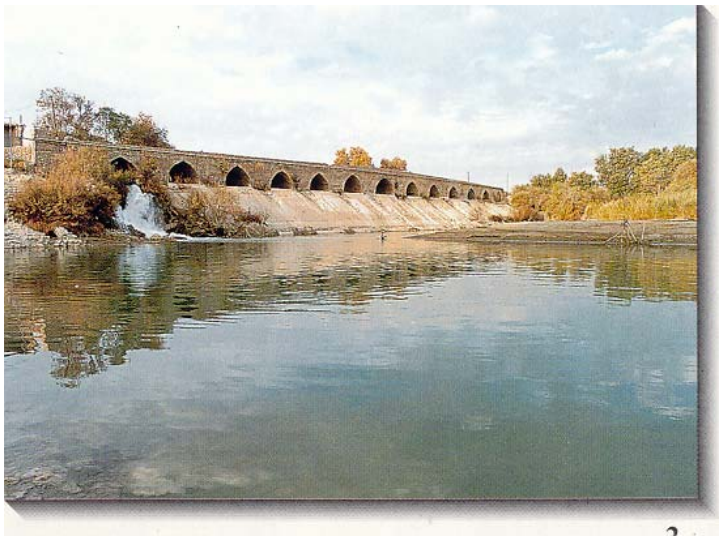
قنات زارچ طولانی ترین و کهن ترین قنات کشور با سابقه بیش از ۳۰۰۰ سال است. پیشینه حفر قنات به زمان زرتشتیان بر می گردد. nر مجموع طول کوره قنات بیش از ۷۱ کیلومتر و تعداد چاه آن ۲۱۱۵ است. عمق مادر چاه آن به ۸۵ متر و آبدهی آن ۲۵ لیتر در ثانیه گزارش شده، در حالیکه آبدهی سال های دور آن معادل ۱۵۰ لیتر در ثانیه ذکر شده که به علت افت شدید سطح آب زیر زمینی منطقه براثر استفاده بیش از حد و نامناسب از آنهاست.

بهینا در کتاب قنات سازی و قنات داری تعداد قنات موجود در سراسر ایران را قریب ۴۰۰۰۰ رشته تخمین زده است. محقق روس اچ، ای. وولف در مقاله‌ای تعداد قنات‌های ایران را ۲۲۰۰۰ رشته با بیش از ۲۷۴۰۰۰ کیلومتر درازا اعلام می کند. حال با فرض این تعداد و اینکه طول چاه های این قنوات همین حدود فرض گردد، مجموع طول کوره و چاه های قنات های ایران به حدود ۵۰۰۰۰۰ کیلومتر بالغ می گردد که معجزه تلاش ایرانیان باستان را نشان می دهد.

در ایران باستان از رودخانه های بزرگی چون دجله و هیرمند نهرهایی منشعب شده بودند و آب آن به بیابان های بی آب جهت مصرف منتقل نموده اند. ایرانیان در ساخت نهرها و کانال های آبیاری دقت بسیار داشته و اگر مسیر آب سست و آبکش می نمود، کف نهرها را آجر فرش کرده و ملات یا آهک برای آب بندی بکار می بردند. بقایای سیستم های آب شهری در شهر سوخته ملاحظه شده است.

صنعت سدسازی در دوران ساسانیان، به ویژه در دوره سلطنت شاپور اول رونق گرفت. عمرسدهایی که از این دوره به جای مانده است بین ۱۳۰۰ تا ۱۷۰۰ سال می باشد. از جمله ابنیه مهم مربوط به این دوران، می توان به بند میزان در شوشتر و پل بند شوشتر به طول ۵۰۰ متر و دارای ۴۰ دهانه اشاره نمود. همچنین بند امیر از آثار دوران آل بویه می باشد که در ۳۵ کیلومتری شمال شیراز واقع شده و عمر آن به ۱۰۰۰ سال می رسد نیز قابل ذکر است. این بند سه منظوره، آبیاری، پل و آسیاب بوده که همچنان دایر است. در اواخر قرن وسطی، در عصر صفویه (۸۷۰-۱۱۰۰ هجری) عصر جدیدی در زمینه کنترل و مهندسی آب آغاز شد. مقارن

همین دوره بود که بندها و پل های مشهد واصفهان بنا شد و بندهای انحرافی و مخزنی بزرگ احداث گردید که بعضی از آنها تا امروز موجود است. از میان چهل و چهار سد تاریخی جهان تا قرن هیجدم سه سد شادروان (قرن سوم میلادی) کبار و ساوه در ایران وجود داشته و نه سد در اروپا بر پا شده است. ساخت انواع سدهای وزنی و قوسی و پشت بند دار در کارنامه سدسازی ایرانیان ارائه شده است که هر یک از شاهکارهای مهندسی محسوب می شوند.



نمائی از بند امیر در استان فارس- ۱۰۰۰ سال

طرح های توسعه منابع آب در ایران

- در مدت ۵۷ سال عمر سدسازی در ایران، بطور متوسط سالانه ۲/۵ سد با حجم مخزن ۸۳۰ میلیون مترمکعب به بهره برداری رسیده است.
- سدهای ساخته شده در حدود ۴ میلیون هکتار از اراضی آبی کشور را پوشش می دهند. در حدود ۲ میلیون هکتار از این اراضی تحت شبکه های اصلی و ۹۰۰ هزار هکتار از این ۲ میلیون تحت شبکه های فرعی هستند

وضعیت طرح	نوع	تعداد	حجم مخزن میلیارد مترمکعب	قابلیت تنظیم میلیارد مترمکعب	ظرفیت نیروگاهی مگاوات
ساخته شده	ملی	۱۴۲	۴۷/۳۳۶	۳۳/۱۹۴	۱۰۰۰۰
	استانی	۱۹۷	۰/۵۲۳	۰/۴۹۴	–
جمع وضعیت		۳۱۹	۴۷/۸۵۹		۱۰۰۰۰
در حال ساخت	ملی	۱۰۷	۲۱/۳۹۷		۶۰۰۰
	استانی	۲۰	۰/۰۷۰	۰۹۰.۰	–
جمع وضعیت		۱۲۷	۲۱/۴۶۷		۶۰۰۰
در دست مطالعه	ملی	۱۵۵	۴۴/۴۴۲		۱۵۷۰۰
	استانی	۱۷۳	۲/۲۰۷		–
جمع وضعیت		۳۲۸	۴۶/۶۴۹		۱۵۷۰۰
جمع کل		۷۹۴	۱۱۵/۹۷۶		۳۱۷۰۶

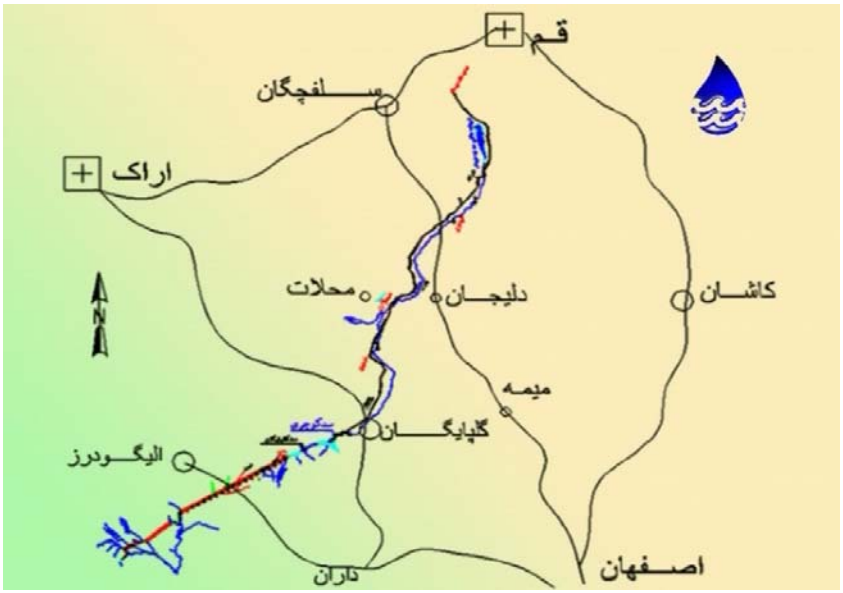
تعریف

طراحی سازه های هیدرولیکی سدها شامل تاسیسات وابسته سدها بوده که جهت هدف خاص ساخته و مورد استفاده قرار می گیرند و لذا با اهداف و شرایط خاص طراحی روبرو می باشند.

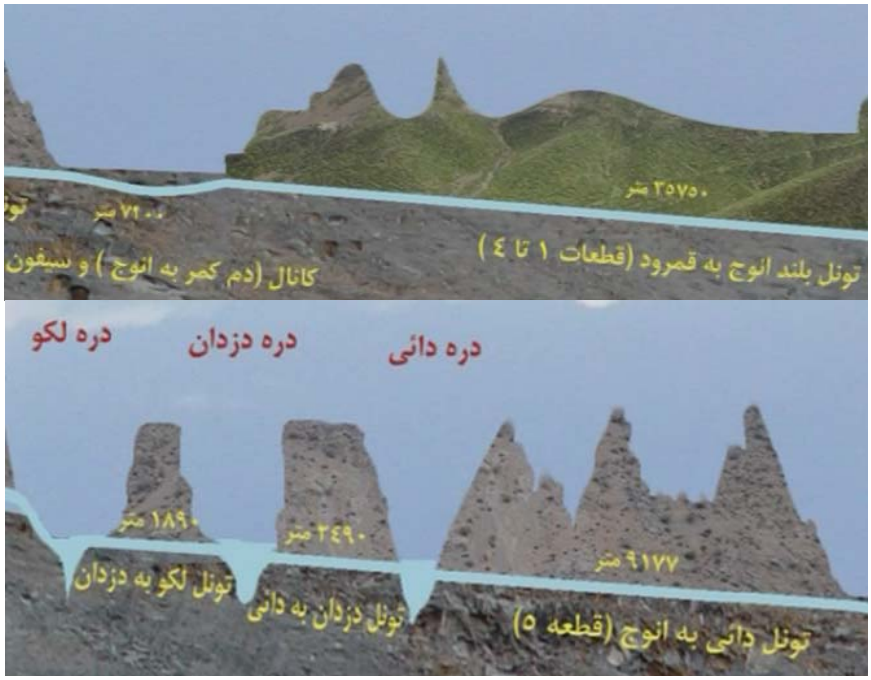
- **شرب (تونل انتقال آب دز-قمرود، تونل انتقال آب سرچشمه های زاینده رود-یزد، تونل انتقال آب سد کرج-تصفیه خانه کن تهران)**
- **کشاورزی (ستسم انتقال آب میل مغان به شبکه آبیاری دشت مغان، سیستم انتقال آب سد طالقان به زیاران-دشت قزوین، سیستم انتقال آب سد مهاد به شبکه آبیاری مهاباد، شبکه آبیاری دشت ورامین)**
- **صنعتی (سیستم انتشال و تامین آب فازهای پارس جنوبی عسلویه، سیستم انتقال و تامین آب نیروگاه اتمی بوشهر)**
- **برق و انرژی (سیستم برقابی سد رودبار لرستان، سیستم تولید برق سد گتوند، سیستم تولید برق سد کرج)**

در حال حاضر ظرفیت تولید کل نیروگاهی کشور ۷۰۰۰۰ مگاوات و ظرفیت تولید برقابی ۱۰۰۰۰ مگاوات است. لازم به ذکر است که نیروگاههای برقابی به دلیل سهولت و زمان کم مورد نیاز برای ورود به و خروج از شبکه برق کشور، معمولا برای تامین نیاز برق در شرایط پیک مصرف ظهر و شب مورد استفاده قرار می گیرند و لذا از این نظر بسیار حائز اهمیت می باشند.

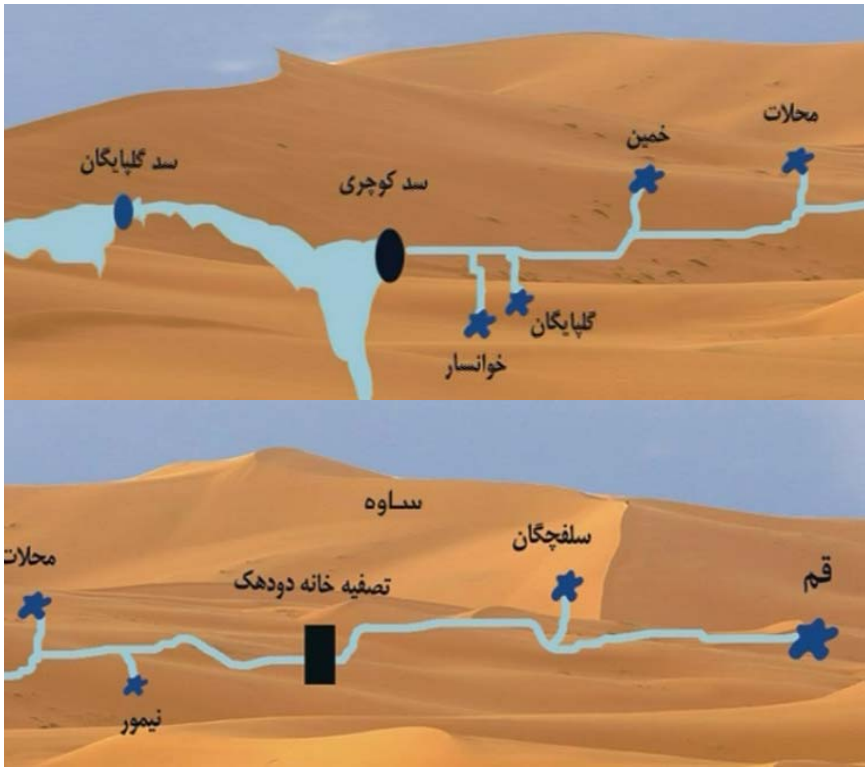
- **تفریحی (سیستم تنظیم و انتقال آب و دریاچه پارک چیتگر تهران)**
- **محیط زیست (طرح های در دست بررسی جهت نجات دریاچه ارومیه)**
- **کنترل سیلاب (اکثر سدهای ساخته شده وظیفه کنترل سیلاب را نیز به عهده دارند)**
- **تغذیه سفره های آب زیرزمینی (سد شمیل و نیام در جنوب کشور)**
- **سیاسی امنیتی (سد دوستی بر روی رودخانه اترک بین ایران و ترکمنستان، سدهای خدا آفرین و قیزقلعه سی و ارس بر روی رودخانه ارس بین ایران و ارمنستان و آذربایجان)**



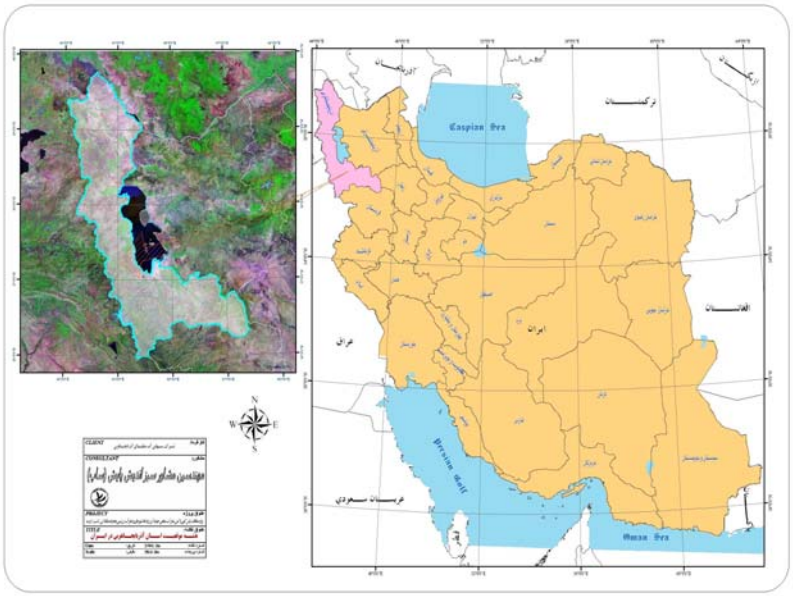
سیستم انتقال آب شرب از سرچشمه های دز به قمرود جهت تامین آب شهرهای خوانسار، گلپایگان، خمین، محلات، نیمور، سلفچگان و قم



مسیر انتقال آب از سرچشمه های دز به قمرود تا محل سد گلپایگان



مسیر انتقال آب از سرچشمه های دز به قمرود **از محل سد گلپایگان تا شهر قم**



موقعیت دریاچه ارومیه در نقشه کشوری و تغییر اندازه آن (۱۳۹۱)

حجم دریاچه ارومیه در مساحت $5822Km^2$ با عمق متوسط ۵/۴ متر بالغ بر ۳۱ میلیارد مترمکعب تخمین زده میشود رودخانه های مهم حوضه آبریز دریاچه شامل سیمینه رود، زرینه رود، مهاباد چای، گدارچای، باراندوز چای، نازلوچای، روضه چای، زولاچای، شهرچای در آذربایجانغربی و آجی چای، لیلان چای، آذرشهر چای، قلعه چای،

صوفی چای، مردوق چای و ۷ رودخانه فصلی درآذربایجان شرقی و غربی بنامهای خرخره چای، شیواسان چای، سنیخ چای، طسوج چای، دریان چای، وگبی چای می باشند که اغلب در زمستان و بهار جریان دارند.

اهداف

- یک منظوره یا چند منظوره بوده
- اهداف مطالعات پروژه را جهت می دهند
- اهداف بر پروژه تاثیر گذاشته و ابعاد و اندازه سازه را تغییر می دهد
- اهداف باید مورد قضاوت قرار گرفته و با توجه به سوددهی و فوائد آن امکان یابی شوند

شرایط

- سلامت جامعه و مسائل بهداشتی ناشی از احداث سد شامل:
- شیوع بیماری ها
- بوی گیاهان و آب ساکن
- پراکنده شدن رسوب بستر
- و تغییر اکولوژی باید حائز اهمیت شمرده شود

اهداف ساخت و طراحی پروژه های آبی

- آبیاری (سد آزاد در کردستان- سد کرخه در خوزستان)
  - برای آبیاری مفید باشد
  - پاسخگوی کمبودهای مقطعی باشد
  - از لحاظ اقتصادی توجیح پذیر باشد
  - کیفیت آن صدمه ای به خاک یا محصولات وارد نکند
  - ارتفاع مخزن حتی المقدور انرژی کافی برای انتقال آنرا فراهم کند
- استفاده های شهری و محلی (سد کرج و سد لار و سد لتیان در تهران)
  - پاسخگوی نیازها بوده
  - پیش بینی افزایش مصرف شده باشد
  - از لحاظ اقتصادی اصلاح آن توجیح پذیر و اقتصادی باشد
  - استانداردهای بهداشتی را دارا باشد
  - عاری بودن از میکرب و داشتن رنگ و بو و مزه و سختی مناسب

- اقدامات لازم مانند خرید زمین جهت حفاظت از حریم مخزن مد نظر قرار گرفته و اقتصادی باشد
- استفاده های صنعتی (سد امیرکبیر در اصفهان)
  - معمولا آبی که برای مصارف شهری استفاده شود جهت مصارف صنعتی نیز از استاندارد مناسب برخوردار است
  - برای بعضی صنایع ممکن است آب نیاز به اصلاحاتی در خط تولید داشته باشد
- تولید انرژی (سد کرخه و سد کارون ۴ و سد کارون ۳ و سد گتوند در خوزستان و سد رودبار لرستان در لرستان و سد سیاه بیشه در مازندران)
  - میزان قدرت تولید شده به حجم و میزان آب بستگی دارد
  - ارتفاع سد را دیکته می کند
  - پاسخگوی نیازها باشد
- کنترل سیلاب (سد کرخه و سد کارون ۴ و سد کارون ۳ و سد گتوند در خوزستان)
  - هزینه صرف شده باید مد نظر قرار گیرد
  - سیستم کنترل باید هوشیار باشد و از حالت دستی خارج گردد
  - امکان کنترل سیلاب با ذخیره موقت آب اضافی در مخزن بررسی گردد
- حیات وحش
  - باید از تغییرات شدید سطح آب که به حیات گیاهی و حیوانی صدمه می زند پرهیز گردد
  - مقدار کافی آب تامین نماید تا از آلودگی آب پرهیز گردد
  - از خشکسالی در فصول کم آبی ممانعت بعمل آورد
  - از تخریب محیط توسط انسان و مزاحمت او به دور باشد
  - مثلا دارای شیب های ساحل تند برخوردار باشد
- تنظیم جریان
  - باید بتواند حداقل جریان (با احتساب تلفات) را تامین نماید
  - از سیستم های اتوماتیک و انعطاف پذیر بهره برده باشد
  - کاربرد و تعمیر آن به سادگی انجام شود
  - از دقت مناسب برخوردار باشد
- حفظ منابع آبی (سد شمیل و نیان در سیستان و بلوچستان)
  - باید محل مناسب ذخیره سازی تامین باشد
  - کیفیت آب پائین نیاید
  - مدیریت بهم پیوسته و پایدار منابع آبی مد نظر قرار گیرد

روش مطالعه

- تحقیق پیرامون پروژه بسیار پرهزینه و زمان بر می باشد
- در انتها نیز ممکن است عدم سوددهی و اقتصادی بودن طرح را نوید دهد
- لذا پروژه به مراحلی تقسیم می گردد:
  - فاز ۱ (شناسائی که بر مبنای مطالعات خام صورت می گیرد)
  - فاز ۲ (امکان یابی که ویژگیها و مزیت های تقریبی پروژه تعیین و توجیه اقتصادی می گردد)
  - فاز ۳ (تفصیلی که امکان یابی را به وضعیت مناسب برای طرح نهائی می رساند و جزئیات طرح مشخص می گردد)

در پروژه های کوچک به دلیل کنترل هزینه ها فاز ۲ و ۳ ممکن است در صورت عدم وجود پیچیدگی های محل و شرایط زمین و فاکتورهای هیدرولیکی مورد نیاز جهت مطالعه در هم ادغام گردد

در مطالعات باید به تداخل پروژه با طرحهای دیگر و بخصوص طرح های جامع توجه و قبل از هر اقدام هماهنگی با مسئولان بعمل آید (سد سیوند در استان فارس- سد ژاوه در استان کردستان - سدهای ساخته شده در حوزه دریاچه ارومیه .....)

اطلاعات مورد نیاز در بررسی احداث یک سد

- اطلاعات کلی
- موقعیت کارگاه
  - محل سد و پروژه هائی که تحت تاثیر قرار می گیرند
  - محل راههای اصلی و شوسه
  - امکانات مرکزیت پروژه و مدیریت طرح و دسترسی آن
- اطلاعات هیدرولوژی (سیل سد کارون ۴ در زمان ساخت)
  - محل ایستگاههای نمونه گیری
  - جریان مورد بهره برداری
  - نیاز آبی با توجه به هدف طرح
  - مطالعات سیل محتمل دوره ساخت و طرح
  - مطالعات کیفی و کمی رسوب
  - وضعیت آبهای زیرزمینی و تاثیر احداث سد بر آنها
  - حقاب

- آمار هواشناسی
  - آمار درجه حرارت در ماههای مختلف
  - آمار باران و شدت و مدت آن در ماههای مختلف
  - میزان تبخیر و تغییرات آن در ماههای مختلف
  - جهت و سرعت باد در ماههای مختلف
  - یخبندان و طول و مدت آن و ضخامت لایه یخ در ماههای مختلف
- اطلاعات محیط زیست
  - اثرات پروژه بر زاد و ولد حیوانات و ماهیها
  - اقدامات لازم جهت حفاظت محیط زیست
  - مطالعه حیات حیوانی قابل ازدیاد
- اطلاعات زمین شناسی
  - تشکیلات زمین شناسی و نفوذ پذیری آنها
  - وجود مواد معدنی و نمک
  - مطالعه آبهای زیر زمینی
  - تهیه عکس های هوائی
- اطلاعات مربوط به مخزن سد
- نقشه های توپوگرافی

این نقشه ها باید حاوی اطلاعات مربوط به:

  - نقاط ثبت ارتفاعی
  - سیستم مختصات
  - منحنی های همتراز
  - زمین و مالکیت آن
  - مالکیت مناطق اطراف سد

نقشه مخزن سد به مقیاس ۱:۵۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰ با فاصله خطوط تراز ۱.۵ و ۳ و ۶ متر باید تهیه شود

- نقشه راهها و دسترسی (تغییر مسیر راهها در سد سیاه بیشه و احداث پل در سد کرخه و کارون ۴)

این نقشه ها باید حاوی اطلاعات مربوط به:

  - ساخت راه های جدید
  - امکانات مورد نیاز
- سایر اطلاعات

این اطلاعات باید شامل:

- برآورد زندگی حیاتی در مخزن سد
- حفاظت محیط زیست در برابر سیل احتمالی
- برآورد ساختمان های مورد نیاز
- حفاظت و تخریب مزارع و هزینه های آن
- تخمین هزینه صرف شده جهت تخلیه منطقه
- دسترسی عموم و استفاده مردم از پروژه
- محدودیت های اقتصادی و فیزیکی طرح و ...

■ اطلاعات مورد نیاز سد

■ نقشه های محلی

باید دربرگیرنده

- توپوگرافی محل سد
- نقاط کنترلی طولی و عرضی
- اطلاعات زمین شناسی سد
- محل حفاری ها و تست های لازم

نقشه محل سد به مقیاس ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰ باید تهیه شود و تکیه گاه سد و طول مناسبی از بالادست و پائین دست را بپوشاند تا در موقع طرح سرریز از آن استفاده شود

■ حفر چاههای لازم

حفر چاه های لازم جهت انجام:

- آزمایش های زمین شناسی و ثبت اطلاعات
- نمونه برداری و ارزیابی جنس کف زیر پی
- این اطلاعات اهمیت زیادی دارد. مثلا در پی های غیر سنگی نشت و آبشستگی و نشست و فرسایش پنجه به کمک این نتایج قابل بررسی است

■ مصالح

این اطلاعات باید دربرگیرنده:

- موقعیت و مشخصات مصالح مورد نیاز برای احداث سد
- موقعیت محل های قرضه
- گزارش های مربوط به اکتشافات و بررسی های محلی
- و نمونه های بدست آمده باشد

■ سطح آب

برای تهیه منحنی های دبی-اشل و ارتفاع آب باید:

- مقطع عرضی رودخانه تا حدود ۳۰۰-۵۰۰ متر از محور سد تهیه گردد

■ شرایط محلی

- احداث راه های جدید
- حفاظت از ماهی ها و عبور آنها
- هزینه حمل و نقل و تجهیزات حمل و نقل جدید مورد نیاز
- سرریزها و تخلیه کننده ها با توجه به موقعیت محل
- وجود منابع برق کافی در محل
- منابع معدنی مورد نیاز

برنامه ریزی طرح سد

■ فاز ۱ شناسائی و جمع آوری اطلاعات و شناسائی صحرائی که در نتیجه چند واریانت محل و نوع سد با برآورد تقریبی هزینه حاصل آن است

- توصیه می گردد مطالعات شناسائی بسیار دقیق انجام شود، بخصوص که احتمال انجام مرحله امکان یابی محتمل باشد
- در این بررسی ها اسکان، موقعیت کارگاه و محیط اداری، حمل و نقل و تجهیزات، مصالح، مطالعات زمین سد، نیروی کار محلی، مالکیت خصوص و دسترسی به کارگاه از زمین مردم، تجهیزات حفاری و نقشه های موجود، تعیین ایستگاه های اندازه گیری جریان، برآوردهای اقتصادی و وضع زمین و طبقه بندی آن از نظر کاربردی باید مشخص شود.
- نقشه ها در فاز شناسائی شامل نقشه های ۱:۲۵۰۰۰ بوده که تخمین اولیه مخزن را فراهم آورد و اطلاعات زمین طبیعی و موانع و جنگل ها و مزارع روی آن مشخص شود.
- در فاز ۲ و ۳ نقشه های مطمئن تری با مقیاس تا ۱:۵۰۰۰ و فاصله خطوط تراز ۰.۵ تا ۲.۵ متر باید تهیه شود. اما نقشه های محل سد با مقیاس ۱:۲۵۰ در سدهای کوچک و ۱:۱۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰ در سدهای بزرگ با همان فاصله خطوط تراز با تعیین موقعیت کارگاه و رودخانه و مقاطع آن تا حدود ۳۰۰-۵۰۰ متری باید تهیه شود.

■ فاز ۲ مطالعات امکان یابی و توجیه اقتصادی می گردد و یک طرح از چند واریانت انتخاب می شود.

■ فاز ۳ بررسی فاز ۲ و تائید نوع سد و تهیه مشخصات سد و تاسیسات وابسته

اجرای سد به همراه مدیریت پویا که ممکن است با تغییرات مهم در فاز ۳ همراه باشد

گزارش طرح سد

این گزارش باید دربرگیرنده:

- موقعیت و هدف
  - منطقه، بخش، استان
  - موقعیت در ارتباط با صنایع و سایز مراکز مهم
  - دسترسی به طرح
  - حجم ذخیره (حجم مرده و حجم مفید سد)
  - نوع مخزن (آبیاری، کنترل سیل، انرژی، ...)
  - ارتفاع سطح آب
  - محل های استفاده کننده از آب
  - آلترناتیوهای جانشین طرح در صورت وجود
- خلاصه طرح
  - ظرفیت مخزن و سرریز و تخلیه کننده ها
  - عمق نرمال و تراز حداکثر و حداقل سطح آب
  - عمق آزاد
  - برآورد هزینه سد و مخزن
  - هزینه کلی پروژه
  - اطلاعات محل سد
  - نقشه های کلی و مقاطع
- اطلاعات طراحی
  - اطلاعات توپوگرافی که دربرگیرنده کاوش های سطحی باشد
  - گزارشات زمین شناسی و جداول آزمایش ها و گمانه ها
  - اطلاعات هیدرولیکی شامل انحراف جریان، دبی-اشل، هیدرولیک سرریز و تخلیه کننده ها
  - اطلاعات هیدرولوژی شامل شرایط آب و هوائی، رسوب، آبهای زیرزمینی
  - حقاب و عکس های لازم
- اطلاعات مخزن
  - حجم مخزن و ابعاد کلی آن
  - سازه های متاثر از مخزن
  - طبیعت زمین و محدودیت ها
  - تغییر موضع راهها
  - زمین شناسی شامل جنس زمین و وجود منابع معدنی و چشمه ها

- حقاب
- اطلاعات محل سد
  - نقشه ها
  - تشکیلات زمین شناسی، طبیعت و طرز تشکیل آنها
  - تفسیر گمتنه ها
  - تست های نفوذ پذیری
  - وضعیت آبهای زیر زمینی
- طرح سد
  - اصول مورد توجه در طراحی
  - نقشه ها
  - ابعاد کلی شامل طول و عرض و ارتفاع و شیب ها
  - نفوذ پذیری، زهکشی و گلری ها
  - محل عبور ماهی ها
  - حفاظت و ایمنی سد
- تخلیه کننده ها
  - رابطه دبی و ارتفاع آب مخزن
  - موقعیت تخلیه کننده ها و فاکتورهای تعیین کننده
  - ابعاد سازه ها و دسترشی به تاسیسات هیدرومکانیک
  - سیستم های کنترل کننده جریان شامل دریچه ها و شیرها و ابعاد آنهاموقعیت حوضچه های آرامش و سازه های اتلاف انرژی
- امکانات ساخت
  - تخمین زمان تکمیل طرح
  - ساخت راه های جدید
  - محل کارگاه و شرایط محلی
- مصالح و قیمت های پایه
  - محل های قرضه
  - وضعیت سیمان و ماسه آرماتور
  - راه های دسترسی
  - قیمت های پایه
- ارزیابی های زیست محیطی
  - حفاظت از حیات حیوانی و آبزیان

- توسعه زندگی آبزیان و احیای گیاهان
- طرح های زیبا سازی
- حفاظت محیط زیست در طول ساخت و بهره برداری

انتخاب محل سد

پنج فاکتور زیر نقش تعیین کننده در انتخاب محل سد دارد:

- تامین آب (جریان جهت تامین آب کافی باشد)
- توپوگرافی محل (تعیین کننده حجم ذخیره مخزن و حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت و
- توجیه کننده اقتصاد طرح است)
- فونداسیون (با اکتشافات زیر سطحی ارتباط دارد و نوع سد و هزینه های احداث سد را تحت تاثیر قرار می دهد)
- دسترسی به مصالح (کمیت و کیفیت و توزیع مصالح فاکتور اقتصادی و تعیین کننده نوع و محل سد است)
- هزینه ها (زمین های بزرگی که باید از تولید باز ماند و خاک باارزشی که باید زیر آب بماند و شهرها و روستاهائی که باید جابجا شوند باید در ارزیابی هزینه ها وارد و طرح را توجیه نمایند)

انتخاب نوع سد

- سدها از کهن ترین و زیربنائی ترین فعالیت های مهندسی عمران بشر است
- احداث سد به نیاز بشر در تامین آب مورد نیاز برای کشاورزی، آب شرب، تولید برق، انحراف سیلاب و غیره برمی گردد

سدها به دو گروه اصلی تقسیم می شوند

- سدهای خاکی-سنگریزه ای
  - سد خاکی : در این نوع سد متجاوز از ۵۰٪ از حجم مواد جایگزین شده از خاک متراکم با کیفیت مناسب (رس ۰.۱mm یا ماسه ریز ۲mm) است که با رطوبت کنترل شده متراکم و بصورت لایه ای اجرا می شوند.
  - سد سنگریزه ای : مقطع سد دارای یک المان مجزای ناتراوای شناخته شده از خاکریز متراکم یا غشای با ضخامت کم از بتن یا آسفالت است که بیش از ۵۰٪ از مصالح بکاررفته آن سنگریزه باشند

نوع سد	سد سنگریزه ای		سد خاکی
مصالح	سنگ خرد شده یا شن درشت	ماسه	رس
اندازه دانه بندی	2-600mm	2mm	0.1mm
مرجع مقاومت	اصطکاک	اصطکاک	اصطکاک و چسبندگی
تراوائی	زیاد	متوسط	کم

در بسیاری موارد وجه تمایز مطلق بین این دو گروه وجود ندارد و از هر دو نوع مطالح متناسب با منطقه ممکن است استفاده شود

گذشته از ضعف مهم این سدها که فروپاشی در اثر سیل بوده و لزوم تامین سرریز مناسب و اطمینان از نشت پی سدها را تاکید می نماید، این سدها دارای مزایای زیر می باشند

- تناسب آنها در ساخت چه در دره عریض و چه در دره باریک
- تناسب آنها در انطباق با شرایط پی سخت و پی نرم خاکی
- استفاده از مصالح محلی و عدم نیاز به سیمان و موارد دیگر
- انعطاف پذیری در مصالح خاکی و سنگریزه ای
- پیوسته بودن روند عملیات و در نتیجه سرعت ساخت بیشتر و هزینه اجرای کمتر

فوپاشی سد دانکن

سرریز یک سد خاکی

■ سدهای بتنی (سدهای قدیمی با مصالح بنائی و ملات آهک و سنگ در این بخش قرار دارند)

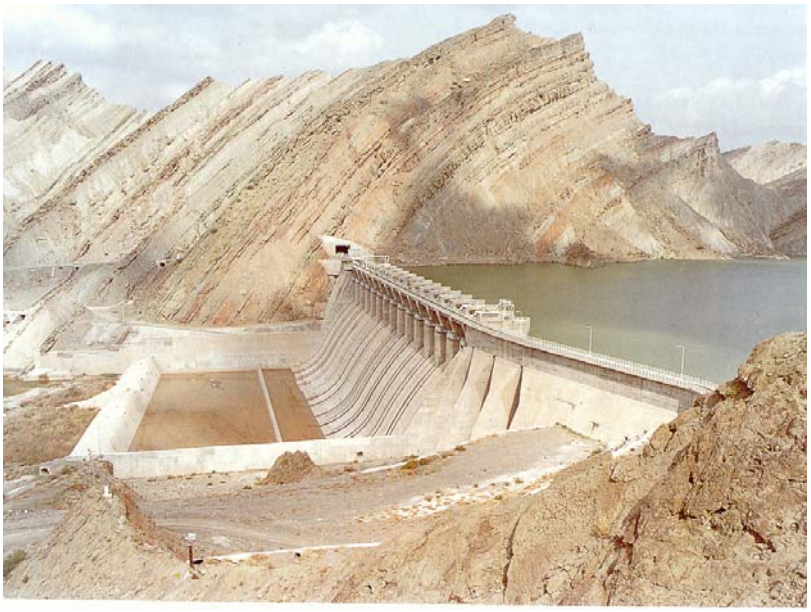
به دلایل اقتصادی و فنی تعداد سدهای خاکی-سنگریزه ای از سدهای بتنی بیشتر بوده و حدود ۸۰٪-۸۵٪ کل سدهای ساخته شده را به خود اختصاص می دهد (ICOLD 1984)

ساخت سدهای کوتاه مورد توجه بیشتری قرار داشته، چنانچه از حدود ۲۵۰۰۰۰ سد ساخته شده حدود ۳۵۰۰۰ سد از نوع سد بزرگ می باشند (ICOLD 1982)

این سدها عموما از مطالح بنائی، ملات سیمان و آهک استفاده می نماید و به انواع زیر تقسیم می شود

- سد وزنی: این سد پایداری خود را منحصرا از جرم خود سد بدست می آورد و لذا جهت اجتناب از تمرکز تنش و پایداری شکل ذوزنقه دارند
- سد پشت بند دار: این سد از یک دیواره ممتد که توسط تعدادی پشت بند در فواصل منظم حمایت می شود تشکیل می گردد
  - امروزه توجه بیشتری نسبت به سد وزنی را بخود اختصاص داده اند
  - در مواردی که طول سد وزنی زیاد باشد آنرا به پایه دار تبدیل می نمایند
- سد قوسی: این سد به دو دسته تک قوسی و دو قوسی تقسیم می شوند و از نظر حجم بتن مصرفی نسبت به سدهای دیگر برتری دارند
  - سد تک قوسی: انحنای قابل توجهی در بالادست دارد و از نظر سازه ای از تیرهای قوسی افقی که بار را به تکیه گاه منتقل می نمایند تشکیل شده

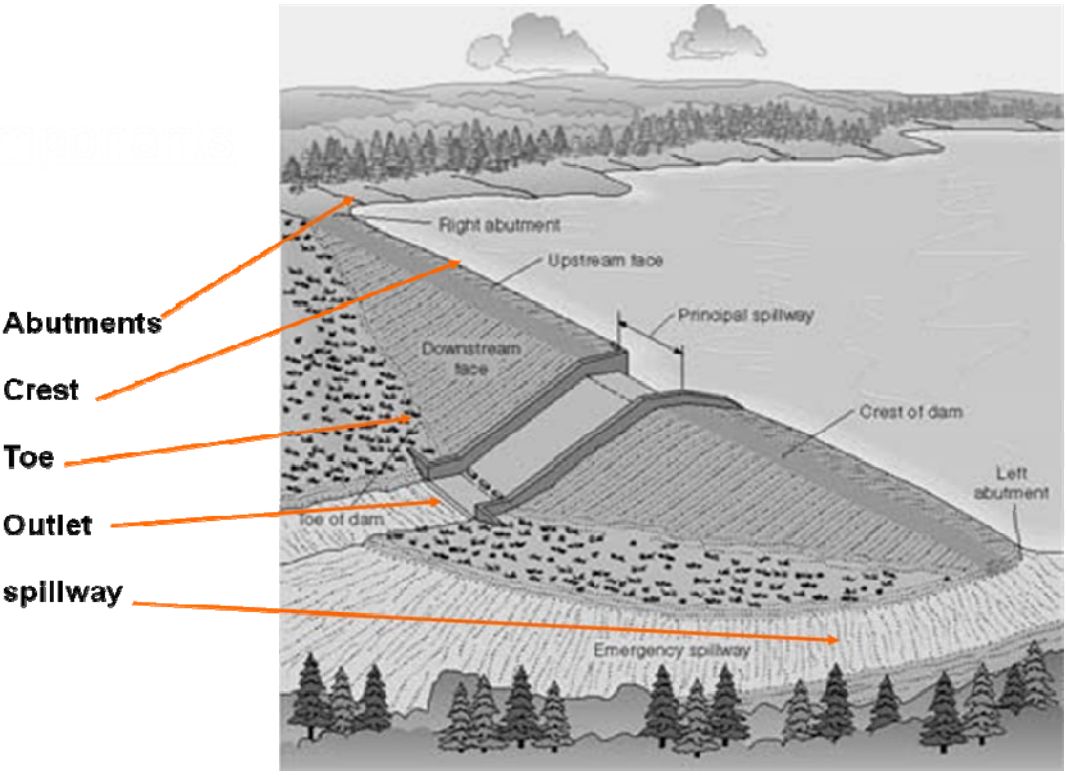
- سد دوقوسی: این سد دارای انحنای قائم و افقی بوده و از نظر سازه ای از مکانیزم عملکرد پوسته جهت انتقال بار به تکیه گاه استفاده نموده و لذا حجم بتن مصرفی کاملا کاسته می شود



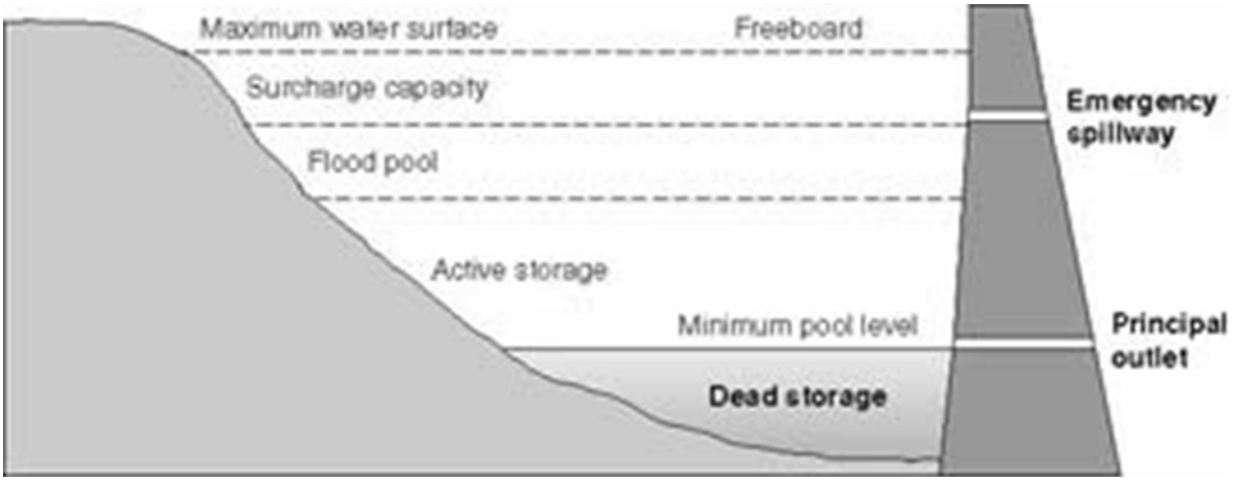
نمای یک سد بتنی

مزایا و معایب سدهای بتنی

- مزایا
- تاسیسات مختلف شامل دریچه ها و شیرآلات در داخل خود سد جایگذاری می شود
- پایداری در مقابل زلزله و فروپاشی بالائی از خو نشان می دهند
- معایب
- پی سد باید از سنگ های قوی تشکیل شده باشند
- مصالح عمل آورنده و حساس نیاز دارند
- عملیات ساخت منقطع، حجیم و تخصصی است
- هزینه عملیات اجرائی بالا می باشد



قسمت های مهتلف یک سد



Dead Storage: water below the principal outlet

Flood Pool Storage: reserve used to store flood water

Active Storage: total capacity – dead and flood

مخزن یک سد و قسمت های مختلف آن

انواع سد

- Overflow Dam :

به سدی گفته می شود که عبور آب از روی آن مجاز باشد.

- Non-Overflow Dams :

در این نوع سدها عبور آب از روی سد مجاز نمی باشد و آب بوسیله سازهای انتقال از داخل بدنه و یا خارج بدنه عبور می کند. این نوع سدها میتواند از نوع بتنی، یا سنگی باشند.

بر اساس نحوه استفاده

- سدهای مخزنی (Storage Dams) :برای ذخیره آبهای اضافی در زمان سیل و طغیان رودخانه و استفاده آب در زمان کم آبی مورد استفاده قرار می گیرد.
- سدهای انحرافی (Diversion Dams) :برای کنترل سطح آب در رودخانه و رساندن آب به محل مورد نظر ساخته می شوند.
- سدهای بازدارنده و طغیانگیر (Detention Dams) :برای جلوگیری از سیل و طغیان و یا برای کاهش رسوبات در جریان رودخانه در نظر گرفته می شوند.

سدهای موقت (Coffer Dams) بصورت موقت برای حفاظت در مقابل جریان ساخته می شوند

تقسیم بندی سدها بر اساس اندازه:

- سدهای کوچک
  - سدهای کوچک با ارتفاع حدود ۳ تا ۴ متر را بندهای انحرافی گویند.
  - یکی از وظایف بندهای انحرافی تغذیه مصنوعی سفره های آب زیرزمینی می باشد.توسط بندهای انحرافی آب را هدایت کرده تا وارد سفره های آب زیر زمینی شود.
- سدهای متوسط
- سدهای بزرگ

- طبق توصیه ICOLD سدهایی که حجم مخزن آنها از یک میلیون متر مکعب بیشتر است سد بلند محسوب می شود.
- طبق توصیه USBR سدهایی که ارتفاع آنها از ۵۰ متر بیشتر است سد بلند محسوب می شود.

بر اساس مصالح بدنه

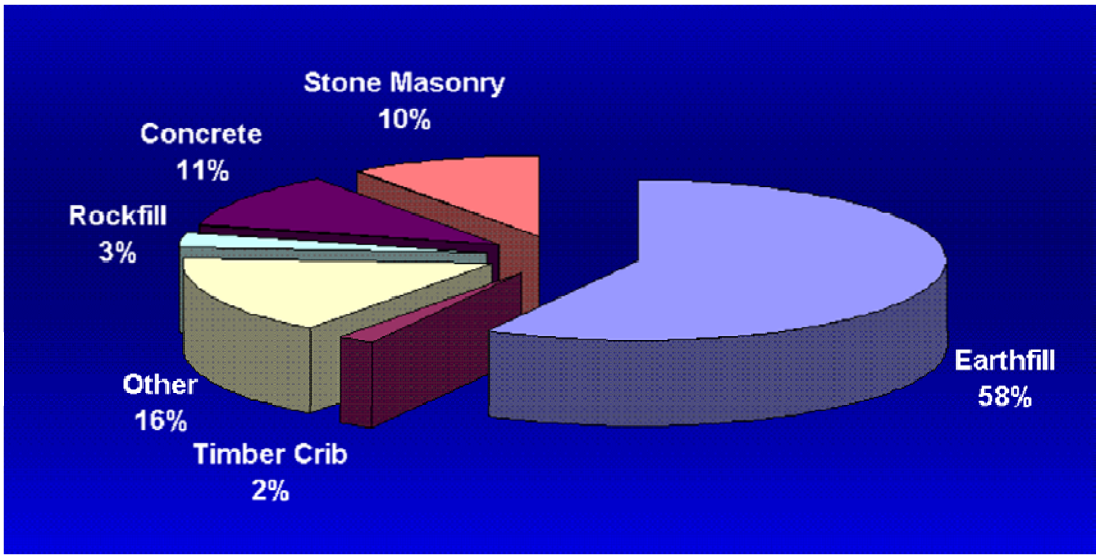
- سدهای خاکی
  - جهت پروژه های کوچک متداولترین نوع سد است

- مصالح آن در حوالی پروژه بدست می آید
- غیر از پی سنگی در پی نرم نیز مناسب زیر مسیر عبور آب از زیر آنها طولانی است
- قادر به نشست غیریکنواخت بوده
- در دره های عریض بسیار مناسب می باشند
- اما مصالح آنها باید موجود باشند

- سدهای سنگریزه ای (شامل CFRD)
  - در جائی که خاک موجود نباشد مناسب است
  - از آنجا که وزن آن بیشتر است پی سنگی برای آن مناسب تر است
  - درمقایسه با سدهای خاکی مقاومت بهتری از خود نشان می دهند
- سدهای وزنی (شامل RCC و Concrete)
  - در صورتی که عمق گودبرداری کمتر از ۵-۱۰ متر باشد برای دره های عریض مناسب است
  - لغزش سد و در نتیجه گیسختگی در سنگ کف باید کنترل شود
  - مسئله زیر فشار سد بسیار حساس است
  - به دلیل ضخامت زیاد در مقابل تغییرات درجه حرارت محیط حساسیت ندارند
- سدهای پشت بنددار
  - به دلیل تنش های تماس زیاد به سنگ سخت تری نیاز دارند
  - در حدود ۴۰٪ تا ۶۰٪ در مصرف بتن صرفجوئی دارند
  - به دلیل اتصالات قطعات ساختمانی زیاد سد هزینه قالب بندی این سده بیشتر است (حدود ۱٪-۳٪ نسبت به سد وزنی)
  - مقاومت این سدها در مقابل زلزله خوب نیست لذا پایه ها با تیرهای طولی به هم متصل می گردند
- سدهای قوسی
  - مناسب برای دره های باریک C/h<2.5
  - به سنگ سخت یکنواخت با تغییر شکل پذیری کم نیاز دارد
  - در حدود ۵۰٪ تا ۸۵٪ در مصرف بتن صرفجوئی دارد
  - زیر فشار به دلیل ضخامت کم سد مطرح نیست
  - به دلیل ضخامت کم در معرض خستگی ناشی از یخبندان قرار دارد و پوسه ای می شود
  - ضخامت حلقه قوس به دوام ساختمان و لزوم احداث جاده روی سد و فشار یخ بستگی دارد
  - عموما ضخامت قوس در هر ارتفاع باید در محدوده $\geq 0.02R$ حفظ گردد و ضخامت حداقل ۰.۹ تا ۱.۲ متر باشد
  - بهترین زاویه مرکزی از نظر تئوری ۱۳۳ درجه است و زاویه برخورد قوس به پی سنگی کمتر از ۳۰ درجه (برش در سنک مهم گردیده) و بیشتر از ۴۵ درجه (عمل باربری قوس کاهش می یابد) نباشد
  - آب طغانگیر را می توان از روی خود سد عبور داد
- سدهای لاستیکی
- متفرقه

نمای یک سد لاستیکی روی تاج سد بتنی

نمای یک سد موقت



وضعیت نسبی سدهای ساخته شده تاپایان قرن بیست.

ملاحظات کلی- انتخاب نوع سد

- ناحیه کوهستانی رودخانه،معمولا محل مناسبی برای احداث سد مخزنی است.

در این ناحیه سدهای انحرافی برای انتقال آب از یک حوزه آبریز به حوزه آبریز دیگر می تواند کاربرد داشته باشد.

در ناحیه کوهپایه رودخانه معمولاً برای احداث سدهای سنگریزه و خاکی مناسب است.

در ناحیه دشت که زمین های مزروعی معمولاً فراوان است،سدهای انحرافی ساخته می شود.

در دلتای رودخانه در اغلب موارد کیفیت آب رودخانه بسیار پایین بوده و سدی ساخته نمی شود.

- سدهای خاکی روی هر نوع پی بنا می شود.
- سدهای سنگریز روی پی های نسبتا قوی ساخته می شود.
- سدهای وزنی کوتاه روی پی های نرم و سخت،قابل احداث است. برای احداث سد وزنی با ارتفاع بیش از ۱۵ متر، پی باید سنگی باشد.
- سدهای قوسی در مقاطع تنگ و با تکیه گاههای سنگی و قوی ساخته می شود.
- چنانچه پی از لحاظ مقاومت برای احداث سد وزنی مناسب نباشد، سدهای وزنی توخالی یا سدهای پشت بنددار می تواند مناسب تشخیص داده شود.
- – در شرایط عادی از لحاظ قیمت، سدهای خاکی، قوسی نازک، سنگریز، پایه دار و در نهایت سدهای وزنی قرار می گیرند.

ملاحظات کلی

- امکان سنجی

- توپوگرافی و ظرفیت ذخیره
- زمین شناسی
- هیدرولوژی
- بار رسوبی
- فونداسیون
- محل مناسب برای سرریز
- خصوصیات و مناسب بودن مصالح مصرفی
- انحراف جریان در زمان ساخت
- میزان استغراق زمینهای بالا دست
- پتانسیل زلزله خیزی
- مسائل اجتماعی
- مسائل زیست محیطی
- مسائل سیاسی
- مناسب بودن مخزن از نظر نشت آب
- مناسب بودن مخزن از نظرنوع و ترکیبات خاک
- موجود بودن فضای مناسب برای ساخت سازه های وابسته و جاد های دسترسی

آبگیر ها

آبگیرها سازه هائی جهت انحراف آب برای مقاصد کشاورزی، شرب و غیره می باشند. این سازه ها باید:

- آب را به مقدار کافی و در زمان لازم وارد کانال نمایند
- محل آبگیر باید از نظر سازه ای تثبیت شده باشد
- رسوبات کمتر وارد کانال گردد
- زاویه بین مسیر رودخانه و آبگیر بین ۱۰ تا ۴۵ درجه توصیه می گردد و در آبگیری همراه با سد انحرافی زاویه بین محور سد و آبگیر را USBR بین ۴۵ تا ۶۰ درجه توصیه می نماید.
- دبی ورودی تاسیسات آبگیر ۱.۳ تا ۱.۵ برابر دبی کانال آبگیر می باشد.

تذکر آنکه در محل آبگیر به کانال به دلیل انحراف انحنا در مسیر آب ایجاد گردیده که منجر به ایجاد امواج عرضی می گردد این در حالی است که حتی در مسیرهای مستقیم هم امواج عرضی دیده می شود. علت

آنست که سرعت سیال در مقطع میانی بیشتر از کناره ها است و لذا جریان از کناره ها به سمت مرکز کشیده می شود که امواج ثانویه ایجاد می کند و با عث فرسایش و رسوبگذاری عرضی می شود.

- آبگیری معمولا در سه حالت قابل دسته بندی می باشد.
  - آبگیری از رودخانه که با استفاده از سدهای انحرافی و پمپاژ امکانپذیر می باشد
  - توصیه می گردد که آبگیری از ارتفاع ۱/۵ متر از بستر انجام گرفته و در هر حال از ۰/۵ متر کمتر نگردد.
  - آبگیری از مخازن سدها که ممکن است بصورت پمپاژ یا ثقلی (تخلیه کننده تحتانی) صورت پذیرد
  - آبگیری از کانال که به کمک سازه های کنترل صورت می پذیرد

آبگیر رودخانه- پمپاژ

- در این حالت آبگیری بصورت ثقلی میسر نبوده و لذا از پمپاژ استفاده می شود
  - در شرایطی که رسوبات معلق در رودخانه زیاد باشد یک حوضچه با عرض بزرگتر از عرض آبگیر انتخاب می شود
  - در شرایطی که بار رسوب کم و پروژه کوچک، از آبگیر غوطه ور استفاده می شود

آبگیر رودخانه- سد

- معمولا در ابتدای این آبگیرها حوضچه های ترسیب قرار داده می شود.
- سرعت متوسط آب در حوضچه بین ۰.۲ تا ۰.۶ متر بر ثانیه در نظر گرفته می شودف و لذا حدود ۰.۳ متر بر ثانیه پیشنهاد می شود
  - پاشنه ورودی بالاتر از بستر رودخانه قرار دارد و مانند یک سرریز لبه پهن عمل می کند (ارتفاع دیوار یک برابر هد آب روی تاج است)
  - دیوارهای هدایت جریان برای یکنواخت کردن سطح آب و نصب آشغالگیر بکار می رود)
  - دریچه های کنترل برای کنترل دبی که با زائده یا آرام کننده برای آرام کردن جریان قرار دارد (جهت عمل دریچه ها در مقابل نیروی هیدرواستاتیک عرض دریچه ها در کانال های بزرگ بین ۱.۵ تا ۲.۵ متر و در کانال های کوچک بین ۰.۴ تا ۱.۲ متر محدود گردد)
  - مقطع تیپ

آبگیر های تحتانی سد

- این آبگیرها جهت موارد زیر مورد استفاده قرار می گیرد
  - تامین آب پائین دست سد
  - تخلیه سد در مواقع اضطراری
  - تخلیه رسوبات پشت سد و جلوگیری از پر شدن آن در اثر ترسیب رسوبات
- آبگیر معمولا در بدنه سد و تکیه گاههای جانبی و زیر آن نصب می شود
- معمولا دارای دو دریچه سرویس و اضطراری و بعضا یک دریچه کمکی می باشند
- قسمت های مختلف تونل شامل موارد زیر می باشند
  - آشغالگیر در دهانه ورودی
  - ورودی شیپوری
  - تونل انتقال
  - تبدیل های بازشو یا تنگ شو
  - دریچه ها
  - هواده

- پارامترهای طراحی شامل موارد زیر می باشند
  - بار آب پشت سد
  - میزان افت مجرا
- مقطع دایروی، مربعی، مستطیلی و نعل اسبی ساخته می شود

آبگیر های تحتانی سد

- سازه ورودی
  - در ترازهای مختلف قرار می گیرد و دارای یک آشغالگیر متشکل از شبکه های میله فولادی به فواصل ۸-۱۶ سانتیمتر می باشند.
  - شکل این سازه ها شیپوری شکل با معادله زیر می باشد

$$\frac{x^2}{(3D.k_x)^2}+\frac{y^2}{(D.k_y)^2}=1$$

$$Circular \Rightarrow k_x=0.167, k_y=0.15$$
$$Square \Rightarrow k_x=k_y=0.33$$
$$Square(Roof) \Rightarrow k_x=k_y=0.55$$
$$Square(Roof+Two\ Walls) \Rightarrow k_x=0.33, k_y=0.67$$

تذکر: چنانچه تونل دایروی باشد توصیه می گردد تا مقطع ورودی به جهت اجرای ساده تر مربعی انتخاب گردد و لذا یک تبدیل به طول جهت این اجرا مد نظر قرار گیرد

سازه های کنترل جریان

- جهت کنترل جریان در تونل یا مجرا با بار آبی بالا از دریچه های کشوئی و در بار آبی کم از شیر استفاده می شود.
- دبی جریان با بالا و پائین آوردن دریچه کنترل می شود
- جهت کنترل کاویتاسیون از هواده بعد از دریچه ها استفاده می شود
- دریچه های مربعی معمولا مناسب تر از دریچه های دایروی است و لذا استفاده از تبدیل دایره به مربع باید مد نظر قرار گیرد
- زاویه تبدیل جهت جلوگیری از کاویتاسیون
  - در حالت تنگ شدگی مطابق رابطه $tg\alpha=1/Fr$ محاسبه می شود. در رابطه فوق $Fr=V/(gD)^{0.5}$ عدد فرود و V سرعت میانگین در تبدیل و D قطر میانگین می باشد

- در حالت گشادشدگی خطر جدی تر است و لذا مطابق رابطه $tg\alpha=1/2Fr$ برای جریان تحت فشار و $tg\alpha=1/3Fr$ برای جریان آزاد توصیه می شود. در رابطه فوق Fr متوسط عدد فرود ابتدا و انتهای تبدیل می باشد. ضمنا افت انرژی در بازشدگی کامل حدود $0.1V^2/2g$ در نظر گرفته شود

بررسی های لازم تخلیه کننده های تحتانی

- بررسی فشار و توزیع آن در مجرا
- بررسی افت های موضعی در اثر هندسه مجرا
- بررسی احتمال وقوع کاویتاسیون در مجرا
- بررسی هوادهی جریان
- بررسی عملکرد مجرا
- بررسی عملکرد هیدرولیکی تاسیسات هیدرولیکی (ارتعاش دریچه، ظرفیت آبگذری، نیروهای لازم)
- بررسی الگوی جریان در مجرا

افت ها در آبگیر

- افت در تبدیل ها
- افت در آشغالگیرها
- افت ورودی
- افت دریچه ها
- افت اصطکاکی
- افت زانوها
- افت خروجی

- افت در تبدیل ها

- در حالت تنگ شدگی ضریب افت بین ۰.۱-۰.۵ می باشد.
اگر تبدیل از روابط بحث سازه های کنترل تبعیت کند معادل ۰.۱ توصیه میشود
- در حالت گشادشدگی ضریب افت تابع زاویه مطابق جدول زیر می باشد

همگرائی $h_c = K_c\left[\frac{V_2^2}{2g}-\frac{V_1^2}{2g}\right]$

واگرائی $h_{ex} = K_{ex}\left[\frac{V_1^2}{2g}-\frac{V_2^2}{2g}\right]$

زاویه-درجه	2	5	10	12	15	20	25	30	40	50	60
K	0.03	0.04	0.08	0.1	0.16	0.31	0.4	0.49	0.6	0.69	0.72

- افت در آشغالگیرها

An سطح مقطع خالص و Ag سطح مقطع کل می باشند.

معمولا فرض می شود که سطح ناخالص ۲۰٪ بزرگتر از سطح خالص است و اینکه نصف سطح خالص آشغالگیر توسط اشغال گرفته شده است و لذا: $A_g/2An=1.2\rightarrow K_t=1.1$

$$h_t = K_t \frac{V_n^2}{2g}$$

$$K_t = 1.45 - 0.45\frac{A_n}{A_g} - \left(\frac{A_n}{A_g}\right)^2$$

$$A.V = A_n \cdot V_n$$

$$\frac{V_n^2}{2g} = \left(\frac{A}{A_n}\right)^2 \cdot \frac{V^2}{2g}$$

- افت ورودی
  - در صورت استفاده از ورودی شیپوری ضریب افت ۰.۰۵ و در ورودی ابه تیز ضریب افت ۰.۵ می باشد.
  - با توجه به احتمال وقوع کاویتاسیون استفاده از ورودی شیپوری اجتناب ناپذیر است. این مسئله به دلیل فشردگل جریان در ورودی ابه تیز که حدودا ۰.۶ می باشد اتفاق می افتد

$$\left.\begin{aligned} H &= \frac{P}{\gamma} + \frac{V_c^2}{2g} \\ A_c \cdot V_c &= A.V \\ \frac{A_c}{A} &= 0.6 \end{aligned}\right\} \Rightarrow H = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}\left(\frac{A}{A_c}\right)^2 \Rightarrow \frac{P}{\gamma} = H - 2.7\frac{V^2}{2g}$$

- افت دریچه ها
  - افت دریچه ها به میزان بازشدگی دریچه بستگی دارد. برای دریچه کاملا باز معادل ۰.۰۱ به دلیل وجود شیار دریچه ها می باشد
  - برای مجرای مستطیلی نیمه باز ضریب افت ۵.۶ و در ¼ بازشدگی معادل ۲۴ و در ¾ بازشدگی معادل ۱.۱۵ می باشد.

$$\left.\begin{aligned} h_g &= K_g \frac{V_g^2}{2g} \\ A.V &= A_g \cdot V_g \end{aligned}\right\} \Rightarrow h_g = K_g \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \left(\frac{A}{A_g}\right)^2$$

- افت اصطکاکی
  - افت طولی از دو روش بدست می آید
  - روش دارسی-وایسباخ

f ضریب دارسی-وایسباخ است که از دیاگرام مودی بدست می آید و تابع عدد رینولدز و زبری جدار است و L طول و D قطر مجرا است

$$h_f = \frac{fL}{D}\frac{V^2}{2g}$$

- معادله مانینگ
  - لوله بتنی $0.008 \le n \le 0.014$
  - لوله فولادی $0.008 \le n \le 0.012$
  - تونل سنگی $0.02 \le n \le 0.035$

$$h_f = S_f . L = n^2 . \frac{L}{R^{4/3}} . \frac{V^2}{2g}$$

$$R = D/4$$

- افت زانوها

افت تابع شعاع انحنا و شکل مقطع می باشد

$$h_b = K_b . \frac{V_b^2}{2g}$$

زاویه انحنا (درجه)	۱۰	۳۰	۴۵	۶۰	۹۰
دایروی بدون شعاع انحنا	۰.۰۳	۰.۱۱	۰.۲۴	۰.۵	۱.۱
مستطیلی بدون شعاع انحنا	۰.۰۴	۰.۱۴	۰.۳۰	۰.۶	۱.۴
دایروی با شعاع انحنای R=D	۰.۰۵	۰.۱۰	۰.۲۰	۰.۲	۰.۳
دایروی با شعاع انحنای R=2D	۰.۰۳	۰.۰۸	۰.۱۰	۰.۱	۰.۲
دایروی با شعاع انحنای R=3D	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۱

- افت خروجی

افت در خروجی تابع شکل است ولی معمولا معادل ۱.۰۵ گرفته می شود

$$h_{out} = K_{out} . \frac{V_{out}^2}{2g}$$

ظرفیت آبدهی مجرا

- برای تعیین ظرفیت آبدهی ابتدا اختلاف ارتفاع بین سطح آب در مخزن و سطح آب در پایاب باید مد نظر قرار گیرد
- سپس با در نظر گرفتن افتها ظرفیت آبگذری مجرا تعیین می شود

$$h = h_e + h_c + h_{\exp} + h_t + h_g + h_b + h_i + h_f + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

مثال

مطلوبست تعیین دبی خروجی از آبگیر لوله ای با جنس چدن چنانچه رقوم سطح آب در مخزن ۴۵ متر و رقوم محور خروجی لوله آبگیر یک متر می باشد. طول لوله ۵۰ متر و قطر آن ۱.۲ متر می باشد. سرعت آب در مخزن ناچیز و سطح ناخالص آشغالگیر ۳۰ متر مربع با ورودی شیپوری می باشد. فرض گردد که مجرا دارای انحنائی به شعاع R=3D و زاویه انحنای ۳۰ درجه می باشد.

$$h_f = 19.6\, n^2 \frac{L}{R^{4/3}} \frac{V^2}{2g} = 19.6\, 0.012^2 \frac{50}{(1.2/4)^{4/3}} \cdot \frac{V^2}{2g} = 0.7 \frac{V^2}{2g}$$

$$\left.\begin{aligned} &\frac{A_g}{2A_n} = 1.2 \Rightarrow \frac{A_n}{A_g} = 0.42 \quad K_t = 1.45 - 0.45\left(\frac{A_n}{A_g}\right) - \left(\frac{A_n}{A_g}\right)^2 = 1.089 \\ &A_n \cdot V_n = AV \Rightarrow \frac{V_n^2}{2g} = \left(\frac{A}{A_n}\right)^2 \cdot \frac{V^2}{2g} \end{aligned}\right\} \Rightarrow h_t = K_t \frac{V_n^2}{2g} = K_t \left(\frac{A}{A_n}\right)^2 \cdot \frac{V^2}{2g} = 0.009 \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{in} = K_{in} \frac{V^2}{2g} = 0.1 \frac{V^2}{2g} \quad , \quad \theta = 30,\ R = 3D \Rightarrow K_b = 0.05 \Rightarrow h_b = K_b \frac{V^2}{2g} = 0.05 \frac{V^2}{2g}$$

$$Gate = 1m \times 1m,\ \mathrm{tg}\theta = 1/\mathrm{Fr} \Rightarrow K_c = .1 \Rightarrow h_c = K_c \left[\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right] = K_c \left[\left(\frac{A}{A_2}\right)^2 \cdot \frac{V^2}{2g} - \frac{V^2}{2g}\right] = 0.1 \left[\left(\frac{\pi \times 1.2^2}{4 \times (1 \times 10)}\right)^2 - 1\right] \frac{V^2}{2g} = 0.028 \frac{V^2}{2g}$$

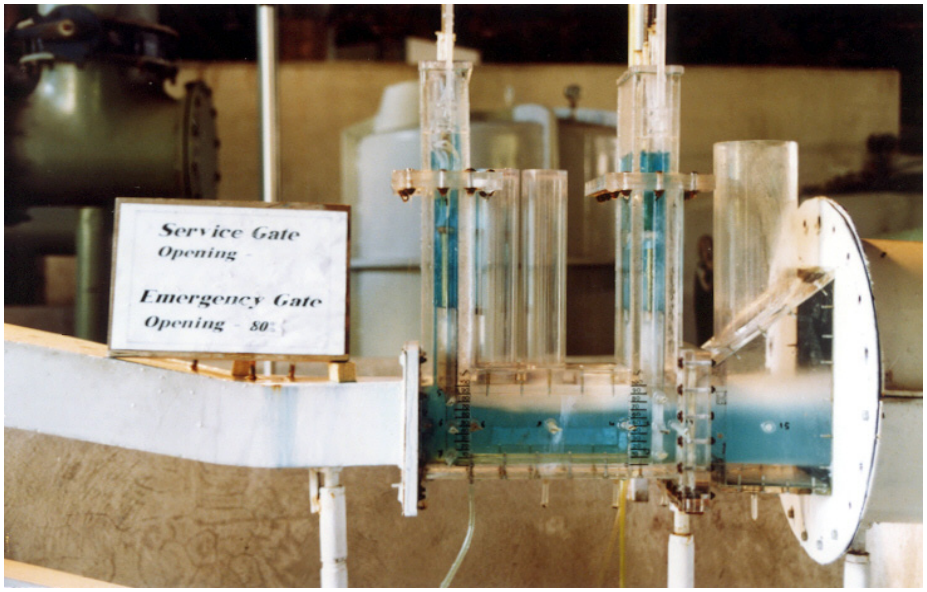
$$Gate\ completely\ open \Rightarrow h_g = K_g \frac{V_g^2}{2g} = K_g \cdot \left(\frac{A}{A_g}\right)^2 \cdot \frac{V^2}{2g} = .1 \left(\frac{\pi \times 1.2^2}{4 \times (1 \times 10)}\right)^2 \frac{V^2}{2g} = 0.128 \frac{V^2}{2g}$$

$$\left.\begin{aligned} &44 = h_f + h_t + h_{in} + h_b + h_c + h_g + \frac{V^2}{2g} \\ &44 = [0.7 + 0.09 + 0.1 + 0.05 + 0.028 + 0.128 + 1] \frac{V^2}{2g} = 2.096 \end{aligned}\right\} \Rightarrow V = 20.29 m/s,\ Q = 23 m^3/s$$

تهویه در تخلیه کننده های تحتانی

تهویه در سازه های هیدرولیکی و دریچه ها با اهداف زیر همراه است.

- **کاهش افت فشار در پائین دست مجرا**
- **کاهش ریسک وقوع کاویتاسیون**
- **کاهش فشارهای دینامیک مؤثر بر مجرا و دریچه**
- **کاهش ریسک وقوع ارتعاشات مخرب دریچه**



مدل هیدرولیکی تخلیه کننده تحتانی و دریچه های مستقر به همراه هواده ها

بنابراین در طراحی دریچه ها باید توجه نمود که :

- تامین هوای مورد نیاز پائین دست دریچه ها به دلیل افت فشار باید مد نظر قرار گیرد
- هوادهی باعث افزایش فشار و کاهش نوسانات می شود
- هوادهی باعث کاهش ارتعاش و نیروهای هیدرودینامیک وارد بر دریچه می گردد
- رابطه هوادهی توسط Campbel+Guyton با مطالعه ۵ سد بزرگ آمریکا به فرم زیر ارائه گردید
- در رابطه فوق فرض بر آن است که حداکثر هوا در بازشدگی ۵۰٪ ایجاد می شود
- طرعت هوا در هواده به ۴۵ تا ۹۰ متر بر ثانیه باید محدود گردد

$$\beta = 0.04\left(Fr-1\right)^{0.85}$$

رابطه پیشنهادی کاویانپور (۲۰۰۳)

$$\beta = 0.18\left(F_r-1\right)^{0.75}$$

مثال

مجرای تهویه مورد نیاز در مجرای با مقطع مربعی به ابعاد ۴ متر تحت با آبی ۱۰۰ متر طراحی نمائید

$$V = \sqrt{2gH} = \sqrt{2\times 9.81\times 100} = 44.3 m/s$$

$$h = 2m \Rightarrow Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} = \frac{44.3}{\sqrt{9.81\times 2}} = 10$$

$$\beta = 0.04\left(10-1\right)^{0.85} = 0.26$$

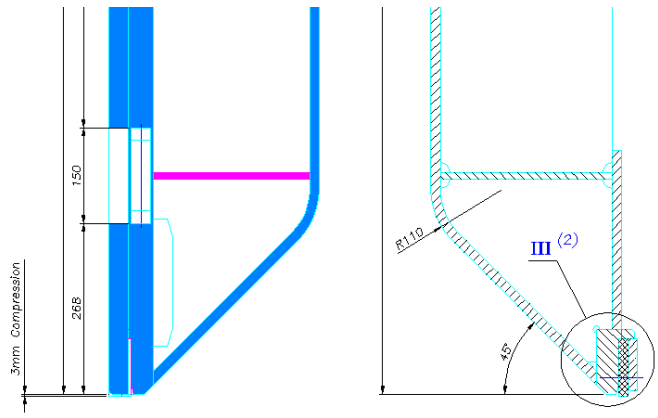
$$Q = A.V = 44.3\times 2\times 4 = 354.4\, m^3/s$$

$$Q_a = 0.26\times 354.4 = 91.8\, m^3/s$$

$$A_a = 91.8/45 = 2.0\, m^2$$

دریچه های تحتانی

در دریچه های کشوئی شکل زیرین دریچه ها به گونه ای ساخته می شوند که مانع از خلا زائی یا کاویتاسیون و ارتعاش سازه گردد. معمولا بهترین شکل یک قوس دایروی به همراه شیب ۴۵ درجه است. **در شکل دریچه های تحتانی سد دارآباد ملا حظه گردد. نشیمنگاه دریچه لبه تیز بوده که جدائی جریان از قسمت انتهائی را تضمین نماید. با تعبیه یک قوس به همراه زاویه ۴۵ درجه اتصال وجه قائم بالادست به لبه زیرین دریچه فراهم گردیده است.**



دریچه ها

بررسی های لازم دریچه ها و سیستم هیدرولیک وابسته شامل موارد زیر می شود

- **نیروی لازم جهت بالا و پائین آوردن دریچه**

- استقرار دریچه
- شکل لبه زیرین دریچه
- ارتعاش دریچه
- جنس دریچه
- هوادهی دریچه
- سیستم هیدرومکانیک

بررسی ارتعاش دریچه های تحتانی

- روش ارتش آمریکا در این موضوع مورد استفاده قرار می گیرد
- در این روش فرکانس تحریک و فرکانس طبیعی با یکدیگر مقایسه می شوند
- با فرض E مدول الاستیسیته (200KN/mm2) و S طول معلق نگهدارنده (m) و σ تنش واحد (W/A=kg/m2) و He هد موثر در لبه زیرین دریچه و Y میزان قرارگیری دریچه در داخل مجرا داریم:

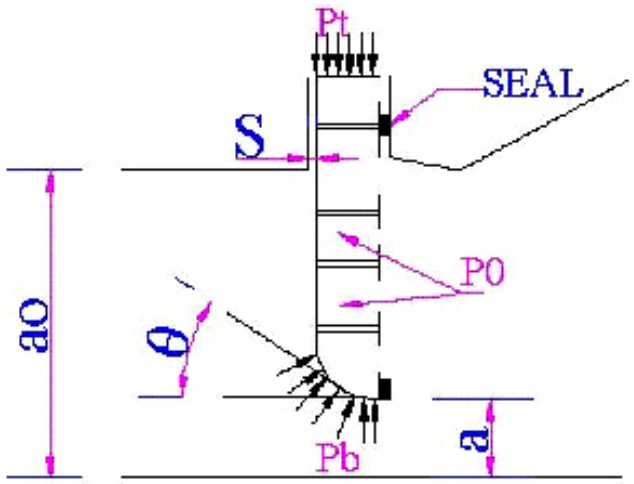
$$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g.E}{12S\sigma}}$$

$$f_f = \frac{\sqrt{2g.He}}{14Y}$$

$$T.R = \frac{1}{1-(f_f/f_n)^2} \approx 1 \qquad \text{Recommended}$$

T.Rفاکتور تشدید نامیده می شود

نیروهای وارد بر یک دریچه در تخلیه کننده تحتانی



در شکل پارامترهای موثر در نیروای وارد بر دریچه تحتانی ملاحظه می شود. بر این اساس و با صرفنظر از پارامترهای با اهمیت کم و بی بعدسازی آنها ضرایب نیروی وارد بر کف و بالا قابل تعریف می باشند که اطلاعات این ضرایب در مراجع فنی قابل دسترسی می باشند. به کمک این ضرایب نیروی لازم جهت بتز و بستن دریچه قابل محاسبه می باشد.

$$K_t = \frac{P_t}{gH}$$

$$K_b = \frac{P_b}{0.5\rho V_C^2}$$

$$K = f(\frac{a_0}{d}, \frac{b}{d}, \frac{S}{d}, \theta, \mathrm{Re}, \frac{a}{a_0})$$

S/d *omitted with No overflow*

$\mathrm{Re} > 10^5$ *omitted*

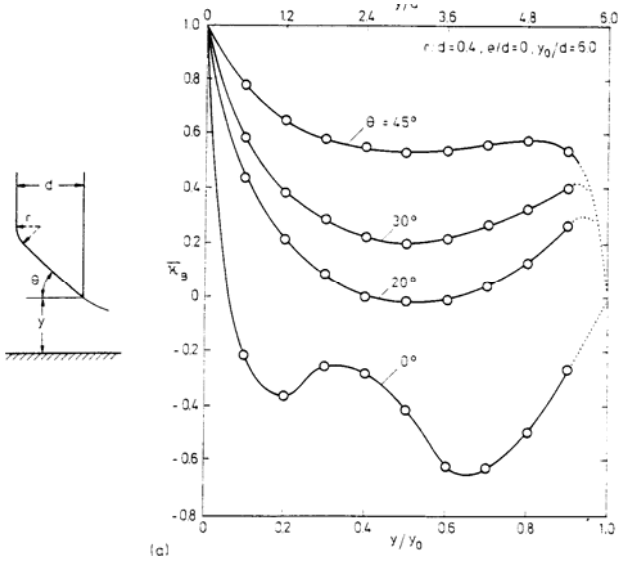
$$F_t = P_t.A_t$$

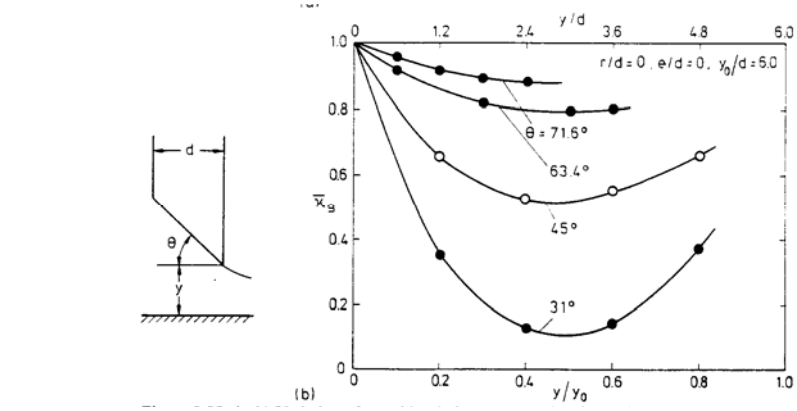
$$F_b = P_b.A_b$$

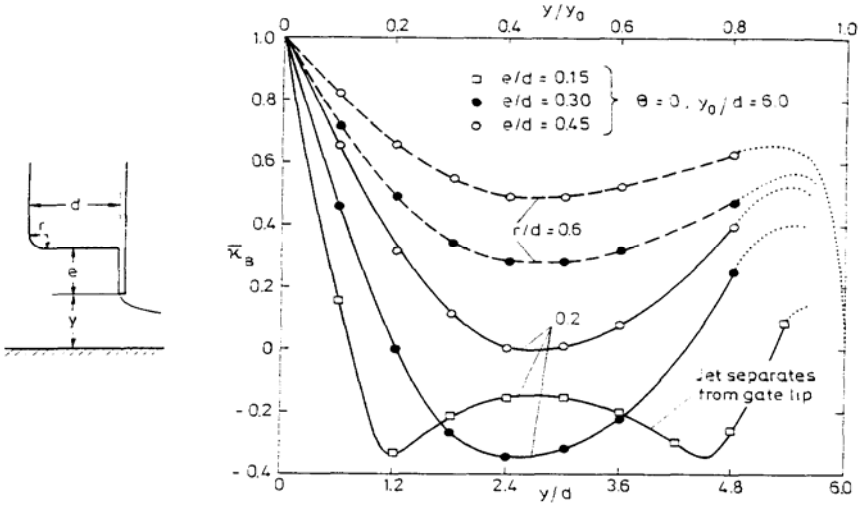
$$F_d = F_t - F_b$$

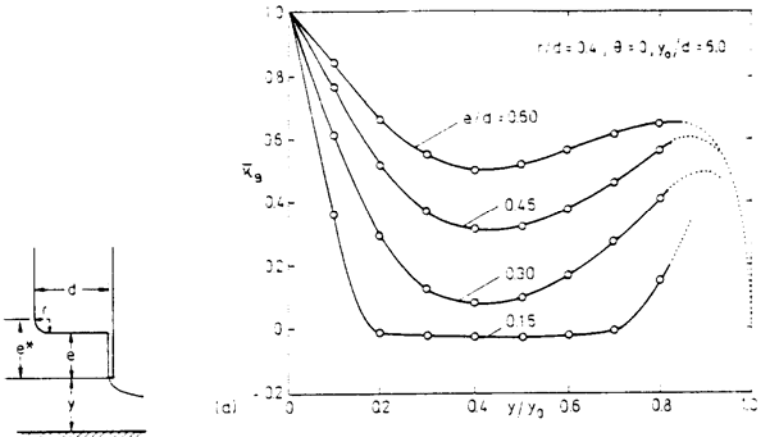
$$F_{opening} = \mu F_h + F_d + W \quad (+\uparrow)$$

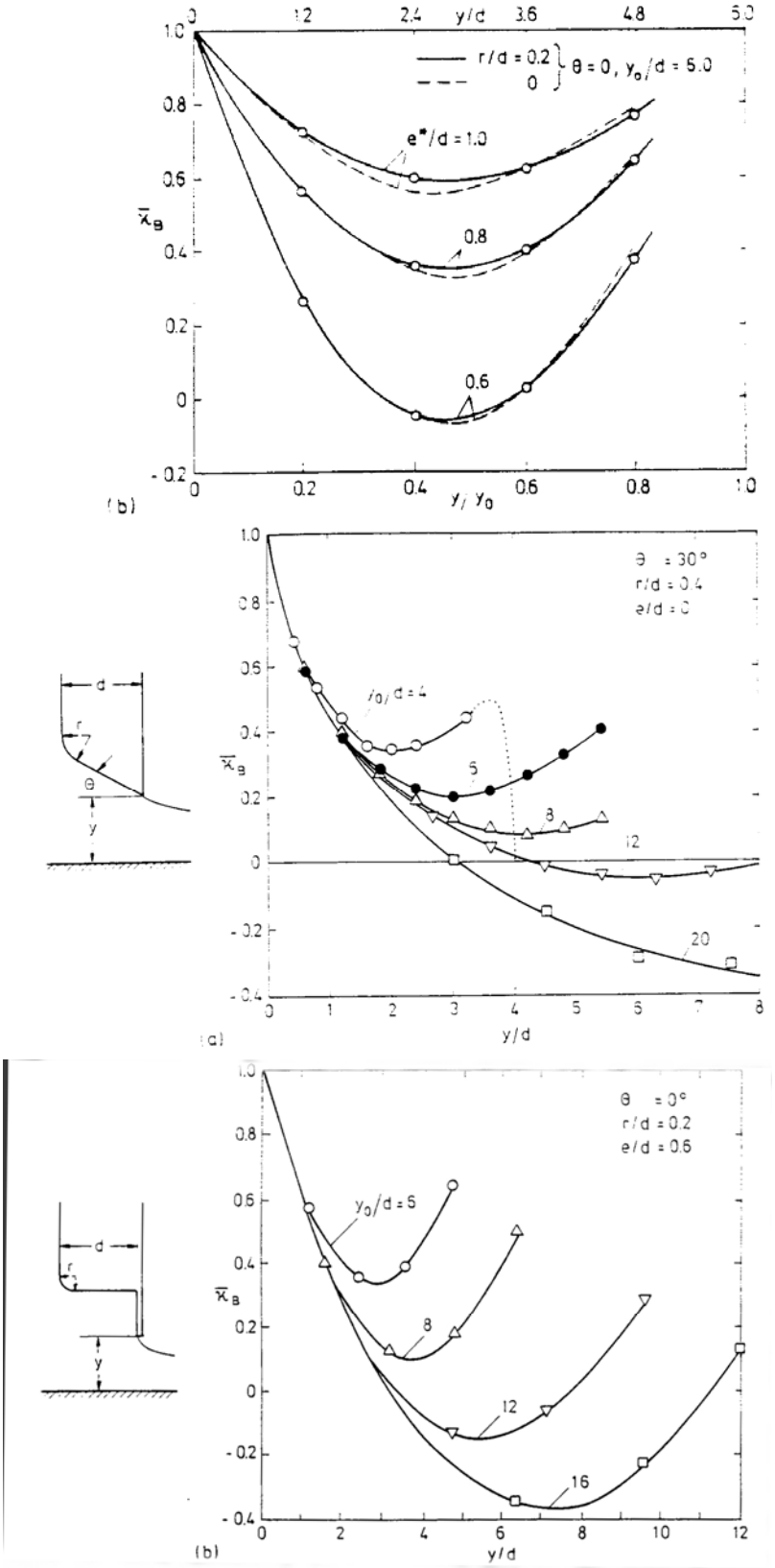
$$F_{closing} = \mu F_h - F_d - W \quad (+\downarrow)$$

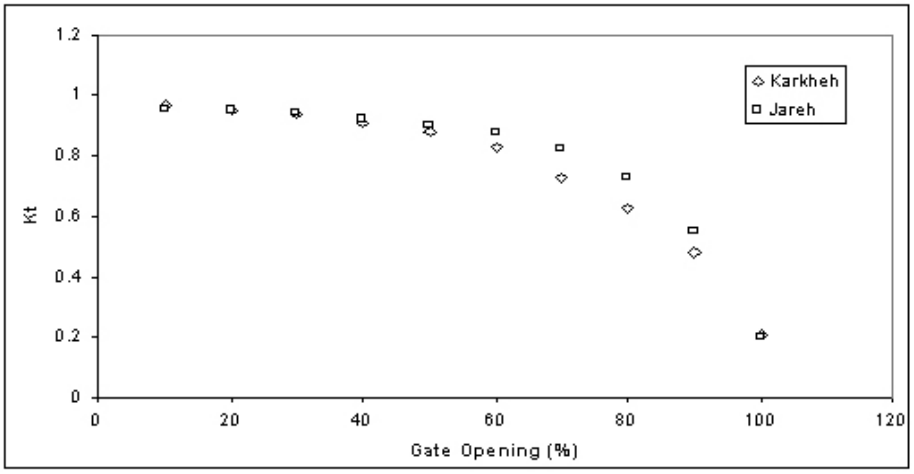



y/d
r/d = 0 , e/d = 0 , y0/d = 6.0
θ = 71.6°
63.4°
45°
31°
d
θ
y
(b)
y/y0

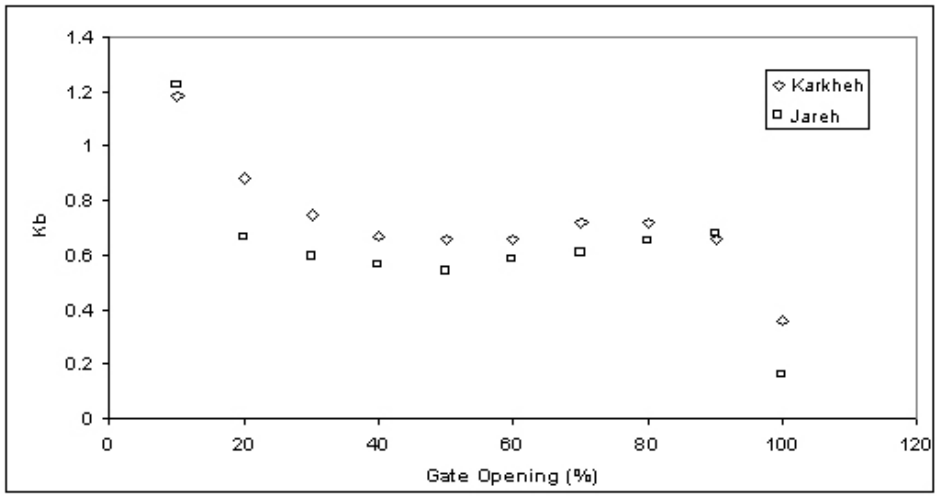

e/d = 0.15
e/d = 0.30
e/d = 0.45
θ = 0 , y0/d = 6.0
r/d = 0.6
0.2
Jet separates from gate lip
d
r
e
y
y/y0
y/d


r/d = 0.4 , θ = 0 , y0/d = 6.0
e/d = 0.60
0.45
0.30
0.15
d
r
e*
e
y
(a)
y/y0

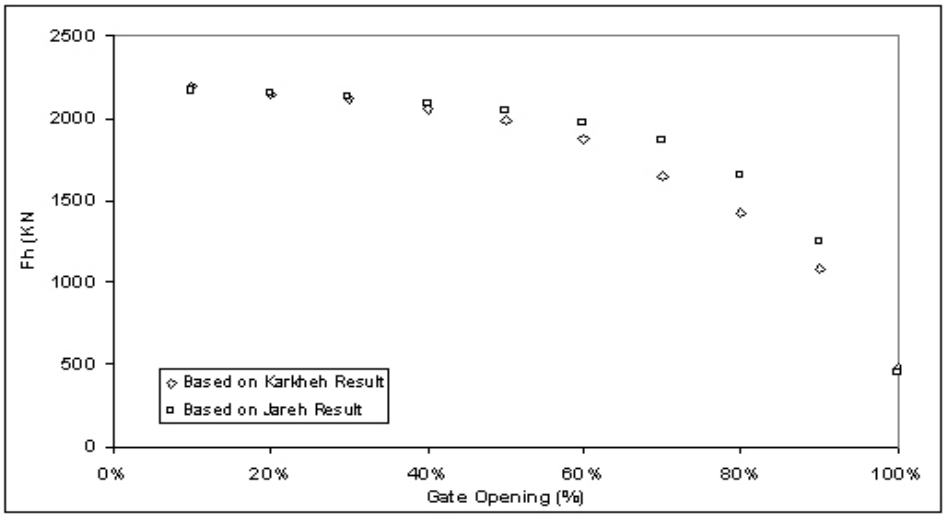

y/d
r/d = 0.2
0
θ = 0, y₀/d = 5.0
e*/d = 1.0
0.8
0.6
$\bar{x}_B$
y/ y₀
(b)
θ = 30°
r/d = 0.4
e/d = 0
y₀/d = 4
5
8
12
20
d
r
θ
y
y/d
(a)
θ = 0°
r/d = 0.2
e/d = 0.6
y₀/d = 5
8
12
16
(b)



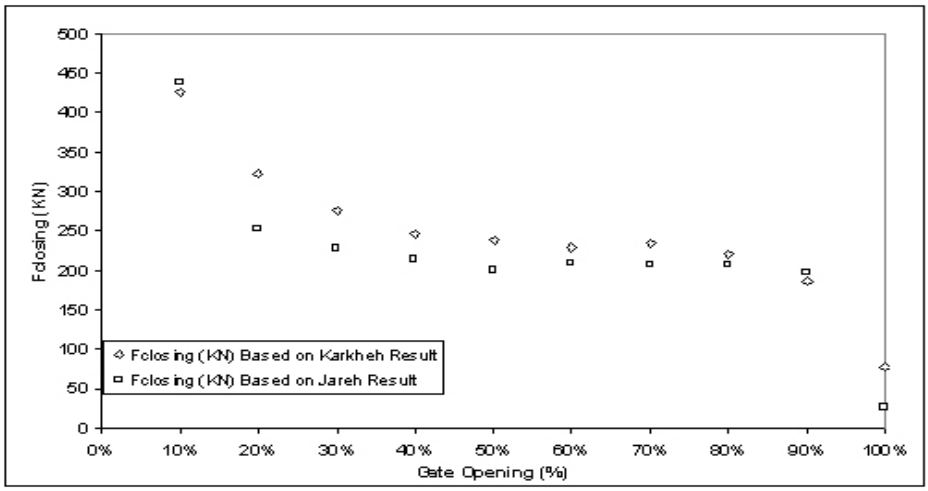
Variation of K_t with gate opening for Jareh and Kharkheh dam



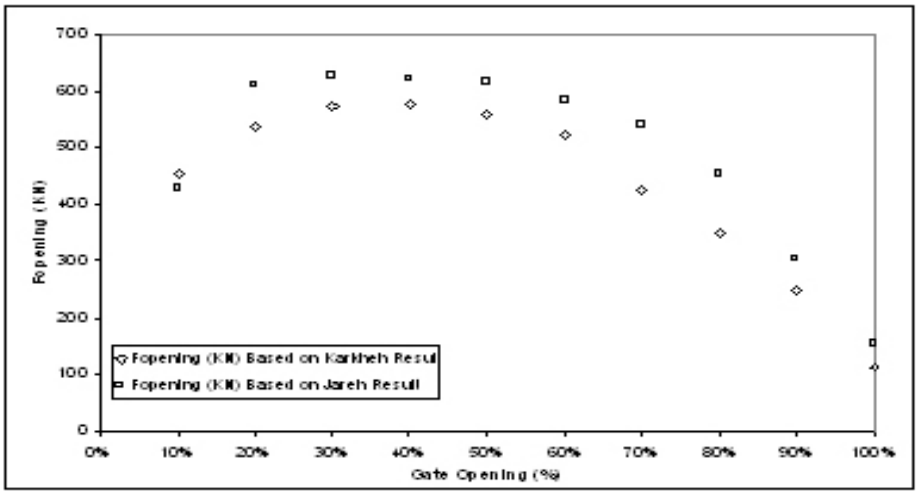
Variation of K_b with gate opening for Jareh and Kharkheh dam



Variation of F_h with gate opening for Jareh and Kharkheh dam



Variation of Fclosing with gate opening for Jareh and Kharkheh dam



Variation of Fopening with gate opening for Jareh and Kharkheh dam

دریچه ها [انواع]

دریچه ها که برای کنترل و تنظیم دبی یا سطح آب بکار می روند به شکل های متنوع قابل مشاهده می باشد. از لحاظ عملکردی، این دریچه ها نیروهای وارد از طرف آب را به پایه ها یا تکیه گاههای جانبی منتقل می نمایند.

تقسیم بندی :

- محل قرارگیری
  - سطحی (تحت فشار کم)

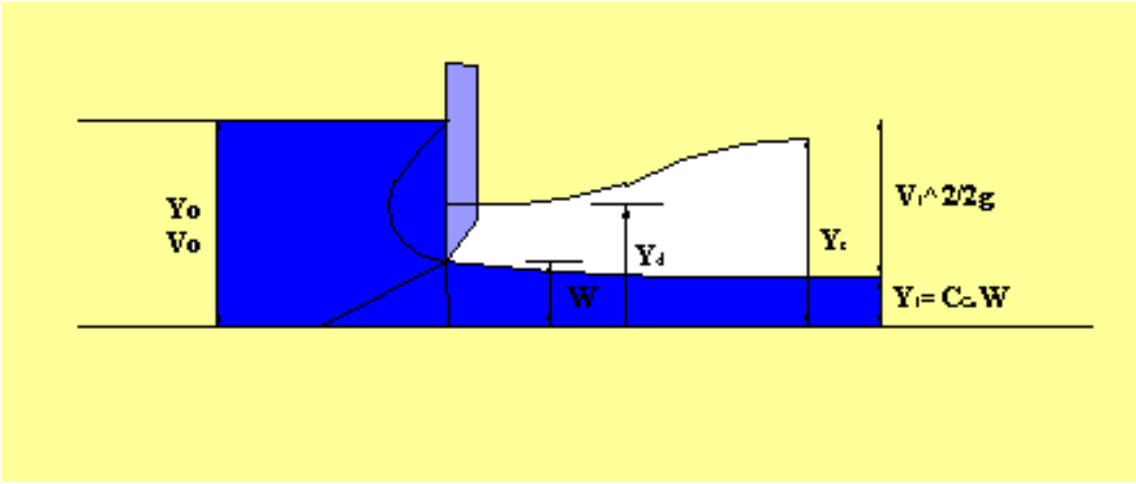
- عمقی (تحت فشار زیاد)

- هدف بهره برداری
  - سرویس (بطور دائم مورد استفاده قرار می گیرند)
  - اضطراری (در زمان حوادث و ضرورت مورد بهره برداری قرار می گیرند)
  - محافظ (جهت تعمیرات مورد بهره برداری قرار می گیرند)
- مصالح مصرفی
  - فولادی
  - آلومینیمی
  - بتنی
  - چوبی
- نوع بهره برداری
  - تنظیم کننده دبی
  - کنترل کننده سطح آب
- مکانیزم حرکت
  - هیدرولیکی
  - مکانیکی
  - دستی
  - برقی

دریچه های سطحی

دریچه ها در صورتی که ئر مسیر کانال قرار گیرند بعنوان وسیله آبگیری مورد استفاده قرار می گیرند. در محل قرارگیری دریچه ها باید شیب کانال ملایم بوده و در پائین دست جریان یکنواخت فرض می گردد. با فرض y_2 معادل عمق ثانویه جهش و y_t معادل عمق آب در پایاب، دو حالت در طراحی هیدرولیکی مد نظر می باشد.

- چنانچه $y_t<y_2$ باشد: جهش آزاد می باشد (y_t تاثیری بر بالادست ندارد).
- چنانچه $y_t>y_2$ باشد: جهش مستغرق می باشد (جریان بالادست دریچه تحت تاثیر y_t است).



در طراحی فرض می گردد که افت بین مقطع بالادست تا پائین دست دریچه ناچیز و شیب کانال ملایم می باشد.

برای دریچه کشوئی **خواهیم داشت:**

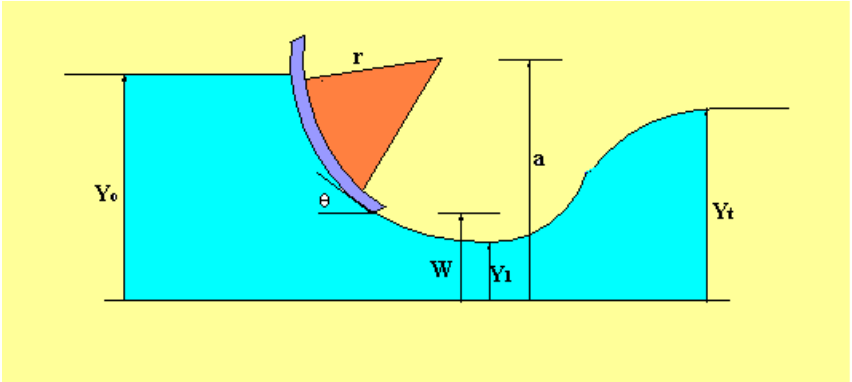
$$\left.\begin{aligned} y_o + \frac{U_o^2}{2g} &= y_1 + \frac{U_1^2}{2g} \\ q &= y_o U_o = y_1 U_1 \end{aligned}\right\} \Rightarrow U_1 = \sqrt{\frac{y_o}{y_o + y_1} \times 2g\, y_o} = \sqrt{\frac{1}{1 + y_1 / y_o} \times 2g\, y_o}$$

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= C_c.W \\ C_c &= 0.57 + \frac{0.043}{1.1 - W / y_o} \end{aligned}\right\} \Rightarrow U_1 = \frac{C_v}{\sqrt{1 + C_c.W / y_o}} \sqrt{2g\, y_o}$$

$$q = A_1 U_1 = C_c.W.U_1 = \frac{C_c.W.C_v}{\sqrt{1 + C_c.W / y_o}} \sqrt{2g\, y_o} = \frac{C.W}{\sqrt{1 + C_c.W / y_o}} \sqrt{2g\, y_o}$$

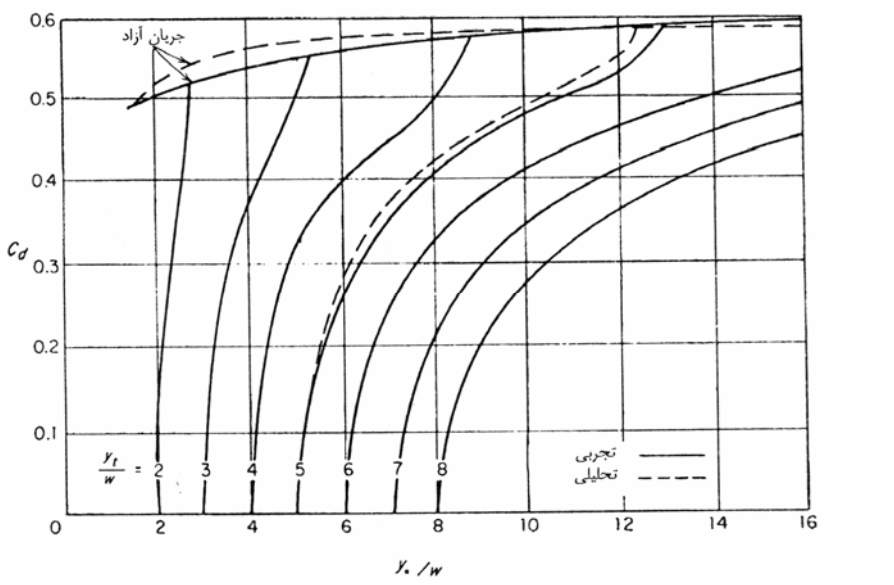
$$\therefore q = C_d.W.\sqrt{2g\, y_o}$$

ضریب دبی برای جریان های مختلف به شکل تابعی از متغیرهای هندسی و جریان ارائه شده است. برای دریچه قطاعی ضریب فشردگی تابع زاویه θ بوده و به شکل زیر تعریف می گردد:

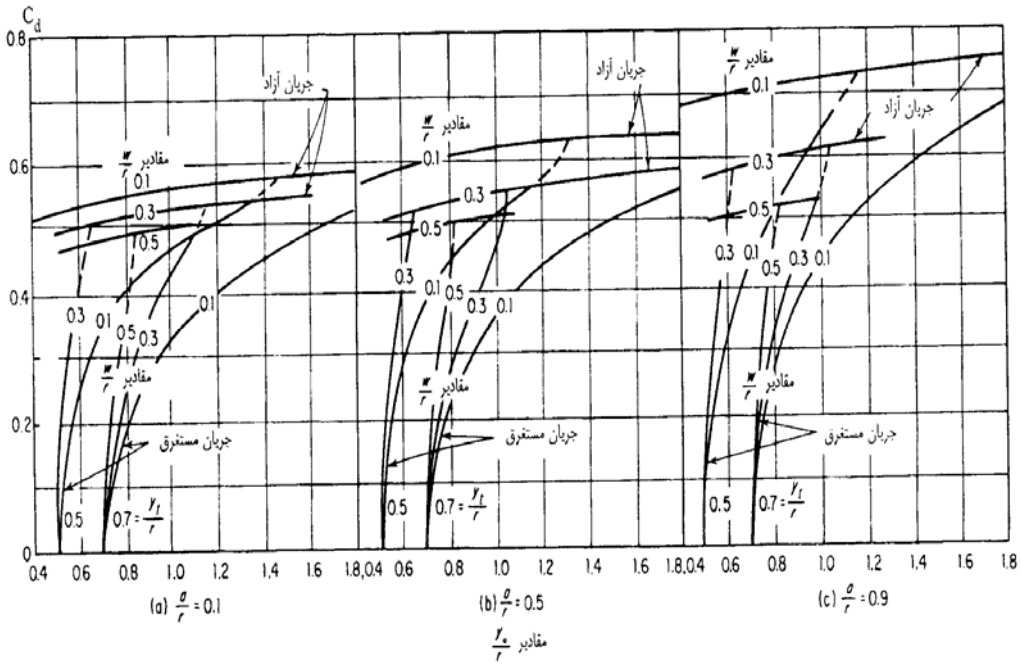


$$C_c = 1 - 0.75\left[\frac{\theta}{90}\right] + 0.36\left[\frac{\theta}{90}\right]^2$$
$$C_v = 0.96$$

چنانچه r معرف شعاع، a فاصله محور دریچه از کف کانال، W میزان بازشدگی، y_o عمق بالادست آب و y_t عمق پائین دست آب باشد، برای جریان آزاد و مستغرق ضریب C_d بصورت تابعی از a/r و W/r و y_o/r از منحنی زیر قابل محاسبه می باشد.



ضریب دبی عبوری از دریچه کشوئی نسبت به بازشدگی دریچه



ضریب دبی عبوری از دریچه قطاعی نسبت به بازشدگی دریچه

شیر ها

- وسایلی جهت کنترل و تنظیم جریان می باشند که در انتهای آبگیرهای تونلی متصل می شوند
- جریان پس از خروج از آنها وارد اتمسفر می شود ولی قبل از آن به دلیل تحت فشار بودن تونل بالادست باید پوشش فولادی داشته باشد
- انواع شیرها شامل:
  - شیر سوزنی
  - شیر هاول بانگر
  - شیر فواره توخالی
  - شیر لوله ای

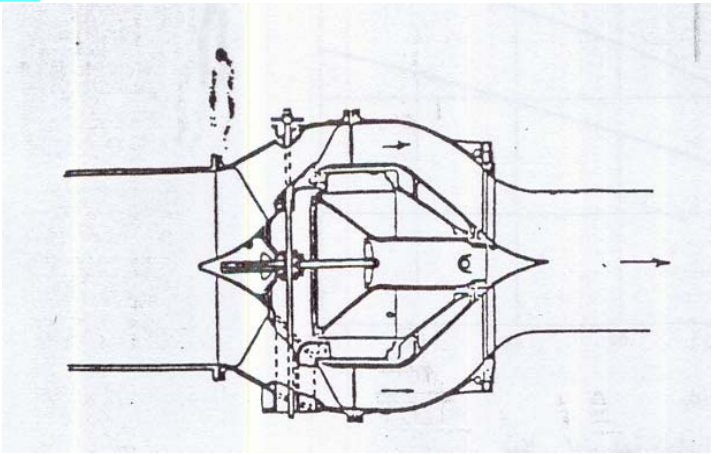
مدل هیدرولیکی شیر هاول-بانگر سد قشلاق

شیر سوزنی

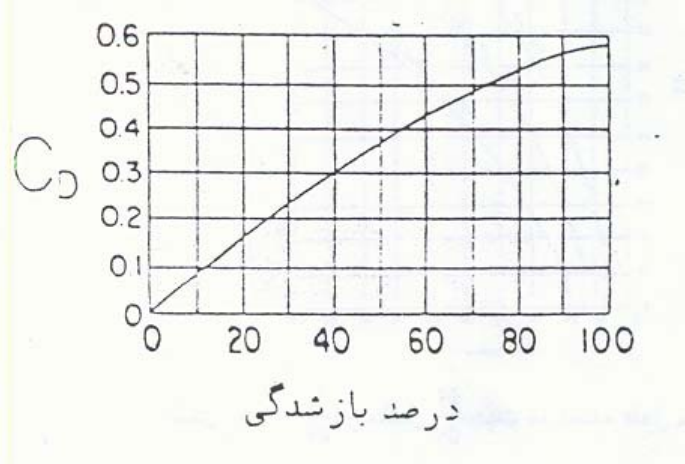
- این شیر جهت توربین ها و در سرعت های بالا بکار می رود
- یک قسمت ثابت و یک قسمت متحرک دارد و انتهای هر دو سوزنی است
- بدنه شیر توسط پره هائی ثابت مهار و قسمت پائین دست متحرک و جریان را تنظیم می کند
- این شیر ممکن است با خطر کاویتاسیون در بازشدگی های کوچک روبرو باشد
- ضریب C_d شیر معادل ۰.۶ است
- معادله حاکم بر جریان به فرم روبرو می باشد
  - C_d ضریب دبی
  - A سطح مقطع شیر
  - h ارتفاع معادل انرژی

رابطه مشخص جهت تعیین دبی این نوع شیرها مطابق زیر می باشد.

$$Q = C_d.A.\sqrt{2g.h}$$



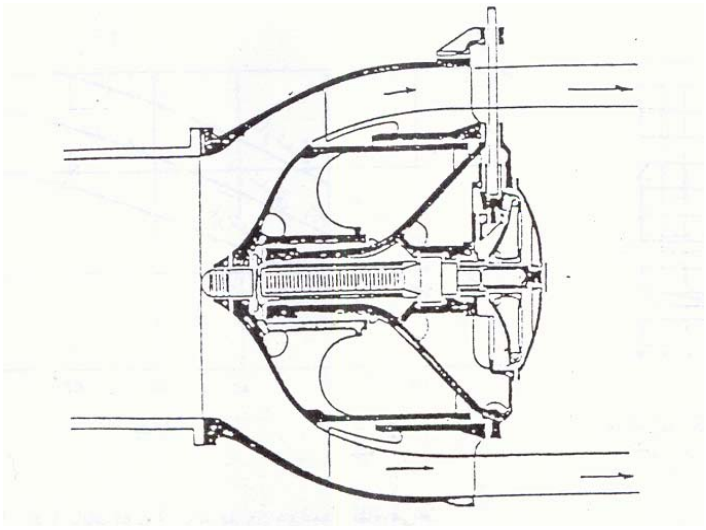
نمائی از شیر سوزنی



ضریب دبی شیر سوزنی (USBR).

شیر فواره توخالی

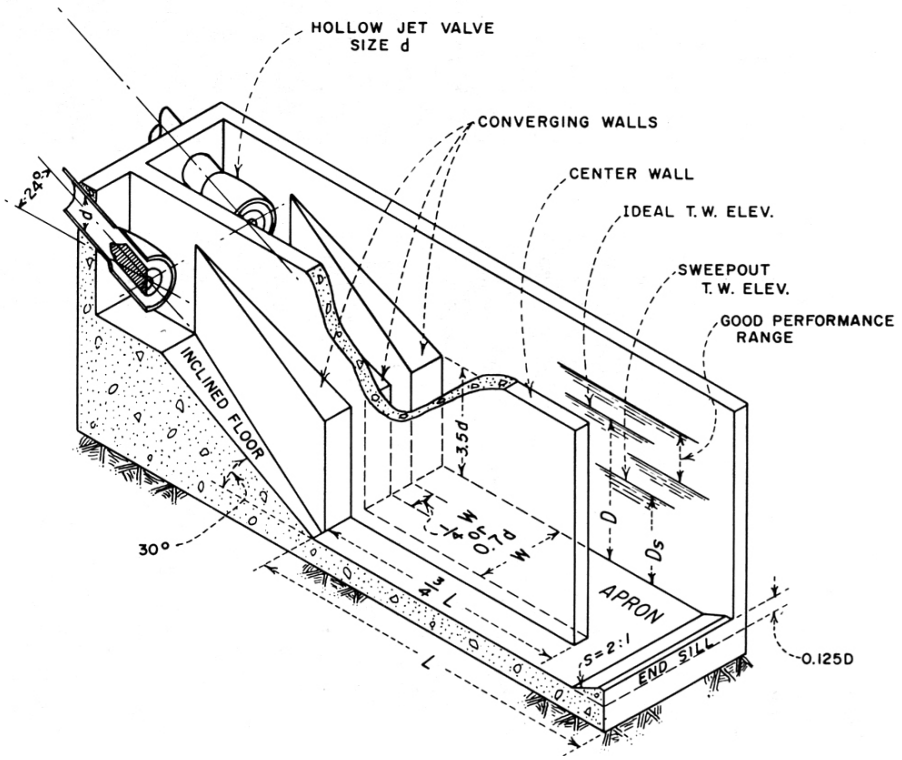
- این شیر برای فشارهای بالا مناسب است
- خروجی شیر به شکل فواره توخالی است و حدود ۲ برابر فواره شیر سوزنی است و لذا حوضچه آرامش کوتاهتری لازم دارد
- جریان خروجی آزاد است و استغراق نسبی آن قابل قبول است (پائین تر از محور مرکزی)
- این شیر ممکن است در بازشدگی کوچکتر از ۵٪ با مشکل کاویتاسیون روبرو باشد
- ضریب C_d شیر معادل ۰.۷ است
- حوضچه های آرامش خاص دارند

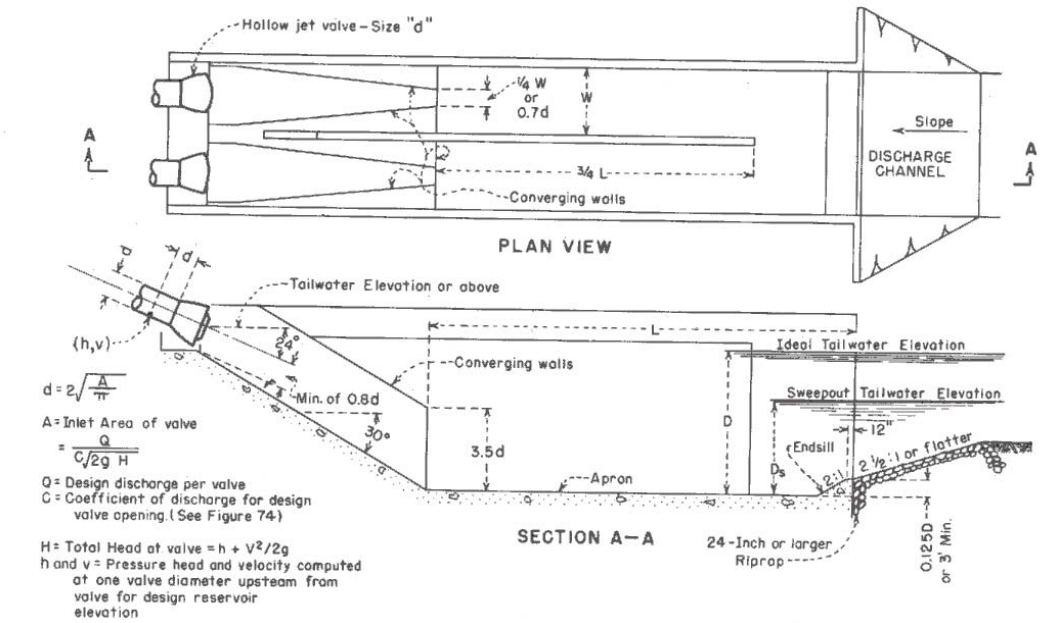


نمائی از شیر فواره توخالی

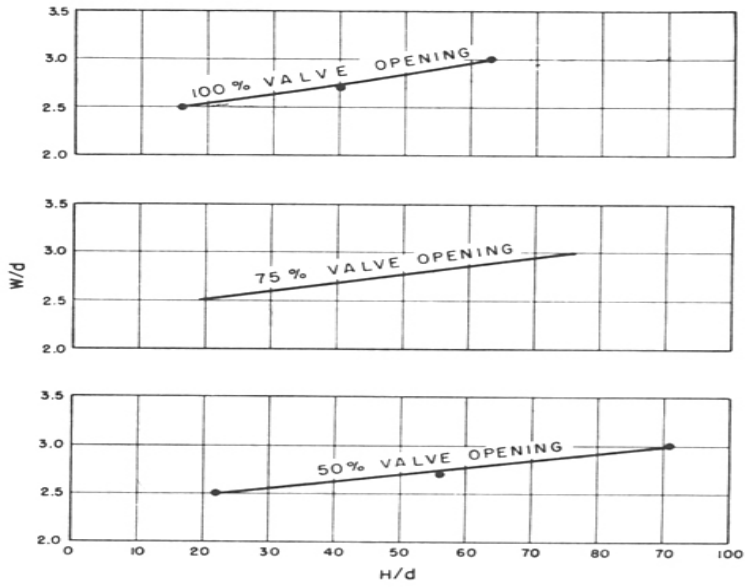
جهت استهلاک انرژی از حوضچه های مخصوص استفاده می شود. ابتدای حوضچه دیوارهای تنگ شونده به همراه شیب کف با زاویه ۳۰ درجه مهیا شده است. برای طراحی حوضچه آرامش به روش زیر عمل می شود

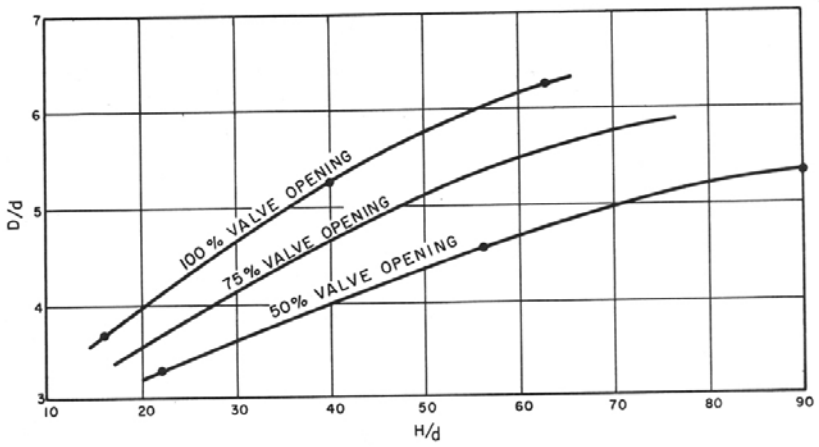
- بر اساس دبی Q و بار آبی H در محل شیر و داشتن $C_d=0.7$ برای بازشدگی کامل شیر، سطح مقطع آن A و درنتیجه قطر d_v آن بدست می آید.
- با داشتن H/d_v مقدار y_2/d_v قابل محاسبه بوده که در آن y_2 عمق ایده آل پایاب با سطح حداکثر ارتفاع آب می باشد. مقدار y_2 به اندازه $0.4y_2$ قابل تغییر می باشد.
- رقوم کف حوضچه با داشتن رقوع سطح آب y_2 تعیین می گردد.
- با داشتن H/d_v مقدار L/d_v تعیین می گردد که در آن L طول حوضچه می باشد.
- با داشتن H/d_v مقدار W/d_v تعیین می گردد که در آن W عرض حوضچه می باشد.
- با داشتن H/d_v مقدار y_s/d_v تعیین می گردد که در آن y_s عمق پایاب جهش می باشد.
- سایر مشخصات حوضچه بر اساس مشخصات در شکل قابل تعیین می باشند.

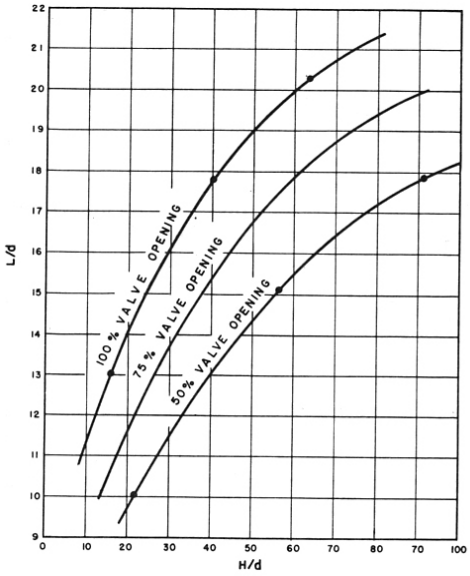




حوضچه آرامش تیپ شیر فواره توخالی



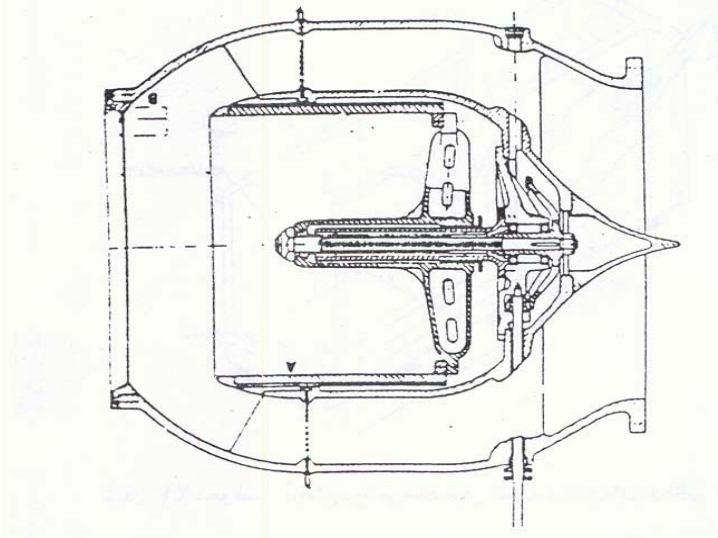




حوضچه آرامش تیپ شیر فواره توخالی

شیر لوله ای

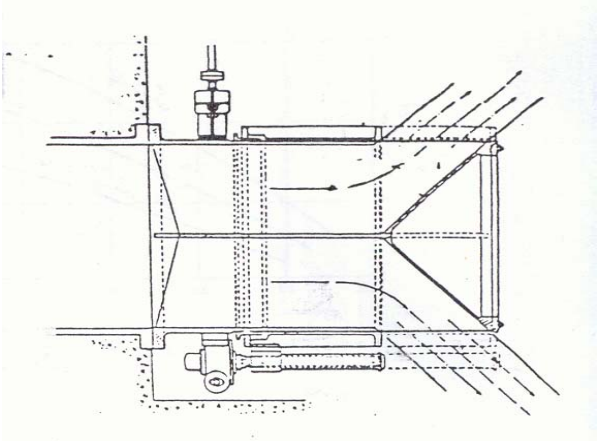
- این شیر با توجه به وقوع کاویتاسیون در شیر سوزنی طراحی شد
- پائین دست شیر استوانه مسطح بوده و لذا پاشش آب به اطراف زیاد می گردد که در بازشدگی کمتر از ۳۵٪ شدیدتر است
- این شیر به صورت آزاد یا مستغرق ساخته می شوند
- ضریب C_d شیر کمتر از شیر سوزنی است



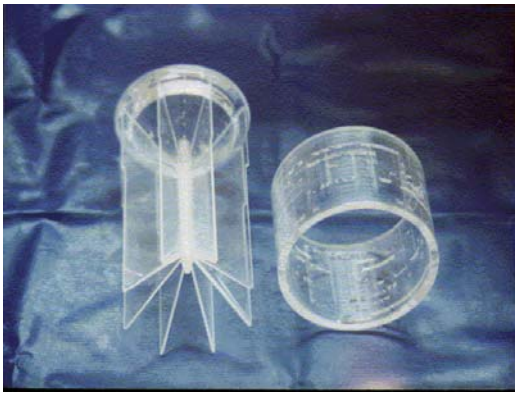
نمائی از شیر لوله ای

شیر هاول بانگر

- این شیر یکی از مناسب ترین شیر است که فواره خروجی آن آزاد است ولی مستغرق هم بکار می رود
- این شیر از یک مخروط ثابت با زاویه ۹۰ درجه تشکیل شده و جریان با زاویه ۴۵ درجه منحرف می شود
- اشکال آن این است که فواره با قطر زیاد پخش می شود و لذا استهلاک انرژی آن زیاد خواهد بودبا توجه به وقوع کاویتاسیون در شیر سوزنی طراحی شد
- این شیر ارزان و معمولا به دور از کاویتاسیون است
- این شیر برای ارتفاع تا ۲۰۰ متر بکار می رود
- ضریب C_d شیر بر اساس توصیه USBR معادل ۰.۷۸ است



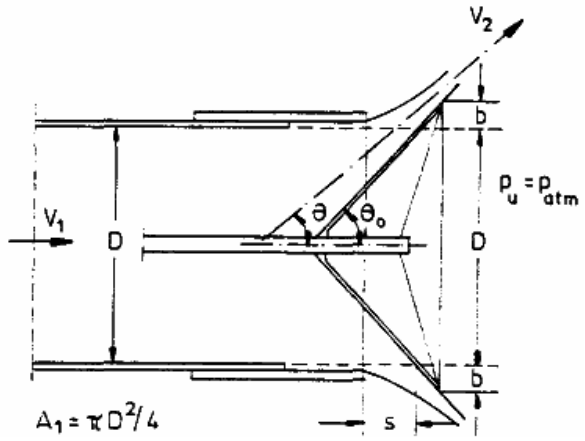
نمائی از شیر هاول-بانگر



از لحاظ سازه ای این شیرها از یک شافت افقی تشکیل گردیده که دارای تعدادی پره جهت توزیع یکنواخت جریان ورودی به شیر و خروجی از آن می باشد. مطابق شکل بالا سیستم کنترل و موتور محرکه این شیر در خارج از آن قرار دارد و با حرکت پوسته بیرونی مانور شیر و دبی خروجی را ممکن ساخته و از لحاظ عملکردی قابل قبول می باشد.

برآورد نیروهای هیدرودینامیک وارد بر شیر

جهت برآورد نیروهای هیدرودینامیک وارد بر شیر می توان از روابط ساده هیدرودینامیک به شکل زیر بهره برد.



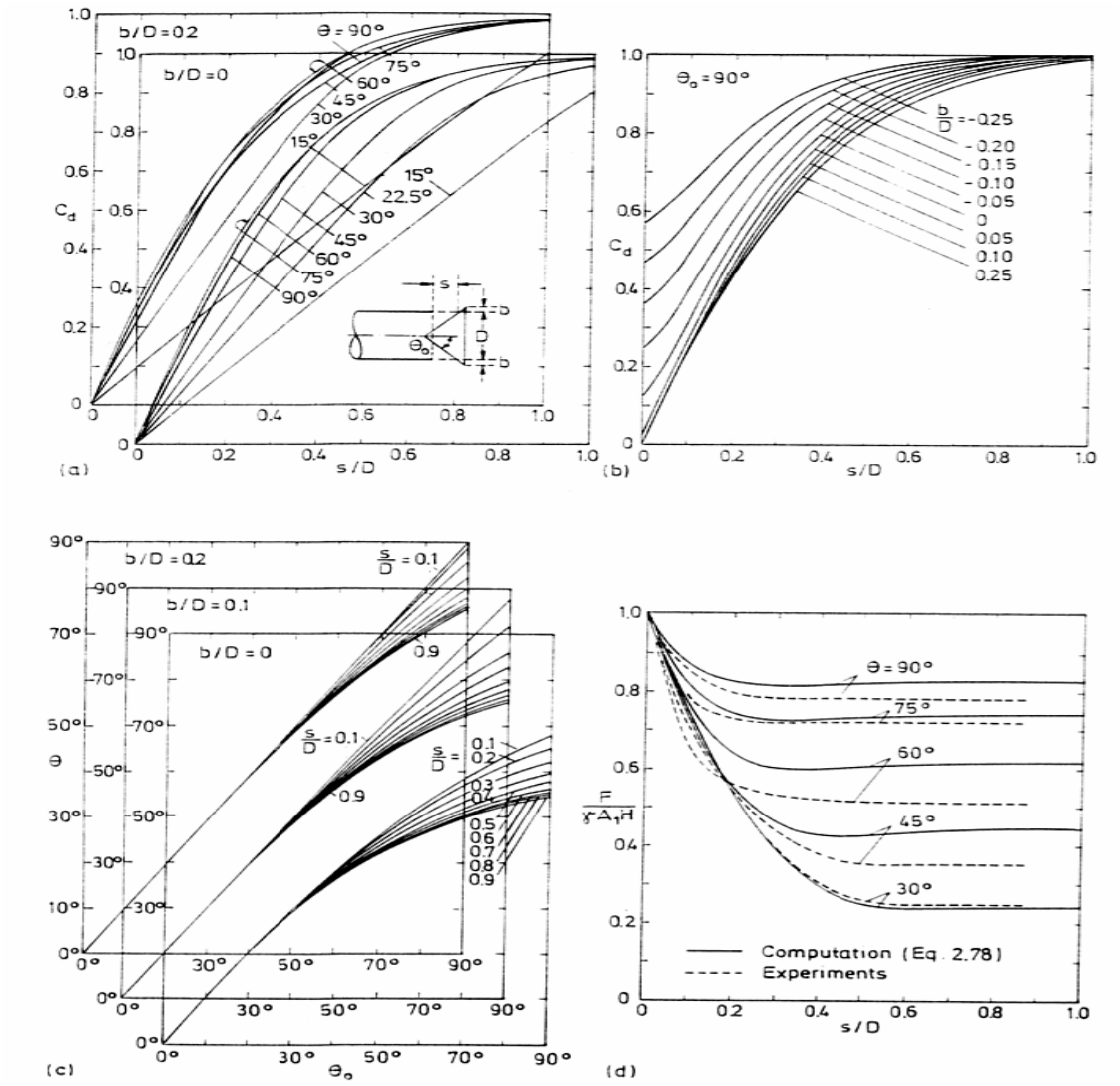
$$F = p_1 A_1 + \rho Q V_1 \left(1 - \frac{V_2}{V_1}.Cos\theta\right)$$

$$Q = A_1 \cdot V_1 = C_d . A_1 \cdot V_2$$

$$H = \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$\underbrace{\alpha_2 = \alpha_1 = 1}_{F = \gamma A_1 H\left(1 + C_d^2 - 2C_d.Cos\theta\right)}$$

همچنین بر اساس مطالعات مدلی انجام گرفته بر روی شیرهای با هندسه مختلف محققان موفق به ارائه نمودارهای لازم جهت تعیین ضریب دبی و نیروی هیدرودینامیک وارد بر قسمت مخروط پخش کننده جریان شده اند که نمودارهای زیر از جمله این اطلاعات می باشند.



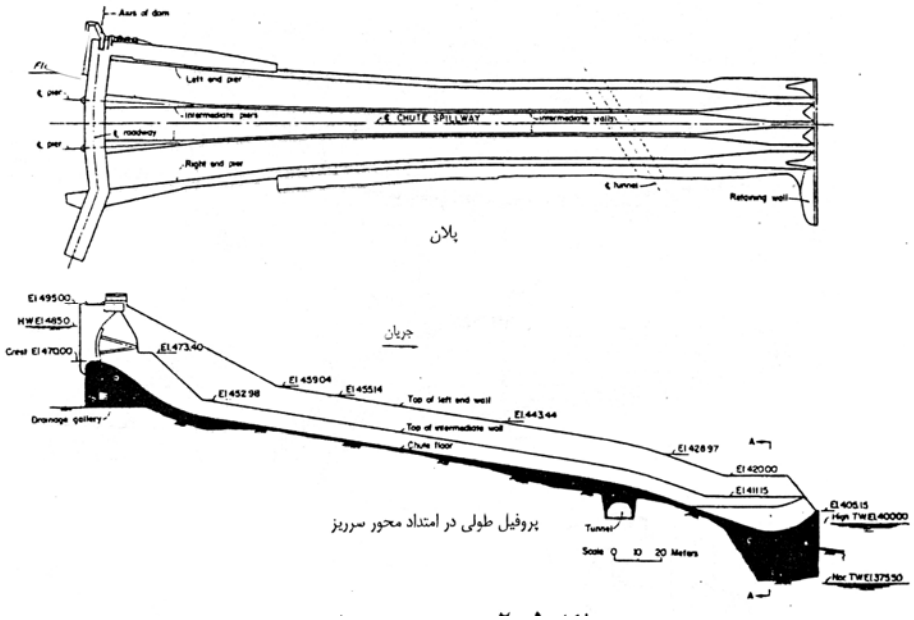
برآورد نیروی هیدرودینامیک بر اساس مطالعات Giesecke (1966) در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی Janshin (1960).

سرریز

جهت کنترل دبی و تخلیه سیلاب ورودی مخزن مورد استفاده قرار می گیرد. قسمت های مختلف آن :

- **تاسیسات کنترل: شامل لبریز لبه تیز یا لبه پهن و روزنه به شکل لبه تیز یا پهن یا شیپوری می باشند که رابطه ثابتی از دبی–اشل ارائه می کند**
- **کانال تخلیه: وظیفه تخلیه جریان از تاسیسات کنترل به پائین دست را بر عهده دارند و به صورت باز یا بسته می باشند**
- **آبراهه های ورودی و خروجی: وظیفه هدایت جریان از مخزن به تاسیسات کنترل و یا از تاسیسات نهائیه به پائین دست را بر عهده دارند**

- تاسیسات نهائی: مانند حوضچه آرامش وظیفه مهار انرژی جریان خروجی از کانال تخلیه را برعهده دارند



نمائی از قسمت های مختلف یک سرریز شوت

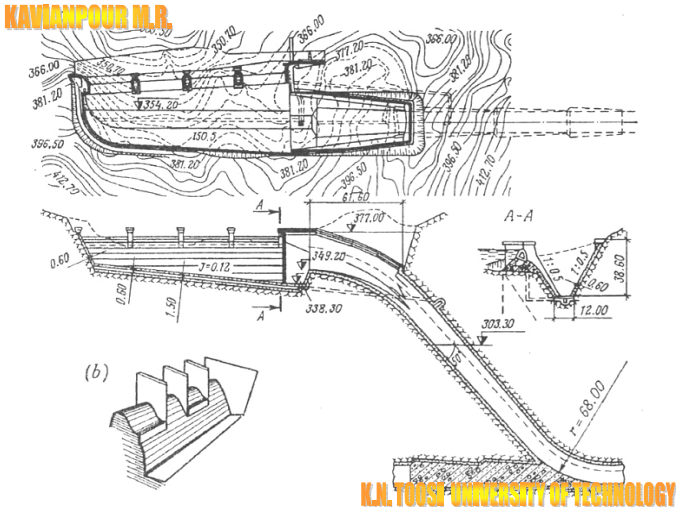
انواع سرریز

- سرریز ریزشی: برای سدهای قوسی و بتنی و پشت بند دار مناسب است. جریان به صورت لبه تیز و غابلا بصورت لبه آویزان ساخته تا جریان های کوچک به نقطه ای دورتر از دیواره هدایت شود. در بستر رودخانه یک حوضچه استغراق شکل می گیرد تا فرسایش به حداقل برسد که بعضا با احداث سد تامین می شود

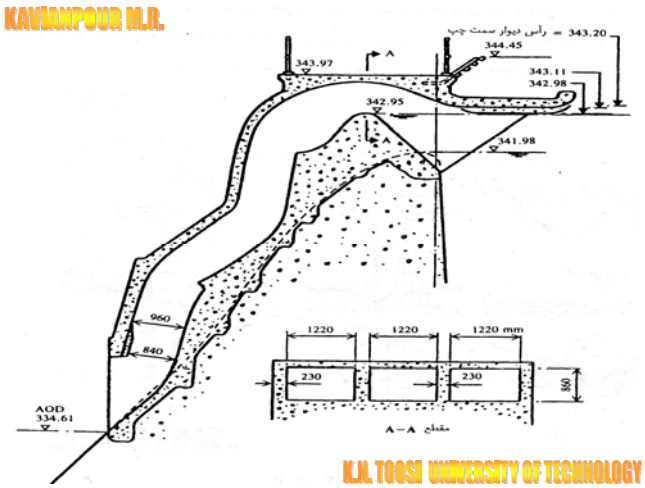
- سرریز آبریز: این سرریز یک لبریز کنترل دارد که بصورت منحنی است که بگونه ای طراحی می شود که پروفیل زیرین جت بر آن منطبق و مانع وقوع فشار منفی گردد

- سرریز لاله ای: این سرریز برای مقاطع تنگ و بستر سنگی رودخانه استفاده و معمولا به تونل انحراف آب در زمان ساختمان سد وصل می شود. دارای یک لبه شکل لبریز کنترل نیم دایره یا دایره کامل است که در ادامه به یک شافت و تونل متصل می گردد

- سرریز جانبی: در شرایطی که طول تاج سرریز کوتاه باشد استفاده می شود. لبریز کنترل در کنار و به موازات قمت ابتدائی کانال سرریز قرار داردو جریان با چرخش ۹۰ درجه به کانال تخلیه که معمولا تندآب می باشد هدایت می شود. از نظر اقتصادی ارزان نیستند و از نظر هیدرولیکی کارائی خوبی ندارند

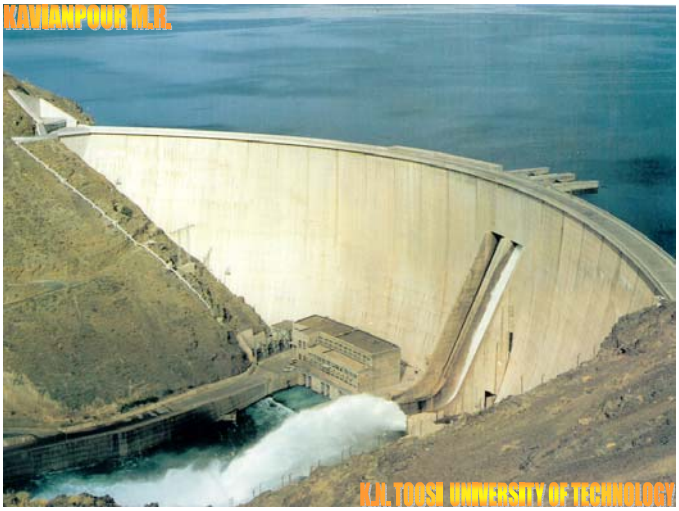


- سرریز سیفونی: در شرایطی که امکان احداث طول مناسب سرریز در روی سد و ایجاد سرریز جانبی در کناره سد نیست از آن استفاده می شود. لبریز کنترل در گلوگاه این سرریز که کف آن هم سطح رقوم نرمال سطح آب مخزن است قرار دارد. حرکت آب تخت تاثیر فشار منفی صورت می گیرد. حداکثر فشار منفی نباید از ۰/۷ فشار اتمسفر مخلی تجاوز کند



- سرریز پله کانی: زمانی که شیب برای احداث تندآب بالا باشد از این سرریز استفاده می شود. این سرریز متشکل از حوضچه های آرامش است که بدنبال هم قرار دارند و ممکن است در پائین دست به حوضچه آرامشی نیاز نگردد. این سرریز برای دبی های کم توصیه می گردد و در دبی های بالا موثر نیست

- سرریز شوت: برای انتقال آب از ارتفاع زیاد بکار می رود. جریان از طریق سازه کنترل وارد کانال با شیب تند می شود که به دلیل سرعت بالا تغییر مقطع و تغییر مسیر باید آرام و جهت کنترل کاویتاسیون از هواده استفاده شود

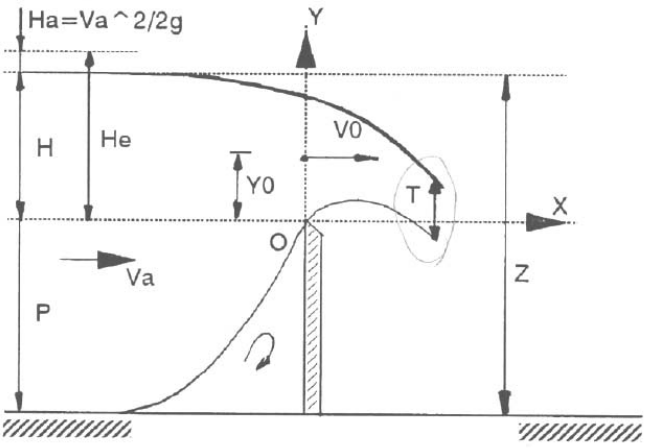


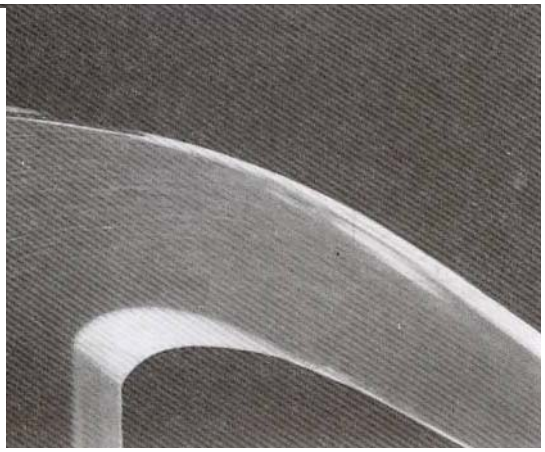
سرریز اوجی

معمولی ترین سرریز که بتواند مقدار زیادی از آب را از روی خود عبور دهد، سرریز اوجی است. چناچه در یک مقطع مستطیلی جلو آب توسط سرریز لبه نازک بصورت شکل زیر گرفته شود، جریانی شکل می گیرد که به شکل منحنی از نوع اوجی است. بسیاری از محققین سعی کرده اند که برای این جریان معادله ای براساس مسیر حرکت ذره آب بدست آورند آورند. مثلا رابطه زیر توسط **Blaisdell**ارائه شده است.

$$\frac{y}{H_e} = 0.15 + 0.055\frac{x}{H_e} - 0.425\left(\frac{x}{H_e}\right)^2 \qquad \frac{x}{H_e} \geq 0.5$$

در این رابطه He بار کل موثر آب روی تاج سرریز می باشد. چنانچه پروفیل سرریز بتنی همانند منحنی زیرین جریان ساخته شود، سرریز ایده آل و فشار روی تاج سرریز معادل فشار اتمسفر است. چناچه بار استاتیکی آب روی تاج سرریز افزایش یابد، فشار روی تاج سرریز در اثر جدائی جریان منفی شده و امکان لرزش در سازه و کاویتاسیون بوجود می آید. چناچه بار استاتیکی آب روی تاج سرریز کاهش یابد، جریان روی بدنه سرریز خوابیده و اصطکاک افزایش و افت انرژی افزایش می یابد.

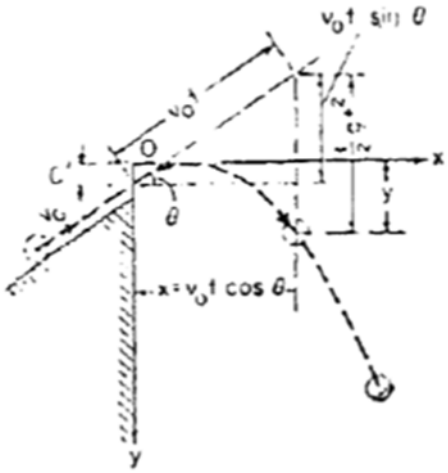


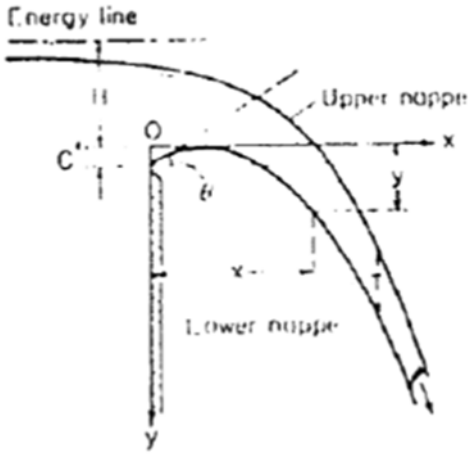


- در سدهای مرتفع شکل تاج سرریز با صرفنظر کردن از بار سرعت جریان تقرب به سرریز طراحی می شود
- در سدهای کوتاه، بار انرژی جریان منظور می گردد. در هر صورت شکل تاج سرریز با انطباق سطح زیرین آب عبوری ایجاد شده روی سرریز طراحی می گردد.

$$x = V_0 t \cos\theta$$

$$y = -V_0 t \sin\theta + \tfrac{1}{2} g t^2 + C'$$





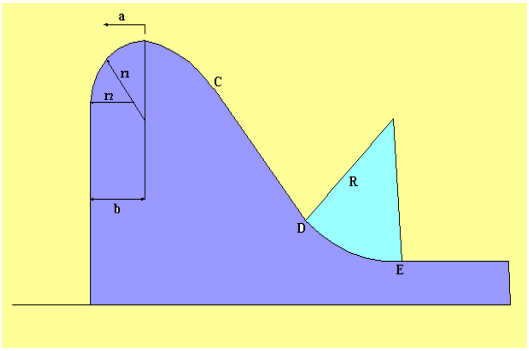
سرریز اوجی WES

معمول ترین نوع سرریز است که در تاسیسات آبی استفاده می شود

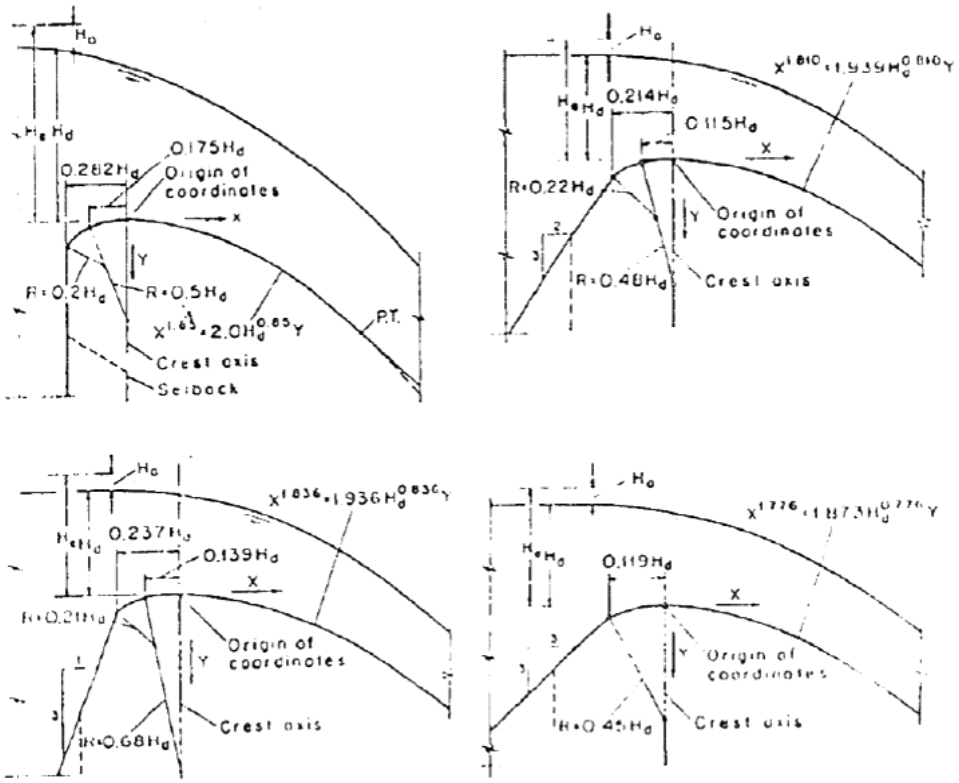
$$\frac{y}{H_d} = -K\left(\frac{x}{H_d}\right)^P$$

$$R = 0.305 \times 10^{\frac{V_1^{+6.4} H_d^{+4.88}}{3.6 H_d^{+19.52}}} \qquad V_1 = \sqrt{2g\,(Z - / H_d/2)}$$

در این رابطه V_1 سرعت در پنجه و Z اختلاف رقوم سطح اب در سراب و کف پنجه و شیب CD بین ۰.۶-۰.۸ است. شکل پروفیل اوجی بالادست و پائین دست بر اساس مطالعات WES مطابق جدول زیر بر مبنای شیب بالادست سرریز، مطابق جدول زیر ارائه شده است. لازم به ذکر است که پایداری سرریز و مقاومت بستر از جمله مبانی انتخاب شیب بالادست شمرده می باشد.



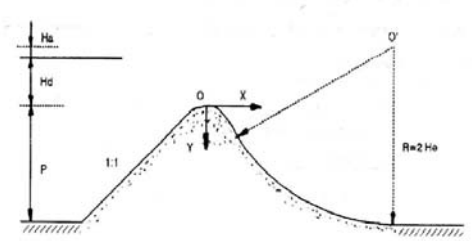
Slope	3/0	3/1	3/2	3/3
a/H_d	0.175	0.139	0.115	0
b/H_d	0.282	0.237	0.214	0.199
r_1/H_d	0.5	0.68	0.48	0.45
r_2/H_d	0.2	0.21	0.22	-
K	0.5	0.516	0.515	0.534
P	1.85	1.836	1.81	1.776



پروفیل سرریز به ازای شیب های بالادست مختلف

طراحی بدنه سرریز کوتاه بدون دریچه روی تنداب

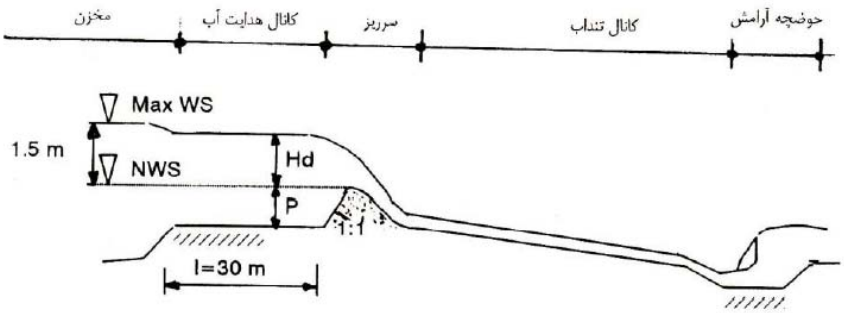
- در شکل سرریز کوتاه برای تنداب دیده می شود. شیب بدنه سرریز در سراب یا به عبارت دیگر بدنه با افق زاویه ۴۰ درجه می باشد.
- برای رسم منحنی تاج سرریز در پایاب از معادلات ارائه شده در جدول که توسط WES پیشنهاد شده
- استفاده می شود. معادلات داده شده با توجه به ارتفاع نظیر سرعت نسبی (Ha/He) و برای سرریز بدون دریچه قابل قبول است.
- دایره ای با شعاع R=2He برای پنجه سرریز در نظر گرفته می شود. این دایره می بایست به صورت مناسب به منحنی های داده شده در جدول و همچنین به کانال تنداب وصل شود.



$\frac{H_a}{H_e}$	$\frac{P}{H_e}$	معادله منحنی تاج سرریز در پایاب
۰/۰	≥ ۱	$X^{1/85} = 1/852\ H_d^{0.85}y$
۰/۰۸	۱ - ۰/۵۸	$X^{1/75} = 1/869\ H_d^{0.75}y$
۰/۱۲	۰/۵۸ - ۰/۳	$X^{1/727} = 1/905\ H_d^{0.727}y$

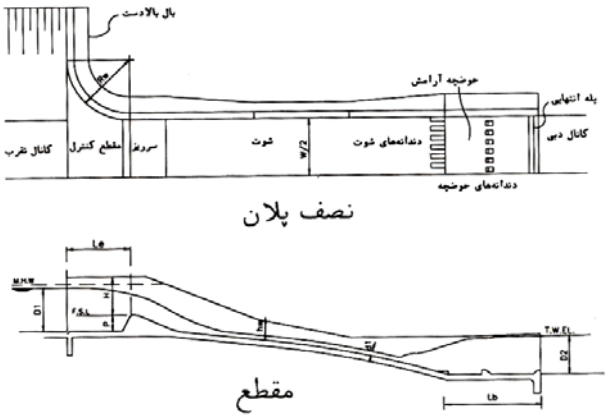
تمرین:

مطلوبست محاسبات هیدرولیکی و طرح بدنه سرریز برای تنداب در شکل . سرریز در فاصله L=30m دور از ساحل دریاچه سد و با ظرفیت ۵۵ متر مکعب بر ثانیه قرار گرفته است. رقوم تاج سرریز ۵/۱ متر پایین تر از حداکثر رقوم سطح آب در مخزن و هم سطح رقوم نرمال آب است. پایه های پل با ضخامت ۵/۰ متر که دماغه آنها به شکل نیمدایره در پلان می باشد، برای سرریز در نظر گرفته شده است. عرض دهانه های پل از ۶ متر تجاوز نخواهند کرد. دیواره ساحلی سرریز با شعاع r=1.5m و با زاویه ۳۷ درجه نسبت به محور طولی سرریز ساخته خواهند شد. ضریب زبری بدنه کانال خاکی جهت هدایت آب n=0.0225 و افت موضعی در دهانه ورودی به کانال ۱/۰ ارتفاع نظیر سرعت در کانال در نظر گرفته شده است.



سرریز شوت

سرریز شوت از یک کانال بتنی با شیب تند نسبتاً طولانی تشکیل می شود. که در بالادست آن مقطع کنترل یا سرریز روگذر قرار دارد و در پایین دست آن مستهلک کننده انرژی به صورت حوضچه آرامش یا پرتاب کننده جامی قرار می گیرد. سرریز شوت معمولاً به همراه سدهای خاکی سنگریزه ای طراحی می گردد. بستر سرریز شوت نیاز به حفاری در سنگ دارد که معمولاً به وسیله عملیات انفجاری برداشت سنگ انجام و از سنگهای برداشت شده، در بدنه سنگریزه ای سد استفاده می گردد. با توجه به شکل ملاحظه می شود که در بالادست مقطع کنترل کانال تقرب قرار دارد که وظیفه آن هدایت آب از مخزن به سرریز به طرقی است که جریان یکنواخت در جهت عمود بر سرریز با دبی در واحد عرض ثابت در آید.



قبل از اینکه جریان از روی سرریز عبور کند، مقطع ورودی قرار دارد که در دوطرف آن بالهای جانبی با انحناء ملایم قرار دارند. مقطع سرریز می تواند دریچه دار یا بدون دریچه باشد. پس از سرریز روگذر، قسمت شوت دیده می شود که از

کانال با مقطع مستطیلی شکلی تشکیل شده و کف آن عبارت است از یک دال بتنی مجهز به سیستم زهکشی در زیر آن و دو طرف آن دیوارهای بتنی قائم قرار می گیرند. عرض شوت ممکن است به شکل تبدیل با عرض متغیر باشد. شیب کف شوت بسته به توپوگرافی محل احداث سرریز، ممکن است متغیر باشد. در پایین دست شوت قسمت مستهلک کننده انرژی همچون حوضچه آرامش استفاده می شود. این حوضچه از کف به صورت دال بتنی دندانه دار و یا بدون دندانه است و دو طرف آن دیوار های بتنی قائم قرار می گیرند.

آرماتورگذاری قسمت اوجی کنترل در تاج شوت سرریز

سرریز شوت- کانال تقرب ورودی

کانال تقرب وظیفه انتقال آب از مخزن به سرریز را دارد و لذا کناره های آن معمولاً در پلان به صورت منحنی می باشند زیرا معمولاً سرریز در کنار یکی از تکیه گاه های سد قرار می گیرد،

- برای تغییر جهت جریان از مخزن به سرریز دیواره کانال معمولاً بشکل قوس دایره با شعاع حداقل سه برابر عرض کانال می باشد.
- طول قسمت ورودی به سرریز باید بر اساس مطالعات روی مدل هیدرولیکی تعیین شود ولی به هر حال حداقل دوبرابر بار آبی بالای تاج سرریز در نظر گرفته می شود. علاوه بر اینکه در این قسمت جریان از حالت سه بعدی به دو بعدی یکنواخت بر روی سرریز در می آید، افزایش طول مذکور در پایداری سازه سرریز روگذر در مقابل لغزش کمک می نماید.
- در بالادست دال بتنی مقطع ورودی تدابیر لازم (دیوار فرازبند) برای کاهش تراوش از سرریز و کاهش فشار بالابرنده زیر شوت لازم است.

دیوار کانال تقرب در بالادست قسمت اوجی شوت سرریز

سرریز شوت- عرض پایه دریچه ها

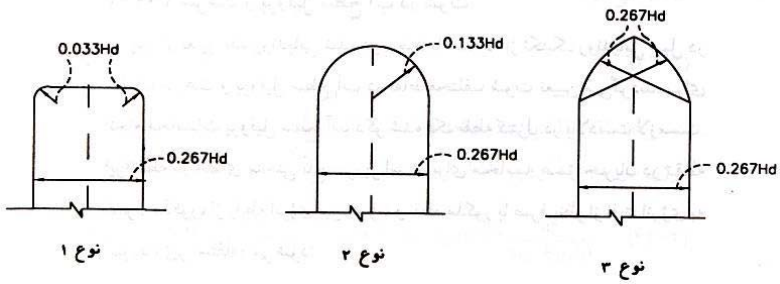
هنگامی که سرریز دریچه دار طراحی می شود، لازم است که بین دریچه ها از پایه استفاده شود که می توان آنها را به عنوان پایه های پل روی سرریز مورد استفاده قرار داد.

ضخامت پایه از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$t = KB\sqrt{H_G}$$

که در آن B عرض دهانه بین دو پایه، HG ارتفاع دریچه و K ضریبی بین ۰۵/۰ تا ۰۸/۰ می باشد.

- پایه باید نوک تیز و شکل خط جریان باشد. همچنین باید حداقل به اندازه بار هیدرولیکی بالای تاج سرریز جلوتر از تاج سرریز امتداد داده شوند. به هر حال شکل آنها باید طوری باشد که از تنگ شدگی مقطع جریان جلوگیری نماید.
- قسمت پایین دست در منطقه جریان فوق بحرانی قرار می گیرد که در آنجا امواج ضربه ای تشکیل می شوند ولی این امواج موضعی هستند و نهایتاً به سمت پایین دست پخش می گردند.
- USBR پایه های زیر را پیشنهاد داده است که در آن Hd بار آبی طراحی سرریز می باشد.



سرریز شوت- کانال شوت

عرض شوت باید طوری باشد که از نظر هیدرولیکی عملکرد مناسب داشته و در عین حال ارزانترین باشد. در سرریز های کوتاه، عرض شوت مساوی عرض مقطع کنترل و حوصچه آرامش در نظر گرفته می شودو بین آنها ارزانترین حالت انتخاب می شود. عرض شوت ممکن است به صورت تبدیل تنگ شونده از محل مقطع کنترل شروع شود. دراین صورت زاویه تبدیل از رابطه زیر تعیین می شود.

$$\tan g\theta < 1/3Fr$$

Fr عدد فرود که بر اساس عمق و سرعت میانگین ابتدا و انتهای تبدیل محاسبه می شود.
پس از تعیین دبی روندیابی در مخزن با استفاده از تکنیک روند یابی سیل در مخزن، سرعت و پروفیل سطح آب در نقاط مختلف شوت تعیین می گردند. برای انجام محاسبات پروفیل سطح آب ذکر شده از یک نقطه کنترل در بالادست شوت - انتهای منحنی تاج سرریز- استفاده می شود. برای محاسبه عمق جریان در نقطه کنترل مذکور، از رابطه انرژی بین مخزن و نقطه مذکور با صرفنظر کردن از افت انرژی به صورت زیر استفاده می شود.

$$H + \Delta y = y_1 + \frac{q^2}{2gy_1^2}$$

Δy اختلاف ارتفاع تاج و نقطه کنترل، H بار آبی بالای تاج سرریز، دبی ، q، بار آبی بالای تاج سرریز H اختلاف ارتفاع بین تاج سرریز و نقطه کنترل و Δy عمق آب در نقطه کنترل می باشد. معادله فوق الذکر دارای سه ریشه می باشد که یکی y منفی و دو مثبت بوده که عدد کوچکتر جواب است.

معادله انرژی بین دو نقطه به فاصله Δx به فرم $E_1 - h_{f1-2} = E_2$ بر روی شوت نوشته می شود.

$$Z_1 + y_1\cos^2\theta + \frac{q^2}{2gy_1^2\cos^2\theta} - S_{fa}\Delta x = Z_2 + y_2\cos^2\theta + \frac{q^2}{2gy_2^2\cos^2\theta}$$

$$S_f = \frac{n^2q^2b^2}{[by\cos\theta/(b+2y\cos\theta)]^{4/3}(by\cos\theta)^2} \quad \text{که} \quad S_{fa} = \frac{S_{f1}+S_{f2}}{2}$$

$$Z_1 - Z_2 = S_0\Delta x$$

S0 شیب بستر سرریز می باشد.

در معادله انرژی مقدار y_2 مجهول و قابل محاسبه است. با محاسبه عمق سرعت در آن مقطع از رابطه روبرو محاسبه می شود. و به همین شکل محاسبات ادامه می یابد.

$$V_2 = \frac{Q}{by_2\cos\theta}$$

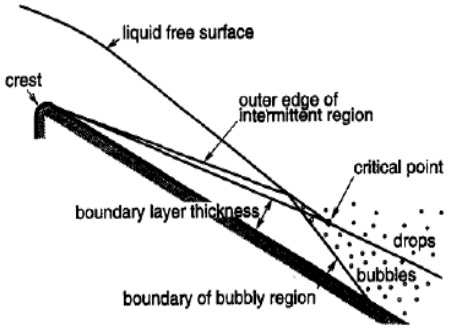
ضریب زبری بتن بین ۰۰۸/۰ تا ۰۱۸/۰ قابل فرض است که ضریب بالاتر برای محاسبه دیوارها و ضریب کوچکتر برای محاسبه سرریز و حوضچه آرامش استفاده می شود.

سرریز شوت- کانال شوت و رشد لایه مرزی

در سرعت بالا کاویتاسیون یکی از شایع ترین اتفاقات در سرریز شوت می باشد که جهت جلوگیری از آن هوادهی توصیه می شود. از طرف دیگر رشد لایه مرزی و برخورد آن به سطح آب نیز باعث هواگیری سطحی می شود. این هواگیری بعد از طی مسافتی به بستر تندآب رسیده و شرایط وقوع کاویتاسیون را تحت تاثیر قرار می دهد.
ضخامت لایه مرزی متلاطم از فرمول زیر محاسبه می گردد.

$$\delta = 0.38\left(\frac{\nu}{V}\right)^{0.2}L^{0.8}$$

در این رابطه سرعت متوسط جریان و ضریب لزجت سینماتیکی و فاصله تا ابتدای تنداب مطرح می باشد. رابطه دیگری نیز توسط ارتش آمریکا به فرم زیر ارائه شده که در آن k ضریب زبری مطلق سطح بین ۶/۰ تا ۲ میلیمتر می باشد.



$$\frac{\delta}{L}=0.08\left(\frac{k}{L}\right)^{0.233}$$

به اعتقاد Wood و همکارانش در سال ۱۹۸۳ اولین نکته در هوادهی طبیعی محل شروع هوادهی است. وی این نقطه برخورد را "نقطه بحرانی" نامید. پایین دست نقطه بحرانی ورود هوا تا برقراری یک تعادل بین ورود و خروج هوا افزایش می یابد. فرمول زیر که برای رشد لایه مرزی توسط Wood و همکارانش در سال ۱۹۸۳ پیشنهاد شد.

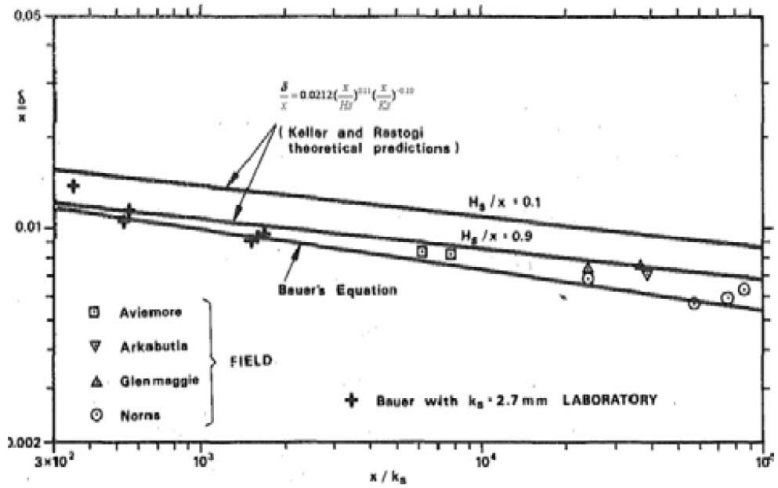
$$\frac{\delta}{x_s}=0.0254\left(\frac{x_s}{k_s}\right)^{-0.135}$$

$$\frac{\delta}{x}=0.0212\left(\frac{x}{H_s}\right)^{0.11}\left(\frac{x}{K_s}\right)^{-0.1}$$

در سال ۱۹۳۹ رابطه زیر توسط Hichox تا رسیدن به نقطه بحرانی پیشنهاد شد.

$$L_e=14.7q^{0.53}$$

محدوده سرعت در حد ۲۰ متر بر ثانیه به بالا با حساسیت و از ۳۰ متر بر ثانیه با احتمال وقوع کاویتلسیون بررسی شود. اندیس کاویتاسیون مجاز در محدود ۲/۰ تا ۲۵/۰ مد نظر قرار گیرد. در مسیر شوت متناسب با توپوگرافی انحنای قائم ضرورت دارد که بر اساس حرکت پرتابی طراحی می شوند که اندیس کاویتاسیون مجاز این حالت بالاتر و با مطالعات هیدرولیکی نهائی می شود. در صورت بروز مشکل استقرار هواده در بالادست توصیه می شود.. (بحث تغییر شیب بعدا بحث می شود)



مقایسه نتایج رشد لایه مرزی

سرریز شوت- کانال شوت و رشد لایه مرزی و غلظت هوا

با ورود هوا از طریق سطح و نفوذ آن به داخل جریان در اثر مکانیزم آشفتگی حبابهای هوا به دست جریان سپرده شده و با جریان یکنواخت به پائین دست حرکت می نماید.

در اثر نیروی شناوری و اختلاف جرم مخصوص هوا و آب مقداری از حبابهای هوا به تدریج از جریان خارج شده تا اینکه میزان هوای ورودی و خروجی به تعادل می رسد.

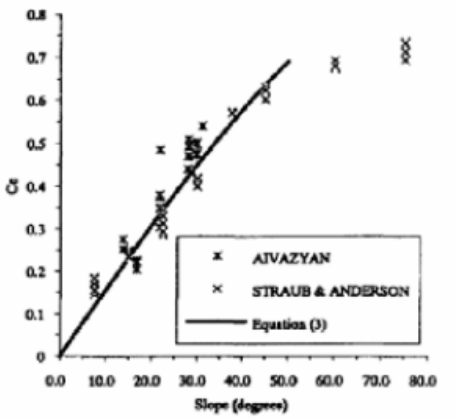
- پایین دست نقطه ورود هوا، لایه مخلوط آب- هوا به صورت تدریجی شروع به رشد خواهد کرد. کمی پایین تر جریان یکنواخت شده و برای یک دبی داده مشخص عمق جریان، غلظت هوا و توزیع سرعت در طول مسیر شوت تغییر نخواهد کرد. این ناحیه را به عنوان "ناحیه جریان یکنواخت" تعریف می کنند

Knauss در سال ۱۹۷۹ مقدار هوای وارد شده را به شکل زیر تخمین زد.

$$C = 1.44\sin\theta - 0.08$$

Chanson در سال ۱۹۹۳ بر این باور بود که اثر متقابل بین تنش برشی، غلظت هوای لایه مرزی و توزیع سرعت در نزدیکی سطح کانال ممکن است پروسه کاهش اصطکاک را توجیه کند. وی رابطه زیر را برای غلظت هوا پیشنهاد کرد

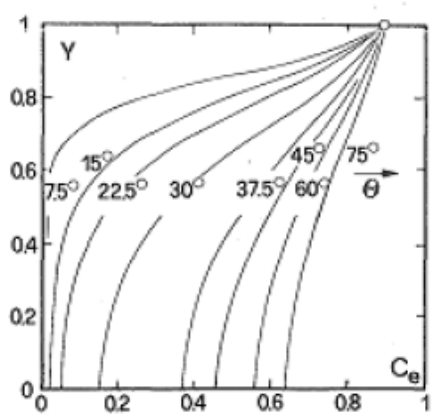
$$C = 0.9\sin\theta \qquad \theta < 50°$$



Wood در سال ۱۹۸۳ بر این باور بود که اگر C0 غلظت هوا در کف کانال مهم بوده و رابطه زیر را پیشنهاد نمود :

$$C_0 = 1.25(\frac{\pi}{180}\theta)^3 \qquad 0 \le \theta \le 40°$$

$$C_0 = 0.65\sin\theta \qquad 40° < \theta < 80°$$



غلظت هوای میانگین در کانالهای صاف نیز توسط محققان مختلف بررسی و روابطی مطابق نمونه های زیر ارائه شد.

$$C_{mean} = 0.5027(\frac{\sin\theta}{q_w^{2/3}})^{0.385}$$

Anderson در سال ۱۹۵۵

$$C_{mean} = 1 - \frac{1}{1+0.2(Fr_0-0.6)^{1.5}}$$

Volkart در سال ۱۹۸۳

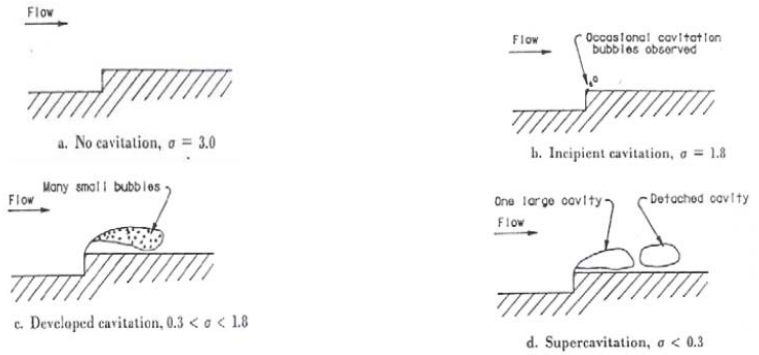
سرریز شوت- کانال شوت و کاویتاسیون

در سرریزها معمولاً ناهمواریهایی وجود دارد که ممکن است ناشی از هندسه سازه، پله های تیز، درزهای اجرایی، نشست موضعی و ضعف اجرای بتن باشد. این ناهمواریها باعث جدایی جریان همراه با کاهش شدید فشار موضعی در پشت ناهمواری می شود. بنابراین با توجه به سرعت زیاد جریان، فشار در ناحیه جدایی ممکن است به حد کمتر از فشار بخار آب برسد.

کاویتاسیون مشابه عمل جوشیدن آب است با یک فرق اساسی که جوشیدن از حالت مایع به حالت بخار به وسیله تغییر درجه حرارت و ثابت نگه داشتن فشار است، در صورتی که کاویتاسیون از حالت مایع به حالت بخار با تغییر فشار محلی و ثابت ماندن دما می باشد. اندکس کاویتاسیون با کمک رابطه برنولی برای جریان دائمی بین دو نقطه از خط جریان، ضریب فشار به شکل زیر بدست میآید. در شکل توسعه کاویتاسیون قابل ملاحظه است.

$$\sigma = \frac{\frac{P_{atm}}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} + h\cos\theta \pm \frac{h}{g}\frac{V_0^2}{R}}{V_0^2/2g}$$

(+ در انحنای محدب) و h عمق جریان عمود بر کف است. در شکل توسعه کاویتاسیون قابل ملاحظه است.



Ball در سال ۱۹۷۶ نشان داد که که در سرعتی معادل ۲۳ متر بر ثانیه حتی در برجستگیهایی معادل یک میلیمتر نیز خوردگی رخ میدهد. Chanson در سال ۱۹۸۵ از نتایج بدست آمده از مطالعات خود نشان داد که در سرعتی برابر با ۳۰ متر بر ثانیه حتی در فرورفتگیهایی معادل ۳ میلیمتر نیز خوردگی رخ میدهد.

- زبری سطوح را میتوان به دو نوع زبری مجزا و زبریهایی با توزیع یکنواخت تقسیم کرد. زبریهای منفرد یا مجزا شامل ناهمواری منفرد و هم ترازی نامناسب میباشد.
- با توجه به امکانات معمولی اجرای سرریز ، غالباً شیب ناهمواریهای سطح بتن در حد ۱:۲۰ می باشد گه با اندکس بحرانی ۲۵/۰ تا ۲/۰ متناظر است.

معمولا ترکیبی از شرایط هندسی، هیدرولیکی و عوامل مختلف دیگر منشاء ایجاد کاویتاسیون در سازههای هیدرولیکی است.

- شرایط هندسی (ناهمواری سطحی سازه، وجود سازههای جانبی مستعد ایجاد کاویتاسیون در سازه اصلی همچون شکاف های دریچه های کشویی و پایه های دریچه های قطاعی پایه ها، درزهای اجرایی؛ جداکنندهها و منحرف کنندههای جریان؛ دهانه های مجرا؛ تغییر شکل مجرای جریان و انحنای جریان در آبراهها)
- شرایط هیدرولیکی (پارامترهای جریان(سرعت و فشار)، پیشرفت لایه مرزی، فشار بحرانی که در آن حباب تولید میشود و نوسانات فشار)
- شرایط دیگر (عملکرد دریچه ها، دمای آب و نوریع و تعداد اندازه حباب هوا در آب)

سرریز شوت- نمونه هایی از اندیس کاویتاسیون در سدها

عدد کاویتاسیون و بدههای بحرانی سرریزهای مختلف ساخت U.S.B.R

سرریز	نوع سرریز	عدد کاویتاسیون در محل هوادهنده	بده بحرانی (درصدی از دبی ماکزیمم)
بلومسا[1]	تونلی	۰/۲۲	۳۰
فلامینگ گورج[2]	تونلی	۰/۱۹	۵۲
گلن کانیون[3]	تونلی	۰/۱۴	۱۴
هوور[4]	تونلی	۰/۱۸	۱۹
مک نی[5]	شوت	۰/۱۹	۱۰۰
یلوتیل[6]	تونلی	۰/۱۳	۱۶

- سد Glen Canyon در ایالت آریزونای آمریکا، در دهه ۱۹۶۰ روی رودخانه colorado احداث شد. تجمع رسوبات در ترکهای لایه پوششی باعث تخریب کاویتاسیون در نقاط مختلف سرریز چپ شده بودند و نیز تخریب کمی در سرریز راست روی داده بود.
- سد Blue mesaدر آمریکا بر روی رودخانه Gunnison احداث شد. با بازدید سرریز محدوده ای از تخریب کاویتاسیون مشاهده شد. در پایین دست حفرهایی که در اثر بیرون آمدن تکه هایی از پوشش بتنی ایجاد شده بود، تخریب کاویتاسیون آغاز شده بود.
- سد Flaming Gorge در آمریکا بر روی رودخانه Greenساخته شد. این سرریز به علت هوادهی جریان و هواگیری از شکافهای بزرگ دریچه، تخریبی در آن صورت نگرفت. تنها در سرریز تونلی محدوده ای از بتن ضعیف بود.
- سد Hoover در آمریکا بر روی رودخانه Colorado ساخته شد. در سرریز آریزونای آن تخریبی شدید به علت انحراف در تونل اتفاق افتاد.
- سد Kordes بر روی رودخانه North Platte ساخته شد. در سال ۱۹۸۳ تخریب کاویتاسیونی بر روی دیواره تونل به علت بالا آمدن لایه نازکی از آب بر ر
- سد Yellowtail در آمریکا بر روی رودخانه Bighorn ساخته شد. کاویتاسیون باعث ایجاد حفره ای به عمق ۲.۱ متر و طول ۱۴ متر و عرض ۵.۹ متر بر روی سرریز تونلی در سال ۱۹۶۷ شد.
- سدبتنی Libby در آمریکا بر روی رودخانه Kotenai با ارتفاع زیاد ساخته شد. در ابتدای بهره برداری در سال ۱۹۷۲ تخریب کاویتاسیون شدیدی در دو آبراه آن ایجاد گردید.
- سد شهید عباسپور (کارون ۱) بر روی رودخانه کارون یک سد بتنی از نوع قوسی به ارتفاع ۲۰۰ متر میباشد. آثار تخریب در قسمت انتهایی شوت و حتی در سطح باکت سرریز ظاهر گردید . سمت چپ سرریز حفره ای به عرض ۱۸ متر (تقریبا تمامی عرض سرریز) به طول ۲۰ متر و عمق ۱.۵ متر به وجود آمد که باعث گسسته شدن آرماتورها در کف بتن سرریز شد.

سرریز شوت- تخریب بر اثر کاویتاسیون سد شهید عباسپور

سرریز شوت- کانال شوت و هوادهی مصنوعی

برای تامین غلظت لازم هوا در محل مورد نظر کفایت نکند، میتوان از سازه هواده استفاده نمود.

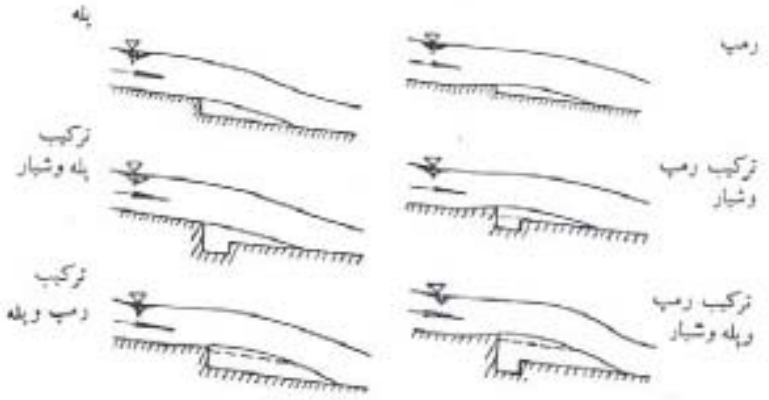
- Pinto در سال ۱۹۵۰ نشان داد که با ورود ۲ درصد هوا میزان تخریب هوادهی به میزان زیادی کاهش و با ۶ الی ۸ درصد هوا تخریب کاویتاسیون منتفی شد. بعد از این تحقیق بود که تجربه اجرای هواده در سد Yellowtailمطرح و اجرا شد.
- Sheehan و Russell در سال ۱۹۷۴ اظهار کردند که هوای ورودی در مقابله با کاویتاسیون تاثیرگذار است، چرا که چنانچه هوا در منافذ موجود باشد، باعث کاهش فشار حاصل از ضربات ناشی از امواج شوک و تخریب کاویتاسیون است. حضور حباب های هوا در آب باعث کاهش سرعت و بزرگی امواج شوک، در سطح مجرا می شود.
- آزمایشهای انجام شده به وسیله Pinto در سال ۱۹۸۸ نشان داد که هر چه عدد فرود جریان آب بیشتر باشد، میزان هواگیری نیز بیشتر خواهد بود.
- Kavianpour در سال ۱۹۷۶ به بعد در مطالعات آزمایشگاهی خود بر روی جریان در پائین دست موانع نشان داد که با ورود هوا نه تنها میانگین فشار، و مهمتر از آن نوسانات فشار نیز به میزان قابل توجهی کاهش یافته که به معنی تغییر استراکچر جریان و ماهیت دینامیکی آن و در نتیجه کاهش فشار موضعی می باشد.

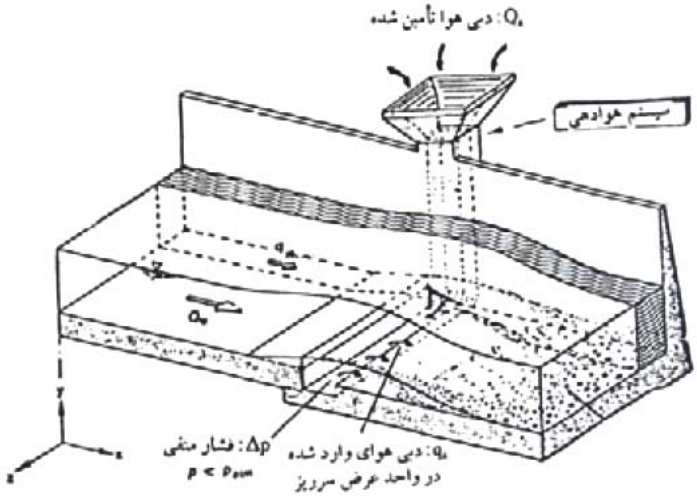
مجموعه این مطالعات طرح استقرار هواده های مصنوعی جهت کاهش کاویتاسیون و سایر پدیده های مخرب همچون سایش و غیره در سازه های هیدرولیکی را توجیه کرد

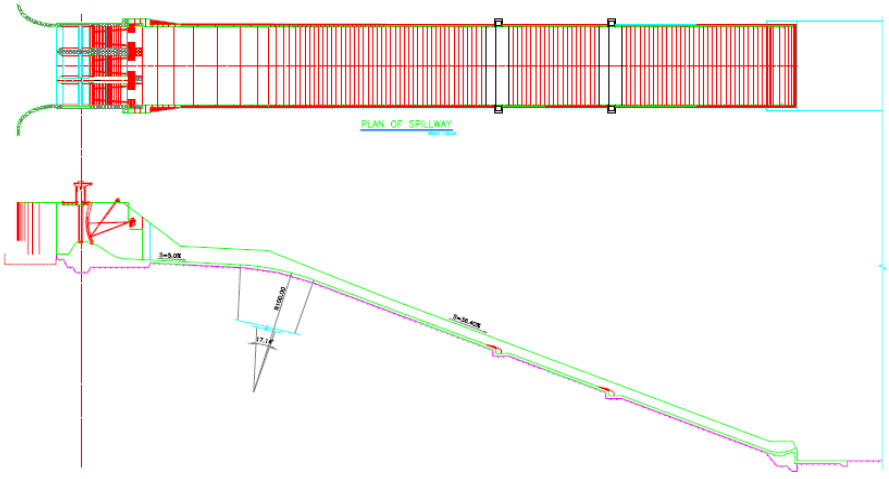
انواع هواده شامل دفلکتور، شیار، پله و ترکیبی از آنها است.

- علت استفاده از دفلکتور، بلند کردن جریان از کف است تا هوا از زیر آن وارد جریان شود. این کار بدون کمک از روشهای مکانیکی مانند پمپ هوا که نیاز به صرف انرژی دارد، انجام می شود. انتهای دفلکتور، گرادیان فشار در طول جت آب منفی شده و سرعت بالا آمدن حباب هوا تحت این گرادیان منفی افزایش می یابد.
- شکاف یا مجاری هوا برای توزیع هوا در عرض ورودی هواده مورد استفاده قرار میگیرد.
- پله در شیب مسطح برای جلوگیری از مستغرق شدن هواده به وسیلهٔ بخشی از جریان جت که به مرز پایین دست ضربه میزند استفاده می شود.
- غالباً از رمپ یا پله جانبی، برای تامین هوا در پایین دست دریچه های کنترل نیز استفاده میشود.

- در سرریزهای عریض، معمولاً از مجرای تامین هوا در دیوار جانبی استفاده می شود. یک مجرای تامین هوا، لوله ای است با مقطع مستطیلی یا دایروی است که هوا را از اتمسفر به سطح زیرین جت هدایت می کند. سطح مقطع مجرای تامین هوا باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا سرعت هوا در مجرا از حد مجاز بیشتر نشود.







هواده های مستقر روی سرریز شوت سد آزاد

مطالعات انجام شده عوامل موثر بر طول جت و دبی هوای ورودی و افت فشار و غلظت هوای کف را ارائه نموده اند. این عوامل شامل :

$$L_{jet}, Q_{air}^{inlet}, \Delta P, C_b = f(\rho_w, \rho_{air}, \mu, \xi, g, \theta, W, K_s, t_s, L_g, A_d, \varphi, L_{ramp}, V, d_0, \acute{U})$$

μ لزجت دینامیکی آب، ξ کشش سطحی بین آب و هوا، W عرض کانال، Ks زبری یکنواخت معادل، t_s ارتفاع پله، V سرعت آب، Lg طول حفره، Ad مساحت مجرای هوا، φ زاویه بین رمپ و سرریز، L_{ramp} طول رمپ، do عمق جریان ورودی به رمپ، $\check{U}$ مجذور میانگین مربعات محوری شدت آشفتگی میباشد.

این پارامترها در شکل بی بعد و با صرفنظر از متغیرهای با درجه اهمیت کمتر (رینولدز بزرگتر از 10^5 و وبر بزرگتر از ۴۰۰ به نقل از Pinto در ۱۹۸۴)به شکل زیر ساده می شود (هندسه هواده؟).

$$\frac{L_{jet}}{d_0}, Q^{inlet}, C_b = f(R_e, Fr_0, W_e, T_u, P_N)$$

$R_e = \frac{\rho_w V d}{\mu}$: عدد رینولدز، $Fr_0 = \frac{V}{\sqrt{gd}}$: عدد فرود اولیه، $W_e = \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma t}{\rho h}}}$: عدد وبر،

$T_u = \frac{\acute{U}}{V}$: شدت آشفتگی، $P_N = \frac{\Delta P}{\rho_w g d}$: گرادیان فشار

Pinto در سال ۱۹۸۷ رابطه ای جهت محاسبه ضریب βبرای هواده ها که حاصل از پردازش داده های واقعی سدهای Tarbela و Emborcacao و Foz do Areia بود به صورت زیر ارائه نمود.

$$\beta = 0.29(Fr_0 - 1)^{0.62}\left(\frac{t}{h}\right)\left(\frac{D}{h}\right)^{0.59}$$

$D = \frac{\overline{C}A}{b}$عدد فرود، $\overline{C}$ ضریب افت، A سطح مقطع روزنه هوا در پایین برج هوارسان

h ارتفاع آب و b نصف عرض تنداب (سهم مربوط به یک برج هوارسان)

با توجه به مطالعات *پینتو برای سدهای مذکور ضریب* $\check{C}$ بین ۷۱/۰ و ۹۷/۰ متغیر بوده و گستره قابل توجهی را پوشش می دهد.

Wood در سال ۱۹۸۴ نشان داد که β به فشار منفی زیر جت، هندسه رمپ و عدد فرود وابسته است و به کمک با بررسی داده های سد فوز دو اریا برحسب ΔPاختلاف فشار زیر جت و بالای رمپ و t/*ارتفاع رمپ ارائه داد.*

$$\beta = 0.0079(Fr - 4.3) - 0.16\left(\frac{t}{h}\right)\left(\frac{\Delta P}{\rho_w g h}\right)$$

کاویانپور در ۱۹۹۱ بر اساس شیب سرریز و طول رمپ و ارتفاع تیغه آب و فشار و عدد فرود جریان رابطه زیر را ارائه داد.

$$\beta = e^{1.179}(Fr_0)^{1.136}(P_N)^{0.352}\left(\frac{L_{ramp}}{h}\right)^{0.278}(ton\theta)^{0.092}$$

سرریز شوت- کانال شوت و طراحی هوادهی متوالی

در ارتباط با طراحی هواده ابتدا تامین طول جتی که پوشش دهنده طولی از سرریز با اندیس کاویتاسیون زیر بحرانی باشد مد نظر باید قرار گیر. این هواده در بالادست این منطقه قرار می گیرد.

سپس استقرار هواده های متوالی راهکار طراحی هندسی هواده برای طول قابل توجه سرریز با شرایط بحرانی است که در کنار تامین ۶-۸٪ هوا در کف باید مد نظر قرار گیرد.

تغییرات درصد کاهش غلظت هوا با فاصله *Kudriashov - Prusza*

نوع مقطع	درصد کاهش برای هرمتر
مستقیم	0.15-0.2
مقعر	0.5-0.6
محدب	0.15-0.2

May نیز رابطه روبرو را توصیه نموده است.

$$Cx = (C_o - C_a)\, e^{-0.017(Lx - Li)}$$

Cx = غلظت میانگین هوا در فاصله Lx از هوا دهنده Lx = فاصله از محل هوادهنده تا نقطه مورد نظر

Co = غظت میانگین هوا در محل شروع تهویه طبیعی Li = فاصله از محل هوادهنده تا محل شروع تهویه طبیعی

در نقطه شروع هواگیری طبیعی غلظت هوا از رابطه زیر بر اساس عدد بوسینسک تعریف گردیده است.

$$Ca = \frac{\beta}{1+\beta} = 1 - \frac{1}{0.02\,(B_o-6)^{1.5}+1} \qquad B = \frac{V}{gR_h}$$

گام های طراحی

۱. **شکل سرریز انتخاب می شود**
۲. **حدود اندیس کاویتاسیون در طول محاسبه می شود**
۳. **حدود ناهمواری بر اساس عدد کاویتاسیون محاسبه شده تعیین می شود**
۴. **برای مناطق نامطلوب شکل سرریز تعدیل شود**
۵. **مراحل ۲ تا ۴ تکرار شود تا شکل سرریز نهائی شود. چنانچه جواب مطلوب حاصل نشد مراحل بعد دنبال شود.**

۶. **محل هواده و شکل آن شامل طول و ارتفاع و زاویه و شیار تعیین شود**
۷. **برای هر هندسه منحنی هوادهی بر اساس زیر فشار تعیین شود**
۸. **مجرای هوا بر اساس سرعت در محدوده ۶۰-۷۰ متر بر ثانیه با لحاظ افت مسیر تعیین شود.**
۹. **توزیع غلظت در طول مشخص شود و سپس محل هواده دوم تعیین شود**

سرریز شوت- کانال شوت و ارتفاع آزاد

برای محاسبه ارتفاع دیوار شوت باید پروفیل سطح آب محاسبه و همچنین اثرات امواج سطحی و هوادهی سطحی ناشی از برخورد لایه مرزی به سطح آب ملاحظه شود. در این رابطه استفاده از مدل هیدرولیکی با دقت جداگانه به هواگیری سطحی که نیازمند مقیاس ۱:۱۰ و بزرگتر است توصیه می شود.
ارتفاع آزاد به علت امواج سطحی و هوادهی باید در نظر گرفته شود که بنابر توصیه USBR رابطه زیر استفاده می شود.

$$F.B = 0.6 + 0.0051\ Vd^{1/3}$$

در این رابطه d عمق جریان و V سرعت جریان و F.B عمق آزاد بر حسب متر است.
در صورتی که تغییر شیب به شیب کمتر ضروری باشد انحنائی با رابطه زیر بر حسب فشار دینامیکی وارد به کف (KN/m^2) (معمولا معادل ۸/۴) و عمق آب d (m) و سرعت جریان V (m/s) استفاده شود. تذکر آنکه شعاع بدست آمده از ۵ برابر عمق جریان بیشتر نشود.

$$R = \frac{dV^2}{P}$$

در صورتی که تغییر شیب به شیب بزرگتر باشد، منحنی وصل کننده دوشیب بصورت سهمی بر اساس حرکت پرتابی با شیب بالادست شوت S_1 و شتاب دو سوم ثقل برای ایجاد منحنی طولانی تر برای کاویتاسیون توصیه می شود.

$$y = x\,S_1 + g\,\frac{x^2}{3V^2}\,(1+ S_1^2)$$

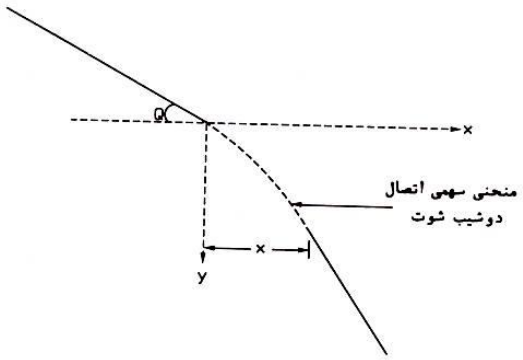
با مساوی قراردان مشتق رابطه برابر شیب پائین دست S_2 منحنی بدست میاید.

$$X = \frac{3(S_2 - S_1)}{1+ S_1^2}\,\frac{V_1^2}{2g}$$

موسسه USBR رابطه زیر را برای محاسبه قوس قائم توصیه نموده است

$$y = x\tan\theta + \frac{x^2}{K[4\ (d + V^2/2g)\cos^2\theta]}$$

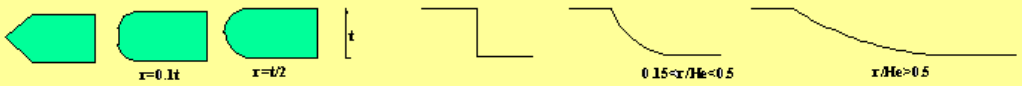
در این رابطه K ضریبی است حداقل برابر ۵/۱ و θ زاویه شیب بالادست است.



ضریب دبی سرریز اوجی

- ضریب آبگذری ابتدا از منحنی جهت براورد اثر هد و هندسه سرریز و شیب بالادست تعیین می شود
- سپس تعیین اثر کف بند و استغراق مورد بررسی قرار می گیرد
- قرارگیری پایه پل باعث فشردگی جریان گشته و لذا طول موثر سرریز کاهش می یابد

$$L' = L - 2He(N.Kp + Ka)$$

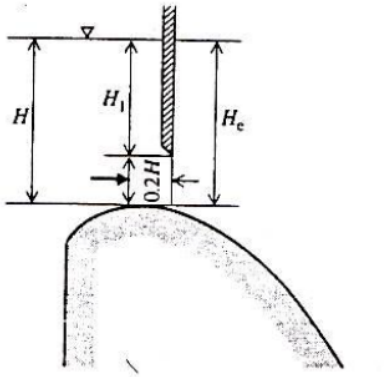


$Kp = 0$ Kp = 0.02 Kp = 0.1 Ka = 0.2 Ka = 0.1 Ka = 0

سرریز اوجی دریچه دار

چنانچه برای تنظیم دبی از سرریز با دریچه استفاده شود، امکان ایجاد خلاء در پایین دست دریچه زیاد است. برای اجتناب از این امر اولاً لبه پایین دریچه می بایست ۲/۰H از راس تاج بطرف پایین دست قرار بگیرد و ثانیاً منحنی تاج سرریز در این ناحیه بصورت زیر باشد:

$$X^2 = 4H_d y$$



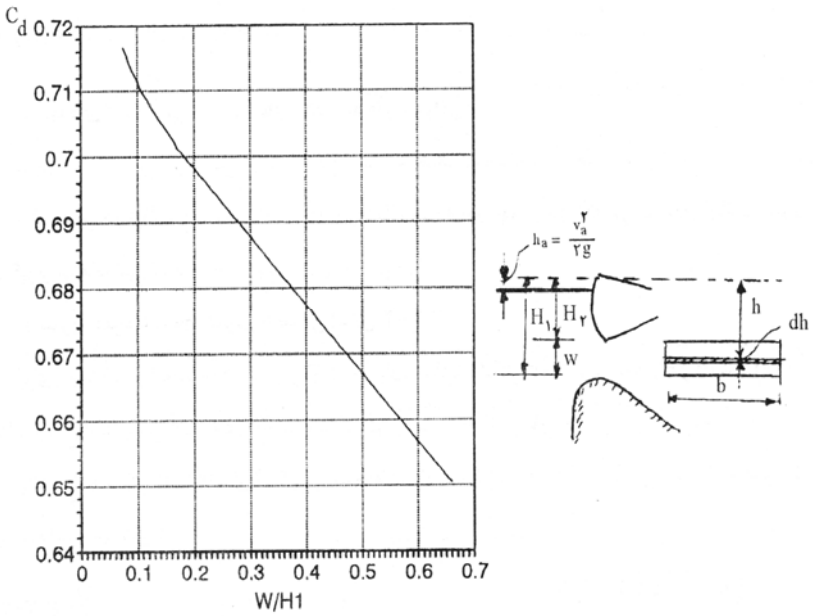
چناچه امکان انحناء دادن تاج سرریز نباشد، شیب بدنه سرریز در پایاب 1V:3H یا ملایم تر انتخاب شود. در این حالت شیب بدنه سرریز در سراب 1V:2H انتخاب شود.

باید توجه داشت که در سرریز با دریچه افت اصطکاک در مقام مقایسه با سرریز بدون دریچه، بخاطر طویل تر شدن مقطع طولی آن، بیشتر است که در نتیجه ضریب دبی جریان قدری کمتر می شود.

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\,C_d L\left(H_1^{3/2} - H_2^{3/2}\right)$$

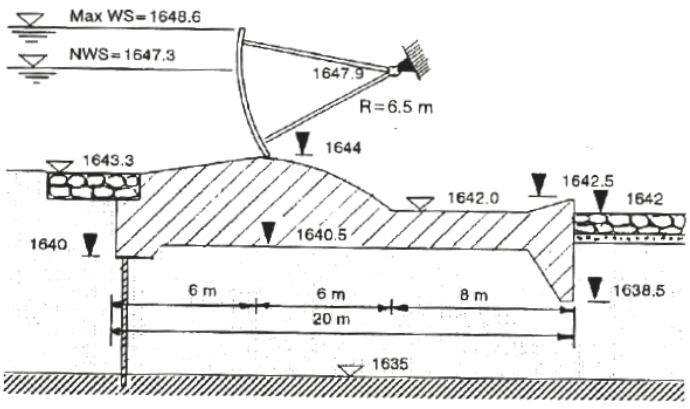
$$dis\,tance\ \ from\ \ crest = 0.2H_2 \qquad (Cavitation)$$

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



تمرین :

برای سد نکوآباد که مقطع طولی آن در شکل زیر نشان داده شده است، منحنی تاج سرریز در پایاب را محاسبه نمایید.



تمرین :

در کانال ذوزنقه ای با عرض کف b=0.5m، و شیب جانبی m=1 سرریز لبه پهن با مقطع مستطیلی با ارتفاع P=0.15m و عرض دهانه bc=0.2m و طول L=0.6m مطلوبست محاسبه:

الف- دبی جریان در صورتی که He=0.24m باشد.

ب- بار استاتیکی آب روی تاج سرریز H

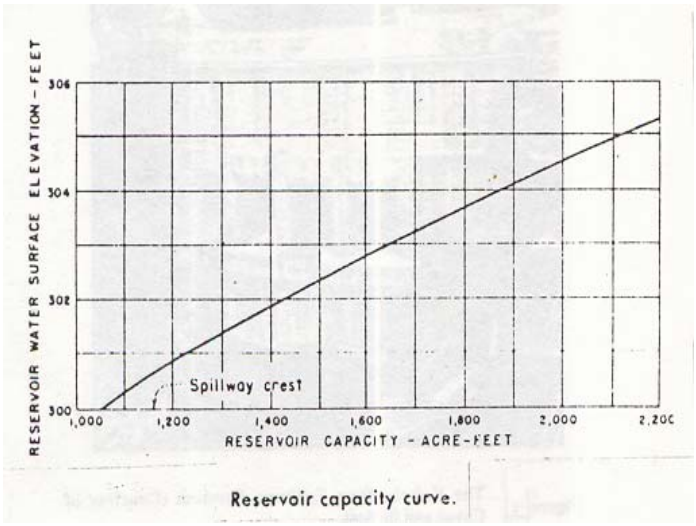
اثر سطح آب در پایاب بر ضریب دبی جریان اثری ندارد و شیب بدنه سرریز در سراب مایل است.

تعیین ارتفاع سد و ابعاد سرریز

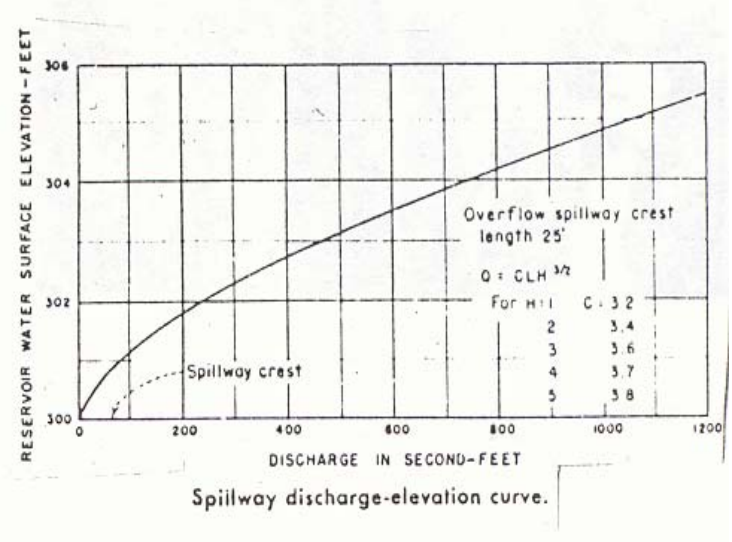
نیازها:

۱. منحنی ارتفاع-حجم
۲. منحنی دبی-اشل
۳. منحنی عرض سرریز-دبی
۴. منحنی هزینه و مشخصه سد و سرریز

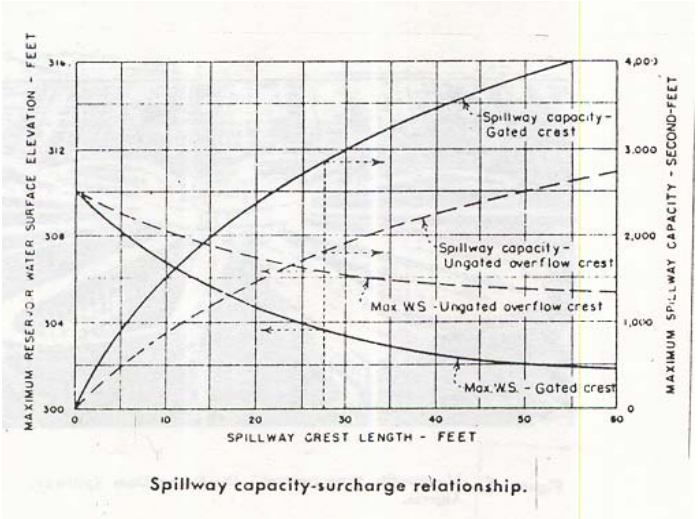
بعد از تعیین منحنی هزینه، عرض سرریز و ارتفاع سد و در نتیجه هد طراحی سرریز بر اساس نقطه مینیمم منحنی مجموع هزینه سد و سرریز قابل تعیین می باشد



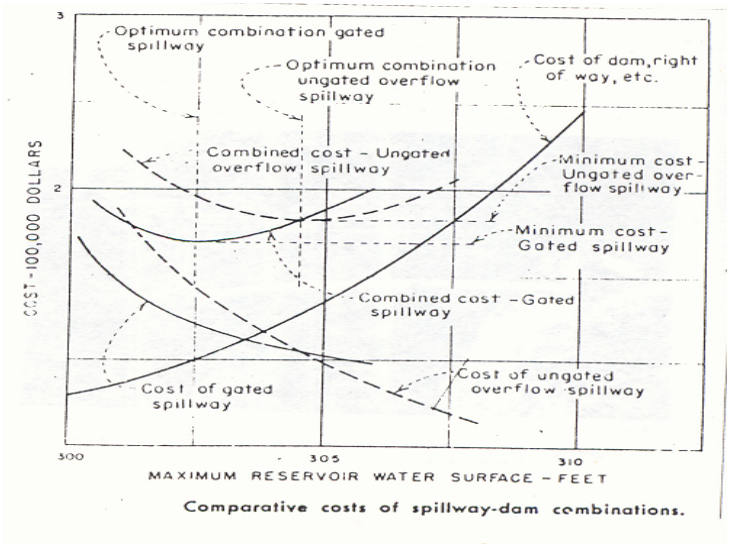
نمونه ای از منحنی حجم مخزن و تراز ارتفاع



نمونه ای از منحنی دبی سرریز و تراز ارتفاع



نمونه ای از منحنی عرض سرریز و دبی سرریز و تراز ارتفاع



نمونه ای از منحنی هزینه احداث سد و سرریز و تراز ارتفاع آب مخزن

مستهلک کننده های انرژی

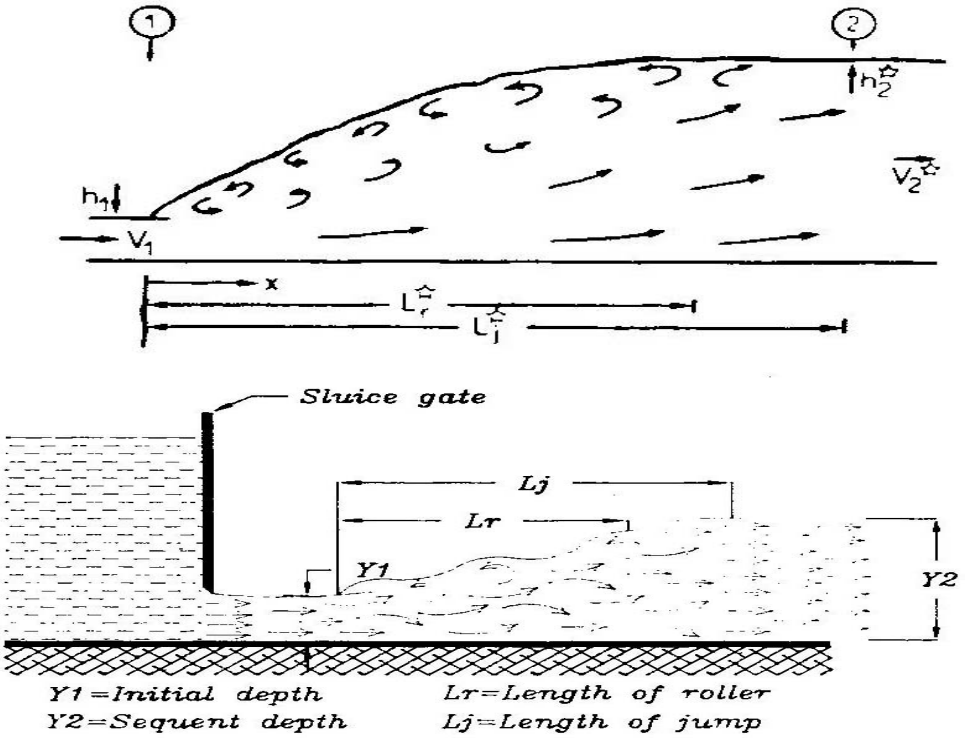
اگر یک مقدار آب به یک حوضچه فرو بریزد ، مقداری انرژی به حوضچه وارد می شود و این انرژی هیدرولیکی وارده مستهلک می شود . طبق تحقیقات انجام شده، انرژی مکانیکی نسبت معکوس با گرما دارد اما این میزان بسیار کم است مثلاً برای سقوط آب از ارتفاع ۱۰۰ متری فقط **0.24°C** به دمای آب اضافه می شود که از آن می توان صرفنظر نمود. از این رو مهندسان هیدرولیک،مستهلک کننده های انرژی را برای استهلاک انرژی هیدرولیکی به کار می برند.

- جهش هیدرولیکی

پدیده ای است که در طی آن جریان با تغییر سریع از رژیم فوق بحرانی به رژیم زیر بحرانی انتقال می یابد

کاربرد

استهلاک انرژی در حوضچه های آرامش سدها



برای محاسبه راندامان جهش رابطه تقریبی زیر نیز توسط بعضی محققین پیشنهاد گردیده است :

البته برای بدست آوردن افت انرژی در جهش روابط دقیق تری نیز وجود دارد. به عنوان یک تقریب برای $F1<3$ راندمان جهش کمتر از ٪ ۳۰ اعلام و با افزایش عدد فرود ورودی راندمان فوق افزایش می یابد، به طوری که به ازای $F1=5$ راندمان جهش به ۵۰٪ و برای $F1>9$ به ۷۰٪ خواهد رسید.

خصوصیات پدیده

- آشفتگی شدید جریان

حرکت های گردابی با فرکانس پائین

نوسانات شدید فشار

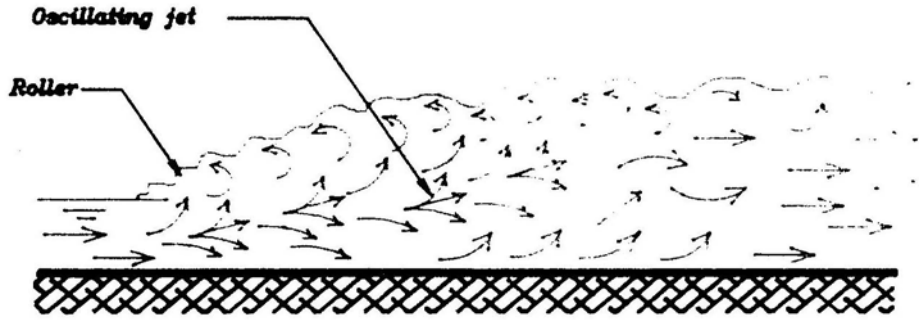
ماهیت تصادفی پدیده

- اختلاط هوا

طبقه بندی جهش

- اگر $F_1=1$ باشد، جریان ورودی با عمق بحرانی وارد شده و جهش اتفاق نخواهد افتاد. در این حالت انرژی مخصوص جریان حداقل می باشد.
- اگر $1<F_1<1.7$ باشد، اختلاف بسیار کمی بین y_1, y_2 وجود داشته و افت انرژی نیز بسیار محدود می باشد. موج ایجاد شده دارای پیشانی مشخصی نبوده و تنها تلاطم مختصر حاصله در سطح آب می تواند این نوع جریان را از جریانی بحرانی متمایز سازد. افت انرژی ضرورتاً به گرما تبدیل نشده بلکه قسمتی از آن صرف تلاطم مختصر سطح آب می گردد. جهش فوق را که به شکل یک دسته موج در سطح آب ظاهرمی گردد، جهش هیدرولیکی مواج (Undular jump) می نامند.

- اگر 1.7<F1<2.5 باشد، در جهش فوق پیشانی امواج ظاهر شده شکسته بوده، اما جریان نسبتاً آرام با آشفتگی های سطحی برقرار می باشد. در این حالت اگرچه مجموعه ای از غلطاب ها (Roller) در سطح جهش پدید می آید ولی سطح آب پایین دست آرام باقی می ماند. توزیع سرعت نیز در تمام مقطع تقریباً یکنواخت و مقدار افت انرژی کمتر از ۲۰٪ می باشد. جهش هیدرولیکی با شرایط فوق را جهش هیدرولیکی ضعیف (Weak jump) می نامند.



F1=2.5-4.5 OSCILLATING JUMP

F1=4.5-9.0 STEADY JUMP

اگر $F_1>9$ باشد، جهش بسیار شدید بوده و افت انرژی قابل توجه می باشد. در جهش فوق که جهش قوی (Strong jump) نامیده می شود، مقدار عمق اولیه نسبتاً کم و ارتفاع موج پدیده آمده قابل ملاحظه خواهد بود. راندمان اینگونه جهش ها در حدود ۸۵٪ می باشد. لازم به ذکر است که چنانچه عدد فرود جریان اولیه از ۱۳ فراتر رود، جهش بگونه ای خواهد بود که تلاطم و آشفتگی شدید جریان موجب بالا رفتن هزینه سازه های کنترل کننده می گردد.

F1>9.0 STRONG JUMP

مکانیزم خرابی ناشی از جهش هیدرولیکی

- بوجود آمدن فشارهای برخاست در زیر سازه

- خستگی مصالح بر اثر بارگذاری متناوب
- ارتعاش و لرزش سازه

مثال : سد کارنافولی (۱۹۶۱)

مشخصات:سدخاکی به ارتفاع ۵/۴۱ متر, عرض سرریز ۲۲۷ متر و دبی ۱۸۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه

تخریب: با عبور سیلاب ۳۴۸۰ مترمکعب بر ثانیه (۲۰٪ سیل طرح) منطقه ای به عرض ۱۸۰ متر و طول ۲۳ متر تخریب شد

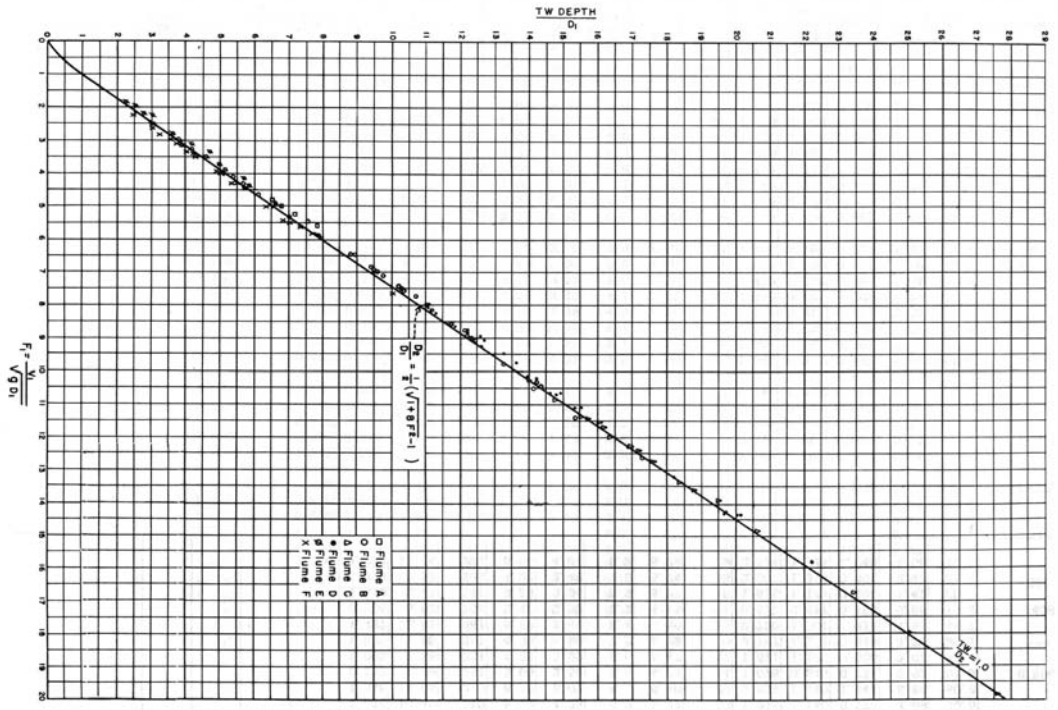
علت تخریب: فشار برخاست بر اثر تراوش و یا پایاب, برخورد قطعات چوب و نوسانات فشار در جهش هیدرولیکی

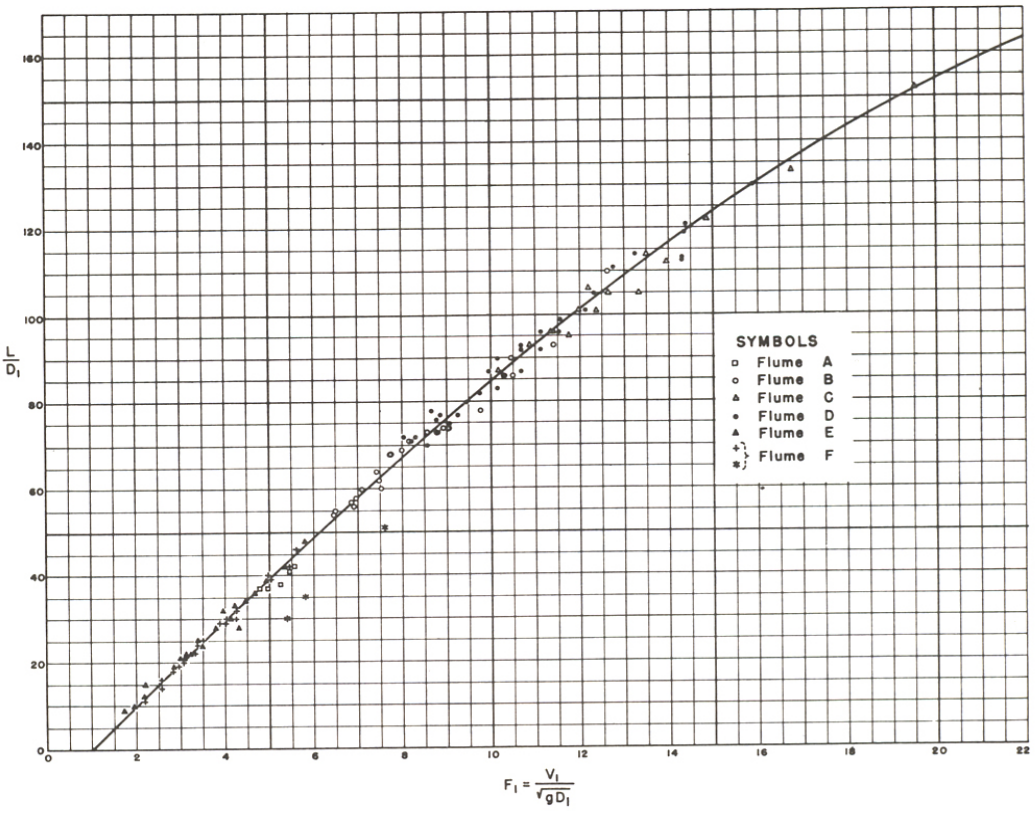
انواع تیپ حوضچه آرامش USBR

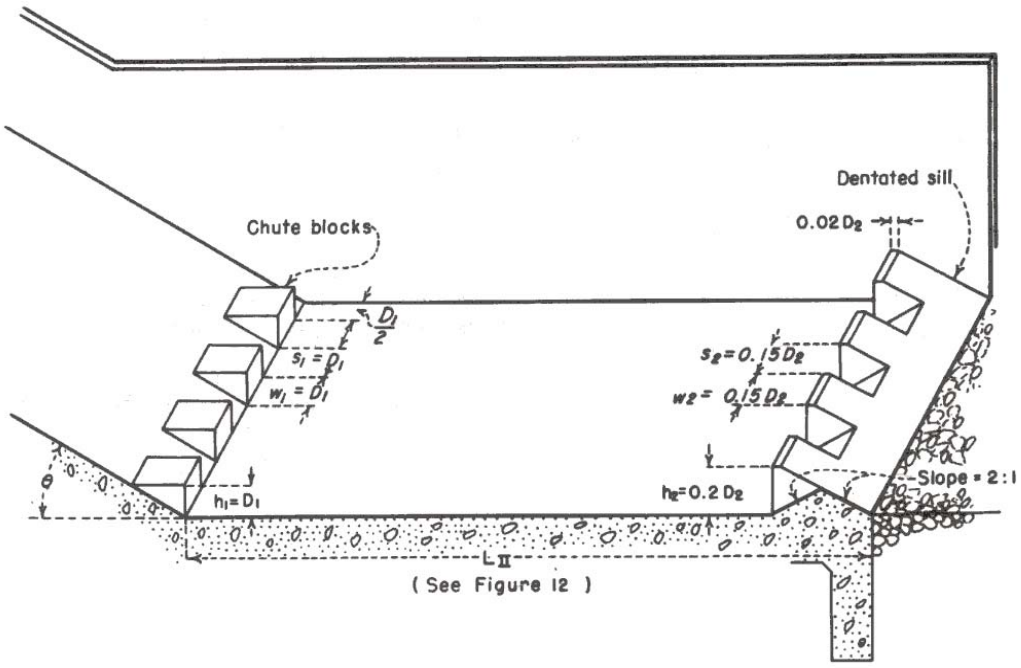
در این بخش انواع حوضچه های مورد استفاده و پیشنهادی اداره احیای اراضی امریکا ارائه می شود. پارامترهای موثر در انتخاب حوضچه شامل ارتفاع سد، سرعت جریان ورودی به حوضچه، عدد فرود ورودی به حوضچه و دبی واحد عرض سرریز می باشند که حسب نیاز مورد استفاده قرار می گیرند.

در این بخش مشخصات مورد نیاز در طراحی حوضچه ها بصورت تیپ ارائه شده و آنگاه نمودارهای لازم جهت برآورد طول حوضچه، عمق ثانویه و عمق مورد نیاز در پایاب و سایر مشخصه های سازه ای ارائه شده است.

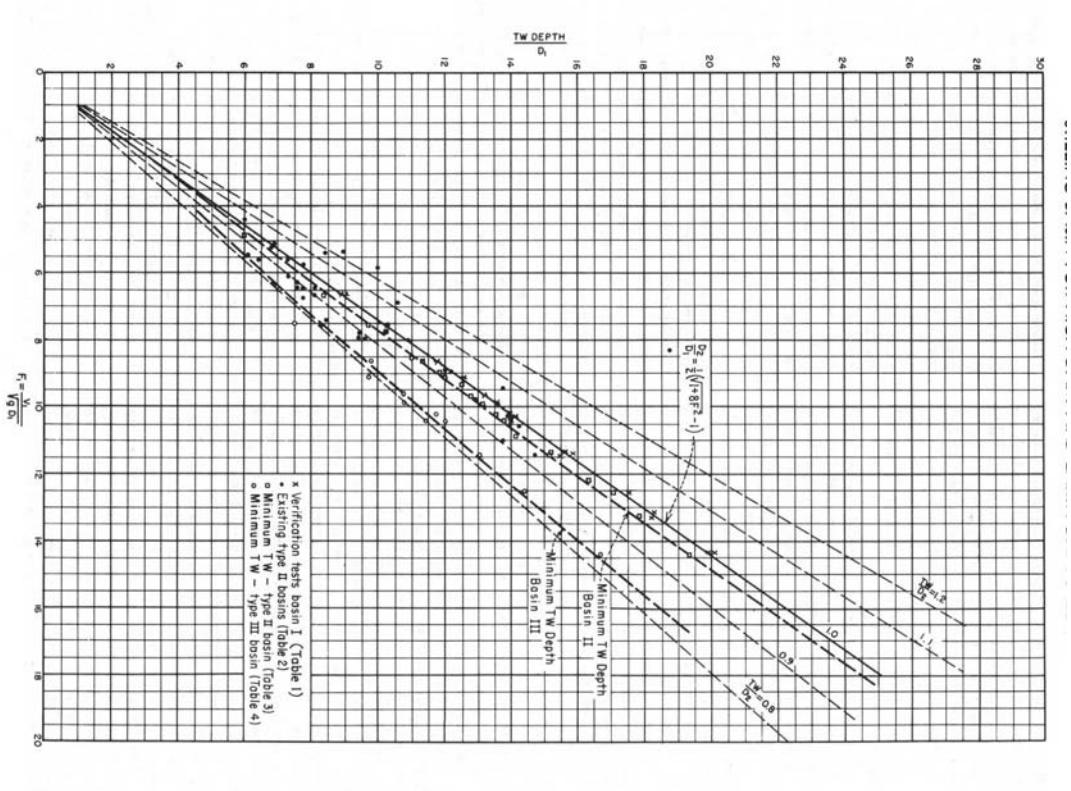
در حوضچه های تیپ USBRI پرش ضعیف است و لذا از مانع بعضا استفاده نمی شود و برای شیب شکن های تا ۱/۵ متر نیز استفاده می شود (1<Fr<2.5).

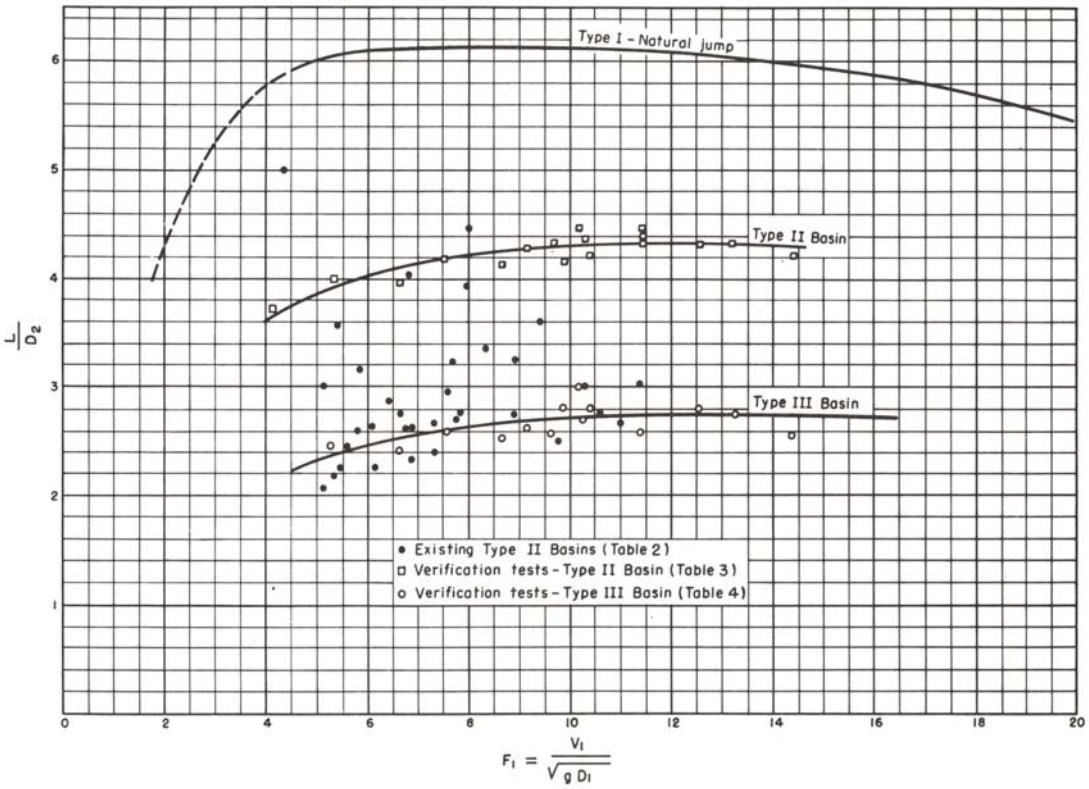

TW DEPTH
D1
F1 = V1/√gD1
D2/D1 = 1/2 (√1+8F1²-1)
TW/D2 = 1.0
Flume A
Flume B
Flume C
Flume D
Flume E
Flume F

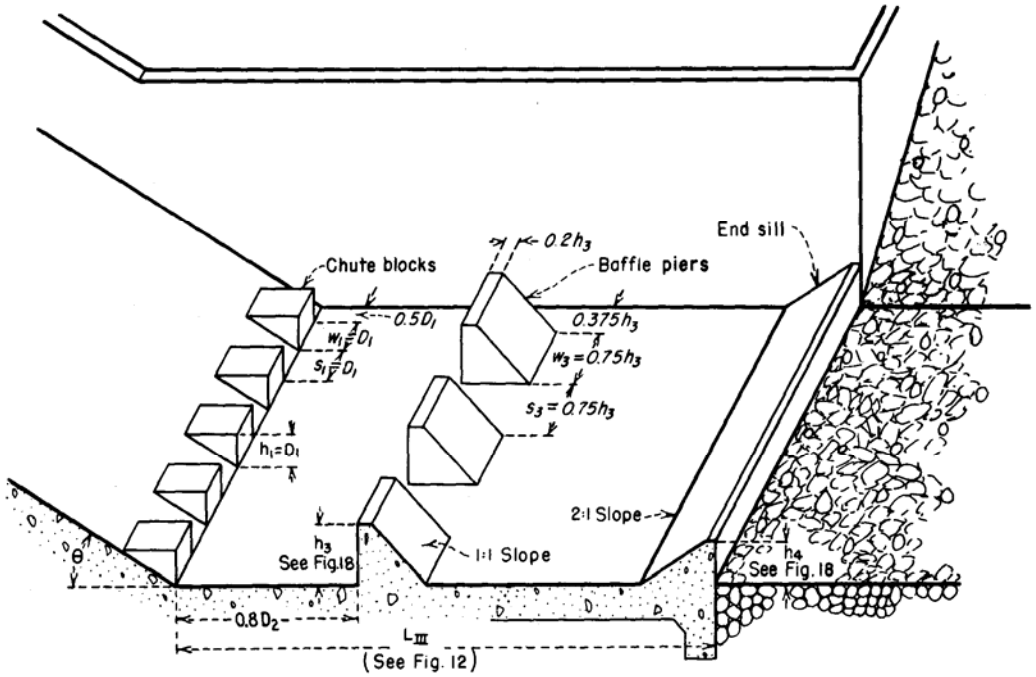

D2/D1
F1 = V1/√gD1
SYMBOLS
Flume A
Flume B
Flume C
Flume D
Flume E
Flume F



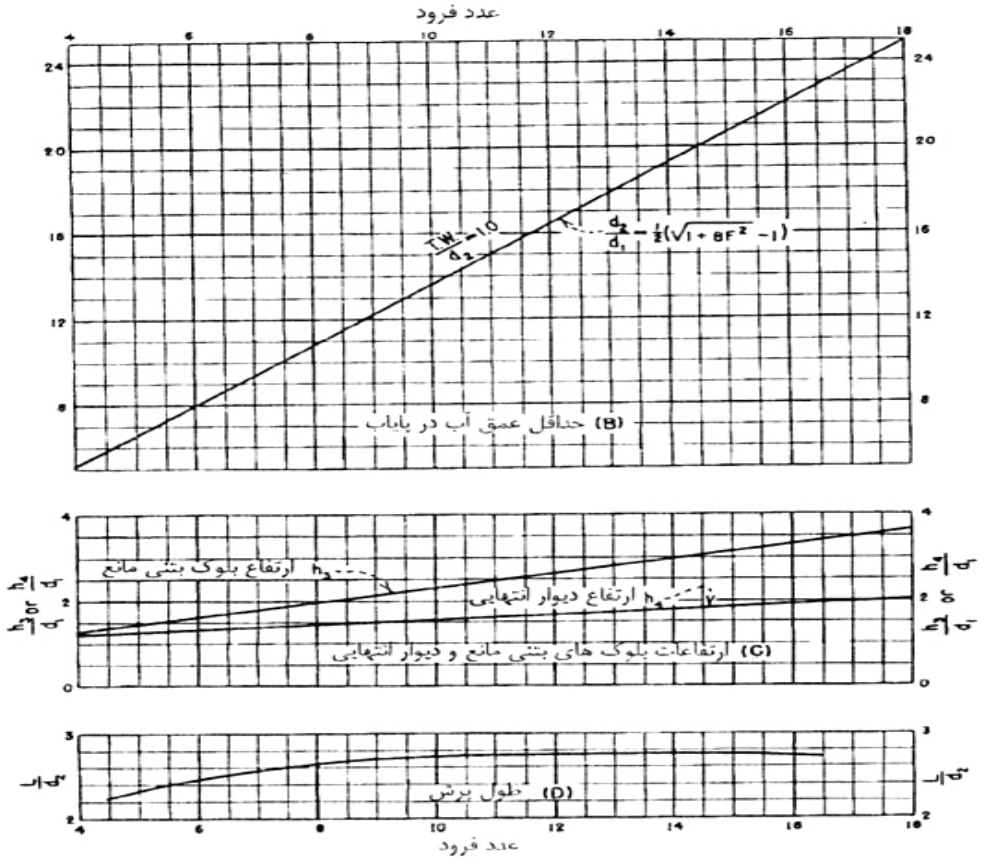
چنانچه عدد فرود بین ۴/۵ تا ۹ باشد و سرعت جت ورودی بزرگتر از ۱۸ متر بر ثانیه باشد (سدهای تا ۶۰ متر و دبی واحد عرض کمتر از ۴۶ متر مکعب بر ثانیه) USBRII توصیه می شود

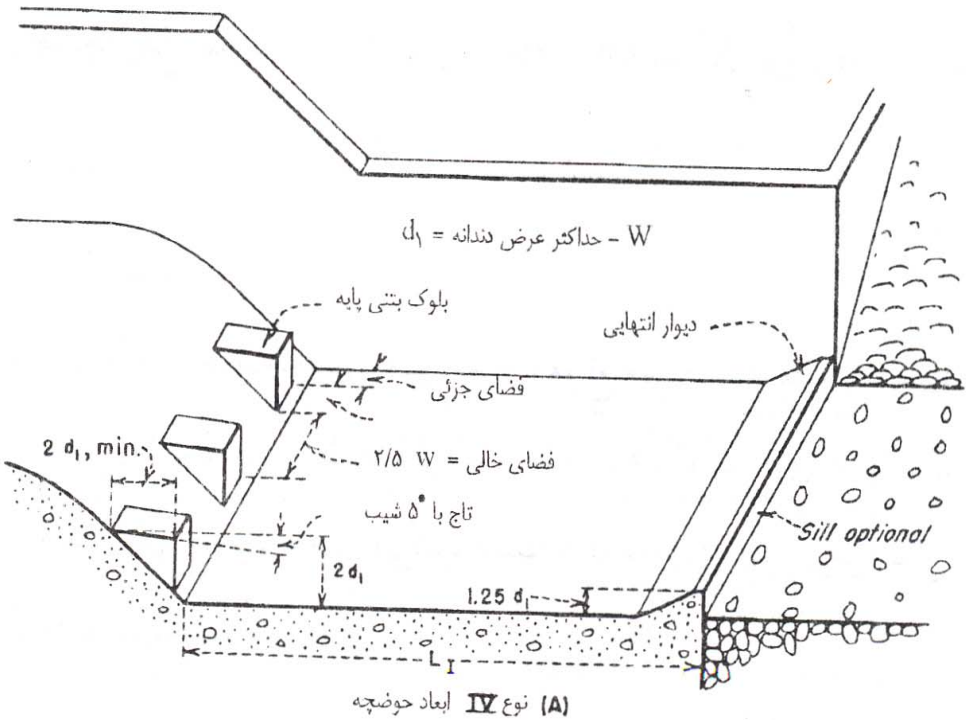




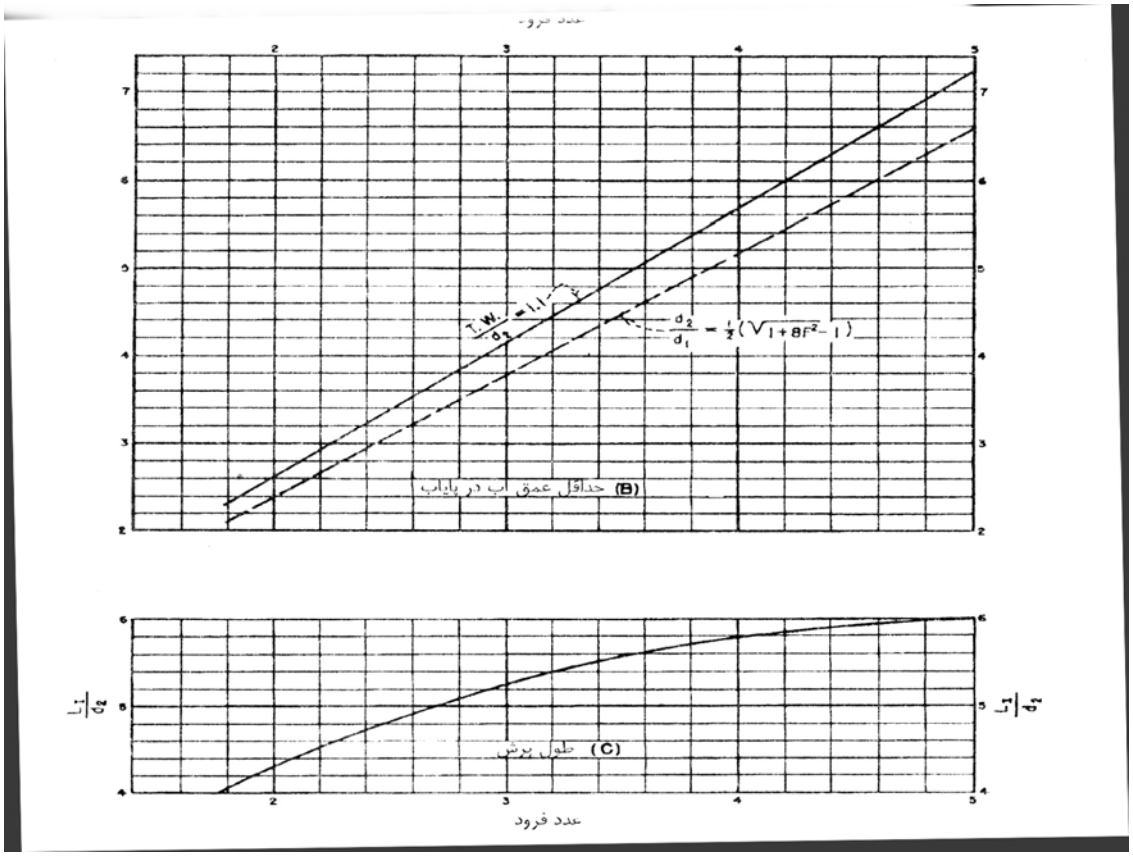


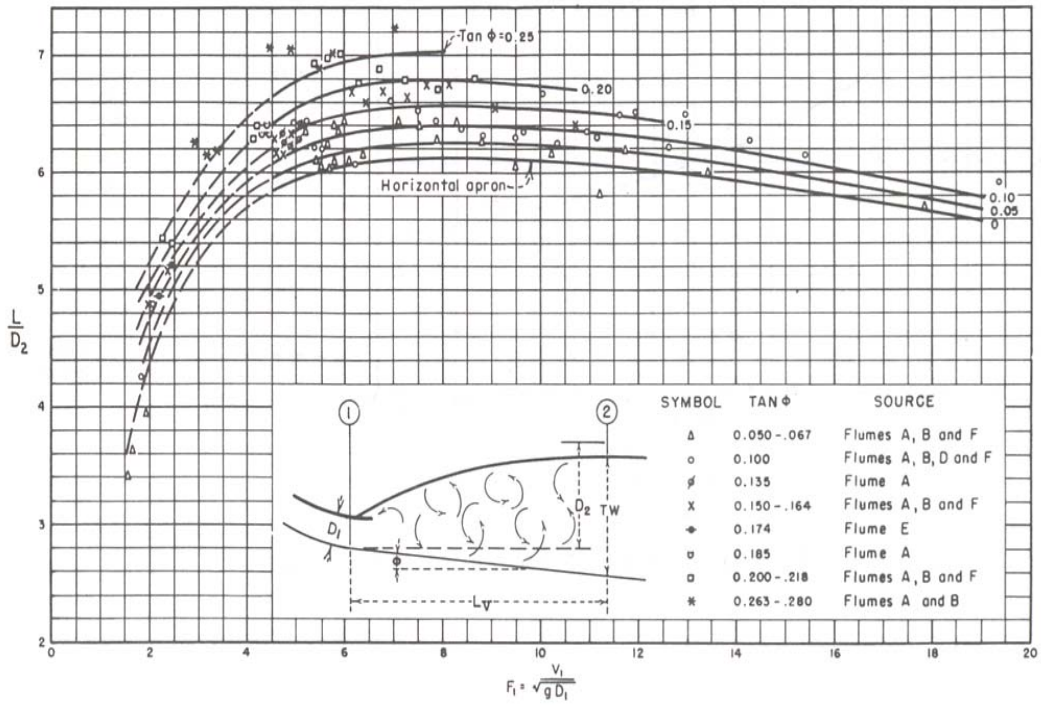
چنانچه عدد فرود بین ۴/۵ تا ۹ باشد و سرعت جت ورودی کوچکتر از ۱۸ متر بر ثانیه باشد USBRIII توصیه می شود

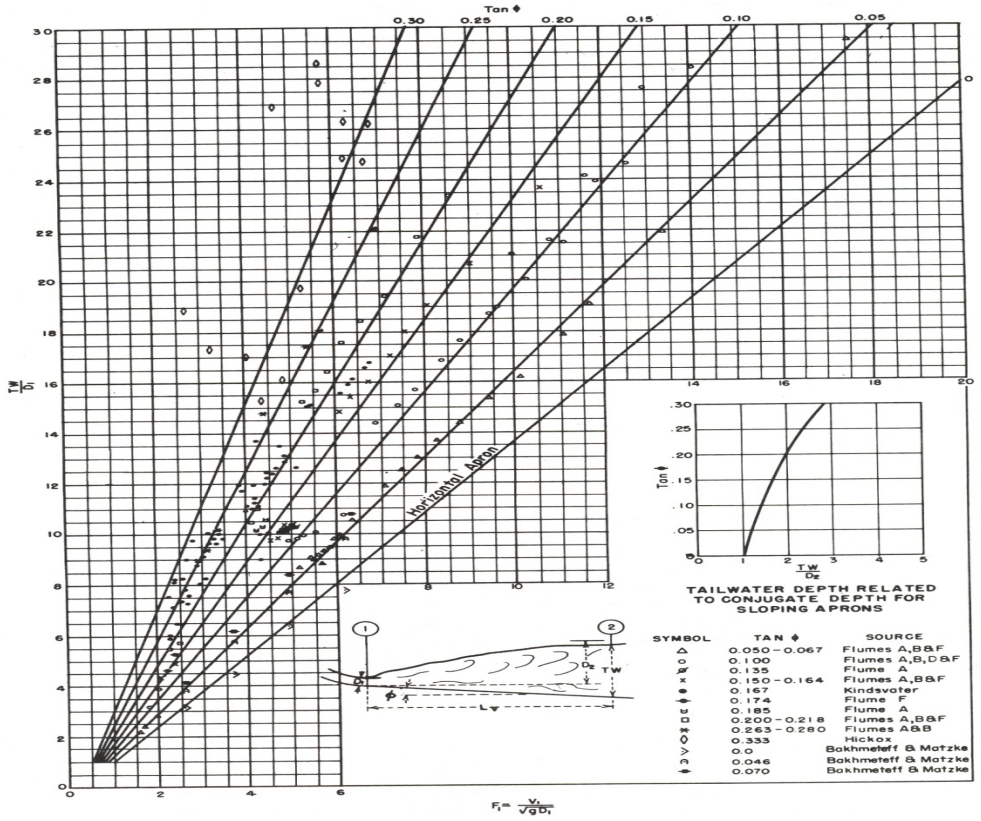


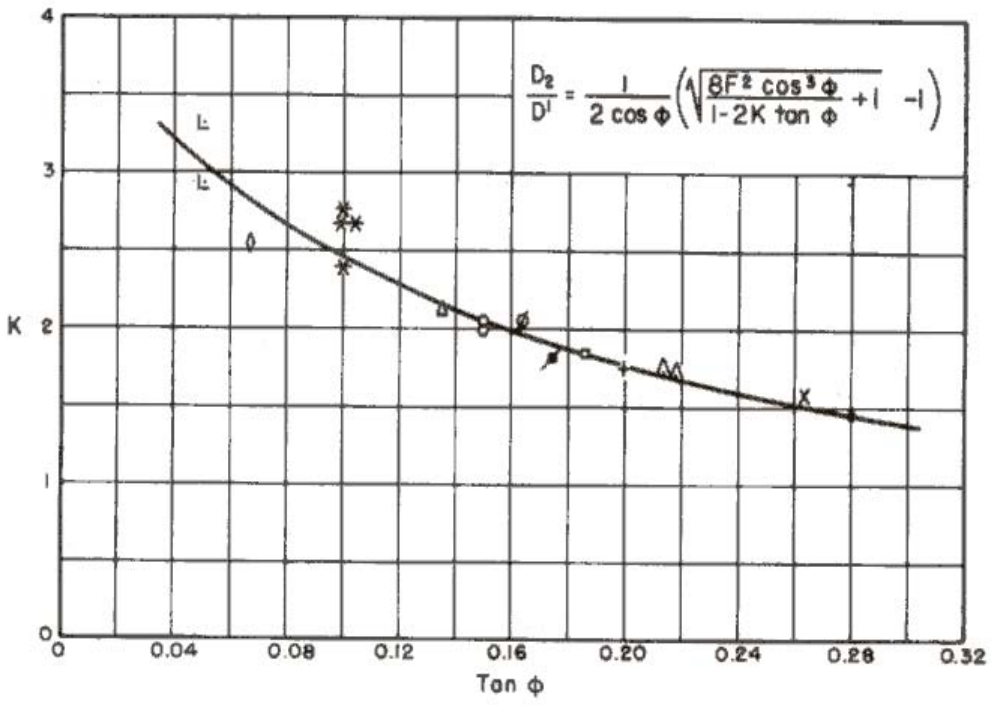


■ چنانچه عدد فرود بین ۴/۵ تا ۲/۵ باشد USBRIV توصیه می شود


(B) حداقل عمق آب در پایاب
(C) طول پرش
عدد فرود

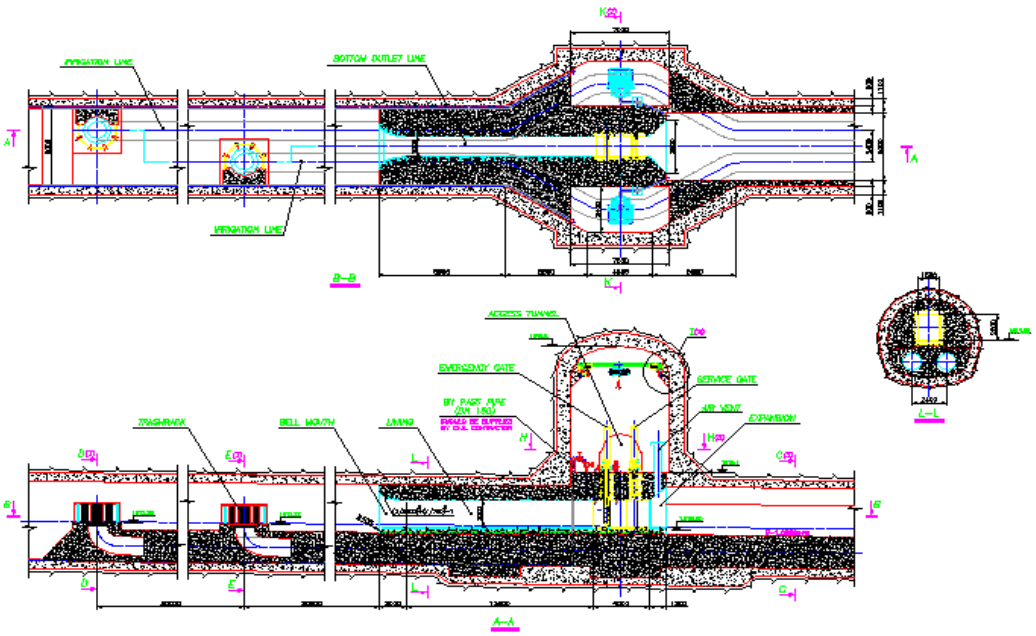

Tan Φ=0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0
Horizontal apron
SYMBOL TAN Φ SOURCE
Δ 0.050-.067 Flumes A, B and F
o 0.100 Flumes A, B, D and F
ø 0.135 Flume A
X 0.150-.164 Flumes A, B and F
0.174 Flume E
0.185 Flume A
0.200-.218 Flumes A, B and F
* 0.263-.280 Flumes A and B


Tan ϕ
Horizontal Apron
TAILWATER DEPTH RELATED TO CONJUGATE DEPTH FOR SLOPING APRONS
SYMBOL TAN ϕ SOURCE
0.050 – 0.067 Flumes A,B&F
0.100 Flumes A,B,D&F
0.135 Flume A
0.150 – 0.164 Flumes A,B&F
0.167 Kindsvater
0.174 Flume F
0.185 Flume A
0.200 – 0.218 Flumes A,B&F
0.263 – 0.280 Flumes A&B
0.333 Hickox
0.0 Bakhmeteff & Matzke
0.046 Bakhmeteff & Matzke
0.070 Bakhmeteff & Matzke


$\frac{D_2}{D'} = \frac{1}{2\cos\phi}\left(\sqrt{\frac{8F^2\cos^3\phi}{1-2K\tan\phi}+1}-1\right)$
K
Tan ϕ

تمرین

مقطع شکل مقابل، تخلیه کننده تحتانی سد شهرچای را نشان می دهد. عملکرد هیدرولیکی مجرا شامل دبی در بازشدگی ۱۰٪-۲۰٪-۳۰٪-۴۰٪-۵۰٪-۶۰٪-۷۰٪-۸۰٪-۹۰٪ و ۱۰۰٪ دریچه سرویس و ارزیابی پتانسیل کاویتاسیون در بازشدگی ۱۰۰٪ دریچه ها را تعیین نمایید. نیروهای وارد بر دریچه و دبی هواده دریچه سرویس در بازشدگی مختلف را نیز برآورد نمایید.



مقطع و پلان طولی تخلیه کننده شهرچای

مشخصات کلی سد شهر چای به شرح زیر می باشد:

- حداکثر ارتفاع سطح آب از سطح دریا	1584.3 متر از سطح دریا
- ارتفاع آب در شرایط معمولی از بستر رودخانه	80.3 متر
- حداقل ارتفاع از سطح مرجع	76 متر
- ارتفاع مرده آب از سطح مرجع	26 متر
- نوع سد	خاکی – سنگریزه ای با هسته رسی
- ارتفاع تاج سد از مرجع	84 متر
- حداکثر ارتفاع سد از پی	118 متر
- طول تاج	550 متر

مشخصات تخلیه کننده تحتانی:

- ابعاد مجرا در قسمت دریچه سرویس	1.5 متر عرض و 2 متر ارتفاع
- ابعاد مجرا در قسمت دریچه اضطراری	1.5 متر عرض و 2 متر ارتفاع
- حداکثر دبی آب	80 متر مکعب در ثانیه
- حداکثر هد استاتیکی	72 متر